

**ΕΝΝΟΙΟΛΟΓΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ
ΚΑΙ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟΣ ΟΡΘΟΛΟΓΙΣΜΟΣ:
NIELS BOHR
ΚΑΙ ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΤΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ
ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΣΤΗΝ ΚΒΑΝΤΙΚΗ ΦΥΣΙΚΗ**

ΠΑΝΔΩΡΑ ΧΑΤΖΗΔΑΚΗ

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

**Διαπανεπιστημιακό Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα
‘Ιστορία και Φιλοσοφία των Επιστημών και της Τεχνολογίας’
Τμήμα ΜΙΘΕ, Πανεπιστήμιο Αθηνών – Σχολή ΣΕΜΦΕ, Τομέας ΑΚΕΔ, ΕΜΠ**

ΑΘΗΝΑ, 2006

‘Η φυσική επιστήμη συμβάλλει με ουσιαστικό τρόπο στην ανάπτυξη της φιλοσοφικής σκέψης, όχι μόνο επειδή αποφέρει αυξανόμενη γνώση της φύσης, της οποίας και εμείς αποτελούμε μέρος, αλλά και επειδή έχει επανειλημμένα προσφέρει νέες δυνατότητες για τη διερεύνηση και εκλέπτυνση των εννοιολογικών μας εργαλείων’

Niels Bohr

Στη μνήμη

του πατέρα και της μητέρας μου

Γεωργίου και Βιργινίας Χατζηδάκη

Ευχαριστίες

Ένα μεγάλο 'ευχαριστώ' δεν μπορεί σίγουρα να εκφράσει με πληρότητα την ιδιαίτερη οφειλή μου στον Β. Καρακώστα, Επίκουρο Καθηγητή του τμήματος ΜΙΘΕ του Πανεπιστημίου Αθηνών, ο οποίος, ως κύριος επιβλέπων της διατριβής, ήταν πάντα πρόθυμος να τη διαβάσει, να την κρίνει και να διορθώσει κάθε εννοιολογική, γραμματική ή συντακτική της παρεκτροπή. Η διατριβή χρωστά σε μεγάλο βαθμό την τελική της μορφή στις καίριες αυτές παρεμβάσεις, στις συζητήσεις μαζί του, στις κοινές ερευνητικές μας προσπάθειες, καθώς και στον ουσιαστικό διάλογο που αναπτύχθηκε στα σεμινάρια 'Κβαντικής Φυσικής' που διοργανώθηκαν και καθοδηγήθηκαν από τον ίδιο. Τα σεμινάρια αυτά υπήρξαν πράγματι πολύτιμα γιατί, εκτός του ότι φιλοξένησαν, έθεσαν σε δοκιμασία και γονιμοποίησαν τα ενδιαφέροντα, τις ανησυχίες και τις ιδέες όλων εκείνων που ένοιωσαν τον εαυτό τους ενεργό μέλος της 'ομάδας φιλοσοφίας της φυσικής', εδραίωσαν και ισχυρές φιλίες ζωής.

Πέραν όμως αυτών, η διατριβή αυτή δεν θα είχε ποτέ εκπονηθεί εάν δεν είχα την τύχη να συναντήσω, ως δασκάλους, τον ίδιο και τον Α. Μπαλτά, Καθηγητή του ΕΜΠ. Μιλώ για 'συνάντηση', επειδή οι εν πολλοίς ασαφείς και οπωσδήποτε ανεπεξέργαστες κατευθυντήριες ιδέες μου, καθώς και οι ευρύτερες φιλοσοφικές μου απορίες και αναζητήσεις, δεν θα είχαν συγκεκριμενοποιηθεί, αναπτυχθεί και διατυπωθεί με σαφήνεια εάν δεν είχαν συναντήσει δύο εμπνευσμένες εκφράσεις του συγκροτησιακού τους πυρήνα στις φιλοσοφικές θεωρήσεις του Α. Μπαλτά για την επιστήμη και του Β. Καρακώστα για την κβαντική θεωρία. Μιλώ ακόμη για 'δασκάλους', επειδή η φυσική, πνευματική και ηθική παρουσία των τελευταίων μου προσέφερε γνώση, έμπνευση, στήριξη και ενθάρρυνση που υπερβαίνουν κατά πολύ τις τυπικές συνθήκες μίας διατριβής. Η λέξη *δάσκαλος* είναι η μόνη που μπορεί να εκφράσει το πολυδιάστατο περιεχόμενο μίας τέτοιας σχέσης· και δεν μπορώ παρά να ευχαριστήσω τους *δικούς μου* μαθητές που, κατά την πολύχρονη πορεία μου στη μέση εκπαίδευση, με βοήθησαν να καταλάβω, ή μάλλον να συναισθανθώ, την πραγματική σημασία αυτής της λέξης.

Θα ήθελα ακόμη να ευχαριστήσω θερμά τον Α. Αραγεώργη, Λέκτορα του ΕΜΠ, ο οποίος, αν και υπήρξε το τελευταίο μόνο διάστημα μέλος της συμβουλευτικής μου επιτροπής, με τις καίριες υποδείξεις του, τις εποικοδομητικές μας συζητήσεις και το αδιάπτωτο ενδιαφέρον του συνέβαλε με ουσιαστικό τρόπο στο τελικό αποτέλεσμα.

Οφείλω να σημειώσω ότι όλοι οι καθηγητές του μεταπτυχιακού προγράμματος 'Ιστορία και Φιλοσοφία των Επιστημών και της Τεχνολογίας' με τους οποίους ήλθα σ' επαφή για ζητήματα της διατριβής ήταν πάντοτε πρόθυμοι να βοηθήσουν με κάθε δυνατό τρόπο. Θα ήθελα, όμως, να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον Σ. Ψύλλο, Αναπληρωτή Καθηγητή του τμήματος ΜΙΘΕ του Πανεπιστημίου Αθηνών, γιατί, στα σεμινάρια του, η διεξοδική, βαθιά και, κυρίως, πολύπλευρη εξέταση κεντρικών προβλημάτων της φιλοσοφίας της επιστήμης μου προσέφερε πολύτιμη γνώση και με δίδαξε τι ακριβώς σημαίνει *αυστηρή* φιλοσοφική αναζήτηση.

Επειδή, όμως, τα πρωταρχικά εναύσματα για την εκπόνηση της διατριβής προήλθαν από το μεταπτυχιακό πρόγραμμα 'Φυσικές Επιστήμες στην Εκπαίδευση', θα ήθελα να ευχαριστήσω και από εδώ τον Γ. Καλκάνη, Καθηγητή του Παιδαγωγικού τμήματος του Πανεπιστημίου Αθηνών και επιβλέποντα της διπλωματικής μου εργασίας στο πρόγραμμα αυτό, γιατί, με τις συνεχείς του προτροπές για διαρκή παρουσία (η περιβόητη 'luminosity') και πολυεπίπεδη δραστηριότητα στον πανεπιστημιακό χώρο, μάς έμαθε από πολύ νωρίς να αυτενεργούμε, να συνεργαζόμαστε δημιουργικά και να μη διστάζουμε να δοκιμάζουμε δυνάμεις και ιδέες σε συνέδρια και δημοσιεύσεις. Ιδιαίτερα σημαντική υπήρξε επίσης για μένα η παρουσία του Β. Κύρκου, Ομότιμου, σήμερα, Καθηγητή του τμήματος ΜΙΘΕ του Πανεπιστημίου Αθηνών, ο οποίος, διδάσκοντάς μας με πάθος φιλοσοφία εκείνη την περίοδο, μου έδειξε πρώτος την αξία της φιλοσοφικής σκέψης και, διαγιγνώσκοντας τις ευρύτερες ανησυχίες μου, με βοήθησε με τις υποδείξεις του να χαράξω την περαιτέρω πορεία.

Θα ήθελα, τέλος, να ευχαριστήσω τον Α. Καρανίκα, Αναπληρωτή Καθηγητή του Φυσικού τμήματος του Πανεπιστημίου Αθηνών, γιατί, πέραν του ότι πολλές από τις γνώσεις μου στο πεδίο της κβαντικής φυσικής οφείλονται σ' αυτόν, οι αξίες που συνδιαμορφώσαμε κατά τη διάρκεια της κοινής μας ζωής με βοήθησαν να διακρίνω τι ήταν πράγματι σημαντικό και τι επουσιώδες στην επίπονη, αλλά μεστή περιεχομένου, εμπειρία της διατριβής.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Γενική επισκόπηση – Ερευνητική δραστηριότητα

ΜΕΡΟΣ ΠΡΩΤΟ

Μελέτη της επιστημολογικής θεώρησης του Niels Bohr Η Αρχή της Αντιστοιχίας ως ‘φορέας ανακάλυψης’ της κβαντικής θεωρίας

Κεφάλαιο Πρώτο: Η πρώτη ατομική θεωρία του Niels Bohr

1. Η πρώτη ατομική θεωρία προσφέρει μία ‘υποθετική’ και ‘προκαταρκτική’ απάντηση στο ερώτημα περί της σταθερότητας των ατόμων – Η πρώτη ‘ατελής’ εμφάνιση της Αρχής της Αντιστοιχίας
2. Η μεθοδολογία του Niels Bohr ως ‘αποδεικτική επαγωγή’ – Μια ‘συνεκτική’ διατύπωση της ατομικής θεωρίας θα ήταν πράγματι δυνατή;

Κεφάλαιο Δεύτερο: Η ‘Αδιαβατική Αρχή’ και η ‘Στατιστική Θεωρία της Ακτινοβολίας’ ενσωματώνονται στην ατομική θεωρία – Η Αρχή της Αντιστοιχίας εξελίσσεται

1. Η Αδιαβατική Αρχή προσδίδει θετικό περιεχόμενο στη έννοια της ‘στάσιμης κατάστασης’
2. Η Στατιστική Θεωρία της Ακτινοβολίας του Einstein
3. Η ‘Αδιαβατική Αρχή’ και η ‘Στατιστική Θεωρία της Ακτινοβολίας’ διασυνδέονται επιτυχώς στο πλαίσιο της ατομικής θεωρίας – Η Αρχή της Αντιστοιχίας αποκτά σαφές μεθοδολογικό περιεχόμενο

Κεφάλαιο Τρίτο: Η Αρχή της Αντιστοιχίας ως έκφραση μιας μορφής ‘μεθοδολογικού εμπειρισμού’

1. Η δομή της Αρχής της Αντιστοιχίας ως ‘αναλογίας’
2. Η Αρχή της Αντιστοιχίας ως ‘αναλογία συγκρότησης θεωρίας’

Κεφάλαιο Τέταρτο: Η ‘ορθολογικότητα’ της επιστημονικής αναζήτησης κατά την περίοδο γέννησης της κβαντικής θεωρίας

1. Οι κεντρικές θεωρήσεις περί επιστημονικής ορθολογικότητας στο πλαίσιο του ‘μεθοδολογικού εμπειρισμού’
2. Η Αρχή της Αντιστοιχίας υπό το φως των κεντρικών θεωρήσεων περί επιστημονικής ορθολογικότητας
3. Τα κατά Bohr νόημα του όρου ‘ορθολογικότητα’ κατά την περίοδο εφαρμογής της Αρχής της Αντιστοιχίας
4. Η Θεωρία των Κβάντων και η Στατιστική θεωρία της Ακτινοβολίας υπό το φως των κριτηρίων ορθολογικότητας του Bohr

Κεφάλαιο Πέμπτο: Η χρήση της γλώσσας κατά την περίοδο εφαρμογής της Αρχής της Αντιστοιχίας

1. Κοινό νόημα των εννοιών βάσει μιας ‘κοινής ουδέτερης παρατηρησιακής γλώσσας’
 - 1.1. Η χρήση της γλώσσας εντός του θετικιστικού πλαισίου
 - 1.2. Η Αρχή της Αντιστοιχίας έναντι των θετικιστικών αντιλήψεων για τη χρήση της γλώσσας
2. Κοινό ‘μέτρο’ βάσει του κοινού νοήματος που προσδίδουν στις έννοιες οι γενικές αρχές ενός ενιαίου λογικού – παραγωγικού σχήματος
 - 2.1. Η ενοποίηση της επιστημονικής γνώσης ως ‘επιστημονική εξήγηση’
 - 2.2. Η Αρχή της Αντιστοιχίας υπό το φως των ‘ενοποιητικών’ θεωρήσεων

- 2.3. Η στάση των Heisenberg, Bohr και Einstein έναντι των σχέσεων απροσδιοριστίας
- 2.4. Κριτική αποτίμηση της συμβολής των παραγωγικών μεθόδων στη θεμελίωση και ερμηνεία της κβαντικής θεωρίας
3. Η κοινή οντολογική αναφορά των θεωρητικών όρων ως τεκμήριο ‘συνέχειας’ κατά τις περιόδους αλλαγής θεωρίας
 - 3.1. Οι αιτιακές θεωρήσεις περί επιστημονικής εξήγησης
 - 3.2. Οι αιτιακές θεωρίες αναφοράς
 - 3.3. Η Αρχή της Αντιστοιχίας υπό το φως των αιτιακών θεωριών περί ‘εξήγησης’ και ‘αναφοράς’

Κεφάλαιο Έκτο: Η Αρχή της Αντιστοιχίας ως φορέας μιας ‘ρίζικης επιστημονικής ανακάλυψης’

ΜΕΡΟΣ ΔΕΥΤΕΡΟ

Μελέτη της φιλοσοφικής θεώρησης του Niels Bohr

Η φυσική πραγματικότητα υπό την οπτική γωνία της συμπληρωματικότητας

Κεφάλαιο Πρώτο: Το επιχείρημα της συμπληρωματικότητας υπό την πρωταρχική του διατύπωση – Αποσαφήνιση εννοιών

Κεφάλαιο Δεύτερο: Το καθεστώς της ‘κλασικότητας’ εντός του κβαντικού πλαισίου – Η κβαντική θεωρία ως ‘ορθολογική γενίκευση’ των κλασικών θεωριών

Κεφάλαιο Τρίτο: Η φυσική φιλοσοφία του Bohr: Μία φιλοσοφία που επιβλήθηκε από την ίδια τη φύση

1. Η κλασική κοσμοθεώρηση αποτυπώνει ανάγλυφα το μεταφυσικό ιδεώδες του παραδοσιακού ρεαλισμού
2. Η θέση της ‘πέραν της εμπειρίας και του υποκειμένου πραγματικότητας’ στις αντι-ρεαλιστικές προσεγγίσεις
3. Η Καντιανή παράδοση
4. Η θέαση του φυσικού κόσμου υπό την οπτική γωνία της συμπληρωματικότητας
 - 4.1. Το καθεστώς της ‘εμπειρικής πραγματικότητας’ εντός του κβαντικού πλαισίου
 - 4.2. ‘Σύγχρονος Επιστημονικός Ρεαλισμός’ – Το καθεστώς της ‘πέραν της εμπειρίας και του υποκειμένου’ φυσικής πραγματικότητας εντός του κβαντικού πλαισίου
5. Bohr: Ένας επιστήμονας με βαθιά φιλοσοφική διερώτηση

ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ

Η ‘Φύση της Επιστήμης’ ως δυναμικό εκπαιδευτικό εργαλείο εννοιολογικής αλλαγής προς μία ποιοτική προσέγγιση στην κβαντική θεωρία

1. Οι θεωρήσεις περί ‘εννοιολογικής αλλαγής’ στο εκπαιδευτικό πλαίσιο
2. Η ‘Φύση της Επιστήμης’ στο εκπαιδευτικό πλαίσιο
3. ‘Αντιστάσεις’ στη γνωσιακή προσέγγιση της κβαντικής κοσμοθεώρησης
4. Η εννοιολογική αλλαγή προς την κβαντική κοσμοθεώρηση και η ουσιαστική εμβάθυνση στη ‘Φύση της Επιστήμης’ ως παράλληλοι και αδιαχώριστοι εκπαιδευτικοί στόχοι – Ειδικές εκπαιδευτικές εφαρμογές

ΓΕΝΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ

Μέρος Πρώτο. Το πρώτο μέρος της παρούσας εργασίας μελετά την επιστημολογική θεώρηση του Niels Bohr, όπως αυτή εκφράστηκε μέσω του ερευνητικού του προγράμματος κατά την περίοδο 1913 – 1927. Η συγκεκριμένη περίοδος έχει ως αφετηριακό σημείο τη διατύπωση της πρώτης ατομικής θεωρίας (Bohr 1913a, *NBCW2*, σσ. [161]-[233]) και ως καταληκτικό σημείο την απόδοση της πρώτης συνεκτικής ερμηνείας της κβαντικής θεωρίας μέσω της συμπληρωματικότητας (Bohr, 1927a, *NBCW6*, σσ. [147]-[158]). Κατά την περίοδο αυτή, εξελίχθηκε μια εκ των σημαντικότερων αλλαγών θεωρίας στο πεδίο της φυσικής επιστήμης, μια αλλαγή που μπορεί εύλογα να ειπωθεί ως μια *ριζική* επιστημονική ανακάλυψη, εφόσον οδήγησε σε μια *εκ θεμελίων* ανατροπή της κλασικής κοσμοθεώρησης. Όπως θα επιχειρήσουμε όμως να δείξουμε, ο ριζικός χαρακτήρας της σημειωθείσας εξέλιξης, όχι μόνο δεν κατέλυσε την ουσιαστική συνέχεια της επιστημονικής γνώσης, αλλά κατέγραψε, αντίθετα, ένα ουσιαστικό βήμα *προόδου* στην ιστορία της επιστήμης. Με τον όρο δε ‘*πρόοδος*’, δεν υπονοούμε μόνο τη σημειωθείσα, μέσω της κβαντικής θεωρίας, επέκταση της περιγραφικής και προβλεπτικής εμβέλειας της φυσικής επιστήμης σε καινούργια πεδία της εμπειρίας, αλλά και την ενίσχυση της βαθύτερης κατανόησης των δομών και διαδικασιών της φυσικής πραγματικότητας. Η τεκμηρίωση βεβαίως του συγκεκριμένου ισχυρισμού απαιτεί, τόσο τη διεξοδική επιστημολογική μελέτη της ερευνητικής πορείας προς την κβαντική θεωρία, όσο και την ενδελεχή ανάλυση της αναδυθείσας, από την πορεία αυτή, φυσικής ερμηνείας της κβαντικής θεωρίας.

Τα δύο αυτά εγχειρήματα επιχειρούνται, αντίστοιχα, στο πρώτο και δεύτερο μέρος της εργασίας μας μέσω της μελέτης, *αφενός*, του ερευνητικού προγράμματος του Bohr κατά την περίοδο γέννησης της κβαντικής θεωρίας και μέσω της ανάλυσης, *αφετέρου*, της φυσικής ερμηνείας της κβαντικής θεωρίας που ο ίδιος προσέφερε δια της εισαγωγής της έννοιας της συμπληρωματικότητας. Η επιλογή του Niels Bohr ως κεντρικού υποκειμένου της διατριβής εδράζεται στους εξής λόγους. Από τη μια πλευρά, η πορεία προς την κβαντική θεωρία είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με την Αρχή της Αντιστοιχίας (AAB)¹, ένα μεθοδολογικό μέσο του οποίου η επινόηση, η συγκρότηση και η επιμέλεια, ως προς την ακρίβεια της εφαρμογής, ανήκουν

¹ Η συντόμευση (AAB) θα χρησιμοποιείται κάθε φορά που θ’ αναφερόμαστε στην Αρχή της Αντιστοιχίας του Bohr, σε αντιδιαστολή με τη συντόμευση (AA) που θα χρησιμοποιείται κάθε φορά που η Αρχή της Αντιστοιχίας θα εννοείται, υπό τη γενικότερη σημασία της, ως μια αρχή συντακτικής διασύνδεσης επιστημονικών θεωριών ή μοντέλων.

αποκλειστικά στον Bohr. Από την άλλη πλευρά, η έννοια της συμπληρωματικότητας, ογδόντα περίπου χρόνια μετά τη αρχική της διατύπωση και παρά τη θεαματική περαιτέρω εμπειρική και θεωρητική ανάπτυξη του κβαντικού οικοδομήματος, εξακολουθεί ν' αναγνωρίζεται ως *εγγενές και θεμελιακό* χαρακτηριστικό τόσο της λογικής δομής όσο και της φυσικής ερμηνείας της κβαντικής θεωρίας.

Ως εκ του αντικειμένου της συνεπώς η εργασία μας παρακολουθεί από πολύ κοντά την εξέλιξη *του επιστημονικού έργου* του Bohr και αναλύει διεξοδικά τις ιδιαίτερες επιστημολογικές και φιλοσοφικές του πτυχές. Κατ' αυτόν τον τρόπο, η μελέτη μας αποφέρει και έναν πρόσθετο σημαντικό, όπως πιστεύουμε, καρπό: συμβάλλει στη διαλεύκανση ενός ευρύτατου φάσματος παρανοήσεων που πηγάζουν από την αποσπασματική και μονομερή ανάγνωση ορισμένων ισχυρισμών του Bohr, εκείνων κυρίως των ισχυρισμών που διατυπώθηκαν *μετά* την ανακοίνωση της συμπληρωματικότητας. Η σύγκριση των θέσεων του Bohr κατά την προ- και μετά- τη συμπληρωματικότητα εποχή, μια σύγκριση που καταδεικνύει, *αφενός*, την αδιάλειπτη συνέχεια των επιστημολογικών και φιλοσοφικών του αντιλήψεων και, *αποκαλύπτει*, *αφετέρου*, το πραγματικό τους αντίκρισμα στο περιεχόμενο της κβαντικής θεωρίας, απουσιάζει πράγματι παντελώς από τη σχετική βιβλιογραφία. Το έλλειμμα δε αυτό επιτρέπει την εμφάνιση κριτικών αποτιμήσεων, όπως η ακόλουθη.

«Μετά το 1925, επικράτησε η 'αναρχική θέση' και η σύγχρονη κβαντική φυσική, υπό την ερμηνευτική προσέγγιση της σχολής της Κοπεγχάγης, κατέστη ένας από τους κύριους φορείς φιλοσοφικού σκοταδισμού. Στη νέα θεωρία, η περιβόητη αρχή της συμπληρωματικότητας του Bohr αναγόρευσε την ασθενή συνεκτικότητα σε θεμελιακή ιδιότητα της φύσης και, κατ' αυτόν τον τρόπο, συνένωσε τον υποκειμενικό θετικισμό, την αντι-λογική διαλεκτική και τη φιλοσοφία της καθημερινής γλώσσας σε μια ανίερη συμμαχία. Πράγματι, μετά το 1925, ο Bohr και οι συνεργάτες του συνέπραξαν σε μια χωρίς προηγούμενο υποβάθμιση των κριτηρίων επάρκειας των επιστημονικών θεωριών, γεγονός που κατέγραψε στο πεδίο της σύγχρονης φυσικής μια ήττα της λογικής, εφόσον τροφοδότησε την αναρχική λατρεία του ακατανόητου χάους» (Lakatos, 1984, σ. 145).

Μία τέτοιας έκτασης παρανόηση, και μάλιστα από έναν φιλόσοφο που πρότεινε μία ιστορικός ενημερωμένη θεώρηση της επιστημονικής εξέλιξης, θα είχε σίγουρα αποφευχθεί, εάν είχε μελετηθεί εις βάθος η σκληρή πράγματι μάχη της επιστημονικής κοινότητας με τα μυστήρια του κβαντικού κόσμου και η βήμα προς βήμα προσέγγιση της τελικής λύσης. Γιατί, όπως θα επιχειρήσουμε να δείξουμε, η έννοια της συμπληρωματικότητας εξέφρασε *τη μόνη δυνατή* συνεκτική και φυσικώς ερμηνευμένη απάντηση στα καινοφανή, στο πεδίο της φυσικής επιστήμης, ερωτήματα που εγέρθηκαν κατά την περίοδο γέννησης της κβαντικής θεωρίας.

Ως κεντρικός άξονας του πρώτου μέρους της εργασίας μας, τίθεται η AAB και η μελέτη των ιδιαίτερων επιστημολογικών και μεθοδολογικών της χαρακτηριστικών. Για να κατανοήσουμε δε την κρίσιμη συμβολή της συγκεκριμένης αρχής στην προώθηση της επιστημονικής έρευνας, αρκεί να παραθέσουμε δύο σχόλια. Σύμφωνα με την εκτίμηση του Jammer, «η Αρχή της Αντιστοιχίας αποδείχθηκε ένας εξαιρετικά εφευρετικός και παραγωγικός εννοιολογικός μηχανισμός όχι μόνο για την εξέλιξη της ‘παλαιάς’ κβαντικής μηχανικής, αλλά και για τη θεμελίωση της σύγχρονης κβαντικής θεωρίας» (Jammer, 1989, σ. 116). Σύμφωνα δε με την οξυδερκή παρατήρηση του van der Waerden, «η ερευνητική δραστηριότητα, κατά την περίοδο 1919 – 1925, εξέφραζε μια ‘συστηματική εικασία’ (‘systematic guessing’) καθοδηγούμενη από την Αρχή της Αντιστοιχίας» (van der Waerden, 1967, σ. 8).

Υπό μια αδρή περιγραφή, η AAB έφερε ως κύρια χαρακτηριστικά την αυστηρότητα των μεθοδολογικών της επιταγών και τον ανοικτό χαρακτήρα του περιεχομένου της. Ήταν δε ο ιδιαίτερος αυτός διπλός χαρακτήρας της, εκείνος που την καθιστούσε ικανή να υποστηρίζει, αλλά ταυτόχρονα και να προωθεί την εξέλιξη της ατομικής θεωρίας, μίας θεωρίας με ιδιαίτερος εύθραυστα θεμέλια. Ο Einstein, πολλά χρόνια αργότερα, εξέφρασε τον θαυμασμό του για τις σημειωθείσες, εκείνη την περίοδο, εξελίξεις με τον ακόλουθο χαρακτηριστικό τρόπο: «το ότι η ανασφαλής και αντιφατική αυτή θεωρία [η ‘παλιά’ κβαντική θεωρία] επέτρεψε σ’ έναν άνθρωπο με απaráμιλλο ένστικτο και λεπτότητα, όπως ο Bohr, ν’ ανακαλύψει τους σημαντικότερους νόμους της φασματοσκοπίας και των ατομικών τροχιών, καθώς και τη σημασία που αποκτούσαν οι συγκεκριμένοι νόμοι στο πεδίο της χημείας, μου φάνταζε τότε σαν θαύμα και έτσι μου φαντάζει ακόμη. Αυτή είναι η μέγιστη μορφή μουσικότητας στη σφαίρα της σκέψης» (Einstein, 1949α, σσ. 45-47).

Η μελέτη μας δεν ακολουθεί την ιστορική αλληλουχία των γεγονότων, ούτε αναφέρεται στην πληθώρα των σημαντικών επιτευγμάτων που είδαν το φως κατά την περίοδο γέννησης της κβαντικής θεωρίας. Στο πλαίσιο της εργασίας μας, η επιλογή, η παρουσίαση και η ανάλυση του ιστορικού υλικού διενεργούνται υπό την οπτική γωνία της σύγχρονης κβαντικής θεωρίας και συντείνουν στην πλήρωση των ακόλουθων στόχων. Πρώτον, υιοθετώντας την εκτίμηση του Bachelard, ότι «η επιστημονική σκέψη παρέχει μία αρχή για την ταξινόμηση των φιλοσοφιών και τη μελέτη της προόδου του λόγου» (Bachelard, 1940, από Tiles, 1984/1993, σ. 295), η επιστημολογική μας μελέτη αποσκοπεί στην κριτική αποτίμηση των φιλοσοφικών θεωρήσεων περί επιστημονικής εξέλιξης δια της συστηματικής τους αντιπαράθεσης

με τις διαδικασίες που επισυνέβησαν στο πεδίο της ενεργού επιστήμης κατά την περίοδο γέννησης της κβαντικής θεωρίας. Η διεξοδική δε ανίχνευση και αναδρομική αξιολόγηση των γνωσιακών δρόμων που ακολούθησε η επιστημονική σκέψη για να προσεγγίσει την κβαντική θεωρία, αποσκοπεί, περαιτέρω, στην ανάδειξη των δυναμικών εκείνων διαδικασιών μέσω των οποίων η φυσική επιστήμη κατόρθωσε να φθάσει στη μέγιστη έως σήμερα ανατροπή των παραδοχών της προϋπάρχουσας γνώσης. Δεύτερον, λαμβάνοντας σοβαρά (αλλά όχι κυριολεκτικά) υπόψη της την υπόδειξη του Duhem ότι «η απόδοση της ιστορίας μίας φυσικής αρχής αποφέρει, ταυτόχρονα, και τη λογική της ανάλυση» (Duhem, 1954/1991, σ. 269), η εργασία μας αποσκοπεί να συμβάλει στη βαθύτερη κατανόηση του φυσικού περιεχομένου της κβαντικής θεωρίας μέσω της μελέτης των γνωσιολογικών και εννοιολογικών της θεμελίων. Τέλος, υιοθετώντας τη θέση της Nersessian ότι «οι ιστορικές διαδικασίες προσφέρουν ένα μοντέλο της ίδιας της μαθησιακής δραστηριότητας» (Nersessian, 1992, σ. 40), η μελέτη μας επιχειρεί ν' αντλήσει από την ιστορία της επιστήμης δυναμικά εκπαιδευτικά εργαλεία γνωσιακής διείσδυσης στην κβαντική κοσμοθεώρηση. Η εκπαιδευτική αυτή συνιστώσα της μελέτης μας θα συγκεκριμενοποιηθεί σε μία ειδική ενότητα στο τέλος της εργασίας μας.

Σύμφωνα με τα παραπάνω, το πρώτο μέρος της εργασίας μας διαρθρώνεται με τον ακόλουθο τρόπο. Στην πρώτη κεφάλαιο (1^η ενότητα) αναλύεται η ατομική θεωρία του Bohr, μια θεωρία που λειτούργησε, σύμφωνα με τη δική μας ανάγνωση, ως *εφαλτήριο* για την εκκίνηση της επίπονης πορείας προς την κβαντική θεωρία. Κι' αυτό, για δύο λόγους. Κατ' αρχήν, η ατομική θεωρία διαμόρφωσε ένα προσωρινό, *εναλλακτικό* προς την κλασική θεωρία λογικό πλαίσιο, υπό την οπτική γωνία του οποίου μπορούσε να 'βλέπει' με διαφορετικό πλέον τρόπο κανείς τα εμπειρικά δεδομένα. Η ατομική όμως θεωρία συγκροτήθηκε, επιπροσθέτως, σύμφωνα με ορισμένες μεθοδολογικές αρχές που διάνοιγαν τη δυνατότητα *υπέρβασης* των εγγενών της αντιφάσεων. Καθώς δε οι συγκεκριμένες αρχές διαμορφώνουν την πρώτη 'ατελή' μορφή της AAB, κατά την ανάλυση της ατομικής θεωρίας, αποδίδουμε ιδιαίτερη σημασία στη μελέτη των μεθοδολογικών της ερεισμάτων.

Ο Norton, στην εργασία του, 'Πώς γνωρίζουμε για τα ηλεκτρόνια' (2000), για να υπερασπισθεί την 'πραγματική ύπαρξη των ηλεκτρονίων' αντλεί παραδείγματα από την ιστορία της επιστήμης και επιχειρεί να καταδείξει ότι το επιχείρημα του 'υποκαθορισμού' της θεωρίας από το πείραμα στερείται έγκυρων επιστημονικών στηριγμάτων. Στο πεδίο δε της ενεργού επιστήμης αναγνωρίζει μια συγκεκριμένη

μεθοδολογική στρατηγική που επερωτά με τον πλέον πειστικό, κατά τη γνώμη του, τρόπο το συγκεκριμένο επιχείρημα: την επονομαζόμενη, από τον ίδιο, στρατηγική της ‘αποδεικτικής επαγωγής’. Ο Norton αναδεικνύει ως εξέχον ιστορικό παράδειγμα αποδεικτικής επαγωγής τη μεθοδολογία που ακολούθησε ο Bohr κατά τη διατύπωση της πρώτης ατομικής θεωρίας. Στη δεύτερη λοιπόν ενότητα του πρώτου κεφαλαίου, η κριτική σύγκριση της θεώρησης του Norton με τη δική μας προσέγγιση μάς παρέχει την ευκαιρία να φωτίσουμε ακόμη περισσότερο τόσο τις θεμελιακές αρχές όσο και τους απώτερους στόχους της επιλογείσας από τον Bohr μεθοδολογίας.

Στο δεύτερο κεφάλαιο, επικεντρώνουμε την προσοχή μας σε δύο σημαντικές εργασίες της περιόδου γέννησης της κβαντικής θεωρίας: στην ‘Αδιαβατική Αρχή’ του Ehrenfest (1913 –1916) και στη ‘Στατιστική Ερμηνεία της Ακτινοβολίας’ του Einstein (1916). Κι’ αυτό, γιατί η επιτυχής ενσωμάτωση των φαινομενικά ασύνδετων αυτών εργασιών στο πλαίσιο της ατομικής θεωρίας προσέδωσε στην AAB το ακριβές μεθοδολογικό της περιεχόμενο, ενδυνάμωσε την ευρετική της αποτελεσματικότητα και οδήγησε σε μια πρώτη ασαφή, αλλά εν τούτοις απτή εμφάνιση των ουσιωδέστερων δομικών χαρακτηριστικών της κβαντικής θεωρίας.

Η AAB εξέφραζε μια τυπική ‘αναλογία’ μεταξύ της κλασικής θεωρίας, αφενός, και του προκαταρκτικού μορφώματος της κβαντικής θεωρίας, αφετέρου. Στην πρώτη λοιπόν ενότητα του τρίτου κεφαλαίου, αντιμετωπίζουμε την AAB υπ’ αυτήν της τη διάσταση και αναλύουμε τον χαρακτήρα και τη λειτουργία του αναλογικού σχήματος που αυτή αντιπροσώπευε. Στη δεύτερη ενότητα του τρίτου κεφαλαίου, η διεξοδική αντιπαράθεση των επιστημολογικών χαρακτηριστικών της AAB με τα αντίστοιχα χαρακτηριστικά των ‘αναλογιών συγκρότησης θεωρίας’, όπως αυτά ορίστηκαν από τον Boyd όταν εισήγαγε τον συγκεκριμένο όρο (Boyd, 1979), μας βοηθά ν’ αναγνωρίσουμε την ιδιαίτερη φύση των χαρακτηριστικών αυτών και να εκτιμήσουμε την προωθητική τους συμβολή στις απόπειρες συγκρότησης της κβαντικής θεωρίας.

Μια κεντρική θέση του λογικού εμπειρισμού, καθώς και των σύγχρονων φιλοσοφικών του απολήξεων, είναι η διάκριση μεταξύ πλαισίου ‘ανακάλυψης’ και πλαισίου ‘δικαιολόγησης’. Η θέση αυτή προκύπτει, κυρίως, από την ταύτιση της έννοιας της ‘ορθολογικότητας’ με τις αυστηρές συναγωγές της τυπικής λογικής. Στο τέταρτο λοιπόν κεφάλαιο, επιχειρούμε μια κριτική αποτίμηση της μεθοδολογικής πρακτικής του Bohr σε σχέση με τους επικρατέστερους φιλοσοφικούς προσδιορισμούς του όρου ‘ορθολογικότητα’ και καταλήγουμε στην καταγραφή των κατά Bohr ‘κριτηρίων ορθολογικότητας’, κριτηρίων που επέτρεπαν τη συστηματική

αξιολόγηση της ερευνητικής πορείας σε σχέση με τον επιδιωκόμενο στόχο. Τα εν λόγω κριτήρια, παρότι δεν υπάκουαν σε αυστηρούς λογικούς κανόνες, εκκινούσαν από εύλογες παραδοχές, συνιστούσαν προϊόντα μίας έλλογης αλληλουχίας κρίσεων και υποστηρίζονταν με ισχυρά επιστημονικά επιχειρήματα. Η ενδελεχής τους επομένως ανάλυση αναδεικνύει τις ‘ορθολογικές’ εκείνες αρχές που καθοδήγησαν την επιστημονική έρευνα κατά την περίοδο γέννησης της κβαντικής θεωρίας.

Κατά τη συγκρότηση και εφαρμογή της AAB, ο Bohr, ακολουθώντας τη διαισθητική του αντίληψη περί μιας ενδεχόμενης ‘ριζικής ρήξης’ της κβαντικής θεωρίας με τις κλασικές ιδέες, ανέπτυξε μια μεθοδολογική γραμμή που λάμβανε σοβαρά υπόψη της ό,τι αποκλήθηκε αργότερα ‘ασυμμετρία’ των διαδοχικών επιστημονικών θεωριών. Πράγματι, το μεθοδολογικό σχήμα της AAB δεν έθετε, καθοιονδήποτε άμεσο ή έμμεσο τρόπο, το αίτημα ενός κοινού ‘μέτρου’, προορισμένου να διασφαλίσει τη συνέχεια των δύο θεωριών. Στο πέμπτο λοιπόν κεφάλαιο, προχωρούμε σε μια εκτενή ανάλυση του τρόπου χρήσης της γλώσσας στο οριοθετούμενο από την AAB μεθοδολογικό πλαίσιο. Η ανάλυση αυτή μας βοηθά ν’ αναγνωρίσουμε τη βαθύτατη διαφοροποίηση της επιστημολογικής προσέγγισης του Bohr από τις θεωρήσεις εκείνες που, υπό τη φιλοσοφική ή την επιστημονική τους έκφραση, αναζητούν τη συνέχεια της επιστημονικής γνώσης, είτε σε μια κοινή, ‘ουδέτερη’ παρατηρησιακή γλώσσα (κατά το πρότυπο του θετικισμού), είτε στη συντακτική ενοποίηση των επιστημονικών θεωριών (κατά το πρότυπο των νομο-παραγωγικών ή ενοποιητικών μοντέλων επιστημονικής αναζήτησης), είτε στην κοινή αναφορά των όρων των διαδοχικών θεωριών (κατά το πρότυπο των προσκειμένων στον παραδοσιακό ρεαλισμό θεωρήσεων). Η ανάλυση αυτή μας βοηθά επίσης να πιστοποιήσουμε τον διαφορετικό μεθοδολογικό χαρακτήρα παράλληλων προς την AAB ερευνητικών προγραμμάτων (όπως, λόγου χάριν, των ερευνητικών προγραμμάτων του κύκλου του Göttingen ή της σχολής του Μονάχου), την πηγή των ενστάσεων που προκάλεσε η εφαρμογή της AAB, όπως επίσης και τις ισχυρές σχέσεις συνάφειας μεταξύ της εκάστοτε εφαρμοζόμενης μεθοδολογίας και των ευρύτερων επιστημολογικών και φιλοσοφικών αντιλήψεων του ερευνητή. Η διεξοδική, λόγου χάριν, διερεύνηση των επιστημολογικών και οντολογικών κριτηρίων που διαμόρφωσαν τη στάση των Heisenberg, Bohr και Einstein έναντι των σχέσεων απροσδιοριστίας μάς αποκαλύπτει τόσο το ουσιαστικό φυσικό περιεχόμενο των σχέσεων αυτών όσο και τα βαθύτερα κίνητρα των, εκ διαφορετικής κατεύθυνσης, αντιδράσεων που συνόδευσαν την ανακοίνωσή τους.

Τα κεφάλαια 1 – 5 καταδεικνύουν ότι οι στηρίζουσες την AAB επιστημολογικές αρχές όχι μόνο δεν υπέθαλπαν, αλλά αντίθετα επερωτούσαν όλες εκείνες τις μεθοδολογικές αντιλήψεις και πρακτικές που προσέβλεπαν με ρητό ή υπόρητο τρόπο σε μια σωρευτική εξέλιξη της επιστημονικής γνώσης. Στο έκτο λοιπόν κεφάλαιο της εργασίας μας, επιχειρούμε να προσδιορίσουμε ένα σχήμα ερευνητικής αναζήτησης στο οποίο ν' ανταποκρίνεται με *θετικό* πλέον τρόπο η AAB. Το σχήμα που παρουσιάζουμε προκύπτει εκ της σύνθεσης θέσεων που εκπορεύονται από τη δομική θεώρηση της επιστήμης. Το συγκεκριμένο δε σχήμα εναρμονίζεται με τα πορίσματα της προηγηθείσας ανάλυσης, επειδή συνδυάζει δύο αντικρουόμενες, εκ πρώτης όψεως, πτυχές: ενώ εγκολπώνεται, πιστοποιεί και ερμηνεύει τις διαδικασίες 'ριζικής' επιστημονικής ανακάλυψης, υποστηρίζει, αναδεικνύει και δικαιολογεί, παράλληλα, τη συνέχεια και την πρόοδο της επιστημονικής γνώσης.

Η πλήρης έλλειψη βιβλιογραφίας σχετικής με το προ της συμπληρωματικότητας έργο του Bohr, κατέστησε κύριες πηγές του πρώτου μέρους της εργασίας μας – με θετική, κατά τη γνώμη μας, κατάληξη – τις πρωτότυπες δημοσιεύσεις του Bohr, καθώς και ορισμένες διακεκριμένες, πρωτότυπες επίσης, δημοσιεύσεις άλλων επιστημόνων. Σημαντικά επίσης βοηθήματα για την εκπόνηση του πρώτου μέρους της εργασίας μας υπήρξαν οι ιστορικές μελέτες των Jammer (1974 και 1989), Pais (1991) και Darrigol (1992), καθώς και οι εκ των υστέρων μαρτυρίες επιστημόνων που πρωταγωνίστησαν εκείνη την περίοδο ή υπήρξαν στενοί συνεργάτες του Bohr.

Μέρος Δεύτερο. Στο δεύτερο μέρος της διατριβής, μελετάμε την αποδοθείσα, μέσω της συμπληρωματικότητας, φυσική ερμηνεία της κβαντικής θεωρίας, καθώς και την αναδυόμενη, από την ερμηνεία αυτή, κοσμοθεώρηση. Οφείλουμε δε να σημειώσουμε ότι, σε αντίθεση με το βιβλιογραφικό έλλειμμα που χαρακτηρίζει την περίοδο γέννησης της κβαντικής θεωρίας, η φυσική φιλοσοφία του Bohr, όπως αυτή διαμορφώνεται από τις μετά τη συμπληρωματικότητα θέσεις του, έχει τύχει ευρύτατης διαπραγμάτευσης και κριτικής. Πέραν των σχετικών αναφορών, αποτιμήσεων ή σχολιασμών που συναντώνται σε όλες σχεδόν τις περί την κβαντική θεωρία μελέτες, η φιλοσοφική θεώρηση του Bohr αποτελεί αποκλειστικό αντικείμενο εντρύφησης ενός σημαντικού αριθμού εργασιών (οι σημαντικότερες εξ αυτών: Folse, 1985, Murdoch, 1987, Honner, 1987, Faye, 1991, καθώς και οι συνοπτικότερες μελέτες της συλλογής J. Faye & H. Folse (eds), *Niels Bohr and Contemporary Philosophy*, 1994).

Η φυσική φιλοσοφία του Bohr έχει τοποθετηθεί από τους σχολιαστές της στα πλέον ετερογενή ρεύματα του φιλοσοφικού στοχασμού. Αναφέρουμε ενδεικτικά: ‘αιτιακός ρεαλισμός οντοτήτων’ (‘causal entity realism’, Folse, 1985), ‘σχεσιακός ρεαλισμός’ με ‘υπερβατολογικές’ πτυχές (‘relative realism’ – ‘transcendental philosophy’, Honner, 1987), ‘εργαλειοκρατικός ρεαλισμός’ (‘instrumentalistic realism’, Murdoch, 1987), θεώρηση σε νεο-καντιανή κατεύθυνση (Weizsäcker, 1980, Hooker, 1972), θεώρηση με θετικιστική ή εργαλειοκρατική κατεύθυνση (‘αμιγής θετικισμός’, Bunge, 1955, ‘θετικισμός υψηλότερου βαθμού’, Feyerabend, 1958, ‘εργαλειοκρατισμός’, Popper, 1963), αντι-ρεαλισμός (‘θετικιστικής κατεύθυνσης’ Fine, 1986, Beller & Fine, 1994, ‘αντικειμενικός αντι-ρεαλισμός’, Faye, 1991), πραγματισμός (Stapp 1993, Plonitsky, 1994), ιδεαλισμός (Aerts, 1998).

Οι αντικρουόμενες αυτές αποτιμήσεις μπορούν εν μέρει ν’ αποδοθούν στο ρηξικέλευθο περιεχόμενο της ερμηνευτικής προσέγγισης του Bohr, στον ποιοτικό κατά βάσει χαρακτήρα της συμπληρωματικότητας και στην ασαφή, λόγω της πολυσήμαντης ορολογίας, αρχική παρουσίαση της προτεινόμενης ερμηνείας. Στους παράγοντες όμως αυτούς οφείλουμε να προσθέσουμε την αποσπασματική, πολλές φορές, ανάγνωση της θεώρησης του Bohr, την έντεχνη απομόνωση και προβολή κατάλληλα επιλεγμένων αποσπασμάτων της ή την προσπάθεια προσαρμογής της σ’ ένα προ-αποφασισμένο φιλοσοφικό σχήμα. Ο ίδιος ο Bohr, αναφερόμενος προφανώς σε τέτοιας φύσεως στρεβλώσεις, εκτίμησε, στην τελευταία του προς τον Kuhn συνέντευξη, ότι «κανένας από εκείνους που αποκαλούνται φιλόσοφοι δεν μπόρεσε να κατανοήσει ότι [η συμπληρωματικότητα] αντιπροσωπεύει μία αντικειμενική περιγραφή και ότι αυτή είναι η μόνη δυνατή αντικειμενική περιγραφή» (Bohr, 1962).

Η διεξοδική μελέτη του ερευνητικού προγράμματος του Bohr, κατά την περίοδο γέννησης της κβαντικής θεωρίας, προφυλάσσει την εργασία μας από παρόμοια ερμηνευτικά ολισθήματα. Γιατί μία τέτοια μελέτη αποκαλύπτει με τον πλέον έγκυρο, κατά τη γνώμη μας, τρόπο τα επιστημονικά, επιστημολογικά και φιλοσοφικά ερείσματα της αποδοθείσας μέσω της συμπληρωματικότητας ερμηνείας. Αξιοποιώντας λοιπόν το πρώτο μέρος της διδακτορικής διατριβής, επιχειρούμε να προσεγγίσουμε τη φυσική φιλοσοφία του Bohr μέσω μίας διαφορετικής, από τη συνήθη, φιλοσοφικής στρατηγικής: λαμβάνοντας υπόψη μας τις ερευνητικές επιδιώξεις του Bohr κατά την περίοδο εφαρμογής της AAB, προσπαθούμε να κατανοήσουμε την ακλόνητη, μετά το 1927, πεποίθησή του σε σχέση με την *αναπόδραστη* και *οριστική* – αμετάκλητη από τις μελλοντικές επιστημονικές

εξελίξεις – παρουσία της συμπληρωματικότητας στο σώμα της επιστημονικής γνώσης. Με άλλα λόγια, επιχειρούμε να προσδιορίσουμε το φιλοσοφικό στίγμα της θεώρησης του Bohr δια της αναζήτησης και διερεύνησης των *ερεισμάτων* της βαθύτατης αυτής *μετα-επιστημονικής* του πεποίθησης. Σύμφωνα με τα προηγούμενα, το δεύτερο μέρος της εργασίας μας διαρθρώνεται με τον ακόλουθο τρόπο.

Στο πρώτο κεφάλαιο, επικεντρώνουμε την προσοχή μας στη δημοσιευμένη εκδοχή της διάλεξης του Como (Bohr, 1927a), στο κείμενο δηλαδή που προσφέρει την πρώτη συνεκτική ερμηνευτική απάντηση στα κρίσιμα ερωτήματα της περιόδου γέννησης της κβαντικής θεωρίας. Το κείμενο αυτό αποκαλύπτει με τον πιο άμεσο τρόπο την οργανική διασύνδεση της προτεινόμενης από τον Bohr ερμηνείας με τον αναπτυχθέντα, κατά την περίοδο γέννησης της κβαντικής θεωρίας, προβληματισμό. Επειδή όμως η ιδιότυπη ορολογία του Bohr και, κυρίως, η πολυσήμαντη αρχική χρήση του όρου ‘συμπληρωματικότητα’ έχουν δημιουργήσει πολυποίκιλες συγχύσεις, αναλύουμε την ερμηνευτική του προσέγγιση δια της συστηματικής αντιπαραβολής της αρχικώς χρησιμοποιηθείσας ορολογίας με τη μεταγενέστερη εκλεπτυσμένη της μορφή. Μία τέτοια ανάλυση, πέραν του ότι πιστοποιεί την άρρηκτη συνέχεια των αντιλήψεων του Bohr κατά την προ- και τη μετά- τη συμπληρωματικότητα εποχή, ευνοεί, παράλληλα, και την άρση των όποιων παρανοήσεων σε σχέση με τους μετά τη συμπληρωματικότητα ισχυρισμούς του. Γιατί, σε αντίθεση, με ό,τι έχει συχνά υποστηριχθεί (π.χ. Held, 1994), η εργασία μας καταδεικνύει, *πρώτον*, ότι η διαπιστούμενη λογική ανομοιογένεια των πρώιμων εκφράσεων της συμπληρωματικότητας δεν διαταράσσει καθιονδδήποτε τρόπο την ερμηνευτική συνεκτικότητα της κατά Bohr θεώρησης, και, *δεύτερον*, ότι οι μεταγενέστερες αλλαγές ορολογίας – αλλαγές που κρίθηκαν από τον Bohr αναγκαίες μετά τη σκληρή του αντιπαράθεση με τους EPR – άφησαν άθικτο τον πυρήνα της πρωταρχικής ερμηνείας, εκείνον τον πυρήνα που συναντάται αλώβητος σήμερα σε ορισμένες από τις πλέον δόκιμες σύγχρονες προσεγγίσεις στην κβαντική θεωρία.

Όπως προκύπτει από το πρώτο μέρος της εργασίας μας, κατά την περίοδο γέννησης της κβαντικής θεωρίας, μία σημαντική συνιστώσα της κατά Bohr έννοιας της ‘ορθολογικότητας’ αφορούσε τον επιδιωκόμενο τότε στόχο, όριζε, δηλαδή, τις προϋποθέσεις ‘ορθολογικής’ επάρκειας της υπό αναζήτηση κβαντικής θεωρίας. Στο δεύτερο λοιπόν κεφάλαιο, διερευνούμε με ποιο τρόπο η έννοια της συμπληρωματικότητας προσέδιδε στην κβαντική θεωρία τον χαρακτήρα της ‘ορθολογικής γενίκευσης’ της κλασικής φυσικής, όπως επίμονα ο Bohr υποστήριζε

(ένας ισχυρισμός που έχει ποικιλοτρόπως παρερμηνευθεί). Για τον σκοπό αυτό, διερευνούμε διεξοδικά το καθεστώς της ‘κλασικότητας’ εντός του κβαντικού πλαισίου, όπως το καθεστώς αυτό οριοθετείται από την έννοια του ‘φαινομένου’ (υπό τον ύστερο προσδιορισμό της, Bohr, 1938α), από τον θεμελιακό δηλαδή λίθο της κατά Bohr θεώρησης. Για την κατά το δυνατό δε πληρέστερη διαπραγμάτευση του συγκεκριμένου ζητήματος – ενός ζητήματος που βρίσκεται ακόμη και σήμερα στο επίκεντρο του επιστημονικού και φιλοσοφικού διαλόγου περί κβαντικής θεωρίας – εξετάζουμε τη θεώρηση του Bohr υπό μία σύγχρονη οπτική γωνία, στηρίζοντας την ανάλυσή μας σε ορισμένες από τις πλέον έγκυρες σύγχρονες προσεγγίσεις στην κβαντική θεωρία. Κατ’ αυτόν τον τρόπο, η εργασία μας αναδεικνύει, παράλληλα, το ισχυρό αντίκρισμα της θεώρησης του Bohr στον σύγχρονο προβληματισμό.

Στο τρίτο κεφάλαιο, η κριτική σύγκριση της θεώρησης του Bohr με ορισμένα ισχυρά ρεύματα της φιλοσοφικής διάνοησης (ρεύματα στα οποία η θεώρηση του Bohr έχει καταταγεί από του σχολιαστές της, βλ. ενότητες 1 – 3) καταδεικνύει ότι η φυσική φιλοσοφία του Bohr συνιστά ένα *αυτόνομο* φιλοσοφικό σχήμα (ενότητα 4.1) που συγκροτήθηκε υπό το κράτος μίας και μόνο επιδίωξης: της προσφοράς μιας συνεκτικής και κατά το δυνατό διαυγέστερης θέασης του φυσικού κόσμου υπό την οπτική γωνία της συμπληρωματικότητας, μίας έννοιας που, όπως ο ίδιος ο Bohr υποστήριζε, ‘είχε επιβληθεί στη φυσική επιστήμη από την ίδια τη φύση’ (Bohr, 1929γ). Έτσι, η ανάλυση του τρίτου κεφαλαίου αποκρούει τη μομφή περί ‘ιδεολογικής επικάλυψης’² και απαλλάσσει τη θεώρηση του Bohr από τις αδόκιμες φιλοσοφικές της ‘ταμπέλες’. Πέραν όμως αυτών, η διερεύνηση της συμβατότητας της θεώρησης του Bohr με τις θεμελιακές προκείμενες του παραδοσιακού ρεαλισμού, αποφέρει την διαπίστωση ότι οι υφιστάμενες ουσιαστικές, πράγματι, διαφοροποιήσεις δεν απορρέουν από τα αρχικώς τιθέμενα αιτήματα, αλλά από την προσπάθεια του Bohr να *προσαρμόσει* τα αιτήματα αυτά στην υποδεικνυόμενη από την κβαντική θεωρία οντολογία. Υπ’ αυτήν την προοπτική, εντάσσουμε τη φυσική φιλοσοφία του Bohr σ’ ένα ρεύμα που θα μπορούσε ν’ αποκληθεί ‘Σύγχρονος Επιστημονικός Ρεαλισμός’, με τη λέξη ‘Σύγχρονος’ να υποδηλώνει την απόλυτη συμβατότητα του κβαντικού φορμαλισμού με την υιοθετούμενη, από το ρεύμα αυτό, οντολογία. Στη συνέχεια, αντλώντας πολύτιμα στοιχεία από τον σύγχρονο

² Ορισμένοι εκπρόσωποι του ‘σκληρού προγράμματος’ του Εδιμβούργου, καθώς και ορισμένοι από τους σύγχρονους σχολιαστές της θεώρησης του Bohr, επιρρίπτουν στον Bohr την ευθύνη της ‘ιδεολογικής επικάλυψης’ του κβαντικού φορμαλισμού με a priori φιλοσοφικές δεσμεύσεις (η σχετική βιβλιογραφία παρατίθεται στο τρίτο κεφάλαιο του δεύτερου μέρους της εργασίας μας).

φιλοσοφικό στοχασμό (από θεωρήσεις, τις οποίες κατατάσσουμε με τα ίδια κριτήρια στον ‘Σύγχρονο Επιστημονικό Ρεαλισμό’), επιχειρούμε να διαμορφώσουμε μία οντολογικώς εμπλουτισμένη εικόνα της φυσικής πραγματικότητας, συμβατή με τη φυσική φιλοσοφία του Bohr (ενότητα 4.2). Γιατί ο ίδιος ο Bohr, αποσκοπώντας πρωτίστως στη διασφάλιση των όρων αντικειμενικότητας της επιστημονικής γνώσης, απέφευγε επιμελώς τους αμιγείς οντολογικούς ισχυρισμούς και εστίαζε κυρίως την προσοχή του στην ενδελεχή διερεύνηση των ερεισμάτων και των ορίων της ανθρώπινης γνώσης, μία διερεύνηση που απέβλεπε πάντοτε στον σαφή προσδιορισμό των συνθηκών ορθής χρήσης των εννοιολογικών μέσων έκφρασης.

Όπως προκύπτει από την 5^η ενότητα του τρίτου κεφαλαίου, η προσωπική συγκρότηση του Bohr συνέδραμε με καθοριστικό τρόπο το επιστημονικό του έργο: όπως οι ανοικτές και αντι-θεμελιωτικές επιστημολογικές του αντιλήψεις αποτυπώθηκαν ανεξίτηλα στη μεθοδολογική του στρατηγική – προσδίδοντας στην AAB την ικανότητα να καθοδηγήσει μία ευρείας κλίμακας αλλαγή θεωρίας – έτσι ακριβώς και ο ευρύτερος φιλοσοφικός του προβληματισμός δημιουργούσε πρόσφορο έδαφος για τη σύλληψη τόσο του ολιστικού φυσικού περιεχομένου της κβαντικής θεωρίας όσο και των ρηξικέλευθων επιστημολογικών της συνεπειών. Όπως όμως το σύνολο της εργασίας μας καταδεικνύει, ήταν τα ‘εσωτερικά’ προβλήματα της επιστήμης εκείνα που υποκίνησαν τη μεθοδολογική του στρατηγική και ήταν το επιστημονικό περιεχόμενο της κβαντικής θεωρίας εκείνο που τροφοδότησε και εδραίωσε τη φυσική του φιλοσοφία.

Το συμπέρασμα αυτό μας δίνει την ευκαιρία να σημειώσουμε ότι, κατά την παρατεταμένη στενή επαφή μας με το έργο του Bohr, αυτό που μάς εντυπωσίασε περισσότερο είναι η διαλεκτική αντίληψη που το διαπότιζε ή, μάλλον, το συγκροτούσε: όπως η φιλοσοφία, ως μόρφωμα ισχυρά επηρεαζόμενο από τις επιστημονικές εξελίξεις, ετίθετο πάντοτε ως διερευνητικό πρίσμα της επιστήμης, έτσι και η επιστήμη, ως μόρφωμα ανοιχτό στον φιλοσοφικό στοχασμό, ετίθετο πάντοτε ως διερευνητικό πρίσμα των φιλοσοφικών ιδεών που επιχειρούσαν τη διάγνωση, τη διαπραγμάτευση ή την ερμηνεία των επιστημονικών επιτευγμάτων. Η ανοικτή αυτή και άενα εξελισσόμενη, *εξ ανάδρασης*, προοπτική, όχι μόνο δεν υποβάθμιζε την αντικειμενικότητα και αξιοπιστία – την ‘ορθολογικότητα’ – των επιστημονικών του πονημάτων, αλλά ήταν εκείνη ακριβώς που, καθώς δεν περιοριζόταν από άκαμπτες πρωταρχικές δεσμεύσεις, έθετε κατ’ εξοχήν υγιείς βάσεις για τη συναγωγή έγκυρων και ταυτόχρονα καινοφανών συμπερασμάτων. Το έργο του Bohr υποδεικνύει, εν

τέλει, μία θεμελιακή επιστημολογική αναγκαιότητα: την αναγκαιότητα ουσιαστικής μετεξέλιξης των επιστημονικών και φιλοσοφικών εργαλείων ανάλυσης μέσω ενός δημιουργικού μεταξύ τους ‘διαλόγου’, ενός ‘διαλόγου’ που διανοίγει νέους, ανύποπτους ορίζοντες τόσο στην επιστημονική όσο και στη φιλοσοφική σκέψη.

Ολοκληρώνοντας, λοιπόν, το εισαγωγικό αυτό σημείωμα, δεν μπορούμε παρά να σημειώσουμε ότι, κατά την εκπόνηση της διατριβής, ήταν το ίδιο το υπό εξέταση αντικείμενο εκείνο που, με ρητό ή υπόρητο πολλές φορές τρόπο, ενέπνεε και καθοδηγούσε την ερευνητική μας αναζήτηση: η σύγχρονη φιλοσοφία της επιστήμης και της φυσικής, αλλά και η ίδια η σύγχρονη φυσική, προσέφεραν αναλυτικά εργαλεία, διεισδυτικές θεωρήσεις και εξελιγμένη θεωρητική και πειραματική γνώση, αντίστοιχα, για τη μελέτη μίας εκ των σημαντικότερων αλλαγών θεωρίας στην ιστορία της φυσικής επιστήμης· σε αντίστροφη κατεύθυνση, η ανάλυση των δυναμικών διαδικασιών μέσω των οποίων η φυσική επιστήμη κατόρθωσε να φθάσει στη μέγιστη έως σήμερα ανατροπή των παραδοχών της προϋπάρχουσας γνώσης έθετε κάθε στιγμή σε δοκιμασία τον σύγχρονο φιλοσοφικό στοχασμό. Έτσι, οι θετικές προτάσεις της διατριβής δεν ‘επιβλήθηκαν’ στα υπό διερεύνηση ζητήματα, αλλά προέκυψαν από την κριτική αποτίμηση και σύνθεση ενός ευρέος φάσματος φιλοσοφικών θέσεων και ιδεών. Τώρα που το επίπονο εγχείρημα της διατριβής έχει φθάσει στο τέλος του, πιστεύουμε ότι, ανεξάρτητα από τον βαθμό επιτυχίας του, ένας τέτοιος τρόπος διερώτησης μεταφέρει με τη μεγαλύτερη δυνατή πιστότητα το πνεύμα και το γράμμα του Bohr στο σύγχρονο φιλοσοφικό πλαίσιο.

ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ

A. Παρουσιάσεις σε Συνέδρια

- I) Χατζηδάκη Π., Σταύρου, Δ. & Καλκάνης, Γ., (1998), 'Η Προσομοίωση/Οπτικοποίηση των Αποδεκτών Σήμερα Φυσικών Μοντέλων του Μικρόκοσμου στον Η/Υ ως Διδακτικό Εργαλείο για τη Διευκόλυνση της Κατανόησης Εννοιών και Φαινομένων της Κβαντικής Φυσικής', 1^ο Πανελλήνιο Συνέδριο: 'Η Διδακτική των Φυσικών Επιστημών & η Εφαρμογή των Νέων Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση', Θεσσαλονίκη, 29-31 Μαΐου 1998, *Πρακτικά*, 303-308.
- II) Σταύρου, Δ., Χατζηδάκη, Π. & Καλκάνης, Γ., (1999) 'Ένα Μαθησιακό Περιβάλλον Υποστηριζόμενο από τη Σύγχρονη Τεχνολογία για μία Ποιοτική Προσέγγιση Βασικών Εννοιών της Κβαντικής Μηχανικής', 1^ο Διεθνές Συνέδριο Διδακτικής Φυσικών Επιστημών, Λευκωσία, Κύπρος, 3-5 Ιανουαρίου 1999, *Εισηγήσεις Συνέδρων*, 188-190.
- III) Stavrou, D., Hadzidaki, P. & Kalkanis, G., (1999), 'An Instructional Model for a Qualitative Approach to Quantum Mechanics Concepts', 8th European Conference for Research on Learning and Instruction (EARLI), Göteborg, Sweden, August 24-28, 1999, *Abstracts*, 485.
- IV) Hadzidaki, P., Stavrou, D. & Kalkanis, G., (1999), 'A Teaching Proposal Aiming at a Weak Reconstruction Toward Quantum-Mechanical Concepts', 2nd International Conference of the European Science Education Research Association (ESERA), August 31 - September 4, 1999, Kiel, Germany, *Proceedings*, 39-41.
- V) Χατζηδάκη, Π., Σταύρου, Δ. & Καλκάνης Γ., (2000), 'Επίπεδα Πραγματικότητας: Μια Επιστημολογική Προσέγγιση στη Διδασκαλία της Σύγχρονης Φυσικής', 2^ο Πανελλήνιο Συνέδριο: 'Η Διδακτική των Φυσικών Επιστημών και η Εφαρμογή Νέων Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση', Λευκωσία Κύπρου, 3-5 Μαΐου 2000, *Περίληψεις Εργασιών*, σ. 130.
- VI) Χατζηδάκη, Π., (2001), 'Η Κατανόηση της Φύσης της Επιστήμης ως Βάση και Στόχος της Εννοιολογικής Αλλαγής προς την Ποιοτική Προσέγγιση της Κβαντικής Φυσικής', Συμπόσιο: 'Η Συμβολή της Ιστορίας και Φιλοσοφίας των Φυσικών Επιστημών στη Διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών', Θεσσαλονίκη, 6-8 Απριλίου, 2001, *Πρακτικά*, 119-128.
- VII) Kalkanis, G., Dimitriadis, P., Papatsimpa, L., Tsakonas, P., Hadzidaki, P., Stavrou, D., Imvrioti, D., Patrinoopoulos, M., Straga, S., Dendrinis, K., Kyriaki, E., Hatzistompanis, Th., Dimopoulos, V., Fegou, E., Sotiropoulos, D. & Tsagogeorga, A., (2001), 'A Research (and an Appeal) for a Radical Reform of the Content, the Instructional Approach and the Supporting Technology of Science Education: From Relativistic/ Probabilistic Microcosmos to the Mechanistic/ Almost Certain Macrocosmos – The Case of Science Teachers', 3rd International Conference of the European Science Education Research Association (ESERA), August 21-25, 2001, Thessaloniki, Greece, *Proceedings*, 453-455.
- VIII) Hadzidaki, P. & Karakostas V., (2001), 'Exploring Analogical Reasoning in the Framework of an Instructional Qualitative Approach to Quantum Mechanics', 3rd International Conference of the European Science Education Research Association (ESERA), August 21-25, 2001, Thessaloniki, Greece, *Proceedings*, 426-428.
- IX) Χατζηδάκη, Π. & Καρακώστας, Β., (2002), 'Αντίληψη, Γλώσσα και Ποιοτική Διδακτική Προσέγγιση της Κβαντικής Φυσικής». 3^ο Πανελλήνιο Συνέδριο: 'Η Διδακτική των Φυσικών Επιστημών και η Εφαρμογή Νέων Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση', 9-11 Μαΐου 2002, Ρέθυμνο, *Περίληψεις Εργασιών*, 20. Έχει γίνει δεκτή προς δημοσίευση σε ειδικό τεύχος με επιλεγμένες εργασίες του Συνεδρίου.

- X) Χατζηδάκη, Π. & Καρακώστας, Β., (2003), 'Ρεαλισμός και Κατασκευασιοκρατία στην Κβαντική Θεωρία: Η Σημασία της Διαμάχης στη Διδασκαλία της Σύγχρονης Φυσικής', 2^ο Πανελλήνιο Συνέδριο: 'Η Συμβολή της Ιστορίας και Φιλοσοφίας των Φυσικών Επιστημών στη Διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών', 8-11 Μαΐου 2003, Αθήνα, *Πρακτικά*, 200-206.
- XI) Hadzidaki, P. & Karakostas, V., (2003), 'The Doctrine of Classical Language and Perception as Epistemological Obstacle Toward an Instructional Approach to Quantum Mechanics', 4th International Conference of the European Science Education Research Association (ESERA), August, 19-23, 2003, The Netherlands, *Abstracts*, 32.
- XII) Hadzidaki, P., (2004), 'The Bohr – Einstein 'Debate' Concerning Quantum Theory in View of the Prominent Theories of Scientific Explanation', 1st World Olympic Congress of Philosophy, June 27 – July 4, 2004, Athens-Spetses, *Abstracts*, 249-250.
- XIII) Χατζηδάκη, Π., (2004), 'Επιστημονική Εξήγηση και Κατανόηση: Η Σημασία της διάκρισης στο Πλαίσιο μιας Ποιοτικής Διδακτικής Προσέγγισης στην Κβαντική Φυσική', 4^ο Πανελλήνιο Συνέδριο: 'Η Διδακτική των Φυσικών Επιστημών και η Εφαρμογή Νέων Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση', 26-28 Νοεμβρίου 2004, Αθήνα, *Πρακτικά*, 382-388.
- XIV) Hadzidaki, P., (2005), 'Einstein vs. Bohr in Relation to Physical Explanation', Abdera International Forum on the Philosophy and History of Natural Science, July 7-10, 2005, Abdera, Greece.
- XV) Hadzidaki, P., (2005), 'Quantum Mechanics and Scientific Explanation – An Explanatory Strategy Aiming at Providing Understanding', 8th International History, Philosophy, and Science Teaching Conference, July 15-18, 2005, Leeds, England, *Abstracts*, 53.
- XVI) Χατζηδάκη Π., (2005), 'Το Μικροσκόπιο του Heisenberg ως Δυναμικό Εκπαιδευτικό Εργαλείο Εμβάθυνσης στην Κβαντική Φυσική και στη Φύση της Επιστήμης', 3^ο Πανελλήνιο Συνέδριο: 'Η Συμβολή της Ιστορίας και Φιλοσοφίας των Φυσικών Επιστημών στη Διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών', Σεπτέμβριος 2005, Αθήνα, *Πρακτικά*, 184-191.
- XVII) Χατζηδάκη Π., (2005), 'Η Ορθολογικότητα της Επιστημονικής Αναζήτησης κατά την Περίοδο Μετάβασης από την Κλασική στην Κβαντική Θεωρία', 10^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Φιλοσοφίας: 'Φιλοσοφία των Επιστημών', Θεσσαλονίκη, 6-8 Μαΐου 2006, *Βιβλίο Περιλήψεων*, 98-100.

B. Δημοσιεύσεις

- I) Hadzidaki, P., Kalkanis, G. & Stavrou, D., (2000), 'Quantum Mechanics: A Systemic Component of the Modern Physics Paradigm', *Physics Education*, 35 (6), 386-392.
- II) Hadzidaki, P., (2003), 'History and Philosophy of Science: An Instructional Base for Attaining a Qualitative Approach to Quantum Mechanics Worldview', *Themes in Education* 4(1), 37-48.
- III) Kalkanis, G., Hadzidaki, P. & Stavrou, D., (2003), 'An Instructional Model for a Radical Conceptual Change Toward Quantum Mechanics Concepts', *Science Education* 87, 257-280.
- IV) Karakostas, V. & Hadzidaki, P., (2005), 'Realism vs. Constructivism in Contemporary Physics: The Impact of the Debate on the Understanding and Teaching Quantum Theory', *Science & Education*, 14(6), 607-629.

- V) Hadzidaki, P., (2005), 'The Bohr – Einstein Debate Concerning Quantum Theory in View of the Prominent Theories of Explanation', in K. Boudouris & K. Kalimtzis (eds), *Philosophy, Competition and the Good Life*, Vol. II, Ionia Publications, Athens, 112-130. Απόδοση στα ελληνικά, Χατζηδάκη, Π., (2005), 'Η Διαμάχη Bohr – Einstein περί Κβαντικής Θεωρίας υπό το Φως των Κεντρικών Θεωρήσεων περί Επιστημονικής Εξήγησης', στο Κ. Βουδούρης & Ε. Μαραγγιανού (eds), *Φιλοσοφία, Ανταγωνιστικότητα και Αγαθός Βίος*, Τόμος Α', Εκδόσεις Ιωνία, Αθήνα, 390-411.
- VI) Hadzidaki, P., (2006), 'Quantum Mechanics and Scientific Explanation: An Explanatory Strategy Aiming at Providing Understanding', υποβλήθηκε προς κρίση για δημοσίευση στο *Science & Education*.
- VII) Hadzidaki, P., (2006), 'The Heisenberg Microscope: A Powerful Instructional Tool for Promoting Meta-Cognitive and Meta-Scientific Thinking on Quantum Mechanics and the Nature of Science', υποβλήθηκε προς κρίση για δημοσίευση στο *Science & Education*.

ΜΕΡΟΣ ΠΡΩΤΟ

**ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΕΠΙΣΤΗΜΟΛΟΓΙΚΗΣ ΘΕΩΡΗΣΗΣ
ΤΟΥ ΝΙΕΛΣ ΒΟΗΡ**

**Η ΑΡΧΗ ΤΗΣ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΙΑΣ
ΩΣ 'ΦΟΡΕΑΣ ΑΝΑΚΑΛΥΨΗΣ' ΤΗΣ ΚΒΑΝΤΙΚΗΣ ΘΕΩΡΙΑΣ**

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ

Η ΠΡΩΤΗ ΑΤΟΜΙΚΗ ΘΕΩΡΙΑ ΤΟΥ NIELS BOHR

1. Η πρώτη ατομική θεωρία προσφέρει μια ‘υποθετική’ και ‘προκαταρκτική’ απάντηση στο ερώτημα περί της σταθερότητας των ατόμων

Η πρώτη ‘ατελής’ εμφάνιση της Αρχής της Αντιστοιχίας

Η πρώτη επίσημη διατύπωση της ατομικής θεωρίας του Niels Bohr εμφανίζεται στην περιώνυμη εργασία του «Περί της συγκρότησης των ατόμων και μορίων», μια εργασία που δημοσιεύτηκε σε τρία μέρη στο *Philosophical Magazine* (Bohr, Ιούλιος, Σεπτέμβριος και Νοέμβριος, 1913α, *NBCW2*, σσ. [161]-[233]). Απώτερος στόχος του ερευνητικού προγράμματος, στο οποίο εντασσόταν η συγκεκριμένη εργασία, ήταν η ερμηνεία των ιδιοτήτων των χημικών στοιχείων βάσει του νέου πλανητικού μοντέλου του Rutherford. Το ατομικό όμως αυτό μοντέλο αδυνατούσε να προβλέψει μια προφανή ιδιότητα των ατόμων: τη σταθερότητά τους ως αυτόνομων μονάδων, αλλά και έναντι των εξωτερικών επιδράσεων. Έτσι, η ατομική θεωρία του Bohr αντιπροσωπεύει την πρώτη προσπάθεια θεωρητικής συναρμογής του νέο-προταθέντος πλανητικού μοντέλου με την απαίτηση της σταθερότητας των ατόμων. Όπως ο ίδιος ο Bohr ανέφερε σε γράμμα του προς τον Rutherford, πρωταρχικός στόχος του πρώτου μέρους της ‘τριλογίας’ του ήταν «η συζήτηση της συγκρότησης των ατόμων και μορίων στη ‘μόνιμη’ κατάσταση (‘permanent’ state)» (Γράμμα του Bohr προς τον Rutherford, Ιανουάριος, 1913β, *NBCW2*, σ. [107]).

Ο Bohr θεώρησε ότι τα πλανητικά ηλεκτρόνια εκτελούσαν απλές κλειστές περιοδικές κινήσεις γύρω από τον κατά προσέγγιση σημειακό και θετικά φορτισμένο βαρύ ατομικό πυρήνα. Εξασφάλισε δε την απαίτηση της ατομικής σταθερότητας με την *ad hoc* εισαγωγή της μη-κλασικής έννοιας της ‘στάσιμης’ κατάστασης (‘stationary’ state), μιας έννοιας που θ’ αποδεικνυόταν κρίσιμης σημασίας καθ’ όλη τη διάρκεια εφαρμογής της AAB. Η έννοια αυτή αναφερόταν, κατ’ αρχήν, στη ‘μόνιμη’ ή ‘φυσική’ (‘natural’) κατάσταση του ατόμου, σ’ εκείνη δηλαδή «την πλέον σταθερή, από ενεργειακή άποψη, ατομική κατάσταση, υπό την οποία η απόσπαση του ηλεκτρονίου [ή των ηλεκτρονίων] από την έλξη του πυρήνα απαιτούσε το μέγιστο ποσό ενέργειας» (Bohr, 1913α, *NBCW2*, σ. [165]). Γενικότερα, όμως, η έννοια της ‘στάσιμης’ κατάστασης «αντιστοιχούσε σ’ όλες εκείνες τις καταστάσεις, υπό τις οποίες, εφόσον δεν παρεμβαλλόταν κάποια εξωτερική διαταραχή, το ατομικό

σύστημα, ως μη δυνάμενο εξ υποθέσεως ν' ακτινοβολήσει ενέργεια, παρέμενε ενεργειακά σταθερό» (στο ίδιο, σ. [165]). Υπ' αυτήν την έννοια, η ονομασία 'στάσιμες' «υποδήλωνε ότι οι συγκεκριμένες καταστάσεις συνιστούσαν κάποιο είδος θέσεων 'αναμονής', μεταξύ των οποίων λάμβανε χώρα η εκπομπή ενέργειας που αντιστοιχούσε στις διάφορες φασματικές γραμμές» (Bohr, 1914α, *NBCW2*, σ. [293]). Η κίνηση των ηλεκτρονίων στις στάσιμες καταστάσεις εκλήφθηκε ως υποκείμενη στους συνήθεις νόμους της κλασικής μηχανικής.

Η δεύτερη εμπνευσμένη σύλληψη του Bohr ήταν η σύνδεση ύλης – ακτινοβολίας μέσω της αντίστοιχης σύνδεσης του πλανητικού μοντέλου του Rutherford με τη θεωρία ακτινοβολίας του Planck. Η σύνδεση όμως αυτή έφερνε για πρώτη φορά σε άμεση επαφή τους συνεχείς νόμους της κλασικής θεωρίας με την κβαντική ασυνέχεια. Ο Bohr, έχοντας πλήρη επίγνωση της ριζοσπαστικότητας του εγχειρήματος, φρόντισε να τονίσει, εξ αρχής, ότι μια τέτοια σύνδεση «εισήγαγε αναγκαστικά στις εξισώσεις κίνησης των ηλεκτρονίων το στοιχειώδες κβάντο δράσης (τη σταθερά του Planck), μια ποσότητα που ήταν ξένη προς τους νόμους της κλασικής ηλεκτροδυναμικής» (Bohr, 1913α, *NBCW2*, σ. [162]). Η καινοφανής αυτή ανάμιξη της κλασικής θεωρίας με τις ιδέες της κβάντωσης αποτυπώνεται ξεκάθαρα στις δύο κεντρικές παραδοχές της ατομικής θεωρίας, όπως αυτές ορίστηκαν από τον ίδιο τον Bohr, μετά τη σκόπιμη απομόνωσή τους από το υπόλοιπο σώμα της εργασίας. Οι παραδοχές αυτές όριζαν ότι:

- (1) «Η δυναμική ισορροπία των συστημάτων στις στάσιμες καταστάσεις μπορεί να συζητηθεί με τη βοήθεια της συνηθισμένης μηχανικής, ενώ, αντίθετα, το 'πέραςμα' ενός συστήματος από μια στάσιμη κατάσταση σε μια άλλη δεν μπορεί να μελετηθεί σ' αυτή τη βάση» (στο ίδιο, σ. [167]).
- (2) «Η δεύτερη από τις παραπάνω διαδικασίες συνοδεύεται από εκπομπή ομογενούς [μονοχρωματικής] ακτινοβολίας, η συχνότητα της οποίας συνδέεται με την εκπεμπόμενη ενέργεια μέσω της οριζόμενης από τη θεωρία του Planck σχέσης» (στο ίδιο, σ. [167]).

Οι παραδοχές αυτές, εάν διατυπωθούν αναλυτικότερα και συνδυασθούν με την έννοια της 'στάσιμης' κατάστασης, οδηγούν στην ακόλουθη εικόνα.

A. Ένα άτομο μπορεί να βρεθεί σε συγκεκριμένες μόνο ενεργειακές καταστάσεις, οι οποίες διαμορφώνουν μια ασυνεχή σειρά 'στάσιμων' καταστάσεων. Οι 'στάσιμες'

καταστάσεις χαρακτηρίζονται από ενεργειακή σταθερότητα: η επιταχυνόμενη κίνηση των ηλεκτρονίων που τις καταλαμβάνουν δεν συνοδεύεται, *εξ υποθέσεως*, από εκπομπή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Η υπόθεση αυτή, μια υπόθεση που αντιβαίνει ευθέως στους νόμους της κλασικής φυσικής, αποτέλεσε, υπό την ονομασία ‘κβαντικό αξίωμα’ (‘quantum postulate’), την *αναλλοίωτη* και *αδιαπραγμάτευτη* προκείμενη της ατομικής θεωρίας καθ’ όλη τη διάρκεια εφαρμογής της AAB.

- B.** Ένα άτομο εκπέμπει ή απορροφά ακτινοβολία *μόνο* κατά τη διάρκεια μιας ηλεκτρονικής μετάπτωσης από μια στάσιμη κατάσταση σε μια άλλη. Η συχνότητα της *μονοχρωματικής* αυτής ακτινοβολίας δίνεται από τη διαφορά των ενεργειών που αντιστοιχούν στις στάσιμες καταστάσεις, μεταξύ των οποίων λαμβάνει χώρα η μετάπτωση, διαιρεμένη με τη σταθερά του Planck. Η συγκεκριμένη υπόθεση, η οποία αποκαλείται συνήθως ‘κανόνας συχνότητας’ (‘frequency rule’, $h\nu = \Delta E$), παραβιάζει ευθέως την κλασική ηλεκτροδυναμική: μέσω αυτής *καταργείται* η ταύτιση της συχνότητας κίνησης της πηγής (στη συγκεκριμένη περίπτωση του κινούμενου σε μια συγκεκριμένη τροχιά ηλεκτρονίου) με τη συχνότητα της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας.
- Γ.** Οι μεταπτώσεις μεταξύ των στάσιμων καταστάσεων (στις οποίες αποδίδεται συχνά και ο χαρακτηριστικός όρος ‘κβαντικά άλματα’) είναι *αιφνίδιες* και *ασυνεχείς* και, ως εκ τούτου, μη περιγράψιμες μέσω της κλασικής μηχανικής και ηλεκτροδυναμικής. Η υπόθεση αυτή βρίσκεται σε ευθεία αντίθεση με την κλασική επιταγή της αιτιακής συνεχούς χωρο-χρονικής εξέλιξης των φυσικών φαινομένων.
- Δ.** Η κίνηση των ηλεκτρονίων σε μια συγκεκριμένη στάσιμη κατάσταση μελετάται μέσω των νόμων της κλασικής μηχανικής.

Οι συγκεκριμένες παραδοχές διαφοροποιούνται μεταξύ τους τόσο ως προς τον χαρακτήρα όσο και ως προς τη λειτουργία. Η παραδοχή (A) προσέφερε μια *ad hoc* απάντηση στο κεντρικό ερώτημα του Bohr, το ερώτημα περί της σταθερότητας των ατόμων. Φέροντας δε εκ της ίδιας της διατύπωσής της το στοιχείο της ασυνέχειας, η παραδοχή αυτή εναρμονιζόταν πλήρως με την ασυνεχή θεωρία της ακτινοβολίας του Planck. Έτσι, οι συμβατές μεταξύ τους παραδοχές (A) και (B) συνέδεαν τα φαινόμενα της ύλης και της ακτινοβολίας σ’ ένα εναλλακτικό, προς την κλασική

θεωρία, λογικό πλαίσιο, υπό την οπτική γωνία του οποίου μπορούσε να ‘βλέπει’ πλέον κανείς με διαφορετικό τρόπο τα εμπειρικά δεδομένα. Υπ’ αυτήν την έννοια, οι παραδοχές (Α) και (Β) αντιπροσώπευαν τα *θεμελιακά αξιώματα* της πρώτης ατομικής θεωρίας. Αντίθετα, η παραδοχή (Γ) συνιστούσε *αναγκαία* συνέπεια των παραδοχών (Α) και (Β): το καθεστώς ασυνέχειας των στάσιμων καταστάσεων απαγόρευε, εκ λόγων αρχής, τη χρήση των συνεχών εξισώσεων της κλασικής θεωρίας για την περιγραφή των ηλεκτρονικών μεταπτώσεων και οδηγούσε, αναπόφευκτα, στον αιφνίδιο και ασυνεχή χαρακτήρα των κβαντικών ‘αλμάτων’. Τέλος, η παραδοχή (Δ) οριοθετούσε με ακρίβεια το πεδίο, εντός του οποίου η *προσωρινή* και *δοκιμαστική* χρήση των νόμων της κλασικής θεωρίας φαινόταν κατ’ αρχήν δυνατή.

Η παραδοχή (Α), όχι μόνο παρέμεινε ακλόνητη, παρά τη μετέπειτα ουσιαστική μετεξέλιξη του περιεχομένου της ατομικής θεωρίας, αλλά ήταν εκείνη που καθοδηγούσε με αυστηρότητα τις εκάστοτε επιχειρούμενες ανασκευές. Τα όρια ισχύος της παραδοχής (Β), και κατ’ επέκταση της (Γ), επανεξετάζονταν υπό το φως των σημειούμενων εξελίξεων, ενώ ο τρόπος εφαρμογής τους καθοριζόταν από τις ιδιομορφίες του εκάστοτε διερευνούμενου προβλήματος. Οι μεθοδολογικές όμως επιταγές των παραδοχών (Γ) και (Δ), σε σχέση με το πεδίο δυνατής εφαρμογής των κβαντικών και των κλασικών αρχών αντίστοιχα, ενσωματώθηκαν στην εξελιγμένη μορφή της AAB και τηρήθηκαν με απαρέγκλιτο τρόπο καθ’ όλη τη διάρκεια της εφαρμογής της. Επανερχόμενοι λοιπόν στο περιεχόμενο της πρώτης ατομικής θεωρίας, θα επιχειρήσουμε ν’ αναδείξουμε εκείνα ακριβώς τα σημεία της ‘τριλογίας’ που υποβοηθούν την ανάλυση της επιλεγείσας από τον Bohr μεθοδολογίας, μιας μεθοδολογίας που, όπως ο ίδιος αναγνώρισε αργότερα, εμπεριείχε ‘εν σπέρματι’, τις βασικές αρχές της AAB (Bohr, 1922ε, *NBCW4*, σ. [259]).

Η πρώτη ατομική θεωρία περιοριζόταν στη μελέτη του ατόμου του υδρογόνου, η συνολική ενέργεια του οποίου συμπίπτει με τη συνολική ενέργεια (κινητική και δυναμική) του μοναδικού πλανητικώς κινούμενου ηλεκτρονίου του. Βάσει της παραδοχής (Δ), η ενέργεια αυτή υπολογίζεται μέσω των εξισώσεων της κλασικής φυσικής και βρίσκεται ίση με $E = -\frac{e^2}{2r}$ (1), όπου r η ακτίνα της κυκλικής τροχιάς του ηλεκτρονίου, $+e$, $-e$ τα φορτία του ηλεκτρονίου και του πυρήνα, αντίστοιχα, ενώ η ηλεκτρική σταθερά k_c έχει ληφθεί ίση με τη μονάδα. Βάσει της κλασικής, επίσης, φυσικής (η δύναμη Coulomb δρα ως κεντρομόλος) η συχνότητα περιστροφής

του ηλεκτρονίου σε κυκλική τροχιά ακτίνας r γύρω από τον πυρήνα δίνεται από τη σχέση $v' = \frac{e}{2\pi\sqrt{\mu r^{3/2}}}$ (2), όπου μ η μάζα του ηλεκτρονίου. Δια της απαλοιφής της

ακτίνας r από τις (1) και (2), παίρνουμε $v' = \frac{\sqrt{2}E^{3/2}}{\pi e^2 \sqrt{\mu}}$ (3).

Η υπόθεση όμως (A) απαιτούσε τη διατύπωση κάποιου ‘κανόνα επιλογής’ (‘selection rule’), ο οποίος θα επέτρεπε την επιλογή, εξ όλων των κλασικά επιτρεπτών καταστάσεων, εκείνων των καταστάσεων που θα εκλαμβάνονταν ως ‘στάσιμες’ καταστάσεις του συστήματος. Ο Bohr θεώρησε ότι η ενέργεια της n -στης, έστω, στάσιμης κατάστασης του ατόμου του υδρογόνου ήταν ίση με την ενέργεια ‘συνένωσης’ ενός ακίνητου ηλεκτρονίου με έναν επίσης ακίνητο βαρύ πυρήνα υδρογόνου που βρισκόταν σε άπειρη αρχικώς απόσταση από το ηλεκτρόνιο. Τότε, η ενέργεια της n -στης στάσιμης κατάστασης ανταποκρινόταν, βάσει της (1), στην εξίσωση: $E_n = -\frac{e^2}{2r_n}$ (4), στην ενέργεια δε αυτή αντιστοιχούσε, βάσει της (3), μια τροχιακή συχνότητα, έστω ν' , του κινούμενου ηλεκτρονίου.

Ο Bohr εξέλαβε το ηλεκτρόνιο ως απλό αρμονικό ταλαντωτή συχνότητας ίσης με τη μέση συχνότητα της αρχικής του κατάστασης (η οποία ήταν ίση με μηδέν, εφόσον το ηλεκτρόνιο θεωρήθηκε αρχικά ακίνητο) και της τελικής του κατάστασης (η οποία ήταν ίση με την τροχιακή του συχνότητα ν' στη n -στη στάσιμη κατάσταση του ατόμου). Κατ’ επέκταση, βάσει της θεωρίας του Planck, η συχνότητα και η ενέργεια της αναμενόμενης να εκπεμφθεί ακτινοβολίας όφειλαν να είναι αντίστοιχα ίσες με $\nu = \frac{\nu'}{2}$ (5) και $E_\infty - E_n = n \frac{h\nu'}{2}$, με $n = 1,2,3, \dots$ (6). Η τελευταία εξίσωση,

συνδυαζόμενη με την (3), οδηγούσε στον επιζητούμενο κανόνα επιλογής, $E_n = -\frac{Kh}{n^2}$ (7) με $K = \frac{2\pi^2 \mu e^4}{h^3}$, ο οποίος εξέφραζε ταυτόχρονα και τον ‘κανόνα κβάντωσης’ (‘quantum rule’) του συστήματος.

Η συσχέτιση της εξίσωσης (7) με την παραδοχή (B) οδηγούσε, κατά άμεσο πλέον τρόπο, στον υπολογισμό των συχνοτήτων του ενεργειακού φάσματος του υδρογόνου. Γιατί, εάν θεωρούσε κανείς ότι, κάθε φορά, ήταν επιτρεπτή *μια* μόνο μετάπτωση μεταξύ δύο στάσιμων καταστάσεων n' και n'' , η σχέση $E_{n'} - E_{n''} = h\nu''$ παρείχε

ευθέως τις αναμενόμενες, βάσει των πειραματικών δεδομένων, φασματικές συχνότητες του υδρογόνου $\nu'' = K\left(\frac{1}{n''^2} - \frac{1}{n'^2}\right)$ (8).¹

Ο Bohr, εκκινώντας, λοιπόν, από τα αξιώματα της ατομικής του θεωρίας, εξήγαγε μέσω παραγωγικών υπολογισμών τις σχέσεις (7) και (8), οι οποίες εξέφραζαν καλώς επιβεβαιωμένους εμπειρικούς νόμους της φασματοσκοπίας: η μεν πρώτη επέτρεπε τον θεωρητικό υπολογισμό της σταθεράς K , η οποία συνέπιπτε με την εμπειρική σταθερά του Rydberg, η δε δεύτερη βρισκόταν σε απόλυτη συμφωνία με τον εμπειρικό τύπο του Balmer, έναν τύπο που τα υφιστάμενα τότε θεωρητικά σχήματα αδυνατούσαν να προβλέψουν. Έως το σημείο συνεπώς αυτό, ο Bohr ακολούθησε μια πορεία *ατελούς παραγωγής*, εφόσον η σχέση, λόγου χάριν, $\nu = \frac{\nu'}{2}$ (5), δεν προέκυπτε από την αξιωματική θεμελίωση της ατομικής θεωρίας, αλλά από μια μη-αυστηρή αναλογία με τη θεωρία του Planck.

Ο Bohr, προβαίνοντας σε μια κριτική αποτίμηση της αποδεικτικής του πορείας, αναγνώρισε τα εξής: **α)** Η σχέση (5) συνιστούσε μια 'ειδική' παραδοχή της ατομικής θεωρίας, η οποία, παρότι εύλογη, ήταν ανεπαρκώς τεκμηριωμένη. **β)** Εάν κάποιος ερμήνευε τη σχέση (6) σύμφωνα με τη θεωρία του Planck, θα κατέληγε στο συμπέρασμα ότι η συνένωση ενός ηλεκτρονίου με τον πυρήνα οδηγούσε στην εκπομπή n κβάντων φωτός, αναλόγως της στάσιμης κατάστασης E_n του ατόμου μετά την εκπομπή. Όπως όμως παρατήρησε, «εάν θεωρήσει κανείς συστήματα στα οποία η συχνότητα είναι συνάρτηση της ενέργειας, μια τέτοια παραδοχή δεν διαθέτει προφανή, τουλάχιστον, ερείσματα. Γιατί, στην περίπτωση αυτή, ευθύς μόλις εκπεμφθεί ένα κβάντο φωτός, η ενέργεια, όπως είναι ευνόητο, θα μεταβληθεί» (στο ίδιο, σ. [172]). Κι' αυτό βεβαίως σήμαινε την κατάλυση της ενεργειακής σταθερότητας των στάσιμων καταστάσεων.

Όπως ισχυρίστηκε, λοιπόν, ο Bohr, μια συνεπής ερμηνεία της σχέσης (6) μπορούσε να προκύψει μόνο εκ της υπόθεσης ότι, κατά τη διάρκεια μιας μετάπτωσης, δεν εκπέμπονται n κβάντα φωτός συχνότητας $\frac{\nu'}{2}$, αλλά ένα κβάντο φωτός συχνότητας $\nu = f(n)\nu'$ (9). Η ορθότητα δε των αρχικών αποτελεσμάτων μπορούσε

¹ Οι αναλυτικοί υπολογισμοί εμπεριέχονται στην πρώτη ενότητα του πρώτου μέρους της 'τριλογίας' (NBCW2, σσ. [163] - [168]).

να επιβεβαιωθεί μόνο δια της κατάδειξης ότι $f(n) = \frac{n}{2}$ (10). Γιατί τότε η συχνότητα του ενός κβάντου φωτός θα δινόταν πλέον, μέσω της (8), από τη σχέση $\nu = \frac{n}{2}\nu'$ και η τυπική μορφή της σχέσης (6) θα παρέμενε αναλλοίωτη.

Πράγματι ο Bohr, αποδεχόμενος, έναντι της (5), τη γενικότερη σχέση (9), επανέλαβε τους αρχικούς υπολογισμούς και κατέληξε στην επίσης γενικότερη, έναντι της (8), σχέση $\nu'' = K\left(\frac{1}{f^2(n'')} - \frac{1}{f^2(n')}\right)$ (11).

Στο σημείο όμως αυτό, προχώρησε σ' έναν μεθοδολογικό χειρισμό που θα χαρακτήριζε την AAB καθ' όλη τη μετέπειτα εφαρμογή της. Κατ' αρχήν, *παρενέβαλε* στον μαθηματικό φορμαλισμό τα καλώς επιβεβαιωμένα εμπειρικά αποτελέσματα της φασματοσκοπίας. Συγκεκριμένα, παρατήρησε ότι, για να εξαγάγει κανείς από τη σχέση (11) τον εμπειρικό τύπο του Balmer, όφειλε να θεωρήσει ότι $f(n) = cn$ (12), όπου c σταθερά. Στη συνέχεια, για να υπολογίσει τη σταθερά c , ισχυρίστηκε ότι η σχέση (11) όφειλε να παρέχει στο πεδίο των μεγάλων κβαντικών αριθμών *τα ίδια*, κατά προσέγγιση, αποτελέσματα με την κλασική θεωρία. Εξετάζοντας, λοιπόν, μια μετάπτωση μεταξύ δύο διαδοχικών στάσιμων καταστάσεων με $n = N$ και $n = N-1$, διαπίστωσε τα εξής: «εάν το N είναι μεγάλο, σύμφωνα με τις εξισώσεις που προκύπτουν από τις κεντρικές παραδοχές της ατομικής θεωρίας, ο λόγος των τροχιακών συχνοτήτων πριν και μετά την εκπομπή ακτινοβολίας είναι πολύ κοντά στη μονάδα. Ακολουθώντας τότε *τη συνηθισμένη ηλεκτροδυναμική*, μπορούμε εύλογα να αναμένουμε ότι και ο λόγος της συχνότητας της ακτινοβολίας προς την τροχιακή συχνότητα θα είναι επίσης πολύ κοντά στη μονάδα. Η συνθήκη όμως αυτή ικανοποιείται μόνο εάν $c = \frac{1}{2}$ » (στο ίδιο, σ. [173]).

Κατ' αυτόν τον τρόπο, η ορθότητα των αρχικών υπολογισμών είχε πλέον πιστοποιηθεί. Γιατί, η σχέση (12) έπαιρνε τη μορφή $f(n) = \frac{n}{2}$ και, μέσω της τελευταίας, η εξίσωση (11) κατέληγε στην αρχικώς αποδειχθείσα σχέση (8). Εφόσον δε η εγκυρότητα των παρεμβαλλόμενων βοηθητικών παραδοχών είχε πλέον ελεγχθεί, η χρήση τους δεν διατάρασσε την αξιοπιστία των παραγωγικών συλλογισμών της αρχικής απόδειξης. Αντίθετα, η χρήση αυτή επέτρεπε «την απλή αναπαράσταση των αποτελεσμάτων της θεωρίας» (στο ίδιο, σ. [174]).

Παρ' όλα αυτά, ο Bohr, επιθυμώντας να διερευνήσει ακόμη περισσότερο τη βαθύτερη σημασία των παραδοχών του, αναρωτήθηκε τι μπορούσε να σημαίνει η εκπομπή ενός κβάντου φωτός συχνότητας $\nu = n \frac{1}{2} \nu'$, εφόσον μια τέτοια ερμηνευτική παραδοχή ερχόταν σε αντίθεση με τη θεωρία του Planck. Θέτοντας λοιπόν $\bar{\nu} = \frac{1}{2} \nu'$, απάντησε με τον ακόλουθο τρόπο:

(A1.1) «Η δυνατότητα εκπομπής μιας ακτινοβολίας τέτοιας συχνότητας [$\nu = n \bar{\nu}$] είναι δυνατό να ερμηνευθεί με τρόπο *ανάλογο* προς τη συνηθισμένη ηλεκτροδυναμική. Γιατί, όπως γνωρίζουμε, [σύμφωνα με την κλασική θεωρία], ένα ηλεκτρόνιο που διαγράφει ελλειπτική τροχιά γύρω από τον πυρήνα θα εκπέμψει ακτινοβολία που μπορεί ν' αναλυθεί κατά Fourier σε ομογενείς [αρμονικές] συνιστώσες, οι συχνότητες των οποίων είναι $n \bar{\nu}$, εάν $\bar{\nu}$ είναι η συχνότητα της αντίστοιχης κυκλικής τροχιάς γύρω από τον πυρήνα» (στο ίδιο, σ. [174]).

Στο απόσπασμα αυτό αποτυπώνεται ξεκάθαρα η απόπειρα χρήσης των κλασικών εργαλείων για την κατανόηση της βαθύτερης σημασίας των καινούργιων παραδοχών. Ο χειρισμός δε αυτός καταγράφει την παρθενική εμφάνιση ενός ακόμη κεντρικού μεθοδολογικού άξονα της AAB. Δια της συστηματικής λοιπόν κωδικοποίησης των ιδιαίτερων εκείνων χαρακτηριστικών της AAB που εμφανίζονται ως μεθοδολογικοί 'οδηγοί' από την πρώτη ήδη διατύπωση της ατομικής θεωρίας, διαμορφώνουμε πλέον την ακόλουθη εικόνα.

1. *Αναγνώριση της υφιστάμενης λογικής ασυμβατότητας μεταξύ της κλασικής και της κβαντικής θεωρίας.* Ο Bohr διατύπωσε την 'τριλογία' του υπό την πεποίθηση ότι τα συσσωρευμένα, έως τότε, άλυστα επιστημονικά προβλήματα καταδείκνυαν, πέραν κάθε αμφιβολίας, την «*ακαταλληλότητα* της κλασικής ηλεκτροδυναμικής για την περιγραφή της συμπεριφοράς των ατομικών συστημάτων» (στο ίδιο, σ. [162]). Γι' αυτό και φρόντισε ν' αναδείξει, εξ αρχής, τη *λογική ασυμβατότητα* της θεωρίας του Planck με την κλασική θεωρία, υπογραμμίζοντας ότι «η ακτινοβολία ενέργειας από ένα ατομικό σύστημα εκλαμβάνεται από τη θεωρία του Planck ως *μη* εκπεμπόμενη κατά τον συνεχή τρόπο που προβλέπεται από την κλασική θεωρία» (στο ίδιο, σ. [164]). Κατά την άποψη λοιπόν του Bohr, «η αποδοχή της θεωρίας του Planck σηματοδότησε την απερίφραστη αναγνώριση της *ακαταλληλότητας* της συνηθισμένης ηλεκτροδυναμικής και, κατ' επέκταση, την *οριστική* απομάκρυνση από το συνεκτικό σώμα ιδεών που τη στηρίζει» (Bohr, 1914a, *NBCW2*, σ. [292]).

2. *Σαφής καθορισμός των ορίων εφαρμογής της κλασικής θεωρίας στο κβαντικό πλαίσιο.* Υπό το φως των παραπάνω διαπιστώσεων, ο Bohr προχώρησε, μέσω της

πρώτης παραδοχής της θεωρίας του (ή της παραδοχής Δ σύμφωνα με τη δική μας κατάταξη) στον σαφέστερο καθορισμό των ορίων εφαρμογής της κλασικής φυσικής στο πλαίσιο της ατομικής θεωρίας. Δεν παρέλειψε δε να διευκρινίσει ότι η χρήση της κλασικής μηχανικής δεν ισοδυναμούσε με αποδοχή της ισχύος της κλασικής θεωρίας στο υποατομικό επίπεδο. Απλώς, «μέσω της χρήσης αυτής, γινόταν δυνατός ο υπολογισμός κάποιων μέσων τιμών που αφορούσαν την κίνηση των ηλεκτρονίων στις στάσιμες καταστάσεις. Καθώς δε η δυναμική ισορροπία [η κίνηση] των ηλεκτρονίων στις καταστάσεις αυτές δεν συνοδευόταν από κάποια σχετική μεταξύ τους μετατόπιση, οι υπολογισμοί που αφορούσαν τη συγκεκριμένη κίνηση δεν απαιτούσαν τον διαχωρισμό των πραγματικών κινήσεων από τις μέσες τιμές τους» (στο ίδιο, σ. [167]). Υπ' αυτή λοιπόν και μόνο την έννοια, η χρήση της κλασικής μηχανικής ήταν επιτρεπτή. Παρ' όλα αυτά, ο Bohr σε γράμμα του προς τον Rutherford, δεν μπόρεσε παρά να εκφράσει την αγωνία του για τη μεθοδολογική εγκυρότητα του όλου εγχειρήματος. «Ελπίζω», έγραψε, «ότι θα βρείτε εύλογη την οπτική γωνία που υιοθέτησα σε σχέση με το ευαίσθητο ερώτημα της ταυτόχρονης χρήσης της παλιάς μηχανικής και των εισαχθέντων, από τη θεωρία του Planck, νέων παραδοχών» (Γράμμα του Bohr προς τον Rutherford, 6 Μαρτίου 1913γ, *NBCW2*, σ. [112]).

3. Η AAB ως τυπική αναλογία μεταξύ της ατομικής θεωρίας και της κλασικής ηλεκτροδυναμικής. Ποια ήταν όμως η υιοθετηθείσα από τον Bohr οπτική γωνία; Πέραν της σαφούς οριοθέτησης του πεδίου εφαρμογής της κλασικής θεωρίας, η μεθοδολογική προσέγγιση του Bohr πρότεινε, όπως ο ίδιος ισχυρίστηκε, «την πιο αρμονική αναλογία μεταξύ της παλιάς ηλεκτροδυναμικής και των εισαχθέντων [μέσω της ατομικής θεωρίας] παραδοχών» (Γράμμα του Bohr προς τον Rutherford, 21 Μαρτίου 1913δ, *NBCW2*, σ. [113]). Μια πρώτη εφαρμογή της συγκεκριμένης αναλογίας αποτυπώνεται ξεκάθαρα στο απόσπασμα (A1.1): ο Bohr δέχθηκε ότι οι σχέσεις που συνέδεαν την τροχιακή κίνηση των ηλεκτρονίων με τη συχνότητα της εκπεμπόμενης από το άτομο ακτινοβολίας είχαν *ανάλογη τυπική μορφή* με τις κλασικές εκείνες σχέσεις που συνέδεαν την κίνηση μιας πηγής με την εκπεμπόμενη από την πηγή ακτινοβολία. Μια δεύτερη εφαρμογή της εν λόγω αναλογίας εμφανίστηκε, όταν ο Bohr παραβίασε, μέσω της σχέσης $\nu = \frac{\nu'}{2}$ (5), μια θεμελιώδη αρχή της κλασικής ηλεκτρομαγνητικής θεωρίας, αλλά εφάρμοσε μια *ανάλογη* τυπική σχέση στο κβαντικό επίπεδο. Η αναλογία βέβαια για την οποία μιλάμε δεν είναι άλλη

από την AAB στις δύο πρώτες εμβρυακές της εμφανίσεις: η AAB ήταν μια τυπική αναλογία που εισήγαγε θεωρητικούς όρους και συντακτικές σχέσεις της κλασικής φυσικής στο θεωρητικό πλαίσιο της ατομικής θεωρίας.

4. Η AAB ως μεθοδολογικό 'εργαλείο' για τη συγκρότηση της κβαντικής θεωρίας. Η AAB υπήρξε μια τυπική αναλογία που όχι μόνο δεν απέκρυβε, αλλά αντίθετα προέβαλε την υφιστάμενη λογική ασυμβατότητα μεταξύ της κλασικής και της ατομικής θεωρίας. Έτσι, η AAB δεν μπορεί να ειπωθεί, όπως ίσως ο όρος 'αντιστοιχία' υποβάλλει, ως φορέας κάποιας επιχειρούμενης συντακτικής ενοποίησης των λογικών σχημάτων της κλασικής και της κβαντικής φυσικής.² Οφείλει μάλλον να ειπωθεί ως ένα εμπνευσμένο μεθοδολογικό εργαλείο, το οποίο, κατά την πρώτη φάση της εφαρμογής του, συνέβαλε στον έλεγχο της εγκυρότητας των 'ειδικών' ή 'βοηθητικών' παραδοχών (όπως π.χ. της σχέσης $v = \frac{v'}{2}$) που παρεμβάλλονταν στις διαδικασίες λογικής παραγωγής των εμπειρικών νόμων. Στη συνέχεια, όμως, υπό την εξελιγμένη της πλέον μορφή (§A-2.3), η AAB αποτέλεσε το κύριο μέσο προώθησης της επιστημονικής έρευνας προς την 'ανακάλυψη' της κβαντικής θεωρίας (§A-6).

5. Η AAB προσέδιδε στα πειραματικά αποτελέσματα τον χαρακτήρα ενός 'διάλλου επικοινωνίας' μεταξύ της κβαντικής και της κλασικής θεωρίας. Η AAB, πέραν του ότι καθιστούσε δυνατή τη χρήση του κλασικού φορμαλισμού στο κβαντικό πλαίσιο, επιτελούσε μια ακόμη, κρίσιμης σημασίας, λειτουργία: έθετε σ' επικοινωνία την κβαντική με την κλασική θεωρία στο κοινό πεδίο εφαρμογής τους, στο πεδίο, δηλαδή, των μεγάλων κβαντικών αριθμών (§A-3.1). Επιλέξαμε τον όρο 'επικοινωνία' για να υπογραμμίσουμε και πάλι το γεγονός ότι η AAB ουδέποτε εφαρμόστηκε, ούτε θα ήταν δυνατό, εκ του τρόπου συγκρότησής της, να εφαρμοσθεί, ως μέσο λογικής σύνδεσης της κλασικής και της κβαντικής θεωρίας. Η AAB επιτύγχανε, αντίθετα, την 'επικοινωνία' των δύο θεωριών δια της συστηματικής παρεμβολής των εμπειρικών δεδομένων μεταξύ των λογικών τους δομών. Η πορεία που ακολούθησε ο Bohr για να τεκμηριώσει την εγκυρότητα της σχέσης $v = \frac{v'}{2}$ μας έχει ήδη δώσει ένα πρώτο χαρακτηριστικό παράδειγμα της εν λόγω διαδικασίας. Ο ίδιος εξέθεσε τον υποκείμενο στη διαδικασία αυτή συλλογισμό με τον ακόλουθο τρόπο:

(A1.2) «Μπορούμε ν' αντλήσουμε περισσότερες πληροφορίες για τη συχνότητα της εκπεμπόμενης [κατά τη διάρκεια μιας μετάπτωσης] ακτινοβολίας, εάν

² Μια εκτενής ανάλυση του συγκεκριμένου θέματος παρουσιάζεται στην ενότητα §A-5.2.

συγκρίνουμε, στην περιοχή των ταλαντώσεων μικρής συχνότητας [στην περιοχή των μεγάλων κβαντικών αριθμών], τα αποτελέσματα των υπολογισμών που βασίζονται στις προτεινόμενες από την παρούσα εργασία κεντρικές παραδοχές με τα αποτελέσματα της συνηθισμένης μηχανικής. Γιατί, όπως είναι γνωστό, οι υπολογισμοί της κλασικής μηχανικής βρίσκονται σε πλήρη συμφωνία με τα πειραματικά αποτελέσματα στην προαναφερθείσα περιοχή συχνοτήτων» (Bohr, 1913α, *NBCW2*, σ. [172]).

Μια τέτοια μεθοδολογική πρακτική διαμόρφωνε έναν τύπο αναλογίας, της οποίας η 'βάση' (η κλασική θεωρία) και ο 'στόχος' (η κβαντική θεωρία) ελέγχονταν διαρκώς από τα καλώς επιβεβαιωμένα αποτελέσματα της εμπειρικής έρευνας. Κατ' αυτόν τον τρόπο, η AAB όριζε ως *πεδίο ελέγχου* της εκάστοτε προτεινόμενης μέσω αυτής αναλογίας το πεδίο κοινής εφαρμογής των δύο θεωριών (το πεδίο των μεγάλων κβαντικών αριθμών). Ήταν δε αυτή ακριβώς η αναμενόμενη διαδικασία ελέγχου που ώθησε τον Bohr, λίγο μετά την ολοκλήρωση της τριλογίας του, να γράψει στον Moseley: «προς το παρόν, έχω σταματήσει να ασχολούμαι με τα άτομα. Αισθάνομαι την ανάγκη να περιμένω την παραγωγή καινούργιων εμπειρικών αποτελεσμάτων» (Γράμμα του Bohr προς τον Moseley, Νοέμβριος 1913ε, *NBCW2*, σ. [133]).

Λίγο αργότερα, τα πειράματα του Stark, τα οποία διερευνούσαν την επίδραση των ηλεκτρικών πεδίων στα ατομικά φάσματα εκπομπής, παρείχαν στον Bohr την ευκαιρία να ελέγξει, για μια ακόμη φορά, την αξιοπιστία της 'αναλογίας' του. Είναι δε η πρώτη φορά που η αναλογία αυτή εμφανίζεται υπό τον προσδιορισμό 'Αρχή της Αντιστοιχίας' (χειρόγραφο του Bohr, αρχές του 1914, *NBCW2*, σ. [382].) Ο τρόπος με τον οποίο χειρίστηκε ο Bohr το φαινόμενο Stark αναδεικνύει με τον καλύτερο τρόπο τη διαμεσολαβητική λειτουργία των πειραματικών δεδομένων και τον διενεργούμενο, μέσω αυτής, συστηματικό έλεγχο των θεωρητικών υπολογισμών.

Ο Bohr, μέσω μιας σειράς παραγωγικών υπολογισμών που εκκινούσαν από τα αξιώματα της ατομικής θεωρίας, κατέληξε σε μια σχέση, (έστω A),³ η οποία προέβλεπε, ως αποτέλεσμα της επίδρασης του ηλεκτρικού πεδίου στο άτομο του υδρογόνου, τον διαχωρισμό κάθε στάσιμης κατάστασης n σε δύο διαφορετικές τροχιές (έστω τις $+$ και $-$). Τότε, όμως, βάσει του κανόνα συχνότητας, θα έπρεπε να εμφανίζεται ένας *τετραπλός* διαχωρισμός των φασματικών γραμμών του υδρογόνου αντί του διαπιστούμενου, από τα πειράματα Stark, *διπλού* διαχωρισμού. Ο Bohr, εφαρμόζοντας τη σχέση A για μεγάλες τιμές του n , παρατήρησε ότι οι ενδεχόμενες, μεταξύ $+$ και $-$ τροχιών, μεταπτώσεις οδηγούσαν σε *ασυνεχή* αλλαγή τροχιάς ακόμη

³ Η ακριβής μορφή της σχέσης A , καθώς και οι αναλυτικοί υπολογισμοί του Bohr εμπεριέχονται στις σελίδες [358]-[359] της εργασίας 'On the Effect of Electric and Magnetic Fields on Spectral Lines' (Bohr, 1914α, *NBCW2*, σσ. [347]-[368]).

και στην περιοχή των μεγάλων κβαντικών αριθμών. Στην περιοχή όμως αυτή, η επιβαλλόμενη από την κλασική θεωρία *συνεχής εξέλιξη* των φαινομένων όφειλε να διατηρηθεί. Έτσι, ο Bohr δεν δίστασε ν' απορρίψει τις μεταξύ + και - τροχιών μεταπτώσεις, προβάλλοντας τον ακόλουθο ισχυρισμό:

(A1.3) «Για να επιτύχουμε *τη συνέχεια* εκείνη που είναι απαραίτητη για να διατηρηθεί η σύνδεση με τη συνηθισμένη ηλεκτροδυναμική, θεωρήσαμε ότι το σύστημα μπορεί να 'περάσει' μεταξύ διαφορετικών στάσιμων καταστάσεων της ίδιας και *μόνο* σειράς [μεταξύ, δηλαδή, (+ και +) ή (- και -) τροχιών]» (Bohr, 1914α, *NBCW2*, σ. [359]).

Όπως επισημαίνει ο Darrigol, «αυτό είναι το πρώτο ιστορικό παράδειγμα διατύπωσης κανόνων επιλογής βάσει της θεώρησης μιας αντιστοιχίας μεταξύ των ιδιοτήτων της κλασικής κίνησης και της προβλεπόμενης από την κβαντική θεωρία ακτινοβολίας» (Darrigol, 1992, σ. 91). Εμείς θα προσθέταμε ότι κρίσιμος παράγοντας για την επιτυχή εφαρμογή της συγκεκριμένης αντιστοιχίας υπήρξε η *παρεμβολή* των εμπειρικών αποτελεσμάτων μεταξύ των θεωρητικών σχημάτων της κλασικής και της κβαντικής θεωρίας. Γιατί, μέσω της παρεμβολής αυτής, κατέστη δυνατή η αναγνώριση *των ορίων* της θεωρούμενης αναλογίας. Η παρεμβολή βεβαίως αυτή υλοποιούσε μια από τις κύριες μεθοδολογικές επιταγές της AAB.

6. *Η ατομική θεωρία απέβλεπε σε μια ενοποιημένη και συνεκτική ερμηνεία ενός συνόλου φαινομενικά ασύνδετων προβλημάτων.* Παρότι το πρώτο σπουδαίο επίτευγμα της ατομικής θεωρίας ήταν η θεωρητική πρόβλεψη των εμπειρικών φασματικών νόμων, η ερευνητική προοπτική του Bohr ήταν πολύ ευρύτερη. Κι' αυτό, γιατί διαμορφωνόταν υπό την πεποίθηση ότι η αδυναμία πρόβλεψης των εμπειρικών δεδομένων οφειλόταν «στην ελλιπή κυρίως γνώση των νόμων που διέπουν τις ατομικές διαδικασίες» (Bohr, 1914α, *NBCW2*, σ. [286]). Έτσι, ο Bohr παρουσίασε τον ερευνητικό του στόχο ως εξής:

(A1.4) «Στόχος μου δεν είναι να προτείνω μια εξήγηση των φασματικών νόμων, αλλά να δείξω ένα δρόμο μέσω του οποίου ίσως καταστεί δυνατό να φέρουμε τους φασματικούς νόμους σε στενή σχέση με άλλες ιδιότητες των στοιχείων που φαίνονται εξίσου ανεξήγητες στην παρούσα κατάσταση της επιστήμης» (στο ίδιο, σ. [286]).

Μέσω της ατομικής θεωρίας, ο Bohr δεν επεδίωξε λοιπόν να προσφέρει μια ικανοποιητική απάντηση σ' ένα επί μέρους ερώτημα, αλλά να θέσει το ορθό εκείνο ερώτημα που θα οδηγούσε, μέσω της κατάλληλης ερευνητικής μεθοδολογίας, σε μια *ενοποιημένη και συνεκτική* ερμηνεία ενός συνόλου φαινομενικά ασύνδετων προβλημάτων. Έτσι, κατά την πρώτη δημόσια συζήτηση της εργασίας του, «ο Bohr αναγνώρισε ότι η θεωρία του δεν ήταν πλήρης, αλλά, συμπλήρωσε αμέσως ότι, εάν

κάποιος θεωρούσε ότι η κβαντική θεωρία έπρεπε να γίνει αποδεκτή, ένα κάποιο σχήμα, όπως το προτεινόμενο, ήταν οπωσδήποτε αναγκαίο» (ο Jeans αναφερόμενος στην ετήσια συνάντηση του 'Βρετανικού συνδέσμου για την ανάπτυξη της επιστήμης', 1913, *NBCW2*, σ. [124]).

Είναι χαρακτηριστικό, ότι η κβάντωση της στροφορμής, μια σχέση που παρουσιάζεται από τα περισσότερα εγχειρίδια φυσικής ως μία από τις αξιωματικές αρχές της ατομικής θεωρίας, υποβαθμίζεται σημαντικά κατά την παρουσίαση της 'τριλογίας'. Όπως επισημαίνει ο Jammer, «εάν ο Bohr επέλεγε να θεσπίσει την κβάντωση της στροφορμής με αξιωματικό τρόπο, θα μπορούσε να παρουσιάσει τη θεωρία του υπό μια πλέον συμπαγή μαθηματική μορφή. Αλλά, ο Bohr επερωτώντας σταθερά την αξιοπιστία της 'παλιάς μηχανικής' στο υποατομικό επίπεδο, απέρριψε την εναλλακτική αυτή λύση και προτίμησε να εμπιστευθεί την Αρχή της Αντιστοιχίας» (Jammer, 1989, σ. 80). Εμείς θα προσθέταμε ότι η αξιωματικοποίηση της συγκεκριμένης σχέσης θα μετατόπιζε το τεθέν ερευνητικό ερώτημα και θα εξειδίκευε το προς επίλυση πρόβλημα. Γιατί, κατά την αντίληψη του Bohr, η ουσιαστική και ενοποιημένη επίλυση μιας σειράς κρίσιμων προβλημάτων απαιτούσε την κατανόηση της ατομικής δομής και των σχετιζόμενων με αυτήν διαδικασιών. Η ατομική επομένως θεωρία συγκροτήθηκε με τρόπο που παρείχε «μια πρώτη υποθετική και προκαταρκτική απάντηση στο ερώτημα περί της συγκρότησης των ατόμων και μορίων» (Bohr, 1913a, *NBCW2*, σ. [179]).

Τελικά, η συνθήκη κβάντωσης της στροφορμής προέκυπτε ως δευτερεύον αποτέλεσμα του όλου εγχειρήματος. Πράγματι, από τη σχέση (6) συνάγεται ότι

$$E_n = -n \frac{h\nu'}{2} = -nh \frac{\omega'}{4\pi} \text{ με } \omega' \text{ τη γωνιακή ταχύτητα του πλανητικά κινούμενου ηλεκτρονίου. Σύμφωνα όμως με την κλασική φυσική, η κινητική ενέργεια του ηλεκτρονίου είναι ίση με } E_{κιν} = -E_n, \text{ οπότε είναι επίσης ίση με } E_{κιν} = nh \frac{\omega'}{4\pi} \text{ (13),}$$

ενώ η στροφορμή του είναι ίση με $L = \mu u r = \frac{2E_{κιν}}{\omega}$ (14), όπου u η γραμμική ταχύτητα του ηλεκτρονίου και r η ακτίνα της κυκλικής του τροχιάς. Ο συνδυασμός των σχέσεων (13) και (14) παρέχει άμεσα τη συνθήκη κβάντωσης της στροφορμής

$$L = n \frac{h}{2\pi} \text{ (15). Ο Bohr σχολίασε τη συγκεκριμένη συνθήκη, ως εξής:}$$

(A1.5) «Είναι προφανές ότι δεν τίθεται θέμα μηχανικής θεμελίωσης των υπολογισμών που εμπεριέχονται στην παρούσα εργασία. Παρ' όλα αυτά, είναι

δυνατό να διερμηνεύσει κανείς με απλό τρόπο τα συναγόμενα, από τους υπολογισμούς αυτούς, αποτελέσματα με τη βοήθεια *συμβόλων* που αντλήθηκαν από τη συνηθισμένη μηχανική» (Bohr, 1913α, *NBCW2*, σ. [175]).

Η συνθήκη λοιπόν (14) ‘διερμηνευε’, απλώς, τα αποτελέσματα της ατομικής θεωρίας μέσω ‘συμβόλων’ που αντλήθηκαν από τη ‘συνηθισμένη μηχανική’. Το σχόλιο αυτό μας συνδέει με μια πρόσθετη, ιδιαιτέρως προσωπική μεθοδολογική έγνοια του Bohr, μια έγνοια που πήγαζε από τη βαθύτατη πεποίθησή του για τον σημαίνοντα ρόλο της γλώσσας στο πεδίο της ερευνητικής αναζήτησης. Η χρήση του όρου ‘σύμβολο’ στο παραπάνω απόσπασμα απορρέει από αυτόν ακριβώς τον προβληματισμό.

7. *Οι κλασικές έννοιες ως ‘σύμβολα’ στο πλαίσιο της κβαντικής θεωρίας.* Η διατύπωση της ατομικής θεωρίας συντελέστηκε υπό το καθεστώς δύο αντικρουόμενων τάσεων. Από τη μια πλευρά, ο Bohr διαισθανόταν ότι οι υποκρυπτόμενες στα προς επίλυση προβλήματα δυσκολίες απαιτούσαν τη δραστική απομάκρυνση από τις ‘συνηθισμένες’, όπως τις χαρακτήριζε, θεωρήσεις. Από την άλλη όμως πλευρά, αντιλαμβανόταν ότι ήταν μόνο η καλώς εδραιωμένη γνώση της κλασικής φυσικής εκείνη που μπορούσε να προσφέρει τα αναγκαία τυπικά μέσα για την προσέγγιση της κβαντικής θεωρίας. Η επιλεγθείσα συνεπώς μεθοδολογία όφειλε να επιτελεί μια *διττή* λειτουργία: να επιτρέπει, *αφενός*, τη χρήση των κλασικών τυπικών εργαλείων στο κβαντικό πλαίσιο, αλλά και να θέτει, *αφετέρου*, τη χρήση αυτή υπό διαρκή και αυστηρό έλεγχο. Η σαφής οριοθέτηση του πεδίου εφαρμογής της κλασικής φυσικής στο πλαίσιο της ατομικής θεωρίας υπηρετούσε αυτήν ακριβώς την απαίτηση. Την ίδια επίσης απαίτηση έτεινε να ικανοποιήσει η αδιάλειπτη μέριμνα του Bohr για την ακριβή χρήση της γλώσσας.

Υπ’ αυτήν την προοπτική, το απόσπασμα (A1.5) μπορεί να ερμηνευθεί με τον ακόλουθο τρόπο. Η λογική ασυμβατότητα της ατομικής θεωρίας με την κλασική μηχανική απαγόρευε τη ‘μηχανική θεμελίωση’ της πρώτης. Εν τούτοις, στη συνθήκη (14), εμφανιζόταν ο όρος ‘στροφορμή’, ένας όρος που, καθώς είχε ‘αντληθεί’ κατ’ αυθαίρετο ουσιαστικά τρόπο από τη ‘συνηθισμένη μηχανική’, αδυνατούσε να προσλάβει ένα σαφές νόημα στο πλαίσιο της ατομικής θεωρίας. Ο όρος συνεπώς αυτός δεν συνιστούσε μια ‘έννοια’, αλλά ένα ‘σύμβολο’, η νοηματοδότηση του οποίου όφειλε ν’ ανασταλεί, έως ότου καταστεί δυνατή η οριστική συνεκτική θεμελίωση και φυσική ερμηνεία της κβαντικής θεωρίας. Ο τρόπος χρήσης της γλώσσας στο μεθοδολογικό πλαίσιο της AAB θ’ αποτελέσει αντικείμενο διεξοδικής μελέτης στη συνέχεια της εργασίας μας (§A-5). Στο σημείο αυτό, έχει ιδιαίτερο

ενδιαφέρον ν' αντιμετωπίσουμε την ατομική θεωρία υπό το πρίσμα μίας αποκλίνουσας, από τη δική μας, ερμηνευτικής προσέγγισης.

2. Η μεθοδολογία του Bohr ως 'αποδεικτική επαγωγή'

Μία 'συνεκτική' διατύπωση της ατομικής θεωρίας θα ήταν πράγματι δυνατή;
Το επιχείρημα του 'υποκαθορισμού' της θεωρίας από το πείραμα (the 'underdetermination' argument) χρησιμοποιείται εν γένει για την επερώτηση της παραδοσιακής ρεαλιστικής θέσης περί της 'κατά προσέγγιση αλήθειας' των επιστημονικών θεωριών και της εξ αυτής συνεπαγόμενης 'πραγματικής ύπαρξης' των θεωρητικών οντοτήτων (π.χ. Duhem, 1906, 1908, Quine, 1975, van Fraassen, 1980). Υπό μια συνοπτική διατύπωση, το επιχείρημα αυτό αναπτύσσεται ως εξής.

Η εμπειρική επάρκεια των επιστημονικών θεωριών αναγνωρίζεται ως το μόνο αξιόπιστο επιστημικό κριτήριο για την αξιολόγησή τους. Κατά συνέπεια, δύο ασύμβατες μεταξύ τους επιστημονικές θεωρίες, εάν είναι εμπειρικά ισοδύναμες, εάν συνεπάγονται, δηλαδή, *το ίδιο* ακριβώς σώμα πειραματικών δεδομένων, είναι και επιστημικά ισοδύναμες, εφόσον δεν υφίσταται κανένα περαιτέρω κριτήριο για τη διάκρισή τους. Επί πλέον, σύμφωνα με τη θέση των Duhem – Quine, μια θέση που στηρίζει ενεργά το συγκεκριμένο επιχείρημα, είναι πάντοτε δυνατή η διατύπωση δύο ασύμβατων και εμπειρικά ισοδύναμων θεωριών δια του κατάλληλου χειρισμού των βοηθητικών παραδοχών που ενέχονται στη θεμελίωσή τους. Εφόσον λοιπόν κάθε επιστημονική θεωρία μπορεί πάντοτε να διαθέτει επιστημικά ισοδύναμες προς την ίδια ανταγωνιστικές θεωρίες, καμία εκ των θεωριών αυτών δεν δικαιούται να εκλαμβάνεται ως προσεγγιστικώς αληθής. Η πεποίθηση περί της 'κατά προσέγγιση αλήθειας' των επιστημονικών θεωριών, ως μη επιδεχόμενη έγκυρης επιστημικής δικαιολόγησης, κρίνεται αβάσιμη.

Είναι φανερό, ότι η αντίκρουση του περί υποκαθορισμού επιχειρήματος συνιστά πρώτιστο καθήκον κάθε θεώρησης που υποστηρίζει ότι οι μη-παρατηρήσιμοι όροι των πλέον επιτυχημένων φυσικών θεωριών αναφέρονται σε 'πραγματικές' οντότητες ή διαδικασίες του φυσικού κόσμου. Κατά φυσικό λοιπόν τρόπο, ο Norton, στην εργασία του 'Πώς γνωρίζουμε για τα ηλεκτρόνια' ('How we know about electrons', Norton, 2000), για να υπερασπισθεί την 'πραγματική ύπαρξη' των ηλεκτρονίων, αντλεί παραδείγματα από την ιστορία της επιστήμης και επιχειρεί να καταδείξει ότι το περί υποκαθορισμού επιχείρημα είναι εσφαλμένο. Στο πεδίο δε της ενεργού επιστήμης, αναγνωρίζει μια συγκεκριμένη μεθοδολογική στρατηγική που επερωτά με

τον πλέον πειστικό τρόπο το συγκεκριμένο επιχείρημα, την επονομαζόμενη, από τον ίδιο, στρατηγική της ‘αποδεικτικής επαγωγής’ (‘demonstrative induction’).

Η γενική μορφή της στρατηγικής αυτής έχει ως εξής. Ο ερευνητής ξεκινά από τις υφιστάμενες εμπειρικές ενδείξεις και με τη βοήθεια κάποιων γενικών υποθέσεων καταλήγει, μέσω *παραγωγικών* συναγωγών, στη διατύπωση μιας καινούργιας υπόθεσης ή θεωρίας. Μια τέτοια μεθοδολογική γραμμή διαθέτει, κατά την άποψη του Norton, δύο ισχυρά πλεονεκτήματα. *Πρώτον*, καθώς το προκύπτον αποτέλεσμα συνιστά προϊόν παραγωγικών (‘αποδεικτικών’) συναγωγών, ο ‘κίνδυνος’ που συνοδεύει τα επαγωγικά επιχειρήματα (the ‘inductive risk’) απαλείφεται, ή τουλάχιστον περιορίζεται: ο κίνδυνος αυτός μετατοπίζεται στις εκάστοτε υιοθετούμενες γενικές υποθέσεις, οι οποίες αποδεικνύονται εν γένει επιδεκτικές ελέγχου και αξιολόγησης. *Δεύτερον*, καθώς οι συντελούμενες παραγωγικές συναγωγές κατευθύνονται από τις πειραματικές ενδείξεις προς τη θεωρία, η περί υποκαθορισμού θέση ‘αυτομάτως’ ακυρώνεται: εφόσον οι πειραματικές ενδείξεις φαίνονται να υποδεικνύουν *μια και μόνο* υπόθεση ή θεωρία, όλες οι υπόλοιπες υποψήφιες υποθέσεις ή θεωρίες κατά κάποιο τρόπο ‘απαλείφονται’ (στο ίδιο, σ. 78).

Ο Norton αναδεικνύει ως εξέχον ιστορικό παράδειγμα αποδεικτικής επαγωγής τη μεθοδολογία που ακολούθησε ο Bohr κατά τη διατύπωση της πρώτης ατομικής του θεωρίας. Η κριτική συνεπώς σύγκριση της θεώρησής του με τη δική μας προσέγγιση μπορεί να φωτίσει ακόμη περισσότερο τόσο τις θεμελιακές αρχές όσο και τους απώτερους στόχους της επιλεγείσας από τον Bohr μεθοδολογίας. Ο Norton, κατ’ ανάλογο προς τη δική μας προσέγγιση τρόπο, εξετάζει, κατ’ αρχήν, την υποθετική – παραγωγική συνιστώσα της εργασίας του Bohr, την οποία συμπτύσσει στο ακόλουθο παραγωγικό επιχείρημα:

Το ‘υποθετικό – παραγωγικό’ επιχείρημα του Bohr

Υποθέσεις

1. Το ηλεκτροστατικό μοντέλο των ηλεκτρονικών τροχιών
2. Η κβάντωση των ενεργειακών επιπέδων
3. Η εκπομπή κβάντων φωτός

Οι προς εξήγηση προτάσεις

4. Οι εμπειρικοί τύποι των Balmer και Rydberg για το φάσμα του υδρογόνου

Σχήμα 1

Καθώς ο τρόπος που επιλέγει ο Norton για να παρουσιάσει τις υποθέσεις της ατομικής θεωρίας συνδέεται στενά με την ανάπτυξη της επιχειρηματολογίας του, οφείλουμε από τώρα να διακρίνουμε τις υφιστάμενες διαφοροποιήσεις μεταξύ της δικής του και της δικής μας παρουσίασης. Η υπόθεση 1 αντιστοιχεί στην παραδοχή Δ της δικής μας παρουσίασης ('η κίνηση των ηλεκτρονίων σε μια στάσιμη κατάσταση μελετάται μέσω των νόμων της κλασικής μηχανικής'), η υπόθεση 2 στην παραδοχή Α ('ύπαρξη και σταθερότητα των στάσιμων καταστάσεων'), ενώ η υπόθεση 3 στις παραδοχές Β και Γ ('κανόνας συχνότητας' και αιφνίδια 'κβαντικά άλματα'). Ο Norton, αφού εκθέτει τις παραγωγικές συναγωγές που οδήγησαν από τις υποθέσεις της ατομικής θεωρίας στους εμπειρικούς τύπους της φασματοσκοπίας (στο ίδιο, σσ. 81-82), εκφέρει την ακόλουθη κρίση.

(A1.6) «Το ότι μια θεωρία μπόρεσε να 'σώσει' με τόσο απλό τρόπο τα φαινόμενα του φάσματος του υδρογόνου παρέχει ισχυρή στήριξη στη θεωρία του Bohr. Αλλά παραμένει γεγονός ότι οι υποθέσεις του Bohr διακρίνονται για τον εξαιρετικά αυθαίρετο χαρακτήρα τους. Γιατί, λόγου χάριν, δικαιούμαστε να οπισθοδρομούμε στην απλή ηλεκτροστατική για την επιλογή των στάσιμων τροχιών; Οι τεθείσες κβαντικές συνθήκες είναι οι μόνες που θα μπορούσαν να δουλέψουν; Δεν θα μπορούσαμε να βρούμε ένα θεωρητικό σχήμα που θ' αποσοβούσε μια τέτοια καθ' ολοκληρίαν απομάκρυνση από την κλασική φυσική; Η επιτυχία της υποθετικής – παραγωγικής μεθόδου δεν αποκλείει βεβαίως τον ισχυρισμό ότι μια λιγότερο αμφιλεγόμενη ανάλυση θα μπορούσε να συναντήσει συγκρίσιμη επιτυχία. Παρ' όλα αυτά, όποιος μελετά τη θεωρία του Bohr εγκαταλείπει πολύ γρήγορα κάθε τέτοια προσδοκία. Γιατί διαισθάνεται ότι οι αρχές του Bohr ή κάποιες συγκρίσιμες προς αυτές αρχές είναι απαραίτητες για τον κατάλληλο χειρισμό των ατομικών φασμάτων. Κατά κάποιο τρόπο, οι αρχές αυτές συνιστούν αναδιατυπώσεις της ήδη υπάρχουσας πειραματικής πληροφορίας περί του γραμμικού χαρακτήρα των ατομικών φασμάτων» (στο ίδιο, σ. 83).

Το ζήτημα τίθεται λοιπόν ως εξής. Το υποθετικό – παραγωγικό επιχείρημα του Bohr δεν μπορεί να προσβάλει την περί υποκαθορισμού θέση. Κι' αυτό, γιατί ο αυθαίρετος χαρακτήρας των αρχών της ατομικής θεωρίας επιτρέπει σε κάποιον να θεωρήσει ότι ένα άλλο ασύμβατο με αυτήν θεωρητικό σχήμα θα μπορούσε να επιτύχει τις ίδιες με αυτήν προβλέψεις. Κατά την άποψη όμως του Norton, αυτή είναι μια εσφαλμένη εκτίμηση. Γιατί οι αρχές της ατομικής θεωρίας, ως 'αναδιατυπώσεις της υπάρχουσας πειραματικής πληροφορίας', απολαμβάνουν τη μέγιστη δυνατή *επαγωγική στήριξη*, γεγονός που καθιστά κάθε προσπάθεια υποκατάστασής τους μάταιη: η μεθοδολογική στρατηγική του Bohr ακύρωσε εξ αρχής την περί υποκαθορισμού θέση.

Κατά την αντίληψη συνεπώς του Norton, η προβλεπτική αποτελεσματικότητα της ατομικής θεωρίας οφείλει ν' αναζητηθεί, όχι στην υποθετική – παραγωγική συνιστώσα της μεθοδολογίας του Bohr, αλλά στην αποδεικτική – επαγωγική της

συνιστώσα, σ' εκείνη ακριβώς τη συνιστώσα που επέτρεψε την κατάλληλη αναδιατύπωση της πειραματικής πληροφορίας. Ο Norton υποδεικνύει βεβαίως εδώ τη διαδικασία που ακολούθησε ο Bohr για να ελέγξει την αξιοπιστία της σχέσης $\nu = \frac{\nu'}{2}$ (5).⁴ Η σχέση αυτή αποτελούσε, όπως θυμόμαστε, μια ειδική παραδοχή της ατομικής θεωρίας, μια παραδοχή που, κατά την κρίση του Bohr, ήταν ανεπαρκώς τεκμηριωμένη. Ο Norton συνοψίζει την, υπό τη δική του ορολογία, 'αποδεικτική – επαγωγική' συνιστώσα της μεθοδολογίας του Bohr στο ακόλουθο παραγωγικό επιχείρημα (στο ίδιο, σ. 86).

Το 'αποδεικτικό – επαγωγικό' επιχείρημα του Bohr

Παρατήρηση

4'. Τα αποτελέσματα της φασματοσκοπίας όπως αυτά αποτυπώνονται στον

$$\text{εμπειρικό τύπο του Balmer } \nu' = K\left(\frac{1}{n'^2} - \frac{1}{n^2}\right) \quad (8)$$

Γενικές Υποθέσεις

- 1'. Το ηλεκτροστατικό μοντέλο των ηλεκτρονικών τροχιών
- 3'. Απόδοση δεικτών στις στάσιμες καταστάσεις
- 5'. Η εκπομπή κβάντων φωτός
- 6'. Η κλασική ηλεκτροδυναμική κυβερνά την εκπομπή ακτινοβολίας στους μεγάλους κβαντικούς αριθμούς

Η αποδεικνυόμενη, μέσω παραγωγικών συναγωγών, πρόταση

- 2'. Η κβάντωση των ενεργειακών επιπέδων

Σχήμα 2

Μέσω του σχήματος αυτού, ο Norton εκθέτει, κατ' ανάλογο προς τη δική μας παρουσίαση τρόπο, τη διαδικασία ελέγχου της σχέσης (5). Μπορούμε δε να θυμηθούμε ότι ο Bohr έθεσε σ' εφαρμογή τη συγκεκριμένη διαδικασία, υποθέτοντας ότι, κατά τη διάρκεια μιας μετάπτωσης δεν εκπέμπονται n κβάντα φωτός συχνότητας $\frac{\nu'}{2}$, αλλά ένα κβάντο φωτός συχνότητας $\nu = f(n)\nu'$ (9). Η συγκεκριμένη συνθήκη, συνεπικουρούμενη από τις 1' και 5', οδηγούσε, μέσω

⁴ Η αριθμηση των σχέσεων που εφαρμόζουμε εδώ, καθώς και τα σύμβολα που χρησιμοποιούμε, συμπίπτουν με την αριθμηση και τον συμβολισμό της αρχικής μας παρουσίασης, ώστε να διευκολύνεται η πρόσβαση σ' αυτήν.

ανάλογων προς την υποθετική – παραγωγική μέθοδο υπολογισμών, στον γενικευμένο

τύπο της ενέργειας $E_n = -\frac{2\pi^2 \mu e^4}{h^2} \frac{1}{f^2(n)}$ (16) των στάσιμων καταστάσεων και, εν

συνεχεία, στον γενικευμένο τύπο της συχνότητας της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας

$$\nu'' = \frac{2\pi^2 \mu e^4}{h^3} \left(\frac{1}{f^2(n'')} - \frac{1}{f^2(n')} \right) \quad (11).$$

Ο Norton υπογραμμίζει ιδιαίτερα το ακόλουθο σημείο. Η εισαγωγή της συνάρτησης $f(n)$ υποδήλωνε την αποδοχή ύπαρξης στάσιμων καταστάσεων και επιτύγχανε την απόδοση δεικτών σε αυτές (υπόθεση 3'). Καθώς όμως δεν ετίθετο κανένας περαιτέρω περιορισμός, ο δείκτης n μπορούσε να λάβει την οιαδήποτε τιμή. Η επιλογή των ακέραιων θετικών τιμών του n κατέστη δυνατή μόνο εκ της σύγκρισης της σχέσης (11) με τον εμπειρικό τύπο του Balmer μια σύγκριση που απέφερε τη συνθήκη $f(n) = cn$ (12), με c ακέραιους θετικούς αριθμούς. Έτσι, όπως επισημαίνει με έμφαση ο Norton, «η κρίσιμη πρόταση περί της κβάντωσης των ενεργειακών επιπέδων δεν εισήχθη, στην περίπτωση αυτή, αξιωματικά αλλά προέκυψε από τα πειραματικά αποτελέσματα της φασματοσκοπίας» (στο ίδιο, σ. 85). Ο εμπειρικός τύπος του Balmer είχε τεθεί ως *προκείμενη* του αποδεικτικού – επαγωγικού επιχειρήματος του σχήματος 2 (υπόθεση 4'), ενός επιχειρήματος που 'αποδείκνυε' την πλέον κρίσιμη υπόθεση της υποθετικής – παραγωγικής μεθόδου, την κβάντωση των ενεργειακών επιπέδων (σχήμα 1, υπόθεση 2).

Ο Norton ολοκληρώνει την ανάλυση του αποδεικτικού – επαγωγικού επιχειρήματος, προβάλλοντας, κατ' ανάλογο προς τη δική μας παρουσίαση τρόπο, τις απορρέουσες από την υπόθεση (6') συναγωγές, εκείνες δηλαδή τις συναγωγές που οδήγησαν στον υπολογισμό των σταθερών $c = \frac{1}{2}$ και $K = \frac{2\pi^2 \mu e^4}{h^3}$ (στο ίδιο, σσ. 85-86). Κατ' αυτόν τον τρόπο, η αναπαραγωγή όλων των αποτελεσμάτων της υποθετικής – παραγωγικής μεθόδου έχει πλέον ολοκληρωθεί.

Η ανασυγκρότηση της μεθοδολογίας του Bohr, όπως αυτή παρουσιάζεται από τον Norton, δεν αποκλίνει εμφανώς από τη δική μας ανάλυση. Ο τρόπος όμως διατύπωσης των υποθέσεων του Bohr μας προϊδεάζει για ένα τέτοιο ενδεχόμενο. Γιατί η πρόταση, λόγου χάριν, 'η κλασική ηλεκτροδυναμική κυβερνά την εκπομπή ακτινοβολίας στους μεγάλους κβαντικούς αριθμούς' (υπόθεση 6') βρίσκεται, όπως είδαμε και όπως θα διαπιστώσουμε επίσης στη συνέχεια, σε πλήρη διάσταση με το

πνεύμα του Bohr, όταν αυτός απαιτούσε την προσεγγιστική σύμπτωση των αποτελεσμάτων της ατομικής και της κλασικής θεωρίας στο πεδίο των μεγάλων κβαντικών αριθμών (A1.2). Και, πράγματι, η σαφής απόκλιση της θεώρησης του Norton από τη δική μας ανάγνωση αποκαλύπτεται πλήρως, όταν ο Norton φθάνει στα συμπεράσματα της μελέτης του. Η επιχειρηματολογία του αναπτύσσεται ως εξής.

Ο Norton, αποτιμώντας την αποδεικτική – επαγωγική συνιστώσα της μεθοδολογίας του Bohr, διαπιστώνει ότι, παρά την εντυπωσιακή της δόμηση και αποτελεσματικότητα, ενέχει κάποια στοιχεία που ξενίζουν τον σύγχρονο μελετητή. Το κυριότερο δε εξ αυτών είναι η χρήση του ηλεκτροστατικού μοντέλου (υπόθεση 1'), το οποίο έχει βεβαίως απαλειφθεί από τη σύγχρονη κβαντική φυσική. Εκκινώντας λοιπόν από τη διαπίστωση αυτή, ο Norton προβάλλει τον ισχυρισμό ότι «το ηλεκτροστατικό μοντέλο θα μπορούσε κάλλιστα ν' απουσιάζει από το 'αποδεικτικό – επαγωγικό' επιχείρημα του Bohr, εφόσον τα ίδια ακριβώς αποτελέσματα θα ήταν δυνατό ν' αναπαραχθούν μέσω μιας 'ελλειπτικής μορφής' ('reduced form') του συγκεκριμένου επιχειρήματος, μιας μορφής συμβατής με την εμφανισθείσα, μετά το 1920, νέα κβαντική θεωρία» (στο ίδιο, σ. 86). Ο Norton συνοψίζει τη συγκεκριμένη μορφή στο ακόλουθο επιχείρημα.

Το 'αποδεικτικό – επαγωγικό' επιχείρημα υπό την 'ελλειπτική' του μορφή

Παρατήρηση

4''. Τα αποτελέσματα της φασματοσκοπίας όπως αυτά αποτυπώνονται στον

$$\text{εμπειρικό τύπο του Balmer } \nu'' = K\left(\frac{1}{n''^2} - \frac{1}{n'^2}\right) \quad (8)$$

Γενικές Υποθέσεις

1''. Η ύπαρξη στάσιμων καταστάσεων

5''. Η εκπομπή κβάντων φωτός

6''. Η κλασική ηλεκτροδυναμική κυβερνά την εκπομπή ακτινοβολίας στους μεγάλους κβαντικούς αριθμούς

Η αποδεικνυόμενη, μέσω παραγωγικών συναγωγών, πρόταση

2''. Η κβάντωση των ενεργειακών επιπέδων

Σχήμα 3

Μπορούμε εύκολα να διαπιστώσουμε ότι ο Norton αντικαθιστά τις υποθέσεις 1' και 3' του σχήματος 2 με την υπόθεση 1'' του σχήματος 3. Όπως δε υπογραμμίζει, η

μόνη παραδοχή που επιβάλλεται μέσω της υπόθεσης 1'' είναι ότι υφίστανται στάσιμες καταστάσεις και ότι οι καταστάσεις αυτές διαθέτουν μια συγκεκριμένη τιμή ενέργειας $E_n = f(n)$ (17) που συναρτάται με την τιμή του δείκτη n . Ο συνδυασμός όμως της σχέσης (17) με την υπόθεση 5'' αποφέρει την πρόβλεψη ότι το ατομικό φάσμα οφείλει να συμπεριλαμβάνει συχνότητες $\nu'' = \frac{E_{n''} - E_{n'}}{h}$ (18) για όλες τις αποδεκτές τιμές του n και για $n'' > n'$. Εκ της σύγκρισης δε της (18) με τον εμπειρικό τύπο του Balmer (υπόθεση 4''), προκύπτει πλέον το συμπέρασμα ότι ο δείκτης n μπορεί να λαμβάνει μόνο ακέραιες θετικές τιμές, οπότε η σχέση (17) μετασχηματίζεται στην $E_n = \frac{Kh}{n^2} + Ct$ (19). Κατ' αυτόν τον τρόπο, η κβάντωση των ενεργειακών επιπέδων έχει πλέον επιτευχθεί. Υπολείπεται μόνο ο υπολογισμός των σταθερών K και Ct . Στο σημείο αυτό, ο Norton θέτει το ζήτημα ως εξής.

(A1.7) «Λαμβάνουμε υπόψη μας την 6'': 'η κλασική ηλεκτροδυναμική κυβερνά την εκπομπή ακτινοβολίας στους μεγάλους κβαντικούς αριθμούς'. Μπορούμε συνεπώς να χρησιμοποιήσουμε την ανάλυση της ηλεκτροδυναμικής, σύμφωνα με την οποία η ενέργεια ενός ηλεκτρονίου πολύ απομακρυσμένου από τον πυρήνα είναι μηδέν. Εφόσον ένα τέτοιο ηλεκτρόνιο εμφανίζεται στο όριο των εξαιρετικά μεγάλων κβαντικών αριθμών, θέτουμε στη σχέση (18) $Ct = 0$ » (στο ίδιο, σ. 87).

Ο Norton, θεωρώντας στη συνέχεια τη σχέση (19) για πολύ μεγάλες τιμές του $n = N$ (για τιμές δηλαδή που εντάσσονται στο πεδίο των μεγάλων κβαντικών αριθμών) και αντικαθιστώντας την απλοποιημένη της πλέον έκφραση (για $Ct = 0$) $E_n = \frac{Kh}{N^2}$ στη

σχέση $\nu' = \frac{\sqrt{2}E^{\frac{3}{2}}}{\pi e^2 \sqrt{\mu}}$ (3) που δίνει την τροχιακή συχνότητα στο κλασικό πλαίσιο,

κατορθώνει, μέσω απλών υπολογισμών, ν' αναπαράγει τα τελικά αποτελέσματα του Bohr (στο ίδιο, σ. 87). Η πρόταση 2'' έχει αποδειχθεί και η 'ελλειπτική' ανασυγκρότηση του αποδεικτικού – επαγωγικού επιχειρήματος του Bohr έχει ολοκληρωθεί. Όπως ισχυρίζεται δε ο Norton, το σημαντικότερο επίτευγμα της συγκεκριμένης ανασυγκρότησης είναι ότι «περιορίζει τη συζήτηση περί ελλειπτικών τροχιών αποκλειστικά στο πεδίο αντιστοίχισης με την κλασική θεωρία» (στο ίδιο, σ. 86), σ' ένα πεδίο όπου, ακόμη και υπό το πρίσμα της σύγχρονης φυσικής, η συζήτηση αυτή είναι νόμιμη. Ποιοι είναι όμως εκείνοι οι φιλοσοφικοί ισχυρισμοί που υποστηρίζονται από μια τέτοια ανασυγκρότηση;

1. Ο ισχυρισμός περί της ‘πραγματικής ύπαρξης’ των ηλεκτρονίων. Στα συμπεράσματα της εργασίας του, ο Norton μας διαβεβαιώνει ότι «παρότι τα ηλεκτρόνια είναι αφάνταστα μικρά και δυσνόητα ως προς τον χαρακτήρα τους, η γνώση μας για την ύπαρξη και τις ιδιότητές τους έχει αγγίξει πλέον το ύψιστο επίπεδο βεβαιότητας» (στο ίδιο, σ. 92). Κεντρικός λοιπόν στόχος της συγκεκριμένης εργασίας ήταν να φωτίσει εκείνες ακριβώς τις μεθοδολογικές στρατηγικές που οδήγησαν σ’ ένα τέτοιο επίπεδο βεβαιότητας. Η ανάγκη για παρόμοια φύσης μελέτες είναι, κατά την άποψη του Norton, επιτακτική. Γιατί, όπως ισχυρίζεται, «η ευρέως διαδεδομένη συζήτηση περί επαναστάσεων και ασυμμετρίας χρησιμοποιήθηκε για να τονίσει το ανορθολογικό και τυχαίο στοιχείο στην ιστορία της επιστήμης ... η τάση δε αυτή παρέσυρε ακόμη και επιφανείς ιστορικούς της επιστήμης» (στο ίδιο, σ. 92). Ακόμη κι’ ο Pais, επισημαίνει ο Norton, έφθασε να χαρακτηρίσει την ατομική θεωρία ως ‘θρίαμβο επί της λογικής’.⁵ «Αλλά», συνεχίζει, «εάν αυτό είναι το μόνο που βλέπουμε στο επίτευγμα του Bohr, καθώς και σε άλλα παρόμοια επιτεύγματα, καταλήγουμε σε μια εικόνα της επιστήμης που απαρτίζεται από μια συλλογή φανταστικών, υποθετικών αλμάτων που στερούνται ‘σωφροσύνης’ ή ‘δικαιολόγησης’ [‘prudence’ or ‘reason’]. Και μια τέτοια αντίληψη αδυνατεί πράγματι να μας προσφέρει μια ακριβή και σταθερή εικόνα της φυσικής πραγματικότητας» (στο ίδιο, σ. 92).

Παρατηρούμε ότι η προσπάθεια υπεράσπισης της ‘πραγματικής’ ύπαρξης των ηλεκτρονίων καταλήγει και, σε αντίστροφη κατεύθυνση, αποσκοπεί στην υποστήριξη ενός κατά πολύ ισχυρότερου και ευρύτερου ισχυρισμού, του ισχυρισμού ότι η επιστημονική εικόνα της πραγματικότητας είναι ‘ακριβής’ και ‘σταθερή’. Για να επιτύχει δε τον απώτερο αυτόν στόχο, ο Norton επιχειρεί να καταδείξει ότι τα εντασσόμενα σ’ ένα ‘πλαίσιο ανακάλυψης’ επιστημονικά εγχειρήματα είναι ‘ορθολογικά’ και όχι ‘τυχαία’, γεγονός που, κατά τη γνώμη του, οι θεωρήσεις περί ‘επανάστασης’ και ‘ασυμμετρίας’ υποκρύπτουν ή αμφισβητούν.

Οφείλουμε όμως να επισημάνουμε ότι οι ιδέες της ‘επανάστασης’ και της ‘ασυμμετρίας’ δεν συμβαδίζουν, *αυτονόητα*, με την απεμπόληση της επιστημονικής ορθολογικότητας. Γιατί θα μπορούσε κάλλιστα να ισχυρισθεί κανείς ότι οι διαδραματιζόμενες εντός ενός ‘πλαισίου ανακάλυψης’ διαδικασίες, παρότι οφείλουν να καθοδηγούνται – και παρότι πράγματι καθοδηγούνται – από αυστηρούς κανόνες

⁵ Στο βιβλίο του Pais, *Niels Bohr's Times in Physics and Philosophy* (Pais, 1991, σ. 146).

‘ορθολογικότητας’,⁶ είναι δυνατό ν’ αποφέρουν εν τέλει μια ‘ασύμμετρη’ προς τις προγενέστερές της επιστημονική θεωρία.⁷ Είναι χρήσιμο δε να θυμηθούμε ότι πολλοί εκ των υποστηρικτών της ‘επανάστασης’ και της ‘ασυμμετρίας’, όχι μόνο αναγνώρισαν την ‘ορθολογικότητα’ ως σταθερό οδηγό των επιστημονικών πρακτικών, αλλά προσπάθησαν, όπως ακριβώς και ο Norton, να μελετήσουν τις ιδιαίτερες εκφάνσεις της σε κορυφαία επεισόδια ανακάλυψης ή αλλαγής θεωρίας (π.χ. Lakatos, 1970, ύστερος Kuhn, 1974, Laudan, 1977).

Οι φιλόσοφοι βεβαίως του ιστορικού ρεύματος διαχώρισαν προσεκτικά την έννοια της ‘ορθολογικότητας’ από τις αυστηρές συναγωγές της τυπικής λογικής. Υπερασπίστηκαν δηλαδή την άποψη ότι τα συντακτικώς οργανωμένα θεωρητικά σχήματα που αναμένονται να ‘επιβεβαιωθούν’ ή να ‘διαψευσθούν’ από την εμπειρία μπορούν δύσκολα να καθοδηγήσουν την αναζήτηση νέων υποθέσεων. Αλλά το γεγονός ότι η τυπική λογική αποτυγχάνει εν γένει ως ‘λογική της ανακάλυψης’ – ένα γεγονός που εκλήφθηκε άλλωστε και από τους ίδιους τους υποστηρικτές των επιβεβαιωτικών ή διαψευστικοκρατικών θέσεων ως δεδομένο (Reichenbach, 1951, Popper, 1959) – δεν φαίνεται ν’ αμφισβητείται ούτε από τον Norton. Γιατί η απαξίωση της αντίληψης των αυθαίρετων θεωρητικών σχημάτων που οδηγούν, μέσω λογικών παραγωγικών συναγωγών, στην πρόβλεψη της εμπειρίας προϋποθέτει, αναμφίβολα, την αναγνώριση αυτού του γεγονότος.

Η κριτική συνεπώς στάση του Norton έναντι του Pais, όταν ο τελευταίος προβάλλει την ατομική θεωρία ως ‘θρίαμβο επί της λογικής’, φαίνεται κατ’ αρχήν αδικαιολόγητη. Γιατί ο Pais, μέσω της συγκεκριμένης έκφρασης, δεν υπαινίσσεται βεβαίως την κατάλυση της επιστημονικής ‘ορθολογικότητας’, αλλά την υπέρβαση

⁶ Το νόημα που απέδιδε ο Bohr στον όρο ‘ορθολογικότητα’ κατά τη περίοδο γέννησης της κβαντικής θεωρίας, καθώς και τα κριτήρια που αυτός χρησιμοποιούσε για την αξιολόγηση των προτεινόμενων τότε θεωρητικών σχημάτων, είναι ζητήματα που θα διερευνηθούν διεξοδικά στην ενότητα §Α-4.

⁷ Όπως θα γίνει φανερό στην ενότητα §Α-6 (για την αποφυγή όμως ενδεχόμενων παρανοήσεων η διευκρίνιση αυτή είναι αναγκαία από τώρα), χρησιμοποιούμε τον όρο ‘ασυμμετρία’ για να υποδηλώσουμε την έλλειψη κοινού ‘μέτρου’ για τη μελέτη δύο θεωριών, όπως ο όρος ‘μέτρο’ ορίστηκε από τους εκπροσώπους της ιστορικοιστικής στροφής. Συγκεκριμένα, ο όρος ‘ασυμμετρία’ υποδηλώνει εδώ τη συντακτική και εννοιολογική ασυμβατότητα δύο θεωριών, καθώς και την ασυμβατότητα της υποδεικνυόμενης από τις θεωρίες αυτές οντολογίας (βλ. §Α-5). Χρησιμοποιούμε, επίσης, τον όρο ‘επανάσταση’ ή ‘ρίζικη’ αλλαγή θεωρίας για να υποδηλώσουμε την επικράτηση μίας θεωρίας ‘ασύμμετρης’ προς την προηγούμενη (υπό τον συγκεκριμένο προσδιορισμό του όρου ‘ασυμμετρία’) και τη μη-σωρευτική, επομένως, ανάπτυξη της επιστημονικής γνώσης. Οφείλουμε όμως να υπογραμμίσουμε ότι, στο πλαίσιο της εργασίας μας, οι συγκεκριμένοι όροι δεν συν-δηλώνουν σε καμία περίπτωση την κατάλυση της επιστημονικής ορθολογικότητας, συνέχειας και προόδου. Χρησιμοποιούνται, αντίθετα, για να υπογραμμίσουν το γεγονός ότι, κατά τη μετάβαση από την κλασική στην κβαντική θεωρία, οι έννοιες της ορθολογικότητας, της συνέχειας και της προόδου παρέμειναν πλήρεις περιεχομένου παρά την καθολική ασυμβατότητα των δύο θεωριών και παρά τον μη-σωρευτικό χαρακτήρα της σημειωθείσας εξέλιξης (βλ. §Α-6 και Μέρος Δεύτερο).

και μόνο της τυπικής λογικής. Εάν όμως η ιστορική μελέτη του Pais ή οι περί ‘ασυμμετρίας’ και ‘επαναστάσεων’ θεωρήσεις δεν αμφισβητούν εν γένει την ‘ορθολογικότητα’ των επιστημονικών πρακτικών, αλλά καταγράφουν ή υποδεικνύουν απλώς τους περιορισμούς της τυπικής λογικής,⁸ κάτι στο οποίο ο Norton φαίνεται να συναινεί, πώς μπορούμε να ερμηνεύσουμε τις έναντι των θεωρήσεων αυτών αιτιάσεις του; Η μόνη εύλογη απάντηση είναι η εξής. Αυτό που εν τέλει ο Norton επιθυμεί να επιτύχει δεν είναι η υποστήριξη της επιστημονικής ‘ορθολογικότητας’ υπό την ευρεία της έννοια, αλλά η ανάδειξη ενός συγκεκριμένου τύπου ‘ορθολογικότητας’, ενός τύπου ικανού να δικαιώσει την πεποίθηση περί της ‘ακριβούς’ και ‘σταθερής’ επιστημονικής εικόνας της φυσικής πραγματικότητας, την πεποίθηση δηλαδή εκείνη που οι περί ‘ασυμμετρίας’ και ‘επαναστάσεων’ θεωρήσεις (υπό τον οιονδήποτε προσδιορισμό των συγκεκριμένων όρων) πράγματι κλονίζουν.

2. *Ο ισχυρισμός περί της ‘ακριβούς’ και ‘σταθερής’ επιστημονικής εικόνας της φυσικής πραγματικότητας.* Μία φιλοσοφική κοσμοθεώρηση που εγκολπώνεται το σωρευτικό πρότυπο επιστημονικής εξέλιξης – το μόνο πρότυπο που εγγυάται την ‘ακριβή’ και ‘σταθερή’ επιστημονική εικόνα της φυσικής πραγματικότητας – και προσαρτά παράλληλα σε αυτό την πεποίθηση για την ‘πραγματική’ ύπαρξη των θεωρητικών οντοτήτων εμφορείται συνήθως από την παραδοσιακή ρεαλιστική αντίληψη περί του κατά προσέγγιση ‘αληθούς’ περιεχομένου των επιστημονικών θεωριών. Εάν λοιπόν λάβουμε υπόψη μας ορισμένες πάγιες φιλοσοφικές θέσεις και στρατηγικές του παραδοσιακού επιστημονικού ρεαλισμού,⁹ μπορούμε ν’ αποκτήσουμε μια σαφέστερη εικόνα της προτεινόμενης από τον Norton θεώρησης.

Η ‘συναγωγή στην καλύτερη εξήγηση’ (‘the inference to the best explanation’), υπό την κατά Boyd εκδοχή της, αποφέρει ένα από τα ισχυρότερα επιστημολογικά επιχειρήματα του παραδοσιακού ρεαλισμού, το επιχείρημα της ‘καλύτερης εξήγησης’ (the ‘best explanation’ argument). «Ενθαρρυνόμαστε ν’ αποδεχθούμε τον ρεαλισμό» ισχυρίζεται ο Boyd, «επειδή ο ρεαλισμός προσφέρει την *καλύτερη εξήγηση* για την ‘εργαλειακή αξιοπιστία’ [the ‘instrumental reliability’] της επιστημονικής

⁸ Ο Pais καταγράφει συστηματικά όλα εκείνα τα επιστημονικά επιτεύγματα που υποκίνησαν και στήριξαν την εργασία του Bohr. Έτσι, παρότι πράγματι υπογραμμίζει τον ρηξικέλευθο χαρακτήρα των υποθέσεων του Bohr, η ατομική θεωρία δεν προβάλλεται ως ένα ‘φανταστικό’ – ‘υποθετικό’ άλμα στην ιστορία της επιστήμης, όπως ο Norton υπαινίσσεται, αλλά ως μια εμπνευσμένη, πλην όμως και καλώς εδραιωμένη θεωρητική πρόταση.

⁹ Οι θεμελιακές προκειμένες των θεωρήσεων που, παρά τις μεταξύ τους διαφοροποιήσεις, αντιπροσωπεύουν τον ‘παραδοσιακό (ή κλασικό) επιστημονικό ρεαλισμό’ παρουσιάζονται και σχολιάζονται διεξοδικά στην ενότητα §B-3.1.

μεθοδολογίας» (Boyd, 1983, σ. 212). Η απόφαση αυτή εκφέρει το καταληκτικό συμπέρασμα των ακόλουθων συναγωγών:¹⁰ α) Η επιστημονική μεθοδολογία είναι ‘θεωρητικώς ενημερωμένη’ και ‘θεωρητικώς φορτισμένη’, καθοδηγείται, δηλαδή, από τις εκάστοτε αποδεκτές θεωρίες. β) Οι επιστημονικές όμως μέθοδοι αποφέρουν ορθές εμπειρικές προβλέψεις. γ) Πώς μπορεί λοιπόν να εξηγηθεί η εμπειρική αποτελεσματικότητα των επιστημονικών μεθόδων; Η καλύτερη εξήγηση που μπορεί να δοθεί είναι ότι οι θεωρίες που καθοδηγούν την ερευνητική μεθοδολογία, καθώς και οι θεωρητικές οντότητες και αιτιακές συσχετίσεις που οι θεωρίες αυτές ορίζουν, είναι προσεγγιστικώς ‘αληθείς’, περιγράφουν, δηλαδή, με προοδευτικώς αυξανόμενη ακρίβεια τον φυσικό κόσμο όπως αυτός ‘πραγματικά είναι’.¹¹

Το επιχείρημα της ‘καλύτερης εξήγησης’ αποσκοπεί κατ’ ουσία να καταδείξει ότι ένα άλλο, κεντρικό επίσης, επιχείρημα του παραδοσιακού ρεαλισμού, το επιχείρημα του ‘μη-θαύματος’ της επιστημονικής επιτυχίας (the ‘no miracle’ argument), πέραν της διαισθητικής του πειθούς, διαθέτει και ισχυρά επιστημολογικά ερείσματα. «Ο ρεαλισμός», είχε διακηρύξει ο Putnam υπό το πρίσμα της πρώιμης φιλοσοφικής του θεώρησης, «είναι η μόνη φιλοσοφική θεώρηση που κάνει την επιτυχία της επιστήμης να μη μοιάζει με θαύμα» (Putnam, 1975, σ. 73). Και το επιχείρημα της ‘καλύτερης εξήγησης’ συμπληρώνει: εάν οι επιστημονικές θεωρίες ήταν ‘ψευδείς’, εάν δηλαδή δεν αναπαριστούσαν πραγματικές οντότητες και διαδικασίες του φυσικού κόσμου, θα απουσίαζε οποιαδήποτε εύλογη εξήγηση του γεγονότος ότι η καθοδηγούμενη από τις θεωρίες αυτές ερευνητική μεθοδολογία οδηγεί σε ορθές εμπειρικές προβλέψεις.

Μια σοβαρή ένσταση που τα επιχειρήματα του ‘μη-θαύματος και της ‘καλύτερης εξήγησης’ έχουν ν’ αντιμετωπίσουν, μια ένσταση που συνδέεται βεβαίως στενά με την περί υποκαθορισμού θέση, είναι η εξής. Εφόσον οι οδηγούσες στη συγκρότηση των θεωριών επιστημονικές μέθοδοι συμπεριλαμβάνουν εν γένει και ‘απαγωγικές’ (‘abductive’) συναγωγές που εκκινούν από τα εμπειρικά δεδομένα και εφόσον οι

¹⁰ Η ιδέα της ‘συναγωγής στην καλύτερη εξήγηση’ έχει χρησιμοποιηθεί με διάφορους τρόπους στο φιλοσοφικό πεδίο. Στο πλαίσιο, λόγου χάριν, των ρεαλιστικών θεωρήσεων – όπου, κατ’ εξοχήν, η ιδέα αυτή υποθάλπεται – ο Hacking αναγνωρίζει τρία διαφορετικά επιχειρήματα που την προϋποθέτουν: α) ‘το απλό επιχείρημα της συναγωγής’, β) το επιχείρημα της ‘κοσμικής σύμπτωσης’ και γ) το επιχείρημα ‘του μη-θαύματος της επιστημονικής επιτυχίας’ (Hacking, 1983, σσ. 53-57). Το τελευταίο επιχείρημα προτάσσει την υποστήριξη της ‘κατά προσέγγιση αλήθειας’ των επιστημονικών θεωριών, σε αντίθεση με τα δύο προηγούμενα επιχειρήματα που αποσκοπούν, πρωτίστως, στην υποστήριξη της ‘ύπαρξης’ φυσικών οντοτήτων. Έτσι, η προσέγγιση του Boyd, καθώς εμφορείται από τις αντιλήψεις του παραδοσιακού επιστημονικού ρεαλισμού, αποσκοπεί στην επέκταση και επιστημολογική στήριξη του επιχειρήματος ‘του μη-θαύματος της επιστημονικής επιτυχίας’.

¹¹ Μια διεξοδική ανάλυση του επιχειρήματος της ‘καλύτερης εξήγησης’ μπορούμε να βρούμε στο *Scientific Realism, how science tracks truth*, (Psillos, 1999, σσ. 78-90).

συναγωγές αυτές αδυνατούν εκ φύσεως να διατηρήσουν την αληθοτιμή των προκειμένων τους,¹² ο ισχυρισμός ότι οι εμπειρικές επιτυχείς θεωρίες είναι ‘αληθείς’ στερείται του οποιουδήποτε επιστημικού ερείσματος. Για τον ίδιο ακριβώς λόγο, ο ισχυρισμός ότι οι καθοδηγούσες την ερευνητική μεθοδολογία θεωρίες είναι ‘αληθείς’ κρίνεται ως εξίσου αβάσιμος. Ο μόνος επιστημικώς έγκυρος ισχυρισμός για τις αποδεκτές επιστημονικές θεωρίες είναι ότι αυτές είναι εμπειρικές επιτυχείς (π.χ. van Fraassen, 1980, σσ. 71-72). Κατά συνέπεια, οι υποστηρικτές της ‘καλύτερης εξήγησης’ καλούνται να δείξουν ότι υφίστανται ισχυροί λόγοι για να πιστεύει κανείς ότι οι απαγωγικές συναγωγές της επιστημονικής μεθοδολογίας μπορούν πράγματι να συλλάβουν την ‘αληθινή’ δομή του κόσμου, ή, ισοδύναμα, ότι οι απορρέουσες από τις συναγωγές αυτές επαγωγικές γενικεύσεις είναι ‘αληθείς’. Πως θα μπορούσε όμως να χρησιμοποιηθεί η ατομική θεωρία για την υπεράσπιση των κεντρικών αυτών επιχειρημάτων του παραδοσιακού ρεαλισμού;

Η θεωρία του Bohr δεν υπήρξε μόνο μια εξαιρετικά επιτυχής ως προς τις εμπειρικές της προβλέψεις θεωρία, αλλά, το κυριότερο, αποτέλεσε το αφετηριακό σημείο της διαδικασίας ‘ανακάλυψης’ της κβαντικής θεωρίας.¹³ Μπορεί λοιπόν εύλογα να ειπωθεί ως ο σημαντικότερος επιστημολογικός κρίκος μεταξύ της κλασικής και της κβαντικής θεωρίας. Υπ’ αυτήν της δε την ιδιότητα, μπορεί ν’ αποτελέσει προνομιακό παράδειγμα κάθε φιλοσοφικής θεώρησης που εστιάζει την προσοχή της στα ζητήματα που σχετίζονται με την αλλαγή των επιστημονικών θεωριών. Έτσι, η προσπάθεια του Norton ν’ αναδείξει την υπεροχή της ατομικής

¹² Οι ‘απαγωγικές’ συναγωγές εντάσσονται στους επαγωγικούς ή επεκτατικούς, υπό την ευρεία έννοια, τρόπους δικαιολόγησης, επειδή αποφέρουν *μη-λογικώς αποδείξιμες γενικεύσεις*: τα συμπεράσματα της διαδικασίας δικαιολόγησης *υπερβαίνουν* τον απορρέοντα, εκ του συνδυασμού των προκειμένων προτάσεων, ισχυρισμό. Στο πλαίσιο της ενεργού επιστήμης, ιδιαίτερα δε στο ‘πλαίσιο της ανακάλυψης’, τέτοιου είδους συναγωγές είναι συνήθεις: μια υπόθεση ή θεωρία γίνεται αποδεκτή βάσει της εκτίμησης ότι ‘εξηγεί’ καλύτερα τα εμπειρικά δεδομένα σε σχέση με τις ανταγωνιστικές προς αυτήν υποθέσεις ή θεωρίες. Για το τι σημαίνει δε ‘καλύτερη εξήγηση’ αποφαίνεται, εν τέλει, η επιστημονική κοινότητα. Στο φιλοσοφικό όμως πεδίο και ειδικότερα στο πλαίσιο της διαμάχης ‘ρεαλισμού’ – ‘αντιρεαλισμού’, το ζήτημα των ‘απαγωγικών’, ιδιαίτερα, συναγωγών είναι κρίσιμης σημασίας. Γιατί, όπως οι επικριτές του παραδοσιακού επιστημονικού ρεαλισμού υποστηρίζουν, εάν εκκινήσει κανείς από τις εμπειρικές ενδείξεις, ακόμη κι’ αν δεχθεί ότι οι εμπειρικές προτάσεις είναι ‘αληθείς’, αδυνατεί ν’ αποδείξει ότι τα συγκροτούμενα μέσω απαγωγικών ή επεκτατικών συναγωγών θεωρητικά σχήματα ή οι εμπεριεχόμενοι σ’ αυτά θεωρητικοί όροι είναι επίσης ‘αληθή’/ ‘αληθείς’. Έτσι, τόσο το επιχείρημα του ‘μη-θαύματος’ όσο και το επιχείρημα της ‘καλύτερης’ εξήγησης εκλαμβάνονται, *και τα ίδια*, ως εμπόδια στον ‘απαγωγικό’ τρόπο δικαιολόγησης. Κι’ αυτό, γιατί προβάλλουν τον ακόλουθο ‘απαγωγικό’ ισχυρισμό: εφόσον τα εμπειρικά δεδομένα είναι ‘αληθή’, οφείλουμε να συμπεράνουμε ότι και οι εμπειρικές επιτυχείς θεωρίες είναι ‘αληθείς’.

¹³ Όπως θα υποστηρίξουμε στην ενότητα §Α-6 (σημείο 2), η ατομική θεωρία μπορεί βέβαια να ειπωθεί ως το αφετηριακό σημείο μιας περιόδου ‘ρίζικης επιστημονικής ανακάλυψης’, της δεκαπενταετούς εκείνης περιόδου (1913-1927) που οδήγησε στη συνεκτική φορμαλιστική θεμελίωση και φυσική ερμηνεία της κβαντικής θεωρίας.

θεωρίας έναντι των δυνάμει εμπειρικάς ισοδύναμων αντιπάλων της δεν είναι τυχαία. Γιατί μια αίσια έκβαση του συγκεκριμένου εγχειρήματος, καθώς θα ισοδυναμούσε με την επιτυχή αντίκρουση της περί υποκαθορισμού θέσης σε μια κορυφαία περίπτωση αλλαγής θεωρίας, θα προσέφερε ισχυρά ερείσματα για την υπεράσπιση των παραδοσιακών ρεαλιστικών επιχειρημάτων. Ας δούμε με ποιόν τρόπο.

Η θετική αξιολόγηση μιας θεωρίας που ενέχει εσωτερικές αντιφάσεις είναι βεβαίως αδύνατη. Η ‘ελλειπτική’ όμως μορφή του ‘αποδεικτικού – επαγωγικού’ επιχειρήματος (σχήμα 3), καθώς προσφέρει μια συνεκτική πλέον διατύπωση της ατομικής θεωρίας, τείνει να καταδειξει ότι η εμπειρική αποτελεσματικότητα της τελευταίας δεν ήταν τυχαία, αλλά απέρρεε από έναν θεωρητικό πυρήνα που δεν εμπλεκόταν στις αντιφάσεις της. Η ‘ελλειπτική’ μορφή δείχνει, όπως ο ίδιος ο Norton υπογραμμίζει, ότι «η επιτυχία της θεωρίας του Bohr ήταν τελείως ανεξάρτητη από την πολυσυζητημένη μη-συνεκτικότητά της». «Έτσι», συνεχίζει, «παρότι θαυμάζουμε τον Bohr για το υποθετικό του άλμα, είναι αυτός ακριβώς ο πυρήνας της θεωρίας του [ο πυρήνας που απομένει στην ‘ελλειπτική μορφή’ του επιχειρήματος] εκείνος που επέζησε στις μεταγενέστερες θεωρίες των ατόμων και των ηλεκτρονίων» (στο ίδιο, σ. 93). Ήταν, συνεπώς, ο συνεκτικός πυρήνας της ατομικής θεωρίας, ένας πυρήνας που παρέμεινε αλώβητος από τη μεταγενέστερη επιστημονική εξέλιξη, εκείνος που υπήρξε εμπειρικά επιτυχής. Γι’ αυτό και Norton διατείνεται ότι όποιος εντρυφήσει στη θεωρία του Bohr αντιλαμβάνεται γρήγορα ότι κάθε ασύμβατο, προς τον πυρήνα αυτόν, θεωρητικό σχήμα αποδεικνύεται ακατάλληλο για τον χειρισμό των ατομικών φασμάτων (A1.6).

Μέσω της διαπίστωσης αυτής, ο Norton επιθυμεί βεβαίως να μας οδηγήσει σ’ ένα γενικότερο συμπέρασμα: η περί υποκαθορισμού θέση αποτυγχάνει επειδή είναι εκ βάθρων εσφαλμένη και είναι εκ βάθρων εσφαλμένη επειδή παραβλέπει κάτι ουσιωδώς σημαντικό: την ύπαρξη ενός *αναλλοίωτου* κατά τις αλλαγές θεωρίας πυρήνα, εκείνου ακριβώς του πυρήνα που αποφέρει την εμπειρική αποτελεσματικότητα των επιστημονικών θεωριών. Οδηγούμαστε συνεπώς να συμπεράνουμε ότι εμπειρικάς επιτυχείς είναι εκείνες *μόνο* οι επιστημονικές θεωρίες που εμπεριέχουν έναν *διαχρονικά αναλλοίωτο* πυρήνα, έναν πυρήνα, επομένως, *μη-θεωρητικώς εξαρτώμενο*. Ένα τέτοιο όμως συμπέρασμα, εάν θεωρηθεί αξιόπιστο, προσφέρει σημαντική επιστημική στήριξη στο επιχείρημα του ‘μη-θαύματος’ της επιστημονικής εξήγησης. Γιατί ένας επιστημικώς επικυρωμένος *δια-θεωρητικός* και *υπερ-γλωσσικός* πυρήνας διαθέτει αρκετές πλέον περγαμηνές για να ειπωθεί ως

‘αληθής’, ως ‘αντιστοιχών’ δηλαδή σε ‘πραγματικές’ οντότητες και διαδικασίες του φυσικού κόσμου. Κι’ αυτό βεβαίως σημαίνει ότι οι εμπεριέχουσες τον πυρήνα αυτόν επιστημονικές θεωρίες είναι ‘προσεγγιστικώς αληθείς’. Ο ισχυρισμός συνεπώς του ‘μη θαύματος’, ο ισχυρισμός δηλαδή ότι η εμπειρική αποτελεσματικότητα των επιστημονικών θεωριών οφείλεται στο κατά προσέγγιση ‘αληθές’ τους περιεχόμενο, δεν είναι μόνο διαισθητικός πειστικός, αλλά και επιστημικώς δικαιολογήσιμος.

Μπορούμε εν τέλει να παρατηρήσουμε ότι ο Norton επιχειρεί ν’ αντικρούσει τις περί ‘ασυμμετρίας’ και ‘επαναστάσεων’ ιδέες διαπλέκοντας το επιχείρημα του ‘μη-θαύματος’ με μια ακόμη πάγια αντίληψη του παραδοσιακού επιστημονικού ρεαλισμού. Γιατί ο αναλλοίωτος πυρήνας των επιτυχών επιστημονικών θεωριών, εκείνος ο πυρήνας που εγγυάται την επιζητούμενη ‘ακριβή’ και ‘σταθερή’ επιστημονική εικόνα της φυσικής πραγματικότητας, δεν αντικατοπτρίζει βεβαίως τίποτε άλλο παρά την κοινή οντολογική αναφορά των όρων των διαδοχικών επιστημονικών θεωριών, στην οποία, όπως είναι φανερό, ο Norton συγκαταλέγει και τα ηλεκτρόνια. Το όλο όμως εγχείρημα δεν ολοκληρώνεται εδώ. Γιατί ο Norton έχει να επιτελέσει ένα ακόμη έργο: να υπερασπισθεί τις απαγωγικές συναγωγές της επιστημονικής μεθοδολογίας, κάτι που θα του επιτρέψει στη συνέχεια να προβάλει με πειστικό τρόπο το επιχείρημα της ‘καλύτερης εξήγησης’.

3. *Η υπεράσπιση των απαγωγικών και επεκτατικών συναγωγών της επιστημονικής μεθοδολογίας.* Ο Norton αναγνωρίζει ως προκείμενη του ‘αποδεικτικού – επαγωγικού’ επιχειρήματος του Bohr (σχήμα 2) τα εμπειρικά αποτελέσματα της φασματοσκοπίας (πρόταση 4’). Το επιχείρημα δε αυτό, καθώς έχει ως επί πλέον προκείμενες ορισμένες βοηθητικές υποθέσεις μη λογικώς συναγόμενες εκ της 4’, αντιπροσωπεύει μια ξεκάθαρη περίπτωση απαγωγικής – επεκτατικής δικαιολόγησης. Εφόσον τώρα το συγκεκριμένο επιχείρημα κατόρθωσε να συλλάβει τον έως σήμερα ‘αναλλοίωτο’ – και ως εκ τούτου ‘αληθή’ – πυρήνα της κβαντικής θεωρίας (τον πυρήνα που απομένει στην ‘ελλειπτική’ μορφή του σχήματος 3), ο Norton μας οδηγεί να συμπεράνουμε ότι οι επαγωγικές γενικεύσεις που απορρέουν από τις απαγωγικές – επεκτατικές συναγωγές της επιστημονικής μεθοδολογίας μπορούν εν γένει να συλλάβουν την ‘πραγματική’ δομή του κόσμου, μπορούν επομένως υπό προϋποθέσεις να είναι ‘αληθείς’. Ποιες μπορεί να είναι όμως αυτές οι προϋποθέσεις;

Ο Norton απαντά ως εξής: είναι ο παραγωγικός (‘αποδεικτικός’) χαρακτήρας των απαγωγικών – επεκτατικών συναγωγών εκείνος που μπορεί να μειώσει δραστικά τον

‘κίνδυνο’ των επαγωγικών γενικεύσεων. Γιατί ο κίνδυνος αυτός μετατοπίζεται πλέον στις βοηθητικές υποθέσεις, σε προτάσεις δηλαδή που αποδεικνύονται επιδεκτικές ελέγχου και αξιολόγησης. Προς υποστήριξη δε του συγκεκριμένου ισχυρισμού, ο Norton θεωρεί μια προς μια τις υιοθετηθείσες από τον Bohr βοηθητικές υποθέσεις (όπως αυτές διατυπώνονται υπό το πρίσμα της δικής του θεώρησης, σχήμα 2), τις οποίες αξιολογεί με τον ακόλουθο τρόπο (σσ. 89-92).

Πίνακας 1

Αξιολόγηση των υποθέσεων του ‘αποδεικτικού – επαγωγικού’ επιχειρήματος

- A.** Η υπόθεση 5’ (‘η εκπομπή κβάντων φωτός’) διέθετε ισχυρά ερείσματα, εφόσον στηριζόταν στη θεωρία του Planck, «μια θεωρία που είχε επανειλημμένα αποδείξει τη χρησιμότητά της στο υποατομικό επίπεδο» (στο ίδιο, σ. 89). Έτσι, η υπόθεση 5’ διατηρείται και στην ‘ελλειπτική’ μορφή του επιχειρήματος (5’’).
- B.** Την υπόθεση 6’ (‘η κλασική ηλεκτροδυναμική κυβερνά την εκπομπή ακτινοβολίας στους μεγάλους κβαντικούς αριθμούς’) «ήταν εύκολο να την κατανοήσει κανείς και αδύνατο να την αποφύγει. Κι’ αυτό, γιατί η συγκεκριμένη υπόθεση το μόνο που απαιτούσε ήταν να επανέρχεται η συμπεριφορά των ηλεκτρονίων στην κλασική τους συμπεριφορά, όταν αυτά έπαυαν πλέον να είναι στενά συνδεδεμένα με τον ατομικό πυρήνα. Μια πλήρης δε και ασφαλής ερμηνεία της συμπεριφοράς τέτοιων ελεύθερων ηλεκτρονίων είχε ήδη δοθεί από την ηλεκτροδυναμική θεωρία του Maxwell, την κορωνίδα των φυσικών θεωριών του 19^{ου} αιώνα» (στο ίδιο, σσ. 89-90, η έμφαση δική μου). Έτσι, η υπόθεση 6’ διατηρείται επίσης στην ‘ελλειπτική’ μορφή του επιχειρήματος (6’’).
- Γ.** Η υπόθεση 1’ (‘το ηλεκτροστατικό μοντέλο των ηλεκτρονικών τροχιών’) «δημιουργούσε προβλήματα». «Η ‘ελλειπτική’ όμως μορφή», συνεχίζει ο Norton, «δείχνει ότι η πλεονάζουσα αυτή οντολογία δεν ήταν απαραίτητη για τη θεωρία του Bohr: ήταν περιττή για τον χειρισμό των ατομικών φασμάτων. Γιατί θα μπορούσαμε ν’ αποδεχθούμε την ουσιαστική μόνο συνιστώσα της 1’, την ύπαρξη δηλαδή στάσιμων καταστάσεων, και να εισαγάγουμε τα οριζόμενα βάσει της 1 ηλεκτροστατικά μεγέθη μέσω της 6’» (στο ίδιο, σ. 90). Και, πράγματι, στην ‘ελλειπτική’ μορφή του επιχειρήματος, η 1’ αντικαθίσταται από την 1’’ και τα οριζόμενα βάσει της 1’ ηλεκτροστατικά μεγέθη εισάγονται μέσω της 6’’.

Δ. Η υπόθεση 3' ('απόδοση δεικτών στις στάσιμες καταστάσεις') δεν χρήζει αξιολόγησης, επειδή δεν προσθέτει τίποτε καινούργιο στην 1'. «Ορίζει απλώς τον δείκτη τ των στάσιμων καταστάσεων, χωρίς να θέτει τους οποιουδήποτε περιορισμούς σε σχέση με τον χαρακτήρα τους» (στο ίδιο, σημείωση 18, σ. 95). Έτσι, η υπόθεση 3' ενσωματώνεται στην 1'' της 'ελλειπτικής' μορφής.

Όπως παρατηρούμε, η ανωτέρω αξιολόγηση αποσκοπεί ν' αποκαθάρει το 'αποδεικτικό – επαγωγικό' επιχειρήμα του Bohr από τα 'περιττά' του στοιχεία και ν' αναδείξει τον ουσιαστικό του πυρήνα, εκείνον ακριβώς τον πυρήνα που απομένει στην 'ελλειπτική' του μορφή. Εφόσον δε, κατά την αντίληψη του Norton, ο συγκεκριμένος πυρήνας, ως εκ της συνεκτικότητας και της αντοχής του στις μεταγενέστερες εξελίξεις, αποδεικνύεται 'αληθής', η 'αποδεικτική – επαγωγική' συνιστώσα της μεθοδολογίας του Bohr καταξιώνεται πλήρως. Η μελέτη, συνεπώς, του Norton μπορεί να ειπωθεί ως άμεση ανταπόκριση στο αίτημα του Boyd, όσον αφορά «την αναγκαιότητα προσδιορισμού εκείνων των ιδιοτήτων της επιστημονικής πρακτικής που συμβάλλουν στην εργαλειακή της αξιοπιστία» (Boyd, 1983, σ. 215). Οι αποδεικτικές – επαγωγικές συναγωγές της επιστημονικής πρακτικής, ως ειδική μορφή των απαγωγικών ή επεκτατικών της συναγωγών, αντιπροσωπεύουν, κατά την αντίληψη του Norton, εκείνες ακριβώς τις ιδιότητες που ο Boyd αναζητά.

Η μελέτη όμως του Norton, στηρίζει τη θεώρηση του Boyd και σ' ένα ακόμη κομβικό σημείο. Πράγματι, η υπόθεση 6', όπως διατυπώνεται από τον Norton, δέχεται ότι 'η κλασική ηλεκτροδυναμική κυβερνά την εκπομπή ακτινοβολίας στους μεγάλους κβαντικούς αριθμούς'. Με δεδομένο όμως τον παραγωγικό χαρακτήρα του αποδεικτικού – επαγωγικού επιχειρήματος και με δεδομένη τη θέση του Norton ότι η αποφυγή της 6' ήταν 'αδύνατη' (εξ ου και η 6' διατηρείται στην 'ελλειπτική' μορφή ως 6'', Πίνακας 1, σημείο B), το μόνο που μπορούμε να συμπεράνουμε είναι ότι η συμπερασματική πρόταση 2' του εν λόγω επιχειρήματος ('η κβάντωση των ενεργειακών επιπέδων') συνιστά *λογική συνέπεια* της ισχύος της κλασικής θεωρίας στο μακροσκοπικό επίπεδο. Εάν δε λάβουμε επίσης υπόψη μας τις υποδείξεις του Norton και θεωρήσουμε ότι η πρόταση 2', ως συμπεριλαμβανόμενη στον 'αληθή' πυρήνα της κβαντικής θεωρίας, είναι 'αληθής', καταλήγουμε αναπόφευκτα στο συμπέρασμα ότι *και* η κλασική θεωρία ήταν 'προσεγγιστικώς αληθής'. Ο ισχυρισμός συνεπώς του Boyd ότι 'ο ρεαλισμός προσφέρει την καλύτερη εξήγηση για την

εργαλειακή αξιοπιστία των επιστημονικών μεθόδων' συναντά την επιστημική του δικαίωση σ' ένα κορυφαίο παράδειγμα αλλαγής θεωρίας.

Έτσι, ο Norton ολοκληρώνει την εργασία του κατά συνεπή προς τις επιδιώξεις του τρόπο. «Εάν επιθυμούμε ν' απολαύσουμε τους ηρωισμούς της επιστήμης», ισχυρίζεται, «μπορούμε ν' αναζητάμε στην ιστορία της επιστήμης τεράστια άλματα. Εάν όμως επιδιώκουμε να κατανοήσουμε το πώς η επιστήμη επιτυγχάνει ν' αναπτύξει μια προοδευτικώς τελειότερη εικόνα του φυσικού κόσμου, τότε οφείλουμε ν' αναζητάμε στην ιστορία της τους σταθερούς πυρήνες των αξιόπιστων θεωρητικών σχημάτων, εκείνους ακριβώς τους πυρήνες που επιζούν από τη μια μέρα στην επόμενη» (στο ίδιο, σ. 93). Όπως όμως θα δείξουμε διεξοδικότερα σε άλλα σημεία της εργασίας μας, η μεθοδολογική στρατηγική του Bohr, παρότι *προϋπέθετε* την *πρόοδο* και τη *συνέχεια* της επιστημονικής γνώσης, είχε χαραχθεί βάσει της υπόνοιας ότι ένα 'τεράστιο' πράγματι 'άλμα' θα ήταν ενδεχομένως αναγκαίο για την προσέγγιση της κβαντικής θεωρίας (§A-6, σημείο 4). Η μεθοδολογική επίσης στρατηγική του Bohr, παρότι απέρρευε από μια ρεαλιστική, ριζικώς όμως διαφορετική από το παραδοσιακό πρότυπο θεώρηση, ουδέποτε προϋπέθεσε την οντολογική συνέχεια της κλασικής και κβαντικής θεωρίας και, κατά συνέπεια, ουδέποτε αναζήτησε έναν 'σταθερό' πυρήνα για τη διασύνδεση των δύο θεωριών (§A-5.3.3). Καθώς λοιπόν ο Norton υπερασπίζεται μια ουσιωδώς διαφορετική από την αντίστοιχη του Bohr φιλοσοφική θεώρηση, αποτυγχάνει εν τέλει να κατανοήσει το βαθύτερο περιεχόμενο των επιστημολογικών και μεθοδολογικών αρχών που καθοδήγησαν τη διατύπωση της ατομικής θεωρίας. Εγείρεται όμως το εξής ερώτημα: εάν οι μεθοδολογικές στρατηγικές των Bohr και Norton απογυμνωθούν από τις υποκείμενες σ' αυτές φιλοσοφικές παραδοχές, ποια εκ των δύο οφείλει να κριθεί ως η πλέον ενδεδειγμένη για τη διατύπωση της ατομικής θεωρίας;

4. Η 'ελλειπτική' μορφή συλλαμβάνει πράγματι τον 'αναλλοίωτο' έως σήμερα πυρήνα της κβαντικής θεωρίας; Ο Norton κατορθώνει να παρακάμψει το ηλεκτροστατικό μοντέλο στο πεδίο των μικρών κβαντικών αριθμών δια της υπόθεσης ότι 'η κλασική ηλεκτροδυναμική κυβερνά την εκπομπή ακτινοβολίας στους μεγάλους κβαντικούς αριθμούς' (υπόθεση 6'). Με δεδομένο όμως τον παραγωγικό χαρακτήρα του αποδεικτικού – επαγωγικού επιχειρήματος, η υπόθεση αυτή ισοδυναμεί με την παραδοχή ότι η κλασική περιγραφή τόσο των ηλεκτρονίων όσο και των σχετιζόμενων με τα ηλεκτρόνια φαινομένων συνιστά *λογική προσέγγιση* της

κβαντικής τους περιγραφής για κατάλληλες τιμές των κβαντικών παραμέτρων. Και, πράγματι, όπως καταδεικνύει το απόσπασμα (A1.8), ο υπολογισμός των σταθερών K και Ct της σχέσης (18) στηρίζεται σ' αυτήν ακριβώς την παραδοχή. Εάν λάβουμε όμως υπόψη μας ότι η αδιαμφισβήτητη, υπό το πρίσμα της σύγχρονης φυσικής, *ασυμβατότητα* των λογικών δομών της κλασικής και της κβαντικής θεωρίας καθιστά *αδύνατη* τη συντακτική συσχέτιση των συνεχών εξισώσεων της κλασικής ηλεκτροδυναμικής με τις προτάσεις της κβαντικής θεωρίας, καταλήγουμε αναπόφευκτα στο συμπέρασμα ότι ο ισχυρισμός του 'αναλλοίωτου' ή 'σταθερού' πυρήνα στερείται επιστημονικών ερεισμάτων. Το χάσμα που χωρίζει τη σύγχρονη κβαντική θεωρία από τη θεωρία του Bohr εξακολουθεί να παραμένει εξίσου βαθύ και στην περίπτωση της 'ελλειπτικής' μορφής. Εάν όμως οι ιδέες του 'αναλλοίωτου' πυρήνα και της 'γεφύρωσης' των διαδοχικών θεωριών εγκαταλειφθούν, το μεν κριτήριο της 'προσέγγισης στην αλήθεια' ακυρώνεται, το δε κριτήριο της 'συνεκτικότητας' χάνει, την κατά Norton σημασία του. Παραμένουν όμως τα εξής ερωτήματα: η ατομική θεωρία υπό μια 'συνεκτική', κατά το πρότυπο του Norton, μορφή θα μπορούσε ν' αξιολογηθεί ως θεωρητικώς υπέρτερη από την πρωτότυπη μορφής της; Και ακόμη, μήπως μια 'συνεκτική' διατύπωση της ατομικής θεωρίας θα ενείχε τη δυνατότητα να πυροδοτήσει ταχύτερες και αποδοτικότερες εξελίξεις;

5. *Μια 'συνεκτική' διατύπωση θα αναβάθμιζε τη θεωρητική αξία της ατομικής θεωρίας;* Ο Norton παραλείπει να διευκρινίσει το εξής ζήτημα. Η πλέον δόκιμη, κατά τη γνώμη του, μεθοδολογική γραμμή **α)** θα ήταν εκείνη που θα διατηρούσε το υποθετικό – παραγωγικό επιχείρημα (σχήμα 1) αμετάβλητο, ενώ θα συνέπτυσσε το αποδεικτικό – επαγωγικό επιχείρημα (σχήμα 2) στην 'ελλειπτική' του μορφή (σχήμα 3) ή **β)** εκείνη που θα χρησιμοποιούσε την 'ελλειπτική' μορφή ως μέσο για την κατάλληλη αναδιατύπωση του υποθετικού – παραγωγικού επιχειρήματος, ως μέσο δηλαδή για την επίτευξη μιας πλέον έγκυρης θεμελίωσης της ατομικής θεωρίας;

Εάν θεωρήσουμε ότι ο Norton προκρίνει την πρώτη μεθοδολογική γραμμή, η θεώρησή του αντιμετωπίζει την εξής ανυπέρβλητη δυσκολία. Η 'ελλειπτική' μορφή προβάλλεται ως υπερέχουσα του κατά Bohr αποδεικτικού – επαγωγικού επιχειρήματος, επειδή περιορίζει τη χρήση του ηλεκτροστατικού μοντέλου στο πεδίο των μεγάλων κβαντικών αριθμών, όπου το μοντέλο αυτό αναντίρρητα ισχύει. Εάν όμως η ανασυγκρότηση του αποδεικτικού – επαγωγικού επιχειρήματος δεν συνοδευόταν από μια αντίστοιχη αναδιατύπωση του υποθετικού – παραγωγικού

επιχειρήματος, το όλο εγχείρημα θα ήταν, όχι μόνο ανώφελο, αλλά και επιζήμιο. Γιατί θα απέφερε μια διττή θεμελίωση της ατομικής θεωρίας χωρίς να υφίσταται αποχρών λόγος. Εάν τώρα θεωρήσουμε ότι ο Norton προκρίνει τη δεύτερη μεθοδολογική γραμμή, η ανάλυσή του μας οδηγεί να συμπεράνουμε ότι η πλέον έγκυρη διατύπωση της ατομικής θεωρίας θα ήταν εκείνη που θα συμπεριλάμβανε ως υποθέσεις **α)** την ‘κβάντωση των ενεργειακών επιπέδων’, εφόσον η υπόθεση αυτή ‘αποδείχθηκε’ μέσω της ‘ελλειπτικής’ μορφής, και **β)** τις γενικές υποθέσεις της ‘ελλειπτικής’ μορφής, εφόσον οι υποθέσεις αυτές προκρίθηκαν μετά από διεξοδικό έλεγχο και ο έλεγχος αυτός απέφερε ισχυρές ενδείξεις για την εγκυρότητά τους (Πίνακας 1). Έτσι, η ατομική θεωρία θα εμφανιζόταν υπό την ακόλουθη μορφή.

Η ατομική θεωρία υπό μια ‘συνεκτική’ διατύπωση

Υποθέσεις

1^{'''}. Η ύπαρξη στάσιμων καταστάσεων

2^{'''}. Η κβάντωση των ενεργειακών επιπέδων

5^{'''}. Η εκπομπή κβάντων φωτός

6^{'''}. Η κλασική ηλεκτροδυναμική κυβερνά την εκπομπή ακτινοβολίας στους μεγάλους κβαντικούς αριθμούς

Οι προς εξήγηση προτάσεις

4^{'''}. Οι εμπειρικοί τύποι των Balmer και Rydberg για το φάσμα του υδρογόνου

Σχήμα 4

Η υπόθεση 1^{'''} εισάγει την έννοια των ‘στάσιμων καταστάσεων’, καθώς και την έννοια του ‘κβαντικού αριθμού’ για την ταυτοποίησή τους. Η υπόθεση 2^{'''} ‘επιλέγει’, εξ όλων των δυνατών, εκείνες τις στάσιμες καταστάσεις που αντιστοιχούν σε ακέραιους κβαντικούς αριθμούς. Τέλος, η υπόθεση 5^{'''} συνδέει την εκπεμπόμενη, κατά τη διάρκεια μίας μετάπτωσης, ακτινοβολία με τις ενέργειες των εμπλεκόμενων στη μετάπτωση αυτή στάσιμων καταστάσεων.

Όπως παρατηρούμε, τόσο η διατύπωση όσο και η αμοιβαία διασύνδεση των υποθέσεων αυτών συνδέεται άρρηκτα με την έννοια της στάσιμης κατάστασης, μια έννοια που φαίνεται να λειτουργεί, όπως ακριβώς και στη θεωρία του Bohr, ως θεμέλιος λίθος και συνδετικός ιστός του σχήματος 4. Θ’ ανέμενε συνεπώς κανείς ότι και η υπόθεση 6^{'''} θα τελούσε υπό το ίδιο καθεστώς. Η απουσία όμως κάποιας συνολικότερης διασύνδεσης του σχήματος 4 με την κλασική θεωρία (κατά το

πρότυπο, λόγου χάριν, της μεθοδολογικής – τυπικής διασύνδεσης που εφάρμοσε ο Bohr μέσω της AAB, §A-1.1, σημείο 3), καθιστά την υπόθεση 6''' αδύναμη να χειρισθεί την έννοια της στάσιμης κατάστασης στο πεδίο των μικρών κβαντικών αριθμών. Παρουσιάζεται, έτσι, η εξής περιεργη κατάσταση: η ατομική θεωρία εμφανίζεται *ημιτελώς θεμελιωμένη* και μάλιστα στο πεδίο όπου εντάσσεται το κυρίως σώμα των προσδοκώμενων εφαρμογών της. Είναι χαρακτηριστικό ότι, ενώ το σχήμα 4 προσφέρει μια επακριβή περιγραφή της κίνησης των ηλεκτρονίων στις χαρακτηριζόμενες από μεγάλους κβαντικούς αριθμούς στάσιμες καταστάσεις (ελλειπτικές τροχιές), αδυνατεί να προσφέρει την οποιαδήποτε αντίστοιχη πληροφορία στο πεδίο των μικρών κβαντικών αριθμών.

Ένα τέτοιο θεωρητικό έλλειμμα θα όφειλε βεβαίως να είναι αναμενόμενο. Γιατί, το επιχείρημα του σχήματος 4, όπως ακριβώς και η 'ελλειπτική μορφή' (σχήμα 3), έχει ως προκειμένη την αδιαμφισβήτητη, κατά την άποψη του Norton, πρόταση 'η κλασική ηλεκτροδυναμική κυβερνά την εκπομπή ακτινοβολίας στους μεγάλους κβαντικούς αριθμούς' (υποθέσεις 6''' και 6'' αντίστοιχα). Η πρόταση αυτή παραφράζει κατ' ουσία την AAB, η οποία, υπό την εμβρυακή της, στο πλαίσιο της ατομικής θεωρίας, διατύπωση, όριζε ότι τα αποτελέσματα της ατομικής θεωρίας όφειλαν να 'προσεγγίζουν' τα αποτελέσματα της κλασικής θεωρίας στο πεδίο των μεγάλων κβαντικών αριθμών (§A-1.1, σημείο 5). Είναι όμως προφανές ότι, για να καταστεί δυνατή η αντιπαραβολή των αποτελεσμάτων των δύο θεωριών, η ατομική θεωρία όφειλε να παραγάγει τις εμπειρικές της προβλέψεις *πριν και ανεξάρτητα* από την εφαρμογή της AAB. Αυτό δε σημαίνει ότι η AAB εξέφραζε μια μεθοδολογική και *μόνο* αρχή που, εκ της ίδιας της φύσεώς της, δεν θα μπορούσε να εμπλέκεται στη θεωρητική θεμελίωση της ατομικής θεωρίας. Δεν θα μπορούσε δηλαδή να συνιστά υπόθεση του κατά Bohr 'αποδεικτικού – επαγωγικού' επιχειρήματος, όπως ο Norton την εκλαμβάνει (η υπόθεση 6''' εμφανίζεται ως 6' στο σχήμα 2). Εφόσον λοιπόν η πρόταση 6' απουσίαζε από το επιχείρημα του Bohr, είναι πλέον φανερό ότι η υπόθεση 1' ('το ηλεκτροστατικό μοντέλο των ηλεκτρονικών τροχιών') δεν αντιπροσώπευε μια περιττή, 'πλεονάζουσα οντολογία', όπως ο Norton ισχυρίζεται (Πίνακας 1, σημείο Γ), αλλά, αντίθετα, ένα ζωτικό και αναφαίρετο τμήμα της ατομικής θεωρίας. Όταν επομένως ο Norton παραλείπει την υπόθεση 1' και τοποθετεί στη θέση της την πρόταση 6'', καταλήγει, κατά φυσικό θα λέγαμε τρόπο, στο θεωρητικό έλλειμμα που κατεγράφη προηγουμένως.

Όλα τα παραπάνω καταδεικνύουν ότι η δομική αρτιότητα του σχήματος 4 μπορεί εύλογα να επερωτηθεί. Το γεγονός δε αυτό καταδεικνύει, περαιτέρω, ότι, τουλάχιστον εντός ενός πλαισίου ‘ανακάλυψης’, η λογική συνεκτικότητα δεν συμβαδίζει κατ’ ανάγκην με τη θεωρητική υπεροχή. Μήπως όμως η ατομική θεωρία, υπό μια ‘συνεκτική’ κατά το πρότυπο του Norton διατύπωση, θα μπορούσε να διανοίξει ευρύτερες, έναντι της θεωρίας του Bohr, ερευνητικές προοπτικές;

6. *Μια ‘συνεκτική’ διατύπωση θα ενίσχυε την ευρετική δυναμική της ατομικής θεωρίας;* Ο Bohr έθεσε ως θεμέλια της θεωρίας του το ‘κβαντικό αξίωμα’ και τον ‘κανόνα συχνότητας’, δύο υποθέσεις που διατηρούνται και στο σχήμα 4. Οι υποθέσεις αυτές, καθώς φέρουν εγγενώς το στοιχείο της ασυνέχειας, διαμορφώνουν ένα εκ θεμελίων ασύμβατο προς την κλασική θεωρία σχήμα. Όταν όμως ο Bohr δέχθηκε, μέσω της πρώτης παραδοχής της ατομικής θεωρίας, ότι ‘η κίνηση των συστημάτων στις στάσιμες καταστάσεις μπορεί να συζητηθεί με τη βοήθεια της συνηθισμένης μηχανικής’, διέπραξε αυτό που ο Norton επιθυμεί πάση θυσία ν’ αποφύγει: κατέλυσε τη λογική συνεκτικότητα της ατομικής θεωρίας. Έτσι, ο Norton παρουσιάζει την πρώτη παραδοχή της ατομικής θεωρίας ως ‘ηλεκτροστατικό μοντέλο των ηλεκτρονικών τροχιών’ – μια παρουσίαση που αποκρύπτει, αναμφίβολα, τις συνοδευουσες την παραδοχή αυτή μεθοδολογικές αρχές – και επιχειρεί, δια της ‘ελλειπτικής’ του μορφής, να την απαλείψει. Θα μπορούσαμε όμως με προκλητικό ίσως τρόπο να ισχυρισθούμε ότι η εντυπωσιακή ευρετική δυναμική της ατομικής θεωρίας εδραζόταν *ακριβώς* στις αντιφάσεις της ή, για να είμαστε σαφέστεροι, στις ιδιαίτερες μεθοδολογικές της αρχές που μετέτρεπαν τις αντιφάσεις της σε μοχλό εξέλιξης. Η υπό συζήτηση παραδοχή δεν συνιστούσε μόνο αναφαίρετο τμήμα της ατομικής θεωρίας, αλλά διάνοιγε επίσης διάπλατα τις απουσιάζουσες από το σχήμα 4 ερευνητικές προοπτικές. Κι’ αυτό, για τους εξής λόγους.

Κατ’ αρχήν, η πρώτη παραδοχή της ατομικής θεωρίας προσέφερε τη δυνατότητα χειρισμού της έννοιας της στάσιμης κατάστασης *σε ολόκληρο* το πεδίο των κβαντικών αριθμών: οι στάσιμες καταστάσεις αντιπροσώπευαν τις μόνες περιοχές όπου η εφαρμογή των κλασικών νόμων ήταν δυνατή. Έτσι, σε αντίθεση με το σχήμα 4, η ατομική θεωρία αποκτούσε *μια αυτόνομη*, παρά τις λογικές της αντιφάσεις, θεωρητική θεμελίωση, μια θεμελίωση που την καθιστούσε ικανή να παράγει τα δικά της *αυτοτελή* αποτελέσματα. Αυτό όμως σήμαινε ότι η ατομική θεωρία ήταν σε θέση να ικανοποιήσει την πρωταρχική προϋπόθεση εφαρμογής της AAB. Τα προκύπτοντα

δε εκ της AAB συμπεράσματα, καθώς ήταν δυνατό να μεταφερθούν στο πεδίο των μικρών κβαντικών αριθμών – μια μεταφορά που στο σχήμα 4 είναι εξ αρχής απαγορευμένη – δεν υποβοηθούσαν μόνο τον έλεγχο των εκάστοτε υιοθετούμενων βοηθητικών παραδοχών, αλλά συνέβαλαν με ουσιαστικό επίσης τρόπο στην προοδευτική μετεξέλιξη ολόκληρου του κβαντικού οικοδομήματος. Η συγκεκριμένη όμως παραδοχή διάνοιγε και μια επί πλέον δυνατότητα, μια δυνατότητα που στο σχήμα 4 είναι επίσης ολοσχερώς αποκλεισμένη: καθώς επέτρεπε τη μεθοδολογικώς έγκυρη εισαγωγή των κλασικών εννοιών και νόμων στο κβαντικό πλαίσιο, διάνοιγε τη δυνατότητα τροφοδότησης της ατομικής θεωρίας με τα αναγκαία για την μετεξέλιξή της εργαλεία. Και το γεγονός βεβαίως αυτό συνεισέφερε ουσιωδώς στην προώθηση της επιστημονικής έρευνας (§A-1.1, σημείο 3).

Είναι πλέον φανερό ότι ο Norton, για να επιτύχει την άρση των λογικών αντιφάσεων της ατομικής θεωρίας, απαλείφει εκείνη ακριβώς την παραδοχή που έθετε τις βάσεις για την εφαρμογή της AAB. Διαπιστώνουμε, όμως, ότι η κατάκτηση της λογικής συνεκτικότητας έχει ως αντίτιμο την απώλεια της ευρετικής δυναμικής. Θα μπορούσαμε λοιπόν να διακινδυνεύσουμε τον ακόλουθο ισχυρισμό: ακόμη κι' αν ο Bohr είχε διακρίνει ότι μια 'συνεκτική' διατύπωση της ατομικής θεωρίας ήταν δυνατή – υπό το πρότυπο του σχήματος 4 ή υπό ένα ανάλογο προς αυτό πρότυπο – θα είχε αρνηθεί να ενδώσει σε μια τέτοια λύση. Κι' αυτό, γιατί η ατομική θεωρία, όπως ο ίδιος ο Bohr δήλωνε, δεν συγκροτήθηκε για να προσφέρει μια 'εξήγηση' των φασματικών νόμων, αλλά για να διανοίξει τον 'δρόμο' για την προσέγγιση μιας συνολικής ερμηνείας των υποατομικών φαινομένων (§A-1.1, σημείο 6). Η ατομική όμως θεωρία υπό τη 'συνεκτική' μορφή του σχήματος 4 δεν θα συνιστούσε τίποτε περισσότερο από ένα μοντέλο πρόβλεψης των ατομικών φασμάτων, ένα μοντέλο αποστερημένο από κάθε δυνατότητα μετεξέλιξης. Η προηγηθείσα ανάλυση έχει στηρίξει επαρκώς τον τελευταίο ισχυρισμό. Μια τελευταία όμως παρατήρηση είναι, κατά τη γνώμη μας, απαραίτητη.

Ο Norton, παρουσιάζοντας το 'υποθετικό – παραγωγικό' επιχείρημα του Bohr, αντικαθιστά τη θεμελιακή υπόθεση της ατομικής θεωρίας, περί της 'ύπαρξης και σταθερότητας των στάσιμων καταστάσεων' (το 'κβαντικό αξίωμα') με την υπόθεση περί της 'κβάντωσης των ενεργειακών επιπέδων' (υπόθεση 2, σχήμα 1). Στην πρωτότυπη όμως διατύπωση της ατομικής θεωρίας, η τελευταία αυτή πρόταση δεν αντιπροσώπευε μια 'υπόθεση', όπως ο Norton ισχυρίζεται, αλλά έναν 'κανόνα επιλογής' που προέκυπτε εκ της δυνατότητας εφαρμογής των κλασικών νόμων στις

στάσιμες καταστάσεις. Οφείλουμε δε να σημειώσουμε ότι εκ της ίδιας ακριβώς δυνατότητας προέκυψε στη συνέχεια ο δεύτερος κανόνας κβάντωσης (που εισήγαγε τον αζιμουθιακό αριθμό k), καθώς και μια σειρά εμπειρικών προβλέψεων που φάνταζαν έως τότε ολοσχερώς ασύνδετες μεταξύ τους (όπως, λόγου χάριν, η επιτυχής πρόβλεψη των ιδιοτήτων των χημικών στοιχείων).

Η παρουσίαση συνεπώς του Norton αποκρύπτει το γεγονός ότι η ατομική θεωρία, υπό τη ‘μη-συνεκτική’ της διατύπωση, κατόρθωσε ν’ αποφέρει ιδιαίτερος σημαντικά θεωρητικά και εμπειρικά αποτελέσματα που υπερέβαιναν κατά πολύ τους εμπειρικούς νόμους της φασματοσκοπίας. Το σχήμα βεβαίως 4, λόγω της ελλειμματικής του θεωρητικής θεμελίωσης, αδυνατεί πράγματι να παραγάγει οτιδήποτε υπερβαίνει τους συγκεκριμένους νόμους. Όταν λοιπόν ο Norton εκλαμβάνει το ‘υποθετικό – παραγωγικό’ επιχείρημα του Bohr ως ‘αναδιατύπωση’ των φασματικών νόμων (A1.6), είναι φανερό ότι αποδίδει στην πρωτότυπη μορφή της ατομικής θεωρίας ένα χαρακτηριστικό της δικής του εκδοχής.

Το χαρακτηριστικό βεβαίως της ‘αναδιατύπωσης’ εκλαμβάνεται από τον Norton ως μέγιστη θεωρητική αρετή, εφόσον είναι εκείνο που, κατά την αντίληψή του, αντικρούει επιτυχώς την περί υποκαθορισμού θέση. Στην περίπτωση όμως τουλάχιστον της ατομικής θεωρίας, καταλήξαμε στο συμπέρασμα ότι το θεωρητικό σχήμα που προέκυψε εκ της ‘αναδιατύπωσης’ των εμπειρικών αποτελεσμάτων παρουσιάζει μια συντριπτική υστέρηση τόσο ως προς τη δομική του αρτιότητα όσο και ως προς την ευρετική του δυναμική. Καθώς λοιπόν η επιστημική υπεροχή του σχήματος αυτού δεν κατέστη δυνατό να πιστοποιηθεί, η αντίκρουση της περί υποκαθορισμού θέσης παραμένει εν τέλει μετέωρη. Αυτό βεβαίως δεν σημαίνει κατ’ ανάγκην ότι η συγκεκριμένη θέση δικαιώνεται. Σημαίνει, όμως, ότι η επιλεγείσα για την κατάρριψή της φιλοσοφική στρατηγική υπήρξε μάλλον ατυχής. Κι’ αυτό, γιατί η επιλογή μιας ερευνητικής πορείας συναρτάται πάντοτε στενά με τις μετα-επιστημονικές αντιλήψεις του ερευνητή. Έτσι, και η μεθοδολογική στρατηγική του Bohr ήταν μολιασμένη με τη δική του επιστημολογική θεώρηση. Καθώς δε οι μετα-επιστημονικές αντιλήψεις των Bohr και Norton αποκλίνουν ισχυρά, η μεθοδολογική πρακτική του πρώτου αδυνατεί, κατά φυσικό τρόπο, να προσφέρει γόνιμο έδαφος για την ανάπτυξη των φιλοσοφικών επιχειρημάτων του δεύτερου.

Ο Bohr διατύπωσε τη θεωρία του υπό την υπόνοια ότι μια συνεκτική και ενοποιημένη ερμηνεία των υποατομικών φαινομένων θα ήταν δυνατό ν’ απαιτεί τη ριζική απομάκρυνση από την κλασική κοσμοθεώρηση. Με φιλοσοφικούς όρους, θα

μπορούσαμε λοιπόν να ισχυρισθούμε ότι η ατομική θεωρία συγκροτήθηκε υπό την προοπτική της ενδεχόμενης ‘ασυμμετρίας’ της υπό αναζήτηση κβαντικής θεωρίας με το κλασικό οικοδόμημα,¹⁴ υπό μια προοπτική δηλαδή που αδυνατεί να εναρμονισθεί με το σωρευτικό πρότυπο εξέλιξης που προβάλλεται από τον Norton. Η μετα-επιστημονική θεώρηση του Bohr, σε αντιδιαστολή προς τη θεώρηση του Norton, δεν δεσμευόταν από τα ιδεώδη του παραδοσιακού ρεαλισμού, δεν προϋπέθετε, επομένως, την κοινή οντολογική αναφορά των όρων της κλασικής και της κβαντικής θεωρίας, ούτε αναζητούσε κάποιον διαχρονικώς ‘αναλλοίωτο’ θεωρητικό πυρήνα για να την εκφράσει. Το πρωταρχικό συνεπώς μέλημα του Bohr, σε αντίθεση με τις επιδιώξεις του Norton, δεν ήταν η διασφάλιση της λογικής συνεκτικότητας της ατομικής θεωρίας, αλλά η διάνοιξη ελπιδοφόρων προοπτικών για τη μετεξέλιξή της. Οι μεταγενέστερες δε εξελίξεις δικαίωσαν, αναμφίβολα, τις επιλογές του. Γιατί, όπως θα διαπιστώσουμε αναλυτικότερα στη συνέχεια, οι επιστημολογικές και μεθοδολογικές προϋποθέσεις που τέθηκαν κατά τη διατύπωση της ατομικής θεωρίας ήταν εκείνες ακριβώς που προδιέγραψαν την εντυπωσιακή ευρετική καρποφορία της AAB. Έχει ιδιαίτερο λοιπόν ενδιαφέρον να παρακολουθήσουμε τα κομβικά σημεία της περαιτέρω εξέλιξης.

¹⁴ Όπως θα διαπιστώσουμε στη συνέχεια, ο τρόπος χρήσης της γλώσσας εντός του μεθοδολογικού πλαισίου της AAB δεν έθετε καθιονδδήποτε άμεσο ή έμμεσο τρόπο το αίτημα ενός ‘κοινού μέτρου’ της κλασικής και της κβαντικής θεωρίας (§A-5). Υπό μια φιλοσοφική συνεπώς οπτική γωνία, θα μπορούσε να ισχυρισθεί κανείς ότι ο Bohr λάμβανε σοβαρά υπόψη του την ενδεχόμενη ‘ασυμμετρία’ της υπό αναζήτηση κβαντικής θεωρίας με το κλασικό οικοδόμημα (όπως ο όρος ‘ασυμμετρία’ ορίζεται στην §A-5 και όπως διευκρινίζεται η χρήση του στην υποσημείωση 7). Η απαγκίστρωση των εννοιών από το κλασικό τους νόημα, όταν αυτές εισάγονταν στο κβαντικό πλαίσιο, μάς έχει ήδη προσφέρει ένα πρώτο δείγμα της συγκεκριμένης αντίληψης (§A-1.1, σημείο 7).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ

Η ‘ΑΔΙΑΒΑΤΙΚΗ ΑΡΧΗ’ ΚΑΙ Η ‘ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΘΕΩΡΙΑ ΤΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ’ ΕΝΣΩΜΑΤΩΝΟΝΤΑΙ ΣΤΗΝ ΑΤΟΜΙΚΗ ΘΕΩΡΙΑ Η ΑΡΧΗ ΤΗΣ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΙΑΣ ΕΞΕΛΙΣΣΕΤΑΙ

Οι επιτυχίες της ατομικής θεωρίας, ως προς την πρόβλεψη των χημικών και φυσικών ιδιοτήτων των στοιχείων, έστρεψαν το ενδιαφέρον της επιστημονικής κοινότητας στο θεωρητικό της περιεχόμενο. Έτσι, υπό την καθοδήγηση των μεθοδολογικών της αρχών, οι μελέτες των Epstein, Schwarzschild και, κυρίως, του Sommerfeld, οδήγησαν, κατά τη διάρκεια της τριετίας 1913 – 1916, στη σταδιακή της μετεξέλιξη. Αναφέρουμε ενδεικτικά τις εξής διαδοχικές βελτιώσεις: **α)** Η τροχιακή κίνηση του ηλεκτρονίου μεταφέρθηκε γύρω από το κέντρο μάζας πυρήνα - ηλεκτρονίου. **β)** Πέραν των κυκλικών, προβλέφθηκε και η ύπαρξη ελλειπτικών τροχιών, των οποίων η εκκεντρότητα καθοριζόταν από τον αζιμουθιακό κβαντικό αριθμό k (στο μοντέλο Bohr - Sommerfeld). Η δεύτερη αυτή κβάντωση, μια κβάντωση που αφορούσε πλέον *το σχήμα* των ηλεκτρονικών τροχιών, οδήγησε στη βελτίωση των κανόνων επιλογής, στον αποκλεισμό ορισμένων κλασικών αρμονικών και στη μερική πρόβλεψη της λεπτής υφής του φάσματος του υδρογόνου. **γ)** Η εισαγωγή της ειδικής σχετικότητας στο ατομικό μοντέλο (κυρίως από τον Sommerfeld) οδήγησε στον ακριβή προσδιορισμό των ενεργειακών επιπέδων του ατόμου του υδρογόνου, στην πρόβλεψη του τροχιακού του εκφυλισμού και, κατ’ επέκταση, στη λεπτομερή πρόβλεψη της λεπτής φασματικής του υφής. **δ)** Τέλος, η αμιγώς θεωρητική εργασία του Sommerfeld, το 1916, οδήγησε στην εισαγωγή του τρίτου κβαντικού αριθμού m , ο οποίος επέφερε πλέον την κβάντωση *του προσανατολισμού* των ηλεκτρονικών τροχιών σε σχέση με μια δεδομένη κατεύθυνση στον χώρο, όπως, λόγου χάριν, την κατεύθυνση ενός ηλεκτρικού ή μαγνητικού πεδίου. Η εργασία αυτή οδήγησε στην ακριβή πρόβλεψη του φαινομένου Stark, του οποίου έναν πρώτο ικανοποιητικό χειρισμό είχε επιτύχει το 1914 ο Bohr δια της επίκλησης της AAB (§A-1.1, σημείο 5).

Η συμβολή των επιτευγμάτων αυτών στη μετεξέλιξη της ατομικής θεωρίας υπήρξε βεβαίως καθοριστική. Για τις ανάγκες όμως της δικής μας μελέτης, θα επικεντρώσουμε την προσοχή μας σε δύο μόνο από τις εργασίες εκείνης της περιόδου: στην ‘Αδιαβατική Αρχή’ (‘Adiabatic Principle’) του Ehrenfest (1913 – 1916) και στη ‘Στατιστική Ερμηνεία της Ακτινοβολίας’ του Einstein (1916). Κι’

αυτό, γιατί ο τρόπος ενσωμάτωσης των εργασιών αυτών στο κυρίως σώμα της ατομικής θεωρίας αποκαλύπτει, κατά τη γνώμη μας, τόσο τη *μεθοδολογική συνέχεια* του ερευνητικού προγράμματος του Bohr, όσο και την *ευρετική δυναμική* των επιστημολογικών του αρχών.

Θα επιχειρήσουμε λοιπόν ν' αναδείξουμε τα ακόλουθα σημεία: **α)** ο Bohr διείδε ότι οι εργασίες των Ehrenfest και Einstein παρείχαν τα αναγκαία τυπικά εργαλεία για τον χειρισμό των μεθοδολογικών επιταγών της AAB, εκείνων των επιταγών που καθοδήγησαν, υπό την πρωτόλεια μορφή τους, τη διατύπωση της ατομικής θεωρίας (§Α-1.1, παραδοχές Γ και Δ): η 'Αδιαβατική Αρχή' επέτρεπε τη μελέτη της κίνησης των ηλεκτρονίων στις στάσιμες καταστάσεις, μιας κίνησης που είχε τεθεί υπό το καθεστώς της κλασικής συνέχειας, ενώ η στατιστική θεωρία της ακτινοβολίας επέτρεπε, αντίθετα, τη μελέτη του ασυνεχούς και αιφνίδιου καθεστώτος των ηλεκτρονικών μεταπτώσεων. **β)** Σε αντίστροφη τώρα κατεύθυνση, η επιτυχής προσαρμογή των συγκεκριμένων εργασιών στην ατομική θεωρία συνέβαλε στη σαφέστερη διατύπωση του μεθοδολογικού περιεχομένου της AAB και ενδυνάμωσε την ευρετική της αποτελεσματικότητα. **γ)** Τέλος, η εφαρμογή της AAB, υπό τη νέα της εξελιγμένη μορφή, οδήγησε σε μια πρώτη θολή αλλά ταυτόχρονα και απτή εμφάνιση των ουσιωδέστερων χαρακτηριστικών της κβαντικής θεωρίας: του *ολιστικού* και *εγγενώς πιθανοκρατικού* της χαρακτήρα.

1. Η Αδιαβατική Αρχή προσδίδει θετικό περιεχόμενο στην έννοια της 'στάσιμης κατάστασης'

Η εργασία του Ehrenfest περί της 'Αδιαβατικής Αρχής' κατάφερε να επεκτείνει τη θεωρία κβάντωσης του Planck και να προσφέρει μια μέθοδο προσδιορισμού των διακεκριμένων κβαντικών καταστάσεων οποιουδήποτε περιοδικού συστήματος ενός βαθμού ελευθερίας, υπό την αίρεση ότι το σύστημα αυτό εκτελούσε έναν 'αδιαβατικό μετασχηματισμό'.¹⁵ Στο πλαίσιο της συγκεκριμένης εργασίας, η αλλαγή της κατάστασης ενός φυσικού συστήματος ορίσθηκε, κατά το πνεύμα του Boltzmann, ως 'αδιαβατικός μετασχηματισμός' ('adiabatic transformation'), εάν οι καθορίζουσες την κατάσταση αυτή παράμετροι μεταβάλλονταν *εξαιρετικά αργά* σε σχέση με την

¹⁵ Ο Jammer προσφέρει μια συνολική επισκόπηση της ερευνητικής εργασίας του Ehrenfest κατά την περίοδο 1913 – 1916, καθώς και μια σχετικώς συνοπτική απόδειξη της Αδιαβατικής Αρχής (Jammer, 1989, σσ. 99-103). Η προσαρμογή της Αδιαβατικής Αρχής στη θεωρία των κβάντων εκτίθεται στην τελευταία εκ των σχετικών εργασιών του Ehrenfest (1916), η οποία εμπεριέχεται, υπό μια συντομευμένη μορφή σε αγγλική μετάφραση (1917), στον τόμο *Sources of Quantum Mechanics*, (Van der Waerden [ed], 1967, σσ. 79-93)

ιδιοπερίοδο του συστήματος. Ως αναγκαία δε συνθήκη για την ‘αδιαβατική συσχέτιση’ (‘adiabatic relation’) δύο φυσικών συστημάτων, ορίσθηκε η εξεύρεση μιας *ίδιας*, και για τα δύο συστήματα, συνάρτησης των παραμέτρων τους, η οποία θ’ αποδεικνυόταν *αναλλοίωτη* κατά τον αδιαβατικό τους μετασχηματισμό. Η επίτευξη αδιαβατικών συσχετίσεων ενείχε εξαιρετική σημασία. Γιατί, εάν η ‘αδιαβατικώς αναλλοίωτη συνάρτηση’ (‘adiabatic invariant’) ενός συστήματος ήταν εκ των προτέρων γνωστή, η συνάρτηση αυτή αποδιδόταν αυτομάτως και σ’ όλα τα αδιαβατικώς συσχετισμένα με αυτό συστήματα (Ehrenfest, 1917, σσ. 80-81).

Ο Ehrenfest απέδειξε, πράγματι, ότι το φασικό ολοκλήρωμα $J = \oint pdq$ (1) όλων των αδιαβατικών μετασχηματισμών περιοδικών συστημάτων ενός βαθμού ελευθερίας συνιστούσε μια αδιαβατικώς αναλλοίωτη συνάρτηση. Σύμφωνα δε με τα παραπάνω, το συγκεκριμένο επίτευγμα είχε ως άμεση συνέπεια την αδιαβατική συσχέτιση όλων των συστημάτων αυτών με τον κατά Planck αρμονικό ταλαντωτή, η αδιαβατικώς αναλλοίωτη συνάρτηση του οποίου ήταν ήδη γνωστή: $J = \oint pdq = nh$ ($n = 1, 2, 3, \dots$) (2). Κατ’ αυτόν τον τρόπο, ένα σημαντικό βήμα προόδου είχε σημειωθεί. Γιατί η σχέση (2) εξέφραζε πλέον τη συνθήκη κβάντωσης *οποιοδήποτε* περιοδικού συστήματος ενός βαθμού ελευθερίας, υπό την προϋπόθεση ότι το σύστημα αυτό εκτελούσε αδιαβατικό μετασχηματισμό.

Ο Bohr διείδε ότι η Αδιαβατική Αρχή, υπό την εξελιγμένη από τον Ehrenfest μορφή της, θα μπορούσε να συμβάλλει ουσιωδώς όχι μόνο στην εισαγωγή πολύτιμων υπολογιστικών τεχνικών στο κβαντικό πλαίσιο, αλλά, κυρίως, στη διασάφηση και στον εμπλουτισμό της *ίδιας* της έννοιας της στάσιμης κατάστασης. Έτσι, ήδη από το 1916, σε μια μη δημοσιευμένη εργασία του, ο Bohr κατάφερε να εναρμονίσει τα πορίσματα της εργασίας του Ehrenfest με το αξίωμα των στάσιμων καταστάσεων (Bohr, 1916, *NBCW2*, σσ. [431]-[461]). Δύο χρόνια όμως αργότερα και υπό το φως των περαιτέρω εξελίξεων, προχώρησε ακόμη περισσότερο. Στην εξαιρετικά σημαντική τριλογία του ‘Περί της Κβαντικής Θεωρίας των Φασματικών Γραμμών’ (‘On the Quantum Theory of Line Spectra’, Απρίλιος και Δεκέμβριος 1918, Νοέμβριος 1922, *NBCW3*, σσ. [67]-[200]), η ‘Αδιαβατική Αρχή’ μετονομάστηκε σε αρχή ‘μηχανικής μετασχηματοποίησης’ των στάσιμων καταστάσεων (principle of ‘mechanical transformability’ of stationary states) και εμφανίσθηκε ως *αναπόσπαστο* πλέον τμήμα της ατομικής θεωρίας.

Στην εργασία του 1916, ο Bohr προέβαλε το αξίωμα των στάσιμων καταστάσεων ως τη μόνη αδιαμφισβήτητη παραδοχή της κβαντικής θεωρίας. Η έννοια δε της στάσιμης κατάστασης ορίστηκε με τον ακόλουθο τρόπο:

(A2.1) «Ένα ατομικό σύστημα μπορεί να βρίσκεται, μονίμως, σε μια συγκεκριμένη μόνο σειρά καταστάσεων. Οι καταστάσεις αυτές αντιστοιχούν σε μια ασυνεχή σειρά τιμών ενέργειας. Κάθε μεταβολή δε της ενέργειας του συστήματος, συμπεριλαμβανομένης και της μεταβολής που προκαλείται εκ της απορρόφησης ή εκπομπής ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, οφείλει να λαμβάνει χώρα μέσω μιας μετάπτωσης μεταξύ δύο τέτοιων καταστάσεων. Οι καταστάσεις αυτές αποκαλούνται ‘στάσιμες καταστάσεις’ του συστήματος (Bohr, 1916, *NBCW2*, σ. [434]).

Μια τέτοια διατύπωση του κβαντικού αξιώματος έφερε, όπως ο ίδιος ο Bohr επισήμανε, «έναν καθ’ ολοκληρίαν αρνητικό χαρακτήρα». Το κβαντικό συνεπώς αξίωμα όφειλε «να συμπληρώνεται στις ποικίλες του εφαρμογές με πρόσθετες παραδοχές», οι οποίες, εκτός των άλλων, όφειλαν να προσδιορίζουν «τις ισχύουσες στις στάσιμες καταστάσεις συνθήκες» (στο ίδιο, σ. [434]). Αυτό σήμαινε ότι, εφόσον απουσίαζε εκείνη η συνεκτική θεωρία που θα καθόριζε επακριβώς την έννοια της ‘στάσιμης κατάστασης’, η έννοια αυτή όφειλε ν’ αποκτά θετικό περιεχόμενο σε κάθε επί μέρους κατηγορία εφαρμογών.

Ο Bohr αντιλήφθηκε ότι η Αδιαβατική Αρχή διάνοιγε αυτήν ακριβώς τη δυνατότητα: μέσω αυτής, ήταν δυνατό να προσδιορισθούν οι ισχύουσες στις στάσιμες καταστάσεις συνθήκες στην περίπτωση των αμιγώς περιοδικών συστημάτων. Έτσι, αφού απέδειξε ότι η συνθήκη κβάντωσης (2) του Ehrenfest μπορούσε να επεκταθεί σε όλα τα περιοδικά ατομικά συστήματα με ένα ή περισσότερα ηλεκτρόνια (στο ίδιο, σσ. [435]-[442]), απέδωσε ιδιαίτερη σημασία στο ακόλουθο γεγονός. Θεώρησε ένα περιοδικό ατομικό σύστημα και δύο συναρτήσεις $q(t) + \delta q(t)$ και $p(t) + \delta p(t)$ απειροστά κοντά στις λύσεις $q(t)$ και $p(t)$ των εξισώσεων Hamilton για τη Χαμιλτονιανή, έστω H , του συστήματος. Η συνακόλουθη τότε μεταβολή του φασικού ολοκληρώματος $J = \oint pdq$ προέκυπτε από τη σχέση $\delta J = \oint \delta H dt$ (3) με δH την αντίστοιχη μεταβολή της Χαμιλτονιανής.¹⁶ Εάν όμως η υπό θεώρηση μεταβολή αναφερόταν σ’ έναν αδιαβατικό μετασχηματισμό, η μεταβολή δH μπορούσε να εκληφθεί προσεγγιστικά ως ανεξάρτητη του χρόνου. Γιατί, στην περίπτωση αυτή, η ενέργεια θα μεταβαλλόταν εξ ορισμού εξαιρετικά αργά σε σχέση με την ιδιοπερίοδο του συστήματος. Υπ’ αυτόν τον περιορισμό, προέκυπτε πλέον εκ της (3) ότι

¹⁶ Η σχετική απόδειξη, υπό την πλέον ευκρινή της διατύπωση, εμφανίζεται στο 1^ο μέρος της ‘τριλογίας’ ‘On the Quantum Theory of Line Spectra’ (Bohr, 1918, *NBCW3*, σσ. [76]-[78]).

$\delta J = T\delta H$ ή ότι $\delta H = \nu\delta J$ (4), με T και ν την ιδιοπερίοδο και την ιδιοσυχνότητα, αντίστοιχα, του συστήματος.

Η σχέση (4) καταδεικνυε το εξής: εάν οι επισυμβαίνουσες ενεργειακές μεταβολές δH δεν επέτρεπαν τη μεταβολή του J κατά nh , όπως η συνθήκη κβάντωσης (2) όριζε, ένα ατομικό σύστημα ήταν δυνατό να ‘μετασχηματίζεται’ μηχανικά, παραμένοντας ωστόσο *συνεχώς στην ίδια* στάσιμη κατάσταση. Ή, υπό μια ισοδύναμη διατύπωση, ένα ηλεκτρόνιο ήταν δυνατό να εκτελεί ένα σύνολο *διαφορετικών* τροχιών (αντιστοιχούντων σε διαφορετικές τιμές του J), διατηρώντας ωστόσο *συνεχώς τον ίδιο* κβαντικό αριθμό n . Κατ’ αυτόν τον τρόπο, η έννοια της στάσιμης κατάστασης αποκτούσε, πράγματι, *θετικό περιεχόμενο*: η κατάσταση ενός περιοδικού συστήματος όφειλε να εκληφθεί ως ‘στάσιμη’, εάν οι ενεργειακές μεταβολές του συστήματος *δεν* οδηγούσαν σε κβαντική μετάπτωση. Ένας τέτοιος δε ορισμός της στάσιμης κατάστασης επιτελούσε και μια δεύτερη *εξίσου* σημαντική λειτουργία: καθώς παρείχε μια πρώτη δικαιολόγηση της απουσίας μεταπτώσεων κατά τις ασθενείς ενεργειακές μεταβολές, *απόλειπε* μια σοβαρή εσωτερική ασυνέπεια της ατομικής θεωρίας. Το ακόλουθο σχόλιο του Bohr είναι πράγματι αποκαλυπτικό.

(A2.2) «[Η ισχύς της Αδιαβατικής Αρχής] συνιστά *αναγκαία συνθήκη* για την εφαρμογή της συνηθισμένης μηχανικής στις στάσιμες καταστάσεις των περιοδικών συστημάτων. Γιατί, αλλιώς, θα μπορούσαμε, μέσω κατάλληλων αλλαγών των εξωτερικών συνθηκών, να επιβάλλουμε στα ατομικά συστήματα απορρόφηση ή εκπομπή ενέργειας, χωρίς να προκαλείται μετάπτωση μεταξύ στάσιμων καταστάσεων διαφορετικού n . Κι’ αυτό, θα ήταν βεβαίως ασύμβατο με την παραπάνω παραδοχή [την παραδοχή που εμφανίζεται στο απόσπασμα A2.1]» (στο ίδιο, σ. [437]).

Η σημασία της Αδιαβατικής Αρχής είναι πλέον φανερή. Η Αρχή αυτή, πέραν του ότι προσέδιδε θετικό περιεχόμενο στην έννοια της στάσιμης κατάστασης και πέραν του ότι εξάλειφε εγγενείς αντιφάσεις της ατομικής θεωρίας, επιτύγχανε και την κάλυψη ενός σημαντικού μεθοδολογικού ελλείμματος. Μέσω αυτής, ο Bohr μπορούσε πλέον να διατυπώσει μια *μεθοδολογικώς συνεκτική* δικαιολόγηση εκείνης της παραδοχής της πρώτης ατομικής του θεωρίας που καθιστούσε κατά τρόπο *ad hoc* δυνατή τη χρήση της κλασικής μηχανικής στις στάσιμες καταστάσεις. Ας τον παρακολουθήσουμε.

(A2.3) «Μπορούμε πλέον να εκφράσουμε μια συνεκτική θεώρηση των στάσιμων καταστάσεων, στην περίπτωση των περιοδικών συστημάτων, *βασιζόμενοι* στην παραδοχή ότι η δυναμική ισορροπία [η κίνηση] στις καταστάσεις αυτές προσδιορίζεται από τη συνηθισμένη μηχανική» (Bohr, 1916, σ. [435]).

Ή, υπό μια αντίστροφη διατύπωση:

«Σε όσα συστήματα η συνηθισμένη μηχανική δεν οδηγεί σε περιοδικές τροχιές, απουσιάζει ένα γενικό θεώρημα αυτού του τύπου [του τύπου της Αδιαβατικής Αρχής] και, επομένως, δεν υφίσταται τρόπος διάκρισης μεταξύ στάσιμων καταστάσεων και μεταπτώσεων» (στο ίδιο, σ. [442]).

Η Αδιαβατική συνεπώς Αρχή, όχι μόνο καθιστούσε τη χρήση της κλασικής μηχανικής *συμβατή* με το πεδίο εφαρμογής της, με το οριοθετούμενο δηλαδή από τις στάσιμες καταστάσεις πεδίο, αλλά την καθιστούσε, περαιτέρω, και *μέσο διάκρισης* μεταξύ στάσιμων καταστάσεων και μεταπτώσεων. Έτσι, η χρήση της κλασικής μηχανικής όχι μόνο δεν προσέκρουε μεθοδολογικώς στο αξίωμα των στάσιμων καταστάσεων, αλλά, αντίθετα, ήταν εκείνη που διασφάλιζε μια *συνεκτική* μεθοδολογική θεώρηση των καταστάσεων αυτών, όταν η Αδιαβατική Αρχή βρισκόταν εν ισχύ. Υπ' αυτήν την έννοια, η ενσωμάτωση της Αδιαβατικής Αρχής στην ατομική θεωρία μπορεί εύλογα να ειδωθεί ως προσπάθεια ανταπόκρισης στις μεθοδολογικές επιταγές που η ίδια η ατομική θεωρία έθετε (§Α-1.1). Εν τούτοις, η ευρετική δυναμική της υιοθετηθείσας από τον Bohr μεθοδολογίας είχε εν μέρει μόνο διαφανεί. Γιατί η τεράστια σημασία που ενείχε η ένταξη της Αδιαβατικής Αρχής στο κβαντικό πλαίσιο έμελλε κατ' ουσία ν' αποκαλυφθεί μετά τη διατύπωση της στατιστικής ερμηνείας της ακτινοβολίας από τον Einstein.

2. Η Στατιστική Θεωρία της Ακτινοβολίας του Einstein.

Η στατιστική θεωρία της ακτινοβολίας συνιστά προϊόν τριών διαδοχικών εργασιών (Einstein, 1916α, 1916β, 1917). Στις εργασίες αυτές, ο Einstein, δια της συστηματικής χρήσης της στατιστικής μηχανικής, κατόρθωσε να προσφέρει για πρώτη φορά έναν *αμιγή* κβαντομηχανικό χειρισμό της αλληλεπίδρασης μεταξύ μιας ακτινοβόλου πηγής και της ακτινοβολίας του περιβάλλοντός της. Κατ' αυτόν τον τρόπο, ενισχύθηκε η φερεγγυότητα της θεωρίας του Planck, επιβεβαιώθηκε ο θεμελιακός της χαρακτήρας και εισήχθη με *τελεσίδικο* τρόπο η έννοια της πιθανότητας εντός του κβαντικού πλαισίου. Ο Einstein εδραίωσε τη θεωρία του στις ακόλουθες υποθέσεις.

Α. Ένα κβαντικό σύστημα (ή ένα 'κβαντικό μόριο' σύμφωνα με την ορολογία του Einstein) μπορεί να βρεθεί σε διακεκριμένες μόνο ενεργειακές καταστάσεις, τις 'κβαντικές καταστάσεις' ('quantum states'), ανεξαρτήτως του προσανατολισμού και της μεταφορικής του κίνησης. Έτσι, ο Einstein έθεσε ως πρώτη προκείμενη της εργασίας του τη «θεμελιώδη υπόθεση της κβαντικής θεωρίας» (Einstein, 1917/ 1967, σ. 65), μια υπόθεση που εναρμονίζεται πλήρως τόσο με τη θεωρία

του Planck όσο και με το αξίωμα των ‘στάσιμων καταστάσεων’ της πρώτης ατομικής θεωρίας.

- B.** Ένα κβαντικό σύστημα απορροφά ή εκπέμπει ακτινοβολία *μόνο* κατά τη διάρκεια μιας μετάπτωσης από μια κβαντική κατάσταση σε μια άλλη. Η συγκεκριμένη υπόθεση ταυτίζεται με την αφετηριακή ιδέα του ‘κανόνα συχνότητας’ του Bohr (§A-1.1, παραδοχή B).
- Γ.** Οι μεταπτώσεις ενός κβαντικού συστήματος διακρίνονται σε δύο κατηγορίες: σε ‘αυθόρμητες’ μεταπτώσεις (‘spontaneous’ transitions) και σε μεταπτώσεις ‘ακτινοβόλησης’ (changes of state due to ‘irradiation’). Οι νόμοι δε που διέπουν τις κβαντικές μεταπτώσεις, υπακούουν σε δύο υποθέσεις που, όπως ο ίδιος ο Einstein επισήμανε, διατυπώθηκαν «*δια της μεταφοράς της γνωστής συμπεριφοράς του κατά Planck ταλαντωτή στο κλασικό πλαίσιο στην άγνωστη, μέχρι στιγμής, συμπεριφορά του εντός του κβαντικού πλαισίου*» (στο ίδιο, σ. 66). Οι υποθέσεις αυτές είναι οι εξής:
- Γ₁.** Οι ‘αυθόρμητες’ μεταπτώσεις λαμβάνουν χώρα *μόνο* κατά την εκπομπή ακτινοβολίας. Χαρακτηρίζονται δε ως ‘αυθόρμητες’, επειδή το κβαντικό σύστημα εκπέμπει ακτινοβολία *χωρίς* να έχει καθιονδήποτε τρόπο διεγερθεί από το εξωτερικό περιβάλλον. Η υπόθεση αυτή παραβιάζει ευθέως την κλασική επιταγή της αιτιακής εξέλιξης των φαινομένων και μας υπενθυμίζει, αναμφίβολα, την παραδοχή των αφνίδιων κβαντικών ‘αλμάτων’ του Bohr (§A-1.1, παραδοχή Γ).
- Γ₂.** Οι μεταπτώσεις ‘ακτινοβόλησης’ εμφανίζονται τόσο κατά την εκπομπή όσο και κατά την απορρόφηση ακτινοβολίας. Αποδίδονται δε αποκλειστικά στην αλληλεπίδραση του κβαντικού συστήματος με την ακτινοβολία του περιβάλλοντος. Οι μεταπτώσεις ‘ακτινοβόλησης’ είναι απολύτως συμβατές με την κλασική ηλεκτρομαγνητική θεωρία.
- Δ.** Οι μεταπτώσεις μεταξύ των κβαντικών καταστάσεων υπακούουν σε νόμους που είναι *ανάλογοι* προς τους νόμους της κλασικής στατιστικής. Συγκεκριμένα, εφαρμόζεται «η πλέον ακραία γενίκευση της κατανομής ταχυτήτων του Maxwell» (στο ίδιο, σ. 65).

Με σημείο εκκίνησης τις προαναφερθείσες υποθέσεις, ο Einstein θεώρησε ένα ομογενές ιδανικό ‘αέριο’ συγκροτούμενο από κατά Planck ταλαντωτές και

ευρισκόμενο σε κατάσταση θερμικής ισορροπίας με το περιβάλλον του. Σε συμφωνία δε με την υπόθεση Α, εξέλαβε τα ‘μόρια’ του συγκεκριμένου ‘αερίου’ ως ευρισκόμενα σε διακεκριμένες κβαντικές καταστάσεις Z_n με αντίστοιχες τιμές ενέργειας ε_n , $n = 1, 2, \dots$. Τότε, βάσει της υπόθεσης Δ, η σχετική συχνότητα W_n των καταστάσεων Z_n παρέχεται από την κανονική κατανομή της στατιστικής μηχανικής $W_n = p_n \exp(-\varepsilon_n/kT)$ (5), όπου k η σταθερά του Boltzmann, T η θερμοκρασία ισορροπίας και p_n το στατιστικό βάρος της κατάστασης Z_n (στο ίδιο, σ. 65).

Στη συνέχεια, ο Einstein θεώρησε δύο εκ των δυνατών καταστάσεων Z_m και Z_n ενός ‘μορίου’ του αερίου με ενέργειες ε_m και ε_n , αντίστοιχα, που ικανοποιούσαν τη σχέση $\varepsilon_m > \varepsilon_n$. Θεώρησε επίσης τις μεταπτώσεις $Z_{m \rightarrow n}$ και $Z_{n \rightarrow m}$ του συγκεκριμένου ‘μορίου’ με αντίστοιχη εκπομπή ή απορρόφηση ενέργειας $\varepsilon_m - \varepsilon_n$. Ακολουθώντας δε την υπόθεση Γ₁ όρισε ότι, κατά την εκπομπή ακτινοβολίας, η *a priori* πιθανότητα να συμβεί μια ‘αυθόρμητη’ μετάπτωση σε χρόνο dt είναι $dW = A_m^n dt$ (6), όπου A_m^n σταθερά εξαρτώμενη από τον συνδυασμό των δεικτών m και n . Ακολουθώντας επίσης την υπόθεση Γ₂, ο Einstein όρισε ότι, υπό την επίδραση εξωτερικής ακτινοβολίας συχνότητας ν και πυκνότητας ενέργειας ρ_ν ¹⁷ η *a priori* πιθανότητα να συμβεί μια μετάπτωση ‘ακτινοβόλησης’ σε χρόνο dt είναι $dW = B_m^n \rho_\nu dt$ (7) με B_m^n σταθερά, εάν πρόκειται για μετάπτωση εκπομπής, ή $dW = B_n^m \rho_\nu dt$ (8) με B_n^m σταθερά, εάν πρόκειται για μετάπτωση απορρόφησης.

Εάν βεβαίως το ‘αέριο’ βρίσκεται σε ισορροπία με το περιβάλλον του, η κατανομή των καταστάσεών του δεν διαταράσσεται από την αλληλεπίδρασή του με την εξωτερική ακτινοβολία. Στην περίπτωση συνεπώς αυτή, ο αριθμός των μεταπτώσεων απορρόφησης είναι ίσος με τον αριθμό των μεταπτώσεων εκπομπής. Εφαρμόζοντας λοιπόν τον τύπο (5) της κανονικής κατανομής στις εξισώσεις (6), (7) και (8), ο Einstein κατέληξε στην ακόλουθη σχέση:

$$p_n \exp(-\varepsilon_n/kT) B_n^m \rho_\nu = p_m \exp(-\varepsilon_m/kT) (B_m^n \rho_\nu + A_m^n) \quad (9)$$

Εάν, περαιτέρω, $\rho_\nu \rightarrow \infty$ σε μια συγκεκριμένη θερμοκρασία T , τότε ο αριθμός των μεταπτώσεων $Z_{m \rightarrow n}$ και $Z_{n \rightarrow m}$ είναι κατά προσέγγιση ίδιος, οπότε οι

¹⁷ Η πυκνότητα ενέργειας ρ_ν εκφράζει τον αριθμό κβάντων φωτός με συχνότητα ν προς τα συνολικά κβάντα της επιδρούσας στο ‘μόριο’ ακτινοβολίας.

σταθερές B_n^m και B_m^n συνδέονται μεταξύ τους μέσω της σχέσης $p_n B_n^m = p_m B_m^n$,

$$\text{και εκ της (9) προκύπτει ότι: } \rho_\nu = \frac{A_m^n / B_m^n}{\exp\left[\frac{(\varepsilon_m - \varepsilon_n)}{kT}\right] - 1} \quad (10).$$

Η σχέση αυτή εξέφραζε την ισχύουσα, κατά την ισορροπία του 'αερίου', συνθήκη. Έτσι, ο Einstein, συνέκρινε τη σχέση (10) με τον αντίστοιχο τύπο του Wien, ο οποίος για μεγάλες τιμές του $\frac{\nu}{T}$ προέβλεπε με ικανοποιητική ακρίβεια τα πειραματικά αποτελέσματα. Ο συγκεκριμένος τύπος δίνεται από τη σχέση $\rho = \alpha \nu^3 \exp(-h\nu/kT)$ (11). Εκ της σύγκρισης αυτής στο προαναφερθέν όριο, προέκυπτε ότι η συμβατότητα των σχέσεων (10) και (11) επιτυγχανόταν μόνο εάν $\frac{A_m^n}{B_m^n} = \alpha \nu^3$ (12) και $\varepsilon_m - \varepsilon_n = h\nu$ (13).

Κατ' αυτόν τον τρόπο, ο Einstein είχε φθάσει στο πρώτο σημαντικό επίτευγμα της εργασίας του: είχε επιτύχει μια ανεξάρτητη επιβεβαίωση του 'κανόνα συχνότητας' του Bohr. Ο ίδιος σχολίασε το συγκεκριμένο γεγονός ως εξής: «η εξίσωση (13) αντιπροσωπεύει, όπως είναι φανερό, τον δεύτερο κεντρικό κανόνα της περί φασμάτων θεωρίας του Bohr. Η θεωρία δε αυτή, από τη στιγμή που επεκτάθηκε από τους Sommerfeld και Epstein, μπορεί εύλογα να εκληφθεί ως ένα καλώς επιβεβαιωμένο τμήμα της επιστήμης μας» (στο ίδιο, σ. 69).

Η σχέση (10), υπό το φως των σχέσεων (12) και (13), λάμβανε πλέον την μορφή $\rho_\nu = \alpha \nu^3 \frac{1}{\exp(h\nu/kT) - 1}$ (14). Στο σημείο αυτό, ο Einstein προέβαλε τον

ακόλουθο ισχυρισμό: «Για να υπολογίσουμε την τιμή της σταθεράς α , θα έπρεπε να έχουμε στη διάθεσή μας μια ακριβή θεωρία των ηλεκτροδυναμικών και μηχανικών διαδικασιών. Προς το παρόν, περιοριζόμαστε αναγκαστικά στον χειρισμό του νόμου του Rayleigh στην περιοχή των υψηλών θερμοκρασιών, όπου η κλασική θεωρία ισχύει οριακά» (στο ίδιο, σ. 69). Συγκρίνοντας λοιπόν στο κλασικό όριο τη σχέση

$$(14) \text{ με τον εμπειρικό τύπο του Rayleigh } \rho = \frac{8\pi\nu^2 kT}{c^3} \quad (15), \text{ ο Einstein}$$

κατόρθωσε να υπολογίσει την τιμή της σταθεράς $\alpha = \frac{8\pi h}{c^3}$ (16). Αντικαθιστώντας

δε την τιμή αυτή στη σχέση (16), έφθασε τελικά στον νόμο ακτινοβολίας του Planck

$$\rho_\nu = \frac{8\pi^2\nu^2}{c^3} \frac{h\nu}{\exp(h\nu/kT) - 1}.$$

Κατ' αυτόν τον τρόπο, ο Einstein προσέγγισε το δεύτερο μεγάλο επίτευγμα της εργασίας του: κατέληξε στο τελικό αποτέλεσμα της θεωρίας του Planck μέσω αμιγώς κβαντομηχανικών χειρισμών.¹⁸ Αυτή τη φορά, ο Einstein σχολίασε το συγκεκριμένο γεγονός ως εξής: «Αποδεχόμενος μερικές υποθέσεις για την εκπομπή και την απορρόφηση της ακτινοβολίας, υποθέσεις που προκύπτουν με φυσικό τρόπο από την κβαντική θεωρία, μπόρεσα να δείξω ότι, σε κατάσταση θερμικής ισορροπίας, μόρια που ακολουθούν μια κβαντική κατανομή καταστάσεων βρίσκονται σε δυναμική ισορροπία με την κατά Planck ακτινοβολία. Κατ' αυτόν τον τρόπο, ο τύπος του Planck προέκυψε με ένα εκπληκτικά απλό και γενικό τρόπο» (στο ίδιο, σ. 64).

Το απόσπασμα αυτό χαρακτηρίζει, αναμφίβολα, τη γενικότερη επιστημολογική αντίληψη του Einstein, μια αντίληψη που έθετε ως κεντρικά κριτήρια αξιολόγησης των εκάστοτε προτεινόμενων θεωρητικών σχημάτων την οικονομία, την απλότητα και την ενοποιητική τους ισχύ (βλ. §A-5.2.3, σημείο 5). Ήταν επίσης η προσωπική του μετα-επιστημονική αντίληψη εκείνη που τον ώθησε να διατυπώσει στον επίλογο της εργασίας του το ακόλουθο συμπέρασμα: «Οι ιδιότητες των υποατομικών διαδικασιών ... καθιστούν την διατύπωση μιας ορθής κβαντικής θεωρίας σχεδόν αναπόφευκτη. Η αδυναμία της θεωρίας έγκειται στο γεγονός ότι δεν μας οδηγεί, αφενός, εγγύτερα σε μια σύνδεση με την κυματική θεωρία και ότι αφήνει, αφετέρου, τη χρονική διάρκεια και την κατεύθυνση των ατομικών διαδικασιών στην 'τύχη'. Παρ' όλα αυτά, πιστεύω απόλυτα ότι η προσέγγιση που επελέγη στην παρούσα εργασία είναι αξιόπιστη» (στο ίδιο, σ. 76).

Ενώ λοιπόν ο Einstein εκλάμβανε την εργασία του ως μια 'αξιόπιστη' προσέγγιση εντός του υφιστάμενου κβαντικού σχήματος, δεν παρέλειψε να υπογραμμίσει τις 'αδυναμίες' που χαρακτήριζαν, κατά τη γνώμη του, το συγκεκριμένο σχήμα: η παραβίαση της αυστηρής αιτιότητας, μια παραβίαση που στο πλαίσιο της θεώρησής του εκδηλωνόταν με την υπόθεση των 'αυθόρμητων' μεταπτώσεων, εμπόδιζε την ένταξη της κβαντικής και της κυματικής θεωρίας σ' ένα γενικευμένο και αυστηρώς αιτιακό λογικό σχήμα (βλ. §A-5.2.3, σημείο 5). Η

¹⁸ Έως τότε, οι κατά Planck ταλαντωτές, παρότι κβαντισμένοι, εκλαμβάνονταν ως υποκείμενοι σε κλασικές αλληλεπιδράσεις με την ακτινοβολία του περιβάλλοντος.

αξιοπιστία, επομένως, των αποτελεσμάτων της εργασίας του όφειλε να κριθεί μόνο εντός «της παρούσας [τότε] κατάστασης της θεωρίας» (στο ίδιο, σ. 76).

Ο Bohr θα ήταν βεβαίως ο τελευταίος που θ' αμφισβητούσε τον προκαταρκτικό χαρακτήρα του υφιστάμενου κβαντικού σχήματος. Θεωρώντας όμως ότι το κβαντικό αξίωμα εξέφραζε ένα ουσιαστικό χαρακτηριστικό των υποατομικών διαδικασιών και εκλαμβάνοντας, ως εκ τούτου, την ισχύ του ως *δεδομένη*, ήταν προετοιμασμένος από πολύ νωρίς για μια ενδεχόμενη ριζική ρήξη με τις κλασικές ιδέες. Έτσι, δεν εξέλαβε ποτέ την παραβίαση της κλασικής αιτιότητας ως εμπόδιο προς υπέρβαση. Απέδωσε αντίθετα, ιδιαίτερη βαρύτητα *ακριβώς* στο γεγονός ότι η στατιστική θεωρία της ακτινοβολίας προσέφερε ένα συστηματικό τρόπο χειρισμού *της ενδεχομενικότητας* των κβαντικών συμβάντων. Διέκρινε επίσης αμέσως την ιδιαίτερη συγγένεια των θεωρητικών και μεθοδολογικών παραδοχών της εργασίας του Einstein¹⁹ με τις αντίστοιχες παραδοχές της ατομικής θεωρίας.

Πράγματι, όσον αφορά τη θεωρητική θεμελίωση των δύο εργασιών, οι υποθέσεις A, B και Γ₁ της θεωρίας του Einstein ήταν απολύτως συμβατές με τις παραδοχές A, B και Γ της πρώτης ατομικής θεωρίας (§A-1.1). Όσον αφορά δε το μεθοδολογικό τους υπόβαθρο, μπορούμε να εντοπίσουμε δύο σημεία εξαιρετικής συνάφειας μεταξύ τους. Κατ' αρχήν, ο Einstein, δια της εισαγωγής της έννοιας της 'αυθόρμητης' μετάπτωσης, υιοθέτησε μια μη-κλασική παραδοχή, την οποία όμως χειρίσθηκε με νόμους *τυπικά ανάλογους* προς τους νόμους της κλασικής στατιστικής. Ακόμη δε περισσότερο, όπως επισήμανε με οξυδέρκεια ο Bohr, ο Einstein «συνέκρινε τις παραδοχές της κβαντικής θεωρίας με τις αντιλήψεις της κλασικής ηλεκτροδυναμικής, στο βαθμό που τα προκύπτοντα από τους εμπλεκόμενους νόμους πορίσματα είχαν υποστηριχτεί με ουσιαστικό τρόπο από την εμπειρία» (Bohr, 1921β, σ. [351]).

Ο Bohr υποδείκνυε εδώ τον υπολογισμό της σταθεράς a , έναν υπολογισμό που, όπως διαπιστώσαμε, επιτεύχθηκε μέσω της σύγκρισης της σχέσης (14) με τον εμπειρικό τύπο του Rayleigh στο κλασικό όριο. Μια τέτοια δε μεθοδολογική πρακτική, μια πρακτική που έθετε τα πειραματικά αποτελέσματα ως 'διάυλο επικοινωνίας' μεταξύ της κλασικής και της κβαντικής θεωρίας συνέπλεε βεβαίως αρμονικά με τις μεθοδολογικές επιταγές της AAB (§A-1.1, σημείο 5). Επίσης, όπως εύστοχα παρατηρεί ο Jammer, «η ιδέα της υποκινούμενης εκπομπής [η ιδέα των μεταπτώσεων 'ακτινοβόλησης'] προτάθηκε στον Einstein – και θα έμπαινε στον

¹⁹ Αντίθετα, όπως θα δούμε στη συνέχεια (§A-4.4), ο Bohr διατύπωνε πάντα ισχυρότατες επιφυλάξεις ως προς την εσωτερική συνεκτικότητα και την ερευνητική δυναμική της θεωρίας των κβάντων.

πειρασμό κανείς να πει με τρόπο απολύτως σύμφωνο με την AAB – από την κλασική θεωρία αλληλεπιδράσεων μεταξύ ενός πεδίου ακτινοβολίας και ενός συστήματος ταλαντούμενων φορτίων» (Jammer, 1989, σ. 113).

Εάν προσθέσουμε σ' όλα τα παραπάνω την παραγωγή των αποτελεσμάτων της θεωρίας του Planck μέσω μιας γενικευμένης και αμιγώς κβαντικής προοπτικής, καθώς και την ανεξάρτητη επιβεβαίωση του 'κανόνα συχνότητας' της ατομικής θεωρίας, κατανοούμε πλέον επαρκώς την άμεση ευνοϊκή τοποθέτηση του Bohr έναντι της εργασίας του Einstein. Η θεωρητική συνιστώσα της συγκεκριμένης εργασίας όχι μόνο ήταν συμβατή με την ατομική θεωρία, αλλά ενίσχυε σημαντικά και την αξιοπιστία των βασικών της παραδοχών. Είναι χαρακτηριστικό ότι έκτοτε ο Bohr – από το πρώτο μέρος της τριλογίας του 'Περί της κβαντικής θεωρίας των φασματικών γραμμών' (1918) έως και την εκπονή της 'παλιάς' κβαντικής θεωρίας (1925 - 1926) – στήριζε πλέον τις θεωρητικές του προτάσεις σε δύο αξιώματα: στο κβαντικό αξίωμα και στον 'κανόνα συχνότητας'.

Η στατιστική όμως θεωρία της ακτινοβολίας προσέφερε και κάτι άλλο εξίσου σημαντικό. Όπως ακριβώς η 'Αδιαβατική Αρχή' του Ehrenfest προσέφερε τη θεωρητική βάση και τα κατάλληλα μαθηματικά εργαλεία για τη μελέτη της κίνησης των ηλεκτρονίων στις στάσιμες καταστάσεις (§A-2.1), έτσι και η θεωρία του Einstein προσέφερε τα αντίστοιχα ερείσματα για τη μελέτη τόσο του 'αιφνίδιου' καθεστώτος των ηλεκτρονικών μεταπτώσεων όσο και των μεταξύ ύλης και ακτινοβολίας αλληλεπιδράσεων. Έτσι, τα δύο αυτά επιτεύγματα, μετά την κατάλληλη μεταξύ τους διασύνδεση, ενσωματώθηκαν στην ατομική θεωρία και εκ της θέσεως αυτής προσέφεραν συγκεκριμένους και εξελιγμένους τρόπους εφαρμογής των μεθοδολογικών επιταγών της AAB.

3. Η 'Αδιαβατική Αρχή' και η 'Στατιστική Θεωρία της Ακτινοβολίας'

διασυνδέονται επιτυχώς στο πλαίσιο της ατομικής θεωρίας

Η Αρχή της Αντιστοιχίας αποκτά σαφές μεθοδολογικό περιεχόμενο

Ο Bohr, στον πρόλογο της τριλογίας του 'Περί της κβαντικής θεωρίας των φασματικών γραμμών' (Bohr, 1918 –1922, *NBCW3*, σσ. [67]-[200]), σχηματοποίησε το περιεχόμενο της συγκεκριμένης εργασίας ως εξής:

(A2.4) «Οι δυσκολίες που αντιμετωπίζουμε αυτή τη στιγμή είναι στενά συνδεδεμένες με τη ριζική απομάκρυνση από τις συνηθισμένες ιδέες της μηχανικής και ηλεκτροδυναμικής, μια απομάκρυνση που συνεπάγεται από τις ίδιες τις κεντρικές παραδοχές της κβαντικής θεωρίας. Οι δυσκολίες αυτές συνδέονται

επίσης με το γεγονός ότι δεν κατέστη έως τώρα δυνατό ν' αντικαταστήσουμε τις συγκεκριμένες ιδέες με κάποιες άλλες που να συγκροτούν μια εξίσου συνεκτική κι' εξελιγμένη δομή. Παρ' όλα αυτά, μια σημαντική πρόοδος σημειώθηκε πρόσφατα, μια πρόοδος που οφείλεται στις εργασίες των Einstein και Ehrenfest. Στην παρούσα λοιπόν κατάσταση της θεωρίας, είναι ενδιαφέρον να συζητήσουμε τις ποικίλες εφαρμογές της κβαντικής θεωρίας υπό μια ενιαία οπτική γωνία και, κυρίως, να εξετάσουμε τη συσχέτιση των υποκειμένων στην κβαντική θεωρία παραδοχών με τη συνηθισμένη μηχανική και ηλεκτροδυναμική. Αυτή ακριβώς η προσπάθεια επιχειρείται στην παρούσα εργασία και, όπως θα δειχθεί στη συνέχεια, διαφαίνεται πλέον η δυνατότητα να φωτίσουμε σε κάποιο βαθμό τις εξαιρετικές δυσκολίες που αντιμετωπίζουμε. Η δυνατότητα αυτή διανοίγεται μέσω της χάραξης μιας στενής αναλογίας μεταξύ της κβαντικής θεωρίας και της συνηθισμένης θεωρίας της ακτινοβολίας» (στο ίδιο, σ. [70]).

Όπως παρατηρούμε, ο Bohr οριοθέτησε την εργασία του τονίζοντας για μια ακόμη φορά την επιβληθείσα από τα κβαντικά αξιώματα 'ριζική απομάκρυνση' από τις κλασικές ιδέες. Οι εργασίες όμως των Einstein και Ehrenfest προσέφεραν πλέον τη δυνατότητα μιας 'στενής αναλογίας' με την κλασική μηχανική και ηλεκτροδυναμική. Η συγκεκριμένη 'αναλογία', που δεν ήταν βεβαίως άλλη από την AAB, αναμενόταν να 'φωτίσει' τις υφιστάμενες δυσκολίες μέσω της συσχέτισης των 'υποκειμένων' στην κβαντική θεωρία 'παραδοχών' με την κλασική θεωρία.

Το περιεχόμενο της AAB δεν διατυπώθηκε ποτέ με ακρίβεια. Κι' αυτό, γιατί η AAB δεν προσέλαβε ποτέ τον χαρακτήρα μιας φορμαλιστικής αναλογίας προορισμένης να επιτύχει τη λογική ενοποίηση της κλασικής και της κβαντικής θεωρίας (§A-5.2.2). Η AAB λειτούργησε, αντίθετα, ως ένα 'ανοικτό', πλην όμως αυστηρό, μεθοδολογικό εργαλείο, του οποίου η χρήση αποσκοπούσε στη σταδιακή 'ανακάλυψη' του 'ριζικά καινούργιου' (§A-6, σημείο 3). Αποσκοπούσε, δηλαδή, στη θεμελίωση μιας συνεκτικής και φυσικώς ερμηνευμένης κβαντικής θεωρίας, 'ριζικώς διαφορετικής', ενδεχομένως, από την κλασική. Η παρουσίαση που ακολουθεί επιχειρεί να παρακάμψει τους εξειδικευμένους, ανάλογα με τα εκάστοτε προβλήματα, τρόπους εφαρμογής της AAB και ν' αναδείξει το ουσιαστικό της περιεχόμενο με ένα συνοπτικό και ποιοτικό κατά βάσει τρόπο. Η παρουσίαση αυτή αντλεί το υλικό της από εκείνες τις εργασίες του Bohr που συνόδευσαν την AAB στο διάστημα της πλέον εντατικής της εφαρμογής (1918 – 1924).

1. *Η Αδιαβατική Αρχή προσέφερε τη δυνατότητα μιας μεθοδολογικώς αξιόπιστης διασύνδεσης του ατομικού συστήματος με το 'κλασικό' του περιβάλλον.* Όπως έχουμε ήδη διαπιστώσει (§A-2.1), ο Bohr, δια της επίκλησης της Αδιαβατικής Αρχής, είχε επιτύχει, ήδη από το 1916, μια πρώτη ερμηνεία της σταθερότητας των ατόμων κατά τις ασθενείς ενεργειακές τους μεταβολές. Ένα ερώτημα όμως που ετίθετο άμεσα ήταν

το κατά πόσο η διασύνδεση του μακροσκοπικού ‘κλασικού’ περιβάλλοντος με τη ‘μη-κλασική’ έννοια της στάσιμης κατάστασης ήταν μεθοδολογικώς θεμιτή. Ο Bohr, το 1918, ήταν πλέον σε θέση να δώσει την εξής απάντηση:

(A2.5) «Μπορούμε να θεωρήσουμε ότι, όταν η μεταβολή των εξωτερικών συνθηκών πραγματοποιείται με σταθερό ή ελαφρά μεταβαλλόμενο ρυθμό, οι δυνάμεις, στις οποίες εκτίθενται τα σωματίδια του συστήματος, δεν διαφέρουν ανά πάσα στιγμή από τις δυνάμεις που αυτά θα δέχονταν, εάν οι εξωτερικές δυνάμεις αποδίδονταν σ’ ένα αριθμό πρόσθετων, αργά κινούμενων σωματιδίων, τα οποία μαζί με το αρχικό σύστημα θα συγκροτούσαν ένα [ευρύτερο] σύστημα σε στάσιμη κατάσταση» (Bohr, 1918, NBCW3, σσ. [74]-[75]).

Η Αδιαβατική λοιπόν Αρχή επέτρεψε στον Bohr να εξομοιώσει τη δράση των εξωτερικών δυνάμεων με τη δράση ‘αδιαβατικώς συσχετισμένων’, ως προς το υπό εξέταση σύστημα, περιοδικών ταλαντωτών. Το ατομικό σύστημα εκλαμβάνονταν πλέον ως τμήμα μιας ‘ολότητας’, εντός της οποίας το περιβάλλον εντασσόταν υπό τη μορφή πρόσθετων ‘εικονικών’ σωματιδίων. Η, υπό μία διαφορετική διατύπωση, ο ‘μηχανικός μετασχηματισμός των στάσιμων καταστάσεων’ δεν εθεάτο πλέον ως συνέπεια της επίδρασης του κλασικού περιβάλλοντος στο ατομικό σύστημα, αλλά ως συνέπεια των συντελούμενων διαδικασιών στο εσωτερικό ενός ευρύτερου ‘κβαντικού’ συστήματος, το οποίο, παρά τον σημειούμενο μετασχηματισμό, εξακολουθούσε να παραμένει στην ίδια στάσιμη κατάσταση. Το ευρύτερο δε αυτό σύστημα μπορούσε πράγματι να ειπωθεί ως ‘κβαντικό’, εφόσον χαρακτηριζόταν και το ίδιο από στάσιμες καταστάσεις. Δεν μπορούμε παρά να σημειώσουμε ότι μία τέτοια θεώρηση, μια θεώρηση που πήγαζε από την επιδίωξη της μέγιστης δυνατής μεθοδολογικής ακρίβειας, δημιούργησε μια πρώτη εικόνα της διαμορφούμενης, από το σύστημα και το περιβάλλον του, κβαντικής ‘ολότητας’.

2. Η διασύνδεση της ‘Αδιαβατικής Αρχής’ με τη ‘Στατιστική Θεωρία της Ακτινοβολίας’ επιτυγχάνεται στο πεδίο των μεγάλων κβαντικών αριθμών. Το 1916, η Αδιαβατική Αρχή είχε προσφέρει, όπως είδαμε, τη δυνατότητα στον Bohr να προσδώσει θετικό περιεχόμενο στην έννοια της στάσιμης κατάστασης, να δικαιολογήσει τη χρήση των κλασικών εργαλείων στο οριοθετούμενο από τις στάσιμες καταστάσεις πεδίο και να ερμηνεύσει τη σταθερότητα των ατόμων στις περιπτώσεις που οι ενεργειακές τους μεταβολές δεν οδηγούσαν σε ηλεκτρονική μετάπτωση (§A-2.1). Η Αδιαβατική όμως Αρχή αδυνατούσε εκ λόγων αρχής να συνεισφέρει στη μελέτη των ‘αιφνίδιων’ και, ως εκ τούτου, κατ’ εξοχήν μη-κλασικών κβαντικών ‘άλμάτων’. Έτσι, όταν διατυπώθηκε η στατιστική θεωρία της ακτινοβολίας, ο Bohr διέκρινε ότι η κατάλληλη διασύνδεση της θεωρίας του Einstein

με την Αδιαβατική Αρχή θα μπορούσε να συσχετίσει την κίνηση των ηλεκτρονίων στις στάσιμες καταστάσεις με την εκπεμπόμενη, κατά τις μεταπτώσεις τους, ακτινοβολία. Κατόρθωσε δε να επιτύχει τη διασύνδεση αυτή, ανακαλύπτοντας ένα πεδίο όπου η εφαρμογή και των δύο θεωριών ήταν μεθοδολογικώς επιτρεπτή: το πεδίο των μεγάλων κβαντικών αριθμών. Ο Bohr προχώρησε με τα ακόλουθα βήματα.

2α. Η περιοδική κίνηση του ηλεκτρονίου 'αντιστοιχίζεται' σ' ένα σύνολο κβαντικών αρμονικών ταλαντώσεων. Μέσω των εξισώσεων της κλασικής μηχανικής, η περιοδική κίνηση του ηλεκτρονίου σε μια στάσιμη κατάσταση μπορεί να εκφρασθεί ως ένα κατά Fourier άθροισμα $\xi = \sum C_\tau \cos 2\pi(\tau\omega t + c_\tau)$ (1) αρμονικών ταλαντώσεων με C_τ , c_τ σταθερές και τ έναν ακέραιο θετικό αριθμό που υποδεικνύει την τάξη κάθε αρμονικής. Ο Bohr, έχοντας επεκτείνει, ήδη από το 1916, τη συνθήκη κβάντωσης του Ehrenfest σε όλα τα περιοδικά συστήματα, είχε αποδείξει ότι η περιοδική κίνηση του ηλεκτρονίου σε μια στάσιμη κατάσταση ήταν 'αδιαβατικώς συσχετισμένη' και επομένως *ισοδύναμη* με ένα σύνολο κβαντικών αρμονικών ταλαντώσεων κυκλικής συχνότητας $\omega_\tau = \tau\omega$ (2) και ενέργειας $E_\tau = nh\omega_\tau$ (3). Είχε επομένως το δικαίωμα ν' αντιστοιχίσει στο περιοδικώς κινούμενο ηλεκτρόνιο ένα σύνολο 'εικονικών' κβαντικών ταλαντωτών, των οποίων ο αριθμός και η κυκλική συχνότητα ' ω_τ ' συνέπιπταν με τον αριθμό και την κυκλική συχνότητα ' $\tau\omega$ ' των αρμονικών της κίνησης του ηλεκτρονίου σε μια στάσιμη κατάσταση. Το γεγονός αυτό ενείχε εξαιρετική σημασία. Γιατί επέτρεπε πλέον σε κάποιον να εκλάβει τις ηλεκτρονικές μεταπτώσεις ως αναφερόμενες, όχι στο ηλεκτρόνιο καθεαυτό, αλλά σ' έναν από τους 'αντιστοιχούντες' στο ηλεκτρόνιο αυτό κβαντικούς ταλαντωτές.

2β. Μια μετάπτωση εκλαμβάνεται ως 'αδιαβατικός μετασχηματισμός' στην περιοχή των μεγάλων κβαντικών αριθμών. Σύμφωνα με την κλασική θεωρία, ο περιγραφόμενος από την (1) περιοδικός ταλαντωτής εκπέμπει όλες τις αρμονικές του συχνότητες ' $\tau\omega$ ' ταυτοχρόνως. Σύμφωνα με τον 'κανόνα συχνότητας' της ατομικής θεωρίας, αντίθετα, το ηλεκτρόνιο, κατά τη μετακίνησή του από μια κατάσταση με $n = n'$ σε μια κατάσταση με $n = n''$, όφειλε να εκπέμπει *μια* και μόνο συχνότητα $\nu = \frac{1}{h}(E' - E'')$ (4) με E' και E'' τις αντιστοιχούσες στις δύο καταστάσεις ενεργειακές τιμές. Στο σημείο αυτό, ο Bohr ισχυρίστηκε τα εξής.

(A2.6) «Η αρχή του μηχανικού μετασχηματισμού των στάσιμων καταστάσεων μας επιτρέπει να υπερπηδήσουμε την εξής βασική δυσκολία ... Έως τώρα, είχαμε θεωρήσει ότι η μετάπτωση μεταξύ δύο στάσιμων καταστάσεων δεν είναι δυνατό να περιγραφεί μέσω της συνηθισμένης μηχανικής. Από την άλλη όμως πλευρά, εάν δεν υπάρχει η δυνατότητα συνεχούς μηχανικής διασύνδεσης των στάσιμων καταστάσεων, δεν έχουμε κανένα μέσο για τον προσδιορισμό της ενεργειακής τους διαφοράς. Η αρχή του Ehrenfest μας επιτρέπει να μετασχηματίσουμε μηχανικά τις στάσιμες καταστάσεις ενός συστήματος ... εκεί όπου μπορούμε να θεωρήσουμε ότι οι τιμές ενέργειας των στάσιμων καταστάσεων κατά προσέγγιση συμπίπτουν» (Bohr, 1918, σ. [75]).

Ο Bohr θεώρησε, πράγματι, ότι στην περιοχή των μεγάλων κβαντικών αριθμών, όπου η διαφορά $E' - E''$ ήταν πολύ μικρή σε σχέση με τις ενεργειακές τιμές E' και E'' ή, ισοδύναμα, η διαφορά $n' - n''$ ήταν πολύ μικρή σε σχέση με τις τιμές των n' και n'' , η μετάπτωση $n' \rightarrow n''$ μπορούσε βάσιμα να εκληφθεί ως ‘αδιαβατικός μετασχηματισμός’. Κι’ αυτό, για δύο λόγους: *πρώτον*, επειδή η συνοδεύουσα τη μετάπτωση ενεργειακή μεταβολή ήταν εξαιρετικά ασθενής και, *δεύτερον*, επειδή οι αντιστοιχούσες στις δύο καταστάσεις τροχιές (ή, ακριβέστερα, τα αντιστοιχούντα στις δύο τροχιές φασικά ολοκληρώματα $\oint pdq = nh$) διέφεραν ελάχιστα μεταξύ τους (στο ίδιο, σ. [80]).

2γ. Η σύγκριση των προβλέψεων της κλασικής και της κβαντικής θεωρίας στην περιοχή των μεγάλων κβαντικών αριθμών οδηγεί στην ανάδυση ‘κανόνων επιλογής’ για τις ‘επιτρεπόμενες’ μεταπτώσεις. Υπό την ανωτέρω οπτική γωνία και με δεδομένο ότι μια μετάπτωση δεν αφορούσε πλέον το ηλεκτρόνιο καθεαυτό, αλλά έναν από τους ‘αντιστοιχούντες’ σ’ αυτό κβαντικούς ταλαντωτές, η μετάπτωση $n' \rightarrow n''$ όφειλε να συνοδεύεται (εκ των εξισώσεων (2) και (4) της §A-2.1), από εκπομπή *μονοχρωματικής* ακτινοβολίας συχνότητας

$$\nu = \frac{1}{h}(E' - E'') = \frac{\omega}{h}(I' - I'') = (n' - n'')\omega \quad (5), \text{ όπως ακριβώς ο ‘κανόνας}$$

συχνότητας’ (4) απαιτούσε. Εάν δε κάποιος δεχόταν επιπλέον ότι η τιμή της διαφοράς $n' - n''$ όφειλε να ικανοποιεί τη σχέση $n' - n'' = \tau$, θα κατέληγε στις ίδιες με την κλασική θεωρία προβλέψεις, στην περίπτωση που οι αποδιδόμενες από την (5) συχνότητες εκπέμπονταν όλες ταυτοχρόνως. Υπό την παραδοχή συνεπώς ότι $n' - n'' = \tau$ (6), ο ‘κανόνας συχνότητας’ επιβεβαιωνόταν σ’ ένα πεδίο όπου η ισχύς της κλασικής θεωρίας ήταν *αδιαμφισβήτητη*. Ο Bohr σχολίασε το συγκεκριμένο αποτέλεσμα με τον ακόλουθο τρόπο.

(A2.7) «Στον βαθμό που αναφερόμαστε στις εκπεμπόμενες συχνότητες, παρατηρούμε ότι, στο όριο των μεγάλων κβαντικών αριθμών, υφίσταται μια *στενή*

σχέση μεταξύ της συνηθισμένης θεωρίας της ακτινοβολίας και της θεωρίας των φασμάτων [της ατομικής θεωρίας]. Θα πρέπει παρ' όλα αυτά να σημειωθεί ότι, ενώ σύμφωνα με την κλασική θεωρία οι αντιστοιχούσες στις διαφορετικές τιμές του 'τ' ακτινοβολίες 'τω' εκπέμπονται ή απορροφώνται ταυτοχρόνως, σύμφωνα με την παρούσα θεωρία οι ακτινοβολίες αυτές αναφέρονται σε εντελώς διαφορετικές διαδικασίες εκπομπής ή απορρόφησης, σε διαδικασίες δηλαδή που υπόκεινται στα κβαντικά αξιώματα» (στο ίδιο, σ. [81]).

Ο Bohr, για ν' αποφύγει τις οποιεσδήποτε παρανοήσεις ως προς τον χαρακτήρα της επιχειρούμενης συσχέτισης της κβαντικής με την κλασική θεωρία, προέβαινε σε τέτοιου τύπου διευκρινίσεις καθ' όλη τη διάρκεια εφαρμογής της AAB. Τέσσερα χρόνια, λόγου χάριν, αργότερα, υπογράμμισε με την ίδια έμφαση τα εξής:

(A2.8) «Δεν τίθεται σε καμία περίπτωση το ερώτημα περί μιας σταδιακής προσέγγισης της κβαντικής θεωρίας στις κλασικές ιδέες στο όριο των μεγάλων κβαντικών αριθμών. Γιατί στο όριο αυτό, όπως ακριβώς και στην περίπτωση που οι αριθμοί αυτοί δεν είναι μεγάλοι σε σχέση με τη μεταξύ τους διαφορά, υποθέτουμε ότι οι διάφορες αρμονικές συνιστώσες της ακτινοβολίας πηγάζουν από εντελώς διαφορετικές, σε σχέση με τις κλασικές, διαδικασίες εκπομπής» (Bohr, 1922β, NBCW3, σ. [428]).

Και μπορεί μεν η 'στενή σχέση' της κβαντικής με την κλασική θεωρία στο πεδίο των μεγάλων κβαντικών αριθμών να μην οδηγούσε στη 'σταδιακή προσέγγιση της κβαντικής θεωρίας στις κλασικές ιδέες', οδηγούσε, όμως, σε εντυπωσιακά πράγματι αποτελέσματα. Η πρώτη, παραδείγματος χάριν, συστηματική εφαρμογή του συγκεκριμένου μεθοδολογικού σχήματος, το 1918, οδήγησε, όπως είδαμε, στην 'ανάδυση' της σχέσης (6), 'ανάδυση' υπό την έννοια ότι η σχέση αυτή δεν προέκυπτε με κανένα τρόπο από τις γενικές αρχές του κβαντικού πλαισίου. Η συγκεκριμένη δε σχέση ενείχε εξαιρετική σημασία. Γιατί προσέφερε έναν 'κανόνα επιλογής' των 'επιτρεπτών', εξ όλων των δυνατών, μεταπτώσεων του ηλεκτρονίου: μια μετάπτωση $n' \rightarrow n''$ ήταν επιτρεπτή, μόνο εάν η κίνηση του ηλεκτρονίου στην αρχική n' κατάσταση εμπεριείχε την τ -τάξεως αρμονική $\omega_\tau = \tau\omega$ με $\tau = n' - n''$ (5). Η, υπό μια ισοδύναμη διατύπωση, εάν η αρμονική ω_τ απουσίαζε (εάν, δηλαδή, η αντίστοιχη σταθερά C_τ της εξίσωσης (1) ήταν ίση με μηδέν), η πιθανότητα να εμφανισθεί η μετάπτωση $n' \rightarrow n''$ και, κατ' επέκταση, η αντιστοιχούσα στη μετάπτωση αυτή ακτινοβολία ω_τ ήταν ίση με μηδέν.

Παρατηρούμε ότι η 'αντιστοίχιση' του ηλεκτρονίου σ' ένα σύνολο 'εικονικών' κβαντικών ταλαντωτών, σε συνδυασμό με έναν 'κανόνα επιλογής' που απέρρεε από τη συσχέτιση κλασικής και κβαντικής θεωρίας, εισήγαγε τις έννοιες της 'πιθανότητας' και του 'στατιστικού συνόλου' στην ατομική θεωρία και διαμόρφωσε τις προϋποθέσεις για τη σύνδεση της κίνησης στις στάσιμες καταστάσεις με τη

στατιστική θεωρία της ακτινοβολίας. Η ‘αντιστοιχισή’ ακόμη αυτή ήταν εκείνη που προσέδωσε στην AAB το όνομά της.

2δ. Η AAB προσλαμβάνει το όνομά της. Ο πρώτος σαφής δημόσιος προσδιορισμός της εφαρμοζόμενης ‘αναλογίας’ ως μορφής ‘αντιστοιχισής’ εμφανίσθηκε το 1920 με τον ακόλουθο τρόπο.

(A2.9) «Παρότι οι διαδικασίες της ακτινοβολίας δεν είναι δυνατό να περιγραφούν μέσω της συνηθισμένης ηλεκτροδυναμικής, ... βρέθηκε, εν τούτοις, μια ευρείας εμβέλειας αντιστοιχία μεταξύ των διαφόρων τύπων των πιθανών μεταπτώσεων μεταξύ των στάσιμων καταστάσεων και των διαφόρων αρμονικών συνιστωσών της [κλασικής] κίνησης» (Bohr, 1920β, *NBCW3*, σσ. [245]-[246]).

Το 1922, στο τρίτο μέρος της τριλογίας ‘Περί της κβαντικής θεωρίας των φασματικών γραμμών’, η AAB προβλήθηκε ως ένα ‘αμιγές’ πλέον ‘κβαντικό θεώρημα’ και δηλώθηκε ευθέως η αντικατάσταση του όρου ‘αναλογία’ με τον όρο ‘Αρχή της Αντιστοιχίας’, προκειμένου να εμποδιστούν οι όποιες ‘παρανοήσεις’ ως προς τη δυνατότητα ‘άμεσης σύνδεσης’ των κλασικών και των κβαντικών περιγραφών (Bohr, 1922α, *NBCW3*, σ. [178]). Η AAB όφειλε να ειδωθεί ως «νόμος της κβαντικής θεωρίας», επειδή δεν μείωνε καθ’ οιονδήποτε τρόπο «την αντίθεση μεταξύ των κβαντικών αξιωμάτων και της ηλεκτροδυναμικής θεωρίας» (Bohr, 1923α, *NBCW3*, σ. [479], υποσημείωση). Παρ’ όλα αυτά, η παρουσίαση της AAB ως ‘νόμου της κβαντικής θεωρίας’ ήταν μάλλον παραπλανητική. Γιατί ο ορισμός της AAB ενείχε περισσότερο περιγραφικό παρά αναλυτικό περιεχόμενο. Έτσι, οι φραστικές του διατυπώσεις δεν ήταν ποτέ πανομοιότυπες. Μια εκ των διατυπώσεων αυτών είναι και η ακόλουθη.

(A2.10) «Η πιθανότητα μιας αυθόρμητης μετάπτωσης από μια συγκεκριμένη στάσιμη κατάσταση σε κάποια από τις υπόλοιπες στάσιμες καταστάσεις μικρότερης ενέργειας εξαρτάται από την παρουσία μιας αρμονικής ταλάντωσης ... που θα λέγαμε ότι ‘αντιστοιχεί’ στην εκπεμπόμενη, σύμφωνα με την κβαντική θεωρία, ακτινοβολία. ... Το περιεχόμενο του συγκεκριμένου ισχυρισμού θα αναφέρεται στη συνέχεια υπό το όνομα ‘Αρχή της Αντιστοιχίας’» (Bohr, 1921β, *NBCW3*, σ. [378]).

Μέσω του αποσπάσματος αυτού, παρουσιάζεται πράγματι με επάρκεια το ουσιαστικό περιεχόμενο της AAB, ένα περιεχόμενο που, παρά τις εκάστοτε φραστικές διαφοροποιήσεις, εξέφραζε τον ίδιο πάντοτε ισχυρισμό: η AAB όριζε μια ‘αντιστοιχία’ μεταξύ των αρμονικών συνιστωσών της κίνησης στις στάσιμες καταστάσεις και της πιθανότητας εμφάνισης μιας ‘αυθόρμητης’ μετάπτωσης, ή, ισοδύναμα, της πιθανότητας εμφάνισης μιας μονοχρωματικής ακτινοβολίας ορισμένης συχνότητας. Η συσχέτιση της κίνησης στις στάσιμες καταστάσεις με τις

‘αυθόρμητες’ μεταπτώσεις της στατιστικής θεωρίας της ακτινοβολίας είναι πλέον φανερή. Η AAB είχε αποκτήσει συγκεκριμένο περιεχόμενο εκ της επιτυχούς διασύνδεσης της Αδιαβατικής Αρχής με τη στατιστική θεωρία της ακτινοβολίας του Einstein. Παρότι δε η διασύνδεση αυτή απέκτησε προοδευτικά ευκρινέστερη διατύπωση, η βασική της ιδέα είχε εκφραστεί στο πρώτο ήδη μέρος της ‘τριλογίας’ του 1918, όταν η AAB εμφανιζόταν ακόμη ως μια ‘αναλογία’ χωρίς κάποιο ιδιαίτερο όνομα. Θα περιγράψουμε την ιδέα αυτή με έναξν ποιοτικό κατά βάση τρόπο.

2ε. Η στατιστική θεωρία της ακτινοβολίας ως μέσο διασύνδεσης της κίνησης στις στάσιμες καταστάσεις με τα ‘αιφνίδια κβαντικά άλματα’. Ο Bohr, αφού έδειξε ότι στο όριο των μεγάλων κβαντικών αριθμών οι προβλεπόμενες από τον ‘κανόνα συχνότητας’ ακτινοβολίες έτειναν να συμπέσουν με τις κλασικές προβλέψεις, διατύπωσε την ακόλουθη υπόθεση:

(A2.11) «Η ‘αντιστοιχία’ μεταξύ των συχνοτήτων που προσδιορίστηκαν μέσω των δύο μεθόδων [την κλασικής και της κβαντικής], πρέπει να έχει μια βαθύτερη σημασία. Έτσι, υποθέσαμε ότι θα πρέπει να εφαρμόζεται και στις εντάσεις. Αυτό ισοδυναμεί με τον ισχυρισμό ότι, όταν οι κβαντικοί αριθμοί είναι μεγάλοι, η σχετική πιθανότητα μιας συγκεκριμένης μετάπτωσης σχετίζεται με απλό τρόπο με το πλάτος της αντίστοιχης αρμονικής συνιστώσας της κίνησης» (Bohr, 1920b, NBCW3, σ. [249]).

Εκτιμώντας, λοιπόν, ότι τα προκύπτοντα από μια αυστηρή ερευνητική μεθοδολογία πορίσματα αποκάλυπταν μια σημαντική πτυχή των φυσικών διαδικασιών, ο Bohr διατύπωσε την ακόλουθη υπόθεση: «εφόσον στην κλασική ηλεκτροδυναμική οι εντάσεις των ακτινοβολιών που αντιστοιχούν σε διαφορετικές τιμές του ‘ τ ’ προσδιορίζονται από τους συντελεστές C_τ της εξίσωσης (1), στο πλαίσιο της κβαντικής θεωρίας και στην περιοχή των μεγάλων κβαντικών αριθμών, οι συντελεστές αυτοί θα πρέπει να προσδιορίζουν την πιθανότητα αυθόρμητης μετάπτωσης από μια στάσιμη κατάσταση με $n = n'$ σε μια γειτονική στάσιμη κατάσταση με $n = n'' = n' - \tau$ » (Bohr, 1918, NBCW3, σ. [81]).

Εφόσον δε η *a priori* πιθανότητα μιας ‘αυθόρμητης’ μετάπτωσης $n' \rightarrow n'' = n' - \tau$ ήταν, σύμφωνα με τη θεωρία του Einstein, ανάλογη της σταθεράς $A_n^{n'-\tau}$ (εξίσωση (6), §A-2.2), ο Bohr δέχθηκε την ισχύ της σχέσης $A_n^{n'-\tau} = \lambda |C_\tau(n)|^2$ (7) με λ σταθερά. Η σχέση αυτή όριζε ότι η πιθανότητα εμφάνισης της ‘αυθόρμητης’ μετάπτωσης $n' \rightarrow n'' = n' - \tau$ και, κατ’ επέκταση, της αντίστοιχης ακτινοβολίας ‘ ω_τ ’ ήταν ανάλογη του τετραγώνου του συντελεστή της τ -τάξεως αρμονικής της περιοδικής κίνησης (1) που χαρακτήριζε την αρχική στάσιμη

κατάσταση n' . Εάν συνεπώς υπολόγιζε κανείς τη σταθερά λ , θα μπορούσε να υπολογίσει, περαιτέρω, και τη 'σχετική πιθανότητα' ή το 'στατιστικό βάρος' $A_n^{n'-\tau}$ κάθε 'αυθόρμητης' μετάπτωσης βάσει της θεωρίας του Einstein. Στο σημείο αυτό, ο Bohr προέβαλε τον ακόλουθο ισχυρισμό: «η πιθανότητα εμφάνισης μιας μετάπτωσης πρέπει να εξαρτάται από τον συντελεστή της 'αντίστοιχης' αρμονικής κατά τέτοιο τρόπο, ώστε, στο όριο των μεγάλων κβαντικών αριθμών, η ένταση της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας να συμπίπτει με την ένταση που προκύπτει από την εφαρμογή των κλασικών νόμων της ηλεκτροδυναμικής» (Bohr, 1922β, *NBCW3*, σ. [428]).

Πράγματι, η σύγκριση των αποτελεσμάτων της κλασικής και της κβαντικής θεωρίας στο όριο των μεγάλων κβαντικών αριθμών, οδήγησε σ' έναν πρώτο υπολογισμό της σταθεράς λ και προσέφερε, μέσω της (7), την επιζητούμενη φορμαλιστική σύνδεση της κίνησης στις στάσιμες καταστάσεις με τα αιφνίδια κβαντικά άλματα. Ο Bohr, επισημαίνοντας όπως πάντα *τους περιορισμούς των συναγόμενων*, δια της μεθόδου αυτής, *αποτελεσμάτων*, παρατήρησε τα εξής.

(A2.12) «Εφόσον δεν διαθέτουμε μια λεπτομερή θεωρία για τον μηχανισμό των μεταπτώσεων, μπορούμε να υπολογίσουμε την πιθανότητα μιας μετάπτωσης *μόνο* στην περιοχή των μεγάλων κβαντικών αριθμών. Εν τούτοις, περιμένουμε ότι, ακόμη και στην περιοχή των μικρών κβαντικών αριθμών, ο συντελεστής της αρμονικής ταλάντωσης που αντιστοιχεί σε κάποια τιμή του τ πρέπει κατά κάποιο τρόπο να προσφέρει ένα μέτρο της πιθανότητας μιας μετάπτωσης μεταξύ δύο καταστάσεων με $n'' = n' - \tau$ » (Bohr, 1918, *NBCW3*, σ. [82]).

Η μεταφορά των αποτελεσμάτων από την περιοχή των μεγάλων κβαντικών αριθμών στην περιοχή των μικρών ήταν βεβαίως αυθαίρετη. Η παραδοχή όμως αυτή, όπως και κάθε βοηθητική παραδοχή της ατομικής θεωρίας, ήταν δυνατό στη συνέχεια να τροποποιηθεί, να επεκταθεί ή ακόμη και ν' απορριφθεί μέσω της σύγκρισής της με τα πειραματικά αποτελέσματα. Γιατί η AAB, εκτός του ότι δημιουργούσε μέσω της εμπειρίας ένα 'διάλυο επικοινωνίας' μεταξύ της κλασικής και της κβαντικής θεωρίας στο πεδίο των μεγάλων κβαντικών αριθμών, καθιστούσε επίσης την εμπειρία 'πεδίο ελέγχου' της εκάστοτε εφαρμοζόμενης 'αναλογίας'. Κατ' αυτόν τον τρόπο, το ερευνητικό πρόγραμμα του Bohr είχε αποκτήσει ένα σαφές, πλην όμως ανοικτό και ευέλικτο μεθοδολογικό πλαίσιο, ένα πλαίσιο που έμελλε να διατηρηθεί αναλλοίωτο έως τη διατύπωση της συμπληρωματικότητας.

3. Η AAB, υπό την εξελιγμένη της μορφή, οδήγησε σε μια πρώτη προσέγγιση των εγγενών δομικών χαρακτηριστικών της κβαντικής θεωρίας. Υπό το φως της προηγηθείσας ανάλυσης, η ερευνητική πορεία του Bohr θα μπορούσε εύλογα ν'

αποδοθεί σε μια ‘ανοικτή’ επιστημολογική θεώρηση, σε μια θεώρηση, όμως, που, ενώ αναζητούσε το ‘ρίζικά καινούργιο’, στήριζε την αναζήτησή του στην καλώς εδραιωμένη γνώση και στην αυστηρή μεθοδολογική πρακτική. Η ένταξη της Αδιαβατικής Αρχής και της στατιστικής θεωρίας της ακτινοβολίας στο πλαίσιο της ατομικής θεωρίας υποκινήθηκε, όπως ήδη διαπιστώσαμε, από αυτές ακριβώς τις επιδιώξεις. Εξετάζοντας τώρα, υπό το πρίσμα της σύγχρονης κβαντικής θεωρίας, τα προκύψαντα από την ένταξη αυτή αποτελέσματα, δεν μπορούμε παρά να σημειώσουμε ότι αυτά ενείχαν, όπως και ο ίδιος ο Bohr πίστευε, κάποια ‘βαθύτερη σημασία’. Γιατί η AAB, υπό την εξελιγμένη της μορφή, αναδείκνυε και έθετε υπό συζήτηση προβλήματα που ‘άγγιζαν’, κατά αφανή βεβαίως τότε τρόπο, τα θεμελιακά χαρακτηριστικά της κβαντικής θεωρίας.

Η προσαρμογή, κατ’ αρχήν, της Αδιαβατικής Αρχής στην ατομική θεωρία, καθώς δημιούργησε μια πρώτη εικόνα της διαμορφούμενης από το κβαντικό σύστημα και το περιβάλλον του κβαντικής ‘ολότητας’ (σημείο 1), έστρεψε το ενδιαφέρον σε προβλήματα που κατ’ ουσία άπτονταν του ολιστικού χαρακτήρα των κβαντικών διαδικασιών. Ο Kramers, λόγου χάριν, το 1920, βασιζόμενος στην ιδέα του Bohr περί εξομοίωσης της δράσης των εξωτερικών δυνάμεων με τη δράση ‘εικονικών’ κβαντικών ταλαντωτών, προχώρησε στη συστηματική μελέτη της επίδρασης του ηλεκτρικού πεδίου στη λεπτή υφή του ατόμου του υδρογόνου και επένδυσε τις τιθέμενες από την AAB παραδοχές μ’ ένα κομψό μαθηματικό φορμαλισμό.²⁰ Επεκτείνοντας επίσης την ιδέα αυτή στη δράση της εξωτερικής ακτινοβολίας, διατύπωσε την περί ‘διασκεδασμού’ θεωρία του (‘dispersion’ theory’, Kramers, 1924α, 1924β), μια θεωρία που, καθώς αποκολλήθηκε για πρώτη φορά από την έννοια της ‘τροχιάς’, σηματοδότησε, σύμφωνα με αναδρομική εκτίμηση του Born, «το πρώτο βήμα από το φωτεινό πεδίο της κλασικής μηχανικής στον σκοτεινό και ανεξερευνήτο ακόμη κόσμο της νέας κβαντικής μηχανικής» (Born, 1976, σ. 216). Η θεωρία ‘διασκεδασμού’ αποτέλεσε τη βάση μιας σειράς αλληπάλληλων σημαντικότερων εργασιών,²¹ οι οποίες, δια της εφαρμογής της AAB στα προβλήματα αλληλεπίδρασης των κβαντικών συστημάτων με το περιβάλλον τους, προσέφεραν θεαματικές πειραματικές προβλέψεις και ανέπτυξαν τον κβαντικό φορμαλισμό.

²⁰ Ο Darrigol προσφέρει μια συνοπτική παρουσίαση της συγκεκριμένης εργασίας, των επιτυχών πειραματικών της προβλέψεων, καθώς και των εξελίξεων που αυτή υποκίνησε (Darrigol, 1992, σσ. 129-132).

²¹ Οι σημαντικότερες εκ των εργασιών αυτών παρουσιάζονται, υπό αγγλική μετάφραση, στον τόμο van der Waarden (ed.), *Sources of Quantum Mechanics*, σσ. 139-253.

Στο πλαίσιο της ‘παλιάς’ κβαντικής θεωρίας, η ιδέα της ‘ολότητας’ έφθασε στην κορύφωσή της μέσω της BKS θεωρίας,²² μιας θεωρίας που, παρά την τελική της απαξίωση, συνέβαλε σημαντικά στην *ποιοτική* κατανόηση του χαρακτήρα των κβαντικών διαδικασιών. Σύμφωνα με την κλασική ηλεκτρομαγνητική θεωρία, η ταυτόχρονη αμοιβαία αλληλεπίδραση δύο απομακρυσμένων μεταξύ τους ατομικών συστημάτων είναι αδύνατη. Η BKS θεωρία, παραβιάζοντας τις αρχές διατήρησης υπό την κλασική τους διατύπωση και ορίζοντας με αξιωματικό τρόπο τη *στατιστική* τους και μόνο ισχύ, κατέστησε την εξ αποστάσεως αλληλεπίδραση δύο ατομικών συστημάτων *δυνατή*: η αλληλεπίδραση αυτή δεν προέκυπτε πλέον από την αιτιακή δράση του ενός συστήματος επί του άλλου, από την αυστηρή δηλαδή αιτιακή ‘σύζευξη’ των δύο συστημάτων, αλλά από την ταυτόχρονη *συλλογική* δράση των συστημάτων αυτών και των αντιστοιχούντων στο περιβάλλον τους ‘εικονικών’ ταλαντωτών (Bohr, Kramers & Slater, 1924α, *NBCW5*, σ. [108]).

Η BKS θεωρία, έχοντας διατυπωθεί υπό τις μεθοδολογικές επιταγές της AAB, είχε διατηρήσει στο περιεχόμενό της τις συνεχείς χωρο-χρονικές περιγραφές στις στάσιμες καταστάσεις. Έτσι, η πειραματική κατάδειξη της θεωρητικής της αφερεγγυότητας²³ υποδείκνυε ως επιτακτική πλέον την ανάγκη της *οριστικής* απόλειψης της κλασικής χωρο-χρονικής συνέχειας από το κβαντικό πλαίσιο (§Α-3.2, σημείο 6). Πέραν όμως της, υπ’ αυτήν την έννοια, συμβολής της στην ερευνητική εξέλιξη, η BKS θεωρία προσέφερε μια ιδέα που μπόλιασε ανεξίτηλα τον επιστημονικό προβληματισμό: την ιδέα της *μη-εξατομικευμένης* δράσης των κβαντικών συστημάτων. Είναι χαρακτηριστικό ότι ο Born, αξιοποιώντας αυτήν ακριβώς την ιδέα, μελέτησε τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των κινούμενων, εντός του ίδιου ατόμου, ηλεκτρονίων και προσέφερε μια σημαντικότερη εργασία, η οποία μάλιστα εκλαμβάνεται ως αφετηριακό σημείο της ‘νέας’ κβαντικής μηχανικής²⁴ (Born, 1924, σσ. 181-198).

Η ανάπτυξη όμως της ιδέας της ‘ολότητας’ τροφοδοτήθηκε από την παράλληλη ανάπτυξη μιας άλλης θεμελιακής έννοιας της κβαντικής θεωρίας, μιας έννοιας της οποίας η καταγωγή οφείλει και πάλι ν’ αναζητηθεί στην Αδιαβατική Αρχή. Γιατί, καθώς η τελευταία επέτρεπε σε κάποιον να ισχυρίζεται ότι «η κίνηση κάθε

²² Οι θεμελιακές αρχές της BKS θεωρίας εκτίθενται στη σελ. 83 κ.έ.

²³ Η ισχύς των νόμων διατήρησης, υπό την κλασική τους διατύπωση, καταδείχθηκε πολύ σύντομα και πέραν κάθε αμφισβήτησης από τα πειράματα των Bothe και Geiger.

²⁴ Η σημαντική αυτή εργασία επιγράφεται ‘Κβαντική Μηχανική’ και σηματοδοτεί, πράγματι, την παρθενική εμφάνιση του όρου ‘Κβαντική Μηχανική’ στη βιβλιογραφία της φυσικής επιστήμης.

σωματιδίου ... μπορεί ν' αναπαρασταθεί ως μια *υπέρθεση* αρμονικών ταλαντώσεων» (Bohr, 1922β, *NBCW3*, σ. [429]), ήταν εκείνη που εισήγαγε για πρώτη φορά την έννοια της 'υπέρθεσης' στο κβαντικό πλαίσιο. Παρότι δε η έννοια αυτή εφαρμοζόταν για τη μελέτη των μηχανικών κινήσεων στις στάσιμες καταστάσεις, η 'αντιστοίχιση' των αρμονικών της συνιστωσών σε 'εικονικούς' κβαντικούς ταλαντωτές (σημείο 2α), υπονόμει ισχυρά το κλασικό της νόημα. Πράγματι, ο Bohr, υποκινούμενος από τη συνεχή του έγνοια για μεθοδολογική ακρίβεια, μίλούσε, και στην περίπτωση αυτή, για χειρισμό 'μηχανικών συμβόλων' που αντλήθηκαν από την κλασική θεωρία (Bohr, 1923α, *NBCW3*, σ. [481]).

Ο όρος, συνεπώς 'υπέρθεση', ως υποδεικνύων την επαλληλία 'εικονικών' ταλαντωτών, διατηρούσε τον τυπικό του μόνο χαρακτήρα. Όταν όμως η διασύνδεση της Αδιαβατικής Αρχής με τη στατιστική θεωρία της ακτινοβολίας οδήγησε στη συσχέτιση της έννοιας της 'υπέρθεσης' με την έννοια της 'πιθανότητας', ο ίδιος ο μαθηματικός φορμαλισμός υποδείκνυε πλέον μια διάσταση που τον υπερέβαινε. Γιατί, μέσω αυτού, η 'κλασική' συμπεριφορά του ηλεκτρονίου πρόβαλε ως το *επιφαινόμενο αποτέλεσμα* ενός στατιστικού συνόλου κβαντικών διαδικασιών. Ήταν δε αυτό ακριβώς το γεγονός που αναδείκνυε ο Bohr, όταν τόνιζε ότι «στο όριο των μεγάλων κβαντικών αριθμών, το ζήτημα που τίθεται δεν είναι η σταδιακή άμβλυνση της διαφοράς μεταξύ της κβαντικής περιγραφής των φαινομένων της ακτινοβολίας και των ιδεών της κλασικής ηλεκτροδυναμικής, αλλά η ασυμπτωτική και μόνο συμφωνία *στατιστικών αποτελεσμάτων*» (Bohr, 1923α, *NBCW3*, σ. [480]).

Η διασύνδεση, όμως, των εννοιών της 'υπέρθεσης' και της 'πιθανότητας' άγγιξε ακροθιγώς και μία ακόμη πτυχή. Γιατί δεν μπορούμε παρά να επισημάνουμε ότι, εφόσον στο πλαίσιο της κλασικής θεωρίας ο συντελεστής C_τ εκφράζει 'το πλάτος' κάθε αρμονικής, η συσχέτισή του με την *a priori* πιθανότητα $A_n^{n-\tau}$ μιας μετάπτωσης (μέσω της σχέσης $A_n^{n-\tau} = \lambda |C_\tau(n)|^2$), του προσέδιδε, ποιοτικώς, τον χαρακτήρα 'πλάτους πιθανότητας', πολύ πριν διατυπωθεί η κυματομηχανική του Schrödinger και πολύ πριν επιτευχθεί η κατά Born στατιστική της ερμηνεία.

Αξίζει επίσης να προσέξουμε ότι ο Bohr, εκφράζοντας το περιεχόμενο της AAB, επισήμαινε ότι «η *δυνατότητα* μιας μετάπτωσης μεταξύ δύο στάσιμων καταστάσεων ... οφείλει, σύμφωνα με την AAB, ν' αναζητηθεί στην παρουσία ορισμένων 'αντίστοιχων' αρμονικών ταλαντώσεων στις σημειούμενες εντός του ατόμου κινήσεις» (Bohr, 1922στ, *NBCW3*, σ. [449]). Σύμφωνα με την AAB, συνεπώς, οι

συνθέτουσες την υπέρθεση αρμονικές προσδιόριζαν τις ‘δυνατότητες’ ενός ηλεκτρονίου προς μετάπτωση, ο συντελεστής δε C_r κάθε αρμονικής προσδιόριζε, κατ’ επέκταση, την πιθανότητα εμφάνισης μιας εκ των υφιστάμενων ‘δυνατοτήτων’. Από την άλλη πλευρά, υπό μια έγκυρη φυσική ερμηνεία της σύγχρονης κβαντικής θεωρίας, οι συναπαρτίζοντες μια υπέρθεση όροι εκλαμβάνονται ως εκφράζοντας τις ‘δυνάμενες να πραγματοποιηθούν’ (εντός ενός συγκεκριμένου πειραματικού πλαισίου) καταστάσεις ενός κβαντικού συστήματος (Karakostas, 2004). Υπό το πρίσμα της συγκεκριμένης ερμηνείας, μπορούμε πράγματι να εκτιμήσουμε την ποιοτική ανταπόκριση του ισχυρισμού του Bohr στα σύγχρονα δεδομένα, πολύ δε περισσότερο εάν συνυπολογίσουμε ότι η διατύπωση του ισχυρισμού αυτού συνοδευόταν από πλήρη άγνοια της φυσικής του σημασίας.

Οφείλουμε τέλος να σημειώσουμε ότι η φορμαλιστική στήριξη που προσέφερε η στατιστική θεωρία της ακτινοβολίας στην έννοια των ‘αυθόρμητων’ μεταπτώσεων δημιούργησε τις προϋποθέσεις για τη σταδιακή αναγνώριση του εγγενούς πιθανοκρατικού χαρακτήρα της κβαντικής θεωρίας. Γιατί η θεωρία του Einstein επέτρεπε, λόγου χάριν, στον Bohr να ισχυρίζεται ότι «κατά την εφαρμογή του προτεινόμενου [από τη στατιστική θεωρία] χειρισμού, δεν αναζητάμε κάποια αιτία για την εμφάνιση των φαινομένων της ακτινοβολίας, αλλά απλώς υποθέτουμε ότι τα φαινόμενα αυτά κυβερνώνται από τους νόμους των πιθανοτήτων» (Bohr, 1923α, *NBCW3*, σ. [478]). Και, παρότι ο Bohr σημείωνε, παράλληλα, ότι ο χειρισμός αυτός προσέφερε μια ‘προκαταρκτική’ μόνο λύση στα προβλήματα της ακτινοβολίας, ήταν, αναμφίβολα, η διεξοδική επεξεργασία των προβλημάτων αυτών εκείνη που καλλιέργησε το έδαφος για την προσέγγιση και την αναγγελία της οριστικής κατάλυσης της κλασικής αιτιοκρατίας από τις σχέσεις απροσδιοριστίας (§Α-5.2.3).

Θεωρούμε αξιοθαύμαστο πράγματι το γεγονός ότι η ‘παλιά’ κβαντική μηχανική, χωρίς να έχει τη δυνατότητα απόδοσης αυστηρών λογικών αποδείξεων, κατόρθωσε να προσεγγίζει τόσο στενά τα θεμελιακά χαρακτηριστικά της σύγχρονης κβαντικής θεωρίας μέσω ποιοτικών, κατά βάσει, εξηγήσεων. Το γεγονός αυτό θα πρέπει κυρίως ν’ αποδοθεί στον ανοικτό, αλλά ταυτόχρονα και εξαιρετικά αυστηρό, ως προς τις μεθοδολογικές του αρχές, χαρακτήρα του ερευνητικού προγράμματος του Bohr. Μέσω της προηγηθείσας ανάλυσης προσπαθήσαμε να στηρίξουμε αυτόν ακριβώς τον ισχυρισμό. Εφόσον όμως έχουμε πλέον αποκτήσει σαφή αντίληψη του περιεχομένου της AAB, η διεξοδική μελέτη των ιδιαίτερων επιστημολογικών της χαρακτηριστικών θα μας επιτρέψει να ενισχύσουμε περαιτέρω τον συγκεκριμένο ισχυρισμό.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ

Η ΑΡΧΗ ΤΗΣ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΙΑΣ ΩΣ ‘ΑΝΑΛΟΓΙΑ’

1. Η Αρχή της Αντιστοιχίας ως έκφραση μιας μορφής ‘μεθοδολογικού εμπειρισμού’

Όπως συνάγεται εκ της προηγηθείσας ανάλυσης, η AAB υπήρξε μια *τυπική αναλογία*, η οποία εισήγαγε *θεωρητικούς όρους* και *συντακτικές σχέσεις* της κλασικής φυσικής (της παλαιότερης θεωρίας) μέσα στο πλαίσιο της κβαντικής θεωρίας (της υπό συγκρότηση θεωρίας) για να θέσει τις βάσεις ενός ερευνητικού προγράμματος, τελικός στόχος του οποίου ήταν η θεμελίωση της κβαντικής θεωρίας.

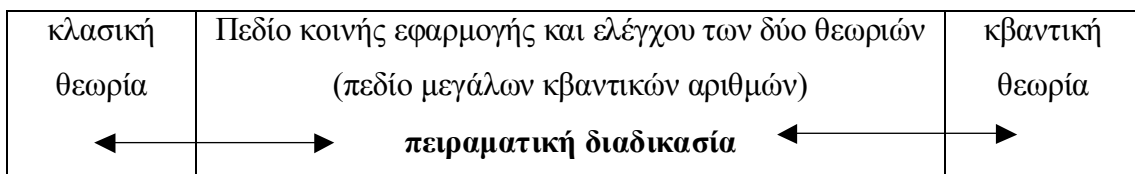
Η AAB, υπό το σχήμα μιας ‘αναλογίας’, μπορεί να περιγραφεί ως εξής:

- Η ‘*βάση*’ της αναλογίας (‘primary theory’, ‘explanan’) ήταν ενταγμένη στο πλαίσιο της κλασικής θεωρίας και διαμορφωνόταν από *τυπικές σχέσεις*, όπως λόγου χάριν τις σχέσεις που συνδέουν την πηγή με την εκπεμπόμενη ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Οι σχέσεις αυτές διατυπώνονταν μέσω των εννοιών της κλασικής φυσικής και ερμηνεύονταν βάσει της κοινώς αποδεκτής ερμηνείας της κλασικής θεωρίας.
- Ο ‘*στόχος*’ της αναλογίας (‘secondary theory’, ‘explanandum’) ήταν ενταγμένος στο πλαίσιο της υπό συγκρότηση νέας θεωρίας, όπως το πλαίσιο αυτό είχε σχηματισθεί από τα αξιώματα της πρώτης ατομικής θεωρίας (§A-1.1). Ο ‘στόχος’ της συγκεκριμένης αναλογίας διαμορφωνόταν από *ανάλογες*, προς τις κλασικές, τυπικές σχέσεις, όπως λόγου χάριν τις σχέσεις που συνέδεαν την πηγή (εδώ, τα ακτινοβολούντα ατομικά συστήματα) με την εκπεμπόμενη ακτινοβολία. Στην περίπτωση αυτή, η διατύπωση των συγκεκριμένων σχέσεων επιτυγχανόταν μέσω μιας *μικτής ορολογίας*, η οποία περιλάμβανε τόσο κλασικές έννοιες (όπως π.χ. τις έννοιες τροχιά, στροφορμή, συχνότητα ακτινοβολίας, κ.λ.π.) όσο και κβαντικές έννοιες, (όπως π.χ. τις έννοιες στάσιμη κατάσταση, κβαντικός αριθμός, πιθανότητα μετάπτωσης κ.λ.π.), με τον τρόπο που αυτές ορίζονταν από τα κβαντικά αξιώματα. Η φυσική όμως ερμηνεία των σχέσεων αυτών, όπως επίσης και ο ακριβής καθορισμός του νοήματος των συμπεριλαμβανόμενων σ’ αυτές όρων,

αναστέλλονταν έως ότου καταστεί δυνατή η συνεκτική θεμελίωση και φυσική ερμηνεία της κβαντικής θεωρίας.

- Η αυστηρώς ορισμένη υπόθεση που καθοδηγούσε το όλο πρόγραμμα όριζε ότι τα πορίσματα της κβαντικής θεωρίας όφειλαν να προσεγγίζουν τα αποτελέσματα που εξάγονταν από την εφαρμογή της κλασικής φυσικής στο πεδίο κοινής εφαρμογής των δύο θεωριών, στο πεδίο δηλαδή των μεγάλων κβαντικών αριθμών. Συνεπώς, πεδίο εφαρμογής και ελέγχου της αναλογίας αποτελούσε ο χώρος *ασυμπτωτικής ισχύος* των δύο θεωριών.

Με βάση τα παραπάνω, η εφαρμοζόμενη μέσω της AAB μεθοδολογία θα μπορούσε ν' αναπαρασταθεί με σχηματικό τρόπο ως εξής:



Σχήμα 1

Όπως παρατηρούμε, το μεθοδολογικό αυτό σχήμα δημιουργούσε, μέσω της πειραματικής διαδικασίας, έναν 'διάυλο επικοινωνίας' μεταξύ της κλασικής και της κβαντικής θεωρίας στο κοινό πεδίο εφαρμογής τους.²⁵ Ανέθετε δε στην πειραματική διαδικασία όχι μόνο τον έλεγχο των βοηθητικών υποθέσεων της κβαντικής θεωρίας, αλλά και τη διερεύνηση των ορίων ισχύος της κλασικής φυσικής.

Προκειμένου να αποφύγουμε ενδεχόμενες αδόκιμες συσχετίσεις των αντιλήψεων του Bohr με τις ποικίλες εκφάνσεις του εμπειρισμού, θα κατατάξουμε την επιστημολογική του θεώρηση σε ό,τι θα αποκαλούμε στη συνέχεια 'μεθοδολογικό εμπειρισμό': η εμπειρία αναγνωρίζεται ως *προτεύουσα πηγή* της ανθρώπινης γνώσης, μελετώνται δε και αναπτύσσονται μέθοδοι αξιόπιστης σύνδεσης των νέο-εμφανιζόμενων θεωρητικών σχημάτων με την πειραματική διαδικασία. Μια πρώτη δε επισήμανση που μπορούμε να κάνουμε σ' αυτό το σημείο είναι ότι η εκφρασθείσα, μέσω της AAB, επιστημολογική αντίληψη διαφοροποιείται ριζικά από εκείνες τις θεωρήσεις που, ενώ θέτουν επίσης την πειραματική διαδικασία στο επίκεντρο της

²⁵ Το σχήμα αυτό εφαρμόστηκε, όπως ήδη διαπιστώσαμε, από την πρώτη ήδη διατύπωση της ατομικής θεωρίας (§Α-1.1).

ερευνητικής διαδικασίας (γι' αυτό εξάλλου τις κατατάσσουμε επίσης στον 'μεθοδολογικό εμπειρισμό'), ισχυρίζονται, παράλληλα, ότι η αξιολόγηση μιας θεωρίας – είτε μέσω της αναμέτρησής της με την εμπειρία, είτε μέσω της συγκριτικής της αντιπαράθεσης με άλλες ανταγωνιστικές της θεωρίες – μπορεί να διενεργηθεί μόνο *μετά* την αυστηρή θεωρητική της διατύπωση.

Ο Bohr, αντίθετα, χρησιμοποιώντας την AAB ως μεθοδολογικό εργαλείο, έθεσε την κβαντική θεωρία σε διαρκή επικοινωνία και αντιπαράθεση με την κλασική φυσική *κατά τη διάρκεια της γέννησής της*, προτού προσλάβει, δηλαδή, τον χαρακτήρα ενός συνεκτικού θεωρητικού σχήματος. Έτσι, όπως θα δείξουμε αναλυτικότερα στη συνέχεια, η εφαρμογή της AAB αποδεικνύεται ασύμβατη με το μοντέλο επιστημονικής εξέλιξης που προτείνουν τόσο οι θεωρήσεις εκείνες που υιοθετούν μια *επαγωγική* συσχέτιση θεωρίας – πειράματος (§A-5.1, 5.3) όσο και οι θεωρήσεις εκείνες που, καθώς προτάσσουν το ρόλο της επιστημονικής υπόθεσης, υιοθετούν μια *παραγωγική* θεώρηση της συσχέτισης αυτής (§A-5.2.1).

2. Η Αρχή της Αντιστοιχίας ως 'αναλογία συγκρότησης θεωρίας'

Μια από τις περιγραφές του Bohr που αφορούν την επιστημολογική λειτουργία της AAB είναι και η ακόλουθη:

(A3.1) «Η AAB απέδειξε ότι είναι καρποφόρα σε καινούργια πεδία εφαρμογών, χωρίς ωστόσο να μας προσφέρει μια πλήρη λύση του κβαντικού αινίγματος. Παρ' όλα αυτά, έχουμε προχωρήσει προς μια τέτοια λύση μόνο επειδή, μετά από κάθε επέκταση των εφαρμογών της κβαντικής θεωρίας, *διακρίνουμε καλύτερα την φύση του αινίγματος*. Αυτή η κατάσταση συνδέεται με το γεγονός ότι η AAB *δεν* εντάσσεται σε μια κλειστή τυπική θεώρηση, αλλά σε μια θεώρηση που επιχειρεί μια γενική περιγραφή ορισμένων ιδιοτήτων της ακτινοβολίας» (Bohr, 1921a, *NBCW3*, σ. [356]).

Για τον Bohr, λοιπόν, η AAB δεν ήταν μια αναλογία που 'επεξηγούσε' κάποιες παραδοχές της κβαντικής θεωρίας βάσει *ανάλογων* παραδοχών της κλασικής φυσικής, αλλά ένα μεθοδολογικό εργαλείο που διάνοιγε το δρόμο για 'την πλήρη λύση του κβαντικού αινίγματος', για την κατανόηση, δηλαδή, των υποατομικών διαδικασιών και την αυστηρή πλέον θεμελίωση της κβαντικής θεωρίας. Ως παράγοντα δε που ωθούσε με καθοριστικό τρόπο προς αυτήν την κατεύθυνση, ο Bohr αναγνώριζε το γεγονός ότι η AAB δεν εντασσόταν σε μια 'κλειστή τυπική θεώρηση', αλλά συνιστούσε μια αναλογία *ανοικτή σε αναθεώρηση*, μια αναλογία, η οποία, καθώς ήταν ικανή να μετασχηματίζεται μετά από κάθε 'επέκταση των εφαρμογών της κβαντικής θεωρίας', οδηγούσε στην προοδευτική κατανόηση της 'φύσης του αινίγματος'.

Από τα παραπάνω μπορούμε να συναγάγουμε ότι η AAB δεν πληροί το κριτήριο που τίθεται από την παραδοσιακή ‘συγκριτική θεώρηση’ (‘comparison view’) ²⁶ για την αποτίμηση της ορθής ή μη γλωσσικής χρήσης μιας αναλογίας/ μεταφοράς. Το συγκεκριμένο κριτήριο, προϋποθέτοντας ότι η επακριβής περιγραφή των ‘ανάλογων’ χαρακτηριστικών είναι και παραμένει ανεξάρτητη από την εκάστοτε χρήση της κρινόμενης αναλογίας, απαιτεί τη δυνατότητα αντικατάστασης της συγκεκριμένης αναλογίας από έναν αυστηρό γλωσσικό προσδιορισμό της υφιστάμενης σχέσης μεταξύ βάσης και στόχου. Όπως όμως υπογραμμίζει ο Max Black, «η χρήση μιας αναλογίας δεν αποτελεί υποκατάστατο μιας αυστηρής τυπικής σύγκρισης ή ενός ακριβούς ισχυρισμού, αλλά διαθέτει, αντίθετα, τις δικές της ιδιαίτερες δυνατότητες και προσφέρει συγκεκριμένες προοπτικές» (Black, 1962, σ. 37). Επεκτείνοντας δε εύστοχα τη συγκεκριμένη θέση η Mary Hesse επισημαίνει ότι «ιδιαίτερα στο επιστημονικό πεδίο, δεν έχει και πολύ νόημα να μιλάμε για έναν κυριολεκτικό προσδιορισμό των ομοιοτήτων μεταξύ βάσης – στόχου, εφόσον έχει αποδειχθεί ότι, κατά τις περιόδους χρήσης των επιτυχέστερων αναλογιών στην ιστορία της επιστήμης, δεν ήταν εκ των προτέρων γνωστό πόσο μακριά εκτεινόταν η επιχειρούμενη σύγκριση. Και ήταν αυτή ακριβώς η ιδιότητα των εν λόγω αναλογιών που τις καθιστούσε καρποφόρες κατά την εξέλιξη της επιστημονικής έρευνας» (Hesse, 1970, σ. 162). Η AAB μπορεί αντίθετα να ειπωθεί ως μια ‘αναλογία συγκρότησης θεωρίας’ (‘theory-constitutive analogy’, Boyd, 1979) ή, όπως θα αναφέρεται στη συνέχεια, ως μια ‘αναλογία συγκρότησης’. Κι’ αυτό, επειδή μια άμεση σύγκριση των ιδιαίτερων επιστημολογικών της χαρακτηριστικών με τα αντίστοιχα των αναλογιών συγκρότησης, όπως αυτά ορίστηκαν από τον Boyd όταν εισήγαγε τον συγκεκριμένο όρο, αναδεικνύει πράγματι τις υφιστάμενες ομοιότητες.

1. Όπως ισχυρίζεται ο Boyd, οι αναλογίες συγκρότησης «χρησιμοποιούνται για να εισαγάγουν θεωρητικούς όρους σ’ ένα πεδίο όπου τέτοιοι όροι απουσιάζουν» (Boyd, 1979, σ. 482). Υπ’ αυτήν την έννοια, συνιστούν «αναντικατάστατο μέρος της γλωσσικής μηχανής», μέσω της οποίας προωθείται η επιστημονική έρευνα (στο ίδιο, σ. 486). Κατ’ ανάλογο τρόπο, η AAB εισήγαγε θεωρητικούς όρους και συντακτικές σχέσεις της κλασικής φυσικής στο πεδίο της υπό διαμόρφωση τότε κβαντικής

²⁶ Πρώτος ο Max Black το 1962 προέβη σε μια εκτενή κριτική μελέτη της συγκεκριμένης θεώρησης, έναντι της οποίας πρότεινε τη δική του ‘θεώρηση αλληλεπίδρασης’ (‘interaction view’, Black, 1962). Η συγκεκριμένη εργασία, καθώς εισήγαγε μια καινούργια αντίληψη για το ρόλο των αναλογιών στη χρήση της γλώσσας, αποτέλεσε τη βάση για την ανάπτυξη ενός ευρύτερου προβληματισμού σε σχέση με το εν λόγω ζήτημα.

θεωρίας, προσφέροντας έτσι τα αναγκαία γλωσσικά εργαλεία για την προώθηση της ερευνητικής διαδικασίας.

2. Ο Boyd επισημαίνει ότι «οι χρήστες [των αναλογιών συγκρότησης] δεν μπορούν εν γένει να προσδιορίσουν επακριβώς τις ανάλογες όψεις [βάσης και στόχου]» (στο ίδιο, σ. 482). Κατά την περίοδο εφαρμογής της AAB, ο Kramers προσέφερε μια ανάλογη εικόνα ως εξής: «είναι δύσκολο να εξηγήσει κανείς σε τι συνίσταται η AAB. Κι' αυτό, γιατί η AAB δεν μπορεί να εκφρασθεί μέσω ποσοτικών νόμων. Έτσι, είναι δύσκολο να τεθεί σ' εφαρμογή. Παρ' όλα αυτά, στα χέρια του Bohr, αποδεικνύεται εξαιρετικά καρποφόρα και μάλιστα σε πολύ διαφορετικά μεταξύ τους πεδία εφαρμογής» (Kramers, 1923, από Pais, 1991, σ. 193).

3. Κατά την αντίληψη του Boyd, «η χρησιμότητα των αναλογιών συγκρότησης κατά την αλλαγή θεωρίας συνδέεται, κατά κρίσιμο τρόπο, με την ιδιότητά τους να έχουν 'ανοικτό τέλος' ('open-endedness', στο ίδιο, σ. 482). Είδαμε ότι, κατά τελείως ανάλογο τρόπο, ο Bohr απέδιδε τις σημειούμενες τότε ερευνητικές επιτυχίες στο γεγονός ότι η AAB δεν αποτελούσε «μια κλειστή τυπική θεώρηση, αλλά, μάλλον, μια γενική περιγραφή κάποιων ιδιοτήτων της ακτινοβολίας» (A3.1).

4. Ο Boyd σημειώνει ότι η εφαρμογή των αναλογιών συγκρότησης αποσκοπεί «στη συγκρότηση και όχι στην ερμηνεία της νέας θεωρίας» (στο ίδιο, σ. 486). Ο Bohr, λίγο μετά την πρώτη εφαρμογή της AAB στην πρώτη διατύπωση της ατομικής θεωρίας του, παρουσίασε μια ανάλογη εικόνα ως εξής: «Τα σημαντικά αποτελέσματα που επιτεύχθηκαν τα τελευταία χρόνια, μέσω της θεωρητικής και πειραματικής μελέτης των νόμων της ακτινοβολίας, κατέστησαν ιδιαίτερος εμφανή την ακαταλληλότητα των συνηθισμένων θεωρητικών μας αντιλήψεων. Συνεπώς, [μέσω της ατομικής θεωρίας], δεν αποπειρώμαι να προτείνω μια εξήγηση των φασματικών νόμων ... Δίνοντας έμφαση στη διαμάχη που υφίσταται μεταξύ της θεώρησής μου και του θαυμαστά συνεκτικού συνόλου των αντιλήψεων της κλασικής ηλεκτρομαγνητικής θεωρίας, ... ίσως γίνει τελικά δυνατό ν' ανακαλύψουμε κάποια συνεκτικότητα και στις καινούργιες ιδέες» (Bohr, 1914a, *NBCW2*, σσ. [286], [301]).

5. Ο Boyd υπογραμμίζει ότι η χρήση των αναλογιών συγκρότησης οδηγεί «σε περαιτέρω αποσαφήνιση της ίδιας της αναλογίας και σε εισαγωγή νέων όρων, μεταφορικών ή μη». Οδηγεί, ακόμη, «στην προοδευτική εκλέπτυνση της χρησιμοποιούμενης ορολογίας, καθώς και στη διαλεύκανση του όποιου

διφορούμενου στοιχείου της» (στο ίδιο, σ. 495). Η χρήση των αναλογιών συγκρότησης οδηγεί, περαιτέρω, «στη διερεύνηση ομοιοτήτων και αναλογιών μεταξύ ιδιοτήτων βάσης και στόχου, οι οποίες [ομοιότητες] δεν έχουν ακόμη ανακαλυφθεί ή κατανοηθεί πλήρως» (στο ίδιο, σ. 489). Όλα αυτά διαμορφώνουν, κατά την άποψη Boyd, την εξαιρετική *ευρετική δυναμική* των αναλογιών συγκρότησης, μία δυναμική που δεν προκύπτει από την αυστηρότητα της γλωσσικής τους διατύπωσης, αλλά από το γεγονός ότι «διατηρούν αναλλοίωτα τα ποιοτικά τους χαρακτηριστικά, παρότι εφαρμόζονται σε διαφορετικές παραλλαγές για μεγάλο χρονικό διάστημα και από διαφορετικά ίσως άτομα» (στο ίδιο, σ. 489).

Κατ' ανάλογο τρόπο, η ιστορική εξέλιξη επιβεβαιώνει το γεγονός ότι η ευρετική δυναμική της AAB στηριζόταν, πράγματι, στα ιδιαίτερα *ποιοτικά επιστημολογικά* της χαρακτηριστικά: καθώς η AAB δεν περιοριζόταν από μια αυστηρή και άκαμπτη λογική διατύπωση, οι ομοιότητες μεταξύ βάσης και στόχου δεν ήταν *τελεσίδικα* και *επακριβώς* καθορισμένες. Έτσι, η AAB επέτρεπε τη γλωσσική της αναδιατύπωση ανάλογα με τα καινούργια δεδομένα, την ενσωμάτωση νέων όρων και πορισμάτων, καθώς και τη σταδιακή αποσαφήνιση των ίδιων των δικών της παραδοχών. Κατ' αυτόν τον τρόπο, διατηρώντας μεν *σταθερή* τη μεθοδολογική και ποιοτική της βάση, αλλά προσαρμόζοντας παράλληλα επί μια δεκαετία τη μορφή της στις εκάστοτε ερευνητικές ανάγκες, επέτρεψε την εισαγωγή και την κατάλληλη χρήση σημαντικών τυπικών εργαλείων της κλασικής φυσικής στο πλαίσιο της 'παλιάς' κβαντικής θεωρίας. Ως χαρακτηριστικά παραδείγματα μπορούμε ν' αναφέρουμε την εισαγωγή της Αδιαβατικής Αρχής (μετά την πρώτη προσαρμογή της στη θεωρία των κβάντων από τον Ehrenfest, §A-2.1) και της κλασικής στατιστικής (μετά την πρώτη επίσης προσαρμογή της στο κβαντικό πλαίσιο από τον Einstein, §A-2.2) στο πλαίσιο της ατομικής θεωρίας. Μέσω δε της κατάλληλης ενσωμάτωσης των συγκεκριμένων θεωριών, η AAB στάθηκε ικανή να προκαλέσει την πρώιμη ανάδυση ορισμένων θεμελιακών χαρακτηριστικών της κβαντικής θεωρίας (§A-2.3).

6. Ο Boyd επισημαίνει ακόμη ότι «οι επιτυχείς αναλογίες συγκρότησης είναι δυνατό να ενέχουν μεγάλη προγραμματική σημασία για την εξέλιξη της έρευνας όσον αφορά το 'δευτερεύον' τους αντικείμενο ['secondary' subject, τον 'στόχο' δηλαδή της αναλογίας], το 'πρωτεύον' τους αντικείμενο ['primary' subject, τη 'βάση' δηλαδή της αναλογίας], αλλά και τα καινούργια αντικείμενα αναφοράς των μεταφορικών τους όρων» (στο ίδιο, σ. 495). Ο Boyd εκλαμβάνει εδώ ως ουσιαστικό

χαρακτηριστικό των αναλογιών συγκρότησης την παρεχόμενη από αυτές δυνατότητα αντιστροφής βάσης – στόχου ανάλογα με τις υφιστάμενες ερευνητικές ανάγκες. Μια τέτοια διαδικασία ευνοεί, κατά την άποψη του Boyd, την προγραμματική χάραξη μιας *αμφίδρομης* ερευνητικής διαδικασίας, ικανής να φωτίσει αθέατες μέχρι στιγμής πλευρές τόσο της ‘βάσης’ όσο και του ‘στόχου’ της υπό χρήση αναλογίας.

Μπορούμε πράγματι να διαπιστώσουμε ότι η AAB όχι μόνο επέτρεπε, αλλά και *προωθούσε* μια αντίστοιχη διαδικασία. Ας παρακολουθήσουμε το εξής χαρακτηριστικό παράδειγμα. Το 1924, στο πλαίσιο της όλης προσπάθειας για την απόδοση μιας ενιαίας περιγραφής των ατομικών συστημάτων και της αλληλεπίδρασής τους με την περιβάλλουσα ακτινοβολία, οι Bohr, Kramer και Slater διατύπωσαν την ‘Κβαντική Θεωρία της Ακτινοβολίας’ ή, όπως συνήθως αποκαλείται, την BKS θεωρία (‘The Quantum Theory of Radiation’, 1924α, *NBCW5*, σσ. [99]-[118]). Η εργασία αυτή εμπεριείχε, μεταξύ άλλων, τρεις καινοφανείς προτάσεις: **α)** την υπέρβαση της θεωρίας των κβάντων, εφόσον η θεωρία του Einstein απουσίαζε παντελώς από τη θεμελίωση της, **β)** την αποκήρυξη της αυστηρής αιτιακής ‘σύζευξης’ (‘coupling’) μεταξύ των συντελούμενων σε διαφορετικά άτομα διαδικασιών, και, κυρίως, **γ)** την αναθεώρηση της κλασικής διατύπωσης των δύο βασικών αρχών διατήρησης: κατά την αλληλεπίδραση των ατομικών συστημάτων με την ακτινοβολία, οι αρχές διατήρησης της ενέργειας και της ορμής εκλαμβάνονταν ως *έχουσες στατιστική* μόνο ισχύ. Εκείνη την περίοδο, ο Bohr έγραφε στον Fowler:

(A3.2) «Πιστεύω, τελικά, ότι μπορεί να υπάρχει περισσότερη αλήθεια στον ‘ψευδο-μηχανικό’ (‘pseudo-mechanical’) χειρισμό που πρότεινα στο παρελθόν [στην πρώτη ατομική θεωρία], από ό,τι θα μπορούσε κανείς τότε να φανταστεί. Πράγματι, θεωρώ ότι εδώ [κατά την απόπειρα ερμηνείας των σχετιζόμενων με την εμπέδηση των ακτίνων *a* φαινομένων] έχουμε να κάνουμε με ένα διδακτικό παράδειγμα των ορίων που παρουσιάζουν οι συνηθισμένοι κανόνες της κβαντικής θεωρίας στην περίπτωση των κρούσεων. Το παράδειγμα ακόμη αυτό εμφανίζει ως ενδεχόμενη την αναγκαιότητα *παραίτησης* από την αυστηρή ισχύ των γενικών αρχών διατήρησης της ενέργειας και ορμής» (Γράμμα του Bohr προς τον Fowler, 1924β, *NBCW5*, σ. [334]).

Το απόσπασμα αυτό μας επιτρέπει να διακρίνουμε καθαρά τη δυνατότητα αντιστροφής βάσης – στόχου της προτεινόμενης μέσω της AAB αναλογίας. Από τη μια πλευρά, η AAB επέτρεπε τον *διαρκή έλεγχο* του υφιστάμενου κβαντικού σχήματος, τον *διαρκή δηλαδή έλεγχο του στόχου* της οριζόμενης αναλογίας. Πράγματι, κατά την περίοδο που διατυπώθηκε η BKS θεωρία, ο Bohr, επανεξετάζοντας υπό το φως των νέων εξελίξεων τις παραδοχές της ατομικής θεωρίας, έτεινε να προκρίνει, αν και λανθασμένα όπως αποδείχθηκε στη συνέχεια,

κάποιους από τους ‘ψευδό-μηχανικούς’ χειρισμούς της συγκεκριμένης θεωρίας, τις συνεχείς, λόγου χάριν, χωρο-χρονικές της περιγραφές. Από την άλλη όμως πλευρά, η AAB επέτρεπε τη διεξοδική διερεύνηση των ορίων ισχύος των θεμελιακών αρχών της κλασικής θεωρίας, τη διεξοδική δηλαδή διερεύνηση της βάσης της οριζόμενης αναλογίας. Πράγματι, η BKS θεωρία, μια θεωρία διατυπωμένη σύμφωνα με τις μεθοδολογικές επιταγές της AAB, πρώτον, καθώς μετέφερε τις χωροχρονικές περιγραφές της κλασικής θεωρίας στο κβαντικό πλαίσιο, εγκαθίδρυε τη δυνατότητα αποτίμησης των συνεπαγόμενων από τη μεταφορά αυτή συνεπειών και, δεύτερον, καθώς έθετε εκτός του κβαντικού πλαισίου τόσο τις αρχές διατήρησης της ενέργειας και ορμής όσο και την αυστηρή αιτιακή σύνδεση των παρατηρούμενων σε διαφορετικά άτομα συμβάντων, προσέφερε κατ’ αντίστροφο τρόπο τη δυνατότητα ελέγχου των ορίων ισχύος των θεμελιακών αυτών αρχών της κλασικής θεωρίας.

Ο πειραματικός έλεγχος της BKS θεωρίας έθεσε αμέσως υπό επερώτηση τις βασικές της παραδοχές. Έτσι, όπως αποφάνθηκαν οι Bothe και Geiger στο καταληκτικό πόρισμα της εργασίας τους, η έννοια των κβάντων φωτός φαινόταν ‘να ενέχει μεγαλύτερη αλήθεια’ από αυτήν που η BKS θεωρία της απέδιδε» (Bothe και Geiger, 1925, *NBCW5*, σ. [78]). Η αντίδραση του Bohr ήταν άμεση. Δίχως να αναμείνει την επίσημη δημοσίευση της συγκεκριμένης εργασίας, σε γράμμα του προς τον Geiger, συσχέτισε τα προκύψαντα από την πειραματική έρευνα πορίσματα με τον ιδιαίτερο χαρακτήρα του αναληφθέντος, από την BKS θεωρία, εγχειρήματος ως εξής.

(A3.3) «Ήμουν σχεδόν προετοιμασμένος να μάθω ότι η προταθείσα θεώρηση, σε σχέση με την ανεξαρτησία των παρατηρούμενων σε διαφορετικά άτομα κβαντικών διαδικασιών, θα αποδεικνυόταν λανθασμένη. Η όλη υπόθεση οφείλει να ειπωθεί περισσότερο ως έκφραση της προσπάθειάς μας να επιτύχουμε τη μέγιστη δυνατή εφαρμογή των κλασικών εννοιών παρά ως ολοκληρωμένη θεωρία. ... Πράγματι, είχα ήδη διαιθανθεί ότι στα προβλήματα αυτά είναι δύσκολο να εφαρμοστούν οι χωρο-χρονικές περιγραφές της φύσης. ... Πιστεύω, εν γένει, ότι οι δυσκολίες αυτές αποκλείουν πλέον τη δυνατότητα χρήσης των συνηθισμένων χωρο-χρονικών περιγραφών ... » (Γράμμα του Bohr προς τον Geiger, 1925γ, *NBCW5*, σ. [79]).

Η αναγκαιότητα απάλειψης των κλασικών χωρο-χρονικών περιγραφών από το κβαντικό πλαίσιο συνιστούσε, βεβαίως, σαφή αναίρεση των παραδοχών της BKS θεωρίας. Ερμηνεύοντας, λοιπόν τη σημειωθείσα μεταστροφή, θα λέγαμε, ότι ο Bohr είχε ήδη διαιθανθεί²⁷ αυτό που ο πειραματικός έλεγχος τελικά επιβεβαίωσε. Για τον Bohr, «η πειραματική κατάδειξη της ‘σύζευξης’ ανεξαρτήτων μεταξύ τους ατομικών

²⁷ Στις 5 Ιουνίου 1925, ο Kronig έγραψε στον Goudsmit: «Ο Bohr πιστεύει ξανά στη ‘σύζευξη’. Είχε δε καταλήξει σ’ αυτήν την πεποίθηση πριν ακόμη γίνουν γνωστά τα πειράματα των Geiger-Bothe μέσω συζητήσεων, αλλά, κυρίως, μέσω της καταλυτικής επιρροής του Pauli» (*NBCW5*, σ. [80]).

διαδικασιών επέβαλε πλέον την αποδοχή μιας *σωματιδιακής εικόνας* του φωτός, ανάλογης με την προτεινόμενη από τη θεωρία των κβάντων φωτός του Einstein (Bohr, 1925β, *NBCW5*, σσ. [204]-[205]). Μια τέτοια όμως διαπίστωση, καθώς υποδείκνυε την αυστηρή αιτιακή ‘σύζευξη’ των ατομικών διαδικασιών (μέσω της κατά το κλασικό πρότυπο ισχύος των νόμων διατήρησης), σηματοδοτούσε πλέον την ανάγκη επανεξέτασης των ορίων χρήσης των χωρο-χρονικών περιγραφών στο κβαντικό πλαίσιο. Κι’ αυτό, γιατί, όπως ο Bohr υπογράμμιζε, «το ερώτημα περί της ‘σύζευξης’ ή της ‘ανεξαρτησίας’ των ατομικών διαδικασιών δεν μπορεί να εκληφθεί ως σημείο διαχωρισμού δύο καλώς ορισμένων θεωρήσεων για τη διάδοση του φωτός στο κενό, είτε δηλαδή της σωματιδιακής, είτε της κυματικής θεωρίας. Το πρόβλημα που αντιμετωπίζουμε αφορά πλέον την έκταση εφαρμογής των κλασικών χωρο-χρονικών εικόνων στις ατομικές διαδικασίες» (στο ίδιο, σ. [204]).

Όλα τα παραπάνω μας βοηθούν να διακρίνουμε ότι η διαρκής αντιστροφή βάσης – στόχου της εκάστοτε εφαρμοζόμενης μέσω της AAB αναλογίας διάνοιγε σημαντικότερες, πράγματι, ευρετικές προοπτικές. Στη συγκεκριμένη λόγω χάριν περίπτωση, προσέφερε για μία ακόμη φορά τη δυνατότητα μίας πολύπλευρης ερευνητικής διεξόδου στο πρόβλημα του δυϊσμού κύματος – σωματιδίου. Γιατί, όπως έγινε αργότερα αντιληπτό μέσω της έννοιας της συμπληρωματικότητας, μια ιδιαίτερη έκφανση του συγκεκριμένου προβλήματος αποτελούσε και το γεγονός ότι «στο πλαίσιο της κβαντικής θεωρίας, κάθε μη-διφορούμενη χωρο-χρονική περιγραφή αποκλείει την αυστηρή εφαρμογή των νόμων διατήρησης ... ενώ, αντίθετα, κάθε καλώς ορισμένη εφαρμογή των νόμων διατήρησης αποκλείει τη δυνατότητα χωρο-χρονικών περιγραφών» (Bohr, 1936, *NBCW5*, σ. [216]).

7. Όπως επισημαίνει ο Boyd, η ιδιότητα των αναλογιών συγκρότησης να μη διαθέτουν «επακριβώς προσδιορισμένο γνωσιακό περιεχόμενο οδηγεί σε αμφιβολία ως προς τη δυνατότητα επίτευξης μιας αυστηρής απόδοσης του περιεχομένου τους» (Boyd, 1979, σ. 487). Αν όμως κάτι τέτοιο καταστεί τελικά δυνατό, «αυτό αποτελεί απόρροια της επιτυχίας του ερευνητικού προγράμματος που αυτές εγκαινίασαν» (στο ίδιο, σ. 489). Η αυστηρή απόδοση της AAB επιτεύχθηκε το 1925, όταν ο Heisenberg, ‘μεταφράζοντας’ το ποιοτικό της περιεχόμενο στη μαθηματική γλώσσα, διατύπωσε τη θεωρία των μητρών. Το γεγονός αυτό σηματοδότησε, βεβαίως, την εκπνοή του καθοδηγητικού ρόλου της AAB, αλλά επιβεβαίωσε, ταυτόχρονα, και την επιτυχία του ερευνητικού προγράμματος που η ίδια εγκαινίασε και προώθησε.

8. Κατά την αντίληψη του Bohr, η έλλειψη ακριβούς διατύπωσης των αναλογιών συγκρότησης προκαλεί επίσης «διαρκή προβληματισμό για την καταλληλότητα και τη διεισδυτικότητα της υπό χρήση αναλογίας» (στο ίδιο, σ. 494). Σ' εντυπωσιακή συμφωνία με τη συγκεκριμένη επισήμανση, ο Bohr εξέφραζε, το 1922, τις ακόλουθες σκέψεις σε σχέση με τη χρήση των αναλογιών στην επιστημονική έρευνα.

(A3.4) «Ο προβληματισμός, σε σχέση με τον ρόλο της αναλογίας στην επιστημονική έρευνα, αποτελεί, αναμφίβολα, ένα ουσιαστικό στοιχείο κάθε μελέτης στις φυσικές επιστήμες, ακόμη κι' αν πολλές φορές ο ρόλος αυτός δεν γίνεται αντιληπτός. Πολύ συχνά είναι βεβαίως δυνατό να εφαρμόσει κανείς μια εικόνα αριθμητικού ή γεωμετρικού τύπου, η οποία, ως τέτοια, καλύπτει το υπό διερεύνηση πρόβλημα με τόσο καθαρό τρόπο ώστε η όλη θεώρηση προσλαμβάνει ένα γνήσια λογικό χαρακτήρα. Εν γένει, όμως, και ειδικότερα σε ορισμένα καινούργια πεδία έρευνας πρέπει να έχει κανείς διαρκώς κατά νου *την προφανή ή, τουλάχιστον, την πιθανή ακαταλληλότητα των εικόνων*. Μέχρις ότου λοιπόν οι χρησιμοποιούμενες αναλογίες μπορέσουν να παράσχουν ισχυρότατες ενδείξεις, θα πρέπει να είναι κανείς ικανοποιημένος *μόνο* από τη χρησιμότητα ή την καρποφορία τους *στο πεδίο όπου εφαρμόζονται*. Μια τέτοια κατάσταση πραγμάτων ισχύει και στην παρούσα φάση της ατομικής θεωρίας. Πράγματι, βρισκόμαστε εδώ στην εξής παράξενη θέση. Από τη μία πλευρά, έχουμε επιτύχει κάποιες πληροφορίες για την δομή του ατόμου, οι οποίες μπορούν να θεωρηθούν τόσο ασφαλείς όσο και κάθε άλλο γεγονός της φυσικής επιστήμης. Από την άλλη όμως πλευρά, συναντάμε δυσκολίες, οι οποίες, λόγω της ιδιαίτερης φύσης τους, φαίνονται ν' αντιστέκονται σε κάθε λύση. Κατά την προσωπική μου άποψη, οι συγκεκριμένες δυσκολίες έχουν τέτοια φύση που ελάχιστα μας επιτρέπουν να ελπίζουμε ότι θα καταφέρουμε να επιτύχουμε στον κόσμο του ατόμου μια χωρο-χρονική περιγραφή που να συνταιριάζεται με τις συνηθισμένες αισθητηριακές μας αντιλήψεις. Σ' αυτές λοιπόν τις συνθήκες, πρέπει να έχει πάντοτε κανείς κατά νου ότι *χειρίζεται αναλογίες*. Η συνείδηση δε του γεγονότος ότι *το πεδίο χρήσης των αναλογιών είναι περιορισμένο* ενέχει αποφασιστική σημασία για την επίτευξη της όποιας προόδου» (Γράμμα του Bohr προς τον Hoffding, 1922γ, απόδοση στα αγγλικά από τον Murdoch, 1987, σ. 76).

Κατ' αυτόν τον τρόπο, ο Bohr επιθυμούσε να υπογραμμίσει ότι η χρήση μιας αναλογίας (συνεπώς και η χρήση της εφαρμοζόμενης εκείνη την περίοδο AAB) ενείχε τον κίνδυνο μεταφοράς μιας ακατάλληλης 'εικόνας' στο υπό μελέτη αντικείμενο. Η μεταφορά, λόγου χάριν, της κλασικής συνέχειας στο κβαντικό πλαίσιο υπέβαλλε ενδεχομένως έναν τέτοιο κίνδυνο. Γιατί, κατά τη διαισθητική αντίληψη του Bohr, οι υποατομικές διαδικασίες ήταν δύσκολο να προσαρμοσθούν στις εναρμονιζόμενες με τις κλασικές χωρο-χρονικές περιγραφές αισθητηριακές αντιλήψεις. Ο χρήστης μιας αναλογίας όφειλε συνεπώς να περιορίζεται στην εκμετάλλευση της ευρετικής της δυναμικής και καρποφορίας, όντας ταυτόχρονα εξαιρετικά προσεκτικός τόσο ως προς τον τρόπο εφαρμογής της όσο και ως προς *το εύρος και το νόημα που θα απέδιδε τελικά στα συναγόμενα αποτελέσματα*.

9. Υπ' αυτήν την προοπτική, η εξασφάλιση της ορθής χρήσης των αναλογιών στην επιστημονική έρευνα παραπέμπει ευθέως στην ανάγκη αυστηρού καθορισμού των όρων εφαρμογής τους. Όπως επισημαίνει ο Boyd, «υπάρχουν ορθολογικές στρατηγικές, ... οι οποίες, παρότι δεν αντανακλούν κάποιους αυστηρούς γλωσσικούς κανόνες, συνιστούν ουσιαστικές μη-γλωσσικές αρχές επιστημονικής αναζήτησης» (στο ίδιο, σ. 500). Και είναι «η μεθοδολογικώς ακριβής και επιμελής αναζήτηση των επιστημονικών απαντήσεων, και όχι η γλωσσική ακρίβεια, εκείνη που επιλύει τελικά το πρόβλημα των έγκυρων επιστημονικών χειρισμών» (στο ίδιο, σ. 523).

Οι παρατηρήσεις αυτές εισάγουν δύο θέματα που αποκτούν ιδιαίτερη σημασία κατά τη μελέτη των διαδικασιών αλλαγής επιστημονικής θεωρίας: το θέμα της επιστημονικής 'ορθολογικότητας' και το θέμα της 'χρήσης της γλώσσας' κατά τη γέννηση μιας νέας θεωρίας. Στο πλαίσιο δε της παρούσας εργασίας, η διερεύνηση του νοήματος που προσέδιδε ο Bohr στον όρο 'ορθολογικότητα', όπως επίσης και η ανάλυση των θέσεων του για τη 'χρήση της γλώσσας', συνιστούν απαραίτητη προϋπόθεση για τη συνεπή ερμηνεία της μεθοδολογικής του στρατηγικής. Γιατί τα συγκεκριμένα θέματα, πέραν του ότι συνιστούν κομβικά σημεία της φιλοσοφικής και επιστημολογικής του θεώρησης – τόσο πριν όσο και μετά τη διατύπωση της συμπληρωματικότητας – έχουν τύχει επανειλημμένως σοβαρών παρερμηνειών.

Πριν προχωρήσουμε όμως στο συγκεκριμένο εγχείρημα, οφείλουμε να κάνουμε την εξής σημαντική επισήμανση. Οι προαναφερθείσες θέσεις του Boyd εντάσσονται στο πλαίσιο μιας αντίληψης, η οποία, καθώς σκοπεύει στην υποστήριξη μιας «ρεαλιστικής θεώρησης των επιστημονικών θεωριών» (στο ίδιο, σ. 518), αποπειράται να υπερασπισθεί την κατά προσέγγιση 'αλήθεια' της εκάστοτε αποδεκτής επιστημονικής θεωρίας μέσω της κατάδειξης της *οντολογικής συνέχειας* της επιστημονικής γνώσης. Σ' αυτήν τη γραμμή, οι αναλογίες συγκρότησης εκλαμβάνονται ως *φορείς* της κοινής οντολογικής αναφοράς των εμπεριεχόμενων στις διαδοχικές επιστημονικές θεωρίες όρων (στο ίδιο, σ. 498). Η διαφοροποίηση των αντιλήψεων των Boyd και Bohr, σε σχέση με το συγκεκριμένο θέμα, θα μελετηθεί διεξοδικά στη συνέχεια (§A-5.4). Προς το παρόν, αρκεί να σημειώσουμε ότι, στο πλαίσιο της κατά Bohr θεώρησης, η συνέχεια της επιστημονικής γνώσης προσλάμβανε αμιγώς *επιστημολογικό* – και όχι *οντολογικό* – χαρακτήρα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ

Η ‘ΟΡΘΟΛΟΓΙΚΟΤΗΤΑ’ ΤΗΣ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΗΣ ΑΝΑΖΗΤΗΣΗΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ ΓΕΝΝΗΣΗΣ ΤΗΣ ΚΒΑΝΤΙΚΗΣ ΘΕΩΡΙΑΣ

1. Οι κεντρικές θεωρήσεις περί επιστημονικής ορθολογικότητας στο πλαίσιο του ‘μεθοδολογικού εμπειρισμού’

Η εμπειρική κατεύθυνση της μεθοδολογίας του Bohr μάς απομακρύνει από τις παραδοσιακές θεωρήσεις του ορθολογισμού (Descartes, Spinoza, Leibniz), οι οποίες, παρά τις σημαντικές μεταξύ τους διαφοροποιήσεις, υποστηρίζουν ότι το ανθρώπινο είδος διακρίνεται για τη φυσική του δυνατότητα να έχει μια μη-εμπειρική πρόσβαση στην ‘αλήθεια’ του κόσμου. Ή, υπό μία διαφορετική διατύπωση, ότι υπάρχουν αλήθειες για τον κόσμο που είναι *a priori* γνώσιμες. Οι συγκεκριμένες λοιπόν θεωρήσεις, προσδίδοντας στη λογική την προνομιακή θέση του θεμελίου της *a priori* γνώσης, εκλαμβάνουν μια νοητική διαδικασία ως ‘ορθολογική’, εάν αυτή συντελείται ανεξάρτητα από την εμπειρία, τη φαντασία και τη μνήμη.

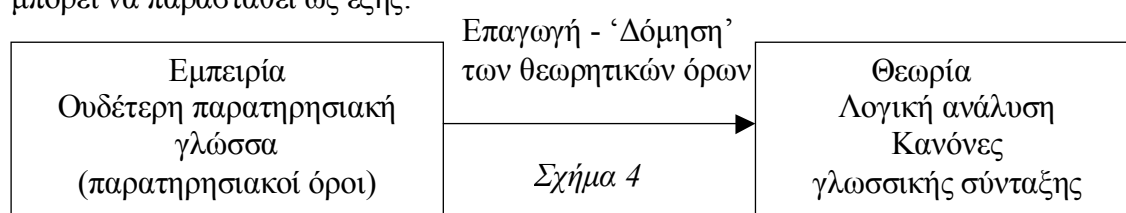
Καθώς λοιπόν απομακρυνόμαστε από τον παραδοσιακό ορθολογισμό, η προσπάθειά μας να προσδιορίσουμε το νόημα που προσέδιδε ο Bohr στην έννοια της ‘ορθολογικότητας’ (όσον αφορά τη διαδικασία της επιστημονικής αναζήτησης)²⁸ θα συνδυασθεί με την ανίχνευση και τον προσδιορισμό των στοιχείων εκείνων που διαφοροποιούν την επιστημολογική και φιλοσοφική του θεώρηση από τις υπόλοιπες βασικές τάσεις του ‘μεθοδολογικού εμπειρισμού’. Η διαδικασία αυτή θα μας βοηθήσει να κατανοήσουμε, στη συνέχεια, τον διαφορετικό μεθοδολογικό χαρακτήρα παράλληλων προς την AAB ερευνητικών προγραμμάτων, την πηγή των ενστάσεων που προκάλεσε η εφαρμογή της, όπως επίσης και τις σχέσεις συνάφειας μεταξύ της εκάστοτε εφαρμοζόμενης μεθοδολογίας και της ευρύτερης προσωπικής συγκρότησης του ερευνητή. Γιατί, όπως θα διαπιστώσουμε αργότερα, κατά την περίοδο γέννησης της κβαντικής θεωρίας εμφανίσθηκε μια σειρά εναλλακτικών ως προς την AAB μεθοδολογικών προσεγγίσεων, οι οποίες υποστηρίζονταν με περισσότερο ή λιγότερο

²⁸ Ο Bohr χρησιμοποιούσε συχνά τον όρο ‘ανορθολογικότητα’ (‘irrationality’) για να υποδηλώσει την ισχυρή απόκλιση που επέβαλε η κβαντική θεωρία (λόγω της εισαγωγής της ασυνέχειας στους νόμους της φύσης) από τις έως τότε ‘συνηθισμένες’ κλασικές αντιλήψεις. Η συγκεκριμένη χρήση του όρου, καθώς σχετίζεται με τον γενικό προβληματισμό του Bohr ως προς τη σχέση μεταξύ ανθρώπινης αντίληψης και επιστημονικής γνώσης, θα μελετηθεί στο δεύτερο μέρος της εργασίας μας. Στο σημείο αυτό, εξετάζουμε το περιεχόμενο του όρου ‘ορθολογικότητα’ μόνο στο βαθμό που αυτός αναφέρεται στη διαδικασία της ερευνητικής αναζήτησης κατά την περίοδο γέννησης της κβαντικής θεωρίας.

εμφανή τρόπο από μια βαθύτερη φιλοσοφική αντίληψη σε σχέση με τις πηγές, τις συνθήκες και τα όρια της επιστημονικής γνώσης, καθώς και με το αποδιδόμενο στη φυσική πραγματικότητα οντολογικό καθεστώς.

Υπ' αυτήν την έννοια, η μελέτη μας τείνει να καταδείξει και την υφιστάμενη *αμφίδρομη αλληλεπίδραση* μεταξύ επιστήμης και φιλοσοφίας της επιστήμης. Από τη μια πλευρά, τα κυρίαρχα μετα-επιστημονικά κριτήρια μίας συγκεκριμένης ιστορικής περιόδου, συλλειτουργώντας με τα διαχρονικώς αδιαμφισβήτητα αυστηρά επιστημικά κριτήρια, διαμορφώνουν το ευρέως αποδεκτό, εκείνη την περίοδο, περιεχόμενο του όρου 'επιστημονική ορθολογικότητα'. Από την άλλη πλευρά, και σε αντίστροφη κατεύθυνση, η μεθοδολογική πρακτική της ενεργού επιστήμης, καθώς διαπνέεται και υποκινείται από την προσωπική έμπνευση και δημιουργικότητα των επιστημόνων, δημιουργεί συχνά ορθολογικά σχήματα που υπερβαίνουν τα καθιερωμένα επιστημολογικά πρότυπα. Εστιάζοντας λοιπόν την προσοχή μας σ' εκείνες τις θεωρήσεις περί ορθολογικότητας που υποβάσταζαν με ρητό ή άρρητο τρόπο τις εναλλακτικές ως προς την AAB μεθοδολογικές προσεγγίσεις, θα εξετάσουμε, κατ' αρχήν, τις θέσεις του λογικού θετικισμού, ενός ρεύματος που επηρέαζε ισχυρά τις αντιλήψεις των επιστημόνων κατά την περίοδο γέννησης της κβαντικής θεωρίας.

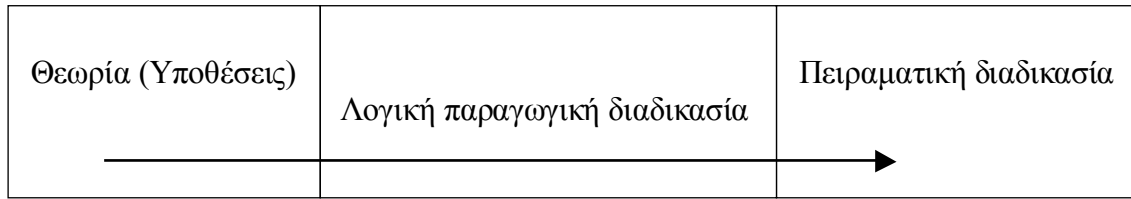
Στο πλαίσιο των θετικιστικών προσεγγίσεων, η επιστημονική ορθολογικότητα, όντας λειτουργικά συνυφασμένη με την επιδίωξη απόκρουσης του καντιανού συνθετικού *a priori*, αξιώνει από τις επιστημονικές προτάσεις να είναι 'επαληθεύσιμες' κατά άμεσο ή έμμεσο τρόπο από την εμπειρία. Κατά συνέπεια, η αξιολόγηση της 'ορθολογικότητας' μιας θεωρίας αποσκοπεί, αφενός, στη διερεύνηση και ανάλυση των λογικών σχέσεων μεταξύ των επιστημονικών της προτάσεων (βάσει των αναλυτικών *a priori* κανόνων της λογικής) και, αφετέρου, στην εξέταση των εμπειρικών τεκμηρίων που την 'επικυρώνουν'. Η *επαγωγή* υιοθετείται ως η κατ' εξοχήν ορθολογική επιστημονική διαδικασία, οι θεωρητικοί δε όροι εκλαμβάνονται ως διαθέτοντες νόημα μόνο στο βαθμό που μπορούν να αναχθούν με κάποιο τρόπο στην εμπειρία ή, ισοδύναμα, να 'δομηθούν' από τους όρους μιας *ουδέτερης*, ανεξάρτητης από το όποιο θεωρητικό πλαίσιο, παρατηρησιακής γλώσσας. Η μεθοδολογική λοιπόν γραμμή του λογικού θετικισμού, στην πιο απλή του εκδοχή, μπορεί να παρασταθεί ως εξής:



Εν τούτοις, ακόμη και φιλόσοφοι που υπήρξαν μέλη ή υποστηρικτές του Κύκλου της Βιέννης (Reichenbach, Carnap, Nagel, Hempel, Feigl), συνειδητοποίησαν πολύ γρήγορα ότι η θεμελίωση γενικών φυσικών νόμων δεν μπορεί να προκύψει με επαγωγικό τρόπο από την απλή συνάρθρωση και συγκεφαλαίωση εμπειρικών προτάσεων βάσει των κανόνων της αυστηρής λογικής.²⁹ Ένα ανυπέρβλητο, λόγου χάριν, πρόβλημα που προέκυπτε ήταν ότι οι προκύπτοντες από επαγωγικές γενικεύσεις φυσικοί νόμοι αδυνατούσαν να επεκτείνουν τις προβλέψεις τους σε καινούργια πεδία της εμπειρίας. Έτσι, το νόημα του όρου ‘επαγωγή’ διευρύνθηκε προοδευτικά και οι γενικές προτάσεις αντιμετωπίζονταν, όλο και περισσότερο, ως *υποθέσεις* που όφειλαν πλέον να ‘επιβεβαιωθούν’ από την εμπειρία. Κατ’ αυτόν τον τρόπο, η εξέλιξη του θετικισμού οδήγησε σε νέες αντιλήψεις περί ορθολογικότητας, οι οποίες μπορούν να καταταγούν με αδρό τρόπο σε δύο κατηγορίες.

Η πρώτη κατηγορία συμπεριλαμβάνει τις ‘επικυρωτικές’ εν γένει θεωρήσεις (‘confirmationism’): ως επιστημονικώς ορθολογική ορίζεται η αποδοχή θεωριών, οι οποίες παράγουν εμπειρικά ελέγξιμες προτάσεις που αναμένουν να *επικυρωθούν* από την πειραματική διαδικασία. Η δεύτερη κατηγορία συμπεριλαμβάνει τις αντιλήψεις εκείνες που απορρέουν από τη ‘διαψευσιοκρατική’ θεώρηση (‘falsificationism’) του Popper: ως επιστημονικώς ορθολογική ορίζεται η *απόρριψη* θεωριών ή υποθέσεων που οδηγούν σε λανθασμένες εμπειρικές προβλέψεις. Για τις ανάγκες της παρούσας μελέτης, είναι σημαντικό να επισημάνουμε ότι οι ανωτέρω θεωρήσεις, παρά την εμπειρική τους κατεύθυνση, εμφορούνται από μια βαθύτατη πεποίθηση για τον κυρίαρχο ρόλο των *λογικών διαδικασιών* στην επιστημονική έρευνα. Είναι χαρακτηριστικό ότι η πρώτη θεώρηση στηρίζεται στις μελέτες του Carnap για την επαγωγική λογική (Carnap, 1928, 1934, 1950), ενώ η δεύτερη στην προσπάθεια του Popper να θεμελιώσει μια ‘παραγωγική’ λογική (‘deductivism’, 1959), ικανή να οδηγήσει από τις εκάστοτε προτεινόμενες υποθέσεις σε προτάσεις διαψεύσιμες από την πειραματική διαδικασία. Η στενή συσχέτιση της επιστημονικής ορθολογικότητας με τη *λογική σύνταξη* των επιστημονικών θεωριών μπορεί ν’ αποδοθεί, κατά κύριο λόγο, στον κοινό τρόπο με τον οποίο οι υπό συζήτηση θεωρήσεις αντιλαμβάνονται τη σύνδεση μεταξύ θεωρίας και εμπειρίας. Η υιοθετούμενη σύνδεση στις πρώιμες, πριν την εμφάνιση της ιστορικιστικής στροφής, εκφράσεις των συγκεκριμένων θεωρήσεων μπορεί να παρασταθεί ως εξής.

²⁹ Με τον όρο ‘αυστηρή λογική’ εννοούμε πάντοτε την ‘κλασική τυπική λογική’



Σχήμα 2

Η επικυρωτική βεβαίως θεώρηση, ως άμεση εξέλιξη των θετικιστικών αντιλήψεων, αντιλαμβάνεται τη διαδικασία λογικής παραγωγής ως μορφή εξειδικευμένης επαγωγής (ως, λόγου χάριν, ‘επεξηγηματική επαγωγή’ [‘explanative induction’], Reichenbach, 1951)³⁰ ή ως ‘επαγωγή υπό μια ευρύτερη έννοια’ [‘induction in a wider sense’], Hempel, 1966). Εν τούτοις, η διαφοροποίηση της συγκεκριμένης θεώρησης από την αντίστοιχη διαψευσιοκρατική στο ζήτημα της ορθολογικότητας επικεντρώνεται, κυρίως, στην έμφαση που αυτή αποδίδει στα θετικά, έναντι των αρνητικών της διαψευσιοκρατίας, αποτελέσματα του πειραματικού ελέγχου των θεωριών. Πέραν αυτού, αμφότερες οι θεωρήσεις υποστηρίζουν σε αγαστή πράγματι σύμπνοια ότι είναι μόνο η διεξοδική *λογική ανάλυση* της γλώσσας εκείνη που μπορεί να διασφαλίσει αξιόπιστες μεθόδους επιστημονικής δικαιολόγησης. Έτσι, η πρώιμη θεώρηση του Popper υιοθετεί κατ’ ουσία την ορθολογικότητα μιας ‘αρνητικής’ δικαιολόγησης, εφόσον «η μέθοδος της διάψευσης προϋποθέτει ... τους ταυτολογικούς μετασχηματισμούς της παραγωγικής λογικής, η ισχύς της οποίας δεν αμφισβητείται με κανένα τρόπο» (Popper, 1959, σ. 42).

Το γεγονός, λοιπόν, ότι αμφότερες οι θεωρήσεις προβάλλουν με επιμονή την απαίτηση μίας σαφούς διάκρισης μεταξύ ‘πλαισίου ανακάλυψης’ και ‘πλαισίου δικαιολόγησης’, σύμφωνα με την ορολογία του Reichenbach (1951), ή ‘πλαισίου ανακάλυψης’ και ‘πλαισίου ελέγχου’, σύμφωνα με την ορολογία του Popper (1959), δεν είναι τυχαίο. Το πραγματικό αντικείμενο της φιλοσοφίας συναρτάται αποκλειστικά με το δεύτερο πλαίσιο – εφόσον είναι το μόνο που διασφαλίζει τη λογική ανάλυσης – ενώ το πρώτο εκλαμβάνεται ως επιδεχόμενο ψυχολογικής και μόνο ερμηνείας. Για τον Popper, λόγου χάριν, η ‘ορθολογική ανασυγκρότηση’ της διαδικασίας ανακάλυψης είναι αδύνατη, εφόσον «κάθε ανακάλυψη περιλαμβάνει ένα ‘ανορθολογικό στοιχείο’ (‘irrational element’) ή μια ‘δημιουργική ενόραση’ (‘creative intuition’) με την κατά Bergson έννοια των όρων» (Popper, 1959, σ. 33).

³⁰ Σύμφωνα με τη θεώρηση του Reichenbach, μπορούμε να δούμε το σύνολο των επιστημονικών μεθόδων ως ένα μεγάλο *δίκτυο επαγωγών*, στο οποίο η μια μέθοδος διορθώνει την άλλη.

Κατά τη δεκαετία του '60, οι εργασίες των Kuhn (1962) και Feyerabend (1962α) προώθησαν με κρίσιμο πράγματι τρόπο τη μελέτη του ζητήματος της ορθολογικότητας. Ο ισχυρισμός ότι μια αξιόπιστη θεωρία περί επιστημονικής εξέλιξης οφείλει να είναι εν γένει συμβατή με τις πραγματικές διαδικασίες στο χώρο της επιστήμης έστρεψε την προσοχή των φιλοσόφων στις περιόδους των 'επαναστατικών' επιστημονικών αλλαγών και στον 'ανταγωνισμό' μεταξύ διαδοχικών θεωριών σε περιόδους επιστημονικών 'κρίσεων' (Kuhn, 1962) ή, ακόμη περισσότερο, καθ' όλη την ιστορική πορεία της επιστήμης (Feyerabend, 1962α).

Οι θέσεις του Feyerabend, όπως ακριβώς και οι πρώιμες θέσεις του Kuhn (1962), καθώς αρνούνται, εξ αρχής, τόσο τη δυνατότητα καθορισμού κανόνων επιβεβαίωσης ή απόρριψης υποθέσεων, όσο και τη δυνατότητα θέσπισης καθολικών κριτηρίων για την επιλογή μεταξύ ανταγωνιστικών θεωριών, απορρίπτουν εν τέλει και τη δυνατότητα διατύπωσης κάποιου μοντέλου επιστημονικής ορθολογικότητας ικανού ν' αναπαραστήσει τις συντελούμενες κατά τις περιόδους αλλαγής θεωρίας διαδικασίες. Έτσι, δεν είναι τυχαίο ότι ο Feyerabend, εξετάζοντας το ρόλο της Αρχής της Αντιστοιχίας (στη γενική της μορφή ως μέσου διασύνδεσης διαφορετικών θεωριών), ισχυρίστηκε ότι, παρ' όλο που η αρχή αυτή διαδραμάτισε κάποιο θετικό ρόλο κατά την εξέλιξη της κβαντικής θεωρίας, πρέπει εν γένει ν' απορρίπτεται, επειδή αναχαιτίζει τις επαναστατικές διαδικασίες επιστημονικής εξέλιξης (Feyerabend, 1962β). Παρ' όλα αυτά, η ιστορικιστική στροφή σηματοδότησε την εισαγωγή της ιστορικότητας στη σημασία του όρου 'ορθολογικότητα', έφερε στο προσκήνιο την ιδέα της ανταγωνιστικότητας των διαφορετικών θεωριών και τροφοδότησε τον προβληματισμό σε σχέση με την ενδεχόμενη αναγκαιότητα εξεύρεσης έγκυρων επιστημονικών κριτηρίων για τη συγκριτική τους αξιολόγηση. Έτσι, η σημειωθείσα εξέλιξη ακολούθησε σε αδρές γραμμές την ακόλουθη πορεία.

Κατ' αρχήν, η εξέλιξη των ιστορικιστικών θεωρήσεων μετατόπισε το κέντρο της επιστημονικής ορθολογικότητας από τη μεμονωμένη επιστημονική θεωρία στο 'παράδειγμα' (σύμφωνα με την όψιμη θεώρηση του Kuhn, 1974), στο 'ερευνητικό πρόγραμμα' (Lakatos, 1970) ή στην 'ερευνητική παράδοση' (Laudan, 1977). Τα νέα 'κέντρα' επιστημονικής ορθολογικότητας εμπεριέχουν πλέον, εκτός από το εκάστοτε αποδεκτό περιεχόμενο της επιστημονικής γνώσης, και ένα σύνολο μεθοδολογικών και μεταφυσικών στοιχείων, τα οποία συναρτώνται, εν πολλοίς, με τις κοινωνικές παραμέτρους κάθε ιστορικής περιόδου. Στις θεωρίες τους, λόγου χάριν, οι Lakatos και Laudan, δια της προβολής συγκεκριμένων παραδειγμάτων από την ιστορία της

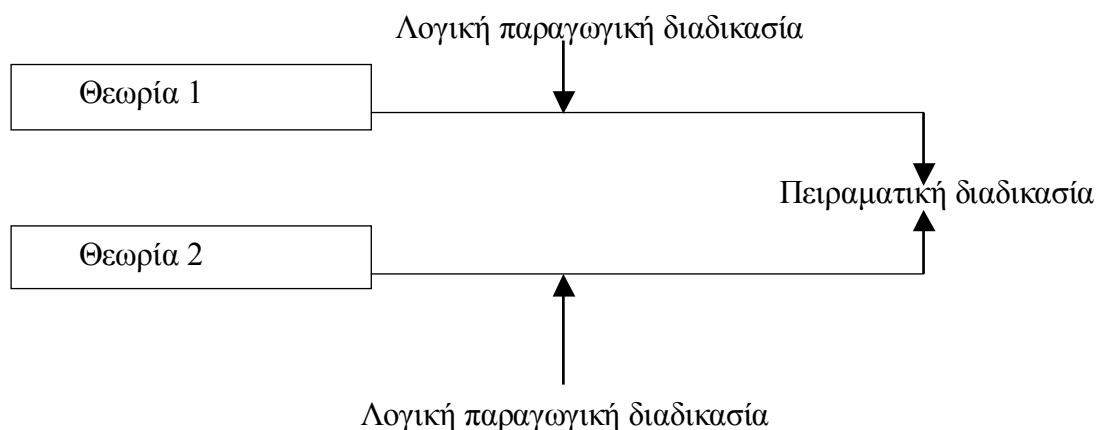
επιστήμης, επιχείρησαν να προσφέρουν μια περιγραφή της ορθολογικότητας, όπως αυτή εκδηλώθηκε κατά την εξέλιξη της επιστημονικής γνώσης. Τα μοντέλα τους, εν τούτοις, παρουσιάζουν ένα σημαντικό έλλειμμα: καθώς αποδέχονται μια ‘εξτερναλιστική’ εν γένει ερμηνεία της επιστημονικής ορθολογικότητας – αξιολογούν δηλαδή την επιλογή ενός ‘ερευνητικού προγράμματος’ ή αντίστοιχα μιας ‘ερευνητικής παράδοσης’ βάσει της τελικής επιτυχίας του/ της και όχι βάσει των συνειδητών κινήτρων που οδήγησαν στην επιλογή του/ της – παραβλέπουν τους ‘εσωτερικούς’ ορθολογικούς μηχανισμούς που καθοδηγούν την επιστημονική έρευνα.

Από την άλλη πλευρά, η αναλυτική φιλοσοφία, στην προσπάθειά της ν’ αντιμετωπίσει την κριτική της ιστορικιστικής θεώρησης και ν’ αναιρέσει τον εισαγόμενο από αυτήν σχετικισμό, προχώρησε στην ανασκευή των αρχικών της απόψεων. Προχώρησε δηλαδή στον καθορισμό συγκεκριμένων *κριτηρίων ορθολογικότητας* για την αξιολόγηση της επιλογής μεταξύ ανταγωνιστικών θεωριών. Έτσι, ο Popper στις ώριμες εργασίες του (Popper, 1976), προβάλλοντας μια ιστορικά ενημερωμένη εκδοχή της διαψευσιοκρατίας, ισχυρίζεται πλέον ότι η πρόκριση κάποιων επιστημονικών θεωριών, έναντι των ανταγωνιστικών τους, δεν είναι αμιγώς ψυχολογική, αλλά έχει ως *ορθολογικό οδηγό* μια εξαντλητική διαδικασία κατάρριψης, την ‘κριτική μέθοδο’ ή ‘κριτική ορθολογικότητα’ (‘critical rationalism’): ο επιστήμονας, εκκινώντας από μια διαισθητικά διατυπωμένη θεωρία, υπόθεση ή εικασία, επιχειρεί, μέσω αυστηρών λογικών παραγωγικών συλλογισμών, να καταλήξει σε εμπειρικά διαψεύσιμες προτάσεις. Η επιστήμη επιλέγει τελικά εκείνες τις θεωρίες που ανταποκρίνονται στον εξαντλητικό εμπειρικό τους έλεγχο.

Παράλληλα, η ανάγκη μετεξέλιξης της επιβεβαιωτικής θεώρησης παρακινεί, λόγου χάριν, τον Carnap να διατυπώσει μια πιθανοκρατική θεωρία³¹ που οδηγεί στον υπολογισμό ‘βαθμών επιβεβαίωσης’ για την αξιολόγηση ανταγωνιστικών επιστημονικών θεωριών. Εν τούτοις, ακόμη και στη χρήση του όρου ‘πιθανότητα’ εμφανίζεται, όπως επισημαίνει ο Earman, μια σταδιακή *ποιοτική* διαφοροποίηση: ενώ κατά τις δεκαετίες του ’40 και ’50 ο Carnap προβάλλει μια λογική θεώρηση της πιθανότητας (π.χ. Carnap, 1950), στις αρχές της δεκαετίας του ’60 καταλήγει σε μια στάση, την οποία ο Earman, δανειζόμενος τον όρο του Shimony (1970), χαρακτηρίζει

³¹ Σύμφωνα με την όψιμη θεώρηση του Carnap, το κριτήριο της ‘αυστηρής επαληθευσιμότητας’ (το οποίο θεσμοθετεί την ‘επαλήθευση από τα γεγονότα’ [‘verification by facts’] και καθορίζει ότι ‘επιστημονική’ είναι μόνο η πρόταση που μπορεί να επαληθευτεί πρόδηλα και άμεσα από την παρατήρηση) υποσκελίζεται από το κριτήριο της ‘στατιστικής επικύρωσης’ (‘statistical confirmation’).

ως ‘μετριασμένη προσέγγιση προσωπικών πιθανοτήτων’ (‘tempered personalism’): η πιθανότητα αντιμετωπίζεται πλέον ως ‘ορθολογικός βαθμός της πεποίθησης’ (Earman, 1993, σ. 21). Παρά τη σημαντική της όμως μετεξέλιξη, η αναλυτική παράδοση – τόσο υπό την επικυρωτική όσο και υπό τη διαψευσιοκρατική της έκφανση – συνέχιζε να εκλαμβάνει τη λογική παραγωγική διαδικασία ως τη βασικότερη έκφραση μεθοδολογικής ορθολογικότητας. Μόνο που το υιοθετούμενο σχήμα προσλάμβανε πλέον την ακόλουθη γενική μορφή.



Σχήμα 3

Η δυνατότητα βεβαίως προσαρμογής ενός τέτοιου σχήματος στην πραγματική λειτουργία της επιστήμης, κατά τις περιόδους αλλαγής θεωρίας, είναι τουλάχιστον αμφίβολη. Όπως υπογραμμίζει ο Kuhn σε μια κριτική αποτίμηση των θέσεων του Popper, «ο Sir Karl επεδίωξε να επιλύσει το πρόβλημα επιλογής θεωρίας, κατά τις περιόδους επαναστατικών αλλαγών, μέσω *λογικών κριτηρίων*, τα οποία είναι δυνατό να εφαρμοσθούν με ακρίβεια μόνο στο βαθμό που η νέα θεωρία εκλαμβάνεται ως *δεδομένη*» (Kuhn, 1970, σ. 288). Προς ενίσχυση δε της συγκεκριμένης θέσης, ο Feyerabend παρατηρεί ότι «η διαψευσιοκρατία κρίνει [αποδέχεται ή καταδικάζει] μια θεωρία μόνο *αφού* αυτή τεθεί υπό συζήτηση» (Feyerabend, 1981, σ. 148).

Μπορούμε επομένως να ισχυριστούμε ότι δεν υφίστανται κριτήρια ορθολογικότητας κατά τις περιόδους αλλαγής θεωρίας; Ο Kuhn, εκθέτοντας τις όψεις περί επιστημονικής ορθολογικότητας θέσεις του, στη δεύτερη έκδοση της ‘Δομής’ (1970) και, κυρίως, στο δοκίμιο «Αντικειμενικότητα, αποτίμηση αξιών και επιλογή θεωρίας» (1973, σσ. 320-339), υποστηρίζει ότι «οι διαμάχες, σε σχέση με την επιλογή θεωρίας, δεν μπορούν να ενταχθούν σ’ ένα σχήμα που προσομοιάζει σε λογική ή μαθηματική απόδειξη ... αυτό όμως δεν σημαίνει ότι απουσιάζουν ορισμένοι *σοβαροί λόγοι* για την όποια επιλογή ... ούτε βεβαίως σημαίνει ότι οι

συγκεκριμένοι λόγοι είναι διαφορετικοί από αυτούς που απαριθμούν συνήθως οι φιλόσοφοι της επιστήμης: ακρίβεια, απλότητα, καρποφορία. Όμως, οι συγκεκριμένοι λόγοι λειτουργούν ως αξίες [και όχι ως ακριβή κριτήρια]. Ως αξίες δε, είναι δυνατόν να εφαρμοσθούν με διαφορετικό τρόπο, τόσο σε προσωπικό όσο και σε συλλογικό επίπεδο, από άτομα που τις τιμούν εξίσου» (Kuhn, 1973, σ. 330). Όλα αυτά καθιστούν βεβαίως ανέφικτο «το ιδεώδες ενός ‘αλγόριθμου απόφασης’, ο οποίος θα αποδεικνυόταν ικανός να υπαγορεύσει ανώνυμα ορθολογικά κριτήρια ... μέσω μιας συνάρτησης που θα απέδιδε το κατάλληλο βάρος σε καθένα από τα συνυπάρχοντα κριτήρια» (Kuhn, 1973, σ. 330).

2. Η Αρχή της Αντιστοιχίας

υπό το φως των κεντρικών θεωρήσεων περί επιστημονικής ορθολογικότητας

Πώς εντάσσονται όμως οι επιστημολογικές αντιλήψεις και η μεθοδολογική πρακτική του Bohr μέσα στο ευρύ αυτό φάσμα θεωρήσεων περί ορθολογικότητας; Για ν' απαντήσουμε στο συγκεκριμένο ερώτημα, θα εστιάσουμε την προσοχή μας στις θέσεις του ίδιου του Bohr, όπως αυτές εκφράζονταν κατά την περίοδο εφαρμογής της AAB. Κι' αυτό, επειδή, όπως θα δούμε στη συνέχεια (§B-2), το κατά Bohr νόημα της έννοιας 'ορθολογικότητα' διαφοροποιήθηκε, ως ένα βαθμό και για συγκεκριμένους λόγους, μετά την προταθείσα μέσω της συμπληρωματικότητας φυσική ερμηνεία της κβαντικής θεωρίας. Μπορούμε, λοιπόν, να επισημάνουμε τα εξής.

Το μεθοδολογικό σχήμα της AAB (§A-3.1, σχήμα 1) διαμορφωνόταν από μια σύνθεση παραγωγικών και επαγωγικών διαδικασιών, εφόσον, όπως ήδη σημειώσαμε, (§A-1.1, §A-2.3), συμπεριλάμβανε τις εξής επιμέρους διαδικασίες: α) Παραβίαση κλασικών αρχών, μέσω της αξιωματικής διατύπωσης της ατομικής θεωρίας, αλλά ένταξη των μη-κλασικών παραδοχών σε νόμους τυπικά ανάλογους προς τους νόμους της κλασικής φυσικής. β) Χρησιμοποίηση των αξιωμάτων και των νόμων της 'παλιάς' κβαντικής θεωρίας για την εξαγωγή μέσω ατελούς παραγωγής, των προς ερμηνεία εμπειρικών νόμων. γ) Και, τέλος, επαγωγική, υπό μια έννοια, επιβεβαίωση των νόμων της κβαντικής θεωρίας, μέσω της συστηματικής προσπάθειας συναγωγής τους από τον συνδυασμό των υφιστάμενων εμπειρικών νόμων με τους νόμους της κλασικής φυσικής στο πεδίο των μεγάλων κβαντικών αριθμών.

Όπως λοιπόν διαπιστώνουμε, ο Bohr, διαισθανόμενος ότι οι δυσκολίες που αντιμετώπιζε η ερευνητική διαδικασία ήταν 'τέτοιας φύσεως' που απομάκρυναν την ελπίδα για μια περιγραφή που 'να συνταιριάζεται με τις συνηθισμένες αισθητηριακές

αντιλήψεις' (π.χ. A3.4), υποβάθμιζε μεθοδολογικά 'το παρατηρήσιμο' και έθετε σ' εφαρμογή μια μεθοδολογία που αδυνατεί ν' ανταποκριθεί στα τιθέμενα από τον λογικό θετικισμό κριτήρια ορθολογικότητας (§A-4.1, σχήμα 1). Με άλλα λόγια, ο Bohr δεν αποπειράθηκε σε καμία περίπτωση ν' αποδώσει νόημα στους θεωρητικούς όρους της κβαντικής θεωρίας δια της αναγωγής τους σε μια, εκλαμβανόμενη ως 'ουδέτερη', παρατηρησιακή γλώσσα (βλ. και §A-5.1.2).

Η AAB διαμόρφωνε επίσης ένα ερευνητικό σχήμα, το οποίο διέφερε ριζικά από την παραγωγική – υποθετική μέθοδο της επιβεβαιωτικής ή διαψευσιοκρατικής θεώρησης (§A-4.1, σχήμα 2). Γιατί ο Bohr ουδέποτε επιχείρησε να εκκινήσει από τα αξιώματα της ατομικής θεωρίας και να εξαγάγει μέσω λογικών – παραγωγικών συλλογισμών εμπειρικά επιβεβαιώσιμες ή διαψεύσιμες προτάσεις: ο Bohr, παρότι δεν απέκλειε, εν γένει, τη δυνατότητα χρήσης κάποιων φορμαλιστικών προτύπων ικανών να προσδώσουν 'έναν γνήσιο λογικό χαρακτήρα' στην ερευνητική διαδικασία (A3.4), εξέφραζε σταθερά την πεποίθηση ότι η αποτελεσματική προώθηση των επιστημονικών στόχων εκείνης της περιόδου απαιτούσε μια μεθοδολογική γραμμή που δεν θ' αντιστοιχούσε σε μια 'κλειστή τυπική θεώρηση', αλλά θα ήταν ικανή 'να προσαρμόζεται' συνεχώς στα καινούργια εμπειρικά δεδομένα (§A-3.2).

Ακόμη, η AAB δεν υπήρξε σε καμία από τις φάσεις εφαρμογής της ένα εργαλείο *σύγκρισης* της κλασικής με την κβαντική θεωρία κατά το πρότυπο του σχήματος 3 (§A-4.1). Κι' αυτό, επειδή ο Bohr ουδέποτε προσέλαβε τα προτεινόμενα, κατά την περίοδο γέννησης της κβαντικής θεωρίας, αξιωματικά συστήματα ως 'ολοκληρωμένες' θεωρίες. Αντίθετα, μιλούσε πάντοτε για θεωρητικά σχήματα με 'προκαταρκτικό' και 'υποθετικό' χαρακτήρα. Ο Rosenfeld παρατηρεί σχετικά: «Ο Niels Bohr δεν προσπαθούσε ποτέ να σχηματίσει το περίγραμμα μιας ολοκληρωμένης θεωρίας, αλλά διερευνούσε υπομονετικά όλες τις φάσεις του προβλήματος, αρχίζοντας από κάποιο προφανές παράδοξο και οδηγώντας σταδιακά την ερευνητική διαδικασία προς την αποσαφήνισή του. Πράγματι, είχε πάντα την τάση να εκλαμβάνει τα όποια επιτυχή αποτελέσματα ως *σημεία εκκίνησης* για περαιτέρω εξερεύνηση. Κατά την εκτίμηση δε των προοπτικών μιας γραμμής έρευνας, *παρέβλεπε* πάντοτε τις συνήθεις θεωρήσεις περί απλότητας, κομψότητας, ακόμη και περί συνεκτικότητας, υπογραμμίζοντας ότι τέτοιες ποιότητες μπορούν να κριθούν κατάλληλα μόνο *μετά* το συμβάν ... » (Rosenfeld, 1967, σ. 117).

Καθώς ο όρος 'συμβάν' υπονοεί την τελική 'ορθολογική' ερμηνεία της κβαντικής θεωρίας (βάσει βεβαίως των κριτηρίων 'ορθολογικότητας' που ο ίδιος ο Bohr έθετε,

§A-4.3), μπορούμε να ισχυρισθούμε ότι η θεώρηση του Bohr σε σχέση το υπό συζήτηση θέμα συνάδει, εν τέλει, με τις θέσεις των φιλοσόφων της ιστορικοεπιστημολογικής στροφής: ακόμη κι' αν κάποιος κατόρθωνε να ορίσει αυστηρά λογικά κριτήρια για τη σύγκριση της παλιάς με την νέα θεωρία, δεν θα μπορούσε να τα εφαρμόσει παρά μόνο στο βαθμό που θα εκλάμβανε τη νέα θεωρία ως 'δεδομένη'. Κατά την αντίληψη όμως του Bohr, η ευρετική δυναμική των 'κλειστών', και υπ' αυτήν την έννοια 'δεδομένων', θεωρητικών σχημάτων ήταν περιορισμένη. Γι' αυτό και προσπάθησε, μέσω της AAB, να οροθετήσει μια 'ανοικτή', 'μη-γλωσσική' αρχή επιστημονικής αναζήτησης, μία αρχή ικανή να καθοδηγεί αργά αλλά σταθερά την ερευνητική πορεία προς τη 'συγκρότηση' της κβαντικής θεωρίας. Ποια ήταν όμως τα ιδιαίτερα εκείνα χαρακτηριστικά της AAB που διασφάλιζαν 'τη μεθοδολογικώς ακριβή αναζήτηση των επιστημονικών απαντήσεων', μια αναζήτηση που, κατά την άποψη του Boyd, αντικαθιστά τη 'γλωσσική ακρίβεια'; (§A-3.2).

3. Το κατά Bohr νόημα του όρου 'ορθολογικότητα'

κατά την περίοδο εφαρμογής της Αρχής της Αντιστοιχίας

Θα επιχειρήσουμε να δείξουμε ότι, κατά την περίοδο εφαρμογής της AAB, η κατά Bohr έννοια της 'ορθολογικότητας' εμπεριείχε δύο αλληλοσυνδεόμενες, αλλά διακριτές μεταξύ τους συνιστώσες.

1^η συνιστώσα: Η κβαντική θεωρία ως 'ορθολογική γενίκευση' της κλασικής φυσικής.

Η πρώτη συνιστώσα αφορούσε τον στόχο της εφαρμοζόμενης μέσω της AAB μεθοδολογίας. Προδιέγραφε, δηλαδή, τα προσδοκώμενα χαρακτηριστικά της υπό αναζήτηση κβαντικής θεωρίας. Έγραφε ο Bohr εκείνη την περίοδο:

(A4.1) Η κβαντική θεωρία, ... καθώς εισάγει την ασυνέχεια στους νόμους της φύσης, αποκλίνει ισχυρά από τις ιδέες της κλασικής ηλεκτροδυναμικής. Παρ' όλα αυτά, υπό την παρούσα οπτική γωνία της φυσικής, κάθε περιγραφή των διαδικασιών της φύσης πρέπει να βασίζεται σε ιδέες που εισήχθησαν και ορίστηκαν από την κλασική θεωρία. ... Καθώς η κβαντική θεωρία αναπτύσσεται, φαίνεται ότι δημιουργείται πλέον η δυνατότητα θεμελίωσης μιας θεωρίας, η οποία, αφενός, θα μπορεί να ερμηνεύει φαινόμενα στα οποία η κλασική θεωρία προφανώς αποτυγχάνει, και, αφετέρου, θα ακολουθεί με φυσικό τρόπο τις εφαρμογές στις οποίες η κλασική θεωρία πρόσφερε εξαιρετικά καλές υπηρεσίες. Κάνοντας όμως αυτή τη σύνδεση, πρέπει να βλέπουμε ξεκάθαρα την τεράστια απόκλιση από τις συνηθισμένες μας ιδέες ... Αυτό είναι πολύ σημαντικό όταν μας απασχολεί η ακριβέστερη διατύπωση των αρχών της κβαντικής θεωρίας. Γιατί, για μια τέτοια διατύπωση στην παρούσα κατάσταση της γνώσης μας, οφείλουμε να λαμβάνουμε πάντοτε υπόψη μας την έκταση εφαρμοσιμότητας των δυο θεωριών» (Bohr, 1923a, NBCW3, σ. [458]).

Η υπό αναζήτηση, λοιπόν, κβαντική θεωρία όφειλε να είναι κατ' αρχήν *ακριβής*, να προβλέπει δηλαδή με επιτυχία τα υφιστάμενα πειραματικά δεδομένα. Η επιζητούμενη όμως ακρίβεια όφειλε να συνοδεύεται από *επέκταση και ενοποίηση* του εμπειρικού περιεχομένου της επιστημονικής γνώσης. Γιατί η κβαντική θεωρία όφειλε 'ν' ακολουθεί με φυσικό τρόπο' τις επιτυχείς εφαρμογές της κλασικής θεωρίας (τα φαινόμενα που συνδέονταν με τη διάδοση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας στο χώρο), και να ερμηνεύει ταυτόχρονα 'φαινόμενα στα οποία η κλασική θεωρία προφανώς αποτύγχανε' (τα φαινόμενα που συνδέονταν με τις υποατομικές διαδικασίες). Ποια ήταν όμως η μορφή της επιδιωκόμενης από τον Bohr ενοποίησης; Το 1914, λίγο μετά τη διατύπωση της πρώτης ατομικής θεωρίας, ο Bohr περιέγραψε σε γράμμα του προς τον Oseen την υποδοχή που της επεφύλαξε ο Debye, ως εξής:

(A4.2) «Γενικά, επέδειξε φιλική στάση. Ισχυρίστηκε, εν τούτοις, ότι, εάν υπάρχει κάποια αλήθεια σε τέτοιου είδους υποθέσεις, θα πρέπει να υφίσταται *μια γενική αρχή*, μέσω της οποίας θα μπορούσε να κατανοήσει κανείς τη σύνδεση μεταξύ της κβαντικής θεωρίας και της συνηθισμένης ηλεκτροδυναμικής. Προσπάθησα να του πω ότι, ίσως, *η αναγκαιότητα μιας τέτοιας αρχής δεν είναι προφανής*, ότι, ίσως ακόμη, το πρόβλημα που προσπάθησε να λύσει η κλασική θεωρία να ήταν *πολύ διαφορετικό* από αυτό που αντιμετωπίζουμε τώρα και ότι, ίσως τελικά, η δυνατότητα ν' αποκτήσουμε μια κατανοητή εικόνα που ν' αγκαλιάζει όλα τα φαινόμενα δεν πρέπει να επιδιώκεται μέσω της γενίκευσης των θεωρήσεων, αλλά, μάλλον, μέσω της κατά το δυνατόν *αυστηρότερης οριοθέτησης* της εφαρμογής τους» (Γράμμα του Bohr στον Oseen, 28 Σεπτεμβρίου, 1914β, *NBCW2*, σ. [563]).

Κατά την αντίληψη, συνεπώς, του Bohr, η κατανόηση της σύνδεσης μεταξύ της κβαντικής και της ηλεκτρομαγνητικής θεωρίας δεν ήταν κατ' ανάγκη συνυφασμένη με την ένταξη των δύο θεωριών κάτω από μια 'γενική αρχή', με τη συντακτική τους δηλαδή ενοποίηση σ' ένα ενιαίο λογικό σχήμα. Αντίθετα, η δυνατότητα προσέγγισης 'μιας κατανοητής εικόνας που ν' αγκαλιάζει όλα τα φαινόμενα', όφειλε κατά τη γνώμη του να επιδιώκεται, όχι 'μέσω της γενίκευσης των θεωρήσεων, αλλά, μάλλον, μέσω της κατά το δυνατόν αυστηρότερης οριοθέτησης της εφαρμογής τους'. Μια τέτοια τοποθέτηση αποκαλύπτει για μια ακόμη φορά την ουσιαστική απόκλιση της μεθοδολογικής στρατηγικής του Bohr από τις υποθετικές – παραγωγικές μεθόδους επιστημονικής αναζήτησης. Μας βοηθά όμως να προχωρήσουμε ακόμη περισσότερο.

Ο Bohr, διαισθανόμενος ότι το πρόβλημα που προσπάθησε να επιλύσει η κλασική θεωρία μπορεί να ήταν 'πολύ διαφορετικό' από αυτό που όφειλε να επιλύσει η κβαντική φυσική (A4.2) ή, ακόμη, ότι 'η κβαντική θεωρία απέκλινε ισχυρά από τις ιδέες της κλασικής ηλεκτροδυναμικής' (A4.1), εξέφραζε από πολύ νωρίς την άποψη ότι οι 'κρυμμένες δυσκολίες' των προς επίλυση προβλημάτων θα μπορούσαν ίσως ν' αντιμετωπιστούν επιτυχώς «αν κατάφερνε κανείς να ξεφύγει ακόμη περισσότερο από

τις συνηθισμένες [έως τότε] θεωρήσεις» (από γράμμα του Bohr προς τον Oseen, *NBCW2*, 1914β, σ. [562]). Κατ' αυτόν όμως τον τρόπο, ο Bohr προέβαλε το ενδεχόμενο της λογικής και εννοιολογικής *ασυμβατότητας* της κλασικής και κβαντικής θεωρίας, μια αντίληψη που εμφανίζει ισχυρά σημεία συνάφειας (χωρίς να ταυτίζεται, βλ. υποσημείωση 7) με την υποστηριζόμενη από τις ιστορικοεπιστημολογικές θεωρήσεις *ασυμμετρία* των διαδοχικών θεωριών. Ήταν δε ακριβώς η επιθυμία του να υπογραμμίζει με κάθε δυνατό τρόπο ένα τέτοιο ενδεχόμενο εκείνη που τον ώθησε τελικά, το 1922, ν' αντικαταστήσει τον όρο 'αναλογία' με τον όρο 'Αρχή της Αντιστοιχίας', δικαιολογώντας τη συγκεκριμένη απόφαση με τον ακόλουθο τρόπο.

(A4.3) «Το πρόβλημα που περιγράφεται εδώ προσφέρει μια απλή εφαρμογή της [αρχικής μου] θεώρησης, η οποία ονομάστηκε τότε *τυπική σχέση ή αναλογία* μεταξύ της κβαντικής θεωρίας και της κλασικής ηλεκτρομαγνητικής θεωρίας. Με στόχο να παρεμποδίσω τις παρανοήσεις, *ως προς τη δυνατότητα μιας άμεσης σύνδεσης των αποδιδόμενων από την κβαντική και την κλασική θεωρία περιγραφών*, στις επόμενες εργασίες μου θα αποκαλώ τον νόμο στον οποίο εμφανίζεται η συγκεκριμένη αναλογία 'Αρχή της Αντιστοιχίας' (Bohr, 1922α, *NBCW3*, σ. [178]).

Ποιο ήταν λοιπόν το στοιχείο εκείνο που, κατά την αντίληψη του Bohr, θα διασφάλιζε την επιδιωκόμενη, από τον ίδιο, ενοποίηση της επιστημονικής γνώσης παρά την πιθανολογούμενη ριζική απομάκρυνση της κβαντικής θεωρίας από τις κλασικές έννοιες; Το απόσπασμα που ακολουθεί είναι πράγματι διαφωτιστικό.

(A4.4) «Προς το παρόν, δεν διαθέτουμε μια λεπτομερή εικόνα, ούτε για τον *μηχανισμό* εκπομπής και απορρόφησης της ακτινοβολίας από τα άτομα, ούτε για τη διάδοση της ακτινοβολίας στο χώρο. Παρ' όλα αυτά, έχουμε χαράξει μια σύνδεση μεταξύ της κίνησης των υποατομικών συστημάτων [αφενός] και του φάσματος [αφετέρου], η οποία, παρότι είναι *ουσιαστικά διαφορετική* από αυτήν που θα προέκυπτε από την κλασική ηλεκτρομαγνητική θεωρία, διατηρεί *τέτοιες ιδιότητες* που μας κάνουν να ελπίζουμε ότι θα προσεγγίσουμε στο μέλλον *μια εικόνα* που θα επιτυγχάνει *την ερμηνεία*, τόσο των πειραματικών δεδομένων που αφορούν τις ατομικές διαδικασίες, όσο κι' εκείνων που αφορούν τα φαινόμενα συμβολής των φωτεινών κυμάτων. Υπάρχει βεβαίως το ενδεχόμενο η εικόνα αυτή να έχει ως υπόστρωμα έναν μηχανισμό, ο οποίος θα επιφέρει τη *ριζική απομάκρυνση* από εκείνες τις θεμελιώδεις έννοιες που έχουν στηρίξει έως τώρα τη θεμελίωση των φυσικών θεωριών» (Bohr, 1921γ, *NBCW3*, σ. [413]).

Ο Bohr ανέμενε λοιπόν από την κβαντική θεωρία να προσφέρει μία *ενοποιημένη ερμηνευτική εικόνα* που όφειλε να συμπεριλαμβάνει, τόσο τις επιτυχείς εφαρμογές της κλασικής ηλεκτρομαγνητικής θεωρίας, όσο και τα αντιστοιχούντα στις υποατομικές διαδικασίες πειραματικά δεδομένα. Στο πλαίσιο, επομένως, της επιστημολογικής του θεώρησης, ο όρος 'ενοποίηση' έθετε το αίτημα της *εξηγητικής προόδου*, μιας προόδου που όφειλε να κατακτηθεί παρά την όποια ενδεχόμενη 'ριζική απομάκρυνση' από τις κλασικές ιδέες. Με τον όρο δε 'εξηγητική πρόοδος' εννοούμε το εξής: η κβαντική θεωρία όφειλε, υπό το πρίσμα της δικής της συνεκτικής

κοσμοθεώρησης, ν' αναγνωρίζει τα *βαθύτερα* εκείνα χαρακτηριστικά της φυσικής πραγματικότητας που επέτρεπαν την επιτυχή μεν εφαρμογή της κλασικής φυσικής στο μακροσκοπικό επίπεδο, ενώ προδίκάζαν, αντίθετα, την αποτυχία της στην υποατομική κλίμακα. Υπ' αυτό δε το πρίσμα, η 'ορθολογικότητα' της κβαντικής θεωρίας έμελλε να κριθεί βάσει της ικανότητάς της να προσφέρει μια συνεκτική ερμηνεία των *φυσικών αιτίων* που καθιστούσαν *αναγκαία* την ριζική εννοιολογική ανασυγκρότηση της επιστημονικής γνώσης. Ή, υπό μια άλλη διατύπωση, η εννοιολογική ασυμμετρία της κλασικής και κβαντικής θεωρίας όφειλε ν' αναδεικνύεται από επιστημονικώς αναγνωρισμένα χαρακτηριστικά της φυσικής πραγματικότητας. Έχοντας ως βάση τον συγκεκριμένο τρόπο ανάγνωσης, μπορούμε πλέον να επιτύχουμε μια συνεπή ερμηνεία ορισμένων ισχυρισμών του Bohr, η μεμονωμένη αντιπαραβολή των οποίων δημιουργεί εύλογα ερωτήματα. Ας εξετάσουμε, λόγου χάριν, αποσπάσματα που ακολουθούν.

(A4.5) «Η [θεωρούμενη] αντιστοιχία [μεταξύ κλασικής και κβαντικής θεωρίας] είναι *τέτοιας φύσεως* που επιτρέπει στην παρούσα θεωρία των φασμάτων [δηλαδή στην παρούσα τότε κβαντική θεωρία] να θεωρηθεί *ορθολογική γενίκευση* της συνηθισμένης θεωρίας της ακτινοβολίας» (Bohr, 1920β, *NBCW3*, σ. [246]).

(A4.6) «Η AAB πρέπει να εκλαμβάνεται ως ένας νόμος της κβαντικής θεωρίας, ο οποίος σε καμία περίπτωση *δεν μειώνει την αντίθεση* μεταξύ των κβαντικών αξιωμάτων και της κλασικής ηλεκτρομαγνητικής θεωρίας» (Bohr, 1923α, *NBCW3*, σ. [479]).

Και το ερώτημα που τίθεται: Μια θεωρία T_1 (η κβαντική θεωρία) είναι δυνατόν να θεωρηθεί ως 'ορθολογική γενίκευση' μιας θεωρίας T_2 (της κλασικής θεωρίας), εάν η αξιωματική θεμελίωση της T_1 βρίσκεται 'σε αντίθεση' με την αντίστοιχη της T_2 ; Η απάντηση μπορεί να είναι θετική, υπό την προϋπόθεση ότι ο όρος 'ορθολογική γενίκευση' δεν σηματοδοτεί την ενσωμάτωση των δύο θεωριών σ' ένα ενιαίο λογικό σχήμα, αλλά την αρμονική τους συνύπαρξη σ' ένα ενιαίο και συνεκτικό *ερμηνευτικό πλαίσιο*. Συνοψίζοντας λοιπόν την προηγηθείσα ανάλυση, καταλήγουμε στο ακόλουθο συμπέρασμα: κατά την αντίληψη του Bohr, η υπό αναζήτηση κβαντική θεωρία θα μπορούσε να εκληφθεί ως 'ορθολογική γενίκευση' της κλασικής, εάν αποδεικνυόταν ικανή ν' ανταποκριθεί στα κατωτέρω κριτήρια.

Πίνακας 1

Τα κατά Bohr κριτήρια ‘ορθολογικότητας’ για την αποτίμηση της επάρκειας της υπό αναζήτηση κβαντικής θεωρίας

Η κβαντική θεωρία όφειλε:

- A. Να είναι *ακριβής*, να προβλέπει δηλαδή με επιτυχία τα υφιστάμενα πειραματικά αποτελέσματα.
- B. Να διαθέτει ένα *ευρύτερο* απ’ ό,τι η κλασική θεωρία πεδίο στόχευσης/ εφαρμογής. Όφειλε δηλαδή να διευρύνει το εμπειρικό περιεχόμενο της επιστημονικής γνώσης, εντάσσοντας σε μια ‘ενιαία εικόνα’ τόσο τις επιτυχείς εφαρμογές της κλασικής θεωρίας όσο και μια σειρά εφαρμογών στις οποίες η κλασική θεωρία αποτύγχανε.
- Γ. Να επιτυγχάνει *την ενοποίηση της επιστημονικής γνώσης* σ’ ένα ενιαίο και συνεκτικό ερμηνευτικό σχήμα (και όχι, κατ’ ανάγκην, σε μια ενιαία λογική δομή), ανταποκρινόμενη στο αίτημα της *επεξηγηματικής προόδου*.

Ο πίνακας αυτός συγκροτήθηκε με τρόπο που να διευκολύνει την αναγνώριση της σαφούς διάστασης των αντιλήψεων του Bohr από τις εργαλειοκρατικές, συμβασιοκρατικές και θετικιστικές θεωρήσεις. Γιατί οι θεωρήσεις αυτές θ’ αποδέχονταν βεβαίως στο σύνολό τους το κριτήριο A, ορισμένες από αυτές και υπό όρους θ’ αποδέχονταν το κριτήριο B – προσάπτοντας στον όρο ‘ενιαία εικόνα’ τη δική τους αντίληψη περί ενοποίησης (§A-4.1) – αλλά θ’ απέρριπταν επίσης στο σύνολό τους το κριτήριο Γ. Είναι όμως προφανές ότι το κριτήριο Γ, καθώς εμπεριέχει ως εγγενείς προϋποθέσεις τα κριτήρια A και B, αποτυπώνει από μόνο του με επάρκεια τα τιθέμενα από τον Bohr αιτήματα ορθολογικότητας.

2^η συνιστώσα: Ορθολογική επιστημονική αναζήτηση – Η ορθολογικότητα του ‘μεθοδολογικού μέσου’.

Η κατά Bohr όμως έννοια της ‘ορθολογικότητας’, καθώς ήταν άρρηκτα συνδεδεμένη με τη γενικότερη φιλοσοφική του θεώρηση, εμπεριείχε ως αναπόσπαστο στοιχείο έναν βαθύ προβληματισμό σε σχέση με τους τρόπους κατάκτησης και οργάνωσης της επιστημονικής, αλλά και γενικότερα της ανθρώπινης γνώσης. Ο προβληματισμός δε αυτός αναδείκνυε την αναγκαιότητα χρήσης ενός μεθοδολογικού εργαλείου, του οποίου η μορφή όφειλε να *καθορίζεται* από το προσδοκώμενο αποτέλεσμα: η AAB

κρινόταν ως κατάλληλο μέσο για την προσέγγιση της κβαντικής θεωρίας, επειδή, εκ του τρόπου συγκρότησής της, ενέκλειε τη δυνατότητα καθοδήγησης της ερευνητικής διαδικασίας προς τον επιδιωκόμενο στόχο. Πράγματι, από τα αποσπάσματα που ήδη παραθέσαμε, μπορούμε ν' αντλήσουμε τις εξής κρίσεις: η AAB 'χάρασε μια σύνδεση μεταξύ της κίνησης των ατομικών συστημάτων, αφενός, και του φάσματος, αφετέρου, η οποία, παρότι ήταν *ουσιαστικά διαφορετική* από αυτήν που θα προέκυπτε από την κλασική ηλεκτρομαγνητική θεωρία, διατηρούσε *τέτοιες ιδιότητες*' (A4.4) και ήταν *'τέτοιας φύσεως, ώστε να επιτρέπει στην κβαντική θεωρία να θεωρηθεί ορθολογική γενίκευση της κλασικής ηλεκτρομαγνητικής θεωρίας'* (A4.5).

Θα λέγαμε, λοιπόν, ότι, κατά την αντίληψη του Bohr, η AAB λειτουργούσε ως μία 'ορθολογική επιστημολογική γέφυρα' μεταξύ της υφιστάμενης επιστημονικής γνώσης και της υπό αναζήτηση θεωρίας: η AAB εξέφραζε «την τάση να χρησιμοποιηθεί, κατά τη συστηματική εξέλιξη της κβαντικής θεωρίας, *κάθε ιδιότητα της κλασικής θεωρίας* μέσω μιας *ορθολογικής μεταγραφής* που ήταν κατάλληλη να εκφράσει τη *θεμελιακή αντίθεση* μεταξύ των κβαντικών αξιωμάτων και των κλασικών θεωριών» (Bohr, 1925a, *NBCW5*, σ. [276]). Τι σήμαινε όμως 'ορθολογική μεταγραφή'; Σήμαινε ότι η 'ορθολογικότητα' του μέσου επιστημολογικής πρόσβασης στη νέα θεωρία αναμενόταν να διασφαλίσει και την 'ορθολογικότητα' της ίδιας της θεωρίας στην οποία απέβλεπε η χρήση του. Οι χαρακτηριστικές δε ιδιότητες της AAB, εκείνες οι ιδιότητες που της προσέδιδαν τη δυνατότητα να διανοίγει το δρόμο προς μια 'ορθολογική' κβαντική θεωρία, ήταν οι ακόλουθες.

1. Η AAB, εκ του τρόπου συγκρότησής της, ανέθετε στην πειραματική διαδικασία τον διαρκή έλεγχο των βοηθητικών υποθέσεων της 'παλιάς' κβαντικής θεωρίας, ενώ, μέσω των επαγωγικών διαδικασιών που επίσης προέβλεπε, εμπλούτιζε παράλληλα το υπό διαμόρφωση κβαντικό σχήμα σύμφωνα με τις υποδείξεις των καινούργιων εμπειρικών ενδείξεων. Έτσι, καλλιεργούσε με συστηματικό τρόπο την κατάκτηση της επιδιωκόμενης *ακρίβειας*.

2. Η AAB διασφάλιζε τη μεθοδολογικώς έγκυρη εισαγωγή των τυπικών κλασικών εργαλείων (θεωρητικών όρων, αρχών, σχέσεων και τεχνικών) στο κβαντικό πλαίσιο. Κατ' αυτόν τον τρόπο, όχι μόνο τροφοδοτούσε την επιστημονική έρευνα με τους τυπικούς πόρους της υπάρχουσας γνώσης, αλλά έθετε, περαιτέρω, την απαιτούμενη βάση για την προσέγγιση του επιθυμητού ενιαίου και συνεκτικού ερμηνευτικού σχήματος των δυο θεωριών (A4.4). Με άλλα λόγια, η AAB ανέθετε εξ'

αρχής στην υπό αναζήτηση κβαντική θεωρία την υποχρέωση μιας *ενοποιημένης* και *συνεκτικής* φυσικής ερμηνείας όλων των φαινομένων που εντάσσονταν στο διευρυμένο, έναντι της κλασικής θεωρίας, πεδίο εφαρμογής της. Όπως επισήμαινε ο Bohr, η AAB, εκτός του ότι προσέφερε «τα εφόδια για τη φορμαλιστική δόμηση της κβαντικής θεωρίας», προσέφερε επίσης «την ελπίδα για μια μελλοντική *συνεκτική* θεωρία», η οποία, ενώ θα είχε τη δυνατότητα «ν’ αναπαράγει τις χαρακτηριστικές ιδιότητες της [ήδη υφιστάμενης] κβαντικής θεωρίας, ιδιότητες που, όπως υποδείκνυαν οι πειραματικές ενδείξεις, εξασφάλιζαν την επιτυχία της εφαρμογής», θα μπορούσε παράλληλα «να εκληφθεί ως ορθολογική γενίκευση της κλασικής ηλεκτροδυναμικής» (Bohr, 1923α, *NBCW3*, σ. [499]).

3. Η AAB, έχοντας δομηθεί υπό την υπόνοια ότι η κβαντική θεωρία ήταν δυνατό να ‘εγκαινιάζει μια τεράστια απόκλιση από τις συνηθισμένες ιδέες’ (A4.1), συνιστούσε ένα μεθοδολογικό εργαλείο που ‘δεν μείωνε σε καμία περίπτωση την αντίθεση μεταξύ της κβαντικής και κλασικής θεωρίας’ (A4.6). Έτσι, κατά την εφαρμογή της, άφηνε *ανοικτή* τη δυνατότητα *ριζικής διαφοροποίησης* των εννοιολογικών πλαισίων των δύο θεωριών: τα εισαγόμενα στο πλαίσιο της κβαντικής θεωρίας κλασικά εργαλεία διατηρούσαν μόνο την *τυπική* τους μορφή, αναμένοντας να προσλάβουν το φυσικό τους νόημα *μετά* τη θεμελίωση και συνεκτική ερμηνεία της κβαντικής θεωρίας. Όπως υπογράμμιζε ο Bohr, «η AAB δεν μπορεί να μας διδάξει με άμεσο τρόπο για τη φύση της ακτινοβολίας και την αιτία της σταθερότητας των στάσιμων καταστάσεων». Απλώς, «φωτίζει την εφαρμογή της κβαντικής θεωρίας με τέτοιο τρόπο, ώστε να είναι δυνατό να προβλέψει κανείς *μια εσωτερική συνεκτικότητα* της συγκεκριμένης θεωρίας παρόμοια με την *τυπική συνεκτικότητα* της κλασικής φυσικής» (Bohr, 1923α, *NBCW3*, σ. [482]).

4. Η AAB, ως μεθοδολογικό και *μόνο* εργαλείο, δεν παρείχε βεβαίως ‘μία λεπτομερή εικόνα, ούτε για τον μηχανισμό εκπομπής και απορρόφησης της ακτινοβολίας από τα άτομα, ούτε για τη διάδοση της ακτινοβολίας στον χώρο’ (A.4.4). Παρ’ όλα αυτά, καθώς επέτρεπε ‘τη συνεχή επέκταση των εφαρμογών της κβαντικής θεωρίας’, συνέβαλε με ουσιαστικό τρόπο στην προοδευτική κατανόηση της ‘φύσεως του αινίγματος’ (A3.1). Γιατί, καθώς έθετε σε διαρκή αντιπαράθεση και αμοιβαίο έλεγχο την κλασική και την κβαντική θεωρία στο κοινό πεδίο εφαρμογής τους, άφηνε το περιθώριο να διαφανούν *τα αίτια* της ερμηνευτικής ανεπάρκειας της πρώτης σε κάθε καινούργια επιτυχή εφαρμογή της δεύτερης. Μια τέτοια δε

διαδικασία, καθώς οδηγούσε σταδιακά στον προσδιορισμό των ερμηνευτικών ελλειμμάτων της κλασικής θεωρίας, προωθούσε με ουσιαστικό τρόπο την προσδοκώμενη *επεξηγηματική πρόοδο* της επιστημονικής γνώσης.

5. Η AAB έθετε δύο ενδεχομενικώς ασύμβατες θεωρίες σ' επικοινωνία και αμοιβαία αντιπαράθεση στο κοινό πεδίο εφαρμογής τους. Κατά τη χρήση λοιπόν της AAB ως αναλογίας, όφειλε να έχει κανείς 'κατά νου το περιορισμένο πεδίο χρήσης της', όφειλε δηλαδή να λαμβάνει 'υπ' όψιν του την έκταση εφαρμοσιμότητας' της κλασικής και της κβαντικής θεωρίας (A3.4). Η επιτυχής συνεπώς εφαρμογή της AAB προϋπέθετε την 'κατά το δυνατόν αυστηρότερη οριοθέτηση' των πλαισίων εφαρμογής της κλασικής και κβαντικής φυσικής (A4.2).

Εάν συγκρίνουμε τα παραπάνω σημεία με τον Πίνακα 1, διαπιστώνουμε ότι τα κριτήρια ορθολογικότητας που αφορούσαν την εφαρμοζόμενη μέσω της AAB μεθοδολογία ήταν διαμορφωμένα κατά τέτοιο τρόπο, ώστε ευνοούσαν, πράγματι, την προσέγγιση μιας 'ορθολογικής', σύμφωνα με τα κριτήρια του Bohr, κβαντικής θεωρίας. Τα συγκεκριμένα δε κριτήρια επέτρεπαν στον Bohr να προβαίνει, περαιτέρω, και σε μια συστηματική *κριτική αξιολόγηση* των προτεινόμενων, κατά την περίοδο γέννησης της κβαντικής φυσικής, θεωρητικών σχημάτων. Η κριτική, λόγου χάριν, στάση του έναντι της θεωρίας των κβάντων, σε αντίθεση με την άμεση θετική υποδοχή που επιφύλαξε στη στατιστική ερμηνεία της ακτινοβολίας του Einstein (§A-2.2), αποτελούν χαρακτηριστικά παραδείγματα κριτικής αποτίμησης της *προοπτικής* εναλλακτικών προς την AAB προσεγγίσεων.

4. Η 'Θεωρία των Κβάντων' και η 'Στατιστική Θεωρία της Ακτινοβολίας'

υπό το φως των κριτηρίων ορθολογικότητας του Bohr

Τα αποσπάσματα που ακολουθούν προσφέρουν ένα αντιπροσωπευτικό δείγμα των κριτικών σχολίων του Bohr έναντι της θεωρίας των κβάντων του Einstein.

(A4.7) «Παρότι [η θεωρία των κβάντων] στάθηκε αναμφίβολα ικανή να υπογραμμίσει ορισμένες ουσιαστικές ιδιότητες των νόμων που καθορίζουν την ανταλλαγή ενέργειας και ορμής στις σχετιζόμενες με την ακτινοβολία διαδικασίες, [η θεωρία αυτή] είναι δύσκολα συμβατή με μια απλή ερμηνεία των οπτικών φαινομένων, των οποίων, εν τούτοις, πολλές ουσιαστικές πλευρές έχουν ερμηνευθεί ικανοποιητικά από την κλασική ηλεκτρομαγνητική θεωρία» (Bohr, 1923β, *NBCW3*, σ. [571]).

(A4.8) «Παρά την αδιαμφισβήτητη ευρετική της αξία, η υπόθεση των κβάντων φωτός, όντας *τελείως ασυμφιλίωτη* με τα συνήθως αποκαλούμενα φαινόμενα συμβολής, *αδυνατεί να φωτίσει τη φύση της ακτινοβολίας*. Αρκεί να υπενθυμίσω ότι τα φαινόμενα συμβολής αποτελούν το μόνο μέσο που διαθέτουμε για να

διερευνήσουμε τις ιδιότητες της ακτινοβολίας και για να προσδώσουμε, κατ' επέκταση, *ένα σαφές νόημα* στη συχνότητα, η οποία, στη θεωρία του Einstein, καθορίζει την τιμή του κβάντου φωτός» (Bohr, 1921γ, *NBCW3*, σ. [413]).

(A4.9) «Μπορούμε να ισχυριστούμε ότι η εικόνα στην οποία θεμελιώνεται η υπόθεση των κβάντων αποκλείει *εκ λόγων αρχής* τη δυνατότητα ενός *ορθολογικού ορισμού* της συχνότητας ν , η οποία, παρ' όλα αυτά, κατέχει κεντρικό ρόλο στη συγκεκριμένη θεωρία. Η θεωρία συνεπώς των κβάντων δεν είναι ικανή να προσφέρει *μια* εικόνα, στην οποία να συμπεριλαμβάνεται *το σύνολο* των φαινομένων που λαμβάνονται υπ' όψιν κατά την εφαρμογή της κβαντικής θεωρίας» (Bohr, 1923α, *NBCW3*, σ. [492]).

Παρατηρούμε ότι ο Bohr, παρότι αναγνώριζε ως σημαντική την έως τότε ευρετική αξία της θεωρίας των κβάντων, αμφισβητούσε έντονα τη μελλοντική της ερευνητική δυναμική. Λαμβάνοντας λοιπόν υπόψη μας τα κριτήρια 'ορθολογικότητας' που, σύμφωνα με τη δική μας ανάγνωση, ο ίδιος έθετε, μπορούμε ν' ανασυγκροτήσουμε το σχετικό επιχείρημα με τον ακόλουθο τρόπο.

1. Η έννοια της συχνότητας, ως 'καθορίζουσα την τιμή του κβάντου φωτός', (A4.8), κατείχε 'κεντρικό ρόλο' στη θεωρία των κβάντων (A4.9).

2. Η έννοια όμως της συχνότητας προσλάμβανε το φυσικό της νόημα *αποκλειστικά* από τα 'φαινόμενα συμβολής' (A4.8), από τα φαινόμενα δηλαδή εκείνα που ερμηνεύονταν επιτυχώς μέσω της κλασικής ηλεκτρομαγνητικής θεωρίας. Καθώς δε η θεωρία των κβάντων αποδεικνυόταν 'με δυσκολία συμβατή' (A4.7) ή, ακόμη ισχυρότερα, 'τελείως ασυμφιλίωτη' (A4.8) με την ηλεκτρομαγνητική θεωρία, αδυνατούσε εκ των πραγμάτων να προσδώσει *η ίδια* 'ένα σαφές νόημα' στην έννοια της συχνότητας (A4.8).

3. Η θεωρία επίσης των κβάντων, όχι μόνο δεν δημιουργούσε τις προοπτικές μίας μελλοντικής της σύγκλισης προς την ηλεκτρομαγνητική θεωρία, αλλά, σε αντίθετη ακριβώς κατεύθυνση, απέκλειε 'εκ λόγων αρχής' μία τέτοια δυνατότητα (A4.9). Γιατί, όπως εξηγεί ο Bohr σε άλλο σημείο, η θεωρία των κβάντων παρουσίαζε μια εικόνα που «προσομοίαζε στη νευτώνεια εικόνα της φυσικής πραγματικότητας». Η νευτώνεια όμως μηχανική, «καθώς είχε διαμορφωθεί σε μια περίοδο που τα φαινόμενα συμβολής δεν ήταν ακόμη γνωστά, δεν είχε εκ λόγων αρχής τη δυνατότητα να προσφέρει το οποιοδήποτε είδος εξήγησης γι' αυτά» (Bohr, 1920α, *NBCW3*, σ. [234]). Κατ' ανάλογο τρόπο, και η θεωρία των κβάντων, όντας δομημένη κατά το πρότυπο της νευτώνειας σωματιδιακής θεωρίας του φωτός, δεν διέθετε επίσης τη δυνατότητα να προσφέρει μια συνεκτική φυσική ερμηνεία των φαινομένων

συμβολής, των οποίων, εν τούτοις, ‘πολλές ουσιαστικές πλευρές είχαν εξηγηθεί ικανοποιητικά από την κλασική ηλεκτρομαγνητική θεωρία’ (A4.7).

4. Η θεωρία συνεπώς των κβάντων απέκλειε εξ’ αρχής τη δυνατότητα ‘ενός ορθολογικού ορισμού της συχνότητας’ (A4.9), ενός ορισμού που θα συνταιριαζόταν αρμονικά με τη συνεκτική ερμηνεία του συνόλου των φαινομένων στα οποία η έννοια αυτή εμπλεκόταν. Έτσι, η θεωρία των κβάντων, καθώς απέτρεπε την προσμονή ‘μιας εικόνας στην οποία να συμπεριλαμβάνεται το σύνολο των φαινομένων που λαμβάνονταν υπ’ όψιν κατά την εφαρμογή της κβαντικής θεωρίας’ (A4.9), απάλειψε, τελικά, κάθε προοπτική προσέγγισης μιας νέας θεωρίας που θα μπορούσε να ειπωθεί ως ‘ορθολογική γενίκευση’ της κλασικής φυσικής.

Υπό το φως της προηγηθείσας ανάλυσης, οι ενστάσεις του Bohr γίνονται εύκολα κατανοητές. Γιατί μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι η θεωρία των κβάντων αδυνατούσε πράγματι ν’ ανταποκριθεί και στις δύο συνιστώσες της κατά Bohr έννοιας της ‘ορθολογικότητας’. Στην πρώτη, επειδή αποτύγχανε η ίδια να προσφέρει την ερμηνευτική εκείνη ενότητα, στην οποία ο Bohr προσέβλεπε. Στη δεύτερη, επειδή, λόγω της κλειστής λογικής της δομής, φαινόταν να στερείται κάθε δυνατότητα προοδευτικής μετεξέλιξης στο επιθυμητό ερμηνευτικό σχήμα.

Οφείλουμε βεβαίως να διευκρινίσουμε ότι ο Bohr δεν έθετε με κανένα τρόπο υπό αμφισβήτηση την πρόθεση του Einstein να προσφέρει μια κατά το δυνατόν ευρύτερη και ενοποιημένη ερμηνεία των φυσικών φαινομένων. Όπως πολύ συχνά τόνιζε, «ο Einstein [μέσω της σχετικότητας] κατόρθωσε ν’ ανατροφοδοτήσει και να γενικεύσει το οικοδόμημα της κλασικής φυσικής με τέτοιο τρόπο, ώστε η ενοποιημένη εικόνα του κόσμου που προέκυψε από τις θεωρίες του ξεπέρασε όλες τις προηγούμενες προσδοκίες» (Bohr, 1954, *APHK* II, σ. 70). Κατά την αντίληψη όμως του Bohr, η θεωρία των κβάντων αδυνατούσε να εκπληρώσει μια ανάλογη προσδοκία. Πέραν των λόγων που ήδη αναφέραμε, η πεποίθηση αυτή εδραζόταν και στο εξής:

(A4.10) «Ο ικανοποιητικός τρόπος με τον οποίο η υπόθεση αυτή αναπαράγει ορισμένες πλευρές των φυσικών φαινομένων φαίνεται να υποστηρίζει περισσότερο την ακόλουθη άποψη: σε αντίθεση με την κλασική περιγραφή των φαινομένων, η οποία αναφέρεται πάντοτε στα στατιστικά μόνο αποτελέσματα πολύ μεγάλου αριθμού ατομικών διαδικασιών, μια χωρο-χρονική περιγραφή των [μεμονωμένων] ατομικών διαδικασιών δεν είναι δυνατό να διεξαχθεί με τρόπο που ν’ αποφεύγει τις αντιφάσεις που δημιουργούνται, όταν χρησιμοποιούνται έννοιες δανεισμένες από την κλασική ηλεκτροδυναμική» (Bohr, 1923α, *NBCW3*, σ. [492]).

Ο Bohr επισημαίνει εδώ ότι οι διεξαγόμενες μέσω της κλασικής θεωρίας χωρο-χρονικές περιγραφές φαινόταν να είναι συνδεδεμένες με τα ‘στατιστικά μόνο

αποτελέσματα μεγάλου αριθμού ατομικών διαδικασιών'. Έτσι, κατά τη μετάβαση από την περιγραφή των μεμονωμένων ατομικών συμβάντων – η οποία επιτυγχανόταν από την υπόθεση των κβάντων – στη στατιστική περιγραφή των ατομικών συμβάντων – η οποία επιτυγχανόταν από την κλασική θεωρία – επερχόταν μια ουσιαστική ποιοτική μεταβολή στον τρόπο περιγραφής. Εάν επομένως παρέβλεπε κανείς μια τέτοια μεταβολή και επέμενε να χρησιμοποιεί, για την περιγραφή των μεμονωμένων ατομικών διαδικασιών, έννοιες 'δανεισμένες' από την κλασική ηλεκτροδυναμική, ήταν εύλογο να υποπίπτει σε αντιφάσεις. Ως μια τέτοιου είδους αντίφαση όφειλε να εκληφθεί και το γεγονός ότι, ενώ η θεωρία των κβάντων εμπεριείχε ως προκείμενη την υπόθεση ότι «ακόμη και στον κενό χώρο, οι διαδικασίες της ακτινοβολίας δεν μπορούσαν να περιγραφούν μέσω κλασικών εννοιών» (Bohr, 1923α, *NBCW3*, σ. [491]), χρησιμοποιούσε την ορισμένη βάσει της κλασικής ηλεκτρομαγνητικής θεωρίας έννοια της συχνότητας ως δομικό της στοιχείο. Η ευρετική βεβαίως αξία της θεωρίας των κβάντων παρέμενε σημαντική, εφόσον, πέραν των άλλων, η θεωρία αυτή συνέβαλε με καθοριστικό τρόπο στην αποκάλυψη των προαναφερθέντων αντιφάσεων (A4.10). Έτσι, κατέστη πλέον φανερό ότι το θεωρητικό σχήμα της υπό αναζήτηση κβαντικής θεωρίας όφειλε:

(A4.11) «Να καταδεικνύει ότι οι νόμοι της κλασικής φυσικής αποτελούν *οριακές του περιπτώσεις*, κάθε φορά που αντιμετωπίζουμε φαινόμενα που εμπεριέχουν πολύ μεγάλο αριθμό ατόμων» (Bohr, 1923β, *NBCW3*, σ. [572]).

Η συγκεκριμένη συνθήκη πρότεινε κατ' ουσία μια *αναγωγική* συσχέτιση της κλασικής και της κβαντικής θεωρίας. Καθώς όμως η συσχέτιση αυτή υπογράμμιζε τον διαφορετικό ποιοτικό χαρακτήρα των κλασικών και κβαντικών περιγραφών (όταν οι πρώτες χρησιμοποιούνται εντός του κβαντικού πλαισίου), η δυνατότητα ένταξης των δύο θεωριών σ' ένα ενιαίο λογικό σχήμα φαινόταν, τουλάχιστον, αμφίβολη.³²

Η παρατήρηση αυτή μας οδηγεί με φυσικό τρόπο στη στάση του Bohr έναντι της στατιστικής ερμηνείας της ακτινοβολίας του Einstein. Γιατί, μπορούμε να θυμηθούμε ότι ήταν η συγκεκριμένη ερμηνεία εκείνη που κυρίως εδραίωσε τις εκφραζόμενες στα ανωτέρω αποσπάσματα πεποιθήσεις του. Πράγματι, ο Bohr διέκρινε αμέσως ότι η

³² Μία τέτοια μορφή αναγωγής μίας θεωρίας T_1 (της κλασικής θεωρίας) σε μία θεωρία T_2 (στην κβαντική θεωρία) μπορεί να οριστεί με αυστηρό τρόπο ως εξής: 'Στο πλαίσιο ενός συνόλου ειδικών παραδοχών C της T_2 , η εκτέλεση συντακτικών χειρισμών O στην T_2 παράγει μία θεωρία T_1^* ανάλογη της T_1 και η T_2 παρουσιάζει τις συνθήκες κάτω από τις οποίες η T_1^* θα ήταν αληθής, αντιδιαστέλλοντας αυτές τις συνθήκες με αυτές που πραγματικά ισχύουν' (ο ορισμός από τον Α. Αραγεώργη, Λέκτορα του ΕΜΠ, μέλους της συμβουλευτικής επιτροπής της παρούσας διατριβής).

στατιστική θεωρία του Einstein, καθώς εισήγαγε την έννοια της πιθανότητας, όχι ως ένδειξη ελλιπούς γνώσης κατά το κλασικό πρότυπο, αλλά ως έκφραση της *ενδεχομενικής* εμφάνισης των μεμονωμένων υποατομικών συμβάντων, μπορούσε να λειτουργήσει, στο πλαίσιο της AAB, ως έγκυρος φορέας εισαγωγής των τυπικών νόμων της κλασικής στατιστικής στο κβαντικό πλαίσιο (§A-2.2). Γιατί, στο όριο των μεγάλων κβαντικών αριθμών, μπορούσε να παραβλέπει με αξιόπιστο πλέον τρόπο κανείς την κβαντική ασυνέχεια και να μελετά το κλασικό φαινόμενο ως στατιστικό αποτέλεσμα ενός πολύ μεγάλου αριθμού μεμονωμένων ατομικών διαδικασιών (π.χ. ‘αιφνίδιων’ κβαντικών αλμάτων). Έτσι, ο Bohr δεν δίστασε να προσαρμόσει τη στατιστική ερμηνεία της ακτινοβολίας στην ατομική θεωρία, επισημαίνοντας τα εξής.

(A4.12) «Στην εργασία [του Einstein] η προσοχή εστιάζεται αρχικά στις διαδικασίες εκπομπής και απορρόφησης και γίνεται προσπάθεια να εξαχθούν ορισμένα γενικά συμπεράσματα μέσω της σύγκρισης των παραδοχών της κβαντικής θεωρίας με τις αντιλήψεις της κλασικής ηλεκτροδυναμικής, στο βαθμό που τα προκύπτοντα από τους εμπλεκόμενους νόμους πορίσματα έχουν υποστηριχτεί με ουσιαστικό τρόπο, από την εμπειρία» (Bohr, 1921β, σ. [351]).

Η εναρμόνιση της στατιστικής ερμηνείας της ακτινοβολίας με τις ‘ορθολογικές’ προδιαγραφές της AAB είναι εμφανής: η πρώτη, ανταποκρινόμενη στις τιθέμενες μέσω της δεύτερης μεθοδολογικές προϋποθέσεις, ‘συνέκρινε τις παραδοχές της κβαντικής θεωρίας με τις αντιλήψεις της κλασικής ηλεκτροδυναμικής’, θέτοντας ως διάλογο επικοινωνίας τα εμπειρικά αποτελέσματα. Υπό το πρίσμα λοιπόν της δικής μας ανάγνωσης, η ένταξη της πρώτης στο διαμορφούμενο από τη δεύτερη μεθοδολογικό πλαίσιο (§A-2.3) είναι απόλυτα κατανοητή.

Από την άλλη πλευρά, ο Einstein δεν δίστασε να υποβαθμίσει τη σημασία της εργασίας του τονίζοντας τον ‘προκαταρτικό’ και ‘προσωρινό’ της χαρακτήρα, έναν χαρακτήρα που αντικατόπτριζε ‘την παρούσα τότε κατάσταση της φυσικής θεωρίας’ (§A-2.2). Η συγκεκριμένη στάση μπορεί βεβαίως να εκληφθεί ως φυσική απόρροια των γενικότερων αντιλήψεων ενός επιστήμονα, ο οποίος πίστευε ότι «η μέγιστη προσπάθεια ενός φυσικού αποσκοπεί στη διατύπωση εκείνων των παγκόσμιων πρωταρχικών νόμων, από τους οποίους είναι δυνατό ‘να δομηθεί’ ο κόσμος μέσω καθαρής παραγωγής» (Einstein, 1918, από MacKinnon, 1994, σ. 292). Γιατί μια τέτοια αντίληψη ήταν φυσικό να εκλαμβάνει ως ‘προσωρινή’ μια θεωρία που παραβίαζε ευθέως την αυστηρή κλασική αιτιότητα (εκπομπή ακτινοβολίας χωρίς την επίδραση εξωτερικού αιτίου) και έθετε, ως εκ τούτου, ισχυρά προσχώματα στην ένταξη της κλασικής και της κβαντικής θεωρίας σ’ ένα ενιαίο λογικό – παραγωγικό σχήμα. Ο Klein αποδίδει με διεισδυτικό πράγματι τρόπο τη σαφή διάσταση των

επιστημολογικών αντιλήψεων των Bohr και Einstein, όταν περιγράφει την ερευνητική τους στάση με τον ακόλουθο τρόπο: «Ο Bohr τόνιζε πάντοτε την αναγκαιότητα διερεύνησης της *βαθιάς αβύσσου* με τον κλασικό τρόπο αντίληψης των πραγμάτων ... ενώ ο Einstein, αντίθετα, προσπαθούσε πάντοτε να επιτύχει με κάποιο τρόπο *τη συνεχή εξέλιξη των κλασικών ιδεών*» (Klein, *AHQP*, 1963, σ. 3).

Οι διαφορετικές κοσμοθεωρήσεις των Bohr και Einstein θα μας απασχολήσουν εκτενέστερα στη συνέχεια (§A-5.2.3). Προς το παρόν, αρκούμαστε να σημειώσουμε ότι, όταν αποδώσαμε στα κατά Bohr αιτήματα ‘ορθολογικότητας’ τον χαρακτηρισμό ‘κριτήρια’, συσκοτίσαμε ως ένα βαθμό τον πραγματικό τους χαρακτήρα. Γιατί τα συγκεκριμένα αιτήματα, παρότι συμβατά με τα γενικώς αποδεκτά επιστημονικά ‘κριτήρια’ της ακρίβειας, συνεκτικότητας, προβλεπτικότητας, και ενοποίησης της επιστημονικής γνώσης, όταν μπολιάστηκαν με τα ιδιαίτερα προσωπικά χαρακτηριστικά του Bohr, μετασχηματίστηκαν πάραυτα σε κατά Kuhn επιστημονικές ‘αξίες’ (§A-4.1). Πράγματι, η ουσιαστική διαφοροποίηση των αξιολογικών αποτιμήσεων των Bohr και Einstein σε σχέση με τις προοπτικές των προαναφερθέντων θεωρητικών σχημάτων, καθώς δεν καταγράφει κάποια ορατή απόκλιση από τα παγίως αποδεκτά επιστημονικά κριτήρια, μας ωθεί να υποστηρίξουμε, μαζί με τον Kuhn, τον ακόλουθο ισχυρισμό: «είναι πράγματι δυνατό να εξηγήσει κανείς ... το γιατί κάποιοι συγκεκριμένοι επιστήμονες έκαναν συγκεκριμένες επιλογές σε συγκεκριμένες ιστορικές περιόδους. Αλλά για να καταστεί αυτό δυνατό, οφείλει κανείς να *υπερβεί* τον κατάλογο των εν γένει αποδεκτών, από την επιστημονική κοινότητα, κριτηρίων και να *συνεξετάσει τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των ατόμων που έκαναν την επιλογή. Γιατί κάθε ατομική επιλογή ... εξαρτάται από ένα μίγμα αντικειμενικών και υποκειμενικών παραγόντων ...*» (Kuhn, 1973, σ. 324).

Οφείλουμε δε να παρατηρήσουμε ότι συμβολή των προσωπικών ‘αξιών’ στην προώθηση της επιστημονικής εξέλιξης αποδεικνύεται εξαιρετικά σημαντική. Στην περίπτωση του Einstein, η επιμονή του ως προς την ανεύρεση ‘παγκόσμιων πρωταρχικών νόμων από τους οποίους, μέσω λογικής παραγωγής, θα ήταν δυνατό να συγκροτηθεί ο κόσμος’, οδήγησε στη θεμελίωση της σχετικότητας. Στην περίπτωση δε του Bohr, οι προσωπικές του ‘αξίες’ ήταν εκείνες που συνέβαλαν, κατά κρίσιμο θα λέγαμε τρόπο, στην κατανόηση της βαθύτερης φύσης της κβαντικής θεωρίας. Η σταθερή του λόγου χάριν πεποίθηση περί του αναπόδραστου της επιστημολογικής συνέχειας της επιστημονικής γνώσης, μια πεποίθηση που τον ωθούσε, υπό το καθεστώς βεβαίως της υφιστάμενης τότε κατάστασης, να βασίζεται ‘κάθε περιγραφή

των διαδικασιών της φύσης σε ιδέες που εισήχθησαν και ορίστηκαν από την κλασική θεωρία' (A4.1), μπορεί να ειπωθεί ως η κατ' εξοχήν κινητήρια δύναμη προς την ιδέα της συμπληρωματικότητας. Γιατί η πεποίθηση αυτή παρήγαγε μια μεθοδολογική γραμμή που μπόρεσε να οδηγήσει σταδιακά στην αναγνώριση της αναγκαιότητας πλέον διατήρησης της 'κλασικότητας' εντός του κβαντικού πλαισίου (§B-2).

Οφείλουμε τέλος να σημειώσουμε ότι η προηγηθείσα ανάλυση θέτει υπό άμεση επερώτηση τη φιλοσοφική εκείνη θέση που διατείνεται ότι η χάραξη μίας αυστηρής διαχωριστικής γραμμής μεταξύ 'πλαισίου ανακάλυψης' και 'πλαισίου δικαιολόγησης' είναι, όχι μόνο αναγκαία, αλλά και εφικτή. Ο συγκεκριμένος ισχυρισμός προκύπτει από την ταύτιση της 'ορθολογικότητας', είτε με τη χρήση αυστηρών λογικών συναγωγών ή κριτηρίων (§A-4.1), είτε με την εφαρμογή διαχρονικών και υπερ-θεωρητικών μεθοδολογικών κανόνων, διαδικασίες που θεωρούνται εφαρμόσιμες μόνο σε αποκομμένα από κάθε ιστορική, προσωπική ή θεωρητική ιδιαιτερότητα 'πλαίσια δικαιολόγησης' (π.χ. Popper, 1959/ 1991, σσ. 100-101).

Μία τέτοια όμως σύλληψη της 'ορθολογικότητας', μία σύλληψη που εξομοιώνει επί της ουσίας τη δημιουργική πρωτοτυπία με τον 'ανορθολογισμό', αποδεικνύεται πράγματι αταίριαστη με την ιστορική εξέλιξη της επιστημονικής γνώσης. Στην περίπτωση, λόγου χάριν, της κβαντικής θεωρίας, το οριζόμενο από την AAB μεθοδολογικό πλαίσιο μπορεί εύλογα να ειπωθεί ως 'πλαίσιο ανακάλυψης', εφόσον, μέσω αυτού, η φυσική επιστήμη οδηγήθηκε αργά αλλά σταθερά στην 'ανακάλυψη' της κβαντικής θεωρίας. Εν τούτοις, το πλαίσιο αυτό, παρότι αδιαχώριστο, τόσο από τις προσωπικές επιστημολογικές αντιλήψεις του Bohr, όσο και από τις ιδιαιτερότητες της υπό αναζήτηση κβαντικής θεωρίας – οπότε οι προϋποθέσεις της διαχρονικότητας και της υπερ-θεωρητικής ισχύος απουσίαζαν προφανώς από αυτό – διεπόταν από αυστηρά κριτήρια 'ορθολογικότητας', τα οποία στήριζαν με τη σειρά τους ισχυρώς τεκμηριωμένα επιχειρήματα 'δικαιολόγησης'. Μπορούμε λοιπόν να διακρίνουμε ότι, στην περίπτωση τουλάχιστον της κβαντικής θεωρίας, ένα αυστηρώς οροθετημένο 'πλαίσιο δικαιολόγησης' αποτελούσε εγγενές και αναπόσπαστο τμήμα του 'πλαισίου ανακάλυψης' της. Κάθε όμως συζήτηση περί επιστημονικής 'ορθολογικότητας' παραμένει οπωσδήποτε ανολοκλήρωτη, εάν δεν συνοδεύεται από μία ενδεδεγμένη εξέταση των κρίσιμων ζητημάτων που αφορούν τη χρήση της επιστημονικής 'γλώσσας'. Η παρατήρηση αυτή μας οδηγεί με φυσικό τρόπο στο επόμενο κεφάλαιο της εργασίας μας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΕΜΠΤΟ

Η ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΓΛΩΣΣΑΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΗΣ ΑΡΧΗΣ ΤΗΣ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΙΑΣ

Ο Bohr, ακολουθώντας τη διαισθητική του αντίληψη περί μιας ενδεχόμενης ‘ριζικής ρήξης’ της κβαντικής θεωρίας με τις κλασικές ιδέες (π.χ. A4.1, A4.4, A4.6), ανέπτυξε μια μεθοδολογική γραμμή που λάμβανε σοβαρά υπόψη της ό,τι αποκλήθηκε αργότερα ‘εννοιολογική ασυμμετρία’ μεταξύ διαδοχικών θεωριών (Kuhn, 1962, Feyerabend, 1975). Πράγματι, όπως θα διαπιστώσουμε στη συνέχεια, το μεθοδολογικό σχήμα της AAB δεν έθετε καθιονδήποτε άμεσο ή έμμεσο τρόπο το αίτημα ενός ‘κοινού μέτρου’ των εννοιών της κλασικής και κβαντικής θεωρίας, ενός μέτρου που θα διασφάλιζε την *εννοιολογική συνέχεια* των δυο θεωριών.

Ένα τέτοιο ‘κοινό μέτρο’ θα μπορούσε να είναι είτε *το κοινό νόημα* των εννοιών είτε *η κοινή αναφορά* τους. Στην πρώτη περίπτωση, το κοινό νόημα των εννοιών αναζητείται, εν γένει, είτε σε μια κοινή, ‘ουδέτερη’ παρατηρησιακή γλώσσα (κατά το πρότυπο π.χ. του λογικού θετικισμού), είτε στις γενικές αρχές ενός νέου λογικού – παραγωγικού γλωσσικού σχήματος, το οποίο ενσωματώνει τις παλαιότερες επιτυχείς θεωρίες (η τουλάχιστον τμήματα αυτών) ενώ επεκτείνει, παράλληλα, το πεδίο εφαρμογής της επιστημονικής γνώσης (κατά το πρότυπο π.χ. των Hempel, 1966 και Popper, 1959). Στη δεύτερη περίπτωση, η κοινή οντολογική αναφορά των εννοιών διασφαλίζει την εννοιολογική συνέχεια της επιστημονικής γνώσης σύμφωνα με τον επιδιωκόμενο από τις ρεαλιστικές θεωρήσεις τρόπο.³³ Σε κάθε περίπτωση, το αίτημα του ‘κοινού μέτρου’ απορρέει από την επιδίωξη προσδιορισμού *καθολικών* κριτηρίων για την αξιολόγηση της *προόδου* της επιστημονικής γνώσης. Η ‘καθολικότητα’ δε των κριτηρίων, νοούμενη ως διαχρονικότητα, διυποκειμενικότητα και υπέρ-θεωρητική ισχύς, κρίνεται αναγκαία, επειδή θεωρείται αποτελεσματική δικλίδα ασφαλείας έναντι του υποκειμενισμού, του σχετικισμού και της ανορθολογικότητας στο πεδίο της επιστήμης. Στο παρόν λοιπόν κεφάλαιο θα εξετάσουμε τον τρόπο χρήσης της γλώσσας στο πλαίσιο της AAB σε αντιπαραβολή με την προτεινόμενη από τις προαναφερθείσες θεωρήσεις γλωσσική χρήση.

³³ Αναφερόμαστε εδώ σ’ εκείνες τις θεωρήσεις που εντάσσονται στο ρεύμα του παραδοσιακού επιστημονικού ρεαλισμού (§A-5.2.3).

1. Κοινό νόημα των εννοιών

βάσει μιας κοινής, ‘ουδέτερης’ παρατηρησιακής γλώσσας

1.1. Η χρήση της γλώσσας εντός του θετικιστικού πλαισίου

Οι θετικιστικές θεωρήσεις, παρά τις σημαντικές μεταξύ τους διαφοροποιήσεις, αναγνωρίζουν ως κύρια πηγή νοήματος *τα εμπειρικά γεγονότα* και ως θεμελιακή μονάδα νοήματος των επιστημονικών θεωριών τις παρατηρησιακές τους προτάσεις (π.χ. τις ‘ατομικές προτάσεις’ του Russell [1912] ή τις ‘προτάσεις-πρωτόκολλα’ των Carnap και Neurath [1928]), εκείνες δηλαδή τις προτάσεις που περιγράφουν τις επιβεβαιωμένες ή προσδοκώμενες εμπειρικές τους συνέπειες. Υπ’ αυτήν δε ακριβώς την προοπτική, οι θετικιστικές θεωρήσεις αναλαμβάνουν το εγχείρημα, είτε της *λογικής κατασκευής* του οικοδομήματος της εμπειρίας μέσω επαγωγικών κατά βάση διαδικασιών (σύμφωνα με το σχήμα 1 της §Α-4.1), είτε της *αποδεικτικής λογικής συναγωγής* των παρατηρησιακών προτάσεων από τις αξιωματικές υποθέσεις μίας προτεινόμενης θεωρίας (σύμφωνα με το σχήμα 2 της ίδιας ενότητας).

Απώτερος στόχος των εγχειρημάτων αυτών είναι η *έμμεση* απόδοση νοήματος στο θεωρητικό (μη-εμπειρικό) περιεχόμενο των επιστημονικών θεωριών μέσω της λογικής του διασύνδεσης, είτε με μια γνήσια παρατηρησιακή γλώσσα, είτε με το γλωσσικό ιδίωμα μιας παλαιότερης θεωρίας που έχει ήδη συνδεθεί επιτυχώς με την εμπειρία. Κατά φυσικό λοιπόν τρόπο, οι θετικιστικές θεωρήσεις επιχειρούν να δείξουν **α)** είτε ότι οι θεωρητικοί όροι είναι αναγώγιμοι στην γλώσσα της εμπειρίας (π.χ. μέσω συντακτικών κανόνων αντιστοιχίας με τις ‘παρατηρησιακές διαδικασίες’ ή τις ‘πειραματικές έννοιες’, Nagel, 1961, σ. 95), **β)** είτε ότι οι θεωρητικοί όροι δύνανται να οριστούν με ακρίβεια βάσει των άμεσων εμπειρικών δεδομένων (Russell, 1912) ή βάσει των όρων μιας προηγούμενης επιστημονικής γλώσσας που έχει ήδη ‘συνδεθεί’ με την παρατήρηση (Carnap, 1956β), **γ)** είτε ότι οι θεωρητικοί όροι είναι εξαλείψιμοι από τις επιστημονικές θεωρίες (κατά το πρότυπο του Mach), **δ)** είτε, στην πιο αδύναμη περίπτωση, ότι είναι δυνατός ο ορισμός κάποιων λογικών κανόνων αξιολόγησης (κατά το πρότυπο π.χ. των ‘αιτημάτων νοήματος’ του Carnap, 1934) ικανών να καθορίσουν με ακρίβεια ποια παρατηρήσιμη περίσταση μπορεί να καταμετρηθεί ως εξειδικευμένη έκφανση των θεωρητικών όρων.

Η υιοθετούμενη, εντός του θετικιστικού πλαισίου, σαφής διάκριση μεταξύ παρατηρησιακών και θεωρητικών όρων, καθώς και η απερίφραστη αναγνώριση της επιστημικής υπεροχής των πρώτων έναντι των δεύτερων, υποκινούνται από μία και μόνο επιδίωξη: την κάθαρση της επιστημονικής γνώσης από το οποιοδήποτε

μεταφυσικό στοιχείο. Όπως, ισχυρίζεται, λόγου χάριν, ο Nagel, οι γνήσιες παρατηρησιακές γλώσσες, ως εκ της ιδιότητάς τους να καταγράφουν την ομοιόμορφα κατανοήσιμη κοινή ανθρώπινη εμπειρία, «διαθέτουν μια δική τους ζωή, *ανεξάρτητη* από τη θεωρία που τις εμπεριέχει» (Nagel, 1961, σ. 87). Αυτό σημαίνει ότι οι γνήσιες παρατηρησιακές γλώσσες διαθέτουν μία ‘ουδέτερη’, υπέρ-θεωρητική διάσταση που τους προσδίδει την ικανότητα της αντικειμενικής νοηματοδότησης, την ικανότητα δηλαδή ν’ αποφέρουν μία διαχρονικώς και διυποκειμενικώς ενιαία κατανόηση του περιεχομένου των επιστημονικών θεωριών (“they [the theories] are commonly understood”, Carnap, 1956β, σ. 40). Η θεωρητική συνεπώς ‘ουδετερότητα’ των παρατηρησιακών γλωσσών, πέραν του ότι αποτρέπει την εισδοχή της υποκειμενικότητας στο περιεχόμενο της επιστημονικής γνώσης, διασφαλίζει τη *συνέχεια του νοήματος* παρά την όποια θεωρητική αλλαγή, αίρει την ασυμμετρία των διαδοχικών θεωριών και προωθεί την αντίληψη μιας *σωρευτικής* εξέλιξης της επιστημονικής γνώσης, μίας εξέλιξης που εναρμονίζεται απόλυτα με το θετικιστικό πρότυπο ‘ορθολογικότητας’ (§Α-4.1). Όπως παρατηρεί σχετικά ο Feyerabend, «οι θιασώτες του θετικισμού ισχυρίζονται ότι υφίστανται σταθερά γεγονότα της εμπειρίας και κλασικές καταστάσεις των πραγμάτων που δεν μεταβάλλονται ούτε μετά την πλέον επαναστατική ανακάλυψη» (Feyerabend, 1981, σ. 72).

Για τις ανάγκες της εργασίας μας, οφείλουμε επίσης να σημειώσουμε ότι κατά συνεπή προς τις πεποιθήσεις τους τρόπο, οι θετικιστικές θεωρήσεις εκλαμβάνουν τις θεωρητικές δομές των επιστημονικών θεωριών ως ‘συμβολικές’ γλωσσικές κατασκευές, η επιστημική φερεγγυότητα των οποίων κρίνεται *αποκλειστικά* δια της αποτίμησης της εμπειρικής τους επάρκειας και της αυστηρότητας της γλωσσικής τους διατύπωσης. Υπ’ αυτό δε το πρίσμα, η λογική ανάλυση της γλώσσας αναγορεύεται σε πρώτιστο μέλημα της επιστημονικής πρακτικής. Αντίθετα, το ερώτημα περί της ‘πραγματικής’ φύσης αυτού που αναπαρίσταται τοποθετείται με αυστηρότητα στον χώρο των μεταφυσικών αναζητήσεων. Ο Carnap, λόγου χάριν, ακόμη και όταν αναγνωρίζει στο όψιμο πλέον έργο του ότι «η εφαρμογή σημασιολογικών μεθόδων που εμπεριέχουν αφηρημένες έννοιες προωθεί σε σημαντικό βαθμό την επιστημονική εξέλιξη», επισημαίνει, παράλληλα, ότι «η αποδοχή ή η απόρριψη αφηρημένων γλωσσικών μορφών μπορεί τελικά να κριθεί μόνο από την επάρκεια που αυτές θα επιδείξουν ως *εργαλεία* κατά τη χρήση τους» (Carnap, 1956α, σ. 95). Κατά την αντίληψη συνεπώς του Carnap, «είναι λάθος να ερμηνεύουμε την επάρκεια μιας θεωρητικής γλώσσας, όταν αυτή ‘δουλεύει’ επαρκώς για τους σκοπούς μας, ως

επιβεβαιωτική ένδειξη για την ‘αλήθεια’ του περιγραφόμενου, μέσω αυτής, κόσμου. Μια τέτοιου είδους επάρκεια οφείλει να εκλαμβάνεται ως συμβουλευτική και μόνο ένδειξη για την αποδοχή της συγκεκριμένης γλώσσας» (στο ίδιο, σ. 87).

Καταλήγοντας, οφείλουμε να επισημάνουμε ότι οι αντιλήψεις του πρώιμου θετικισμού περί γλώσσας, καθώς αξιώνουν την προσκόλληση της επιστήμης στα ‘γεγονότα’, θέτουν το εγχείρημα της ‘εξήγησης’ εκτός του επιστημονικού πεδίου. Η επιστημονική γλώσσα οφείλει ν’ απαντά σε ερωτήσεις περί του ‘τι’ αλλά όχι περί του ‘γιατί’ των πραγμάτων. Η επιστημονική γλώσσα οφείλει να περιγράφει τα φυσικά φαινόμενα και να προβλέπει τα μελλοντικά συμβάντα, αλλά όχι να κατανοεί και να ερμηνεύει τη ‘φύση’ αυτού που αναπαρίσταται. Η απάντηση στο ερώτημα περί του ‘γιατί’ των πραγμάτων, καθώς προϋποθέτει την ανίχνευση των αιτιακών μηχανισμών της φύσης, εμπίπτει στο χώρο της θεολογίας ή της μεταφυσικής. Ό,τι είναι εφικτό για την επιστήμη είναι μόνο η πιστοποίηση φυσικών κανονικότητων. Η απόπειρα ‘επαλήθευσης’ φυσικών αιτιακών δεσμών, μια επαλήθευση που θα διαλεύκανε το ‘γιατί’ συμβαίνουν τα παρατηρούμενα γεγονότα, συνιστά στο πλαίσιο του θετικισμού ένα ανώφελο εγχείρημα. Όπως διατείνεται, λόγου χάριν, ο Carnap, εκφέροντας το πνεύμα της Χιουμιανής παράδοσης, το ν’ αποδίδει κανείς στην έννοια της αιτιότητας κάτι παραπάνω από το στοιχείο του φορμαλιστικού (γλωσσικού) συσχετισμού των εμπειρικών γεγονότων αποτελεί μια κατ’ εξοχήν ‘εσφαλμένη παραδοχή’ (‘erroneous assumption’): η επιστημονική γλώσσα επιλύει μόνο το ‘πρόβλημα του συσχετισμού’ (‘correlation problem’) εμπειρικός επαληθεύσιμων φυσικών κανονικότητων. Το ‘ουσιοκρατικό πρόβλημα’ (the ‘essence problem’), η αναζήτηση, δηλαδή, της πραγματικής φύσης των φαινομένων, εμπίπτει καθ’ ολοκληρίαν στο πεδίο της μεταφυσικής (Carnap, 1928, σσ. 35, 36).

1.2. Η Αρχή της Αντιστοιχίας έναντι των θετικιστικών αντιλήψεων για τη χρήση της γλώσσας

Επιστρέφοντας στη θεώρηση του Bohr, οφείλουμε να επισημάνουμε ότι η αποσπασματική ανάλυση ορισμένων ισχυρισμών του οδήγησε κατά καιρούς σε αναλύσεις που αποδίδουν τις απόψεις του σε μια θετικιστική ή εργαλειοκρατική, ως προς τον τρόπο χρήσης της γλώσσας, αντίληψη (π.χ. ‘αμιγής θετικισμός’, Bunge, 1955, ‘θετικισμός υψηλότερου βαθμού’, Feyerabend, 1958, ‘εργαλειοκρατισμός’, Popper, 1963). Οι συγκεκριμένες ερμηνείες στηρίζονται εν γένει σε αποσπάσματα κειμένων, τα οποία όταν γράφτηκαν αποσκοπούσαν στην αποσαφήνιση μιας σειράς

ζητημάτων υπό το φως της *ήδη* διατυπωμένης, μέσω της έννοιας της συμπληρωματικότητας, φυσικής ερμηνείας της κβαντικής θεωρίας. Τα κείμενα αυτά καταδεικνύουν, σύμφωνα με την αναπτυσσόμενη από τις αναλύσεις αυτές επιχειρηματολογία, την άρνηση του Bohr να δεχθεί την απόδοση νοήματος σε γλωσσικούς όρους που αναφέρονται σε ‘εγγενή’ γνωρίσματα των φυσικών αντικειμένων, σε γλωσσικούς όρους που υπερβαίνουν ‘τα φαινόμενα’ της ανθρώπινης εμπειρίας, σε γλωσσικούς όρους, τελικά, που περιγράφουν τη φυσική πραγματικότητα όπως αυτή ‘πραγματικά είναι’. Μια τέτοια στάση, της οποίας τελική έκφραση αποτελεί, σύμφωνα με τις εν λόγω αναλύσεις, η εμμονή του Bohr στην αναγκαιότητα διατήρησης των κλασικών παρατηρησιακών εννοιών στο κβαντικό πλαίσιο, εκλαμβάνεται ως αδιάψευστο κριτήριο συνάφειας της επιστημολογικής και φιλοσοφικής του θεώρησης με τις θετικιστικές αντιλήψεις.

Οι απόψεις του Bohr περί παρατήρησης και γλώσσας, όπως αυτές αποκρυσταλλώθηκαν μετά την ερμηνεία της κβαντικής θεωρίας, θ’ αποτελέσουν αντικείμενο εκτενούς μελέτης στο δεύτερο μέρος της εργασίας μας. Προς το παρόν, αρκεί να σημειώσουμε ότι οι απόψεις αυτές αποτέλεσαν *το καταληκτικό* σημείο μιας επίπονης αναζήτησης που αποσκοπούσε στην εξεύρεση των κατάλληλων τρόπων χρήσης της γλώσσας κατά την περίοδο εφαρμογής της AAB. Αυτό δε που θα προσπαθήσουμε τώρα να δείξουμε είναι ότι, κατά τη διάρκεια της συγκεκριμένης περιόδου, ο όλος προβληματισμός του Bohr για την ‘ορθή’ χρήση της γλώσσας αφίσταται δραστικά από τις θετικιστικές θέσεις. Γιατί η όλη προσπάθεια του Bohr αποσκοπούσε, όπως ο ίδιος επανειλημμένα υπογράμμιζε, στην κατανόηση και ερμηνεία της *βαθύτερης φύσης* της φυσικής πραγματικότητας, μιας πραγματικότητας που φαινόταν ότι υπερέβαινε τόσο τα όρια του ‘παρατηρήσιμου’ όσο και τα όρια των ‘συνηθισμένων’ έως τότε ιδεών της κλασικής κοσμοθεώρησης. Η προσπάθεια αυτή γίνεται φανερή, εάν επικεντρώσουμε την προσοχή μας στα ακόλουθα σημεία.

1. *Άρνηση του θεμελιακού χαρακτήρα της αισθητηριακής αντίληψης.* Ο Bohr, παρότι έθετε μέσω της AAB τα εμπειρικά αποτελέσματα στο επίκεντρο της ερευνητικής διαδικασίας, αρνιόταν να προσδώσει θεμελιακό χαρακτήρα στο άμεσα παρατηρήσιμο, στην κοινή εμπειρία ή στα αισθητηριακά δεδομένα κατά το πρότυπο του θετικισμού ή, ευρύτερα, του παραδοσιακού εμπειρισμού. Είδαμε, λόγου χάριν, ότι δεν δίστασε να συνδέσει τη δυνατότητα επίλυσης του τιθέμενου από τη φυσική πραγματικότητα ‘αινίγματος’ με την ενδεχόμενη αναγκαιότητα ‘ριζικής

απομάκρυνσης από εκείνες τις περιγραφές στον χώρο και στον χρόνο που ταιριάζουν με τις συνηθισμένες αισθητηριακές αντιλήψεις' (A3.4). Έτσι, μη αποδίδοντας κάποια ιδιαίτερα εννοιολογικά προνόμια στις παρατηρησιακές έννοιες, ο Bohr ουδέποτε επιχείρησε να αναγάγει τους θεωρητικούς κβαντικούς όρους σε μία ουδέτερη παρατηρησιακή γλώσσα μέσω κάποιων συντακτικών κανόνων γλωσσικής 'μετάφρασης' ή 'αντιστοίχισης'. Αντίθετα, εξέφραζε πάντοτε σοβαρές επιφυλάξεις σε σχέση με τις ερευνητικές προοπτικές τέτοιου είδους εγχειρημάτων. Η κριτική που ασκούσε στο υπό εξέλιξη, κατά την περίοδο εφαρμογής της AAB, πρόγραμμα του κύκλου του Göttingen είναι αντιπροσωπευτική της στάσης του (§A- 5.1.2, σημείο 5).

2. *Άρνηση του θεμελιακού χαρακτήρα της κλασικής γλώσσας ως γλώσσας 'ήδη συνδεδεμένης' με την παρατήρηση.* Κατά την περίοδο γέννησης της κβαντικής θεωρίας, ο Bohr αρνιόταν επίσης να προσδώσει θεμελιακό χαρακτήρα στην κλασική γλώσσα και στη νοηματοδότηση που αυτή επέβαλε στις έννοιες, στις σχέσεις και στις υπολογιστικές τεχνικές που εισάγονταν, μέσω της AAB, στο κβαντικό πλαίσιο. Αυτό γίνεται φανερό από τον τρόπο με τον οποίο χειριζόταν τόσο τους προς ερμηνεία πειραματικούς νόμους όσο και τα θεωρητικά εργαλεία της κλασικής φυσικής.

2α. *Οι πειραματικοί νόμοι και οι παρατηρησιακές έννοιες της κλασικής φυσικής.* Κατ' αρχήν, οι προς ερμηνεία πειραματικοί νόμοι (π.χ. οι ανερμήνευτοι από την κλασική θεωρία εμπειρικοί φασματικοί νόμοι) ήταν εκ των πραγμάτων διατυπωμένοι στη γλώσσα της κλασικής θεωρίας μέσω εννοιών που προσλάμβαναν το φυσικό τους νόημα από το εννοιολογικό πλαίσιο της κλασικής φυσικής. Οι εισαγόμενες όμως στο κβαντικό πλαίσιο κλασικές παρατηρησιακές έννοιες (όπως π.χ. η στροφορμή), όχι μόνο δεν εκλαμβάνονταν ως θεμέλια για τον καθορισμό του νοήματος των θεωρητικών κβαντικών όρων κατά το θετικιστικό πρότυπο (εφόσον ως έννοιες μίας παλαιότερης καλώς επιβεβαιωμένης θεωρίας είχαν προσλάβει ένα 'αδιαμφισβήτητο' νόημα μέσω της 'επικοινωνιακής' χρήσης τους), αλλά παρέμεναν κενές νοήματος, έως ότου προσλάβουν το φυσικό τους νόημα από το εννοιολογικό πλαίσιο μιας συνεκτικώς πλέον θεμελιωμένης και ερμηνευμένης κβαντικής θεωρίας (§A-1.1). Είδαμε, λόγου χάριν, ότι οι επιφυλάξεις του Bohr, ως προς τη δυνατότητα της θεωρίας των κβάντων ν ' αποτελέσει τον κορμό της υπό αναζήτηση κβαντικής θεωρίας, οφείλονταν στην αδυναμία ακριβώς της συγκεκριμένης θεωρίας να προσδώσει φυσικό νόημα στην κλασική έννοια της συχνότητας, την οποία, παρ' όλα αυτά, χρησιμοποιούσε ως δομικό της στοιχείο (§A-4.4).

2β. Τα θεωρητικά εργαλεία της κλασικής φυσικής. Σε σχέση τώρα με τα εισαγόμενα στο πλαίσιο της κβαντικής θεωρίας θεωρητικά εργαλεία της κλασικής φυσικής, η AAB, ‘μη μειώνοντας’ σε καμία περίπτωση ‘την αντίθεση μεταξύ των κβαντικών αξιωμάτων και της κλασικής ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας’ (A4.6), διασφάλιζε την τυπική και μόνο χρήση τους. Όπως επισημαίνει ο Heisenberg σε μια αναδρομική περιγραφή της περιόδου εφαρμογής της AAB, «ο Bohr προσπαθούσε να διατηρεί την ‘εικόνα’ [την ‘κλασική αναπαράσταση’] και, παράλληλα, ν’ αγνοεί την κλασική μηχανική. Προσπαθούσε δηλαδή να διατηρεί τις λέξεις και τις εικόνες, χωρίς να διατηρεί το νόημα των λέξεων και των εικόνων» (Heisenberg, 1963, *AHQP*, σ. 13). Αυτό σημαίνει ότι οι θεωρητικοί όροι της κλασικής θεωρίας που εισάγονταν, μέσω της AAB, στο κβαντικό πλαίσιο αντιμετωπίζονταν ως *γλωσσικά σημεία*.

2γ. Οι κλασικές έννοιες ως ‘σύμβολα’ στο κβαντικό πλαίσιο. Η μη-προνομακή θέση των κλασικών εννοιών (τόσο των παρατηρησιακών όσο και των θεωρητικών) καθίσταται ιδιαίτερα εμφανής, εάν λάβουμε υπόψη μας το *συμβολικό* καθεστώς που αυτές συστηματικά απολάμβαναν κατά την εισαγωγή τους στο κβαντικό πλαίσιο. Ήδη, από την πρώτη κιόλας διατύπωση της ατομικής θεωρίας, το 1913 και παρά την ευρύτατη αποδοχή της από την επιστημονική κοινότητα, ο Bohr αισθάνθηκε την ανάγκη να επισημάνει ότι «μέσω της διατύπωσης της πρώτης ατομικής θεωρίας δίνεται απλώς μια πολύ απλή ερμηνεία των αριθμητικών αποτελεσμάτων ... με τη βοήθεια *συμβόλων* που αντλήθηκαν από τη συνηθισμένη μηχανική» (Bohr, 1913a, *NBCW2*, σ. [175]). Δώδεκα χρόνια δε αργότερα, σε μια αναδρομική αποτίμηση της μεθοδολογικής προσφοράς της AAB, ο Bohr εξακολουθούσε να υπογραμμίζει ότι «[μέσω της AAB] έγινε δυνατό να κατασκευάσουμε μηχανικές εικόνες των στάσιμων καταστάσεων. ... Ο *συμβολικός* όμως χαρακτήρας των συγκεκριμένων εικόνων αναδεικνύεται με τον πιο καθαρό τρόπο από το γεγονός ότι το ηλεκτρόνιο, όταν βρίσκεται στη θεμελιώδη κατάσταση, παρότι κινείται, δεν προκαλεί την εκπομπή οποιουδήποτε είδους ακτινοβολίας» (Bohr, 1925a, *ATDN*, σσ. 35-36).

Η απόδοση ‘συμβολικού’ χαρακτήρα στις κλασικές έννοιες εντασσόταν στην τιθέμενη από τον Bohr μεθοδολογική επιταγή της σαφούς οριοθέτησης των πλαισίων εφαρμογής της κλασικής και κβαντικής θεωρίας (§A-4.3, 2^η συνιστώσα). Έχει ιδιαίτερη όμως σημασία το γεγονός ότι, κατά την περίοδο εφαρμογής της AAB, ο Bohr εκλάμβανε ως ‘σύμβολα’ τις κλασικές έννοιες (τόσο τις παρατηρησιακές όσο και τις θεωρητικές, οι οποίες είχαν βεβαίως συνδεθεί ήδη με την εμπειρία) και *όχι*

τους θεωρητικούς όρους της κβαντικής θεωρίας. Καθώς δε ένας τέτοιος μεθοδολογικός χειρισμός βρίσκεται στον *αντίποδα* της θετικιστικής θέσης περί της ‘νοηματικής σταθερότητας’ των εμπειρικών όρων, μπορούμε βάσιμα να τον θεωρήσουμε ως ένα ακόμη ουσιαστικό σημείο διάστασης της επιστημολογικής θεώρησης του Bohr από τις θετικιστικές ή εργαλειοκρατικές προσεγγίσεις.

Στο σημείο αυτό, μας δίνεται ακόμη η ευκαιρία να παρατηρήσουμε ότι οι λόγοι που ωθούσαν τον Bohr στη χρήση του όρου ‘σύμβολο’ είναι δυνατό να παρερμηνευθούν, εάν δεν ληφθεί υπόψη η διαφοροποίηση που συναντάται στον τρόπο χρήσης του συγκεκριμένου όρου ανάλογα με την περίπτωση. Είναι λόγου χάριν χαρακτηριστικό το παράδειγμα της Chevalley, η οποία, αφού διαπιστώνει ότι «ο Bohr χρησιμοποιούσε τη λέξη ‘σύμβολο’ όταν αναφερόταν στο φορμαλισμό της κβαντικής μηχανικής, ενώ, αντίθετα, μιλούσε για ‘έννοιες’ και ‘εικόνες’ όταν αναφερόταν στην κλασική φυσική», αποφαινεται τελικά ότι «υπό την οπτική γωνία του Bohr, δεν υφίστανται κβαντικές έννοιες, αλλά μόνο κλασικές έννοιες και κβαντικά σύμβολα» (Chevalley, 1992, σ. 35). Όπως όμως καταδεικνύουν τα προαναφερθέντα αποσπάσματα, μια τέτοια ανάλυση παραγνώνει ολοσχερώς τον τρόπο χρήσης της λέξης ‘σύμβολο’ καθ’ όλη τη διάρκεια εφαρμογής της AAB. Γιατί ό,τι η Chevalley περιγράφει αφορά τη χρήση της συγκεκριμένης λέξης *μετά* τη διατύπωση της συμπληρωματικότητας. Τότε ο Bohr, επιθυμώντας να καταδείξει τον *μη-αναπαραστασιακό* χαρακτήρα των κβαντικών εννοιών, υπογράμμισε με emphaticό πράγματι τρόπο τον ‘συμβολικό’ τους χαρακτήρα. Η χρήση όμως του όρου ‘σύμβολο’ εξυπηρετούσε μια διαφορετική πλέον κατάσταση (§B-1, σημείο 6).

Αξίζει, λοιπόν, για μια ακόμη φορά να υπογραμμίσουμε ότι οι κλασικές έννοιες, ως έννοιες επιδεχόμενες ‘εικονικής αναπαράστασης’ ή ως έννοιες συνδεδεμένες με τη ‘διαίσθηση’ και την ‘κοινή εμπειρία’, δεν έχαιραν καμίας προνομιακής μεταχείρισης στο πλαίσιο της AAB. Μετά δε τη διατύπωση της συμπληρωματικότητας ήταν μόνο ο *επανακαθορισμός* του φυσικού τους νοήματος εκείνος που καθιστούσε ‘μη-διφορούμενη’ τη χρήση τους εντός του κβαντικού πλαισίου (§B-1, σημείο 8β).

2δ. Κατά την περίοδο εφαρμογής της AAB, ο Bohr ουδέποτε υποστήριξε την ύπαρξη κάποιας *a priori* αναγκαιότητας που φαινόταν να επιβάλλει τη διατήρηση των κλασικών εννοιών στο κβαντικό πλαίσιο. Ποιο ήταν, όμως, εκείνο το στοιχείο που ωθούσε τον Bohr να εμμένει στη χρήση των κλασικών εννοιών και όρων κατά την περίοδο εφαρμογής της AAB; Ήταν η *επιστημολογική* και *μεθοδολογική* αναγκαιότητα «να

χρησιμοποιηθεί *κάθε* ιδιότητα των κλασικών θεωριών κατά τη συστηματική ανάπτυξη της κβαντικής θεωρίας» (Bohr, 1925a, *ATDN*, σ. 37). Γι' αυτό, και η χρήση των κλασικών εννοιών κρινόταν αναγκαία *μόνο* 'υπό την παρούσα τότε οπτική γωνία της φυσικής' (A4.3). Έως ότου λοιπόν προσεγγίσει το ερμηνευτικό σχήμα της συμπληρωματικότητας, έως ότου δηλαδή αποκτήσει *επίγνωση των γνωσιακών ορίων* που επέβαλε ο ολιστικός χαρακτήρας των κβαντικών φαινομένων, ο Bohr ουδέποτε εξέλαβε την κλασική γλώσσα ως αναγκαίο μέσο για τη διασφάλιση της αυστηρής νοηματικής συνέχειας της κλασικής και της κβαντικής θεωρίας, όπως οι θετικιστικές θεωρήσεις θα επιζητούσαν. Η θέση του Bohr περί της αναγκαιότητας διατήρησης της 'κλασικότητας' στο κβαντικό πλαίσιο εξέφρασε *το καταληκτικό πόρισμα* μιας επίπονης ερευνητικής πορείας, μίας πορείας που είχε σταδιακά αποκαλύψει ότι η αναγκαιότητα αυτή επιβαλλόταν 'από την ίδια τη φύση' (§B-3.4.2).

2ε. *Μια διαφορετική, από τη δική μας, ερμηνευτική ανάλυση.* Το καθεστώς χρήσης των κλασικών εννοιών στο κβαντικό πλαίσιο αποτελεί σημείο-κλειδί για την κατανόηση της θεώρησης του Bohr. Θα προσπαθήσουμε λοιπόν να φωτίσουμε ακόμη περισσότερο τις προηγούμενες παρατηρήσεις μας, παρουσιάζοντας μια διαφορετική από τη δική μας ερμηνευτική ανάλυση, μία ανάλυση που εξετάζει την AAB υπό μια εφαπτόμενη προς τις θετικιστικές θεωρήσεις φιλοσοφική προοπτική (Faye, 1991).

Ο Faye ισχυρίζεται ότι η ακολουθούμενη μέσω της AAB μεθοδολογική γραμμή αποτελεί ισχυρή ένδειξη της επίδρασης των φιλοσοφικών ιδεών του Hoffding στο επιστημονικό έργο του Bohr. Ο Hoffding, εκκινώντας από την παραδοχή ότι η κατάκτηση καινούργιας γνώσης προϋποθέτει τη γνωσιακή σύνδεση του 'αγνώστου' με το 'ήδη γνωστό', εκλαμβάνει τις αναλογίες ως εξαιρετικώς καρποφόρα μέσα για την ανάπτυξη της ανθρώπινης γνώσης: η ευρετική αξία των αναλογιών εδράζεται στη λειτουργική ικανότητα που εκ φύσεως διαθέτουν να συνδέουν τα προς κατανόηση φαινόμενα με την ήδη υπάρχουσα γνώση (Faye, 1991, σ. 118). Ενώ όμως οι ιδέες του Hoffding προβάλλουν την αναγκαιότητα *επιστημολογικής συνέχειας* της ανθρώπινης γνώσης, μια αναγκαιότητα που, σύμφωνα με τη δική μας ανάγνωση, υιοθετούσε και ο ίδιος ο Bohr (§A-4.3), ο Faye αποδίδει στην AAB ιδιότητες που φέρουν περισσότερο το στίγμα της δικής του θεώρησης. Γιατί, όπως θα διαπιστώσουμε στη συνέχεια, η ανάλυση του Faye μετατρέπει το αίτημα *της επιστημολογικής συνέχειας* σε αίτημα *σημασιολογικής συνέχειας*, ένα αίτημα που ο ίδιος ο Bohr ουδέποτε έθεσε. Πράγματι, επιθυμώντας, όπως ο ίδιος δηλώνει, «να αντικρούσει την τάση του Bohr να

εκλαμβάνει την AAB ως μια τυπική και μόνο σύνδεση μεταξύ της κβαντικής και της κλασικής θεωρίας ή ως μια αμιγώς συντακτική γενίκευση του περιεχομένου τους» (στο ίδιο, σσ. 116-117), ο Faye εκθέτει τη δική του εναλλακτική άποψη ως εξής.

(A5.1) «Ακόμη κι' αν εκείνη την περίοδο ο Bohr μιλούσε για μια τυπική σύνδεση ή ορθολογική γενίκευση, η Αρχή της Αντιστοιχίας, εκ της ίδιας της φύσεώς της, προϋποθέτει ή υπαινίσσεται ορισμένες *σημασιολογικές* απαιτήσεις: *το εμπειρικό νόημα των παρατηρησιακών όρων που ανήκουν και στις δύο θεωρίες οφείλει να είναι το ίδιο ή σχεδόν το ίδιο. ...* Πράγματι, η μεθοδολογική προσέγγιση του Bohr θέτει την απαίτηση πολλές από τις παρατηρήσιμες ποσότητες της νέας θεωρίας να είναι *πανομοιότυπες* με αυτές της παλιάς, ώστε οι δύο θεωρίες να διαθέτουν τη δυνατότητα επιτυχίας των ίδιων κατά προσέγγιση προβλέψεων στο κοινό πεδίο εφαρμογής τους. Γιατί οι εμπειρικές προβλέψεις της κλασικής και κβαντικής φυσικής είναι δυνατό να συμφωνήσουν, παρ' όλες τις εννοιολογικές διαφορές των δύο θεωριών, μόνο εάν κάθε παρατηρησιακή έκφραση της κβαντικής θεωρίας είναι *αναγωγήμη*, υπό ορισμένους περιορισμούς, σε μια *ισοδύναμη* παρατηρησιακή έκφραση της κλασικής μηχανικής. Μια τέτοια δε αναγωγή είναι δυνατή μόνο εάν οι παρατηρήσιμες ποσότητες που συμπεριλαμβάνονται στις εκφράσεις της κλασικής μηχανικής, είτε ταυτίζονται απόλυτα με τις παρατηρήσιμες ποσότητες που συμπεριλαμβάνονται στις εκφράσεις της κβαντικής μηχανικής, είτε ταυτίζονται, τουλάχιστον, με κάποιους συνδυασμούς των παρατηρήσιμων κβαντικών ποσοτήτων» (Faye, 1991, σσ. 116-117).

Μπορούμε κατ' αρχήν να παρατηρήσουμε ότι ο Faye μεταλλάσσει ολοσχερώς το κατά Bohr νόημα της 'ορθολογικότητας'. Γιατί, μπορούμε να θυμηθούμε ότι, όταν ο Bohr μιλούσε για 'ορθολογική γενίκευση' της κλασικής φυσικής δεν υποδείκνυε σε καμία περίπτωση την προσπάθεια ένταξης της κλασικής και κβαντικής θεωρίας σ' ένα 'γενικευμένο συντακτικό πλαίσιο', κάτι που θα έμοιαζε πράγματι αντιφατικό ως προς την ακολουθούμενη μέσω της AAB μεθοδολογική γραμμή. Ο Bohr, αντίθετα, μέσω της χρήσης της παραπλανητικής, ίσως, ως προς το πραγματικό της περιεχόμενο, έκφρασης 'ορθολογική γενίκευση', επεδίωκε τη συνοπτική επισήμανση των ιδιαίτερων επιστημολογικών χαρακτηριστικών και στόχων της AAB (§A-4.3).

Οφείλουμε επίσης να σημειώσουμε ότι ο Bohr, όταν υπογράμμιζε και με ιδιαίτερη μάλιστα έμφαση ότι η AAB αποτελούσε μια τυπική και *μόνο* αναλογία, επιθυμούσε κατ' ουσία ν' αποτρέψει ερμηνευτικά ολισθήματα όπως αυτό στο οποίο ο ίδιος ο Faye υποπίπτει: τη *σημασιολογική* δηλαδή σύνδεση της κβαντικής με την κλασική θεωρία (A4.4).³⁴ Έτσι, ενώ, όπως ορθά ο Faye ισχυρίζεται, η εφαρμοζόμενη

³⁴ Σύμφωνα με τις εκτιθέμενες στο απόσπασμα (A3.4) σκέψεις του Bohr, η αντικατάσταση του όρου 'αναλογία' από τον όρο 'Αρχή της Αντιστοιχίας' αποσκοπούσε να υποδείξει ότι η AAB δεν έθετε σε καμία περίπτωση 'το ερώτημα μιας άμεσης σύνδεσης της κβαντικής θεωρίας με τις κλασικές ιδέες'. Ο Faye, παρότι παραθέτει το συγκεκριμένο απόσπασμα, παραβλέπει παντελώς το γεγονός ότι η συγκεκριμένη αντικατάσταση στόχευε στην ανάδειξη της ενδεχόμενης *ριζικής* νοηματικής ρήξης της κβαντικής με την κλασική θεωρία και αρκείται να παρατηρήσει ότι η όποια αλλαγή ορολογίας δεν αλλοιώνει το γεγονός ότι η AAB ενείχε, εκ της ίδιας της αναλογικής της φύσεως, τις σημασιολογικές απαιτήσεις που υποδεικνύονται από τον ίδιο (στο ίδιο, σ. 116).

μεθοδολογία επιζητούσε από την κλασική και την κβαντική θεωρία 'να είναι εμπειρικά συγκρίσιμες' και 'να επιτυγχάνουν τις ίδιες κατά προσέγγιση προβλέψεις' στο κοινό τους πεδίο εφαρμογής, η επιβαλλόμενη μέσω της AAB πλαίσιακή θεώρηση των δύο θεωριών αποσκοπούσε ακριβώς ν' αποτρέψει τις δυνατές συγχύσεις σε σχέση με το αποδιδόμενο στους όρους τους νόημα. Μπορούμε εξάλλου να θυμηθούμε ότι οι κλασικές περιγραφικές έννοιες, καθώς αντιμετωπίζονταν ως απλά και μόνο 'σύμβολα', στερούνταν κάθε φυσικού νοήματος εντός του κβαντικού πλαισίου. Όταν λοιπόν ο Faye ισχυρίζεται ότι, υπό το καθεστώς της AAB, το εμπειρικό νόημα των κοινών παρατηρησιακών όρων των δύο θεωριών όφειλε να είναι 'το ίδιο' ή 'σχεδόν το ίδιο' και ότι, κατ' επέκταση, η 'περιγραφική σύνδεση' των δύο θεωριών αντιπροσώπευε μία διαδικασία 'αναγωγής' των 'παρατηρησιακών εκφράσεων' της κβαντικής θεωρίας σε 'ισοδύναμες παρατηρησιακές εκφράσεις της κλασικής μηχανικής' ανατρέπει εκ βάθρων τη μεθοδολογική θεμελίωση της AAB.

Ο Faye, προχωρώντας ακόμη περισσότερο, παρατηρεί ότι «μέσω της χρήσης αναλογιών [και, συνεπώς, μέσω της χρήσης της AAB], η γλώσσα της παλαιότερης θεωρίας 'επιβάλλεται', τελικά, στην καινούργια θεωρία» (στο ίδιο, σ. 118). Σε σχέση με τον ισχυρισμό αυτό, μπορούμε να παρατηρήσουμε τα εξής. Κατ' αρχήν, ακόμη κι' αν ο ισχυρισμός του Faye υπό το πρίσμα της παραδοσιακής αντίληψης περί αναλογιών φαίνεται να είναι ορθός, η μελέτη των ειδικών χαρακτηριστικών της AAB καταδεικνύει την ολοσχερή της απόκλιση από το παραδοσιακό πρότυπο (§A-3.2). Επιπροσθέτως, όπως έχει σωρευτικά καταδείξει η έως σήμερα εξέλιξη της κβαντικής θεωρίας, ήταν η ίδια η φύση των υποατομικών φαινομένων (και συγκεκριμένα ο ολιστικός τους χαρακτήρας) εκείνη που τελικά επέβαλε τη διατήρηση της 'κλασικότητας' εντός του κβαντικού πλαισίου (§B-2). Έτσι, η πεποίθηση του Bohr ότι 'υπό την παρούσα [τότε] οπτική γωνία της φυσικής, κάθε περιγραφή των διαδικασιών της φύσης όφειλε να βασίζεται σε ιδέες που εισήχθησαν και ορίστηκαν από την κλασική θεωρία' (A4.3), δημιούργησε απλώς τις απαραίτητες προϋποθέσεις για την προοδευτική αποκάλυψη της αναγκαιότητας διατήρησης των κλασικών εννοιών στο κβαντικό πλαίσιο. Κατά συνέπεια, η τελική απόφαση του Faye ότι «το πρόβλημα που είχε ν' αντιμετωπίσει ο Bohr τα επόμενα χρόνια [ως αποτέλεσμα της χρήσης της AAB] ήταν η δημιουργία, όχι μόνο μιας αυτο-συνεπούς θεωρίας, αλλά και μιας συνεκτικής ερμηνείας βασισμένης στις κλασικές έννοιες» (στο ίδιο, σ. 119), μπορεί να κριθεί ως πλήρης αντιστροφή της πραγματικής κατάστασης.

Παρατηρούμε, λοιπόν, ότι η προσέγγιση του Faye επιδεικνύει με σαφήνεια τη στενή της συγγένεια με τις παραδοσιακές εκφάνσεις του εμπειρισμού. Γιατί, κατ' αρχήν, αναγνωρίζει τη δυνατότητα ύπαρξης μιας κοινής παρατηρησιακής γλώσσας, οι όροι της οποίας χαρακτηρίζονται από *σταθερότητα νοήματος* παρά την όποια θεωρητική αλλαγή. Η σταθερότητα δε αυτή προσφέρει περαιτέρω το αναγκαίο έρεισμα για την υποστήριξη μίας σωρευτικής ανάπτυξης της επιστημονικής γνώσης σύμφωνα με τις θετικιστικές προδιαγραφές. Η θέση εξάλλου του Faye σε σχέση με το ζήτημα της ασυμμετρίας είναι σαφής: «η AAB, ως αναλογία, ευρισκόμενη σε συμφωνία με την προτεινόμενη από τον Hoffding μεθοδολογία και σε διάσταση με την προτεινόμενη από τον Kuhn μεθοδολογία, αποκαλύπτει το γεγονός ότι η παλαιότερη και η νέα θεωρία οφείλουν να είναι *σύμμετρες* σε σχέση με το εμπειρικό τους νόημα ... [Κι' αυτό, γιατί] οι υποκείμενες στη χρήση αναλογιών σημασιολογικές απαιτήσεις υποδεικνύουν ότι οι δύο 'αντιστοιχούμενες' θεωρίες οφείλουν να είναι εμπειρικά συγκρίσιμες ακόμη κι' αν είναι λογικά ασύμβατες» (στο ίδιο, σ. 118). Και βέβαια, ο Kuhn, ο Bohr, αλλά και κάθε ενεργός επιστήμονας, θα συμφωνούσαν, δίχως άλλο, ότι η συγκριτική αποτίμηση της εμπειρικής επάρκειας δύο θεωριών συνιστά *απαράβατη* συνιστώσα οποιασδήποτε απόπειρας επιστημικής τους αξιολόγησης. Αυτό όμως δεν σημαίνει ότι οι δύο θεωρίες οφείλουν να είναι κατ' ανάγκην και 'σύμμετρες' σε σχέση με το εμπειρικό τους νόημα: τόσο ο Kuhn όσο και Bohr θα υποστήριζαν με εξίσου σθεναρό τρόπο ότι το εμπειρικό νόημα μιας θεωρίας προσδιορίζεται από το εννοιολογικό της σύστημα *ως όλον* (σημείο 4).

3. *Προβολή της απαίτησης για 'κατανόηση' και 'ερμηνεία' των υποατομικών διαδικασιών.* Κατά την περίοδο εφαρμογής της AAB, ο Bohr μη έχοντας ακόμη λόγους ν' αμφισβητήσει τη δυνατότητα προσέγγισης μιας 'ακριβούς' περιγραφής των ατομικών διαδικασιών κατά το κλασικό πρότυπο, προσδοκούσε τη θεμελίωση μιας θεωρίας που θα μπορούσε να προσφέρει μια 'λεπτομερειακή περιγραφή των μηχανισμών' των υποατομικών διαδικασιών (A4.4), μιας θεωρίας που θα αποδεικνυόταν ικανή 'να ερμηνεύσει τα φαινόμενα στα οποία η κλασική θεωρία αποτύγχανε' (A4.1), μιας θεωρίας που θα αποδεικνυόταν εν τέλει ικανή να οδηγήσει 'στη βαθύτερη κατανόηση της φύσης της ακτινοβολίας και της αιτίας σταθερότητας των στάσιμων καταστάσεων» (Bohr, 1923a, NBCW3, σ. [482]). Είναι φανερό ότι μια τέτοια προσδοκία για την κατανόηση και ερμηνεία μιας *πέραν της εμπειρίας* φυσικής πραγματικότητας υπερβαίνει με ουσιαστικό τρόπο τις απαιτήσεις του θετικισμού και,

ευρύτερα, του παραδοσιακού εμπειρισμού. Την ίδια ακριβώς προσδοκία καταγράφει και το ακόλουθο παράδειγμα. Κατά την παρουσίαση μιας προσπάθειας ερμηνείας του περιοδικού πίνακα, το 1921, ο Bohr συνέδεσε το θεωρητικό κβαντικό σχήμα με τις πειραματικώς διαπιστωμένες ιδιότητες των χημικών στοιχείων ως εξής.

(A5.2) «Πολλοί από τους προβαλλόμενους εδώ ισχυρισμούς επιζητούν την ανοχή του αναγνώστη. Κι' αυτό, επειδή η προτεινόμενη αναπαράσταση εμφανίζεται συχνά σαν ένα παιχνίδι μεταξύ της εφαρμογής σαφώς προσδιορισμένων θεωρητικών εννοιών και της ανάπτυξης των *ίδιων* αυτών εννοιών μέσω πληροφοριών που αντλήθηκαν από διαπιστωμένα γεγονότα. Παρ' όλα αυτά, η συγκεκριμένη διαδικασία, η οποία καθίσταται φυσικά και μάρτυρας του *χαρακτήρα* των θεωρητικών ιδεών, θα πρέπει να θεωρηθεί ως χαρακτηριστική της παρούσας ερευνητικής φάσης. Γιατί, σε σχέση με τα προς επίλυση σήμερα προβλήματα, το ερώτημα που τίθεται δεν είναι μόνο η επέκταση της ερμηνείας μας σε καινούργια πειραματικά δεδομένα, αλλά πολύ περισσότερο η ανάπτυξη, μέσω των καινούργιων πειραματικών δεδομένων, των ανεπαρκών μας θεωρητικών εννοιών» (Bohr, 1921γ, *NBCW3*, σ. [400]).

Κατά την αντίληψη λοιπόν του Bohr, οι θεωρίες δεν λειτουργούσαν ως συνεκτικές γλωσσικές δομές, οι οποίες όφειλαν απλώς να προβλέπουν τον μέγιστο δυνατό αριθμό εμπειρικών δεδομένων. Ή, αλλιώς, η επιστημονική γλώσσα δεν εκλαμβάνονταν, κατά το πρότυπο του Carnap, ως μέσο επίλυσης 'του προβλήματος συσχετισμού εμπειρικά επαληθεύσιμων φυσικών κανονικοτήτων'. Σε αντιδιαμετρική μάλλον προς μια τέτοια αντίληψη κατεύθυνση, τα καινούργια πειραματικά δεδομένα εκλαμβάνονταν ως φορείς νέων προϋποθέσεων για την ανάπτυξη των *θεωρητικών εννοιών* της κβαντικής θεωρίας, εννοιών που, παρότι επιτύγχαναν ικανοποιητικές προβλέψεις, θεωρούντο ακόμη 'ανεπαρκείς'. Η προβλεπτική συνεπώς επάρκεια δεν ήταν αφ' εαυτής ικανοποιητική. Όφειλε να συνοδεύεται από μια συνεκτική *φυσική ερμηνεία* όλων των σκοπευόμενων από την κβαντική θεωρία φαινομένων. Η Αρχή δε της Αντιστοιχίας, καθώς επέτρεπε 'μέσω των καινούργιων πειραματικών δεδομένων' την παράδοξη εκ πρώτης όψεως 'ανάπτυξη' εννοιών που είχαν *ήδη* προσδιορισθεί με σαφήνεια, διάνοιγε τον δρόμο προς τον επιδιωκόμενο στόχο (§A-2.3).

Η αδιάπτωτη προσπάθεια του Bohr για την προσέγγιση μιας 'πέραν των φαινομένων' ερμηνείας της κβαντικής θεωρίας αναδεικνύεται και από το ακόλουθο παράδειγμα. Κατά την περίοδο γέννησης της κβαντικής θεωρίας, ο Einstein, ακολουθώντας τα δικά του πρότυπα 'ορθολογικότητας' και εφαρμόζοντας τη δική του μεθοδολογική στρατηγική (§A-4.4), επιδίωκε τη διατύπωση μίας γενικευμένης θεωρίας ύλης – ακτινοβολίας, η οποία θα συμπεριλάμβανε σε ένα ενιαίο λογικό – παραγωγικό πλαίσιο τη θεωρία των κβάντων και το ατελές μόρφωμα της κβαντικής μηχανικής, δύο σχήματα που είχαν θεμελιωθεί υπό τη συνθήκη της κλασικής

διατύπωσης των αρχών διατήρησης της ενέργειας και ορμής. Ο Bohr, επιδεικνύοντας κάποια πρώτα σημεία αμφισβήτησης σε σχέση με την απεριόριστη ισχύ των συγκεκριμένων διατυπώσεων, σχολίασε το όλο εγχείρημα με τον ακόλουθο τρόπο.

(A5.3) «Οι νόμοι διατήρησης της ενέργειας και της ορμής, υπό την παρούσα τους διατύπωση, δεν επιτρέπουν τη συναγωγή πειστικών συμπερασμάτων ως προς τη φύση των διαδικασιών. Οι συγκεκριμένοι νόμοι επιτρέπουν, μάλλον, τη συναγωγή συμπερασμάτων που σχετίζονται μόνο με την εμφάνιση εκείνων των διαδικασιών που προσεγγίζονται από τα αξιώματα της κβαντικής θεωρίας» (η έμφαση από τον Bohr, 1923α, *NBCW3*, σ. [497]).

Ο Bohr κατέληξε στο συγκεκριμένο συμπέρασμα καταδεικνύοντας ότι τα πορίσματα που παράγονταν από τη θεωρία των κβάντων και τα κβαντικά αξιώματα αποτύγχαναν να ερμηνεύσουν μία σειρά φαινομένων που σχετίζονταν, όχι μόνο με τη διάδοση της ακτινοβολίας στον χώρο (ανάκλαση, διασκεδασμό, συμβολή, στο ίδιο, σσ. [495]-[496]), αλλά και με την αλληλεπίδραση ύλης – ακτινοβολίας (όπως κατ' εξοχήν, λόγου χάριν, συνέβαινε με την παραβίαση της αρχής διατήρησης της ενέργειας στις εξαναγκασμένες μεταπτώσεις ακτινοβολίας που προβλέπονταν από τη στατιστική θεωρία της ακτινοβολίας του Einstein, στο ίδιο, σσ. [497]-[498] και §A-2.2). Κατά την αντίληψη λοιπόν του Bohr, μία τέτοια αποτυχία υποδείκνυε ότι η προβλεπτική καρποφορία τόσο της θεωρίας των κβάντων όσο και των κβαντικών αξιωμάτων σε μία σειρά άλλων περιπτώσεων (π.χ. στο φωτοηλεκτρικό φαινόμενο) σχετιζόταν με την 'εμφάνιση' και όχι τη 'φύση' των υποατομικών διαδικασιών. Υπ' αυτό δε το δεδομένο, «όφειλε να είναι κανείς προετοιμασμένος για το γεγονός ότι οι παραγωγικές συναγωγές από τους νόμους αυτούς [τους νόμους διατήρησης υπό την κλασική τους διατύπωση] δεν διαθέτουν απεριόριστη ισχύ» (στο ίδιο, σ. [497]).³⁵

Όλα τα παραπάνω καταδεικνύουν με σαφήνεια ότι η προσέγγιση μίας θεωρίας που θ' αποδεικνυόταν ικανή να προσφέρει συνεκτικές 'εξηγήσεις' για μια 'πέραν των φαινομένων και της εμπειρίας' φυσική πραγματικότητα αποτελούσε σταθερή επιδίωξη της εφαρμοζόμενης από τον Bohr μεθοδολογίας. Η διαπίστωση αυτή έχει ιδιαίτερη σημασία. Γιατί αποκαλύπτει, όπως ακριβώς και στην περίπτωση των κλασικών εννοιών, ότι η κεντρική θέση που κατέχει η έννοια του 'φαινομένου' στην όψιμη (μετά τη συμπληρωματικότητα) επιχειρηματολογία του Bohr δεν πηγάζει από μια φαινομεναλιστική αντίληψη περί νοήματος, όπως αυτή εκφράζεται στο πλαίσιο του θετικισμού ή του ευρύτερου εμπειρισμού, αλλά από μια ερμηνευτική προσέγγιση

³⁵ Ένα χρόνο αργότερα (1924), προτάθηκε με συγκεκριμένο πλέον τρόπο η αναθεώρηση της κλασικής διατύπωσης των δύο βασικών αρχών διατήρησης: στο πλαίσιο της BKS θεωρίας, κατά την αλληλεπίδραση των ατομικών συστημάτων με την ακτινοβολία, οι αρχές διατήρησης της ενέργειας και ορμής εκλαμβάνονταν ως έχουσες στατιστική και μόνο ισχύ (§A-2.3, σημείο 3 και §A-3.2, σημείο 7).

που επιβλήθηκε από την ίδια τη ‘φύση’ των υποατομικών διαδικασιών, από τον ολιστικό τους δηλαδή χαρακτήρα (§B-1, σημείο 2, §B-3.4.1, σημείο 1γ).

4. Η σωρευτική εξέλιξη της επιστημονικής γνώσης αμφισβητείται με ουσιαστικό τρόπο. Σύμφωνα με την περιγραφή του Rosenfeld, ο Bohr διατύπωνε με επιμονή τον ισχυρισμό ότι «η χρήση της γλώσσας όφειλε να υπόκειται σε μια απαραβίαστη συνθήκη: οι λέξεις όφειλαν να διατηρούνται στο ίδιο επίπεδο αντικειμενικότητας» (Rosenfeld, 1963, σ. 49). Κατά την περίοδο γέννησης της κβαντικής θεωρίας, η γενική αυτή αντίληψη αποτυπώθηκε σ’ ένα από τα κατά Bohr αιτήματα ‘ορθολογικότητας’, στο αίτημα που αφορούσε τη σαφή οριοθέτηση των εννοιολογικών πλαισίων της κλασικής και της κβαντικής θεωρίας εντός του διαμορφούμενου από την AAB πλαισίου (§A-4.3, 2^η συνιστώσα). Όπως δε ήδη διαπιστώσαμε, το μεθοδολογικό αυτό αίτημα πήγαζε από την εικαζόμενη ριζική εννοιολογική ρήξη της κβαντικής θεωρίας με τις κλασικές ιδέες (A4.1, A4.2).

Η επιμονή του Bohr στη σαφή μεθοδολογική διάκριση των γλωσσικών ‘επιπέδων’ της κλασικής και της κβαντικής θεωρίας, καθώς και ο τρόπος συγκρότησης της AAB εν συνόλω, μπορούν βάσιμα να ειπωθούν ως άρνηση αποδοχής μιας σωρευτικής, κατά το θετικιστικό πρότυπο, αντίληψης για την εξέλιξη της επιστημονικής γνώσης. Γιατί μια τέτοια μεθοδολογική πρακτική υπαινίσσεται κατ’ ουσία την ‘απροσδιοριστία των γεγονότων’ (‘indeterminacy of the facts’), όπως αυτή υποδεικνύεται από τις ιστορικιστικές προσεγγίσεις: τα, εντός του κοινού πεδίου εφαρμογής των δύο θεωριών, διαπιστωμένα εμπειρικά γεγονότα εντάσσονταν, υπό διαφορετικό νόημα, στα εννοιολογικά πλαίσια των δύο θεωριών. Ή, υπό μια διαφορετική διατύπωση, τα θεωρητικά σχήματα των δύο θεωριών δεν εκλαμβάνονταν ως οριζόμενα κατά μονοσήμαντο τρόπο από την εμπειρία, αλλά, αντίθετα, ως ‘υποκαθορίζοντα’ κατά ουσιαστικό τρόπο τους τρόπους αντίληψης της εμπειρίας. Μια τέτοια θεώρηση, μια θεώρηση που καταγράφεται με σαφήνεια στον μεταγενέστερο ισχυρισμό του Bohr ότι «καμία εμπειρία δεν μπορεί να γίνει κατανοητή, εάν δεν υφίσταται ήδη ένα λογικό πλαίσιο» (Bohr, 1949, *APHK* II, σ. 65), βρίσκεται βεβαίως στον αντίποδα της θετικιστικής ιδέας περί της ‘ουδέτερότητας’ των παρατηρησιακών γλωσσών. Καθώς δε η αναγωγή των θεωρητικών όρων στις διαθέτουσες σταθερό νόημα παρατηρησιακές έννοιες είναι εκείνη που διασφαλίζει τη σωρευτική συνέχεια της επιστημονικής γνώσης σύμφωνα με το θετικιστικό πρότυπο,

μπορούμε βάσιμα να ισχυριστούμε ότι η μεθοδολογική στρατηγική του Bohr αποτελούσε έμπρακτη επερώτηση του συγκεκριμένου προτύπου.

5. *Η AAB, η μηχανική των μητρών και ο κύκλος του Göttingen.* Η καθοριστική, ως προς την εξέλιξη της κβαντικής θεωρίας, εργασία του Heisenberg «Κβαντοθεωρητική επανερμηνεία των κινηματικών και μηχανικών σχέσεων» ("Quantum-theoretical reinterpretation of kinematic and mechanical relations", Heisenberg, 1925, σσ. 261-276) μας παρέχει την ευκαιρία να διαπιστώσουμε τη σαφή διαφοροποίηση της AAB από το υπό εξέλιξη, εκείνη την περίοδο, ερευνητικό πρόγραμμα 'κβαντικής μετάφρασης' του κύκλου του Göttingen. Οι Born και Jordan, μεταφέροντας την ισχυρότατη επιρροή των θετικιστικών ιδεών στο επιστημονικό πεδίο, είχαν θέσει ως τελικό στόχο του συγκεκριμένου προγράμματος την ολοσχερή απάλειψη των 'μη-παρατηρήσιμων' όρων από το υφιστάμενο τότε κβαντικό σχήμα. Κατά φυσικό λοιπόν τρόπο, οι δύο επιστήμονες έθεσαν ως κεντρική προκείμενη του όλου εγχειρήματος «την τεράστια σημασία και γονιμότητα θεμελιώδη αρχή, σύμφωνα με την οποία οι μόνες ποσότητες που έχουν τη δυνατότητα να εισαγάγουν στις επιστημονικές θεωρίες 'αληθινούς' νόμους της φύσης είναι εκείνες που μπορούν να προσδιοριστούν μέσω της παρατήρησης» (Born and Jordan, 1925, από Darrigol, 1992, σ. 262).

Βαθύτατα επηρεασμένος από τη συνεργασία του με τους επιστήμονες του Göttingen, ο Heisenberg έθεσε ως κεντρικό στόχο της προαναφερθείσας εργασίας του «την εγκαθίδρυση μιας θεωρητικής κβαντικής μηχανικής *ανάλογης* προς την κλασική», η οποία όφειλε όμως «να εμπεριέχει *μόνο* παρατηρησιακούς όρους» (Heisenberg, 1925, σ. 262). Διατυπώνοντας λοιπόν την υπόθεση ότι «η συνθήκη συχνότητας των Bohr – Einstein ... απάλειψε κάθε ελπίδα μίας μελλοντικής παρατήρησης μεγεθών όπως η θέση ή η περίοδος και ότι η μερική συμφωνία του υφιστάμενου θεωρητικού σχήματος με την εμπειρία όφειλε να θεωρηθεί ως συμπτωματική» (στο ίδιο, σ. 262), ο Heisenberg αγνόησε όλες τις χωρο-χρονικές εικόνες της κλασικής θεωρίας και διαμόρφωσε ένα *λογικώς συνεκτικό* θεωρητικό σχήμα, το οποίο, μέσω της χρήσης κβαντικών και μόνο όρων, παρείχε τη δυνατότητα *στατιστικής πρόβλεψης* των αναμενόμενων κατά τη μετρητική διαδικασία τιμών.

Πέραν του θετικιστικού της όμως προσανατολισμού, η εργασία του Heisenberg εξέφραζε και την πρώτη απόπειρα αυστηρής φορμαλιστικής διατύπωσης των εμπεριεχομένων στην AAB γενικών αρχών. Όπως επισημαίνει ο Darrigol, η εργασία του Heisenberg «συγκροτήθηκε υπό τη δέσμευση τριών βασικών συνθηκών: α) οι

εμπεριεχόμενοι στο θεωρητικό κβαντικό σχήμα όροι όφειλαν να επιδέχονται άμεσης ερμηνείας από τα θεμελιώδη κβαντικά αξιώματα του Bohr, **β)** η προτεινόμενη νέα μηχανική όφειλε να είναι τυπικώς ανάλογη της κλασικής μηχανικής παρουσιάζοντας τη συνηθισμένη ‘αντιστοιχία’ μεταξύ των κλασικών αρμονικών της κίνησης και των κβαντικών μεταπτώσεων και, τέλος, **γ)** η προτεινόμενη νέα μηχανική όφειλε ν’ αποτελεί ένα κλειστό μαθηματικό σχήμα» (Darrigol, 1992, σ. 282). Εντός του συγκεκριμένου πλαισίου θεμελίωσης, ο Heisenberg, παρακάμπτοντας ως ένα βαθμό τις θετικιστικές επιταγές, προχώρησε στην αντικατάσταση του όρου ‘πιθανότητα μετάπτωσης’ με τον όρο ‘πλάτος μετάπτωσης’, έναν όρο που οι Born και Jordan είχαν αρνηθεί ν’ αποδεχθούν στο παρελθόν λόγω της ‘μη-παρατηρησιμότητάς’ του (Darrigol, 1992, σ. 275). Ο Bohr αναγνώρισε αμέσως τη σημαντική συμβολή της συγκεκριμένης εργασίας στην εξέλιξη του κβαντικού φορμαλισμού. Δεν παρέλειψε όμως να υπογραμμίσει, παράλληλα, και τη στενή συγγένεια της εργασίας του Heisenberg με την AAB, μία συγγένεια που παρουσιάστηκε με τον ακόλουθο τρόπο.

(A5.4) «Σε αντίθεση με τη συνηθισμένη μηχανική, η νέα κβαντική μηχανική δεν προβαίνει σε χωρο-χρονικές περιγραφές της κίνησης των ατομικών σωματιδίων. Λειτουργεί με πολύμορφους σχηματισμούς ποσοτήτων, οι οποίοι αντικαθιστούν τις αρμονικές συνιστώσες της κίνησης και συμβολίζουν τις δυνατότητες μετάπτωσης μεταξύ των στάσιμων καταστάσεων με τρόπο συμβατό προς την AAB. Οι ποσότητες αυτές ικανοποιούν ορισμένες σχέσεις, οι οποίες υποκαθιστούν τόσο τις μηχανικές εξισώσεις κίνησης όσο και τους κβαντικούς κανόνες. ... Η θεωρία αυτή είναι δομημένη κατά τέτοιο τρόπο ώστε εναρμονίζεται αυτομάτως με τα αξιώματα της κβαντικής θεωρίας. ... Εν συντομία, όλο το οικοδόμημα της νέας κβαντικής μηχανικής μπορεί να θεωρηθεί ως ακριβής διατύπωση των φερόμενων από την AAB τάσεων» (Bohr, 1925α, *NBCW5*, σ. [280]).

Από την άλλη πλευρά, οι επιστήμονες του Göttingen, παραβλέποντας τη ‘μη-παρατηρησιμότητα’ ορισμένων όρων της καινούργιας θεωρίας, δεν δίστασαν να την αναγνωρίσουν ως το πρώτο αποφασιστικό βήμα προς το επιζητούμενο από τους ίδιους ‘μαθηματικό σχήμα’ των υποατομικών συστημάτων, ένα σχήμα που όφειλε να χαρακτηρίζεται από «την ενότητα, την απλότητα ... και τον ‘κλειστό’ χαρακτήρα της κλασικής μηχανικής» (Born, Heisenberg, and Jordan, 1925, σ. 322). Εκτιμώντας δε την ουσιαστική συνεισφορά της AAB στη διαμόρφωση της νέας θεωρίας, προχώρησαν ακόμη περισσότερο: μέσω της AAB φαινόταν πλέον εφικτή «η περιγραφή του τρόπου μετάπτωσης της συμβολικής κβαντικής γεωμετρίας στην οπτικοποιήσιμη κλασική γεωμετρία» (στο ίδιο, 1925, σ. 322), ένα εγχείρημα που τέθηκε άμεσα σ’ εφαρμογή. Παρερμηνεύοντας λοιπόν ολοσχερώς τη μεθοδολογική λειτουργία της AAB, οι επιστήμονες του Göttingen ανέλαβαν τη θετικιστικής απόχρωσης υποχρέωση να αναγάγουν, μέσω λογικών ‘κανόνων αντιστοίχισης’ –

όπως η AAB κατά τη γνώμη τους προέβλεπε – το ‘συμβολικό’ σχήμα της κβαντικής θεωρίας στη συνδεδεμένη με την εμπειρία ‘οπτικοποιήσιμη’ κλασική γεωμετρία.³⁶

Ο Bohr παρέμενε επιφυλακτικός έναντι της επικρατούσας γενικής ευφορίας. Γιατί, ενώ το νέο κβαντικό σχήμα διακρινόταν για τη λογική του συνοχή και την προβλεπτική του επάρκεια, φαινόταν ανίκανο να ενισχύσει την προσπάθεια προσέγγισης μιας συνεκτικής φυσικής ερμηνείας της κβαντικής θεωρίας. Έτσι, ενώ δεν αρνιόταν την «ουσιαστική συμβολή των μαθηματικών εργαλείων στην ‘ορθολογική’ θεμελίωση της νέας κβαντικής μηχανικής» (Bohr, 1925a, *NBCW5*, σ. [280]), φρόντιζε ταυτόχρονα να επισημαίνει όλα εκείνα τα σημεία στα οποία η θεώρηση του Heisenberg αποδεικνυόταν *ερμηνευτικώς ανεπαρκής*. Το ακόλουθο απόσπασμα είναι χαρακτηριστικό των κριτικών του αποτιμήσεων.

(A5.5) «Είναι γεγονός ότι όλες ποσότητες που εμφανίζονται στη νέα θεωρία εξαρτώνται μόνο από την ύπαρξη των στάσιμων καταστάσεων και από την πιθανότητα μετάπτωσης μεταξύ αυτών. Η νέα θεωρία αποφεύγει, κατ’ αυτόν τον τρόπο, κάθε αναφορά στις χρονικές στιγμές κατά τις οποίες συμβαίνουν οι εν λόγω μεταπτώσεις. ... Ο περιορισμός όμως αυτός επιτρέπει να έρθουν στο φως *κάποιες* μόνο από τις πλευρές της αναλογίας μεταξύ της κβαντικής και της κλασικής θεωρίας, εκείνες οι πλευρές που σχετίζονται με την ακτινοβολία των ατόμων. Είναι δε ως προς αυτές και μόνο τις ιδιότητες που η θεωρία του Heisenberg συνιστά μια ουσιαστική πρόοδο. Η επιβεβαίωση όμως της ισχύος των νόμων διατήρησης κατά τις ατομικές αλληλεπιδράσεις αναδεικνύει *κάποιες παντελώς διαφορετικές* όψεις αντιστοιχίας μεταξύ της κλασικής και κβαντικής θεωρίας. Οι πλευρές αυτές είναι *εξίσου ουσιαστικές* για τη γενική θεμελίωση της κβαντικής θεωρίας και είναι αδύνατο να παραβλεφθούν, όταν μελετάται διεξοδικότερα το πρόβλημα» (Bohr, 1925a, *NBCW5*, σ. [280]).

Σύμφωνα με μεταγενέστερη εκτίμηση του Heisenberg, οι επιφυλάξεις του Bohr έναντι της θεωρίας των μητρών εκκινούσαν από το γεγονός ότι «η νέα κβαντική θεωρία αδυνατούσε να επιλύσει το πρόβλημα της χρήσης *των κατάλληλων λέξεων*» (Heisenberg, 1963, σ. 6). Τι θα μπορούσε όμως να σημαίνει ο ισχυρισμός αυτός;

Η θεωρία του Heisenberg πρότεινε την αντικατάσταση των κλασικών όρων που είχαν εισαχθεί μέσω της AAB στο κβαντικό πλαίσιο με νέους κβαντικούς όρους,³⁷ κατ’ αυτόν δε τον τρόπο διαμορφώθηκε το φορμαλιστικό σχήμα της ‘κβαντικής κινηματικής’. Το συγκεκριμένο όνομα δεν επιλέχθηκε τυχαία: υποδήλωνε *τη διατήρηση* της υποδεικνυόμενης από την AAB αναλογίας μεταξύ της νέας κβαντικής

³⁶ Το πρόγραμμα αναγωγής της ‘συμβολικής’ κβαντικής γεωμετρίας στην ‘οπτικοποιήσιμη’ κλασική γεωμετρία συνέβαλε μεν στην εξέλιξη των μαθηματικών εργαλείων της κβαντικής θεωρίας, δεν συνάντησε όμως ποτέ την ολοκλήρωσή του.

³⁷ Όταν δημοσιεύτηκε η συγκεκριμένη εργασία, ο Heisenberg δεν είχε ακόμη συνειδητοποιήσει ότι τα εμπειροεχόμενα σ’ αυτήν ‘περίεργα’ κβαντικά σύμβολα αντιστοιχούσαν σε μαθηματικούς πίνακες που υπάκουαν στην ήδη διατυπωμένη ‘άλγεβρα των μητρών’. Το γεγονός αυτό αποδείχθηκε μερικές εβδομάδες αργότερα (Born, Heisenberg and Jordan, 1925), έκτοτε δε η εργασία του Heisenberg αναφέρεται συνήθως ως ‘μηχανική των μητρών’ (‘matrix theory’).

κινηματικής και της κλασικής κινηματικής που αυτή αντικατέστησε. Έτσι, ο κλασικός λόγος χάριν όρος ‘θέση’ αντικαταστάθηκε από έναν μαθηματικό τελεστή που υπάκουε στην άλγεβρα των μητρών. Η θεωρία του Heisenberg κατέληγε στη στατιστική πρόβλεψη των τιμών των παρατηρούμενων μεγεθών (π.χ. των θέσεων ή των ορμών του υπό μελέτη ατομικού συστήματος), οι πειραματικές της δε προβλέψεις επικυρώνονταν σ’ εντυπωσιακό πλάτος βαθμό από την εμπειρία. Κατά την αντίληψη όμως του Bohr, ‘το πρόβλημα της χρήσης των κατάλληλων λέξεων’ δεν είχε ακόμη επιλυθεί. Κι’ αυτό, για τους ακόλουθους λόγους.

Κατ’ αρχήν, η νέα κβαντική μηχανική αδυνατούσε να νοηματοδοτήσει τους θεωρητικούς της όρους. Έτσι, ο τελεστής λόγος χάριν της ‘θέσης’ παρέμενε νοηματικά ασύνδετος με τον αντίστοιχο παρατηρησιακό όρο, ο οποίος συνέχιζε να φέρει το κλασικό του νόημα: κατά την παρατήρηση, ο εντοπισμός του υποατομικού συστήματος εξακολουθούσε να γίνεται αντιληπτός σύμφωνα με τον οριζόμενο από την κλασική θεωρία τρόπο (σαφής προσδιορισμός της θέσης του συστήματος στον τρισδιάστατο χώρο). Επιπροσθέτως, η νέα κβαντική θεωρία, καθώς απέφευγε ‘κάθε αναφορά στις χρονικές στιγμές’, αναιρούσε κάθε δυνατότητα διεξαγωγής χωρο-χρονικών περιγραφών (A5.5). Εν τούτοις, η έννοια της ‘παρατήρησης’ – μία έννοια που διαμόρφωνε, σημειωτέον, το επιστημολογικό υπόβαθρο της θεώρησης του Heisenberg – ήταν εκ φύσεως συνδεδεμένη με τις κατά το κλασικό πρότυπο χωρο-χρονικές περιγραφές. Το συγκεκριμένο ζήτημα εκτίθεται ξεκάθαρα από τον Bohr σε μια αναδρομική θεώρηση της θεωρίας των μητρών υπό το φως της προτεινόμενης μέσω της συμπληρωματικότητας ερμηνείας. Ας τον παρακολουθήσουμε.

(A5.6) «Η θεωρία των μητρών εκλήφθηκε, συχνά, ως ένα σύστημα υπολογισμών που οδηγεί σε ευθέως παρατηρήσιμες ποσότητες. Πρέπει όμως να θυμόμαστε ότι οι περιγραφόμενες, μέσω της συγκεκριμένης θεωρίας, διαδικασίες περιορίζονται σ’ εκείνα μόνο τα προβλήματα, στα οποία η εφαρμογή του κβαντικού αξιώματος επιβάλλει σε μεγάλο βαθμό την παράβλεψη των χωρο-χρονικών περιγραφών. Κατ’ αυτόν όμως τον τρόπο, ό,τι αποκαλείται ‘παρατήρηση’, με το αυθεντικό νόημα του όρου, τίθεται στο παρασκήνιο» (Bohr, 1927α, *ATDN*, σ. 72).

Οι επιφυλάξεις τέλος του Bohr έναντι της θεωρίας των μητρών οφείλουν ν’ αποδοθούν και στην αδυναμία της τελευταίας να προσφέρει μια ενιαία και συνεκτική ερμηνεία των φαινομένων της ακτινοβολίας. Πράγματι, όταν ο Bohr επισήμαινε ότι η θεωρία των μητρών ‘επέτρεπε να έρθουν στο φως κάποιες μόνο από τις πλευρές της αναλογίας μεταξύ της κβαντικής και της κλασικής θεωρίας’ (A5.5), υποδείκνυε την αδυναμία της θεωρίας του Heisenberg να επιλύσει το ‘παράδοξο’ του δυϊσμού κύματος – σωματιδίου. Όπως ο Heisenberg περιέγραψε την κατάσταση αργότερα, «ο

Bohr είχε την τάση να πηγαίνει συνέχεια μπρος – πίσω μεταξύ της εικόνας του κύματος και αυτής του σωματιδίου ... Τα παράδοξα αυτά ήταν τόσο πολύ χαραγμένα στο μυαλό του, ώστε ήταν αδύνατο να φανταστεί ότι κάποιος θα μπορούσε να τα επιλύσει, ακόμη κι' αν είχε στα χέρια του το πιο θαυμαστό μαθηματικό σχήμα του κόσμου» (Heisenberg, 1963, *AHQP*, σ. 11). Γιατί «ο Bohr δεν ενδιαφερόταν και πολύ για τα μαθηματικά σχήματα» (στο ίδιο, σ. 6). Υπ' αυτό λοιπόν το πρίσμα, ο Bohr εξέλαβε τη μηχανική των μητρών ως εφελτήριο «μιας καινούργιας φάσης της συνεχιζόμενης μάχης με τις μυστηριώδεις δυσκολίες των κβαντικών φαινομένων». Εφόσον δε «τα μαθηματικά παρείχαν πλέον τα εργαλεία για την προετοιμασία της περαιτέρω προόδου», η εργασία του Heisenberg όφειλε να εκτιμηθεί «για τη συμβολή της στη διάνοιξη ενός καινούργιου πεδίου αμοιβαίας προωθητικής αλληλεπίδρασης των μαθηματικών με τη μηχανική» (Bohr, 1925, *NBCW5*, σ. [280]).

Επανερχόμενοι τώρα στο σημείο εκκίνησης της παρούσας ενότητας, μπορούμε να ισχυρισθούμε πλέον με πειστικότητα ότι η απόδοση θετικιστικών τάσεων στη θεώρηση του Bohr μπορεί βάσιμα να κριθεί ως ανεπαρκώς, τουλάχιστον, τεκμηριωμένη. Θα υπογραμμίσουμε και πάλι δύο κρίσιμα σημεία.

Πρώτον, το ορισθέν μέσω της AAB ερευνητικό πρόγραμμα ουδέποτε επεδίωξε τη θεμελίωση της υπό αναζήτηση κβαντικής θεωρίας σε μια 'ουδέτερη' παρατηρησιακή γλώσσα ή στη γλώσσα της κλασικής φυσικής, γεγονός που θα διασφάλιζε τη σωρευτική ανάπτυξη της επιστημονικής γνώσης σύμφωνα με το θετικιστικό πρότυπο. Η εισαγωγή των κλασικών εννοιών στο κβαντικό πλαίσιο είχε ως αποκλειστικό προορισμό τη διασφάλιση των *επιστημολογικών προϋποθέσεων* για την προσέγγιση μιας 'πέραν των φαινομένων' φυσικής ερμηνείας των κβαντικών διαδικασιών.

Δεύτερον, ως προς τη σημασία ακριβώς των 'φαινομένων' εντός του πλαισίου της κατά Bohr θεώρησης, οφείλουμε και πάλι να τονίσουμε ότι ο Bohr ουδέποτε πρόβαλε ή υπαινίχθηκε μια φαινομεναλιστική θέση περί νοήματος κατά το πρότυπο ορισμένων θετικιστικών εκδοχών. Ο Bohr, όχι μόνο λάμβανε σταθερά υπόψη του τη *μη-σταθερότητα* του νοήματος των παρατηρησιακών όρων και, κατ' επέκταση, την αδυναμία των 'φαινομένων' να προσδίδουν νόημα στη γλώσσα της θεωρίας, αλλά, πολύ περισσότερο, συνέδεε συστηματικά το νόημα των παρατηρησιακών όρων με το εννοιολογικό σύστημα της θεωρίας στην οποία αυτοί κάθε φορά εντάσσονταν. Σταθερή του δε επιδίωξη ήταν η προσέγγιση μιας συνεκτικής φυσικής ερμηνείας της κβαντικής θεωρίας που θα βασιζόταν στην κατανόηση των *υποκείμενων στα*

φαινόμενα μηχανισμών. Η τελευταία αυτή παρατήρηση μας εισάγει με φυσικό τρόπο στο ζήτημα της ‘επιστημονικής εξήγησης’

2. Κοινό ‘μέτρο’ βάσει του κοινού νοήματος που προσδίδουν στις έννοιες οι γενικές αρχές ενός ενιαίου λογικού – παραγωγικού σχήματος.

2.1. Η ενοποίηση της επιστημονικής γνώσης ως ‘επιστημονική εξήγηση’

Η αναγνώριση της ανεπάρκειας των εμπειρικών δεδομένων (και, κατ’ επέκταση, των παρατηρησιακών γλωσσών) να εξαντλήσουν το γνωσιακό περιεχόμενο των επιστημονικών θεωριών προκάλεσε, όπως είδαμε, τη σταδιακή μετατόπιση προς μοντέλα ‘ορθολογικότητας’ που πρότασαν τον *παραγωγικό* χαρακτήρα της επιστημονικής αναζήτησης (§A-4.1). Σ’ αυτήν την κατεύθυνση, μια θεωρία οριοθετείται ως επιστημονική, όχι βάσει της δυνατότητάς της να δομείται από, ή ν’ ανάγεται σε, μία ‘ουδέτερη’ παρατηρησιακή γλώσσα, αλλά βάσει της δυνατότητάς της να προσφέρει μια αξιόπιστη *εξήγηση* ενός συνόλου πειραματικών δεδομένων. Το ερώτημα βεβαίως που τίθεται άμεσα είναι τι ακριβώς σημαίνει ‘αξιόπιστη’ εξήγηση.

Το παραγωγικό – νομολογικό μοντέλο (το ‘κλασικό’ D-N μοντέλο του Hempel, 1966, σσ. 300-315) αντιλαμβάνεται την επιστημονική εξήγηση ως *παραγωγικό επιχείρημα* από το οποίο προκύπτει ως συμπέρασμα η ‘προς εξήγηση πρόταση’ (‘explanandum sentence’), μια πρόταση που περιγράφει το ‘προς εξήγηση φαινόμενο’ (‘explanandum phenomenon’). Για να εκληφθεί δε ένα επιχείρημα ως επιστημονική εξήγηση οφείλει να εμπεριέχει ως ‘εξηγούσες προτάσεις’ (‘explanan sentences’) δύο κατηγορίες προτάσεων: **α)** προτάσεις που έχουν χαρακτήρα ‘γενικών νόμων’ (‘covering laws’),³⁸ νόμων δηλαδή που εκφράζουν εμπειρικές κανονικότητες, και **β)** προτάσεις που έχουν ‘βοηθητικό’ χαρακτήρα, εφόσον περιγράφουν διαπιστώσεις για συγκεκριμένα γεγονότα ή ορίζουν αρχικές συνθήκες.

Κατά την αντίληψη του Hempel, μία αξιόπιστη φυσική εξήγηση ικανοποιεί δύο απαραίτητες προϋποθέσεις: *Πρώτον*, «την προϋπόθεση της ‘εξηγητικής συνάφειας’ [‘explanatory relevance’]: η εξηγητική πληροφορία που παρατίθεται παρέχει ισχυρούς λόγους για να πιστεύει κανείς ότι το προς εξήγηση φαινόμενο εμφανίστηκε ή πρόκειται να εμφανιστεί» (Hempel, 1966, σ. 300). *Δεύτερον*, «την προϋπόθεση της ‘της ελεξιμότητας’ (‘testability’): οι προτάσεις που συγκροτούν μία επιστημονική εξήγηση οφείλουν να επιδέχονται εμπειρικό έλεγχο» (στο ίδιο, σ.300). Όπως μας

³⁸ Στην περίπτωση που οι γενικοί νόμοι έχουν στατιστικό χαρακτήρα, τότε οι νόμοι αυτοί «παρέχουν εξηγήσεις υπό μια ασθενέστερη, επαγωγική έννοια» (Hempel, 1966, σ. 302).

διαβεβαιώνει, τώρα, ο Hempel, «οι παραγωγικές – νομολογικές εξηγήσεις ικανοποιούν την προϋπόθεση της ‘εξηγητικής συνάφειας’ με την ισχυρότερη σημασία που μπορεί αυτή να έχει: η προς εξήγηση πρόταση συνάγεται από την προσφερόμενη εξηγητική πληροφορία με αμιγώς παραγωγικό τρόπο. Η εξηγητική, επομένως, πληροφορία προσφέρει λογικά αποδείξιμους λόγους σε σχέση με το ‘γιατί’ το προς εξήγηση φαινόμενο αναμένεται να συμβεί ... [Οι παραγωγικές – νομολογικές εξηγήσεις] ικανοποιούν, εξίσου ικανοποιητικά, και την προϋπόθεση ‘της ελεγχιμότητας’, εφόσον οι εξηγούσες προτάσεις ορίζουν, μεταξύ άλλων, ότι, εάν πληρούνται οι ορισθείσες συνθήκες το προς εξήγηση φαινόμενο θα εμφανιστεί» (στο ίδιο, σ. 302). Τέλος, μία παραγωγική – νομολογική εξήγηση κρίνεται ιδιαίτερα επιτυχής, «όταν ορισμένες ποσοτικές ιδιότητες ενός φαινομένου εξηγούνται μέσω *μαθηματικής παραγωγής* από ‘γενικούς νόμους’ (στο ίδιο, σ. 302).

Ο Popper, κινούμενος σε ανάλογη κατεύθυνση, όρισε εξ αρχής ως *πρωταρχικό σκοπό* της επιστήμης την *απόδοση εξηγήσεων*. Θέτοντας δε ως κεντρική προκείμενη της διαψευσιοκρατικής του θεώρησης τον ισχυρισμό ότι «δεν μπορούμε ποτέ να συναγάγουμε μια επιστημονική θεωρία από προτάσεις της παρατήρησης», κατέληξε στη διατύπωση μιας θεώρησης «για τη δοκιμή και το σφάλμα, τις εικασίες και τις ανασκευές, ... [μιας θεώρησης που αποσκοπούσε να συμβάλει] στην κατανόηση του γεγονότος ότι οι προσπάθειές μας να *επιβάλλουμε* στον κόσμο εξηγήσεις προηγούνται λογικά από την παρατήρηση» (Popper, 1953, σσ. 78-79). Κατά την αντίληψη συνεπώς του Popper, η επιστημονική γνώση αναπτύσσεται υπό το φως *γενικών αρχών* (υποθέσεων και εικασιών) που οφείλουν να είναι *επιδεκτικές ελέγχου* για να διανοίγουν στο μέγιστο δυνατό βαθμό την προοπτική της εμπειρικής τους *διάψευσης*.

Εάν ακολουθήσει κανείς τις επιστημολογικές κατευθύνσεις των ανωτέρω προσεγγίσεων, είναι υποχρεωμένος να δεχθεί ότι το περιεχόμενο της εκάστοτε προτεινόμενης επιστημονικής θεωρίας εξαρτάται τόσο από τη δική της θεωρητική δομή όσο και από τις θεωρητικές δομές των θεωριών που προσφέρουν τις βοηθητικές υποθέσεις. Έτσι, είναι υποχρεωμένος συνακόλουθα να δεχθεί ότι και οι επιστημονικές μέθοδοι που εφαρμόζονται για την επίτευξη προβλέψεων προς ‘επικύρωση’ ή ‘διάψευση’ μιας θεωρίας³⁹ είναι επίσης ‘θεωρητικώς εξαρτώμενες’: το προκύπτον από την εφαρμογή τους αποτέλεσμα εξαρτάται άμεσα από τον τρόπο συγκρότησης του θεωρητικού πλαισίου που καθοδηγεί την πειραματική έρευνα.

³⁹ Οι αναδρομικές προβλέψεις εμπίπτουν επίσης στην κατηγορία των ‘επιστημονικών εξηγήσεων’. Αποτελούν ‘*ex post facto*’ προβλέψεις.

Η αναπόδραστη λοιπόν αναγνώριση του ουσιαστικού ρόλου που διαδραματίζει ο τρόπος δόμησης των θεωρητικών σχημάτων στην περαιτέρω εξέλιξη της επιστημονικής έρευνας προκάλεσε μια καθολική σχεδόν μετατόπιση των αντιλήψεων σε σχέση με τη *νοηματοδότηση των επιστημονικών όρων*. Γιατί οι παρατηρησιακές προτάσεις *ως θεωρητικώς εξαρτώμενες* έχαναν πλέον τον θεμελιακό τους χαρακτήρα. Έτσι, ο Hempel ορίζει δύο παράγοντες που καθορίζουν τι ακριβώς ‘σημαίνει’ μια έκφραση σε σχέση με τα υφιστάμενα ή τα σκοπευόμενα εμπειρικά δεδομένα. Ο πρώτος παράγοντας είναι «*το γλωσσικό πλαίσιο L στο οποίο ανήκει η συγκεκριμένη έκφραση, ένα πλαίσιο του οποίου οι κανόνες προσδιορίζουν επακριβώς ποιες προτάσεις (παρατηρησιακές ή μη) μπορούν να συναχθούν από έναν ισχυρισμό ή μια κατηγορία ισχυρισμών*». Ο δεύτερος παράγοντας είναι «*το θεωρητικό πλαίσιο στο οποίο εμφανίζεται η συγκεκριμένη έκφραση, ένα πλαίσιο που περιλαμβάνει όλους εκείνους τους ισχυρισμούς που [αν και δεν υπόκεινται στους γλωσσικούς κανόνες του L] μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως βοηθητικές υποθέσεις*» (Hempel, 1950, σ. 78).

Παρατηρούμε, λοιπόν, ότι αναγνωρίζεται όλο και περισσότερο ο *ολιστικός* χαρακτήρας της επιστημονικής γνώσης: οι επιστημονικοί όροι (θεωρητικοί και εμπειρικοί) προσλαμβάνουν πλέον το νόημά τους από το γλωσσικό και θεωρητικό πλαίσιο στο οποίο ανήκουν. Γιατί, όπως επισημαίνει ο Hempel, «*γνωσιακή σημασία μπορεί ν’ αποδοθεί μόνο σε προτάσεις που αποτελούν μέρος ενός θεωρητικού συστήματος ή μάλλον στο σύστημα ως όλον*. Τα συστήματα, όμως, στα οποία μπορεί ν’ αποδοθεί σημασία καταλαμβάνουν ένα ευρύ φάσμα που ξεκινά από συστήματα των οποίων το μη-λογικό λεξιλόγιο αποτελείται συνολικά από παρατηρησιακούς όρους, συμπεριλαμβάνει συστήματα των οποίων η διατύπωση στηρίζεται κυρίως σε θεωρητικές κατασκευές και καταλήγει σε συστήματα που εξαρτώνται ελάχιστα από δυνατές μελλοντικές εμπειρικές ανακαλύψεις». Έτσι, ο Hempel προτείνει το εξής: «*αντί να διχοτομούμε το συγκεκριμένο φάσμα σε συστήματα με ή χωρίς σημασία, είναι πιο εποικοδομητικό να προχωρούμε στην αξιολόγηση των συστημάτων ή στη μεταξύ τους σύγκριση βάσει συγκεκριμένων κριτηρίων*» (Hempel, 1950, σ. 81).

Η προτεινόμενη διαδικασία αξιολόγησης έχει ως βασικό μέλημα την αποτίμηση της ‘εξηγητικής ισχύος’ της υπό κρίση θεωρίας, την αποτίμηση δηλαδή της εγγενούς της ικανότητας να συνενώνει κατά το δυνατόν μεγαλύτερο μέρος της επιστημονικής γνώσης σ’ ένα ενιαίο θεωρητικό πλαίσιο. Κατά την αντίληψη, λόγου χάριν, του Hempel, μια καλά επιλεγμένη δομή, καθώς εμπεριέχει ‘γενικούς νόμους μεγάλης εμβέλειας και ενάργειας’, ενέχει εκ φύσεως τη δυνατότητα να προσαρμόζεται σε

‘νέες γενικές συνδέσεις’. Μια τέτοια όμως δυνατότητα της προσδίδει τη ‘λειτουργική ικανότητα’ να προωθεί με αποφασιστικό τρόπο την επιστημονική εξέλιξη (Hempel, 1950, σ. 81). Ο Popper, κινούμενος σε ανάλογη κατεύθυνση, ορίζει την επιστήμη «ως τέχνη της συστηματικής υπεραπλούστευσης ή της επωφελούς παράληψης» και προβάλλει τη διαδικασία ενοποίησης ως αδιάψευστο σημάδι επιστημονικής προόδου: «όταν μια θεωρία που αντιστοιχεί σ’ ένα ανώτερο επίπεδο παγκοσμιότητας επιτυγχάνει να ερμηνεύσει επιτυχώς κάποια παλαιότερη, διορθώνοντάς την, πιστοποιείται με σιγουριά το γεγονός ότι η νέα θεωρία κατάφερε να διεισδύσει βαθύτερα σε σχέση με τις παλαιότερες» (Popper, 1973, σ. 202).

Υπό μία ευρεία λοιπόν έννοια, οι θεωρήσεις των Hempel και Popper μπορούν να ενταχθούν στη φιλοσοφική εκείνη παράδοση που υποστηρίζει την ‘καθολική σύλληψη της εξήγησης’ (σύμφωνα με τον όρο που εισήγαγε ο Friedman, 1974), μια παράδοση που, παρά τις σημαντικές εσωτερικές της διαφοροποιήσεις, τοποθετεί την αξία της επιστημονικής εξήγησης στη γλωσσική της ικανότητα να συνταιριάζει τα φυσικά φαινόμενα σε μια *καθολική δομή*, σε μια δομή που καλύπτει κατά το δυνατόν ευρύτερα τμήματα του σύμπαντος. Όπως διατείνεται, λόγου χάριν, ο Friedman, «η κατανόηση του σύμπαντος αυξάνεται όσο μειώνεται, μέσω της διαδικασίας ενοποίησης, το πλήθος των ανεξάρτητων παραδοχών που χρειάζονται για την περιγραφή του» (Friedman, 1974, σ. 16). Ο συγκεκριμένος ισχυρισμός καταγράφει τη σαφή αποστασιοποίηση της πλειοψηφίας των ενοποιητικών προσεγγίσεων από τις ποικίλες εκφάνσεις του θετικισμού: η ανάπτυξη των φυσικών επιστημών δεν τεκμηριώνεται πλέον από τη συνάθροιση συμβολικών γλωσσικών σχημάτων που επιβεβαιώνονται ή επικυρώνονται από προοδευτικώς ευρύτερα πεδία της εμπειρίας, αλλά από την ουσιαστική *εξέλιξη* της επιστημονικής εξήγησης. Καθώς δε η επιστημονική εξήγηση αποσκοπεί σε μια «αντικειμενική, εις βάθος κατανόηση» (Hempel, 1965, σ. 345), η εξηγητική επάρκεια μιας καινούργιας θεωρίας αξιολογείται «συναρτήσει της ενεργού της συμβολής στην κατανόηση του μέγιστου δυνατού αριθμού γεγονότων και κανονικοτήτων μέσω του ελάχιστου δυνατού αριθμού θεωρητικών εννοιών και παραδοχών» (Feigl, 1970, σ. 12).

Η θεωρητικώς εξαρτώμενη εμπειρία και η εξάρτηση των ερευνητικών μεθόδων από το θεωρητικό πλαίσιο της εκάστοτε προτεινόμενης θεωρίας μπορούσαν βεβαίως να μετατρέψουν ολόκληρο το οικοδόμημα της επιστημονικής γνώσης (τόσο το λογικό όσο και το εμπειρικό του περιεχόμενο) σε μια απλή ‘σύμβαση’ υποκείμενη, κατά το πρότυπο του συμβασιοκρατικού μοντέλου του Poincaré, στις διαισθητικές επιλογές

του υποκειμένου. Καθώς λοιπόν η σημειωθείσα εξέλιξη διάνοιγε την προοπτική ιδεαλιστικών παρεκκλίσεων, πολλοί εμπειριστές φιλόσοφοι (υπό την ευρεία έννοια του όρου) άρχισαν να προσφεύγουν σε ποικίλλουσες, όσον αφορά την ισχύ τους, αλλά σε κάθε περίπτωση διακριτές οντολογικές αναφορές. Ο Hempel, λόγου χάριν, αισθάνθηκε την ανάγκη να διευκρινίσει ότι «η θεωρητική εξήγηση δεν επιδιώκει μια διαισθητική και ισχυρώς υποκειμενική μορφή κατανόησης, αλλά, αντίθετα, μια αντικειμενική, βαθύτερη μορφή κατανόησης που επιτυγχάνεται μέσω της συστηματικής ενοποίησης των φαινομένων: τα φαινόμενα παρουσιάζονται ως εκδηλώσεις κοινών υποκειμένων δομών και διαδικασιών που εναρμονίζονται με τις ελέγξιμες βασικές αρχές της προτεινόμενης θεωρίας» (Hempel, 1965, σ. 345).

Εάν δε ο Hempel, εκφράζοντας τις απολήξεις του λογικού εμπειρισμού, προχωρά σε μια υπαινικτική σχεδόν επίκληση οντολογικών χαρακτηριστικών της φυσικής πραγματικότητας, ο Popper, προσπαθώντας να αποποιηθεί τη μη-ρεαλιστική τάση που του αποδόθηκε,⁴⁰ διατυπώνει μια μάλλον ισχυρή ρεαλιστική θέση. Όπως ισχυρίζεται, «η αναγνώριση του γεγονότος ότι όλες οι γλώσσες είναι διαποτισμένες από θεωρία σήμανε για μένα την ανάγκη ριζικής αναθεώρησης του εμπειρισμού ... Αναγνώρισα, διαδοχικά, την κριτική στάση ως χαρακτηριστικό της ορθολογικής στάσης, την παραγωγική λογική ως όργανο της κριτικής και, τέλος, την κριτική λειτουργία της γλώσσας. Έτσι, συνειδητοποίησα ότι μόνο μια αυστηρώς διατυπωμένη θεωρία μπορεί να είναι αντικειμενική και ότι είναι ακριβώς αυτή η αντικειμενικότητα που καθιστά δυνατή την κριτική» (Popper, 1971, σ. 31). Όμως, επισημαίνει σε άλλο σημείο, «η κριτική συζήτηση των θεωριών κυριαρχείται από την ιδέα της εύρεσης μιας αληθινής (και ισχυρής) επεξηγηματικής θεωρίας. Η αλήθεια αναλαμβάνει το ρόλο μιας κανονιστικής ιδέας» (Popper, 1971, σ. 30). Ακόμη περισσότερο, η αυστηρή διατύπωση των θεωριών και η παραγωγική λογική επιτρέπουν πλέον σε κάποιον να ισχυρίζεται ότι «η επιστήμη σκοπεύει στην αλήθεια με την έννοια της αντιστοιχίας στα γεγονότα της πραγματικότητας ή ότι η θεωρία της σχετικότητας επιτυγχάνει μια καλύτερη προσέγγιση στην αλήθεια απ' ό,τι η Νευτώνεια θεωρία». Με άλλα λόγια, «η κριτική θεωρία της επιστήμης» επιτρέπει πλέον σε κάποιον να επικαλείται «την έννοια της 'προσέγγισης στην αλήθεια,' χωρίς η επίκληση αυτή να εκλαμβάνεται ως λογική παρανόηση ή ως εγχείρημα άνευ νοήματος» (Popper, 1972, σ. 59).

⁴⁰ Όπως ο ίδιος αναφέρει, η Φιλοσοφική Εγκυκλοπαίδεια (1967, Τόμος. 3, σ. 37) παρουσίασε τη φιλοσοφική του θεώρηση ως προσκείμενη στην αντίληψη ότι 'η ίδια η αλήθεια δεν είναι παρά μια ψευδαίσθηση' (Popper, 1972, σ. 30).

Από όλα τα παραπάνω γίνεται φανερό ότι, στο πλαίσιο των ενοποιητικών προσεγγίσεων, οι διαδικασίες *λογικής αναγωγής* καταλαμβάνουν εκ των πραγμάτων μια ιδιαίτερος προνομιακή θέση. Ο Popper, λόγου χάριν, παρότι εκλαμβάνει ως ‘δογματική’ τη θέση που υποστηρίζει ότι «ο αναγωγισμός είναι *a priori* δυνατός», παραδέχεται ότι «κάθε επιτυχής διαδικασία αναγωγής συνιστά μια τεράστια ανακάλυψη» (Popper, 1966, σ. 292). Το αίτημα όμως του αναγωγισμού δεν συνδέεται πλέον με την ανάγκη απόδοσης νοήματος στους θεωρητικούς όρους μέσω μιας ομοιόμορφα κατανοησίμης ‘ουδέτερης’ παρατηρησιακής γλώσσας κατά το πρότυπο του θετικισμού, αλλά με την ανάγκη μιας κατά το δυνατόν ‘ενοποιημένης εξήγησης’ μέσω μιας *ad hoc* διατυπωμένης, πλην όμως παραγωγικώς συστηματοποιημένης (μέσω αυστηρών λογικών συναγωγών) θεωρίας. Ο Popper καθιστά ιδιαίτερα ευκρινή τη συντελεσθείσα αντιστροφή, όταν υπογραμμίζει ότι «η επιστημονική εξήγηση συνιστά και ανακάλυψη κάθε φορά που εξηγείται το ήδη γνωστό μέσω του αγνώστου» (Popper, 1972, σ. 191). Αυτό σημαίνει ότι μια παλαιότερη θεωρία (το ‘εξηγητέο’) ‘εξηγείται’ από μια νέα (το ‘εξηγούν’ που αποτελεί και το αντικείμενο της έρευνας), όταν η παλαιότερη θεωρία «εμπεριέχεται στο λογικό πλαίσιο που διαμορφώνεται από τις *ad hoc* υποθέσεις της νέας» (Popper, 1972, σ. 192). Η νέα δε θεωρία δικαιούται να εκληφθεί ως ‘ικανοποιητική εξήγηση’ της παλαιότερης, όταν οι επιτυχάνουσες την εξήγηση υποθέσεις της «συντίθενται από ελέγξιμους και διαψεύσιμους γενικούς νόμους και σαφώς καθορισμένες αρχικές συνθήκες» (στο ίδιο, σ. 193).

2.2. Η Αρχή της Αντιστοιχίας υπό το φως των ενοποιητικών θεωρήσεων

Επιστρέφοντας τώρα στην περίοδο γέννησης της κβαντικής θεωρίας, θα επιχειρήσουμε μια συγκριτική θεώρηση της εφαρμοζόμενης μέσω της AAB μεθοδολογίας σε σχέση με τις βασικές θέσεις των ενοποιητικών θεωρήσεων.

1. *Προβολή του αιτήματος της επιστημονικής ‘εξήγησης’*. Όπως ήδη διαπιστώσαμε, ένα από τα σημεία που αναδεικνύουν την ουσιαστική διάσταση των αντιλήψεων του Bohr από τις θετικιστικές θέσεις είναι και η διαρκής του επιδίωξη για την προσέγγιση, *μέσω της εμπειρίας*, μιας ‘πέραν των φαινομένων και της εμπειρίας’ *ερμηνείας* των υποατομικών διαδικασιών (A4.3, A4.8, A5.3). Μπορούμε λοιπόν να ισχυρισθούμε ότι το αίτημα της επιστημονικής ‘εξήγησης’, ως ‘αντικειμενικής, εις βάθος κατανόησης’ (Hempel, 1965, σ. 345), διατρέχει με συνέπεια τόσο τη μεθοδολογική του πρακτική όσο και τη γενικότερη φιλοσοφική του θεώρηση.

2. *Προβολή του αιτήματος της ‘ενοποίησης’ της επιστημονικής γνώσης.* Οφείλουμε επίσης να θυμηθούμε ότι ο Bohr έθετε ως κεντρικό κριτήριο ‘ορθολογικότητας’ για την αποτίμηση της επιστημικής επάρκειας της υπό αναζήτηση κβαντικής θεωρίας (§A-4.3, Πίνακας 1) την ικανότητά της να επιτυγχάνει την ενοποίηση της επιστημονικής γνώσης σ’ ένα ενιαίο ερμηνευτικό σχήμα, ν’ αποδίδει, δηλαδή, μία συνεκτική φυσική ερμηνεία τόσο των επιτυχών εφαρμογών της κλασικής θεωρίας όσο και μιας σειράς εφαρμογών στις οποίες η κλασική θεωρία αποτύγχανε (A4.1, A4.2, A4.3, A4.9, A5.5). Υπ’ αυτήν την έννοια, ο Bohr θα μπορούσε ν’ αναγνωρίσει πρόθυμα μαζί με τους υποστηρικτές της ‘καθολικής εξήγησης’ ότι η ανάπτυξη της φυσικής επιστήμης είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με την εξέλιξη της επιστημονικής εξήγησης και ότι κάθε διαδικασία ‘ενοποίησης’ αποτελεί αδιάψευστο τεκμήριο επιστημονικής προόδου. Θα μπορούσε επίσης να υποστηρίξει ένθερμα μαζί με τον Popper ότι η ‘ανακάλυψη’ της κβαντικής θεωρίας (του ‘αγνώστου’) θα ήταν δυνατό να πιστοποιηθεί ως γεγονός μόνο τη στιγμή που η συγκεκριμένη θεωρία θα αποδεικνυόταν ικανή να ‘εξηγήσει’ την κλασική θεωρία (το ‘ήδη γνωστό’) υπό το πρίσμα της δικής της συνεκτικής κοσμοθεώρησης.

3. *Η διαδικασία της ‘ενοποίησης’ δεν συνδέεται, κατ’ ανάγκην, με τη διατύπωση ενιαίων λογικών – παραγωγικών σχημάτων.* Όπως όμως επίσης διαπιστώσαμε, η κατά Bohr έννοια της ‘ενοποίησης’ και, κατ’ επέκταση, η, υπ’ αυτήν την έννοια, σύλληψη της ‘επιστημονικής εξήγησης’, δεν απέκλειε βεβαίως,⁴¹ αλλά ούτε και προϋπέθετε (όπως λόγου χάριν οι θεωρήσεις των Hempel και Popper) την ένταξη της κλασικής και της κβαντικής θεωρίας σ’ ένα ενιαίο λογικό – παραγωγικό πλαίσιο (§A-4.3 και A4.2, A4.5, A4.6). Σε αντίστροφη δε κατεύθυνση, η διατύπωση ενός ενοποιητικού, αυστηρώς παραγωγικού λογικού σχήματος δεν συνιστούσε, κατ’ ανάγκην, και μια αξιόπιστη επιστημονική εξήγηση: για τον Bohr, ένα θεωρητικό σχήμα, ανεξαρτήτως της λογικής του μορφής, θα μπορούσε πράγματι να σηματοδοτήσει την ‘ανακάλυψη’ της κβαντικής θεωρίας μόνο στο βαθμό που θα αποδεικνυόταν ικανό ν’ ανταποκριθεί με επάρκεια στα τιθέμενα από τον ίδιο κριτήρια ‘ορθολογικότητας’ (§A-4.3, Πίνακας 1). Γιατί, όπως επισημαίνει σχετικά ο Rosenfeld, «κατά την αντίληψη του Bohr, η ‘λογική’ [‘ορθολογική’] ανάλυση δεν περιοριζόταν στην απλή επαλήθευση της

⁴¹ Η διαισθητική όμως πεποίθηση του Bohr ότι η κβαντική θεωρία ήταν δυνατό να επιφέρει μια ‘ριζική απομάκρυνση’ από τις κλασικές ιδέες (A4.1, A4.3) τον απομάκρυνε, εν γένει, από την προσμονή μιας μελλοντικής ένταξης της κλασικής και της υπό αναζήτηση κβαντικής θεωρίας σε ένα ‘ενοποιημένο’ λογικό – παραγωγικό σχήμα.

συνεκτικότητας, μια διαδικασία την οποία θεωρούσε τετριμμένη, αλλά λειτουργούσε ως δυναμικό εργαλείο συγκρότησης για τον προσανατολισμό του νου που διερευνά προς τη σωστή κατεύθυνση» (Rosenfeld, 1967, σ. 117).

4. *Επιφυλάξεις ως προς την ‘καταλληλότητα’ των αυστηρώς παραγωγικών ερευνητικών μεθόδων κατά την αναζήτηση της κβαντικής θεωρίας.* Ο Bohr ουδέποτε απέκλεισε το ενδεχόμενο της τελικής ένταξης της κλασικής και κβαντικής θεωρίας σ’ ένα ενιαίο λογικό σχήμα. Εν τούτοις, παρέμενε πάντα επιφυλακτικός έναντι των αμιγώς παραγωγικών ερευνητικών μεθόδων, εκείνων των μεθόδων που επιχειρούσαν εξ’ αρχής το συγκεκριμένο εγχείρημα. Σύμφωνα με την περιγραφή του Heisenberg, «ένας τρόπος σύλληψης των πραγμάτων που υπαγόρευε ότι πρώτα πρέπει να έχει κανείς το μαθηματικό σχήμα και μετά θα βρει και τη ‘γλώσσα’ αντιπροσώπευε μια στάση ακριβώς αντίθετη από τη δική του» (Heisenberg, 1963, ΑΗQP, σ. 6). Ο Bohr εκλάμβανε συνεπώς ‘τη βαθύτερη κατανόηση της φυσικής σημασίας των θεωρητικών υποθέσεων’, τη βαθύτερη δηλαδή κατανόηση της *φυσικής σημασίας* της επιστημονικής γλώσσας, ως αναγκαία προϋπόθεση του αυστηρού φορμαλισμού (Bohr, 1922β, *NBCW3*, σ. [431]). Μια τέτοια δε στάση μπορεί να νοηθεί ως εύλογη απόληξη μιας συνολικής αντίληψης που «υπογράμμιζε με έμφαση την ανεπάρκεια κάθε μονόπλευρης αναλυτικής διαδικασίας και εκλάμβανε την αρμονία των πραγμάτων ως απόρροια της αλληλεπίδρασης εμφανώς αντικρουόμενων πλευρών» (Rosenfeld, από Folse, 1985, σ. 43). Μπορούμε λοιπόν να θεωρήσουμε ότι η τάση του Bohr ν’ αποφεύγει τη διατύπωση ‘ολοκληρωμένων’ θεωρητικών σχημάτων’ (A3.3, A5.2) και να εξαντλεί κάθε φορά ‘τη μέγιστη δυνατή εφαρμογή των κλασικών εννοιών’ (A3.3, A4.3), εξέφραζε την απόπειρα ακριβώς γνωσιακής – επιστημολογικής διείσδυσης στην ‘αρμονία’ που κατά τη γνώμη του υποκρυπτόταν πίσω από τις φαινομενικώς αντικρουόμενες πλευρές των κβαντικών φαινομένων. Για τον Bohr, μια επιστημονική θεωρία δεν εκλαμβανόταν τόσο ως ‘διαισθητική κατασκευή’ κατά το πνεύμα του Popper ή ως ‘ελεύθερη δημιουργία του νου’ κατά το πνεύμα του Einstein, αλλά, περισσότερο, ως *τελικός στόχος* μιας επίπονης ερευνητικής διαδικασίας που όφειλε μέσω της κατάλληλης μεθοδολογικής πρακτικής να εξαντλεί κάθε απόθεμα της υφιστάμενης γνώσης. Όπως επισημαίνει εύστοχα ο Folse, «η ενότητα της προσέγγισης του Bohr δεν μπορεί ν’ αναγνωρισθεί στην εκκίνησή της, αλλά μόνο στον προορισμό της» (Folse, 1985, σ. 43).

5. Οι απόπειρες ‘ενοποίησης’ μέσω διαδικασιών αναγωγής και η AAB. Ο Popper, συγκεκριμενοποιώντας τη θέση του περί της δυνατότητας θέασης μιας ‘ανακάλυψης’ ως απόληξης μιας σειράς ‘επιτυχών αναγωγιστικών διαδικασιών’, γράφει: «Η απαίτηση ότι η νέα θεωρία οφείλει να εμπεριέχει προσεγγιστικώς την παλαιότερη, για κατάλληλες τιμές των παραμέτρων της, μπορεί ν’ αποκληθεί, εάν ακολουθήσουμε τον Bohr, Αρχή της Αντιστοιχίας» (Popper, 1972, σ. 202). Μία τέτοια διατύπωση μπορεί να θεωρηθεί δικαιολογημένη, εάν αποπειράται κανείς τη λογική σύνδεση *ήδη* θεμελιωμένων θεωριών της ώριμης επιστήμης. Όταν όμως εξειδικεύεται στην AAB, αποκρύπτει τόσο τα ιδιαίτερα επιστημολογικά χαρακτηριστικά της αρχής αυτής όσο και τη *ριζική ρήξη* της κβαντικής θεωρίας με τις κλασικές ιδέες, μια ρήξη που αναδεικνυόταν τόσο πρώιμα από τον Bohr μέσω *ακριβώς* της AAB.

Για τη συνεπή λοιπόν ερμηνεία της μεθοδολογίας του Bohr, πρέπει να υπογραμμίσουμε ότι, όπως ακριβώς οφείλουν να κριθούν ως αδόκιμες όλες εκείνες οι θεωρήσεις που συνδέουν την AAB με κάποια απόπειρα αναγωγής των θεωρητικών κβαντικών όρων σε μια ‘ουδέτερη’ παρατηρησιακή γλώσσα (κατά το θετικιστικό πρότυπο, §5.1.1, §5.1.5), οφείλουν να κριθούν ως *εξίσου* αδόκιμες και όλες εκείνες οι θεωρήσεις που συνδέουν την AAB με κάποια απόπειρα λογικής αναγωγής της κλασικής θεωρίας σ’ ένα *ad hoc* διατυπωμένο θεωρητικό κβαντικό σχήμα. Όσον αφορά δε τις τελευταίες, μπορούμε βάσιμα να ισχυρισθούμε ότι η AAB, όντας σχεδιασμένη για να διασφαλίζει μια αυστηρώς *πλαισιακή* ερευνητική πρακτική, εκφράζει κατ’ ουσία *τον αντίποδα* της αναγωγικής προσέγγισης. Προχωρώντας δε ακόμη περισσότερο, μπορούμε να διακρίνουμε ότι η συνθήκη της ‘μεθοδολογικής πλαισιακότητας’, καθώς επέτρεψε τη σταδιακή πιστοποίηση της *λογικής ασυμβατότητας* του κλασικού και κβαντικού φορμαλισμού, συνέβαλε με κρίσιμο θα λέγαμε τρόπο στην αναγνώριση του γεγονότος ότι η κλασική και η κβαντική θεωρία ήταν αδύνατο να ενταχθούν σ’ ένα ενιαίο λογικό – παραγωγικό πλαίσιο (§B-2).

Οι παρερμηνείες, σε σχέση με τη μεθοδολογική λειτουργία της AAB οφείλουν ν’ αποδοθούν, κυρίως, στην ισχυρή απόκλιση της συγκεκριμένης αρχής τόσο από τις συνήθεις μεθοδολογικές πρακτικές όσο και από τις υποκείμενες στις πρακτικές αυτές αντιλήψεις. Ήταν δε αυτή ακριβώς η απόκλιση που τροφοδότησε τις ισχυρότατες επιφυλάξεις που συνάντησε η AAB κατά την περίοδο της εφαρμογής της. Έτσι, η αντιπαράθεση του Bohr με τον κύκλο του Μονάχου μας παρέχει την ευκαιρία να κατανοήσουμε καλύτερα τη σαφή διαφοροποίηση του ερευνητικού του προγράμματος από τις αυστηρές μαθηματικές μεθόδους επιστημονικής αναζήτησης.

6. *Η Αρχή της Αντιστοιχίας και ο κύκλος του Μονάχου.* Κατά την περίοδο εφαρμογής της AAB, οι επιστήμονες της σχολής του Μονάχου, υπό την καθοδήγηση του Sommerfeld, είχαν θέσει ως κεντρικό στόχο του ερευνητικού τους προγράμματος την επίλυση των προβλημάτων σύζευξης ύλης – ακτινοβολίας μέσω ενός αμιγώς ‘κβαντικού χειρισμού’ που επονομαζόταν ‘θεώρηση σύζευξης’ (‘coupling viewpoint’). Σ’ αυτήν την κατεύθυνση, ένας από τους ερευνητές της σχολής, ο Rubinowicz, εκκινώντας από σαφώς ορισμένες αξιωματικές αρχές και ακολουθώντας αυστηρώς παραγωγικές λογικές συναγωγές, κατόρθωσε να καταλήξει σε ανάλογα με την AAB αποτελέσματα. Ο Sommerfeld, στην πρώτη έκδοση της ιδιαίτερα σημαντικής εργασίας του ‘Atombau’, σχολίασε τη σημειωθείσα εξέλιξη ως εξής:

(A5.7) «Χρησιμοποιώντας έναν εξαιρετικά αυστηρό και εξονυχιστικό τρόπο παραγωγής, ο οποίος θυμίζει την *αδιαμφισβήτητη λογική* των αριθμητικών υπολογισμών, ξεκινήσαμε από την αρχή διατήρησης της στροφορμής και καταλήξαμε σ’ έναν κανόνα επιλογής και σ’ έναν κανόνα πόλωσης⁴² ... Από την άλλη πλευρά, ο Bohr ανακάλυψε στην AAB ένα *μαγικό ραβδί* (το οποίο αποκαλείται από τον ίδιο ‘τυπική’ αρχή) που μας επιτρέπει να χρησιμοποιούμε *άμεσα* τα αποτελέσματα της κλασικής κυματικής θεωρίας στην κβαντική θεωρία» (Sommerfeld, “Atombau”, 1^η έκδοση, 1919, Αγγλική μετάφραση, 1923, σ. 275).

Ποιοι ήταν όμως οι λόγοι που υποκινούσαν την αιχμηρή αυτή συγκριτική αξιολόγηση, την επίκληση δηλαδή της ‘επιστήμης’ έναντι της ‘μαγείας’; Λίγο πριν από τη 2^η έκδοση του “Atombau”, ο Sommerfeld, σε γράμμα του προς τον Bohr, εξομολογήθηκε τα εξής: «στην εισαγωγή της 2^{ης} έκδοσης του βιβλίου μου, προσπάθησα να επιδείξω μεγαλύτερη εκτίμηση προς την AAB. Εν τούτοις, οφείλω να ομολογήσω ότι η AAB, καθώς έχει καταγωγή *ξένη* προς την κβαντική θεωρία, με ενοχλεί ακόμη» (Sommerfeld προς Bohr, 11 Νοεμβρίου 1920, *NBCW3*, σ. [23]).

Παρατηρούμε, λοιπόν, ότι ο Sommerfeld, ένθερμος υποστηρικτής των παραγωγικών μεθόδων επιστημονικής αναζήτησης, είχε κάθε λόγο να εκφράζει τον έντονο σκεπτικισμό του έναντι μιας αρχής, η οποία, παρά την προβλεπτική της αποτελεσματικότητα, ‘καταγόταν’ από ‘ξένες’ προς την κβαντική θεωρία παραδοχές: η *ad hoc* εισαγωγή των κλασικών εννοιών στο κβαντικό πλαίσιο καθιστούσε αδύνατη τη συνεπή τους νοηματοδότηση βάσει των αξιωματικών αρχών του κβαντικού σχήματος. Έτσι, υπό την οπτική γωνία του Sommerfeld, η AAB, καθώς αποδεικνυόταν κατά μη αναμενόμενο τρόπο εξαιρετικώς καρποφόρα, ήταν εύλογο να μοιάζει περισσότερο με ‘μαγικό ραβδί’ παρά με ‘τυπική αρχή’, όπως ο Bohr επίμονα

⁴² Συγκεκριμένα, ο Rubinowicz κατόρθωσε να υπολογίσει με αμιγώς παραγωγικό τρόπο τους ‘κανόνες επιλογής’ των ‘επιτρεπόμενων’ ατομικών τροχιών.

την αποκαλούσε. Από την άλλη πλευρά, ο Bohr, σ' ένα σύντομο άρθρο του (Bohr, 1921α, *NBCW3*, σ. [350]-[356]), θέλησε να παρουσιάσει τις ερευνητικές προοπτικές που κατά τη γνώμη του διανοίγονταν από την AAB, αφενός, και τη θεώρηση του Μονάχου, αφετέρου. Στο άρθρο αυτό, αφού ανέλυσε διεξοδικά τους διαφορετικούς τρόπους προσέγγισης του προβλήματος ύλης – ακτινοβολίας από τις δύο θεωρήσεις, σχολίασε τελικά την ουσιαστική μεθοδολογική τους διαφοροποίηση ως εξής.

(A5.8) «Η συμβολή της θεώρησης σύζευξης θα μπορούσε ν' αποδοθεί στον *αμιγώς τυπικό* τρόπο χειρισμού που αυτή προσφέρει. Το να επιτύχει όμως κανείς την ένταξη τόσο διαφορετικών φαινομένων, όπως το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο και τα στάσιμα οπτικά κύματα, σ' ένα ενιαίο φορμαλιστικό σχήμα υπερβαίνει κατά πολύ τις δυνατότητες του περιορισμένου μέχρι σήμερα πεδίου εφαρμογής της κβαντικής θεωρίας. Το πεδίο δε αυτό είναι πολύ δύσκολο να επεκταθεί έως ότου φθάσουμε πολύ κοντά στη λύση του κβαντικού αινίγματος» (Bohr, 1921α, *NBCW3*, σ. [356]).

Αυτό που επερωτάται βεβαίως εδώ δεν είναι η πρόθεση απόδοσης μιας 'ενοποιημένης εξήγησης' μέσω ενός ενιαίου φορμαλιστικού σχήματος, αλλά η εμβέλεια μιας μεθοδολογικής θεώρησης που επιβάλλει *εξ' αρχής* μια τέτοια ενοποίηση. Κατά την αντίληψη του Bohr, η ένταξη της κλασικής και της κβαντικής θεωρίας σ' ένα ενιαίο λογικό σχήμα, εάν αποδεικνυόταν τελικά εφικτή, μπορούσε να προκύψει μόνο ως *επιστέγασμα* μιας ερευνητικής διαδικασίας που θα είχε προοδευτικά αποφέρει την ουσιαστική κατανόηση της 'βαθύτερης φύσης' των κβαντικών διαδικασιών. Η προσέγγιση όμως μιας τέτοιας εις βάθος κατανόησης, καθώς προϋπέθετε τη διεύρυνση του 'περιορισμένου' ακόμη πεδίου εφαρμογής της κβαντικής θεωρίας, ήταν δύσκολο, εάν όχι αδύνατο, να επιτευχθεί δια της επιβολής 'κλειστών' τυπικών σχημάτων. Κατά συνέπεια, ακόμη κι' αν προσέβλεπε κανείς στη διατύπωση ενός ενιαίου λογικού σχήματος, όφειλε να επιζητά την εκπλήρωση του συγκεκριμένου στόχου μέσω της χρήσης ενός *ποιοτικώς* διαφορετικού μεθοδολογικού μέσου. Η Αρχή δε της Αντιστοιχίας, επειδή ακριβώς δεν αντιπροσώπευε 'μια κλειστή τυπική θεώρηση, αλλά μια γενική περιγραφή ορισμένων ιδιοτήτων της ακτινοβολίας' (A3.1), προσέφερε μια ικανοποιητική λύση στο προαναφερθέν πρόβλημα. Γιατί, καθώς «αποδεικνυόταν καρποφόρα σε καινούργια πεδία εφαρμογών», επέτρεπε, «μετά από κάθε επέκταση των εφαρμογών της κβαντικής θεωρίας, την καλύτερη κατανόηση της φύσης του αινίγματος» (Bohr, 1921α, *NBCW3*, σ. [356]). Ο 'ανοικτός' όμως χαρακτήρας της AAB δεν αναιρούσε σε καμία περίπτωση την 'τυπικότητα' της μορφής της. Έτσι, ο Bohr ολοκλήρωσε το συγκεκριμένο άρθρο με ένα δυσνόητο, ίσως, σχόλιο:

(A5.9) «Μπορεί να διακρίνει κανείς ότι η υποκείμενη στην AAB αντίληψη μοιράζεται με τη θεώρηση σύζευξης μια *καθαρά τυπική τάση*: προσβλέπει σε μια κβαντική θεωρία, η οποία θα συνιστά *ορθολογική γενίκευση* της κλασικής. Μπορεί όμως να πει επίσης κανείς ότι οι δύο θεωρήσεις επιχειρούν να προσεγγίσουν τον συγκεκριμένο στόχο μέσω διαμετρικά αντίθετων πρακτικών» (Bohr, 1921a, *NBCW3*, σ. [356]).

Και αν εμείς μπορούμε πλέον να κατανοήσουμε το ακριβές νόημα του παραπλανητικού, σε σχέση με το πραγματικό του περιεχόμενο, όρου ‘ορθολογική γενίκευση’ (§A-4.3), η επιστημονική κοινότητα είχε κάθε λόγο να παραβλέψει την ιδιότυπη πολλές φορές ορολογία του Bohr και να στρέψει την προσοχή της στην εντυπωσιακή αποτελεσματικότητα της μεθοδολογικής του στρατηγικής. Έτσι, ο Sommerfeld, στη δεύτερη και τρίτη έκδοση του “*Atombau*”, δεν μπόρεσε παρά ν’ αναγνωρίσει ότι, «εν όψει των επιτευγμάτων, το ερώτημα εάν η ακολουθούμενη από τον Bohr διαδικασία είναι λογικώς ικανοποιητική ... ενέχει δευτερεύουσα μόνο σημασία». Πέραν δε του ότι προσέφερε στην AAB την τιμητική αυτή θέση, δεν παρέλειψε ν’ αναδείξει και ‘τις σημαντικότερες συνέπειές της’ έναντι της εργασίας του Rubinowicz. «Το μεγάλο [συγκριτικό] πλεονέκτημα της AAB», επισήμανε ο Sommerfeld, «έγκειται στο γεγονός ότι διατηρεί με αξιωματικό τρόπο την ισχύ της θεωρίας του Maxwell στα μεγάλα μήκη κύματος και, ως εκ τούτου, δεν αχρηστεύει τα πολλά θετικά αποτελέσματα της κλασικής θεωρίας» (Sommerfeld, *Atombau*, 2^η και 3^η έκδοση, 1921, 1922, αγγλική μετάφραση, πρόλογος και σ. 276).

Ίσως όμως ο Bohr να διαισθάνθηκε ότι ο Sommerfeld ουδέποτε κατανόησε τη βαθύτερη ουσία του όλου εγχειρήματος. Έτσι, στο συγχαρητήριο γράμμα που του έστειλε, εν όψει της 3^{ης} έκδοσης του “*Atombau*”, εξομολογήθηκε τα εξής:

(A5.10) «Τα τελευταία χρόνια, είχα συχνά την αίσθηση ότι ήμουν στο επιστημονικό πεδίο εξαιρετικά μόνος. Είχα την εντύπωση ότι οι προσπάθειές μου ν’ αναπτύξω με συστηματικό τρόπο τις αρχές της κβαντικής θεωρίας, καταθέτοντας πάντοτε το μέγιστο των δυνατοτήτων μου, απολάμβαναν ελάχιστης κατανόησης. Για μένα, οι συγκεκριμένες προσπάθειες δεν συνιστούσαν κάποιες διδακτικές ασημαντότητες, αλλά, αντίθετα, σοβαρές απόπειρες προσέγγισης εκείνης της *εσώτερης συνεκτικότητας* που θα μπορούσε να διασφαλίσει μια *σταθερή βάση* για την περαιτέρω εξέλιξη. Καταλαβαίνω βέβαια πολύ καλά πόσο λίγο έχουν διαλευκανθεί μέχρι σήμερα τα πράγματα και πόσο το συγκεκριμένο γεγονός με καθιστά αδύναμο να εκφράζω τις σκέψεις μου με τρόπο που να προωθεί την εύκολη κατανόησή τους» (Γράμμα του Bohr προς τον Sommerfeld, 30 Απριλίου 1922, *NBCW3*, σσ. [39]).

Με αυτόν τον τρόπο, ο Bohr επιθυμούσε να τονίσει, για μια ακόμη φορά, ότι η απόκλιση ενός μεθοδολογικού μέσου από τις απαιτήσεις της αυστηρής λογικής δεν σηματοδοτεί, κατ’ ανάγκην, και την επιστημονική του ανεπάρκεια. Η AAB δεν ισοδυναμούσε με κάποιες ‘διδασκτικές’ επισημάνσεις που στερούνταν επιστημονικής

σημασίας. Ανταποκρινόμενη, αντίθετα, σε άλλου τύπου αλλά σαφώς καθορισμένα κριτήρια ‘ορθολογικότητας’ (§4.3, 2^η συνιστώσα), η AAB διαμόρφωσε μια ‘εσώτερη συνεκτικότητα’ που υπερτερούσε της λογικής συνεκτικότητας των κλειστών φορμαλιστικών σχημάτων. Γιατί, καθώς ‘διασφάλιζε μια σταθερή βάση για την περαιτέρω εξέλιξη’, προωθούσε, αντί ν’ αποδυναμώνει, την ερευνητική δυναμική.

Εάν δε, κατά τη διάρκεια των πρώτων χρόνων εφαρμογής της, η AAB διέγραφε για τον Bohr μια ‘μοναχική’ επιστημονική πορεία, η εντυπωσιακή της καρποφορία, σε συνδυασμό με το διαφαινόμενο αδιέξοδο του ερευνητικού προγράμματος του κύκλου του Μονάχου, έστρεψε το ενδιαφέρον δύο νέων επιστημόνων, του Pauli και του Heisenberg, στο ερευνητικό πρόγραμμα της Κοπεγχάγης. Ο δεύτερος περιέγραψε αργότερα τη μεταστροφή που υπέστησαν οι αντιλήψεις του από την καταλυτική επιρροή των ιδεών του Bohr με τον ακόλουθο αποκαλυπτικό τρόπο.

(A5.11) «Η αντίληψη [του Bohr] για τη δομή της θεωρίας δεν απέρρευε από κάποια μαθηματική ανάλυση των βασικών της παραδοχών, αλλά από μια έντονη ενασχόληση με τα πραγματικά φαινόμενα. Έτσι, κατάλαβα ότι η γνώση της φύσης επιτυγχάνεται, κατ’ αρχήν, μ’ αυτόν τον τρόπο και ότι μόνο *ως δεύτερο βήμα* μπορεί να επιχειρήσει κανείς την αποτύπωση της αποκτηθείσας γνώσης σε μαθηματική μορφή και την υποβολή της σε πλήρη λογική ανάλυση» (Heisenberg, 1967α, σσ. 94-95).

Το τελευταίο αυτό απόσπασμα μας οδηγεί σ’ ένα εξίσου ενδιαφέρον παράδειγμα που μας βοηθά ν’ ανιχνεύσουμε τις διαφορετικές εκτιμήσεις τριών μεγάλων επιστημόνων σε σχέση με τον λειτουργικό ρόλο των μαθηματικών μεθόδων στην εξέλιξη της φυσικής επιστήμης. Αναφερόμαστε στις τοποθετήσεις των Bohr, Einstein, όπως και του ίδιου του Heisenberg, έναντι των σχέσεων απροσδιοριστίας.

2.3. Η στάση των Heisenberg, Bohr και Einstein

έναντι των σχέσεων απροσδιοριστίας.

Το 1926, όταν ο Heisenberg παρουσίασε στον Einstein τη μηχανική των μητρών, θέλησε να του αποκαλύψει ότι «η ιδέα των παρατηρήσιμων ποσοτήτων είχε στην πραγματικότητα αντληθεί από τη δική του θεωρία της σχετικότητας». Τότε, ο Einstein απάντησε: «μπορεί να είναι έτσι, αλλά μια τέτοια στάση δεν παύει να πηγάζει από μια *εσφαλμένη* φιλοσοφική αρχή. Γιατί, είναι η *θεωρία* εκείνη που τελικά αποφασίζει τι είναι δυνατό να παρατηρηθεί και τι όχι. Πριν τη διατύπωση μιας θεωρίας, κανείς δεν μπορεί να ξέρει τι είναι παρατηρήσιμο και τι όχι» (Heisenberg, 1963, *AHQP*, σ. 19). Τελικά, ο Einstein αντέστρεψε το όλο ζήτημα λέγοντας ότι:

(A5.12) «Δεν θα έπρεπε να ρωτάμε πώς μπορούμε να περιγράψουμε τη φύση μέσω ενός μαθηματικού σχήματος, αλλά να ισχυριζόμαστε ότι η φύση λειτουργεί πάντοτε κατά *τέτοιο τρόπο*, ώστε τα μαθηματικά σχήματα μπορούν, τελικά, να προσαρμοστούν σ' αυτήν» (Heisenberg, 1963, *AHQP*, σ. 16).

Και η αντίδραση του Heisenberg: «έτσι, σκέφθηκα ότι είναι δυνατό να βρω στη φύση καταστάσεις που περιγράφονται από την κβαντική μηχανική. Και μετά αναρωτήθηκα, 'ποιες μπορεί να είναι αυτές οι καταστάσεις' ... έτσι, οδηγήθηκα πολύ γρήγορα στο συμπέρασμα ότι οι συγκεκριμένες καταστάσεις είναι οι καταστάσεις που υπόκεινται στην αρχή της αβεβαιότητας» (Heisenberg, 1963, *AHQP*, σ. 17).

Σε ποια όμως φάση της ιστορικής της εξέλιξης βρισκόταν η κβαντική μηχανική λίγο πριν τη διατύπωση των σχέσεων απροσδιοριστίας; Ο Schrödinger είχε ήδη θεμελιώσει την κυματική μηχανική (Schrödinger, 1926a) και είχε καταδείξει τη μαθηματική της ισοδυναμία με τη μηχανική των μητρών (Schrödinger, 1926β). Ο Born είχε ήδη προτείνει την πιθανοκρατική ερμηνεία της κυματοσυνάρτησης (Born, 1926), ενώ οι Dirac (Dirac, 1926) και Jordan (Jordan, 1927) μέσω της 'στατιστικής θεωρίας μετασχηματισμού' ('statistical transformation theory') είχαν επιτύχει, ακολουθώντας διαφορετική ο καθένας πορεία,⁴³ μια ενοποιητική σύνθεση της μηχανικής των μητρών και της κυματομηχανικής σ' ένα συνεκτικό φορμαλιστικό σχήμα. Παρά τη σημαντική του όμως ανάπτυξη, ο κβαντικός φορμαλισμός εξακολουθούσε ν' αποτελεί ένα *συμβολικό* επί της ουσίας φορμαλιστικό σχήμα που αδυνατούσε ν' αποδώσει μια αξιόπιστη φυσική ερμηνεία στα φαινόμενα ύλης – ακτινοβολίας. Σύμφωνα με μεταγενέστερη περιγραφή του Heisenberg:

(A5.13) «Ο Bohr έλεγε: 'το μαθηματικό σχήμα δεν βοηθά. Επιθυμώ πρώτα να καταλάβω με ποιο τρόπο η φύση αποφεύγει τις αντιφάσεις'. ... [Πράγματι], τα νέα μαθηματικά εργαλεία έμοιαζαν αδύναμα να προσφέρουν μια καθαρή απάντηση στο θεμελιώδες αυτό πρόβλημα. Αυτή ήταν η κατάσταση το φθινόπωρο του 1926. ... Δεν μας απασχολούσε και τόσο το πείραμα, αλλά ανησυχούσαμε περισσότερο για τη θεωρία. ... Εκείνη την εποχή, ήταν περισσότερο ή λιγότερο εμφανές ότι το πείραμα θα διεξαγόταν *όπως ακριβώς* οι θεωρητικοί φυσικοί επιθυμούσαν να διεξαχθεί, υπό τον όρο βέβαια ότι θα ήξεραν με σαφήνεια τι πιστεύουν. Το ερώτημα λοιπόν που μας απασχολούσε ήταν: 'ξέρουμε τι ακριβώς να προβλέψουμε;» (Heisenberg, 1963, *AHQP*, σσ. 14-15).

Τόσο λοιπόν ο Bohr όσο και ο Heisenberg επικέντρωναν την προσοχή τους στην ανάπτυξη του θεωρητικού σχήματος της κβαντικής θεωρίας. Πολύ σύντομα όμως ανακάλυψαν ότι προσπαθούσαν «να υπερνικήσουν τις δυσκολίες μέσω μιας *ουσιωδώς* διαφορετικής διαδικασίας» (Heisenberg, 1961, σ. 76).

⁴³ Η εργασία του Dirac υποβλήθηκε στις 2 Δεκεμβρίου 1926, ενώ η αντίστοιχη του Jordan στις 18 Δεκεμβρίου 1926.

1. *Η πορεία του Heisenberg προς τις σχέσεις απροσδιοριστίας.* Ο Heisenberg απέδιδε την ερμηνευτική ανεπάρκεια του κβαντικού φορμαλισμού στην *αντίθεση* μεταξύ της κβαντικής ασυνέχειας και της προσπάθειας αναπαράστασης των υποατομικών διαδικασιών μέσω των συνήθων μορφών ‘οπτικοποίησης’, των κλασικών δηλαδή συνεχών χωρο-χρονικών περιγραφών. Η αποφυγή, επομένως, των εσωτερικών δομικών αντιφάσεων της κβαντικής θεωρίας απαιτούσε, κατά τη γνώμη του, την παραίτηση από κάθε απαίτηση ‘οπτικοποίησης’ και την εγκατάλειψη «κάθε περιέργης μεταφοράς κλασικών εννοιών και αναπαραστάσεων στα θεμελιώδη αξιώματα της κβαντικής θεωρίας» (Heisenberg, 1926, σ. 990, από Petruccioli, 1993, σ. 154). Εφόσον λοιπόν ο προσδιορισμός του περιγραφικού περιεχομένου του κβαντικού φορμαλισμού μέσω συμβατών προς αυτόν χωρο-χρονικών μοντέλων φαινόταν πλέον αδύνατος, η φυσική ερμηνεία της κβαντικής θεωρίας όφειλε να επιδιωχθεί μέσω μιας ουσιωδώς διαφορετικής μεθοδολογίας. Η αντίληψη βεβαίως αυτή δεν ήταν καινοφανής. Γιατί υπήρξε, όπως θυμόμαστε (§A-5.1, σημείο 5), πηγή έμπνευσης για τη διατύπωση της θεωρίας των μητρών: η ‘μετάφραση’ της AAB στη μαθηματική γλώσσα είχε ως κύριο στόχο «την οριστική αποκοπή της κβαντικής μηχανικής από τις έννοιες της συνηθισμένης κινηματικής και την αντικατάσταση των εννοιών αυτών από σχέσεις μεταξύ συγκεκριμένων και πειραματικώς οριζόμενων αριθμών» (Heisenberg, 1927α, σ. 62). Η αντίληψη αυτή οδηγούσε ακόμη τον Heisenberg στη σαφή πρόκριση της *σωματιδιακής* έναντι της κυματικής φύσης της ακτινοβολίας και τροφοδοτούσε τις ισχυρότατες επιφυλάξεις του έναντι της ‘απεικονιστικής’ κυματικής θεωρίας του Schrödinger. Με τα ίδια του τα λόγια:

(A5.14) «Επιθυμούσα να περιορίζομαι στο πλαίσιο, και μόνο, της κβαντικής μηχανικής και να μην κάνω καμία παραχώρηση στην κυματική θεωρία του Schrödinger ... Κάθε φορά που ένας επιστήμονας, φιλικά προσκείμενος στην προσέγγιση του Schrödinger, προσέθετε κάτι καινούργιο [στην κβαντική μηχανική], εγώ θεωρούσα ότι κατά πάσα πιθανότητα αυτό ήταν λανθασμένο. ... Η πεποίθηση βεβαίως αυτή πήγαζε από τη ροή της σκέψης μου. Γιατί σκεφτόμουν ότι, τώρα, έχουμε ένα συνεκτικό μαθηματικό σχήμα που μπορεί να είναι είτε σωστό είτε λανθασμένο. Εάν όμως είναι σωστό, από τη στιγμή που το μαθηματικό αυτό σχήμα είναι *κλειστό*, οτιδήποτε προστίθεται σε αυτό είναι λανθασμένο» (Heisenberg, 1963, *AHQP*, σ. 14).

Ο Heisenberg διατηρούσε λοιπόν αναλλοίωτη μια από τις βασικές προϋποθέσεις που καθόρισαν τον τρόπο συγκρότησης της μηχανικής των μητρών: η κβαντική θεωρία όφειλε να συνιστά ένα *κλειστό* μαθηματικό σχήμα (§A-5.1, σημείο 5). Εφόσον δε η μηχανική των μητρών, υπό την εξελιγμένη από τους Dirac και Jordan μορφή της,

φαινόταν να προσεγγίζει μια περιορισμένη, πλην όμως επιτυχή ερμηνεία των κβαντικών διαδικασιών, το προς επίλυση πρόβλημα ετίθετο πλέον ως εξής:

(A5.15) «Εκκινούσα από το γεγονός ότι η κβαντική μηχανική, όπως την ξέραμε τότε, επέβαλε ήδη μια μοναδική φυσική ερμηνεία. ... Έτσι, θεωρούσα ότι δεν είχαμε την ελευθερία ν' αποκλίνουμε από την ερμηνεία αυτή. Η προσπάθειά μας όφειλε να επικεντρωθεί, αντίθετα, στην παραγωγή της σωστής γενικής ερμηνείας από την ήδη υπάρχουσα ειδικότερη ερμηνεία μέσω *αυστηρών λογικών διαδικασιών*» (Heisenberg, 1963, *AHQP*, σ. 14).

Όλα τα παραπάνω μας βοηθούν λοιπόν να διακρίνουμε ότι οι σχέσεις απροσδιοριστίας αποτέλεσαν το καταληκτικό σημείο μιας ερευνητικής εργασίας που διεξάχθηκε υπό το φως των ακόλουθων προϋποθέσεων: **α)** Η κβαντική θεωρία όφειλε να παραμείνει ένα κλειστό μαθηματικό σχήμα, του οποίου ο αποδεδειγμένα επιτυχής κεντρικός κορμός δεν επιδεχόταν αναθεώρησης. **β)** Ως αδιαφιλονίκητο δομικό χαρακτηριστικό της κβαντικής φυσικής εξακολουθούσε να εκλαμβάνεται η *ασυνέχεια*, ένα χαρακτηριστικό που επέβαλε την αποποίηση κάθε απόπειρας 'οπτικοποίησης'. **γ)** Η σωματιδιακή φύση της ακτινοβολίας προκρινόταν ως η *μόνη συμβατή* με τις προηγούμενες προϋποθέσεις. **δ)** Η επιζητούμενη *μοναδική* και *γενικευμένη* φυσική ερμηνεία των φαινομένων ύλης – ακτινοβολίας όφειλε ν' απορρέει από τις γενικές αρχές του κβαντικού οικοδομήματος. **ε)** Κατά συνέπεια, η ερμηνεία αυτή όφειλε να επιλύει *εκ των έσω* το πρόβλημα του δυϊσμού. Οποιαδήποτε συσχέτιση με την κυματική θεωρία του Schrödinger κρινόταν αδόκιμη.

Παρότι στις ανωτέρω προϋποθέσεις μπορούμε δύσκολα να διακρίνουμε κάποια σημαντική μεταβολή σε σχέση με την υποκείμενη στη θεωρία των μητρών αντίληψη, στην πραγματικότητα, οι υποδείξεις του Einstein είχαν επιφέρει μια ουσιαστική μεθοδολογική μεταστροφή: δεν ήταν η δομή της θεωρίας εκείνη που όφειλε να προσαρμοσθεί στα 'παρατηρήσιμα' μεγέθη, αλλά, σε αντίστροφη κατεύθυνση, ήταν η δομή της θεωρίας εκείνη που όφειλε να καθορίσει τι ήταν 'παρατηρήσιμο' και τι όχι.

2. *Οι σχέσεις απροσδιοριστίας.* Παρακολουθώντας λοιπόν από κοντά τη γραμμή σκέψης του Heisenberg στην ιστορική του εργασία «Το φυσικό περιεχόμενο της κβαντικής κινηματικής και μηχανικής» ("The physical content of quantum kinematics and mechanics", 1927α), μπορούμε να κάνουμε τις ακόλουθες παρατηρήσεις.

Ο Heisenberg, έχοντας επίγνωση της μη μονοσήμαντης ανάγνωσης του όρου 'φυσικό περιεχόμενο', ξεκίνησε την εργασία του διατυπώνοντας με σαφήνεια τη θέση του ως προς το συγκεκριμένο ζήτημα. «Πιστεύουμε», έγραψε, «ότι κατανοούμε το φυσικό περιεχόμενο μιας θεωρίας, όταν μπορούμε να σκεφθούμε με *ποιοτικούς*

όρους τις πειραματικές της συνέπειες σε όλες τις δυνατές περιπτώσεις. Οφείλουμε βεβαίως να πιστοποιούμε, ταυτόχρονα, ότι η εφαρμογή της θεωρίας [σε κάθε μια από τις περιπτώσεις αυτές] δεν υποπίπτει σε εσωτερικές αντιφάσεις» (στο ίδιο, σ. 62). Αναφερόμενος στους ‘ποιοτικούς’ όρους της σκέψης μας, ο Heisenberg υπονοούσε τους ‘διαισθητικούς’ όρους της σκέψης μας, τους όρους εκείνους που υποβάλλονται από τα συνήθη χαρακτηριστικά της ανθρώπινης αντίληψης. Ανάγοντας λοιπόν την κατανόηση του ‘φυσικού’ περιεχόμενου της κβαντικής θεωρίας στη ‘διαισθητική’ κατανόηση των πειραματικών της συνεπειών, ο Heisenberg προχώρησε στην εφαρμογή και τεκμηρίωση της συγκεκριμένης θεώρησης με τον ακόλουθο τρόπο.

Βάσει του κβαντικού φορμαλισμού (της μη-σχετικιστικής κβαντομηχανικής), ο ‘καθορισμός’ (‘Gestalt’) ενός κβαντικού αντικειμένου, ο πλήρης δηλαδή προσδιορισμός της συμπεριφοράς του, στηριζόταν αποκλειστικά στη γνώση της μάζας του και του συνόλου των αλληλεπιδράσεών του με πεδία ή άλλα αντικείμενα.⁴⁴ Και ήταν μόνο η ανάγκη σύνδεσης της κβαντικής θεωρίας με την πειραματική διαδικασία εκείνη που επέβαλε τη χρήση εννοιών όπως η ‘θέση’ ή η ‘ταχύτητα’. Στο πλαίσιο όμως της κβαντικής θεωρίας, οι κλασικές αυτές έννοιες εμφανίζονταν ως αφηρημένα μαθηματικά σύμβολα (μαθηματικοί πίνακες) που δεν επιδέχονταν διαισθητικής ερμηνείας. Καθώς λοιπόν «η άκριτη χρήση τους δημιουργούσε εύλογες υποψίες», ο Heisenberg, αναρωτήθηκε «ποιο μπορεί να είναι το διαισθητικό τους περιεχόμενο στο πλαίσιο της κβαντικής θεωρίας» (στο ίδιο, σ. 63). Παραμένοντας δε συνεπής προς την αρχικώς εκφρασθείσα θέση του, προσπάθησε ν’ αντλήσει την ορθή απάντηση από τις πειραματικές συνέπειες του κβαντικού σχήματος. Έτσι, εκκινώντας από τη θεμελιακή σχέση μη-μεταθετότητας $pq - qp = -ih$ (1), προχώρησε, μέσω «μιας απλής γενίκευσης της κατά Dirac και Jordan φορμαλιστικής διατύπωσης» (στο ίδιο, σ. 69), στην παραγωγή ποσοτικών σχέσεων που μπορούσαν να τεθούν σε άμεσο πειραματικό έλεγχο. Οι σχέσεις που γεννήθηκαν κατ’ αυτόν τον τρόπο δεν ήταν άλλες από τις σχέσεις απροσδιοριστίας $\Delta p \Delta q \geq h$ και $\Delta E \Delta t \geq h$ (2).⁴⁵

Μέσω των σχέσεων απροσδιοριστίας, η κβαντική θεωρία είχε πλέον ορίσει κατά λογικώς αδιαμφισβήτητο τρόπο τι είναι ‘παρατηρήσιμο’ και τι όχι. Το μόνο που απέμενε πλέον ήταν η πιστοποίηση του γεγονότος ότι η ενεργός παρατήρηση ‘προσαρμοζόταν’ χωρίς εσωτερικές αντιφάσεις στις συναγόμενες βάσει του

⁴⁴ Τα στοιχεία δηλαδή που απαιτούνται για να γραφεί η Χαμιλτονιανή ενός κβαντικού συστήματος στη μη-σχετικιστική κβαντική μηχανική.

⁴⁵ Ο Heisenberg εξέφρασε τις σχέσεις απροσδιοριστίας υπό την ακόλουθη μορφή: $pq \approx h$ και $Et \approx h$

μαθηματικού φορμαλισμού σχέσεις (2). Για να φέρει όμως εις πέρας κανείς το συγκεκριμένο εγχείρημα όφειλε να ορίσει επακριβώς τι σήμαιναν οι ‘αριθμοί’,⁴⁶ λόγου χάριν p και q , σε κάθε ιδιαίτερη πειραματική εφαρμογή. Οι απαιτούμενοι δε για κάθε συγκεκριμένο πείραμα *λειτουργικοί ορισμοί* ήταν εκείνοι που θα προσέδιδαν τελικά το επιζητούμενο φυσικό νόημα στα μαθηματικά σύμβολα. Αυτό σήμαινε ότι, «εάν κάποιος επιθυμούσε να διευκρινίσει τι σημαίνουν λέξεις όπως ‘θέση του αντικειμένου’ (λόγου χάριν του ηλεκτρονίου ως προς ένα δεδομένο σύστημα αναφοράς), τότε όφειλε να προσδιορίσει με σαφήνεια εκείνα τα *συγκεκριμένα* πειράματα, μέσω των οποίων *σχεδίαζε να μετρήσει* ‘τη θέση του ηλεκτρονίου’. Αλλιώς, η λέξη αυτή ήταν μία λέξη χωρίς νόημα» (στο ίδιο, σ. 64).

Πράγματι, ο Heisenberg, χρησιμοποιώντας κάποια χαρακτηριστικά νοητικά πειράματα, το γνωστότερο από τα οποία είναι το ‘μικροσκόπιο των ακτίνων γ ’,⁴⁷ κατόρθωσε να καταδείξει ότι «όλα τα πειράματα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον ορισμό της ‘θέσης’ ή της ‘ταχύτητας’ εμπεριέχουν *αναγκαστικά* τη συνεπαγόμενη από τις σχέσεις (2) αβεβαιότητα ... εάν υπήρχαν πειράματα στα οποία θ’ αποδεικνυόταν δυνατός ένας *ακριβέστερος* προσδιορισμός από αυτόν που οι σχέσεις (2) επέτρεπαν, τότε η κβαντική μηχανική *δεν* θα ίσχυε» (στο ίδιο, σ. 68). Με άλλα λόγια, εάν σε κάθε συγκεκριμένη εφαρμογή προσέδιδε κανείς στους ‘αριθμούς’ p και q , το κλασικό νόημα των εννοιών ‘θέση’ και ‘ορμή’, τότε οι επιβαλλόμενοι μέσω των σχέσεων (2) περιορισμοί ήταν *αναγκαστικά* παρόντες. Εκτός όμως των σαφώς καθορισμένων συνθηκών ενός συγκεκριμένου πειραματικού πλαισίου, οι ‘αριθμοί’ αυτοί απογυμνώνονταν από το κλασικό τους νόημα, από το νόημα δηλαδή εκείνο που δημιουργούσε τις αναγκαίες διαισθητικές εικόνες για την *ποιοτική* κατανόηση του κβαντικού φορμαλισμού. Εν τέλει, η προσδιοριζόμενη από τις σχέσεις (2) αβεβαιότητα **α)** ήταν εκείνη που, καθώς επικύρωνε τον πλέον σημαντικό από τους κανόνες μεταθετικότητας που θεμελιώναν την κβαντική μηχανική [δηλαδή τη σχέση (1)], επικύρωνε επίσης και την ισχύ *ολόκληρου* του ‘κλειστού’ κβαντικού σχήματος (στο ίδιο, σ. 68). **β)** Ήταν ακόμη εκείνη που, καθώς επικύρωνε τη σχέση

⁴⁶ Οι σχέσεις (2) προέκυψαν από μια σειρά αμιγών μαθηματικών υπολογισμών. Κατά συνέπεια, οι εμπεριεχόμενοι σε αυτές όροι όφειλαν να ειδικωθούν *κατ’ αρχήν* ως ‘αριθμοί’ *άνευ* φυσικού περιεχομένου. Όπως εξήγησε ο Heisenberg, «όταν θέλουμε να *εξαγάγουμε* φυσικά αποτελέσματα από το μαθηματικό πλαίσιο της κβαντικής μηχανικής, τότε πρέπει να *συσχετίσουμε* ‘αριθμούς’ με τους θεωρητικούς όρους, δηλαδή με τους πίνακες (ή τους ‘τανυστές’ στον πολυδιάστατο χώρο). ... [Βάσει δε του κβαντικού φορμαλισμού], μπορεί να πει κανείς ότι κάθε θεωρητικός κβαντικός όρος ή πίνακας *συσχετίζεται* με ένα αριθμό που παρέχει την ‘τιμή’ του πίνακα αυτού εντός των ορίων που επιβάλλει ένα σαφώς προσδιορισμένο στατιστικό σφάλμα» (Heisenberg, 1927α, σ. 70).

⁴⁷ Η αναλυτική περιγραφή του συγκεκριμένου πειράματος παρουσιάζεται στη συνέχεια (σημείο 4).

(1) *χωρίς να μεταβάλλει το ποιοτικό νόημα των φυσικών μεγεθών p και q κατά τη χρήση τους εντός ενός συγκεκριμένου πειραματικού πλαισίου, προσέδιδε το επιζητούμενο διαισθητικό περιεχόμενο στον κβαντικό φορμαλισμό (στο ίδιο, σ. 68).*

Μέσω του πρώτου από τα παραπάνω σημεία, ο Heisenberg απαντούσε κατ' ουσία στους θιασώτες των αυστηρών παραγωγικών μεθόδων και στις αφορούσες την AAB επικρίσεις τους (§A-5.2.2). Γιατί, εφόσον «η ορμή, η θέση, η ενέργεια, κ.λ.π. ήταν επακριβώς ορισμένες έννοιες, δεν είχε πλέον λόγους να παραπονείται κανείς ότι οι σχέσεις απροσδιοριστίας εμπεριείχαν μόνο ποιοτικές προβλέψεις» (στο ίδιο, σ. 82). Μέσω του δεύτερου από τα παραπάνω σημεία, ο Heisenberg απαντούσε κατ' ουσία στον Schrödinger και σε όσους υποστήριζαν ότι «η κβαντική μηχανική είναι μια τυπική θεωρία που χαρακτηρίζεται από μια επίφοβη ή, πολύ περισσότερο, απωθητική αφαιρετικότητα και έλλειψη οπτικοποίησης» (στο ίδιο, σ. 82, υποσημείωση). Γιατί, εφόσον «οι σχέσεις απροσδιοριστίας επέτρεπαν την ποιοτική κατανόηση των πειραματικών συνεπειών της θεωρίας, δεν είχε πλέον λόγους να εκλαμβάνει κανείς την κβαντική μηχανική ως μια μη-φυσική και αφηρημένη θεωρία» (στο ίδιο, σ. 82). Σημείο κλειδί για την προσέγγιση του διπλού αυτού επιτεύγματος υπήρξε η προσεκτικότερη ανάλυση των κλασικών εννοιών που εμφανίζονταν στο κβαντικό πλαίσιο. Γιατί, όπως ο Heisenberg ισχυρίστηκε, η ανάλυση αυτή κατέδειξε ότι:

(A5.16) *«Όλες οι έννοιες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην κλασική θεωρία για την περιγραφή ενός μηχανικού συστήματος μπορούν να προσδιορισθούν επακριβώς και για τα ατομικά συστήματα σε αναλογία με τις κλασικές έννοιες. Τα πειράματα δε που προσφέρουν τους συγκεκριμένους ορισμούς περιορίζονται και τα ίδια από μια απροσδιοριστία που εισάγεται αποκλειστικά από τις διεξαγόμενες παρατηρησιακές διαδικασίες, όταν ζητείται ο ταυτόχρονος προσδιορισμός δύο συζευγμένων μεγεθών. Το εύρος της απροσδιοριστίας αυτής δίνεται από τις σχέσεις (2), οι οποίες βεβαίως μπορούν να επεκταθούν και σε οποιαδήποτε άλλα συζευγμένα μεγέθη» (η έμφαση από τον Heisenberg, στο ίδιο, σ. 68).*

Υπ' αυτήν λοιπόν την προοπτική, η κβαντική μηχανική αποκτούσε 'φυσικό' – 'διαισθητικό' νόημα *μόνο* μέσω των *λειτουργικών ορισμών* των συμβόλων της στις σαφώς καθορισμένες συνθήκες του εκάστοτε διενεργούμενου πειράματος. Γιατί μόνο μέσω των ορισμών αυτών ήταν δυνατό να χρησιμοποιηθούν οι 'αριθμοί', λόγου χάριν ' p ' και ' q ', κατά τρόπο *ανάλογο* προς τις κλασικές έννοιες 'ορμή' και 'θέση'. Ή, εάν αντιστρέψουμε τον συλλογισμό, ήταν δυνατό να μιλά κανείς για 'θέση' ή 'ορμή' υπό το κλασικό τους νόημα μόνο επειδή, σε κάθε συγκεκριμένο πειραματικό πλαίσιο, το νόημα αυτό ήταν *συμβατό* με τις συναγόμενες βάσει του κβαντικού φορμαλισμού σχέσεις (2). Όπως ο ίδιος ο Heisenberg τοποθέτησε το ζήτημα:

(A5.17) «Η δικαιολόγηση της χρήσης των κλασικών εννοιών δεν βασίζεται εδώ ούτε στους νόμους της σκέψης ούτε στην πειραματική διαδικασία, αλλά αποκλειστικά στις σχέσεις απροσδιοριστίας» (στο ίδιο, σ. 82).

Η χρήση, δηλαδή, των κλασικών εννοιών δεν δικαιωνόταν ούτε από τους *a priori* κανόνες της λογικής ούτε από την εμπειρία. Δικαιωνόταν μόνο επειδή, εντός ενός συγκεκριμένου πειραματικού πλαισίου, οι κλασικές έννοιες συνταιριάζονταν αρμονικά με τις απορρέουσες από τον κβαντικό φορμαλισμό τυπικές σχέσεις (2). Στην πιθανή δε ερώτηση για το τι σήμαιναν ‘στην πραγματικότητα’ οι όροι λόγου χάριν p και q εκτός πειραματικού περιβάλλοντος, για το ποια δηλαδή ήταν η *πέραν* των λειτουργικών ορισμών σημασία τους, ο Heisenberg προσέφερε μια απάντηση που, όπως ο ίδιος υποστήριξε, ήταν στηριγμένη στην ‘αρχή της μέγιστης απλότητας’:

(A5.18) «Εάν η X -συντεταγμένη του ηλεκτρονίου δεν είναι πλέον ένας ‘αριθμός’ ... τότε το απλούστερο που μπορεί να θεωρήσει κανείς ... είναι ότι η X αυτή συντεταγμένη είναι ‘στην πραγματικότητα’ ο διαγώνιος όρος ενός πίνακα, του οποίου οι μη-διαγώνιοι όροι υπόκεινται, και οι ίδιοι, σε μια συγκεκριμένη αβεβαιότητα ... Εδώ, η φράση ‘στην πραγματικότητα’ είναι τόσο πολύ ή τόσο λίγο δικαιωμένη όσο και σε κάθε άλλη μαθηματική περιγραφή των φυσικών διαδικασιών. Από τη στιγμή που θ’ αποδεχθεί κανείς ότι οι θεωρητικές κβαντικές έννοιες είναι ‘στην πραγματικότητα’ πίνακες, οι ποσοτικοί νόμοι ακολουθούν χωρίς καμία δυσκολία» (στο ίδιο, σ. 82).

Αποφεύγοντας λοιπόν την πολυπλοκότητα των οντολογικών αναζητήσεων, όφειλε ν’ αποδεχθεί πλέον κανείς την ‘πραγματικότητα’ των μαθηματικών σχημάτων, υπό την προϋπόθεση βεβαίως ότι τα σχήματα αυτά επιτύγχαναν κατά ένα αμιγώς λειτουργικό (‘οπερασιοναλιστικό’) τρόπο ‘μια αξιόπιστη περιγραφή των παρατηρησιακών συσχετίσεων’. Εφόσον δε καταδεικνυόταν πλέον κατά λογικώς αδιαμφισβήτητο τρόπο ότι κάθε δυνατή πειραματική διαδικασία προσαρμοζόταν πράγματι στους νόμους της κβαντικής μηχανικής, όφειλε κανείς να συμπεράνει ότι «η προτεινόμενη από την κβαντική μηχανική ερμηνεία των υποατομικών φαινομένων ήταν, ως προς τα ουσιαστικά της σημεία, ήδη ορθή» (στο ίδιο, σ. 83). Αυτό όμως σήμαινε ότι και οι απορρέουσες από τις βασικές αρχές της θεωρίας συνέπειες ήταν επίσης ορθές. Έτσι, ο Heisenberg, κλείνοντας την εργασία του, αισθάνθηκε την ανάγκη ν’ αναδείξει την ουσιαστικότερη, κατά την άποψή του, συνέπεια της κβαντικής φυσικής: την *οριστική* κατάλυση της αυστηρής αιτιότητας. Ας παρακολουθήσουμε τα ίδια του τα λόγια:

(A5.19) «[Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας], δεν υποθέσαμε ότι η κβαντική θεωρία είναι μια στατιστική θεωρία υπό την έννοια ότι είναι δυνατό να διατυπωθούν μόνο στατιστικές προβλέψεις από ακριβείς αρχικές συνθήκες. ... Αυτό που είναι λανθασμένο στη διατύπωση του νόμου της αυστηρής αιτιότητας, ‘όταν ξέρουμε με ακρίβεια το παρόν, μπορούμε να προβλέψουμε το μέλλον’, δεν είναι το συμπέρασμα, αλλά η υπόθεση: για λόγους αρχής, είναι αδύνατο να γνωρίσουμε το παρόν στην κάθε του λεπτομέρεια. Έτσι, οτιδήποτε ‘παρατηρείται’

αποτελεί, κατ' αρχήν, μια *επιλογή* από μια πληθώρα δυνατοτήτων και θέτει, περαιτέρω, έναν *περιορισμό* όσον αφορά τις μελλοντικές δυνατότητες. Καθώς βεβαίως ο στατιστικός χαρακτήρας της κβαντικής θεωρίας είναι τόσο στενά συνδεδεμένος με την περιορισμένη ακρίβεια της ανθρώπινης αντίληψης, θα μπορούσε κανείς να υποθέσει ότι *πίσω* από τον παρατηρούμενο στατιστικό κόσμο κρύβεται ένας 'πραγματικός κόσμος' στον οποίο η αυστηρή αιτιότητα ισχύει. Αλλά, εκφέροντας αποκάλυπτα τη γνώμη μου, θα έλεγα ότι μια τέτοια αντίληψη στερείται τόσο προοπτικής όσο και νοήματος. Γιατί αποκλειστικός σκοπός της φυσικής επιστήμης είναι η περιγραφή των παρατηρησιακών συσχετίσεων. Ή, χρησιμοποιώντας μια διαφορετική διατύπωση, 'εφόσον όλα τα πειράματα υπόκεινται στους νόμους της κβαντικής μηχανικής άρα υπόκεινται και στις εξισώσεις (2), μπορούμε να συναγάγουμε με ασφάλεια ότι η κβαντική μηχανική επιβεβαιώνει την *οριστική κατάλυση* της αυστηρής αιτιότητας» (στο ίδιο, σ. 83).

Το συγκεκριμένο απόσπασμα αποκαλύπτει τον πυρήνα της προτεινόμενης από τον Heisenberg ερμηνείας. Γι' αυτό και ο σχολιασμός του εντάσσεται στην ευρύτερη επιστημολογική ανάλυση της θεώρησης του Heisenberg που ακολουθεί.

3. *Επιστημολογική ανάλυση της κατά Heisenberg ερμηνείας των σχέσεων απροσδιοριστίας και ευρύτερα της κβαντικής μηχανικής.* Ο Heisenberg, υπό την ισχυρή επήρεια των ιδεών του Einstein, αποστασιοποιήθηκε όπως είδαμε από τις πρότερες θετικιστικές του αντιλήψεις. Έτσι, η μεθοδολογική του πρακτική στην υπό συζήτηση εργασία υποβασιμάζεται από μια επιστημολογική αντίληψη που παρουσιάζει εντυπωσιακές κατά τη γνώμη μας αναλογίες με τις αναδεικνυόμενες από τους Hempel και Popper επιστημικές αρετές (§Α-5.2.1).

Πράγματι, η εργασία του Heisenberg θα μπορούσε κατ' αρχήν να ειπωθεί ως μια κατά Hempel επιστημονική 'εξήγηση,' εφόσον προσομοίαζε προς ένα *παραγωγικό επιχείρημα*, το οποίο, καθώς ικανοποιούσε την απαίτηση της 'επεξηγητικής συνάφειας', θεμελιώνει την 'εξήγηση' των υποατομικών διαδικασιών στην αυστηρή αποδεικτική λογική: οι σχέσεις απροσδιοριστίας – ως 'προς εξήγηση' προτάσεις – αποτελούσαν το 'συμπέρασμα' μιας μαθηματικής παραγωγής που είχε ως αφετηρία τους γενικούς νόμους – τις 'επεξηγούσες' προτάσεις – του 'κλειστού' κβαντικού σχήματος. Επιπροσθέτως, η εργασία του Heisenberg, καθώς ικανοποιούσε το αίτημα της 'ελεγκσιμότητας', καθόριζε, μέσω των *λειτουργικών ορισμών* των αφηρημένων κβαντικών συμβόλων, τις πειραματικές συνθήκες υπό τις οποίες αναμενόταν η *εκδήλωση* των 'προς εξήγηση' υποατομικών φαινομένων: οι σχέσεις απροσδιοριστίας, υπό τους περιορισμούς που επέβαλαν οι λειτουργικοί ορισμοί των εμπειροχόμενων σ' αυτές εννοιών, συνιστούσαν *ποσοτικές* σχέσεις που επιδέχονταν άμεσο πειραματικό έλεγχο. Έτσι, η προσέγγιση του Heisenberg, σύμφωνα με τα τιθέμενα από τον Hempel κριτήρια, θα μπορούσε να θεωρηθεί μια ιδιαίτερα επιτυχής

εφαρμογή της παραγωγικής – νομολογικής εξήγησης: «οι ποσοτικές ιδιότητες των ‘προς εξήγηση’ φαινομένων [στη συγκεκριμένη περίπτωση των υποατομικών φαινομένων] εξηγούνταν, μέσω λογικής παραγωγής, από τους γενικούς νόμους της θεωρίας [στη συγκεκριμένη περίπτωση, της κβαντικής μηχανικής]» (§A-5.2.1).

Η μεθοδολογική προσέγγιση του Heisenberg ανταποκρινόταν επίσης με επάρκεια στις τιθέμενες από τον Popper απαιτήσεις: η κβαντική μηχανική ήταν πράγματι ‘δομημένη υπό το φως γενικών αρχών’, οι σχέσεις δε απροσδιοριστίας, καθώς ‘ήταν επιδεκτικές ελέγχου’, προσέφεραν πράγματι ‘τη δυνατότητα της εμπειρικής τους διάψευσης (§A-5.2.1). Πολύ περισσότερο, εάν προσέδιδε κανείς στην κβαντική μηχανική την ιδιότητα του ‘κλειστού’ σχήματος, ήταν υποχρεωμένος στη συνέχεια να δεχθεί ότι η διάψευση των σχέσεων απροσδιοριστίας σήμαινε και τη διάψευση *ολόκληρου* του κβαντικού οικοδομήματος. Έτσι, δεν είναι τυχαίο ότι ο ίδιος ο Heisenberg, προτάσσοντας ακριβώς την ‘κλειστότητα’ του κβαντικού φορμαλισμού, πρόβαλε τον ισχυρισμό ότι «εάν υπήρχαν πειράματα στα οποία θα επιτυχανόταν ένας ακριβέστερος προσδιορισμός απ’ αυτόν που οι σχέσεις απροσδιοριστίας επιτρέπουν, η κβαντική μηχανική δεν θα ίσχυε» (στο ίδιο, σ. 68). Δεν είναι ακόμη τυχαίο ότι η στρατηγική του Einstein, κατά την πρώτη φάση της ‘διαμάχης’ του με τον Bohr, εξυπηρετούσε αυτόν ακριβώς τον σκοπό (§A-5.2.3, σημείο 5).

Η θεώρηση επίσης του Heisenberg βρισκόταν σε συμφωνία με τις αντιλήψεις των Hempel και Popper όσον αφορά τη νοηματοδότηση των όρων μιας φυσικής θεωρίας: τόσο οι θεωρητικοί όσο και οι παρατηρησιακοί όροι προσλάμβαναν το νόημά τους από το σύστημα της κβαντικής μηχανικής θεωρούμενο ως *όλον*. Έτσι, χρησιμοποιώντας τους όρους του Hempel (§A-5.2.1, σημείο 3), θα λέγαμε ότι ο Heisenberg αναγνώριζε τις σχέσεις απροσδιοριστίας ως ‘προτάσεις’ που ενείχαν ‘γνωσιακή σημασία’, μόνο επειδή αυτές παράγονταν, μέσω αυστηρών λογικών συλλογισμών, από τις γενικές αρχές του κβαντικού πλαισίου. Στην ίδια ακριβώς κατεύθυνση, δικαίωνε τη χρήση των κλασικών εννοιών στο κβαντικό πλαίσιο, μόνο επειδή η συγκεκριμένη χρήση, καθώς εμφανιζόταν ως *άμεση συνέπεια* του κβαντικού φορμαλισμού, δεν διατάρασσε καθοιονδήποτε τρόπο τον ‘κλειστό’ χαρακτήρα του κβαντικού συστήματος: «η μετάβαση από το ‘κβαντικό’ στο ‘κλασικό’ γινόταν κατανοητή *χωρίς* τη βοήθεια της ηλεκτρομαγνητικής θεωρίας» (στο ίδιο, σ. 73).

Ο Heisenberg είχε βεβαίως πλήρη επίγνωση του γεγονότος ότι η κβαντική μηχανική παρουσίαζε σημαντικά ακόμη ελλείμματα. Κι’ αυτό, γιατί αδυνατούσε μέχρι στιγμής να προσφέρει μια ικανοποιητική εξήγηση των ηλεκτρομαγνητικών

φαινομένων. Κρίνοντας όμως ότι «η προτεινόμενη, μέσω της κβαντικής μηχανικής, ερμηνεία των ατομικών φαινομένων ήταν, ως προς τα ουσιαστικά της σημεία, ήδη ορθή» (στο ίδιο, σ. 83), προσδοκούσε ότι μια *περαιτέρω γενίκευση* του υφιστάμενου κβαντικού συστήματος θα επιτύγχανε τελικά και την κατάλληλη ενσωμάτωση της ηλεκτρομαγνητικής θεωρίας. Έτσι, όσον αφορούσε «τα φυσικά φαινόμενα των οποίων η κβαντομηχανική διατύπωση παρέμενε ακόμη άγνωστη, (όπως π.χ. τα φαινόμενα της ηλεκτροδυναμικής), οι σχέσεις απροσδιοριστίας προσέφεραν το *κατάλληλο* κάλεσμα για την ανακάλυψη των νέων νόμων» (στο ίδιο, σ. 69).

Σε συμφωνία λοιπόν με τους Hempel και Popper, ο Heisenberg όχι μόνο έθετε ως πρωταρχικό αίτημα την κατά το δυνατόν ευρύτερη *συντακτική ενοποίηση* της επιστημονικής γνώσης, αλλά προχωρούσε επίσης σε αξιολόγηση των διανοιγόμενων, προς αυτήν την κατεύθυνση, προοπτικών. Χρησιμοποιώντας δε για μια ακόμη φορά τους όρους του Hempel, θα λέγαμε ότι, για τον Heisenberg, η καταδεικνυόμενη, μέσω των σχέσεων απροσδιοριστίας, ‘επεξηγητική ισχύς’ της κβαντικής μηχανικής προσέδιδε στην τελευταία τον χαρακτήρα μιας ‘καλά επιλεγμένης δομής’ που ενείχε τη ‘λειτουργική ικανότητα’ να προωθεί ‘νέες γενικές συνδέσεις’.

Καταλήγοντας, οφείλουμε να επισημάνουμε ότι, υπό τη συνθήκη της θεωρητικώς εξαρτώμενης εμπειρίας, η προσέγγιση του Heisenberg μετέτρεπε ολόκληρο το κβαντικό οικοδόμημα (τόσο το θεωρητικό όσο και το εμπειρικό του περιεχόμενο) σε μια *σύμβαση* που δικαιωνόταν, αποκλειστικά, από την επιτυχή ‘λειτουργική’ (‘οπερασιοναλιστική’) της χρήση. Κι’ αυτό, γιατί ο Heisenberg, περιοριζόμενος, όπως είδαμε, στην ‘αλήθεια’ και στην ‘πραγματικότητα’ των μαθηματικών σχημάτων (A5.19), αρνιόταν, όχι μόνο ν’ αποδώσει το οποιοδήποτε οντολογικό περιεχόμενο στην κβαντική μηχανική (A5.20), αλλά και να συμμερισθεί κάθε αναζήτηση που αποσκοπούσε (κατά το πρότυπο του Bohr) στην κατανόηση της ‘βαθύτερης’ φύσης των φυσικών φαινομένων. Έτσι, η ερμηνευτική του προσέγγιση, μη ενέχοντας τις υπαινικτικές ρεαλιστικές επικλήσεις του Hempel και απέχοντας βέβαια κατά πολύ από τη ρεαλιστική τοποθέτηση του Popper (§A-5.2.1, σημείο 7), ειδώθηκε ως πύλη εισόδου του *υποκειμενισμού* και του *σχετικισμού* στο περιεχόμενο της επιστημονικής γνώσης. Δεν είναι λόγου χάριν τυχαίο ότι ο Popper, έναντι της ‘υποκειμενικής’ ερμηνευτικής προσέγγισης του Heisenberg, αντιπρότεινε τη δική του στατιστική ‘αντικειμενική’ ερμηνεία (Popper, 1934), σύμφωνα με την οποία οι σχέσεις απροσδιοριστίας δεν εκλαμβάνονταν ως αναφερόμενες σ’ ένα μεμονωμένο υποατομικό σωματίδιο, αλλά σε στατιστικά *και μόνο* σύνολα. Δεν είναι επίσης τυχαίο

ότι η προσέγγιση του Popper,⁴⁸ παρότι αποδείχθηκε εν τέλει λανθασμένη,⁴⁹ αναγνωρίζεται από την ιστορική έρευνα ως ουσιαστικός παράγοντας υποκίνησης και καλλιέργειας του προβληματισμού των EPR (Jammer, 1974, σσ. 174-178).

Όπως θα δείξουμε στη συνέχεια (σημείο 5), η κριτική του Popper έναντι της κατά Heisenberg ερμηνείας των σχέσεων απροσδιοριστίας απέρρευε από μια γενικότερη αντίληψη που προσέγγιζε σε μεγάλο βαθμό τη φιλοσοφική κοσμοθεώρηση του Einstein. Για ν' αποκτήσουμε όμως μια πληρέστερη εικόνα του όλου θέματος, θα επιστρέψουμε πρώτα στον Bohr και θα επιχειρήσουμε να διερευνήσουμε τις πηγές των δικών του ενστάσεων έναντι της προτεινόμενης από τον Heisenberg ερμηνείας.

4. *Ο Bohr και οι σχέσεις απροσδιοριστίας.* Ο Bohr, «όταν διάβασε για πρώτη φορά την εργασία του Heisenberg εντυπωσιάστηκε. Όταν όμως άρχισε να την εξετάζει πιο προσεκτικά απογοητεύτηκε» (Klein, 1968, *NBA*). Κι' αυτό, γιατί ο Heisenberg «δεν είχε θέσει ως αφετηριακό σημείο της εργασίας του τον δυϊσμό κύματος – σωματιδίου» (Heisenberg, 1967β, σ. 57). Το πρόβλημα βεβαίως του δυϊσμού συνιστούσε, από καιρό, σημαντικό σημείο τριβής μεταξύ των δύο επιστημόνων. Η μεταξύ τους δε διαφωνία εκφραζόταν με τον ακόλουθο τρόπο.

(A5.20) «Οι δυσκολίες στη μεταξύ μας συζήτηση επικεντρώνονταν στο γεγονός ότι εγώ επιθυμούσα να εκκινώ αποκλειστικά από το μαθηματικό σχήμα της κβαντικής μηχανικής και να χρησιμοποιώ, ίσως, την θεωρία του Schrödinger ως μαθηματικό εργαλείο, χωρίς όμως να υπεισέρχομαι ποτέ στην ερμηνεία της, την οποία δεν μπορούσα καθοιονδήποτε τρόπο να πιστέψω. Ο Bohr, αντίθετα, ήθελε να παίρνει τη συγκεκριμένη ερμηνεία στα σοβαρά και να 'παίζει' και με τα δύο σχήματα συγχρόνως» (Heisenberg, 1963, *AHQP*, σ. 14 και *NBCW6*, σ. [15]).

Έτσι, λίγο πριν τη δημοσίευση της εργασίας του Heisenberg, η κατάσταση είχε διαμορφωθεί ως εξής. Ο Heisenberg, θεωρώντας ότι οι σχέσεις απροσδιοριστίας είχαν ήδη προσφέρει μια *επαρκή βάση* για τη φυσική ερμηνεία των κβαντικών φαινομένων (όπως εννοούσε βεβαίως ο ίδιος τον όρο 'φυσική ερμηνεία' [σημείο 2]), ήταν πλέον πεισμένος ότι μια περαιτέρω γενίκευση του *κλειστού* κβαντικού συστήματος θα επιτύγχανε τελικά και την κατάλληλη ενσωμάτωση της ηλεκτρομαγνητικής θεωρίας. Στο πλαίσιο, λοιπόν, της δικής του θεώρησης, ο δυϊσμός κύματος – σωματιδίου δεν συνιστούσε πρόβλημα: «υπήρχε πλέον ένα

⁴⁸ Οι σχέσεις απροσδιοριστίας εκλήφθηκαν από τον Popper ως ισχυρισμοί που αναφέρονταν, είτε στη μέτρηση κάποιου συγκεκριμένου φυσικού μεγέθους ενός συνόλου ομοίως προπαρασκευασμένων υποατομικών σωματιδίων, είτε σε μια σειρά διαδοχικών μετρήσεων κάποιου συγκεκριμένου φυσικού μεγέθους του ίδιου σωματιδίου, το οποίο, μετά από κάθε μέτρηση, προπαρασκευαζόταν ξανά στην αρχική του κατάσταση.

⁴⁹ Η εργασία του Popper στηριζόταν σε ένα 'ιδανικό' πείραμα, το οποίο, όπως απέδειξε κατ' αρχήν ο Weizsäcker και λίγο αργότερα ο Einstein, ήταν αδύνατο να πραγματοποιηθεί (Jammer, 1974, σ. 177).

συνεκτικό μαθηματικό σχήμα και το σχήμα αυτό προσδιόριζε με ακρίβεια οτιδήποτε ήταν δυνατό να παρατηρηθεί. Έτσι, ήταν μόνο το μαθηματικό αυτό σχήμα, εκείνο που μπορούσε να αποφανθεί για το τι 'υπάρχει' κάποια στιγμή εκεί ή τι 'δεν υπάρχει' [κύμα ή σωματίδιο]. Κατά κάποιο τρόπο, η φύση ακολουθούσε το μαθηματικό αυτό σχήμα» (Heisenberg, 1963, *AHQP*, σ. 15). Ο Bohr «δεν συμεριζόταν βεβαίως την ιδέα ότι στη φύση συμβαίνουν μόνο πράγματα που μπορούν να προσαρμοσθούν σε μαθηματικά σχήματα» (στο ίδιο, σ. 15). Στη συγκεκριμένη όμως περίπτωση, οι λόγοι που υποκινούσαν τις αντιρρήσεις του ήταν πολύ βαθύτεροι.

Ο Bohr, μετά την αποτυχία της BKS θεωρίας (§A-1.3, σημείο 3 και §A-3.2, σημείο 6), έτεινε πλέον να πιστέψει ότι η επιστήμη αντιμετώπιζε εκείνη την περίοδο έναν *μη-αναγώγιμο* δυϊσμό που αφορούσε τόσο την ύλη όσο και την ακτινοβολία. Την πεποίθησή του δε αυτή ενδυνάμωναν οι μαθηματικώς ισοδύναμες, αλλά τόσο διαφορετικές, ως προς τη σύλληψη και τους στόχους τους, θεωρήσεις των Heisenberg και Schrödinger. Ο Bohr, αποδίδοντας *ίση* βαρύτητα στις δύο θεωρήσεις (A5.20), προσπαθούσε να εκμαιεύσει μέσω της AAB το όποιο υποκρυπτόμενο στον μαθηματικό τους φορμαλισμό φυσικό περιεχόμενο. Η *αναλυτική* δε και ταυτόχρονα *συνθετική* διάσταση της σκέψης του αποκαλύπτεται με τον καλύτερο τρόπο στο παρακάτω απόσπασμα από γράμμα του προς τον Schrödinger, το 1926.

(A5.21) «Αυτές τις ημέρες ο Klein ολοκληρώνει μια εργασία που διερευνά τη δυνατότητα εκμετάλλευσης της κυματομηχανικής για την κατανόηση των ασυνεχών ατομικών διαδικασιών. ... Νομίζω ότι θα σου προξενήσει ευχαρίστηση να δεις με πόσο κατάλληλο τρόπο η κυματική μηχανική επιδεικνύει την *αντιστοιχία* μεταξύ της κλασικής ηλεκτροδυναμικής και της κβαντικής θεωρίας. Πράγματι, με βάση την κυματική μηχανική, είναι δυνατό να οικοδομήσει κανείς μια θεωρία αντιστοιχίας τόσο κλειστή όσο και η θεωρία των μητρών, η οποία με τη σειρά της μπορεί να εκληφθεί ως μια θεωρία *αντιστοιχίας* βασισμένη στη *σωματιδιακή μηχανική*. Μέσω της συγκεκριμένης συσχέτισης είναι ενδιαφέρον να παρατηρήσει κανείς το πώς η έννοια του κύματος ή του σωματιδίου παρουσιάζεται ως η πλέον κατάλληλη ανάλογα με το σημείο της περιγραφής στο οποίο υπεισέρχεται με σαφήνεια η παραδοχή της ασυνέχειας. Για μένα, αυτό είναι κάτι κατανοήσιμο: ο ορισμός κάθε έννοιας ή μάλλον κάθε λέξης, εφόσον προϋποθέτει τη *συνέχεια* των φαινομένων, είναι φυσικό να καθίσταται *διφορούμενος* κάθε φορά που η προϋπόθεση αυτή δεν ικανοποιείται» (Γράμμα του Bohr στον Schrödinger, 1926, *NBCW6*, σ. [14]).

Διαπιστώνουμε λοιπόν ότι ο Bohr, διερευνώντας μέσω της AAB κάθε δυνατή πτυχή του προβλήματος του δυϊσμού, διέβλεπε, ήδη από το 1926, ότι οι θεωρήσεις των Heisenberg και Schrödinger, υπό την 'κλειστή' φορμαλιστική τους μορφή, απεικόνιζαν κατ' ουσία τις δύο ακραίες εκφάνσεις του συγκεκριμένου προβλήματος. Έτσι, μη έχοντας λόγους να προκρίνει το 'κλειστό' σχήμα του Heisenberg έναντι του

αντίστοιχου ‘κλειστού’ σχήματος του Schrödinger, είχε προσανατολίσει κάθε του προσπάθεια προς ό,τι θεωρούσε ο ίδιος ουσιώδες: προς τη *φυσική* δηλαδή ερμηνεία του διαπιστούμενου μέσω της πειραματικής διαδικασίας *αμοιβαίου αποκλεισμού* των σωματιδιακών και κυματικών ιδιοτήτων τόσο της ύλης όσο και της ακτινοβολίας. Καθώς δε οι έννοιες του ‘σωματιδίου’ και του ‘κύματος’ είχαν ένα σαφώς προσδιορισμένο νόημα *μόνο* στο πλαίσιο της κλασικής θεωρίας, (όπου η ‘συνέχεια’ των φαινομένων αποτελούσε προϋπόθεση), ο Bohr διαισθανόταν ότι θα μπορούσε να επιλύσει το πρόβλημα του δυϊσμού εάν κατανοούσε, κατ’ αρχήν, τον *ακριβή ρόλο* των κλασικών εννοιών στο κβαντικό πλαίσιο, (όπου η ‘συνέχεια’ των φαινομένων ακυρωνόταν), και εάν διασφάλιζε, περαιτέρω, τη *μη-διφορούμενη* χρήση τους. Δεν μπορούμε δε παρά να επισημάνουμε ότι το απόσπασμα (A5.21) εμπεριέχει μια σχετικά πρώιμη νύξη ενός κρίσιμου, ως προς την ερμηνεία της κβαντικής θεωρίας, ζητήματος: την άμεση εξάρτηση του μετρητικού αποτελέσματος από ‘το σημείο της περιγραφής’ στο οποίο υπεισέρχεται ‘η παραδοχή της ασυνέχειας’. Γιατί, όπως ακριβώς ο Bohr παρατήρησε, το αυθαιρέτως τιθέμενο κατά τον σχεδιασμό της μέτρησης *σαφές όριο* μεταξύ ‘συσκευής μέτρησης’ και ‘υπό παρατήρηση συστήματος’ μπορεί να ειδωθεί, ισοδύναμα, και ως *σαφές όριο* μεταξύ του ‘κλασικού’ και του ‘κβαντικού’ τρόπου περιγραφής (§B-2, σημεία 2α, 2β).

Όλα τα παραπάνω αναδεικνύουν για μια ακόμη φορά την ευρετική δυναμική της AAB έναντι των αμιγών μαθηματικών μεθόδων επιστημονικής αναζήτησης. Δεν είναι εξάλλου τυχαίο ότι τα πορίσματα της AAB προσέφεραν συχνά τη βάση στήριξης της αναπτυσσόμενης από τους Bohr και Heisenberg επιχειρηματολογίας. Ο Rosenfeld περιέγραψε συνοπτικά τις μεταξύ των δύο επιστημόνων συζητήσεις με τον ακόλουθο χαρακτηριστικό τρόπο: «ο μεν Heisenberg ισχυριζόταν ότι, σύμφωνα με τις υποδείξεις της AAB, ήταν μόνο η έννοια του *σωματιδίου* εκείνη που προσέδιδε άμεσο φυσικό νόημα στην κβαντική θεωρία της ύλης, ενώ τα κύματα αποτελούσαν απλά μαθηματικά βοηθήματα. Ο δε Bohr ανταπαντούσε ότι η παρατήρηση αυτή, παρότι ορθή, ήταν ελλιπής. Γιατί στην περίπτωση της ακτινοβολίας, σύμφωνα επίσης με τις υποδείξεις της AAB, ήταν *τα κύματα* εκείνα που αντιπροσώπευαν τη θεμελιώδη έννοια, ενώ τα φωτόνια προσλάμβαναν *συμβολικό* και μόνο χαρακτήρα» (Rosenfeld, 1971, σ. 60). Ας δούμε όμως πώς αποτυπώθηκε η γενικότερη θεώρηση του Bohr στην ασκηθείσα έναντι της εργασίας του Heisenberg κριτική του.

Ο Heisenberg στήριξε τη φυσική ερμηνεία των σχέσεων απροσδιοριστίας σε μια σειρά νοητικών πειραμάτων, το σημαντικότερο από τα οποία αποκαλείται συνήθως

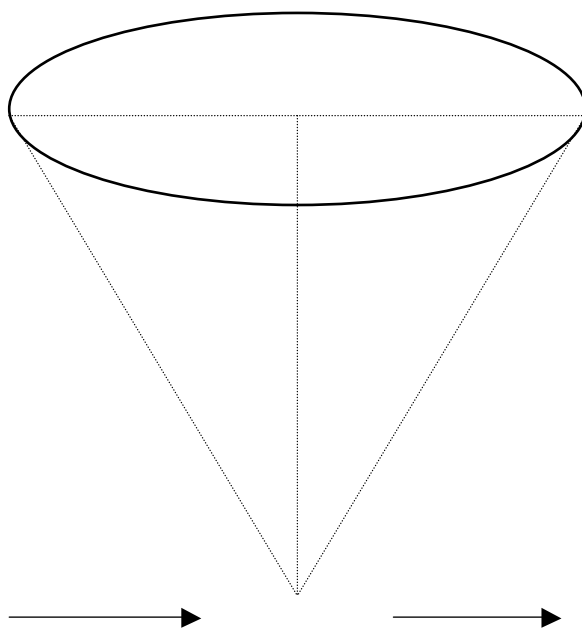
‘μικροσκόπιο των ακτίνων γ’: εάν κάποιος επιθυμούσε να μετρήσει τη θέση ενός ηλεκτρονίου, θα μπορούσε να φωτίσει το ηλεκτρόνιο με ακτινοβολία εξαιρετικά μικρού μήκους κύματος (με μία δέσμη ακτίνων γ) και στη συνέχεια να παρατηρήσει, μέσω ενός μικροσκοπίου, την εκπεμπόμενη ακτινοβολία. Η ισχύς των σχέσεων απροσδιοριστίας επιβεβαιωνόταν με τον ακόλουθο τρόπο.

(A5.22) «Κάθε παρατήρηση της σκεδαζόμενης από το ηλεκτρόνιο ακτινοβολίας προϋποθέτει την κρούση ενός κβάντου φωτός με το συγκεκριμένο ηλεκτρόνιο ... Τη στιγμή λοιπόν που προσδιορίζεται η θέση του ηλεκτρονίου – τη στιγμή δηλαδή που το φωτόνιο σκεδάζεται από το ηλεκτρόνιο – το ηλεκτρόνιο υφίσταται μια ασυνεχή μεταβολή της ορμής του. ... Τη στιγμή συνεπώς που γίνεται γνωστή η θέση του ηλεκτρονίου, η ορμή του μπορεί να είναι γνωστή μόνο μέσα στο εύρος των τιμών που αντιστοιχούν σ’ αυτήν την ασυνεχή αλλαγή ... Έστω Δx η ακρίβεια με την οποία επιτρέπεται, βάσει της θεωρίας, η γνώση της θέσης x του ηλεκτρονίου (έστω δηλαδή Δx το μέσο σφάλμα του x). Είναι φανερό ότι, στη συγκεκριμένη περίπτωση, το Δx ταυτίζεται με το μήκος κύματος της χρησιμοποιούμενης ακτινοβολίας. Έστω δε Δp η ακρίβεια με την οποία είναι δυνατό να προσδιορισθεί η ορμή του ηλεκτρονίου. Είναι φανερό ότι, στη συγκεκριμένη περίπτωση, το Δp ταυτίζεται με την *ασυνεχή* μεταβολή της ορμής του ηλεκτρονίου στο φαινόμενο Compton. Τότε, σύμφωνα με τους νόμους που διέπουν το φαινόμενο Compton, τα Δx και Δp συνδέονται μεταξύ τους μέσω της σχέσης $\Delta p \Delta x \geq h$ » (Heisenberg, 1927a, σσ. 64-65).

Μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι ο Heisenberg, ακολουθώντας πιστά τις γενικές επιστημολογικές αρχές της εργασίας του (σημείο 2), χειρίστηκε το μικροσκόπιο με τον ακόλουθο τρόπο: **α)** Υιοθετώντας τη σωματιδιακή φύση της ακτινοβολίας, εξέλαβε τη δέσμη των ακτίνων γ ως σύνολο κβάντων φωτός (φωτονίων). **β)** Θέτοντας στο επίκεντρο την κβαντική ασυνέχεια, ταύτισε την αβεβαιότητα Δp με την ασυνεχή μεταβολή της ορμής του ηλεκτρονίου στο φαινόμενο Compton. **γ)** Εφαρμόζοντας τη γνωστή σχέση του de Broglie ($p = \frac{h}{\lambda}$), εξέλαβε το μήκος κύματος λ της ακτινοβολίας ως σωματιδιακό χαρακτηριστικό, το οποίο ταύτισε στη συνέχεια με την αβεβαιότητα Δx της θέσης του ηλεκτρονίου. **δ)** Τέλος, προσέδωσε στους αριθμούς ‘ q ’ και ‘ p ’ το νόημα των κλασικών εννοιών ‘θέση’ και ‘ορμή’ μέσω των κατάλληλων, για το συγκεκριμένο πείραμα, οπερασιοναλιστικών ορισμών.

Ο Bohr, όταν ήλθε σ’ επαφή με την εργασία του Heisenberg, είχε «εξοικειωθεί ως ένα βαθμό με την έννοια της συμπληρωματικότητας, η οποία του επέτρεπε να θέτει το διδύμο κύματος – σωματιδίου στην αφετηρία της ερμηνευτικής του προσέγγισης (Heisenberg, 1967β, σ. 57). Υπ’ αυτή λοιπόν την οπτική γωνία, διαπίστωσε πολύ σύντομα ότι η ανάλυση του γ-μικροσκοπίου εμπεριείχε ένα σοβαρό λάθος

θεμελίωσης, το οποίο, αν και δεν επηρέαζε το τελικό υπολογιστικό αποτέλεσμα, δημιουργούσε σοβαρές παρανοήσεις σε σχέση με το φυσικό περιεχόμενο της κβαντικής θεωρίας. Ο Bohr υπενθύμισε ⁵⁰ ότι τα πορίσματα των πειραμάτων των Bothe-Geiger και Compton-Simon καταδείκνυαν με σαφήνεια ότι η μεταβολή της ορμής του ηλεκτρονίου σ' ένα πείραμα σκέδασης ήταν δυνατό να υπολογισθεί επακριβώς, εάν γνώριζε κανείς την ακριβή διεύθυνση της σκεδαζόμενης δέσμης.⁵¹ Η αβεβαιότητα συνεπώς Δp της ορμής του ηλεκτρονίου ήταν δυνατό ν' αποδοθεί, όχι στην κβαντική ασυνέχεια *καθ'εαυτή*, όπως η ερμηνευτική προσέγγιση του Heisenberg πρότεινε, αλλά σε κάτι ουσιαστικά διαφορετικό: στα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της κβαντικής μέτρησης, τα οποία έφεραν για μια ακόμη φορά στο προσκήνιο τον δυϊσμό κύματος – σωματιδίου. Ας δούμε όμως από πιο κοντά τον τρόπο με τον οποίο αντιμετώπισε ο Bohr το μικροσκόπιο του Heisenberg.



Σχήμα 1: Το μικροσκόπιο των ακτίνων γ

⁵⁰ Καθώς η κριτική του Bohr δεν εμφανίζεται αυτούσια σε κάποιο συγκεκριμένο κείμενο, η ανασυγκρότηση που προτείνουμε στηρίζεται **α)** σε γράμμα του Heisenberg προς τον Pauli (4 Απριλίου, 1927, *NBCW6*, σ. [17]), **β)** σε γράμμα του Heisenberg προς τον Dirac (27 Απριλίου 1927, *NBCW6*, σσ. [17]-[18]), καθώς και **γ)** στην παρουσίαση του μικροσκοπίου ακτίνων γ από τον ίδιο τον Bohr λίγο μετά τη διατύπωση της συμπληρωματικότητας (Bohr, 1927α, *ATDN*, σσ. 63–65).

⁵¹ Εάν είναι γνωστή η διεύθυνση της σκεδαζόμενης δέσμης, είναι δυνατός ο ακριβής υπολογισμός της μεταβολής της ορμής των φωτονίων της. Συνεπώς, μέσω της αρχής διατήρησης της ορμής, είναι επίσης δυνατός ο ακριβής υπολογισμός της μεταβολής της ορμής του ηλεκτρονίου κατά τη σκέδαση.

Ας θεωρήσουμε ότι ένα φωτόνιο δέσμης ακτίνων γ μήκους κύματος λ , κινείται κατά τη διεύθυνση του άξονα x και ότι κάποια στιγμή προσκρούει στο υπό παρατήρηση ηλεκτρόνιο στο σημείο Α (σχήμα 1). Έστω δε $p = \frac{h}{\lambda}$ και p_x , αντίστοιχα, η ορμή του φωτονίου και η x συνιστώσα της ορμής του ηλεκτρονίου πριν την κρούση. Η παρατήρηση του ηλεκτρονίου μέσω του μικροσκοπίου προϋποθέτει την κίνηση του σκεδασθέντος φωτονίου μέσα στον κώνο ΑΚΛ (όπου ΚΛ = d η διάμετρος του φακού του μικροσκοπίου), ο οποίος ορίζει το πεπερασμένο γωνιακό άνοιγμα $\Phi = 2a$ του φακού. Σύμφωνα με το φαινόμενο Compton, το μήκος κύματος του σκεδασθέντος φωτονίου εξαρτάται από τη γωνία σκέδασης. Ας θεωρήσουμε, λοιπόν, ότι τα οριακά μήκη κύματος που αντιστοιχούν στις διευθύνσεις ΑΚ και ΑΛ είναι λ' και λ'' και ότι οι αντίστοιχες ορμές του φωτονίου είναι $\frac{h}{\lambda'}$ και $\frac{h}{\lambda''}$.

Τότε, η αρχή διατήρησης της ορμής στον άξονα x δίνει:

$$\frac{h}{\lambda} + p_x = -\frac{h}{\lambda'} \sin a + p'_x \quad (1) \quad \text{ή} \quad \frac{h}{\lambda} + p_x = \frac{h}{\lambda''} \sin a + p''_x \quad (2), \quad \text{όπου } p'_x \text{ και}$$

p''_x η ορμή του ηλεκτρονίου μετά την κρούση σε κάθε οριακή περίπτωση.

$$\text{Από τις (1) και (2) προκύπτει ότι: } -\frac{h}{\lambda'} \sin a + p'_x = \frac{h}{\lambda''} \sin a + p''_x \quad (3).$$

Έως εδώ, ο χειρισμός του προβλήματος είναι αμιγώς σωματιδιακός. Σύμφωνα όμως με την κλασική κυματική θεωρία, το μικροσκόπιο παρουσιάζει ένα *όριο διακριτότητας*, το οποίο δίνεται, σε κάθε οριακή περίπτωση, από τη σχέση

$$\delta' = \frac{\lambda'}{2 \sin a} \quad \text{ή} \quad \delta'' = \frac{\lambda''}{2 \sin a} \quad (4), \quad \text{αντίστοιχα, εάν η ακτινοβολία διαδίδεται στον}$$

αέρα (οπότε ο δείκτης διάθλασης ισούται με τη μονάδα). Το όριο διακριτότητας του μικροσκοπίου παρέχει την *κλασική αβεβαιότητα* Δx , ως προς τον προσδιορισμό της θέσης του υπό παρατήρηση συστήματος κατά την οριζόμενη, από τη διάμετρο του φακού, διεύθυνση. Εκ του γεγονότος δε ότι το Δx αναπαριστά ένα μακροσκοπικό μέγεθος συνάγεται ότι $\lambda, \lambda', \lambda'' \ll \Delta x$ (5). Η σχέση αυτή καταδεικνύει πλέον με σαφήνεια ότι η αβεβαιότητα, ως προς τη θέση του ηλεκτρονίου, καθορίζεται *τελικά* από το κλασικό διακριτικό όριο της μετρητικής συσκευής και *όχι* από το μήκος κύματος της χρησιμοποιούμενης ακτινοβολίας, όπως ο Heisenberg ισχυρίστηκε. Έτσι, με δεδομένο το γεγονός ότι η διαφοροποίηση μεταξύ των λ , λ' και λ'' ουδόλως επηρεάζει στην πράξη την αβεβαιότητα Δx , η μεν σχέση (4) καταλήγει στη

σχέση $\Delta x \cong \delta = \frac{\lambda}{2 \sin a}$ (6), η δε σχέση (3) καταλήγει αντίστοιχα στη σχέση

$$\Delta p_x \cong p'_x - p''_x = \frac{2h \sin a}{\lambda} \quad (7).$$

Η σχέση (7) παρέχει την αβεβαιότητα ως προς την ορμή του ηλεκτρονίου, μια αβεβαιότητα που προκύπτει από το γεγονός ότι το πεπερασμένο άνοιγμα του φακού εμποδίζει τον ακριβή προσδιορισμό της διεύθυνσης της σκεδαζόμενης ακτινοβολίας. Μια τέτοια δε ανάλυση καταδεικνύει, φυσικά, ότι η αποδιδόμενη από τις σχέσεις απροσδιοριστίας αβεβαιότητα δεν πηγάζει από την κβαντική ασυνέχεια καθεαυτή, από τη μη-ελέγξιμη δηλαδή ανάκρουση του ηλεκτρονίου κατά τον βομβαρδισμό του από τα κβάντα φωτός, όπως ο Heisenberg ισχυριζόταν. Πηγάζει, αντίθετα, από τη σκέδαση της ακτινοβολίας, υπό την *κυματική* και όχι τη σωματιδιακή της μορφή, στο φακό του μικροσκοπίου. Όπως καταδεικνύουν βεβαίως οι σχέσεις (6) και (7), οι δύο αντίθετες επιδράσεις του ανοίγματος του φακού στις απροσδιοριστίες της θέσης και της ορμής είναι τέτοιες που επιβάλλουν στο γινόμενο $\Delta x \Delta p$ το αποδιδόμενο από τις σχέσεις απροσδιοριστίας κατώτατο όριο h . Καθώς δε το όριο αυτό είναι ανεξάρτητο από το εύρος του ανοίγματος του φακού, οι υπολογισμοί του Heisenberg παρείχαν, τελικά, το ορθό υπολογιστικό αποτέλεσμα.

Όπως διαπιστώνουμε, η κατά Bohr ερμηνεία του γ-μικροσκοπίου συγκροτήθηκε, επί της ουσίας, υπό την προϋπόθεση του δυϊσμού κύματος – σωματιδίου. Από τη μία πλευρά, η έννοια του ‘σωματιδίου’ επέτρεψε την εφαρμογή των νόμων διατήρησης ανεξάρτητα από τον οποιοδήποτε χωρο-χρονικό εντοπισμό: η αλληλεπίδραση ακτινοβολίας – ηλεκτρονίου αντιμετωπίστηκε ως κρούση φωτονίου – ηλεκτρονίου και μελετήθηκε μέσω του σωματιδιακού μοντέλου του φωτός. Από την άλλη πλευρά, η έννοια του ‘κύματος’ επέτρεψε την περιγραφή της διάδοσης της ακτινοβολίας στον χώρο και τον χωρο-χρονικό εντοπισμό του υπό μελέτη υποατομικού συστήματος: η διέλευση της ακτινοβολίας από τον φακό και ο εντοπισμός του ηλεκτρονίου μέσω του γ-μικροσκοπίου μελετήθηκαν με βάση την κλασική κυματική θεωρία.

Οφείλουμε όμως να υπογραμμίσουμε το εξής. Καθώς μόνο ένα κύμα με άπειρη χωρο-χρονική έκταση μπορεί να έχει εκείνη τη σαφώς καθορισμένη περιοδικότητα που απαιτείται για τον προσδιορισμό της ενέργειας και της ορμής, η έννοια του κύματος *αποκλείει*, εκ λόγων αρχής, τον επακριβή προσδιορισμό των συγκεκριμένων μεγεθών. Υπ’ αυτήν δε την προοπτική, οι σχέσεις απροσδιοριστίας φωτίζονται με διαφορετικό πλέον τρόπο: καθώς οι εμπεριεχόμενες σ’ αυτές συζυγείς μεταβλητές

αναφέρονται, αντίστοιχα, στις *αμοιβαίως αποκλειόμενες* κλασικές ‘εικόνες’ του ‘κύματος’ και του ‘σωματιδίου’, οι σχέσεις απροσδιοριστίας εμφανίζονται ως θέτουσες *τα όρια*, εντός των οποίων η χρήση των κλασικών εννοιών (που αντιστοιχούν στις δύο ακραίες αυτές ‘εικόνες’) μπορεί να εφαρμοσθεί χωρίς αντιφάσεις. Αξίζει δε να σημειώσουμε ότι η κατά Bohr ερμηνεία του γ-μικροσκοπίου σηματοδοτεί την εμβρυακή εμφάνιση τριών εκ των τεσσάρων μορφών της συμπληρωματικότητας, εκείνων των μορφών που συναντώνται ένα χρόνο αργότερα στη διάλεξη του Como (§B-1). Ειδικότερα, μπορούμε να διακρίνουμε **α)** τη συμπληρωματικότητα των κλασικών ‘εικόνων’ (κύματος – σωματιδίου), **β)** τη συμπληρωματικότητα των κλασικών ‘περιγραφών’ (χωρο-χρονικής – αυστηρώς αιτιακής) και **γ)** την περιγραφόμενη από τις σχέσεις απροσδιοριστίας συμπληρωματικότητα των κλασικών συζυγών εννοιών (π.χ. ‘ορμής – θέσης’ και ‘ενέργειας – χρόνου’). Εάν δε συνυπολογίσουμε ότι ο Bohr είχε ήδη κάνει, από το 1926, μια πρώτη νύξη για την τέταρτη μορφή της συμπληρωματικότητας, για τον συμπληρωματικό δηλαδή χαρακτήρα της θεωρίας των μητρών, αφενός, και της κυματικής μηχανικής, αφετέρου (A5.21), μπορούμε να κατανοήσουμε πλέον καλύτερα γιατί οι σχέσεις απροσδιοριστίας συνετέλεσαν, με καταλυτικό θα λέγαμε τρόπο, στην ενδυνάμωση και αποκρυστάλλωση της ιδέας της συμπληρωματικότητας.

Η μεταξύ των Bohr και Heisenberg αντιπαράθεση μπόρεσε να εκτονωθεί μόνο όταν «μετά από πολλές εβδομάδες συζητήσεων ιδιαίτερης έντασης», οι δύο επιστήμονες κατέληξαν στο συμβιβαστικό, κατά κάποιο τρόπο, συμπέρασμα ότι «οι σχέσεις αβεβαιότητας συνιστούσαν, απλώς, μια *ειδική περίπτωση* της γενικότερης έννοιας της συμπληρωματικότητας». Έτσι, ο μεν Heisenberg έστειλε την εργασία του «υπό τη βελτιωμένη της μορφή στον εκδότη, ενώ ο Bohr άρχισε να ετοιμάζει μια λεπτομερή εργασία με θέμα τη συμπληρωματικότητα» (Heisenberg, 1967β, σ. 57).

Εμείς οφείλουμε βεβαίως να παρατηρήσουμε ότι η ‘βελτιωμένη’ μορφή της εργασίας του Heisenberg διέφερε από την αρχική κατά μια μόνο παράγραφο που επισυνάφθηκε ως ‘συμπλήρωμα’ κατά τον έλεγχο των τυπογραφικών ανατύπων. Στην παράγραφο αυτή, ο Heisenberg ευχαριστούσε τον Bohr «για τη συμβολή του στην αναγνώριση ουσιαστικών σημείων, τα οποία είχαν παραβλεφθεί κατά την ανάπτυξη της εργασίας» (Heisenberg, 1927α, σ. 83). Προχωρώντας δε την αυτοκριτική του ακόμη περισσότερο, σημείωσε ότι «στο μέλλον θα έπρεπε να λαμβάνει πλέον κανείς σοβαρά υπόψη του ότι η παρατηρούμενη αβεβαιότητα δεν είναι δυνατό ν’ αποδίδεται αποκλειστικά στην εμφάνιση της κβαντικής ασυνέχειας.

Γιατί, όπως ορθά υπέδειξε ο Bohr, η αβεβαιότητα αυτή είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με την απαίτηση απόδοσης *ίσης* σημασίας στα τελείως διαφορετικά πειράματα που φέρουν στο φως τη σωματιδιακή θεωρία, αφενός, και την κυματική θεωρία, αφετέρου» (στο ίδιο, σ. 83). Όπως επισημαίνει ο Rosenfeld, «ένα τέτοιο κλείσιμο της εργασίας θα πρέπει σίγουρα να προβλημάτισε πολλούς αναγνώστες, καθώς δεν είναι όντως σύνητες η αναγγελία μιας αποφασιστικής εξέλιξης, σε σχέση με την κατανόηση της φυσικής πραγματικότητας, ν' αξιολογείται με τέτοιο τρόπο» (Rosenfeld, 1971, σ. 61). Εμείς θα προσθέταμε ότι ένα τέτοιο υστερόγραφο, καθώς ακύρωνε τον επιδιωκόμενο από τον Heisenberg 'κλειστό' χαρακτήρα του κβαντικού φορμαλισμού, κλώνιζε εκ θεμελίων την επιστημολογική θεμελίωση της εργασίας του. Όσον αφορά δε τον πυρήνα των μεταξύ των Bohr και Heisenberg διαφωνιών, μπορούμε βάσιμα να ισχυριστούμε ότι αυτός εντοπίζεται στην ουσιαστική διαφοροποίηση των επιστημολογικών τους αντιλήψεων σε σχέση με τις προϋποθέσεις επάρκειας και αξιοπιστίας μιας 'επιστημονικής εξήγησης'.

Πράγματι, για τον Heisenberg, η *ad hoc* εισαγωγή των κυματικών εννοιών στο κβαντικό πλαίσιο ακύρωνε την αυστηρώς παραγωγική εξηγητική ισχύ του κβαντικού φορμαλισμού. Έτσι, η προσθήκη της τελευταίας παραγράφου οφείλει να εκληφθεί, όχι τόσο ως ουσιαστική αποδοχή της προσέγγισης του Bohr, αλλά ως προσωρινή μάλλον υποχώρηση προς εκτόνωση της κρίσης. Είναι χαρακτηριστικό ότι, λίγες ημέρες μετά την υποβολή της εργασίας του, ο Heisenberg, σε γράμμα του προς τον Pauli, εξομολογήθηκε τα εξής: «... τελικά, οι σχέσεις απροσδιοριστίας επιτυγχάνονται, αλλά όχι ακριβώς με τον τρόπο που σκεπτόμουν. ... Παρ' όλα αυτά, η αρχική μου άποψη διατηρείται αναλλοίωτη: στην κβαντική θεωρία, είναι *μόνο* οι ασυνέχειες εκείνες που παρουσιάζουν πραγματικό ενδιαφέρον. ... Μπορώ βεβαίως να πω ότι, εν τέλει, είμαι ευχαριστημένος. Γιατί, παρά το λάθος που σου ανέφερα, όλα τα τελικά αποτελέσματα της εργασίας μου είναι σωστά, στο σημείο δε αυτό συμφωνεί και ο Bohr. Κατά τα άλλα, και όσον αφορά τη λέξη 'οπτικοποίηση', εξακολουθεί να υπάρχει μια τεράστια διαφορά 'γούστου' ('taste') μεταξύ του Bohr και εμένα» (Γράμμα του Heisenberg προς τον Pauli, 1927β, *NBCW6*, σ. [19]).

Η τάση βεβαίως του Bohr να φέρνει συνεχώς στο προσκήνιο την κυματική θεωρία δεν αποτελούσε έκφραση κάποιου προσωπικού 'γούστου'. Γιατί, υπό τη δική του οπτική γωνία, η αναγκαιότητα χρήσης των εξισώσεων των Einstein και de Broglie για την παραγωγή των σχέσεων απροσδιοριστίας καταδείκνυε, όπως ακριβώς και στην περίπτωση της θεωρίας των κβάντων (§A-4.4), την προφανή ερμηνευτική

ανεπάρκεια του σωματιδιακού μοντέλου της ακτινοβολίας: το μοντέλο αυτό αδυνατούσε ν' αποδώσει ένα σαφές φυσικό νόημα στις κυματικές έννοιες ν και λ , παρότι οι έννοιες αυτές κατείχαν κεντρική θέση στη λογική του δομή. Εν τούτοις, ο Bohr είχε επίσης κατ' εξακολούθηση προσάψει μια ανάλογη ερμηνευτική ανεπάρκεια και στην 'οπτικοποιήσιμη' κυματική μηχανική του Schrödinger (A5.21). Η ισχυρή του επομένως προσήλωση στο πρόβλημα του δυϊσμού μπορεί να ερμηνευθεί, όπως ακριβώς ερμηνεύθηκε εκ των υστέρων από τον Heisenberg, ως απόρροια της προσωπικής του προδιάθεσης «να θεωρεί τη μαθηματική καθαρότητα, από μόνη της, ανεπαρκή. Γιατί ο Bohr πίστευε ότι η πλήρης *φυσική εξήγηση* όφειλε να προηγείται πάντοτε του μαθηματικού φορμαλισμού» (Heisenberg, 1967, σ. 98). Εν τούτοις, η συμβολή του μαθηματικού φορμαλισμού υπήρξε καθοριστική. Γιατί, όπως θα διαφανεί στη συνέχεια, η διατύπωση των σχέσεων απροσδιοριστίας, καθώς και η αναπτυχθείσα σε σχέση με το φυσικό τους περιεχόμενο συζήτηση, συνέβαλαν με ουσιαστικό τρόπο στην οριστική εδραίωση της ιδέας της συμπληρωματικότητας.

Η θεώρηση του Heisenberg, όπως συνάγεται εκ του τρόπου διατύπωσης της εργασίας του, μπορεί να ειπωθεί ως κινούμενη στην κατεύθυνση των αποκαλούμενων 'ερμηνειών διαταραχής' ('disturbance interpretations'): στο γ -μικροσκόπιο, το ηλεκτρόνιο εκλήφθηκε ως ευρισκόμενο σε μια *καλώς καθορισμένη* κατάσταση, η οποία ήταν αδύνατο να 'προσδιοριστεί' λόγω της μη-ελέγξιμης 'διατάραξης' της κατά την αλληλεπίδραση του ηλεκτρονίου με τη μετρητική συσκευή. Κατ' αυτόν τον τρόπο, οι περιορισμοί ως προς τον 'προσδιορισμό' ανάγονταν ευθέως στους περιορισμούς της 'μετρητικής διαδικασίας'. Το ρηξικέλευθο δε ως προς την κρατούσα κατάσταση στοιχείο – εκείνο το στοιχείο που, κατά την αντίληψη του Heisenberg, σηματοδοτούσε την 'οριστική κατάλυση της αυστηρής αιτιότητας' (A5.19) – εντοπιζόταν αποκλειστικά στο εξής: η αδυναμία προσδιορισμού της κατάστασης του υπό μελέτη συστήματος απέρρεε, όχι από την πολυπλοκότητα της δομής του – όπως κατ' εξοχήν συμβαίνει στο κλασικό πλαίσιο – αλλά από την ακύρωση της δυνατότητας επακριβούς μέτρησης των συζυγών μεγεθών ακόμη και στην περίπτωση ενός μεμονωμένου υποατομικού σωματιδίου.

Η θεώρηση όμως του Heisenberg, καθώς εκλάμβανε ως *δεδομένη* την ανά πάσα στιγμή καλώς καθορισμένη κατάσταση του προς παρατήρηση ηλεκτρονίου, υιοθετούσε, εμμέσως πλην σαφώς, την κλασική παραδοχή περί της δυνατότητας πλήρους διαχωρισμού του υπό μελέτη συστήματος από το μετρητικό του περιβάλλον, εκείνη δηλαδή την παραδοχή που εδραιώνει την κλασική αντίληψη των

‘εξατομικευμένων’, παρά τις μεταξύ τους αλληλεπιδράσεις, φυσικών οντοτήτων. Καθώς λοιπόν η διακεκριμένη σε σχέση με το μετρητικό περιβάλλον ‘υπόσταση’ και ‘ταυτότητα’ του υπό μελέτη συστήματος δεν ετίθετο καθιουνδήποτε τρόπο υπό επερώτηση, οι σχέσεις απροσδιοριστίας εμφανίζονταν να εμπίπτουν σ’ ένα καθεστώς *επιστημικής άγνοιας* που επιβαλλόταν από τις γενικές αρχές της κβαντικής θεωρίας και τους αυστηρούς κανόνες της τυπικής λογικής. Έτσι, μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι ο Heisenberg, καθοδηγούμενος από το αίτημα των ‘κλειστών’ λογικών σχημάτων, κατέληξε σε μία αμιγώς οπερασιοναλιστική ερμηνεία της κβαντικής θεωρίας, σε μία ερμηνεία που, παρά τα καινοφανή της πορίσματα, εξακολουθούσε να εκλαμβάνει ως ‘αυτονόητη’ την ‘εξατομικευμένη’ ύπαρξη των φυσικών οντοτήτων, τη θεμελιακή δηλαδή παραδοχή τόσο της κλασικής κοσμοθεώρησης (§B-3.1). Ο Heisenberg, έχοντας βεβαίως αποδεχθεί ως ‘μόνη πραγματικότητα’ την ‘πραγματικότητα των μαθηματικών σχημάτων’ (A5.18), δεν είχε λόγους να εμπλέκεται σε οντολογικής φύσεως προβληματισμούς. Η ερμηνευτική του όμως προσέγγιση, καθώς στήριζε την επεξηγηματική της ισχύ στην αυστηρότητα και μόνο της λογικής διατύπωσης του κβαντικού φορμαλισμού, άφηνε σε κάποιον το περιθώριο να υποθέσει ότι η αδυναμία προσδιορισμού της καλώς καθορισμένης ‘ταυτότητας’ των φυσικών οντοτήτων μπορούσε ν’ αποτελεί ισχυρή ένδειξη για τη ‘μη-πληρότητα’ της κβαντικής θεωρίας.

Τα ζητήματα βεβαίως που απασχολούσαν τον Bohr ήταν, όπως διαπιστώσαμε, εντελώς διαφορετικά: η ερμηνευτική προσέγγιση του Heisenberg αδυνατούσε να προσφέρει, *πρώτον*, μια αξιόπιστη ‘φυσική εξήγηση’ των σχέσεων απροσδιοριστίας και, *δεύτερον*, μια πειστική απάντηση στο πρόβλημα χρήσης της γλώσσας. Μέσω της στενής βεβαίως μεταξύ τους διασύνδεσης τα δύο αυτά ζητήματα συγχωνεύονταν εν τέλει σε ένα, στο πρόβλημα του δυϊσμού κύματος – σωματιδίου. Ως προς το πρώτο ζήτημα, θα μπορούσαμε πλέον ν’ αναρωτηθούμε τι ακριβώς ανέμενε ο Bohr από μια αξιόπιστη ‘φυσική εξήγηση’ των σχέσεων απροσδιοριστίας. Στηριζόμενοι δε στην ‘εξήγηση’ που ο ίδιος προσέφερε μέσω της έννοιας της συμπληρωματικότητας, καταλήγουμε στο ακόλουθο συμπέρασμα: ο Bohr ανέμενε να κατανοήσει εκείνο το χαρακτηριστικό της *φυσικής πραγματικότητας* που επέβαλε τους τιθέμενους από τις σχέσεις απροσδιοριστίας περιορισμούς. Μια από τις αμέτρητες μετέπειτα αναφορές του στο συγκεκριμένο ζήτημα είναι και η ακόλουθη.

(A5.23) «Η αναγνώριση της περιορισμένης διαχωρισιμότητας των φυσικών διαδικασιών, ένα γεγονός που συμβολίζεται από το κβάντο δράσης, δικαίωσε την

παλιά υπόνοια σε σχέση με τη μειωμένη εμβέλεια των συνήθων τρόπων αντίληψης όταν αυτοί εφαρμόζονται στα υποατομικά φαινόμενα» (Bohr, 1929α, σ. 93).

Η περιορισμένη συνεπώς διαχωρισιμότητα των φυσικών διαδικασιών, συνδυαζόμενη με τα όρια των δυνατοτήτων της ανθρώπινης αντίληψης, παρείχε την επιζητούμενη από τον Bohr 'φυσική εξήγηση'. Η υποβάθμιση δε της κβαντικής ασυνέχειας και η ανάδειξη, έναντι αυτής, του ολιστικού χαρακτήρα των φυσικών διαδικασιών και, πρωτίστως, του ολιστικού χαρακτήρα της κβαντικής μέτρησης συνιστά το θεμελιακό σημείο διαφοροποίησης των ερμηνευτικών προσεγγίσεων των Bohr και Heisenberg. Μπορούμε δε να παρατηρήσουμε ότι μία τέτοια ερμηνευτική μετατόπιση προσέδιδε όχι μόνο στις σχέσεις απροσδιοριστίας, αλλά και σ' ολόκληρο το κβαντικό οικοδόμημα, ένα ουσιωδώς διαφορετικό φυσικό περιεχόμενο. Πράγματι, υπό το πρίσμα της κατά Bohr θεώρησης, το υπό παρατήρηση σύστημα δεν ήταν πλέον δυνατό να εκλαμβάνεται ως ευρισκόμενο σε μια καλώς καθορισμένη κατάσταση, η οποία απλώς 'διαταρασσόταν' κατά την αλληλεπίδραση του συστήματος με τη μετρητική συσκευή. Γιατί το υπό παρατήρηση σύστημα και η συσκευή μέτρησης, ως μέρη ενός μη-διαχωρίσιμου 'όλου', αποστερούνταν της δικής τους καλώς καθορισμένης κατάστασης, της δικής τους διακεκριμένης 'υπόστασης' και 'ταυτότητας'. Υπ' αυτήν δε την προοπτική, η λογική αλληλουχία των επιχειρημάτων του Heisenberg αντιστρεφόταν ολοσχερώς: οι περιορισμοί ως προς τον 'προσδιορισμό' δεν ανάγονταν στους περιορισμούς της 'μετρητικής διαδικασίας', αλλά σε αντίστροφη ακριβώς κατεύθυνση οι περιορισμοί ως προς τη 'μέτρηση' ακολουθούσαν και επιβεβαίωναν τους περιορισμούς ως προς τον 'προσδιορισμό'.

Ο Bohr απέφευγε επιμελώς τους ευθείς οντολογικούς ισχυρισμούς. Όπως όμως θα διαπιστώσουμε στο δεύτερο μέρος της εργασίας μας, η ερμηνευτική του προσέγγιση αποκαλύπτει μία αμιγώς ρεαλιστική τοποθέτηση, η οποία αφίσταται βεβαίως δραστικά από τις θέσεις του παραδοσιακού ρεαλισμού (§B-3). Προς το παρόν, οφείλουμε απλώς να επισημάνουμε ότι η ερμηνευτική προσέγγιση του Bohr αποστασιοποιήθηκε πλήρως από τους οπερασιοναλιστικούς χειρισμούς του Heisenberg και οικοδομήθηκε υπό την προϋπόθεση της 'περιορισμένης διαχωρισιμότητας των φυσικών διαδικασιών', υπό την παραδοχή, δηλαδή, ενός χαρακτηριστικού του φυσικού κόσμου, όπως αυτός 'πραγματικά είναι'.

Μέσα στο συγκεκριμένο ερμηνευτικό πλαίσιο, το πρόβλημα χρήσης της γλώσσας επιλυόταν, επίσης, με ριζικώς διαφορετικό τρόπο. Υπό το πρίσμα της κατά Bohr θεώρησης, οι κλασικές έννοιες δεν συνιστούσαν 'αριθμούς' που προέκυπταν από τις

λογικές διαδικασίες του κβαντικού φορμαλισμού και προσλάμβαναν ‘δαισθητικό’ - ‘φυσικό’ νόημα από τους λειτουργικούς τους ορισμούς εντός ενός συγκεκριμένου πειραματικού πλαισίου. Ή, υπό μια διαφορετική έκφραση, οι κλασικές έννοιες δεν προσλάμβαναν το φυσικό τους νόημα μέσω της χρήσης τους, όπως η οπερασιοναλιστική θεώρηση του Heisenberg υποδείκνυε (A5.16). Αντίθετα, η *ad hoc* εισαγωγή των κλασικών εννοιών στο κβαντικό πλαίσιο εκλαμβάνονταν ως μια *a priori* αναγκαιότητα που επιβαλλόταν από τους φυσικούς περιορισμούς της ανθρώπινης αντίληψης: οι κλασικές έννοιες, έχοντας προσλάβει το φυσικό τους νόημα υπό την προϋπόθεση της πλήρους ‘απόσπασης’ του υπό μελέτη αντικειμένου από το γνωρίζον υποκείμενο (ή, ισοδύναμα, τη μετρητική συσκευή) κρίνονταν ως οι μόνες κατάλληλες να εκφράσουν τον πλήρη διαχωρισμό υποκειμένου – αντικειμένου υπό τον οποίο συντελείται, *αναγκαστικά*, κάθε παρατήρηση. Οι κλασικές όμως έννοιες αδυνατούσαν να εκφράσουν, παράλληλα, τον ολιστικό χαρακτήρα των κβαντικών διαδικασιών. Έτσι, ο Bohr, όταν έστειλε τα proofs της εργασίας του Heisenberg στον Einstein, έκρινε σκόπιμο να υπογραμμίσει τα εξής.

(A5.24) «Έχει βεβαίως αναγνωρισθεί προ πολλού το γεγονός ότι οι σχετιζόμενες με την κβαντική θεωρία δυσκολίες είναι στενά συνδεδεμένες με τις έννοιες ή μάλλον με τις λέξεις που χρησιμοποιούνται στις συνηθισμένες περιγραφές της φύσης. Με έννοιες και λέξεις, δηλαδή, που έλκουν την καταγωγή τους από την κλασική θεωρία. Οι έννοιες αυτές μας επιτρέπουν μόνο την επιλογή μεταξύ της Σκύλλας και της Χάρυβδης, ανάλογα με το αν κατευθύνουμε την προσοχή μας στη συνεχή ή στην ασυνεχή πλευρά της περιγραφής. Παρ’ όλα αυτά, αισθανόμαστε ότι υπάρχει ελπίδα να βρούμε μια λύση, εάν αποφασίσουμε να θυσιάσουμε τις απορρέουσες, από τις συνήθειές μας, επιθυμίες μας. Γιατί είναι οι συνήθειες ακριβώς αυτές που μας αποπροσανατολίζουν, εφόσον μας είχαν επιτρέψει έως τώρα να ‘κολυμπάμε’ ανάμεσα σε πραγματικότητες. Όπως όμως η εργασία του Heisenberg καταδεικνύει, το γεγονός ότι οι περιορισμοί των εννοιών μας συνδέονται τόσο στενά με τους περιορισμούς της παρατήρησης μάς επιτρέπει τελικά ν’ αποφεύγουμε τις αντιφάσεις» (13 Απριλίου 1927β, *NBCW6*, σ.[21]).

Οι σχέσεις απροσδιοριστίας καθόριζαν λοιπόν με αυστηρό φορμαλιστικό τρόπο τα όρια χρήσης των κλασικών εννοιών εντός του κβαντικού πλαισίου, όρια που εξέφραζαν, ταυτόχρονα, και τους περιορισμούς των ανθρωπίνων δυνατοτήτων προς παρατήρηση. Υπό την επίγνωση δε του ολιστικού χαρακτήρα των υποατομικών διαδικασιών, γινόταν πλέον φανερό ότι δεν ήταν δυνατό ‘να κολυμπά κανείς ανάμεσα σε πραγματικότητες’. Γιατί, καθώς η αδυναμία ‘προσδιορισμού’ της κατάστασης του υπό παρατήρηση ατομικού συστήματος απέκλειε εκ λόγων αρχής την αναπαραστασιακή του ‘ταυτοποίηση’ (την περιγραφή του όπως αυτό ‘πραγματικά είναι) μέσω των εμπεριεχόμενων στις σχέσεις απροσδιοριστίας κλασικών εννοιών, οι παραδοσιακές ρεαλιστικές θέσεις έχαναν, εντός του κβαντικού

πλαisiού, την επιστημική τους εγκυρότητα. Έτσι, στο πλαίσιο της κατά Bohr θεώρησης, η συμπληρωματικότητα (και, ως ειδική έκφραση αυτής, οι σχέσεις απροσδιοριστίας) καθώς αναλάμβανε τον σαφή καθορισμό της ‘κλασικότητας’ εντός του κβαντικού πλαisiού (§B-2) οφείλει να ειδωθεί, όχι τόσο ως μέσο επίλυσης του δυϊσμού, αλλά, κυρίως, ως μέσο επίλυσης του προβλήματος χρήσης της γλώσσας εντός του ολιστικού κβαντικού πλαisiού (μία ειδική δε έκφραση του προβλήματος της γλώσσας ήταν και ο δυϊσμός κύματος – σωματιδίου, §B-1, σημείο 8γ).

5. *Ο Einstein και οι σχέσεις απροσδιοριστίας.* Όπως θυμόμαστε, ο Heisenberg εκπόνησε την εργασία του υπό το φως της ρήσης του Einstein ότι «η φύση λειτουργεί πάντοτε με τέτοιο τρόπο, ώστε τα μαθηματικά σχήματα μπορούν να προσαρμοσθούν σ’ αυτήν» (A5.12). Παρουσιάζει συνεπώς ενδιαφέρον να ανιχνεύσουμε τους λόγους που ωθούσαν τον Einstein, κατά την πρώτη φάση της επιστημονικής και φιλοσοφικής του ‘διαμάχης’ με τον Bohr, να καταβάλει επίμονες προσπάθειες για να καταδείξει τη ‘μη-συνεκτικότητα’ της κβαντικής θεωρίας, για να καταδείξει δηλαδή ότι υπήρχαν συγκεκριμένες πειραματικές συνθήκες στις οποίες οι σχέσεις απροσδιοριστίας αποτύγγαναν.⁵² Κατά τη διάρκεια της πρώτης αυτής φάσης – της οποίας η έναρξη και το τέλος τοποθετούνται στο 5^ο και 6^ο συνέδριο του Solvay το 1927 και το 1930 αντίστοιχα – οι σχετικές προσπάθειες του Einstein απέτυχαν.⁵³ Εν τούτοις, ο Einstein παραμένοντας ακλόνητος στις θέσεις του, συνέχισε να ‘μάχεται’ με το ίδιο αμείωτο πάθος, αλλάζοντας απλώς την επιθετική του στρατηγική. Όπως αποκαλύπτει η ιστορική έρευνα, μετά το 1930, ο στόχος της κριτικής του μετατοπίστηκε εξ ολοκλήρου από τη ‘μη-συνεκτικότητα’ στη ‘μη-πληρότητα’ της κβαντικής θεωρίας (Kragh, 1999, σ. 213, Jammer, 1974, σ. 156). Σύμφωνα τώρα με τη γλαφυρή περιγραφή του Ehrenfest, στο 5^ο συνέδριο του Solvay και, κυρίως, στις εκτός συνεδρίου συζητήσεις του με τον Bohr, ο Einstein, «εφευρίσκοντας συνεχώς καινούργια παραδείγματα, όπως ακριβώς συμβαίνει σε μια παρτίδα σκάκι, προσπαθούσε με κάθε τρόπο να ‘σπάσει’ τις σχέσεις αβεβαιότητας» (περιγραφή του Ehrenfest σε γράμμα του προς τους Goudsmit, Uhlenbeck και Dicke, 3 Νοεμβρίου 1927, *NBCW6*, σ. [38]). Ας προσπαθήσουμε, λοιπόν, να κατανοήσουμε τους λόγους.

⁵² Ο Bohr, αρκετά αργότερα, παρουσίασε μια ιδιαίτερος επιμελημένη και προσεκτική ανάλυση της επιστημονικής και φιλοσοφικής του αντιπαράθεσης με τον Einstein. Στο σημαντικό αυτό δοκίμιο, καταγράφει λεπτομερώς και τα κυριότερα νοητικά πειράματα που χρησιμοποίησε ο Einstein για τη στήριξη των επιχειρημάτων του (Bohr, 1949, σσ. 32-66).

⁵³ Ο Jammer παραθέτει μια εκτενή περιγραφή των παρουσιάσεων στα εν λόγω συνέδρια, των εντυπώσεων που αυτές προκάλεσαν, καθώς και των εξελίξεων που αυτές υποκίνησαν (Jammer, 1974, σσ. 109-121 και 132-136 για το 5^ο και 6^ο συνέδριο του Solvay αντίστοιχα).

Οφείλουμε κατ' αρχήν να σημειώσουμε ότι ο Einstein, μέσω της διαφοροποιημένης σε σχέση με τον Bohr αξιολόγησης της θεωρίας των κβάντων (§A-4.4), αναδείκνυε τα προβλήματα εκείνα που, υπό πρίσμα της δικής του αντίληψης, αδυνατούσαν να επιλυθούν από τη συγκεκριμένη θεωρία. Το 1920, λόγω χάριν, σε δύο διαδοχικά του γράμματα προς τον Born εκμυστηρεύτηκε τα εξής.

(A5.25) «Το πρόβλημα της αιτιότητας με απασχολεί ιδιαίτερος. Άραγε, θα γίνει ποτέ δυνατή η κατανόηση της απορρόφησης και της εκπομπής ακτινοβολίας υπό μια έννοια πλήρους αιτιότητας ή θα παραμείνει στην ερμηνεία των συγκεκριμένων φαινομένων ένα στατιστικό κατάλοιπο; Ομολογώ ότι αδυνατώ να δώσω μια πειστική απάντηση στο συγκεκριμένο ερώτημα. Παρ' όλα αυτά, η εγκατάλειψη της αυστηρής αιτιότητας μου είναι ιδιαίτερα απεχθής» (Einstein προς Born, 27 Ιανουαρίου 1920α, σ. 23).

«Κατά τον ελεύθερο χρόνο μου, αναλογίζομαι διαρκώς το πρόβλημα της κβαντικής θεωρίας υπό την οπτική γωνία της σχετικότητας. Δεν πιστεύω ότι η κβαντική θεωρία μπορεί να 'δουλέψει' χωρίς τη συνέχεια. Αλλά είναι φανερό ότι δεν είμαι ικανός να δώσω μια χειροπιαστή μορφή σε αυτήν την τόσο προσφιλή σε εμένα ιδέα. Στην ιδέα, δηλαδή, της κατανόησης της δομής των κβάντων ... δια της χρήσης, διαφορετικών εξισώσεων» (Einstein προς Born, 1920β, 3 Μαρτίου, σ. 26).

Μέσω των διαφορικών λοιπόν εξισώσεων, ο Einstein προσπαθούσε να επαναφέρει στο πλαίσιο της κβαντικής θεωρίας τη συνεχή εκείνη εξέλιξη που διασφάλιζε την ισχύ της 'αυστηρής αιτιότητας'. Δεν είναι επομένως δύσκολο να κατανοήσουμε τον ειλικρινή του ενθουσιασμό, όταν λίγα χρόνια αργότερα ο Schrödinger ανακοίνωσε την κυματική του θεωρία, μια θεωρία που, εκ πρώτης όψεως, διασφάλιζε την επιθυμητή συνέχεια. Έτσι, στο συγχαρητήριο γράμμα του προς τον Schrödinger, ο Einstein δεν δίστασε να προχωρήσει στην ακόλουθη συντριπτική, σε σχέση με την κβαντική μηχανική, συγκριτική αξιολόγηση: «όπως είμαι πεισμένος», έγραψε, «ότι η δική σας διατύπωση των κβαντικών συνθηκών συνιστά ένα αποφασιστικό βήμα, είμαι το ίδιο πεισμένος ότι η προσέγγιση των Heisenberg και Born ακολουθεί λανθασμένο δρόμο» (26 Απριλίου 1926β, από Pais, 1993, σ. 316).

Ο Einstein είχε επομένως κάθε λόγο να επερωτά τη γενική ισχύ των σχέσεων απροσδιοριστίας, των σχέσεων εκείνων που επιβεβαίωναν, σύμφωνα με το καταληκτικό συμπέρασμα του Heisenberg, την 'οριστική κατάλυση της αυστηρής αιτιότητας' (A5.19). Παρ' όλα αυτά, παρουσιάζει εξαιρετικό ενδιαφέρον το γεγονός ότι η διαφορετική, έναντι των σχέσεων απροσδιοριστίας, στάση των Heisenberg και Einstein δεν πήγαζε από τη διαφοροποίηση των επιστημολογικών τους στρατηγικών, όπως κατ' εξοχήν συνέβαινε στην περίπτωση της μεταξύ των Bohr και Heisenberg αντιπαράθεσης (εφόσον οι ενστάσεις του Bohr δεν υποδείκνυαν καθιονδδήποτε τρόπο κάποια προ-καθορισμένη αντίληψη περί 'φυσικής πραγματικότητας'), αλλά

από το ριζικώς διαφορετικό μεταφυσικό υπόβαθρο που υποβάσταζε τις αντιλήψεις τους. Εκκινώντας, λοιπόν, από το επιστημολογικό σκέλος των δύο θεωρήσεων, μπορούμε βάσιμα να ισχυριστούμε ότι ο Einstein θα μπορούσε με άνεση να συνηγορήσει υπέρ των επιστημολογικών θέσεων που στήριζαν την εργασία του Heisenberg. Ο ισχυρισμός αυτός στηρίζεται στις ακόλουθες διαπιστώσεις.

Ως πρώτο σημείο σύγκλισης των επιστημολογικών αντιλήψεων των Heisenberg και Einstein, μπορούμε ν' αναγνωρίσουμε την αναγνώριση των λογικών – παραγωγικών μεθόδων επιστημονικής αναζήτησης ως κύριων μέσων προώθησης της επιστημονικής εξέλιξης. Πράγματι, ο Einstein, το 1928, σε μια κριτική επισκόπηση της εργασίας του Meyerson “La deduction relativiste” (Meyerson, 1925), αναδεικνυε ως κεφαλαιώδους σημασίας τις ακόλουθες επιστημολογικές θέσεις του τελευταίου:

(A5.26) «Η φυσική επιστήμη δεν ικανοποιείται καθοιονδήποτε τρόπο από τη διατύπωση εμπειρικών μόνο νόμων. Προσβλέπει, αντίθετα, στην οικοδόμηση ενός λογικού συστήματος, το οποίο οφείλει να βασίζεται σε κατά το δυνατόν λιγότερες προκείμενες και να εμπεριέχει τους νόμους της φύσης ως λογικές συνέπειες. Αυτό το σύστημα ή, μάλλον, οι δομές που εμφανίζονται σε αυτό το σύστημα οφείλουν να ‘συντονίζονται’ [to be ‘coordinated’] με τα αντικείμενα της εμπειρίας» (Einstein, 1928α, από Howard, 1991, σ. 93).

Το περιεχόμενο της έκφρασης ‘συντονισμός με την εμπειρία’ μπορεί να διασαφηνισθεί από το ακόλουθο απόσπασμα, το περιεχόμενο του οποίου, αν και αναφέρεται επίσης στη θεωρία της σχετικότητας, καθώς στη συνέχεια γενικεύεται, αποτυπώνει με πιστότητα τις ευρύτερες επιστημολογικές αντιλήψεις του Einstein. Οι αντιλήψεις αυτές εκφράζονται, υπό τη μορφή ερωτήματος, ως εξής:

(A5.27) «Δεν φθάνουμε λοιπόν στο σημείο να συμπεράνουμε ότι είναι αδύνατο ν' αποδοθεί νόημα στις γεωμετρικές προτάσεις και ότι, αντίθετα, είναι δυνατό ν' αποδοθεί νόημα μόνο στην πλήρως αναπτυγμένη θεωρία της σχετικότητας; Δεν φθάνουμε δηλαδή στο σημείο να παραδεχθούμε ότι οι μεμονωμένες έννοιες και προτάσεις μιας φυσικής θεωρίας στερούνται του οποιουδήποτε νοήματος και ότι ένα τέτοιο νόημα μπορεί ν' απορρεύσει μόνο από το σύστημα, ως ‘όλον’, υπό την προϋπόθεση βεβαίως ότι το σύστημα αυτό καθιστά ‘κατανοητό’ (‘intelligible’) το περιεχόμενο της εμπειρίας; Γιατί θα πρέπει, εν τέλει, οι εμπειριεχόμενες σε μια θεωρία μεμονωμένες έννοιες να υπόκεινται σε κάποια ξεχωριστή αιτιολόγηση, εφόσον οι έννοιες αυτές καθίστανται αναγκαίες μόνο μέσα στο λογικό πλαίσιο της θεωρίας και η θεωρία, ως όλον, ανταποκρίνεται επιτυχώς στον εμπειρικό έλεγχο;» (Einstein, 1949γ, σ. 678).

Παρατηρούμε ότι ο Einstein, μετά την οριστική εγκατάλειψη των θετικιστικών αντιλήψεων που εμπότιζαν τη θεμελίωση της ειδικής σχετικότητας,⁵⁴ υιοθέτησε ένα

⁵⁴ Η αποστασιοποίηση του Einstein από τις ιδέες του Mach τοποθετείται από την ιστορική έρευνα στα μέσα περίπου της δεκαετίας 1910 – 1920 (Holton, 1994, σσ. 237-277). Έκτοτε, η θεώρηση του Einstein παρέμεινε, ως προς τις βασικές της θέσεις, αναλλοίωτη. Έτσι, η παράθεση μεταγενέστερων απόψεών του μας βοηθά να κατανοήσουμε τη στάση του και κατά την περίοδο που μας ενδιαφέρει.

επιστημολογικό σχήμα που συγκλίνει ισχυρά προς τις ολιστικές πλευρές της κατά Hempel ή Popper θεώρησης (§A-5.2.1): εάν μια θεωρία, ως όλον, διέθετε εμπειρικό περιεχόμενο, η εμπειρική θεμελίωση των μεμονωμένων όρων της κρινόταν περιττή. Γιατί οι μεμονωμένοι όροι αντλούσαν το νόημά τους από το θεωρητικό πλαίσιο στο οποίο ανήκαν. Μία επιστημονική δε θεωρία διέθετε εμπειρικό περιεχόμενο, εάν οι λογικοί της όροι ‘προσαρμόζονταν’ επιτυχώς, μέσω των κατάλληλων ‘ορισμών συντονισμού’ (‘coordinate definitions’), στα αντικείμενα της εμπειρίας. Σ’ αυτήν την περίπτωση, η συγκεκριμένη θεωρία καθιστούσε ‘κατανοητό’ το περιεχόμενο της εμπειρίας, προσέφερε, επομένως, μια ικανοποιητική επιστημονική ‘εξήγηση’.

Μπορούμε βεβαίως να θυμηθούμε ότι η θεμελίωση της εργασίας του Heisenberg ακολουθούσε τις ίδιες ακριβώς επιστημολογικές αρχές: οι αρχές απροσδιοριστίας συνιστούσαν προϊόν αυστηρών λογικών διαδικασιών που εκκινούσαν από τις αξιωματικές αρχές του κβαντικού φορμαλισμού, μέσω δε των λειτουργικών ορισμών των όρων τους επιτυγχάνονταν η ‘προσαρμογή’ ή ο ‘συντονισμός’ – σύμφωνα με την ορολογία του Einstein – της κβαντικής μηχανικής με την εμπειρία. Η ‘προσαρμογή’ δε αυτή ήταν εκείνη που προσέδιδε ‘φυσικό’ νόημα σε ολόκληρο το κβαντικό οικοδόμημα, ενώ, παράλληλα, οι γενικές αρχές του κβαντικού φορμαλισμού καθιστούσαν ‘κατανοητό’ το περιεχόμενο της εμπειρίας (§A-5.3.3, σημείο 3).

Θα λέγαμε, λοιπόν, ότι οι επιστημολογικές αντιλήψεις των Heisenberg και Einstein, πέραν του ότι υιοθετούσαν το παραγωγικό κατά βάση μοντέλο ερευνητικής αναζήτησης, μοιράζονταν και ένα δεύτερο κοινό χαρακτηριστικό: πρόκριναν, αμφότερες, μια μορφή ‘επιστημονικής εξήγησης’ που προσέγγιζε τον *επιστημολογικό ολισμό*.⁵⁵ Καθώς δε μια τέτοια επιστημολογική προοπτική δεχόταν ως δεδομένη τη *θεωρητικώς εξαρτώμενη* εμπειρία, οι επιστημονικές θεωρίες δεν μπορούσαν παρά να εκλαμβάνονται, κατ’ αρχήν, ως ‘συμβάσεις’, των οποίων «οι θεμελιώδεις έννοιες συνιστούσαν ελεύθερες εφευρέσεις της ανθρώπινης νόησης, μη δυνάμενες ν’ αποδοθούν ούτε στην ιδιαίτερη φύση της νόησης, αλλά ούτε και σε κάποια άλλη *a priori* ιδιότητα» (Einstein, 1933, σ. 272). Η συμβασιοκρατική πλευρά της θεώρησης του Einstein αποτυπώνεται με αποκαλυπτικό τρόπο στο ακόλουθο απόσπασμα.

(A5.28) «Τα εννοιολογικά συστήματα, καθώς και οι κανόνες σύνταξης που καθοδηγούν τη συγκρότηση της δομής τους, συνιστούν προϊόντα της ανθρώπινης δημιουργίας. Τα εννοιολογικά συστήματα είναι από λογικής άποψης εντελώς αυθαίρετα. Περιορίζονται, όμως, από την απαίτηση του κατά το δυνατόν *μέγιστου*,

⁵⁵ Ο Howard (2001), μέσω μιας ενδελεχούς ανάλυσης των θέσεων του Einstein, καταδεικνύει την ουσιαστική σύγκλιση της θεώρησης του τελευταίου προς τον επιστημολογικό ολισμό.

πλήρους και βέβαιου συντονισμού με το σύνολο της αισθητηριακής εμπειρίας. ... Μια πρόταση είναι ορθή, εάν, εντός ενός λογικού συστήματος, παράγεται μέσω των αποδεκτών λογικών κανόνων. Το αληθές περιεχόμενο ενός συστήματος συναρτάται με τη βεβαιότητα και την πληρότητα που αυτό επιδεικνύει κατά τον συντονισμό του με το σύνολο της εμπειρίας. Μια ορθή δε πρόταση δανείζεται την 'αλήθεια' της από το αληθές περιεχόμενο του συστήματος στο οποίο ανήκει» (Einstein, 1949α, σσ. 11,13).

Τα απόσπασμα αυτό θα μπορούσε κάλλιστα ν' αποτελεί συστατικό μέρος μιας γλωσσικής θεωρίας περί μαθηματικής και λογικής 'αλήθειας' και, ως τέτοιο, θα μπορούσε βεβαίως να προσυπογραφεί, τόσο από τον Heisenberg, όσο και από οποιονδήποτε υποστηρικτή μιας συμβασιοκρατικής θεώρησης των φυσικών θεωριών κατά το πρότυπο του Poincaré. Τα λογικά συστήματα των επιστημονικών θεωριών εκλαμβάνονται, ως 'αυθαίρετα' προϊόντα της 'ανθρώπινης δημιουργίας', ως κριτήρια δε για την αποτίμηση της αληθοτιμής του περιεχομένου τους τίθενται, *αφενός*, η πληρέστερη δυνατή προσαρμογή τους στο σύνολο της εμπειρίας και, *αφετέρου*, η οικονομία, η απλότητα και η ενοποιητική τους – με συντακτικούς όρους – ικανότητα. Υπ' αυτήν ακριβώς την προοπτική, ο Einstein δεν δίστασε ν' αναδείξει ως εξόχως σημαντικά και τα ακόλουθα χαρακτηριστικά της επιστημολογίας του Meyerson:

(A5.29) «Η λογική θεμελίωση ενός θεωρητικού συστήματος, καθώς και της συντακτικής του δομής, είναι, από λογικής άποψης, συμβατική. Η μόνη τους δικαίωση απορρέει από την επάρκεια του συστήματος κατά την αντιπαράθεσή του με τα γεγονότα, από τον ενοποιημένο χαρακτήρα του και από τον μικρό αριθμό αξιωμάτων που το θεμελιώνουν» (Einstein, 1928, από Howard, 1991, σ. 93).

Υπ' αυτή δε την οπτική γωνία, ο σκοπός της επιστήμης οριζόταν, εύλογα, ως εξής:

(A5.30) «Σκοπός της επιστήμης είναι η πρόβλεψη του μέγιστου δυνατού αριθμού εμπειρικών δεδομένων, μέσω λογικής παραγωγής, από τον μικρότερο δυνατό αριθμό υποθέσεων ή αξιωμάτων» (Einstein, από Murdoch, 1987, σ. 196).

Το τελευταίο αυτό απόσπασμα μας αποκαλύπτει ένα ακόμη σημείο επιστημολογικής σύγκλισης των Heisenberg και Einstein. Γιατί, όπως είναι φανερό, εναρμονίζεται πλήρως με το τιθέμενο από τον Heisenberg, αλλά και από τους Hempel και Popper, αίτημα περί της ευρύτερης δυνατής *συντακτικής ενοποίησης* της επιστημονικής γνώσης. Το αίτημα δε αυτό, στην περίπτωση του Einstein, απέρρευε «από τη βεβαιότητα ότι ήταν μόνο η ανακάλυψη μιας *παγκόσμιας τυπικής αρχής* εκείνη που θα μπορούσε να οδηγήσει σε αξιόπιστα αποτελέσματα» (Einstein, 1949α, σ. 53).

Η θεώρηση όμως του Einstein δεν προσέβλεπε μόνο σε ένα ενιαίο λογικό σχήμα που θα αποδεικνυόταν ικανό να 'συντονίζεται' επιτυχώς με την εμπειρία. Όπως παρατηρεί με οξυδέρκεια ο Hooker, «ο Einstein μάς παροτρύνει να κατανοήσουμε την ιστορία της επιστήμης ως μια διαδοχική υπέρβαση *ομόκεντρων*, ως προς την οπτική τους γωνία, εννοιολογικών σχημάτων, καθένα από τα οποία επιτυγχάνει,

έναντι του αμέσως προηγούμενου, αυξημένη ακρίβεια αναπαράστασης» (Hooker, 1994, σ. 186). Μια ‘ομόκεντρη’ όμως, ως προς την κλασική θεωρία, οπτική γωνία προϋπέθετε βεβαίως τις συνθήκες της ‘συνέχειας’ και της ‘άμεσης αιτιότητας’, εκείνες ακριβώς τις συνθήκες που η κβαντική φυσική ακύρωνε. Έτσι, η επίμονη προσπάθεια του Einstein ‘να κατανοήσει τη δομή των κβάντων μέσω διαφορικών εξισώσεων’ (A5.25) είναι πλέον κατανοητή: ένα τέτοιο επίτευγμα, καθώς θα δημιουργούσε τα αναγκαία ερείσματα για την ενοποίηση της κβαντικής και της κλασικής θεωρίας σ’ ένα ενιαίο και αυστηρώς αιτιακό εννοιολογικό σύστημα, θα αντιπροσώπευε ένα σημαντικό βήμα προς το μεγάλο του όραμα: τη διατύπωση μιας ενοποιημένης, αυστηρώς αιτιακής θεωρίας όλων των φυσικών φαινομένων. Έτσι, ακόμη και το 1949, ο Einstein εξακολουθούσε να προσδοκά τα ακόλουθα.

(A5.31) «Η πλειονότητα των σύγχρονων φυσικών πιστεύει ότι οι ουσιώδεις πλευρές των κβαντικών φαινομένων είναι αδύνατο να ερμηνευθούν από μια θεωρία, η οποία, μέσω συνεχών χωρικών συναρτήσεων με τη μορφή διαφορικών εξισώσεων, θα περιέγραφε την αληθινή κατάσταση των αντικειμένων. ... Οι δικές μου όμως προσδοκίες προσδιορίζονται από την έως τώρα εμπειρία της βαρυτικής θεωρίας. Έτσι, υπό τη δική μου οπτική γωνία, οι εξισώσεις της συγκεκριμένης θεωρίας καθιστούν, περισσότερο από όλες τις υπόλοιπες εξισώσεις της φυσικής, δικαιολογημένη την προσδοκία διατύπωσης επακριβών ισχυρισμών» (Einstein, 1949α, σσ. 87, 89).

Ποια ήταν όμως εκείνη η πηγή που τροφοδοτούσε την προσήλωση του Einstein στην αυστηρή αιτιότητα; Η προηγούμενη αναφορά του στην ‘αληθινή κατάσταση των αντικειμένων’ μας έχει ήδη προϊδεάσει για την απάντηση. Όπως μπορούμε δε να διαπιστώσουμε από τα γράμματα του Einstein προς τον Born, η απάντηση αυτή διατηρήθηκε αναλλοίωτη για χρονικό διάστημα που υπερέβαινε την εικοσαετία.

(A5.32) «Η κβαντική μηχανική είναι πολύ εντυπωσιακή. Μια εσώτερη όμως φωνή μου λέει ότι δεν ανταποκρίνεται σε κάτι αληθινό. Γιατί, παρότι παράγει ένα πλήθος αποτελεσμάτων, αδυνατεί να μας φέρει εγγύτερα στο μυστικό του Ενός. Είμαι βέβαιος ότι ο Θεός δεν παίζει ζάρια» (4 Δεκεμβρίου 1926α, σ. 91).

«Οι επιστημονικές μας προσδοκίες υπήρξαν εντελώς αντίθετες. Εσύ πιστεύεις σ’ έναν Θεό που παίζει ζάρια, ενώ εγώ σε ακριβείς νόμους που διέπουν έναν κόσμο αληθινών αντικειμένων. Προσπαθώ δε να συλλάβω τους νόμους αυτού του κόσμου μέσω αυθαίρετων εικασιών» (7 Σεπτεμβρίου 1944, σ. 149).

«Είμαι βαθύτατα πεπεισμένος ότι θα επιτύχει κάποιος τελικά τη διατύπωση μιας θεωρίας, της οποίας τα διασυνδεδεμένα μέσω νόμων αντικείμενα δεν θα είναι πιθανότητες, αλλά συγκεκριμένα γεγονότα, όπως ακριβώς έως προσφάτως πιστεύαμε» (3 Μαρτίου 1947, σ. 158).

Η μεταφυσική συνεπώς θεώρηση του Einstein, σε αντιδιαστολή προς την αντίστοιχη του Heisenberg, δεν περιοριζόταν στην ‘αλήθεια’ των μαθηματικών σχημάτων. Η ασίγαστη επιθυμία του να επαναφέρει στο πλαίσιο της φυσικής επιστήμης την αυστηρή αιτιότητα πήγαζε από τη βαθύτατη πίστη του σε έναν κόσμο ‘αληθινών

αντικειμένων' και 'συγκεκριμένων γεγονότων', σε έναν κόσμο υποκείμενο σε 'ακριβείς αιτιακούς νόμους', τους οποίους η φυσική επιστήμη διέθετε τη δυνατότητα να συλλάβει μέσω των ελεύθερων εικασιών του ανθρώπινου νου. Υπ' αυτό δε το πρίσμα, ένα μαθηματικό σχήμα όπως η κβαντική μηχανική, το οποίο είτε επερωτούσε την αιτιακή δομή της φυσικής πραγματικότητας είτε, υπό μια διαφορετική ερμηνευτική προσέγγιση, επιβεβαίωνε τα όρια γνωσιακής πρόσβασης σε αυτήν, δεν μπορούσε να θεωρηθεί αξιόπιστο. Γιατί, κατά την αντίληψη του Einstein, η μαθηματική γλώσσα επιτελούσε την αντίστροφη ακριβώς λειτουργία: προσέφερε, μέσω της 'καθαρής' σκέψης, τη δυνατότητα *αντικειμενικής* σύλληψης των αιτιακών δομών του κόσμου, όπως αυτός 'πραγματικά είναι'. Η άρρηκτη δε αυτή διασύνδεση των μαθηματικών με τη φυσική πραγματικότητα εθεάτο ως εξής:

(A5.33) Η έως τώρα εμπειρία δικαίωσε την πεποίθησή μας ότι η φύση αποτελεί πραγμάτωση των απλούστερων νοητών μαθηματικών εννοιών. Έχω πλέον πεισθεί ότι, μέσω της χρήσης αμιγών μαθηματικών κατασκευών, μπορούμε ν' ανακαλύψουμε εκείνες τις έννοιες, καθώς και τις μεταξύ τους νομοτελειακές σχέσεις, που παρέχουν το κλειδί για την κατανόηση των φυσικών φαινομένων. Η εμπειρία μπορεί μεν να προτείνει τις κατάλληλες μαθηματικές έννοιες, είναι όμως σίγουρο ότι οι μαθηματικές έννοιες δεν μπορούν να συναχθούν από την εμπειρία. Η εμπειρία παραμένει, βεβαίως, το μοναδικό κριτήριο για την αποτίμηση της χρησιμότητας μιας μαθηματικής κατασκευής. Η δημιουργική όμως αρχή ενυπάρχει στα μαθηματικά. Υπ' αυτήν την έννοια, θεωρώ ως αληθές το γεγονός ότι η καθαρή σκέψη μπορεί να συλλάβει την πραγματικότητα με τον τρόπο ακριβώς που φαντάζονταν οι αρχαίοι» (Einstein, 1933, σ. 272).

Η ολιστική συνεπώς επιστημολογική θεώρηση του Einstein, καθώς συνοδεύονταν από μια μεταφυσική *ρεαλιστική* προοπτική, διασφάλιζε, σε αντίθεση προς τη θεώρηση του Heisenberg, την υπέρβαση της συμβασιοκρατίας. Για τον Einstein, η φυσική επιστήμη συνιστούσε «την απόπειρα εννοιολογικής αναπαράστασης του *αληθινού* κόσμου και της υποκείμενης σε νόμους δομής του» (η έμφαση από τον ίδιο τον Einstein σε γράμμα του προς τον Schlick, 28 Νοεμβρίου 1930, από Holton, 1994, σ. 261). Η αναγνώριση επομένως των φυσικών θεωριών ως προσεγγιστικώς αληθών και προοδευτικώς ακριβέστερων και πληρέστερων αναπαραστάσεων των αιτιακών δομών της φυσικής πραγματικότητας ήταν εκείνη που αναιρούσε το αρχικώς συμβασιοκρατικό τους καθεστώς: μια θεωρία όφειλε να χαρακτηρίζεται από απλότητα, λογική ενότητα και να διέπεται από αυστηρούς αιτιακούς νόμους, επειδή όφειλε να είναι *ισόμορφη* με τον φυσικό κόσμο, όπως αυτός 'πραγματικά είναι'.

Οι διαπιστώσεις αυτές αποκαλύπτουν την ιδιαίτερη συγγένεια των μεταφυσικών αντιλήψεων του Einstein με την παραδοσιακή ρεαλιστική κοσμοθεώρηση. Γιατί καταγράφουν δύο βασικές δεσμεύσεις: τις δεσμεύσεις της 'ύπαρξης' και της

‘ανεξαρτησίας’, τις αδιαμφισβήτητες δηλαδή προκείμενες του παραδοσιακού επιστημονικού ρεαλισμού. Πράγματι, όταν ο Einstein αποφαινόταν ότι «η πίστη σ’ έναν εξωτερικό, ανεξάρτητο από το υποκείμενο, κόσμο συνιστά τη βάση όλων των φυσικών επιστημών» (Einstein, 1931, από Holton, 1994, σ. 259), δήλωνε τη βαθιά του πεποίθηση στην *ύπαρξη* μιας ανεξάρτητης από τον νου φυσικής πραγματικότητας, μια πεποίθηση που αποτελεί अपαραβάτα προκείμενη κάθε ρεαλιστικής θεώρησης. Ο Einstein δεν περιοριζόταν όμως σ’ αυτήν. Γιατί, καθώς εκλάμβανε το ‘Είναι’ της φυσικής πραγματικότητας ως μια *αναλλοίωτη, ορθολογικώς διατεταγμένη και πλήρως γνώσιμη*, στο ιδανικό όριο, δομή, εξέφραζε κατ’ ουσία μια αναγωγιστική θεώρηση για το οντολογικό καθεστώς του φυσικού κόσμου, μια θεώρηση, που, όπως επισήμανε ο Bohm, «εμπεριέχει, ως εγγενές στοιχείο, τη σιωπηρή παραδοχή ότι ο κόσμος είναι φτιαγμένος από οντολογικώς διαχωρισμένες και επακριβώς καθορισμένες ‘μονάδες πραγματικότητας’ (‘elements of reality’)» (Bohm, 1951, από Jammer, 1974, σ. 235). Εφόσον δε, υπό το πρίσμα μιας τέτοιας θεώρησης, το κλασικό ιδεώδες της πλήρους *εξάλειψης* της συμμετοχής του γνωρίζοντος υποκειμένου από τη γνωσιακή διαδικασία εκλαμβάνεται ως αδιαμφισβήτητη αρχή, ο Einstein έθετε μια πρόσθετη προκείμενη, μια προκείμενη που συνιστά το ουσιωδέστερο σημείο διάκρισης του παραδοσιακού επιστημονικού ρεαλισμού από τις υπόλοιπες ρεαλιστικές τάσεις: την *πλήρη ανεξαρτησία* του φυσικού κόσμου από τις προθέσεις και τη δράση του γνωρίζοντος υποκειμένου.

Ως κατ’ εξοχήν δε κατάλληλο επιστημολογικό μέσο για τη γνωσιακή ιδιοποίηση της φυσικής πραγματικότητας ο Einstein πρόκρινε την *αξιωματικοποίηση* των φυσικών θεωριών. Γιατί, όπως υποστήριζε, «η φυσική επιστήμη εκφράζει την απόπειρα εννοιολογικής σύλληψης της πραγματικότητας μέσω της σκέψης και *ανεξάρτητα* από τους τρόπους παρατήρησής της. Μόνο υπ’ αυτήν την έννοια μπορεί να μιλά κανείς για τη ‘φυσική πραγματικότητα’» (Einstein, 1949α, σ. 81). Είναι δε «μόνο η ‘πρόταξη του αιτήματος’ (the ‘postulation’) του ‘αληθινού κόσμου’ εκείνη που απελευθερώνει τελικά τον ‘κόσμο’ από τη σκέψη και την εμπειρία του υποκειμένου» (Einstein, 1949β, από Holton, 1994, σ. 264). Όπως παρατηρεί ο Whitaker, «ο υπέροχος θρίαμβος της γενικής σχετικότητας οδήγησε τον Einstein σε μια αδικαιολογήτως περιορισμένη αντίληψη ως προς τον τρόπο με τον οποίο οφείλει να προοδεύει η επιστήμη» (Whitaker, 1996, σ. 243). Χωρίς ν’ αμφισβητούμε το συγκεκριμένο γεγονός, οφείλουμε να παρατηρήσουμε ότι η επιστημολογική προσέγγιση του Einstein δεν επεξηγεί, από μόνη της, τη στάση του έναντι της

κβαντικής θεωρίας. Γιατί, όπως διαπιστώσαμε, οι διαμετρικώς αντίθετες, ως προς την κβαντική θεωρία, στάσεις των Heisenberg και Einstein επιδεικνύονταν από δύο επιστήμονες που διαπνέονταν από συγκλίνουσες, αν όχι ταυτόσημες, επιστημολογικές αντιλήψεις. Φθάνουμε συνεπώς να συμερισθούμε για μια ακόμη φορά την εκτίμηση του Kuhn ότι, για να εξηγήσει κανείς το *γιατί* συγκεκριμένοι επιστήμονες έκαναν συγκεκριμένες επιλογές σε συγκεκριμένες ιστορικές περιόδους, οφείλει να υπερβεί τα εν γένει αποδεκτά επιστημολογικά κριτήρια και να συνεξετάσει τα *ιδιαίτερα* χαρακτηριστικά των ατόμων που έκαναν την επιλογή (§A-4.1, §A-4.4). Στα ιδιαίτερα δε αυτά χαρακτηριστικά οφείλουμε αναμφίβολα να συμπεριλάβουμε και τη γενικότερη φιλοσοφική τοποθέτηση των επιστημόνων. Ο Heisenberg, αρκετά χρόνια αργότερα, αποκάλυπτε αυτήν ακριβώς τη διάσταση της επιστημονικής σκέψης, όταν ερμήνευε τη στάση του Einstein έναντι της κβαντικής θεωρίας με τον ακόλουθο τρόπο.

(A5.34) «Ο Einstein δεν ήθελε ν' αναγνωρίσει ότι η κβαντική μηχανική προσέφερε ... μια πλήρη περιγραφή των ατομικών φαινομένων. Η πεποίθησή του ότι ο κόσμος μπορεί να διαχωριστεί πλήρως σε μια υποκειμενική και μια αντικειμενική σφαίρα και ότι η επιστήμη μπορεί να περιγράψει με *ακρίβεια* την αντικειμενική πλευρά του κόσμου συνιστούσε θεμελιακό κομμάτι των φιλοσοφικών του αντιλήψεων» (Heisenberg, 1963, *AHQP*, σ. 16).

Ο δε Bohr, ανακαλώντας στη μνήμη του την πρώτη του συνάντηση με τον Einstein, περιέγραψε τη διαφαινόμενη από τότε διάσταση των αντιλήψεών τους ως εξής.

(A5.35) «Όταν, κατά τη διάρκεια μιας επίσκεψής μου στο Βερολίνο το 1920, βίωσα την εξαιρετική εμπειρία της πρώτης μου συνάντησης με τον Einstein, τα θεμελιώδη αυτά ερωτήματα [ως προς τη φύση της ακτινοβολίας] διαμόρφωναν, εν γένει, τα θέματα των μεταξύ μας συζητήσεων. ... Αναμφίβολα, οι γραφικές φράσεις που του άρεσε να χρησιμοποιεί, όπως η φράση 'κύματα – φαντάσματα που καθοδηγούν τα φωτόνια', δεν συνιστούσαν έκφραση κάποιας μυστικιστικής τάσης, αλλά αντανάκλασαν τη βαθιά αίσθηση χιούμορ που διέτρεχε πάντοτε τις διεισδυτικές του παρατηρήσεις. Παρ' όλα αυτά, παρέμενε πάντοτε μια αισθητή διαφοροποίηση μεταξύ μας ως προς τη *νοοτροπία* και τις *αντιλήψεις*. Γιατί η ικανότητα του Einstein να εναρμονίζει εμφανώς αντιτιθέμενα εμπειρικά δεδομένα, *χωρίς να εγκαταλείπει τη συνέχεια και την αιτιοκρατία*, τον έκανε περισσότερο διστακτικό στην απάρνηση των ιδεωδών αυτών από κάποιον για τον οποίο η απάρνηση αυτή φαινόταν να είναι ο *μόνος* ανοικτός δρόμος για την εναρμόνιση των πολύμορφων ενδείξεων της εμπειρίας» (Bohr, 1949, *APHK*, σ. 36).

Από την άλλη πλευρά, ο Einstein, συγκαταλέγοντας τις αντιλήψεις των Bohr και Heisenberg στην ίδια φιλοσοφική ή, πολύ περισσότερο, 'θρησκευτική' τάση, έγραψε το 1928 στον Schrödinger: «η καταπραϊντική φιλοσοφία – ή μήπως θρησκεία – των Bohr και Heisenberg είναι τόσο έξυπνα κατασκευασμένη, ώστε, προς το παρόν, προσφέρει στους πιστούς της ένα μαλακό μαξιλάρι από το οποίο δεν μπορούν ν' ανασηκωθούν εύκολα. Ας τους αφήσουμε λοιπόν να ξεκουράζονται εκεί» (Einstein

προς Schrödinger, 31 Μαΐου 1928β, σ. 31). Έχοντας λοιπόν διαμορφώσει μια σαφή πλέον εικόνα τόσο για τις επιστημολογικές όσο και τις μεταφυσικές αντιλήψεις των τριών επιστημόνων, μπορούμε να αντιπαραβάλουμε με συνοπτικό τρόπο την επιδειχθείσα έναντι των σχέσεων απροσδιοριστίας στάση τους.

Ο Heisenberg, ένθερμος υποστηρικτής των μαθηματικών μεθόδων επιστημονικής αναζήτησης, καθώς και των 'κλειστών' λογικών σχημάτων, διείδε στις αρχές της απροσδιοριστίας τη δυνατότητα απόδοσης 'φυσικού' νοήματος στο κβαντικό οικοδόμημα. Το οικοδόμημα βεβαίως αυτό ενείχε, κατά τη γνώμη του, τη δυνατότητα περαιτέρω διεύρυνσης, ώστε να συμπεριλάβει υπό το καθεστώς της κβαντικής ασυνέχειας και την κλασική ηλεκτρομαγνητική θεωρία. Ο Heisenberg ουδέποτε εξέφρασε ρητά μια μη-ρεαλιστική θέση. Καθώς, όμως, η 'αλήθεια' των μαθηματικών σχημάτων ήταν γι' αυτόν αρκετή, αποποιήθηκε, όχι μόνο την οποιαδήποτε οντολογική αναφορά, αλλά και κάθε απόπειρα βαθύτερης φυσικής ερμηνείας της κβαντικής θεωρίας. Κατ' αυτόν τον τρόπο, προσέδωσε στην ερμηνευτική του προσέγγιση μια συμβασιοκρατική χροιά που επέτρεπε την εύλογη αμφισβήτηση των πορισμάτων της εργασίας του. Έτσι, ο Popper δεν δίστασε να του προσάψει την ευθύνη ότι «προσπάθησε να εξηγήσει αιτιακά γιατί οι αιτιακές εξηγήσεις είναι αδύνατες» (Popper, 1959, σ. 249). Πράγματι, καθώς στο πλαίσιο της κατά Heisenberg θεώρησης τα τιθέμενα από τις σχέσεις απροσδιοριστίας γνωσιακά όρια δικαιώνονταν από τους κανόνες και μόνο της αυστηρής λογικής, ήταν δυνατό να επερωτήσει βάσιμα κανείς την ίδια την αξιωματική θεμελίωση του κβαντικού οικοδομήματος. Την εκτίμηση βεβαίως αυτή συνεπικουρούσε ισχυρά και η αναγωγή της αδυναμίας 'προσδιορισμού' στους περιορισμούς της 'μετρητικής διαδικασίας'. Γιατί, μία τέτοια αναγωγή άφηνε σε κάποιον το περιθώριο να υποθέσει ότι η αδυναμία προσδιορισμού της, κατά τα άλλα, καλώς καθορισμένης κατάστασης του υπό παρατήρηση συστήματος, ίσως να υποδήλωνε τη 'μη-συνεκτικότητα' ή τη 'μη-πληρότητα' της κβαντικής θεωρίας. Υπ' αυτήν, τέλος, την προοπτική, η χρήση των κλασικών εννοιών εντός του κβαντικού πλαισίου προσλάμβανε αμιγώς οπερασιοναλιστικό χαρακτήρα, ενώ η επιστημική της καταξίωση απέρρεε αποκλειστικά από τον 'κλειστό' χαρακτήρα του κβαντικού οικοδομήματος.

Ο Bohr, από τη δική του πλευρά, εκλαμβάνοντας την αυστηρή μαθηματική διατύπωση μιας φυσικής θεωρίας ως *καταληκτικό*, και όχι ως εναρκτήριο στάδιο της ερευνητικής διαδικασίας, διείδε στις αρχές της απροσδιοριστίας τη φορμαλιστική εδραίωση της ιδέας της συμπληρωματικότητας, την οποία είχε ήδη εν σπέρματι

συλλάβει. Στο πλαίσιο της κατά Bohr θεώρησης, η φυσική ερμηνεία της κβαντικής θεωρίας δεν προέκυπτε από τις γενικές αρχές του κβαντικού φορμαλισμού μετά την κατάλληλη ‘προσαρμογή’ τους στην εμπειρία. Προέκυπτε, αντίθετα, από την αναγνώριση ενός ιδιαίτερου χαρακτηριστικού της φυσικής πραγματικότητας – του ολιστικού χαρακτήρα των φυσικών διαδικασιών σε συνδυασμό με τα όρια των ανθρώπινων δυνατοτήτων προς παρατήρηση – ενός χαρακτηριστικού που προσέδιδε φυσικό νόημα σε ολόκληρο το κβαντικό οικοδόμημα. Και ήταν αυτό ακριβώς το χαρακτηριστικό εκείνο που επέβαλλε, κατά τη γνώμη του τόσο τη διατήρηση και την, υπό διαφορετικούς βεβαίως όρους, χρήση των κλασικών εννοιών στο κβαντικό πλαίσιο όσο και την οριστική εγκατάλειψη των παραδοσιακών ρεαλιστικών θέσεων.

Ο Einstein, τέλος, αντιμετωπίζοντας τη φυσική πραγματικότητα ως πραγμάτωση του ιδεώδους της μαθηματικής απλότητας, προσδοκούσε από τη μαθηματική γλώσσα – και τις μη διαταρασόμενες από την εμπλοκή του υποκειμένου συναγωγές της – την πιστή, πλήρη και λογικώς ενοποιημένη αναπαράσταση του φυσικού κόσμου όπως αυτός ‘πραγματικά είναι’. Υπ’ αυτό δε το πρίσμα, ακόμη και είκοσι χρόνια μετά τη διατύπωση των σχέσεων απροσδιοριστίας, συνέχιζε να εμφορείται από την ακλόνητη πεποίθηση ότι «η κβαντική θεωρία αδυνατούσε να προσφέρει ένα χρήσιμο σημείο εκκίνησης για [την επιδιωκόμενη από τον ίδιο] μελλοντική εξέλιξη» (Einstein, 1949α, σ. 87). Όπως ισχυρίζεται ο Whitaker, συμμεριζόμενος την άποψη του Fine (Fine, 1986), ήταν αυτή ακριβώς η πεποίθηση εκείνη που κατηύθυνε τις ερευνητικές επιδιώξεις του Einstein, όχι προς τη συμπλήρωση της κβαντικής θεωρίας ‘εκ των έσω’ (‘from within’), αλλά προς τη διατύπωση ενός ευρύτερου λογικού σχήματος – μιας ενοποιημένης θεωρίας πεδίου – από το οποίο μέσω των κατάλληλων προσεγγίσεων θα παραγόταν η κβαντική θεωρία ως ένα σύνολο στατιστικών κανόνων ικανών ν’ αποφέρουν ορθές προβλέψεις (Whitaker, 1996, σσ. 239, 240).

Είναι βεβαίως ευνόητο ότι, στο πλαίσιο μιας τέτοιας θεώρησης, η χρήση των κλασικών εννοιών, όχι μόνο δεν κρινόταν αναγκαία, αλλά εκλαμβανόταν, αντίθετα, ως σαφής ένδειξη της θεωρητικής ανεπάρκειας του κβαντικού φορμαλισμού. Κατά την εκτίμηση του Fine, «ο Einstein υπήρξε, εν τέλει, ριζοσπαστικότερος στη σκέψη απ’ ό,τι οι υπερασπιστές της ορθόδοξης ερμηνείας. Γιατί ο Einstein ήταν πεισμένος ότι οι κλασικές έννοιες όφειλαν ν’ αντικατασταθούν και όχι απλώς να διαχωριστούν, όπως η συμπληρωματικότητα του Bohr πρότεινε» (Fine, 1986, σ. 24). Η εκτίμηση βεβαίως του Fine απορρέει από μία μάλλον υποκειμενική αντίληψη της έννοιας της ‘ριζοσπαστικότητας’. Γιατί, όπως, έδειξε η προηγηθείσα ανάλυση, ο Einstein

προσέβλεπε, πράγματι, σ' ένα ευρύτερο εννοιολογικό σύστημα, στο οποίο όμως η αντικατάσταση των κλασικών εννοιών θα εξυπηρετούσε έναν μάλλον 'συντηρητικό', κατά τη γνώμη μας, στόχο: τη διατήρηση των θεμελιωδών ιδεωδών τόσο της παραδοσιακής ρεαλιστικής αντίληψης όσο και της κλασικής κοσμοθεώρησης.

2.4. Κριτική αποτίμηση της συμβολής των παραγωγικών μεθόδων στη θεμελίωση και ερμηνεία της κβαντικής θεωρίας

Όπως ήδη διαπιστώσαμε, οι επιστημολογικές θεωρήσεις των Heisenberg και Einstein, έχοντας απαλλαγεί από τις πρότερες θετικιστικές αντιλήψεις των δύο επιστημόνων, παρουσιάζουν ισχυρά σημεία συνάφειας με τα παραγωγικό μοντέλο επιστημονικής αναζήτησης, όπως αυτό προτείνεται (υπό την ευρεία του έκφραση) από τις ενοποιητικές θεωρήσεις. Επιπροσθέτως, η θεώρηση του Einstein, καθώς ανέθετε (κατά το πρότυπο του Popper) στην 'αλήθεια' – υπό την έννοια της 'αντιστοιχίας στα γεγονότα της πραγματικότητας' – τον ρόλο μιας 'κανονιστικής ιδέας', κατόρθωνε ν' αντιμετωπίζει επιτυχώς τον κίνδυνο της 'συμβασιοκρατίας', έναν κίνδυνο που ελλοχεύει μόνιμα στο πλαίσιο των ενοποιητικών θεωρήσεων (§Α-5.2.1). Ως άμεση όμως συνέπεια της μεταφυσικής αυτής παραδοχής, μπορούμε ν' αναγνωρίσουμε την 'αντιδραστική', σύμφωνα με τον ακραίο χαρακτηρισμό του Pauli, στάση του Einstein έναντι της κβαντικής θεωρίας. Επιδεικνύοντας μία ανάλογη στάση ο Popper, απηύθυνε προς τη σχολή της Κοπεγχάγης την ακόλουθη, μη αντιστοιχούσα προφανώς στα γεγονότα, μομφή: «χωρίς κανένα διάλογο σε σχέση με τη φιλοσοφική διάσταση του θέματος και χωρίς κανένα καινούργιο επιχείρημα, η εργαλειοκρατική θεώρηση έφθασε να γίνει κατεστημένο δόγμα» (Popper, 1963, σ. 99f). Υπερασπιζόμενος δε ο ίδιος μια 'ρεαλιστική', όπως την χαρακτήρισε, 'θεώρηση της λογικής', αντιμετώπισε την κβαντική θεωρία με τον ακόλουθο τρόπο.

(A5.36) «Δεν υπάρχει κανένας λόγος ν' αποδεχθούμε την προτεινόμενη είτε από τον Bohr είτε από τον Heisenberg υποκειμενική ερμηνεία της κβαντικής θεωρίας. Η κβαντική μηχανική είναι μια στατιστική θεωρία, εφόσον τα προβλήματα που προσπαθεί να επιλύσει είναι στατιστικά προβλήματα. Έτσι, δεν υπάρχει καμία ανάγκη φιλοσοφικής υπεράσπισης του μη-αιτιακού χαρακτήρα της. ... Εν τέλει, δεν υφίσταται κανένας λόγος που να συνηγορεί υπέρ της αμφισβήτησης του ρεαλιστικού και αντικειμενικού χαρακτήρα ολόκληρης της φυσικής θεωρίας. Ο ρόλος που διαδραματίζει το παρατηρούν υποκείμενο στη σύγχρονη φυσική δεν είναι καθιονδής ποτε τρόπο διαφορετικός από το ρόλο που διαδραμάτιζε στη δυναμική του Νεύτωνα ή στην ηλεκτρομαγνητική θεωρία του Maxwell: ο παρατηρητής είναι ο άνθρωπος που ελέγχει τη θεωρία. Για τον σκοπό δε αυτό, χρειάζεται πολλές θεωρίες, ανταγωνιστικές θεωρίες και βοηθητικές θεωρίες. Όλα αυτά δείχνουν ότι δεν είμαστε κυρίως παρατηρητές, αλλά σκεπτόμενοι άνθρωποι» (Popper, 1972, σ. 304).

Είναι πράγματι εντυπωσιακό ότι, πολλά χρόνια μετά τη διατύπωση της συμπληρωματικότητας και παρά την τεράστια έκτοτε ανάπτυξη της κβαντικής θεωρίας, η προσκόλληση σ' έναν παραδοσιακού τύπου ρεαλισμό οδηγούσε τον Popper, αλλά κυρίως έναν επιστήμονα του διαμετρήματος του Einstein, στην ένθερμη υπεράσπιση του ιδεώδους του 'αποσπασμένου' παρατηρητή, του πρώτιστου δηλαδή ιδεώδους της κλασικής κοσμοθεώρησης. Το γεγονός αυτό αναδεικνύει τον βαρυσήμαντο ρόλο των ιδεολογικών παραδοχών τόσο στο επιστημονικό όσο και στο φιλοσοφικό πεδίο. Όπως παρατήρησε εύστοχα ο Feyerabend κατά τον σχολιασμό των 'ρεαλιστικών' περί κβαντικής θεωρίας θέσεων του Popper, «η αντίληψη της κλασικής θεωρίας για τη φυσική πραγματικότητα, μετά την ήττα της στο πεδίο της επιστημονικής έρευνας, κατόρθωσε να σημειώσει μια θεαματική επανεμφάνιση στο πεδίο της φιλοσοφίας» (Feyerabend, 1981β, σ. 88).

Οφείλουμε ακόμη να παρατηρήσουμε ότι οι επιστημολογικές και μεταφυσικές αντιλήψεις του Einstein, ενώ δημιούργησαν εξαιρετικά γόνιμο έδαφος για τη διατύπωση της θεωρίας της σχετικότητας, αποτελούσαν ισχυρή τροχοπέδη στην ερευνητική του ενασχόληση με την κβαντική θεωρία, μια θεωρία της οποίας η ερμηνευτική θεμελίωση στηρίχθηκε στην αναγνώριση, ακριβώς, της αδυναμίας πλήρους διαχωρισμού του γνωρίζοντος υποκειμένου από το υπό μελέτη αντικείμενο. Υπ' αυτήν την έννοια, μπορεί να θεωρηθεί ως επί της ουσίας άστοχος ο ισχυρισμός του Bohr ότι «η θεωρία της σχετικότητας, μέσω μιας ενδελεχούς ανάλυσης του προβλήματος της παρατήρησης, αποκάλυψε τον υποκειμενικό χαρακτήρα όλων των εννοιών της κλασικής φυσικής» (Bohr, 1929α, σ. 97). Γιατί ο ισχυρισμός αυτός, παρότι συνοδευόταν από την παρατήρηση ότι, «[σε αντίθεση προς την κβαντική θεωρία] η θεωρία της σχετικότητας συνέχιζε να ικανοποιεί το κλασικό ιδεώδες της ενότητας, της αυστηρής αιτιότητας και, κυρίως, την έννοια της αντικειμενικής πραγματικότητας των παρατηρούμενων φαινομένων» (στο ίδιο, σ. 97), δημιουργούσε σοβαρές συγχύσεις σε σχέση με την ακόλουθη θεμελιακή διαφοροποίηση των δύο θεωριών. Η θεωρία της σχετικότητας, καθώς στηριζόταν, όπως ακριβώς και η Νευτώνεια θεωρία, στην ιδέα του *αναλλοίωτου*, διακήρυττε την απόλυτη ανεξαρτησία των φυσικών 'συμβάντων' ('events') από το σύστημα αναφοράς του παρατηρητή και, κατ' επέκταση, τη λογική τους προτεραιότητα σε σχέση με οποιαδήποτε επικείμενη μέτρηση. Έτσι, η θεωρία της σχετικότητας, σε αντίθεση με την κβαντική θεωρία, διατηρούσε αλώβητο το παραδοσιακό ρεαλιστικό αίτημα της πλήρους ανεξαρτησίας του φυσικού κόσμου από τις προθέσεις και τη δράση του γνωρίζοντος υποκειμένου.

Αξιολογώντας τώρα την επιστημολογική αποτελεσματικότητα του παραγωγικού μοντέλου επιστημονικής αναζήτησης, μπορούμε βάσιμα να υποστηρίξουμε ότι, στην περίπτωση της κβαντικής θεωρίας, το μοντέλο αυτό, ενώ συνέβαλε με ουσιαστικό τρόπο στην ανάπτυξη του κβαντικού φορμαλισμού, αποδείχθηκε ευρηκτικός και ερμηνευτικός ατελέσφορο. Πράγματι, όπως προέκυψε εκ της προηγηθείσας ανάλυσης, το παραγωγικό μοντέλο, είτε υπό τη συμβασιοκρατική είτε υπό τη ρεαλιστική του εκδοχή, υπέβαλε, εξ αρχής, μια *μονοσήμαντη* ερμηνεία των πειραματικών ενδείξεων, μια ερμηνεία που περιοριζόταν εκ των πραγμάτων από τις αρχικές του προκείμενες. Είναι χαρακτηριστικό ότι το εκάστοτε προτεινόμενο θεωρητικό σχήμα αντιπαραβαλλόταν με τις πειραματικές ενδείξεις και υποβαλλόταν σε συγκριτική αξιολόγηση με τα ανταγωνιστικά θεωρητικά σχήματα μόνο *μετά* την αυστηρή αξιωματική του διατύπωση. Υπ' αυτό δε το καθεστώς, ο θεωρητικός εμπλουτισμός της κβαντικής θεωρίας *κατά τη γέννησή της* ήταν εκ λόγων αρχής αδύνατος. Οι ερμηνευτικές προσπάθειες της σχολής του Μονάχου (§Α-5.2.2, σημείο 6), του Heisenberg (§Α-5.2.3, σημείο 3) και του Einstein (§Α-5.2.3, σημείο 5) επιβεβαιώνουν, αναμφίβολα, το συγκεκριμένο γεγονός. Όπως περιέγραψε τη διαμετρικώς αντίθετη μεθοδολογική αντίληψη ο Bohr, «στις φυσικές επιστήμες, δεν τίθεται ζήτημα ενός αυστηρώς αυτάρκους πεδίου εφαρμογών των λογικών αρχών, εφόσον καλούμαστε συνεχώς να εξηγήσουμε καινούργια γεγονότα. Η ένταξη δε των καινούργιων γεγονότων στην προηγούμενη εμπειρία είναι δυνατό ν' απαιτεί τη ριζική αναθεώρηση των θεμελιωδών μας εννοιών» (Bohr, 1929α, *ATDN*, σ. 97).

Η AAB, εκφράζοντας την έμπρακτη εφαρμογή αυτής ακριβώς της αντίληψης, επέτρεπε τη μεθοδολογικώς έγκυρη επικοινωνία της κλασικής και της κβαντικής θεωρίας και διασφάλιζε, κατ' αυτόν τον τρόπο, μία *πολύπλευρη και πολυδιάστατη* θέαση του φυσικού κόσμου. Έτσι, *κατέλυε το μονοσήμαντο του νοήματος* και επέτρεπε στις 'λέξεις' ν' ανοιχθούν σε σημασίες που, καθώς δεν περιορίζονταν από τις θεμελιακές αρχές ενός κλειστού λογικού σχήματος, υπερέβαιναν τα δεδομένα συμπεράσματα της λογικής σκέψης. Λόγω του ανοικτού λοιπόν χαρακτήρα της, η AAB επέτρεψε τη σταδιακή προσέγγιση μιας συνεκτικής *φυσικής ερμηνείας* της κβαντικής θεωρίας, μιας ερμηνείας, όμως, που, μέσω της συμπληρωματικότητας, *αποδομούσε* τη λογική ενότητα της επιστημονικής γνώσης (§B-2). Και μία τέτοια βεβαίως ερμηνεία θα ήταν δύσκολο, αν όχι αδύνατο, να προσεγγισθεί μέσω αυστηρών παραγωγικών μεθόδων, εφόσον παραβίαζε ευθέως το επιδιωκόμενο από τις μεθόδους αυτές εξηγητικό αποτέλεσμα. Οφείλουμε τέλος να σημειώσουμε ότι η

AAB, παρότι απέκλινε δραστικά από τα κριτήρια ορθολογικότητας των παραγωγικών μεθόδων επιστημονικής αναζήτησης (§A-4.1), απείκαζε η ίδια, εκ του τρόπου συγκρότησης και λειτουργίας της, ένα εναλλακτικό, αλλά εξίσου δόκιμο, μοντέλο ορθολογικότητας (§A-4.3), ένα μοντέλο που ερμηνεύει με πιστότερο κατά τη γνώμη μας τρόπο τη συνέχεια και την πρόοδο της επιστημονικής γνώσης (§A-6).

3. Η κοινή οντολογική αναφορά των θεωρητικών όρων ως τεκμήριο ‘συνέχειας’ κατά τις περιόδους αλλαγής θεωρίας

3.1. Οι αιτιακές θεωρίες της επιστημονικής εξήγησης

Το παραγωγικό – νομολογικό μοντέλο του Hempel, όπως και οι θεωρήσεις που προέκυψαν από την προοδευτική του μετεξέλιξη, καθώς αποδίδουν στην ‘εξήγηση’ τη σημασία της ‘νομολογικής προσδοκιμότητας’ (‘nomic expectability’), προτείνουν μια ‘επιστημική’ (‘epistemic’), σύμφωνα με την ορολογία του Salmon, προσέγγιση στο όλο πρόβλημα: μία τέτοιας φύσεως εξήγηση «επιβάλλει μια σχέση λογικής αναγκαιότητας μεταξύ των νόμων και των αρχικών συνθηκών [των ‘εξηγουσών’ δηλαδή προτάσεων], αφενός, και των ‘προς εξήγηση’ προτάσεων, αφετέρου» (Salmon, 1984, σ. 16). Κατά τη γνώμη όμως του Salmon, μια τέτοια προσέγγιση δεν μπορεί να θεωρηθεί ικανοποιητική. Κι’ αυτό, για τρεις κυρίως λόγους: *πρώτον*, επειδή προϋποθέτει τον σαφή καθορισμό των θεωρητικών προτάσεων που αντιπροσωπεύουν νόμους της φύσης, ένα ζήτημα που παραμένει ανοικτό στο φιλοσοφικό πεδίο, *δεύτερον*, επειδή η εφαρμογή της για την ‘εξήγηση’ μεμονωμένων συμβάντων είναι συνήθως προβληματική, και, *τρίτον*, επειδή, κατά την αξιολόγηση μιας ‘εξήγησης’, επιτρέπει μόνο πλήρως καταφατικές ή αρνητικές αποφάνσεις: παρά τις σχετικές προσπάθειες των υποστηρικτών της, η απόδοση *βαθμών* επεξηγηματικής επάρκειας φαίνεται εν γένει ν’ αποτυγχάνει. Για τις ανάγκες της δικής μας εργασίας, οφείλουμε ν’ ανακαλέσουμε στη μνήμη μας μία ακόμη διαπίστωση: οι επιστημικές προσεγγίσεις, εάν δεν συνοδεύονται από κάποιες λιγότερο ή περισσότερο σαφείς οντολογικές αναφορές, τείνουν να προσδώσουν στις επιστημονικές θεωρίες τον χαρακτήρα γλωσσικών ‘εργαλείων’ ή ‘συμβάσεων’ που αξιολογούνται αποκλειστικά βάσει της ενοποιητικής τους, με συντακτικούς όρους, ικανότητας (§A-5.2.1). Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η επιστημολογική προσέγγιση του Heisenberg στην εμπεριέχουσα τις σχέσεις απροσδιοριστίας εργασία του (§A-5.2.3, σημείο 3).

Από την άλλη πλευρά, οι ‘οντικές’ – ‘αιτιακές’ προσεγγίσεις, στην κατηγορία των οποίων ο Salmon κατατάσσει και τη δική του προσωπική θεώρηση, χωρίς ν’

αρνούνται την αξία των παραγωγικών επιχειρημάτων, αναγορεύουν σε πρωταρχικό σκοπό της 'εξήγησης' «την κατάδειξη του τρόπου με τον οποίο τα συμβάντα ... προσαρμόζονται στην αιτιακή δομή του κόσμου» (στο ίδιο, σ. 19). Καθώς λοιπόν η *αιτιακή δόμηση* του κόσμου θεωρείται εξ αρχής *δεδομένη*, μία αξιόπιστη εξήγηση των φυσικών συμβάντων αναμένεται να έχει *αυστηρώς αιτιακό* χαρακτήρα για ν' αναπαριστά με τη μέγιστη δυνατή ακρίβεια τον φυσικό κόσμο όπως αυτός 'πραγματικά είναι'. Υπ' αυτήν δε την προοπτική, το αίτημα της ενοποιητικής θεώρησης περί της κατά το δυνατόν ευρύτερης ενοποίησης της επιστημονικής γνώσης αντιμετωπίζεται πλέον με τον ακόλουθο, ουσιωδώς διαφορετικό, τρόπο.

(B5.37) «Ο κόσμος, εάν τον δει κανείς υπό την οπτική γωνία της οντικής θεώρησης, μοιάζει με ένα 'μαύρο κουτί', τις εσωτερικές διαδικασίες του οποίου επιθυμούμε να κατανοήσουμε. Μια εξήγηση οφείλει συνεπώς να καταγράφει εκείνους τους υποκείμενους μηχανισμούς που συνδέουν τα παρατηρήσιμα γεγονότα της 'εισόδου' του κουτιού με τα παρατηρήσιμα γεγονότα της 'εξόδου' του. Ερμηνεύουμε τα γεγονότα καταδεικνύοντας τον τρόπο με τον οποίο αυτά προσαρμόζονται στο αιτιακό δίκτυο του κόσμου. Εφόσον δε φαίνεται ότι υφίσταται ένας *μικρός αριθμός* θεμελιακών αιτιακών μηχανισμών που κυβερνώνται από ορισμένους ιδιαίτερα κατανοητούς νόμους, η οντική θεώρηση δικαιούται, όπως ακριβώς και η επιστημική, να εκλαμβάνει την ενοποίηση των φυσικών φαινομένων ως βασική συνιστώσα της κατανόησης του κόσμου. *Η ενότητα εδράζεται στην ευρεία διασπορά των υποκείμενων μηχανισμών που περιγράφονται από τις εξηγήσεις μας*» (η έμφαση από τον Salmon, στο ίδιο, σ. 276).

Υπό το πρίσμα συνεπώς της οντικής θεώρησης, η εξηγητική εμβέλεια των φυσικών θεωριών συναρτάται ευθέως με την επακριβή περιγραφή των υποκείμενων στα φυσικά φαινόμενα *αιτιακών μηχανισμών*. Η 'ενοποίηση', ως παράγοντας ενδυνάμωσης της κατανόησης του κόσμου, προκύπτει ως *δευτερεύον* μόνο αίτημα υπό το φως της διαπίστωσης ότι μικρός αριθμός θεμελιακών αιτιακών μηχανισμών φαίνεται να διαχέεται σ' ένα ευρύ φάσμα φυσικών διαδικασιών. Έτσι, όπως παρατηρεί εύστοχα ο Kitcher (1989, σ. 448), στο πλαίσιο της οντικής θεώρησης η ενοποίηση της επιστημονικής γνώσης εκλαμβάνεται ως τελικό προϊόν μιας εκ των 'κάτω' προς τα 'άνω' ενοποιητικής διαδικασίας: η κατανόηση και περιγραφή επί μέρους αιτιακών διασυνδέσεων – το πρωταρχικό μέλημα κάθε εξηγητικής απόπειρας – οδηγεί στην αναγνώριση *κοινών* υποκείμενων μηχανισμών, γεγονός που αποφέρει ως συμπληρωματικό αποτέλεσμα την περιγραφική ενοποίηση της επιστημονικής γνώσης. Είναι βεβαίως εμφανές ότι μια τέτοια αντίληψη είναι εκ λόγων αρχής ασύμβατη με όλες εκείνες τις θεωρήσεις που, κατά το πρότυπο της ενοποιητικής προσέγγισης, προσδοκούν *τη λογική παραγωγή* μιας εκ των 'άνω' προς τα 'κάτω' εξήγησης από τις αξιωματικές αρχές ενός θεωρητικού συστήματος.

Στο σημείο αυτό είναι ενδιαφέρον να επισημάνουμε ότι η οντική θεώρηση, παρότι μοιράζεται με τις θεωρήσεις των Popper και Einstein τη μεταφυσική παραδοχή περί της ύπαρξης ενός αιτιακά δομημένου φυσικού κόσμου που μπορεί ν' αναπαρασταθεί στο ιδανικό όριο όπως 'πραγματικά είναι' (§A-5.2.3, σημείο 5), καθώς υποβαθμίζει την εμβέλεια των λογικών – μαθηματικών μεθόδων ερευνητικής αναζήτησης, οδηγείται στην πρόκριση μιας ουσιαστικώς διαφορετικής επιστημολογικής στρατηγικής: καθώς προσβλέπει πρωτίστως στην εξεύρεση των αιτιακών μηχανισμών που επεξηγούν τα *μεμονωμένα* φυσικά συμβάντα, αγνοεί ή, πολύ περισσότερο, αμφισβητεί τον ολιστικό χαρακτήρα των επιστημονικών θεωριών και επιχειρεί την *επαγωγική* κατ' ουσία προσέγγιση τόσο των θεμελιωδών μηχανισμών της φύσης όσο και των γενικών φυσικών νόμων που τους διέπουν.

Οι Popper και Einstein, αντίθετα, ενώ θεωρούν επίσης δεδομένη την αιτιακή δόμηση του κόσμου, εναποθέτουν την προοδευτικώς ακριβέστερη απεικονιστική του αναπαράσταση σε αξιωματικώς διατυπωμένα λογικά συστήματα που ενοποιούν με *παραγωγικό τρόπο* συνεχώς διευρυνόμενα πεδία της εμπειρίας. Γι' αυτό και υιοθετούν μεν την αιτούμενη από την επιστημική θεώρηση λογική αναγκαιότητα, αλλά την υπάγουν, ταυτόχρονα, σε μια *φυσική* αναγκαιότητα που επιβάλλεται, κατά την αντίληψή τους, από την 'πραγματική' δομή του κόσμου. Έτσι, κατά συνεπή προς τις μεταφυσικές τους αντιλήψεις τρόπο, οι Popper και Einstein, προσβλέπουν, όπως ακριβώς και οι επιστημικές θεωρήσεις, σε μια προοδευτική εκ των 'άνω' προς τα 'κάτω' συντακτική ενοποίηση των επιστημονικών εξηγήσεων, σε μια ενοποίηση, όμως, που υπακούει σε σαφείς οντολογικές δεσμεύσεις (§A-5.2.1 και §A-5.2.3, σημείο 5). Σ' αυτή δε την κατεύθυνση, η εξήγηση των μεμονωμένων φυσικών συμβάντων, καθώς παράγεται από μία συνολική εξήγηση των αιτιακών δομών του κόσμου, εμφανίζεται ως μία *εξειδικευμένη εφαρμογή* των γενικών νόμων της φύσης.

Παρά την κάθετη όμως διαφοροποίηση των προτεινόμενων από τους Popper – Einstein και Salmon, αντίστοιχα, επιστημολογικών στρατηγικών, οι κοινές μεταφυσικές αντιλήψεις των τριών ανδρών τους οδηγούν σε συγκλίνουσες έναντι της κβαντικής θεωρίας στάσεις. Είναι λόγου χάριν χαρακτηριστικό ότι ο Salmon, παρότι αποδίδει ιδιαίτερη σημασία στην ανάπτυξη της έννοιας της 'πιθανοκρατικής αιτιότητας' ('probabilistic causality') αναγνωρίζει, εν τέλει, ότι η έννοια αυτή, όπως προσδιορίζεται στο πλαίσιο της φιλοσοφικής του θεώρησης, αδυνατεί ν' αγγίξει το πρόβλημα της 'κβαντομηχανικής εξήγησης' (Salmon, 1984, σσ. 184-205). Θα ήταν όμως «ανώριμο», συνεχίζει, «να οδηγηθούμε στο συμπέρασμα ότι οι αιτιακές

εξηγήσεις των κβαντικών φαινομένων είναι εκ λόγων αρχής αδύνατες» (στο ίδιο, σ. 254). Γιατί «η μέχρι στιγμής αδυναμία όλων των θεωρήσεων να προσφέρουν μια πειστική απάντηση στο συγκεκριμένο πρόβλημα μπορεί να εδράζεται στο απλό γεγονός ότι δεν έχουμε *ακόμη* κατανοήσει επαρκώς την κβαντική θεωρία» (στο ίδιο, σ. 279). Διαπιστώνουμε, λοιπόν, ότι η οντική θεώρηση, κινούμενη υπό τη σκέπη των μεταφυσικών παραδοχών του παραδοσιακού ρεαλισμού, αποξενώνεται τελικά ολοσχερώς, όπως ακριβώς και οι θεωρήσεις των Popper και Einstein, από την κβαντική θεωρία. Ας προσπαθήσουμε να κατανοήσουμε τους λόγους.

Οι επιστημικές προσεγγίσεις θεωρούν, εν γένει, ότι στο επιστημονικό πεδίο το ερώτημα περί της ‘πραγματικής’ ύπαρξης των μη-παρατηρήσιμων οντοτήτων στερείται νοήματος (§Α-5.2.1). Η αντίληψη όμως αυτή έρχεται σε ευθεία αντίθεση με το πνεύμα της οντικής θεώρησης. Γιατί, όπως σημειώνει ο Salmon, «οποιοσδήποτε μηχανισμός εμπλέκεται σε εξηγητικές διαδικασίες οφείλει να θεωρηθεί *αληθής*. Όποιος αρνείται ν’ αποδεχθεί την *πραγματική* του ύπαρξη, αδυνατεί να προσδώσει εξηγητική ισχύ τόσο στον ίδιο τον μηχανισμό όσο στη θεωρία που τον εμπεριέχει» (στο ίδιο, σ. 238). ‘Αληθείς’ όμως, ως προς την οντολογική τους ύπαρξη, ‘μηχανισμοί’ είναι δυνατόν να σχετίζονται με ‘πραγματικές’ μόνο φυσικές οντότητες. Εφόσον δε οι εμπλεκόμενοι στις εξηγήσεις αιτιακοί μηχανισμοί αφορούν συχνά μη-παρατηρήσιμες οντότητες, είναι υποχρεωμένος ν’ αναγνωρίσει κανείς ότι οι συγκεκριμένες οντότητες *πράγματι* υπάρχουν (στο ίδιο, σ. 238). Πέραν όμως της πρωταρχικής της δέσμευσης στην ύπαρξη των μη-παρατηρήσιμων οντοτήτων, η οντική θεώρηση εκλαμβάνει επίσης *ως δεδομένη* και τη δυνατότητα της επακριβούς τους ‘ταυτοποίησης’. Το σχετικό επιχείρημα αναπτύσσεται από τον Salmon ως εξής.

Ο Salmon, θεωρώντας ότι «ακόμη και οι ακίνητες υλικές οντότητες είναι δυνατόν να εκληφθούν ως φυσικές διαδικασίες» (Salmon, 1993, σ. 156), εντάσσει την έννοια της ‘φυσικής οντότητας’ στην έννοια της αιτιακής ‘φυσικής διαδικασίας’ και διατυπώνει τους ακόλουθους ορισμούς: οι αιτιακές ‘φυσικές διαδικασίες’ είναι «οι φορείς μέσω των οποίων μεταφέρονται *η δομή και η τάξη* από μια χωρο-χρονική περιοχή του σύμπαντος σε μια *άλλη*», ενώ οι ‘αιτιακές αλληλεπιδράσεις’ είναι «οι εστίες από τις οποίες παράγονται οι δομικές μεταβολές της φύσης» (στο ίδιο, σ. 169). Όπως εξηγεί δε ο Salmon στο απόσπασμα που ακολουθεί, η διάκριση μιας αιτιακής ‘φυσικής διαδικασίας’ από μια ‘ψευδο-διαδικασία’ είναι πρακτικά δυνατή, επειδή η πρώτη, σε αντίθεση με τη δεύτερη, διαθέτει πάντοτε την ικανότητα να μεταφέρει μια αναγνωρίσιμη ‘μεταβολή’ που ‘σημάδεψε’ κάποια στιγμή τη δομή της.

(A5.38) «Εστω P μια διαδικασία, η οποία, ελλείψει αλληλεπιδράσεων με άλλες διαδικασίες, διατηρεί ένα συγκεκριμένο χαρακτηριστικό της, έστω Q , αναλλοίωτο, υπό την έννοια ότι το χαρακτηριστικό αυτό εκδηλώνει σταθερά την παρουσία του μεταξύ δύο χωρο-χρονικών σημείων A και B ($A \neq B$). Τότε, ένα ‘σημάδι’ (το οποίο αντιπροσωπεύει μια αλλαγή του Q σε Q') που προκλήθηκε στη διαδικασία P , μέσω μιας μοναδικής τοπικής αλληλεπίδρασης στο σημείο A , μπορεί να θεωρηθεί ότι μεταφέρεται στο σημείο B , εάν η P επιδεικνύει τη μεταβολή Q' τόσο στο σημείο B όσο και σε όλα τα στάδια της διαδικασίας μεταξύ A και B , χωρίς να έχουν επισυμβεί πρόσθετες παρεμβάσεις» (Salmon, 1984, σ. 148).

Οι φυσικές λοιπόν οντότητες εκλαμβάνονται ως διαθέτουσες επακριβώς προσδιορίσιμα χαρακτηριστικά, των οποίων η περιγραφή (καθώς βεβαίως και η περιγραφή των ‘μεταβολών’ τους) αποτελεί अपαράβατη προϋπόθεση κάθε αξιόπιστης επιστημονικής εξήγησης. Έτσι, ενώ ο Salmon εισάγει τις έννοιες της ‘προδιάθεσης’ (‘disposition’) ή της ‘δυνατότητας’ (‘propensity’) ως συστατικά στοιχεία της πιθανοκρατικής του θεωρίας, καθώς τις αντιμετωπίζει ως επακριβώς προσδιορίσιμα μεγέθη, τους προσδίδει τελικά τον χαρακτήρα μιας ειδικής κατηγορίας *εγγενών* ιδιοτήτων (στο ίδιο, σ. 204),⁵⁶ μία παραδοχή ασύμβατη με τη λογική συγκρότηση του κβαντικού οικοδομήματος. Εάν δε συνυπολογισθεί το γεγονός ότι η οντική θεώρηση εκλαμβάνει τις φυσικές οντότητες ως *συνεχείς* χωρο-χρονικές διαδικασίες, η ολοσχερής της αποξένωση από την κβαντική θεωρία δεν φαίνεται πλέον περίεργη.

Οι αντιλήψεις του Salmon περί εξήγησης θέτουν ευθέως το ζήτημα της *οντολογικής αναφοράς* των όρων των επιστημονικών θεωριών, καθώς και του τρόπου προσδιορισμού της. Γιατί μια μεταφυσική θεώρηση που αποδέχεται την ύπαρξη φυσικών οντοτήτων με επακριβώς προσδιορίσιμη ‘ταυτότητα’ προϋποθέτει με ρητό ή άρρητο τρόπο ότι οι οντότητες αυτές αντιπροσωπεύουν τη *σταθερή* (τουλάχιστον ως προς τον πυρήνα της) αναφορά των επιστημονικών όρων παρά τις όποιες θεωρητικές αλλαγές. Μία τέτοια επομένως θεώρηση εγείρει εύλογα το ερώτημα *με ποιο τρόπο* οι (κατά προσέγγιση) σταθερές εγγενείς ιδιότητες των φυσικών οντοτήτων, όταν εντάσσονται υπό τη μορφή διαφορετικών γλωσσικών τύπων στο εννοιολογικό

⁵⁶ Μπορούμε να θυμηθούμε ότι ο Popper είχε επίσης επιχειρήσει να διατυπώσει μια ‘στατιστική’ ερμηνεία της κβαντικής θεωρίας, στο πλαίσιο της οποίας τα υποατομικά σωματίδια εκλαμβάνονταν ως διαθέτονα, ανά πάσα στιγμή, ακριβείς τιμές των δυναμικών τους μεταβλητών (§A-5.2.3, σημείο 5). Ο Salmon όχι μόνο δεν επιχειρεί να προσαρμόσει τη φιλοσοφική του θεώρηση στην κβαντική θεωρία, αλλά παραδέχεται, αντίθετα, ότι, υπό την παρούσα κατάσταση, ένα τέτοιο εγχείρημα φαίνεται να στερείται προοπτικών. Αξίζει ακόμη να σημειώσουμε ότι ο Popper είχε επίσης εισαγάγει την έννοια της ‘δυνατότητας’ (‘propensity’) ως θεμελιακή έννοια μιας θεώρησης που επιχειρούσε να προσφέρει την απουσιάζουσα από την Δαρβινική θεωρία «*αιτιακή* εξήγηση της προσαρμοστικής εξέλιξης των έμβιων όντων και των οργάνων τους» (Popper, 1961, σ. 267). Οφείλουμε τέλος να υπογραμμίσουμε ότι η έννοια της ‘δυνατότητας’, όπως ορίζεται από τον Salmon, βρίσκεται σε σαφή νοηματική διάσταση με την έννοια της ‘δυνατότητας’ ή ‘δυναμικότητας’ (‘potentiality’) όπως αυτή ορίζεται από ορισμένες έγκριτες σύγχρονες ερμηνείες της κβαντικής θεωρίας σε απόλυτη συμφωνία με τη δομική συγκρότηση του κβαντικού φορμαλισμού (§B-3.4.2, σημείο 5).

πλαίσιο διαδοχικών θεωριών, οδηγούν στη συναγωγή προοδευτικώς ακριβέστερων και πληρέστερων επιστημονικών εξηγήσεων.⁵⁷ Η παρατήρηση αυτή μας οδηγεί με φυσικό τρόπο στις ‘αιτιακές θεωρίες αναφοράς’.

3.2. Οι αιτιακές θεωρίες αναφοράς

Το ζήτημα της οντολογικής αναφοράς των όρων των επιστημονικών θεωριών αποκτά ιδιαίτερο ενδιαφέρον στο πλαίσιο της εργασίας μας, όταν συγκεκριμενοποιείται στις διαδραματιζόμενες κατά τις περιόδους αλλαγής θεωρίας διεργασίες. Το ενδιαφέρον δε αυτό ενισχύεται περαιτέρω από έναν πρόσθετο λόγο: μία εκ των σημαντικότερων λειτουργιών που αποδίδει ο Boyd στις ‘αναλογίες συγκρότησης’ είναι η δυνατότητα που αυτές προσφέρουν να χρησιμοποιηθεί η κοινή οντολογική αναφορά των όρων των επιστημονικών θεωριών ως βάση στήριξης για την γνωσιακή προσέγγιση μίας νέας θεωρίας. Εφόσον, λοιπόν, σύμφωνα με τη δική μας ανάλυση, τα επιστημολογικά χαρακτηριστικά της AAB υπήρξαν ισχυρώς ανάλογα προς εκείνα που αποδίδει ο Boyd στις ‘αναλογίες συγκρότησης’ (§A-3.2), οφείλουμε να διερευνήσουμε εάν η AAB επιτελούσε πράγματι και τον προαναφερθέντα λειτουργικό ρόλο.

Ο Boyd δηλώνει εξ αρχής ότι, ως ένθερμος υποστηρικτής του επιστημονικού ρεαλισμού, σκοπεύει να υπερασπιστεί «τη ρεαλιστική εκείνη θέση που ισχυρίζεται ότι η γνώση τόσο των ‘μη-παρατηρήσιμων’ αιτιακών δυνάμεων όσο και των ‘μη-παρατηρήσιμων’ συστατικών της ύλης είναι δυνατή» (Boyd, 1979, σ. 491). Για την επίτευξη δε του συγκεκριμένου στόχου, επιλέγει ως πρώτο βήμα την παρουσίαση των κεντρικών θέσεων της ‘αιτιακής θεωρίας αναφοράς’ (‘causal account of reference’), την οποία και ο ίδιος ενστερνίζεται. Ας τον παρακολουθήσουμε.

(A5.39) «Οι θέσεις μου αποτελούν προέκταση των αιτιακών θεωριών περί αντίληψης ή γενικότερα περί γνώσης. Οι συγκεκριμένες θεωρίες διατείνονται ότι η όποια επαγωγική γενίκευση είναι μη επαρκώς θεμελιωμένη, εάν οι χρησιμοποιούμενες [για τη γενίκευση αυτή] κατηγορίες δεν αντιστοιχούν σε ‘αιτιακές δυνάμεις’ (‘causal powers’) ή σε ‘φυσική αναγκαιότητα’ (‘natural necessity’). Ως εκ τούτου, η γνώση των γενικών νόμων της επιστήμης θεωρείται,

⁵⁷ Στο σημείο αυτό, οφείλουμε να σημειώσουμε ότι, σχετικώς πρόσφατα, αναπτύχθηκε, κυρίως από τους Hacking (1983) και Cartwright (1983) μία εναλλακτική εκδοχή: ο αποκαλούμενος ‘ρεαλισμός οντοτήτων’ (‘entity realism’), μια φιλοσοφική τάση που, ενώ δεσμεύεται στην ύπαρξη των θεωρητικών οντοτήτων, αρνείται να υπερασπιστεί την ‘αλήθεια’ των επιστημονικών θεωριών στις οποίες οι οντότητες αυτές εμπεριέχονται. Μια τέτοια βεβαίως αντίληψη εγείρει άμεσα το ερώτημα εάν έχει πράγματι νόημα να θεωρεί κανείς ‘αληθή’ την ύπαρξη των θεωρητικών οντοτήτων και να επερωτά, ταυτόχρονα, την ‘αλήθεια’ της θεωρίας στην οποία αυτές εντάσσονται. Γιατί είναι δύσκολο, λόγου χάριν, να κατανοήσει κανείς πώς είναι δυνατό να ορισθούν οι ‘αιτιακές δυνάμεις’ (‘causal powers’, σύμφωνα με την ορολογία του Hacking) των φυσικών οντοτήτων ανεξάρτητα από το οποιοδήποτε θεωρητικό πλαίσιο. Η εκτενής όμως ανάλυση του συγκεκριμένου ζητήματος υπερβαίνει τους στόχους της εργασίας μας.

τυπικά τουλάχιστον, αδύνατη, εάν δεν στηρίζεται σε κάποια γνώση των μη-παρατηρήσιμων ποσοτήτων ή δυνάμεων» (στο ίδιο, σ. 491).

(A5.40) «Οι θέσεις της αιτιακής θεωρίας αναφοράς απορρέουν από την προσπάθεια υπεράσπισης της άποψης ότι οι γενικοί όροι (κυρίως οι ‘θεωρητικοί’ όροι των επιστημονικών θεωριών) οφείλουν να κατανοούνται *ως αναφερόμενοι*, ως διαθέτοντες, δηλαδή, [οντολογική] αναφορά, ακόμη κι’ αν στερούνται μη-αναθεωρήσιμων συμβατικών ορισμών. [Σε αυτή δε την κατεύθυνση], είναι πράγματι σημαντικό να τονίσουμε ότι οι ‘εξειδικευμένες εμφανίσεις’ (‘tokens’) ενός όρου που χρησιμοποιείται σε διαφορετικά πλαίσια, σε διαφορετικές ιστορικές στιγμές, στο εσωτερικό διαφορετικών παραδειγμάτων ή σε διαφορετικούς δυνατούς κόσμους, είναι δυνατό να έχουν *την ίδια αναφορά*, ακόμη κι’ αν στερούνται ισοδύναμων συμβατικών ορισμών» (στο ίδιο, σ. 498).

Η αιτιακή θεωρία αναφοράς επιχειρεί λοιπόν να δείξει ότι οι ‘γενικεύσεις’ της επιστημονικής γνώσης μπορούν να κριθούν ως επαρκώς θεμελιωμένες μόνο εάν στηρίζονται σε μια *δια-θεωρητική ταξινόμηση των φυσικών ειδών αντιστοιχούσα σε ‘αιτιακές δυνάμεις’ ή ‘φυσική αναγκαιότητα’* (A5.39). Γιατί, υπό το πρίσμα μίας θεώρησης που ενστερνίζεται τις παραδοσιακές ρεαλιστικές θέσεις, μόνο μια τέτοια ταξινόμηση μπορεί να πιστοποιήσει με ασφάλεια την αδιάλειπτη συνέχεια της επιστημονικής γνώσης παρά τις όποιες εννοιολογικές αλλαγές: οι αλλαγές αυτές αντικατοπτρίζουν απλώς τον ακριβέστερο προσδιορισμό των *χαρακτηριστικών των ίδιων* πάντοτε φυσικών οντοτήτων καθώς και την καταλληλότερη προσαρμογή των γλωσσικών κατηγοριών της επιστήμης στην αιτιακή δομή του κόσμου. Το νόημα των επιστημονικών όρων μπορεί ν’ αλλάζει, εφόσον κατά την αλλαγή θεωρίας είναι δυνατό να μεταβληθούν ‘κατά μη-αναθεωρήσιμο τρόπο’ οι ‘συμβατικοί’ τους ορισμοί’, η οντολογική τους όμως αναφορά, εκλαμβάνομενη ως *μη θεωρητικώς εξαρτώμενη*, παραμένει *σταθερή* (A5.40). Κατ’ αυτόν τον τρόπο, οι αιτιακές θεωρίες αναφοράς επιχειρούν να τεκμηριώσουν την ‘προσεγγιστική αλήθεια’ των επιτυχών θεωριών, να υπερβούν την ‘ασυμμετρία’ των διαδοχικών θεωριών και να επιβεβαιώσουν την πρόοδο (με όρους συσσώρευσης) της επιστημονικής γνώσης.

Το σχετικό επιχείρημα αναπτύσσεται ως εξής. Η παλαιότερη θεωρία είναι δυνατό ν’ απέδιδε λανθασμένες ή μερικώς λανθασμένες ιδιότητες σε κάποια φυσική οντότητα. Οι ιδιότητες όμως που προσάπτονται στη συγκεκριμένη οντότητα από τη νέα θεωρία, παρά τη διαφορετική γλωσσική τους απόδοση, στοχεύουν στην ερμηνεία *των ίδιων* πάντοτε αιτιακών μηχανισμών. Εάν δε η νέα θεωρία επιτύχει τελικά μια πληρέστερη ερμηνεία των υποκείμενων στα φαινόμενα μηχανισμών, δικαιούται, ως εκ του συγκεκριμένου αποτελέσματος, να εκληφθεί ως μια πλέον αξιόπιστη αναπαράσταση της αντικειμενικής δομής του κόσμου. Έτσι, γίνεται δυνατή η συγκριτική αξιολόγηση *της αληθοτιμής* των διαδοχικών θεωριών βάσει της

απεικονιστικής τους ως προς τον κόσμο ικανότητας και ενισχύεται η κεντρική θέση του παραδοσιακού ρεαλισμού περί του κατά προσέγγιση ‘αληθούς’ περιεχομένου της επιστημονικής γνώσης. Ο Boyd προβάλλει με σαφήνεια τη συγκεκριμένη θέση, όταν ισχυρίζεται ότι «κατά τη διάρκεια των επιστημονικών επαναστάσεων, η αναφορά των θεωρητικών όρων κατανοείται ως *συνεχής* και όχι ως μεταβαλλόμενη, γεγονός που θα καθιστούσε τη σύγκριση των διαδοχικών θεωριών αδύνατη» (στο ίδιο, σ. 518).

Ένα βασικό ερώτημα στο οποίο η αιτιακή θεωρία αναφοράς καλείται ν’ απαντήσει αφορά τον *τρόπο* με τον οποίο διενεργείται η απόδοση οντολογικής αναφοράς στους όρους των επιστημονικών θεωριών. Η επίκληση μιας κρίσιμης εναρκτήριας πράξης απόδοσης αναφοράς προσφέρει εδώ την απάντηση: όταν η επιστήμη παρατήρησε για πρώτη φορά κάποιο καινούργιο φαινόμενο, εξέλαβε ως κύριο ‘αίτιο’ της εμφάνισής του την ‘ύπαρξη’ μίας φυσικής οντότητας. Έτσι, το αποδοθέν στην οντότητα αυτή ‘όνομα’ απέκτησε μια σαφώς καθορισμένη, ‘ως προς τις ιδιότητες και τις αιτιακές της δυνάμεις’, οντολογική αναφορά. Και μπορεί μεν η αρχική περιγραφή μιας οντότητας να ήταν ελλιπής ή λανθασμένη, η επιστημονική όμως έρευνα συμπληρώνει τις ελλείπουσες ιδιότητες και προσφέρει προοδευτικά ακριβέστερες πληροφορίες για την ‘πραγματική’ φύση της ίδιας αυτής οντότητας. Υπ’ αυτήν την προοπτική, ο προσδιορισμός της αναφοράς ενός νέου γλωσσικού όρου διενεργείται μέσω μίας ‘ιστορικής – αιτιακής αλυσίδας’ που οδηγεί πίσω στον χρόνο έως εκείνη την εναρκτήρια πράξη απόδοσης αναφοράς που σχετίζεται με τον συγκεκριμένο όρο. Όπως υπογραμμίζει δε ο Boyd, «το γεγονός ότι η επιστημονική έρευνα επιζητά την αναφορά σε είδη, των οποίων οι ορισμοί είναι ενοποιημένοι με αιτιακό και όχι με εννοιολογικό τρόπο καταδεικνύει την επιστημολογική αναγκαιότητα (και επομένως τη μεθοδολογική αναγκαιότητα) να *προσαρμοστούν οι εννοιολογικές δομές στην αιτιακή δομή του κόσμου*» (στο ίδιο, σ. 485).

Κατά την αντίληψη του Boyd, σ’ αυτήν τη διαδικασία ‘προσαρμογής’, η συμβολή των ‘αναλογιών συγκρότησης’ αποδεικνύεται πολύτιμη. Όπως ο ίδιος διευκρινίζει, οι ‘αναλογίες συγκρότησης’ εφαρμόζονται κάθε φορά που η επιστήμη διατυπώνει την ‘ενημερωμένη εικασία’ (‘informed guess’) περί της δυνατότητας ύπαρξης νέων μορφών αιτιακών διασυνδέσεων μεταξύ καταστάσεων στις οποίες συμμετέχουν άγνωστες ακόμη ιδιότητες κάποιων φυσικών ειδών. Γιατί, στη συγκεκριμένη περίπτωση, οι ‘αναλογίες συγκρότησης’ επιτρέπουν τη «φαινομενολογική εισαγωγή γενικών όρων, εκείνων ακριβώς των όρων που καθιστούν δυνατή την αναφορά σε είδη των οποίων ορισμένες ουσιαστικές ιδιότητες δεν είναι ακόμη γνωστές» (στο

ίδιο, σ. 493). Κατ' αυτόν τον τρόπο, «διευκολύνεται η εισαγωγή νέας ορολογίας ή η χρηστική τροποποίηση της ήδη υπάρχουσας, ώστε να καταστεί τελικά δυνατή η παραγωγή εκείνων των γλωσσικών κατηγοριών που θ' αποδειχθούν κατάλληλες για την περιγραφή των αιτιακά και εξηγητικά σημαντικών ιδιοτήτων του κόσμου» (στο ίδιο, σ. 483). Ο ακριβής γλωσσικός ορισμός των εισαγόμενων μέσω των 'αναλογιών συγκρότησης' όρων, εάν καταστεί τελικά δυνατός, σηματοδοτεί την οριστική πλέον ιδιοποίηση ακριβέστερης γνώσης τόσο για την αιτιακή δομή του κόσμου όσο και για τις φυσικές οντότητες που τον απαρτίζουν. Κατά τις περιόδους όμως εφαρμογής των 'αναλογιών συγκρότησης', «δεν είναι ακόμη γνωστό ποιες είναι εκείνες οι ιδιότητες που θα χρειασθούν στο μέλλον επακριβή γλωσσικό προσδιορισμό» (στο ίδιο, σ. 492). Έτσι, η εφαρμογή των 'αναλογιών συγκρότησης', ως εκ της ενεχόμενης σε αυτήν προϋπόθεσης περί της κοινής οντολογικής αναφοράς των όρων των διαδοχικών θεωριών, είναι εκείνη που εν τέλει υποδεικνύει ποιοι από τους παλαιότερους γλωσσικούς όρους οφείλουν να διατηρηθούν και ποιες ενδεχομένως αλλαγές απαιτούνται στον ορισμό τους, ώστε να επιτευχθεί η πιστότερη 'προσαρμογή' της επιστημονικής γνώσης στην αιτιακή δομή του κόσμου.

Είναι χαρακτηριστικό ότι, παρά την διαφορετική αρχική τους στόχευση, οι αιτιακές θεωρίες περί 'εξήγησης' και 'αναφοράς', καθώς επιχειρούν να υποστηρίξουν τις ίδιες οντολογικές παραδοχές, φθάνουν κάποια στιγμή να αλληλοσυμπληρώνονται. Η πρώτη, προϋποθέτοντας τόσο την αιτιακή δόμηση του φυσικού κόσμου όσο και τον απεικονιστικό χαρακτήρα της επιστημονικής γνώσης, αγκιστρώνει στην έννοια της επιστημονικής εξήγησης το αίτημα της κατά το δυνατόν ακριβέστερης και προοδευτικώς πληρέστερης (κατά την ιστορική της εξέλιξη) αναπαράστασης των αιτιακών 'διαδικασιών' (οντοτήτων και μηχανισμών) του φυσικού κόσμου. Η δεύτερη, υπό τις ίδιες ακριβώς προϋποθέσεις, επιχειρεί να καταδείξει ότι η αιτιακή σύνδεση των επιστημονικών όρων των διαδοχικών θεωριών με την κοινή αναφορά τους είναι εκείνη ακριβώς που προωθεί την εξέλιξη της επιστημονικής γνώσης προς προοδευτικώς ακριβέστερες και πληρέστερες γλωσσικές αναπαραστάσεις των 'αιτιακά και εξηγητικά' σημαντικών ιδιοτήτων της φυσικής πραγματικότητας.

Είναι επίσης χαρακτηριστικό ότι αμφότερες οι θεωρήσεις προτείνουν μια επιστημολογική στρατηγική που προσβλέπει σε μια εκ των 'κάτω προς τα άνω' ενοποίηση της επιστημονικής γνώσης. Υπό μια σχηματική λοιπόν διατύπωση, θα μπορούσαμε να πούμε ότι, όπως οι θεωρήσεις των Popper και Einstein υπερβαίνουν τη συμβασιοκρατία επειδή προσαρτούν στο παραγωγικό – νομολογικό μοντέλο (και

γενικότερα στην επιστημική προσέγγιση της εξήγησης) τη μεταφυσική παραδοχή περί ενός αιτιακώς δομημένου και καθ' ολοκληρίαν γνώσιμου – στο ιδανικό όριο – κόσμου, έτσι ακριβώς και οι αιτιακές θεωρίες εξήγησης' και αναφοράς' υπερβαίνουν τον θετικισμό επειδή προσαρτούν *την ίδια* μεταφυσική παραδοχή στο επαγωγικό επιστημολογικό πρότυπο του παραδοσιακού εμπειρισμού.

3.3. Η Αρχή της Αντιστοιχίας

υπό το φως των αιτιακών θεωριών εξήγησης και αναφοράς

Όπως έχουμε ήδη διαπιστώσει, ο Bohr, μέσω της εφαρμογής της AAB, δεν αποπειράθηκε να προσφέρει μια 'εξήγηση' των υποατομικών φαινομένων, αλλά επιχείρησε να 'διανοίξει τον δρόμο' προς τη συγκρότηση μιας θεωρίας που θα μπορούσε να 'εξηγήσει' τόσο τις επιτυχείς εφαρμογές της κλασικής θεωρίας όσο και τις σχετιζόμενες με τα υποατομικά φαινόμενα εφαρμογές (§A-4.3, 1^η συνιστώσα). Θα μπορούσαμε όμως εύλογα ν' αναρωτηθούμε, *πρώτον*, εάν η προς αναζήτηση κβαντική θεωρία αναμενόταν να επιτύχει μια αιτιακή εξήγηση των κβαντικών φαινομένων κατά το πρότυπο των αιτιακών – οντικών θεωριών της εξήγησης και, *δεύτερον*, εάν η εφαρμογή της AAB προϋπέθετε κατά άμεσο ή έμμεσο τρόπο την κοινή οντολογική αναφορά των όρων της κλασικής και της κβαντικής θεωρίας κατά το πρότυπο των αιτιακών θεωριών αναφοράς. Θα επιχειρήσουμε ν' απαντήσουμε στα συγκεκριμένα ερωτήματα επικεντρώνοντας την προσοχή μας στα ακόλουθα σημεία.

1. *Σημεία σύγκλισης προς την 'οντική' – 'αιτιακή' θεωρία της εξήγησης.* Η προσδοκώμενη από τον Bohr 'ενοποιημένη' εξήγηση ενός κατά το δυνατόν ευρύτερου φάσματος εμπειρικών δεδομένων δεν όφειλε ν' απορρέει *κατ' ανάγκην* από τις παραγωγικές λογικές συναγωγές ενός ενιαίου φορμαλιστικού σχήματος (§A-5.2.2). Όφειλε όμως ν' αποφέρει, *απαρεγκλίτως*, την κατανόηση των *υποκειμένων* στα φαινόμενα *μηχανισμών* (π.χ. A4.1). Είναι φανερό ότι η αντίληψη αυτή εναρμονίζεται απόλυτα με το κεντρικό αίτημα της αιτιακής θεωρίας της εξήγησης.

2. *Σημεία απόκλισης από την 'οντική - αιτιακή' θεωρία της εξήγησης.* Το ερευνητικό όμως πρόγραμμα του Bohr δεν φάνηκε ποτέ να περιορίζεται από μια μεταφυσική δέσμευση σε σχέση με την αιτιακή δόμηση του κόσμου. Γιατί, ακόμη κι' αν παραβλέπαμε την υπόθεση των 'αιφνίδιων' κβαντικών αλμάτων λόγω της προκαταρκτικής και ευρετικής της διάστασης, δεν θα μπορούσαμε ν' αγνοήσουμε το γεγονός ότι ο Bohr επέλεξε να επεξεργασθεί, στο πλαίσιο της AAB, μοντέλα που

διακρίνονταν για τον αποκλίνοντα από το κλασικό πρότυπο πιθανοκρατικό τους χαρακτήρα. Η στατιστική θεωρία της ακτινοβολίας του Einstein και η BKS θεωρία συνιστούν χαρακτηριστικά παραδείγματα. Επιπροσθέτως, ο Bohr δεν φάνηκε ποτέ ν' αναζητά μια, έστω και κατά προσέγγιση, 'αντιστοιχιστική αναπαράσταση' της 'αληθινής' δομής του κόσμου κατά το πρότυπο του παραδοσιακού επιστημονικού ρεαλισμού. Φρόντιζε αντίθετα να επισημαίνει ότι «η 'αλήθεια' των εξηγήσεών μας, όσον αφορά τα προβλήματα που αντιμετωπίζουμε, συναρτάται εδώ, σε μεγαλύτερο ίσως βαθμό απ' ό,τι σε άλλα πεδία της επιστήμης, μόνο με ζητήματα *εσωτερικής συνεκτικότητας και αρμονίας*» (Bohr, 1921γ, *NBCW3*, σ. [400]).

3. *Μια διαφορετικού τύπου 'αιτιακή' εξήγηση.* Ο προηγούμενος ισχυρισμός φαίνεται εκ πρώτης όψεως να συμβαδίζει με τη συμβασιοκρατική αντίληψη των επιστημονικών θεωριών. Η επιμονή όμως του Bohr ν' αναζητά την κατανόηση 'της βαθύτερης φύσης των φυσικών διαδικασιών' μας έχει ήδη οδηγήσει στην απόρριψη ενός τέτοιου ενδεχομένου (§A-5.2.2 και §A-5.2.3, σημείο 4). Μπορούμε λοιπόν να σκεφθούμε ότι ο Bohr θα ήταν δυνατό να επιζητά *την κατανόηση* των φυσικών διαδικασιών *χωρίς* να προϋποθέτει τον αιτιακό τους χαρακτήρα. Θα ήταν επίσης δυνατό να προσβλέπει σε μια 'αιτιακή' φυσική εξήγηση *χωρίς* να την υποτάσσει στην μεταφυσική παραδοχή του αιτιακώς δομημένου και καθ' ολοκληρίαν γνώσιμου κόσμου. Υπ' αυτήν την ευρύτερη έννοια, ως 'αίτιο' θα μπορούσε να χαρακτηριστεί εκείνο το χαρακτηριστικό της φυσικής πραγματικότητας που, εάν λαμβανόταν υπόψη, θα προσέφερε μια πειστική *φυσική ερμηνεία* στο ερώτημα 'γιατί' ένα φαινόμενο εμφανίζεται. Ένα ούτως οριζόμενο 'αίτιο', καθώς συσχετίζει τα εμπειρικά φαινόμενα με το φυσικό τους υπόβαθρο, προσφέρει πράγματι μια *οντολογικώς θεμελιωμένη* εξήγηση. Μία τέτοια όμως εξήγηση, όντας αποφορτισμένη από το αίτημα της επακριβούς αναπαράστασης των φυσικών οντοτήτων και μηχανισμών, απομακρύνεται δραστικά από τις αιτιακές θεωρίες εξήγησης και αναφοράς.

Απαντώντας λοιπόν στο πρώτο εκ των ερωτημάτων που εξ αρχής θέσαμε, στο εάν δηλαδή ο Bohr ανέμενε από την κβαντική θεωρία την απόδοση μίας αυστηρώς αιτιακής εξήγησης των υποατομικών φαινομένων, μπορούμε να διατυπώσουμε τον ακόλουθο γενικότερο ισχυρισμό. Η επιζητούμενη από τον Bohr ερμηνεία της κβαντικής θεωρίας αδυνατεί τελικά να εναρμονισθεί με τις θέσεις τόσο των επιστημικών όσο και των οντικών θεωριών της εξήγησης. Γιατί η αναζήτηση *της οντολογικής βάσης* των φαινομένων αποκαλύπτει την ουσιαστική διάσταση της

θεώρησης του Bohr από τις επιστημικές προσεγγίσεις. Η αναζήτηση όμως ακριβώς της οντολογικής αυτής βάσης αντί του προκαθορισμού της αναδεικνύει τη ουσιαστική επίσης διάσταση της θεώρησής του από τις οντικές – αιτιακές προσεγγίσεις.

4. Η στενή αλληλεξάρτηση των επιστημολογικών αντιλήψεων Bohr με τις θέσεις του περί επιστημονικής εξήγησης. Η σαφής διάσταση των αντιλήψεων του Bohr τόσο από την επιστημική όσο και από την οντική προσέγγιση αντικατοπτρίζεται με καθαρότητα και στην ερευνητική του στρατηγική. Γιατί δεν είναι τυχαίο ότι η συγκρότηση της AAB προέβλεπε τον μεθοδολογικώς έγκυρο συνδυασμό των διαμετρικά αντίθετων επιστημολογικών προτάσεων των συγκεκριμένων προσεγγίσεων. Προέβλεπε, δηλαδή, την εναρμονισμένη εφαρμογή κάποιων ‘εκ των άνω προς τα κάτω’ και ‘εκ των κάτω προς τα άνω’ ενοποιητικών διαδικασιών (§A-1, §A-3). Η παραγωγική ενοποίηση της επιστημονικής γνώσης, εάν αποδεικνυόταν τελικά δυνατή, εκλαμβάνόταν από τον Bohr, όπως ακριβώς και από τις αιτιακές θεωρίες εξήγησης και αναφοράς, ως αφορούσα το τελικό μόνο στάδιο της ερευνητικής διαδικασίας. Το εξελισσόμενο όμως, στο πλαίσιο της AAB, ερευνητικό πρόγραμμα δεν πρόκρινε μονομερώς τις επαγωγικές διαδικασίες, όπως οι αιτιακές θεωρίες υποδεικνύουν, αλλά διεξαγόταν, αντίθετα, υπό την αυστηρή εποπτεία των αξιωματικών κανόνων της ατομικής θεωρίας. Έτσι, η ακολουθούμενη μέσω της AAB ερευνητική στρατηγική έμοιαζε, όπως ο ίδιος ο Bohr την περιέγραφε, σαν ‘ένα παιχνίδι’ μεταξύ της εφαρμογής σαφώς προσδιορισμένων θεωρητικών εννοιών και της ανάπτυξης των ίδιων αυτών εννοιών μέσω των καινούργιων πληροφοριών που αντλούνταν από την πειραματική διαδικασία (A5.2).

5. Η AAB ως ‘αναλογία συγκρότησης’ προορισμένη ν’ αποκαλύψει την ενδεχόμενη οντολογική ασυμμετρία της κλασικής και της κβαντικής θεωρίας. Ο Bohr, για να εκφράσει, όπως φαίνεται, την ιδεολογική του αποστασιοποίηση από τον σκεπτικισμό του Mach, διατύπωσε τον ακόλουθο ισχυρισμό. «Γνωρίζουμε, πλέον», υποστήριξε ο Bohr, «ότι ο σκεπτικισμός, σε σχέση με την ‘πραγματική’ ύπαρξη των ατόμων, συνιστούσε υπερβολή. Γιατί η θαυμάσια εξέλιξη της πειραματικής τεχνικής μάς έχει πράγματι επιτρέψει τη μελέτη αποτελεσμάτων που είναι δυνατό ν’ απορρέουν μόνο από την ύπαρξη των ατόμων» (Bohr, 1929α, ATDN, σ. 93). Ένας τέτοιος ισχυρισμός αποκαλύπτει, δίχως άλλο, μία αμιγώς ρεαλιστική τοποθέτηση. Για ν’ απαντήσουμε όμως στο δεύτερο ερώτημα που εξ αρχής θέσαμε, στο εάν δηλαδή η εφαρμογή της AAB προϋπέθετε κατά άμεσο ή έμμεσο τρόπο την κοινή οντολογική αναφορά των

όρων της κλασικής και της κβαντικής θεωρίας, είναι χρήσιμο να παρακολουθήσουμε και το απόσπασμα που ακολουθεί. Στο απόσπασμα αυτό, ο Bohr περιγράφει τις θεωρητικές προσπάθειες που καταβάλλονταν στο πλαίσιο της AAB για την πρόβλεψη των ιδιοτήτων των χημικών στοιχείων με τον ακόλουθο τρόπο.

(A5.41) «Οι συγκεκριμένες προσπάθειες δεν μπορούν να εκληφθούν ως θεωρίες. Γιατί κύριος σκοπός μιας θεωρίας θα ήταν η ανάπτυξη μιας ερμηνείας, στο πλαίσιο της οποίας ακόμη και η υπέρτατη διαφοροποίηση των εξειδικευμένων ιδιοτήτων των στοιχείων θα εμφανιζόταν ως τελική συνέπεια της εφαρμογής μικρού αριθμού συνεκτικών θεωρητικών παραδοχών απλού χαρακτήρα. Τα προτεινόμενα όμως εδώ θεωρητικά σχήματα αποπειρώνται να εκφράσουν με τυπικό μόνο τρόπο τις ιδιότητες των στοιχείων, αποδίδοντας προσωρινά τη διαφοροποίηση των ιδιοτήτων αυτών σε μια εξ υποθέσεως πολυπλοκότητα των νόμων που διέπουν τη συγκρότηση των ατόμων» (Bohr, 1921γ, *NBCW3*, σ. [399]).

Ο Bohr παρουσίασε εδώ μία από τις προσδοκώμενες εφαρμογές της κβαντικής θεωρίας: ακόμη και η υπέρτατη διαφοροποίηση των ιδιοτήτων των χημικών στοιχείων όφειλε ν' απορρέει από την ερμηνεία των περιορισμένων σε αριθμό, απλών και συνεκτικών παραδοχών της υπό αναζήτηση κβαντικής θεωρίας. Ένας τέτοιος ισχυρισμός καταγράφει, βεβαίως, τη σταθερή πεποίθηση του Bohr για τον υποκαθορισμό της εμπειρίας από τη θεωρητική της θέαση, μία πεποίθηση που καταδεικνύει για μία ακόμη φορά την πλήρη διάσταση των επιστημολογικών του αντιλήψεων από τις θετικιστικές ιδέες (§A-5.1.2, σημείο 4). Πέραν όμως αυτού, οφείλουμε να παρατηρήσουμε ότι η πεποίθηση αυτή, καθώς καταργεί τη διχοτομία μεταξύ θεωρίας και παρατήρησης – μία διχοτομία επί της οποίας στηριζόταν η αντι-ρεαλιστική στάση του παραδοσιακού εμπειρισμού (και του θετικισμού) σε σχέση με τους θεωρητικούς όρους των επιστημονικών θεωριών – αποτελεί αναπόσπαστο στοιχείο κάθε ρεαλιστικής θεώρησης. Η πεποίθηση συνεπώς αυτή, όπως βεβαίως και ο ισχυρισμός περί της 'πραγματικής' ύπαρξης των ατόμων, συνάδουν απόλυτα με τις παραδοσιακές ρεαλιστικές θέσεις. Η σύμπλευση όμως του Bohr με τον παραδοσιακό ρεαλισμό σταματά εδώ. Κι' αυτό, για τους ακόλουθους λόγους.

Όπως έγινε φανερό και από τις θέσεις των αιτιακών θεωρήσεων περί εξήγησης και αναφοράς, οι παραδοσιακές ρεαλιστικές θεωρήσεις, παρά την απερίφραστη αναγνώριση της θεωρητικώς εξαρτώμενης εμπειρίας, κατορθώνουν να υπερβούν τον σκόπελο της 'ασυμμετρίας' των διαδοχικών θεωριών, επειδή αγκιστρώνουν την 'αλήθεια' ή, ακριβέστερα, την 'προσέγγιση στην αλήθεια' στην κοινή αναφορά των όρων τους. Μία απόπειρα έμπρακτης εφαρμογής της συγκεκριμένης αντίληψης στο επιστημονικό πεδίο συναντάμε στην προσπάθεια του de Broglie να συνενώσει τις υποδεικνυόμενες από την κλασική θεωρία ιδιότητες των 'κυμάτων' και των

‘σωματιδίων’ σ’ ένα ενιαίο θεωρητικό σχήμα. Ο ίδιος περιέγραψε τα κίνητρα του όλου εγχειρήματος ως εξής: «Καθώς διακατέχομαι από μια ισχυρώς ρεαλιστική αντίληψη για τη φύση του κόσμου, ενώ, αντίθετα, συμπαθώ ελάχιστα τις αφηρημένες θεωρήσεις, επιθυμώ [μέσω της εργασίας μου] ν’ αναπαραστήσω με συγκεκριμένο τρόπο την ενότητα των κυμάτων και των σωματιδίων. Έτσι, το σωματίδιο ορίζεται ως ένα μάλλον εντοπισμένο αντικείμενο, εμβαπτισμένο στη δομή ενός διαδιδόμενου κύματος» (de Broglie, 1924, από Moore, 1989, σσ. 185 - 186). Δεν είναι βεβαίως τυχαίο ότι η προσπάθεια αυτή, μια προσπάθεια που επιχείρησε να διατηρήσει την αναφορά των επιστημονικών όρων σταθερή παρά την όποια θεωρητική αλλαγή, εντάχθηκε από τον εμπνευστή της στην ‘ισχυρή’ εκδοχή του ρεαλισμού.

Κατά την περίοδο όμως ‘γέννησης’ της κβαντικής θεωρίας, ο Bohr ουδέποτε επιχείρησε να συνδέσει τις έννοιες του ‘κύματος’ και του ‘σωματιδίου’, κατά αιτιακό ή καθοιονδήποτε άλλο τρόπο, με τα οντολογικά χαρακτηριστικά που απέδιδε στις έννοιες αυτές η κλασική θεωρία. Ουδέποτε επιχείρησε, δηλαδή, να ‘επεκτείνει’, να ‘συμπληρώσει’ ή να ‘διορθώσει’ έναν ‘κεντρικό πυρήνα’ εγγενών ‘ιδιοτήτων’ ή ‘αιτιακών δυνάμεων’, ο οποίος, κατά το πρότυπο των αιτιακών θεωρήσεων αναφοράς ή της κατά de Broglie αντίληψης, θα όφειλε να παραμείνει σταθερός.⁵⁸ Στο πλαίσιο της κατά Bohr θεώρησης, οι έννοιες του ‘κύματος’ και του ‘σωματιδίου’, αντιμετωπίζονταν ως απλές ‘λέξεις’ με άγνωστο ακόμη φυσικό περιεχόμενο (§A-5.2.3, σημείο 5). Μπορούμε εξάλλου να παρατηρήσουμε ότι ο Bohr ακολουθούσε την ίδια ακριβώς κατεύθυνση, όταν υπογράμμιζε ότι οι προσπάθειες ερμηνείας του περιοδικού πίνακα επιχειρούσαν να εκφράσουν κατά ‘τυπικό’ και μόνο τρόπο τις ιδιότητες των στοιχείων (A5.40). Γιατί, κατ’ αυτόν τον τρόπο, αφαιρούσε από τις συγκεκριμένες ιδιότητες το οποιοδήποτε φυσικό περιεχόμενο. Δεν είναι επίσης τυχαίο ότι ο Bohr θεωρούσε ‘προσωρινή’ μια κατηγοριοποίηση ιδιοτήτων που προέκυπτε από την ‘εξ υποθέσεως σύμμειξη των νόμων της κλασικής και κβαντικής θεωρίας’. Γιατί, κατά την αντίληψη του Bohr, το οντολογικό υπόβαθρο μίας τέτοιας κατηγοριοποίησης μπορούσε ν’ αποκαλυφθεί μόνο από το εννοιολογικό πλαίσιο της κατά συνεκτικό πλέον τρόπο διατυπωμένης και ερμηνευμένης κβαντικής θεωρίας (A5.40). Μπορούμε λοιπόν να ισχυριστούμε ότι ο Bohr ουδέποτε επιχείρησε να

⁵⁸ Μπορούμε ακόμη να θυμηθούμε ότι ο Norton, στην προσπάθειά του να υπερασπισθεί την οντολογική συνέχεια των όρων της κλασικής και κβαντικής θεωρίας, μια συνέχεια που κατά την αντίληψή του αντικρούει τις περί ‘ασυμμετρίας’ και ‘επαναστάσεων’ θέσεις, προσπάθησε ν’ αποκαθάρει την πρώτη ατομική θεωρία του Bohr από όλα τα ‘περιττά’ κατά τη γνώμη του στοιχεία και ν’ αναδείξει τον διαχρονικώς ‘αναλλοίωτο’ πυρήνα της (§A-1.2).

συνδέσει μέσω της AAB τους όρους της κλασικής και της κβαντικής θεωρίας με κάποια κοινή οντολογική αναφορά, όπως οι αντιλήψεις του Boyd περί ‘αναλογιών συγκρότησης’ υποδεικνύουν: η AAB εντελλόταν ν’ αποκαλύψει την ενδεχόμενη ‘ριζική’ ρήξη της κβαντικής με την κλασική θεωρία και η ρήξη αυτή μπορούσε κάλλιστα να εδράζεται στην οντολογική *ασυμβατότητα* των δύο θεωριών.

Ο Boyd θεωρεί ότι, κατά τις περιόδους αλλαγής θεωρίας, οι ‘αναλογίες συγκρότησης’ διαδραματίζουν έναν σημαντικό λειτουργικό ρόλο: η εφαρμογή τους προωθεί «την προσαρμογή της γλώσσας στην αιτιακή δομή του κόσμου» (Boyd, 1979, σ. 483). Εμείς, υπό το φως της προηγηθείσας ανάλυσης, θα μπορούσαμε να παραφράσουμε, υπό άλλο βεβαίως πνεύμα, τη συγκεκριμένη ρήση ως εξής: η AAB, καθώς συγκροτήθηκε υπό την αναγνώριση της πρωτοκαθεδρίας της πέραν των φαινομένων και της εμπειρίας φυσικής πραγματικότητας έναντι της γλώσσας, εντελλόταν να οδηγήσει στην κατανόηση χαρακτηριστικών του φυσικού κόσμου ριζικώς ‘ξένων’, ενδεχομένως, προς την κλασική κοσμοαντίληψη. Γι’ αυτό και η χρήση της άφηγε συστηματικά το περιθώριο της *πλήρους ανατροπής* των υποκείμενων στην κλασική θεωρία οντολογικών παραδοχών.

Μία επιστημολογική όμως θεώρηση που δεν συνοδεύεται από προκαθορισμένες οντολογικές δεσμεύσεις ακυρώνει κάθε δυνατότητα στήριξης της συνέχειας των διαδοχικών θεωριών στην κοινή αναφορά των όρων τους. Έτσι, η AAB, παρότι φέρει το σύνολο σχεδόν των επιστημολογικών χαρακτηριστικών των ‘αναλογιών συγκρότησης’ (§A-3.2), αφίσταται πλήρως από τις τιθέμενες από τον Boyd οντολογικές προϋποθέσεις. Εάν δε λάβουμε υπόψη μας ότι, κατά την αντίληψη του Kuhn, «η ανακατανομή των μεμονωμένων οντοτήτων σε φυσικά είδη, καθώς και η αλλαγή των εξεχουσών – όσον αφορά τον προσδιορισμό της αναφοράς – ιδιοτήτων που η ανακατανομή αυτή συνεπάγεται, συνιστούν κεντρικό (ίσως το κεντρικότερο) χαρακτηριστικό των επεισοδίων που αποκαλούνται ‘επιστημονικές επαναστάσεις’» (Kuhn, 1979, σ. 540), μπορούμε πράγματι να ισχυριστούμε ότι η AAB υπήρξε μια ‘αναλογία συγκρότησης’ που, σε διαμετρικά αντίθετη από τις επιδιώξεις του Boyd κατεύθυνση, εντελλόταν ν’ αποκαλύψει την ενδεχόμενη οντολογική ασυμμετρία της κλασικής και της κβαντικής θεωρίας. Εάν δε στηριχθούμε στον κατά Feyerabend ορισμό της ‘ασυμμετρίας’, σύμφωνα με τον οποίο «μια θεωρία μπορεί εν γένει να ειπωθεί ως ‘ασύμμετρη’ προς μια άλλη, εάν οι οντολογικές της συνέπειες είναι *ασύμβατες* με τις οντολογικές συνέπειες της άλλης» (Feyerabend, 1981, σ. xi), μπορούμε επίσης να ισχυριστούμε ότι η AAB εκπλήρωσε στο ακέραιο τον τελικό της

προορισμό. Γιατί ο υποδεικνυόμενος από την κβαντική θεωρία *ολιστικός* χαρακτήρας του φυσικού κόσμου είναι πράγματι ασύμβατος με την αναγωγιστική οντολογία του κλασικού κόσμου, την οντολογία των *εξατομικευμένων* φυσικών οντοτήτων (§B-3.1).

Συνοψίζοντας, λοιπόν, τα συμπεράσματα του παρόντος κεφαλαίου, μπορούμε εν τέλει να ισχυριστούμε ότι η AAB, όπως ακριβώς δεν εξέφρασε μια απόπειρα προσέγγισης της κβαντικής θεωρίας μέσω ‘του παρατηρήσιμου’ κατά το θετικιστικό πρότυπο (§A-5.1.2) ή μέσω των αμιγώς φορμαλιστικών σχημάτων κατά το πρότυπο των λογικών – παραγωγικών μεθόδων επιστημονικής αναζήτησης (§A-5.2.2), δεν εξέφρασε, επίσης, και μια απόπειρα προσέγγισης της κβαντικής θεωρίας μέσω μιας προϋποτιθέμενης οντολογικής συνέχειας της κλασικής και της κβαντικής θεωρίας. Θα μπορούσαμε δε να πούμε ότι σε διαμετρικά αντίθετη, προς τις προαναφερθείσες επιστημολογικές στρατηγικές, κατεύθυνση, η AAB είχε ως αποστολή να ωθήσει σταδιακά στην επιφάνεια τόσο το ‘κρυμμένο’ νόημα των λέξεων όσο και την ‘κρυμμένη’ αναφορά τους. Γιατί, όπως περιέγραψε εκ των υστέρων την κατάσταση ο Heisenberg, «οι λέξεις δεν ‘συναντούσαν’ πλέον τα πράγματα. Και εάν δεν μπορεί κανείς να συλλάβει τα πράγματα μέσω των λέξεων, τι μπορεί να κάνει; ο Bohr προτιμούσε να δραπετεύει στη φιλοσοφία των πραγμάτων» (Heisenberg, 1963, *AHQP*, σ. 13). Δεν μπορούμε δε παρά ν’ αναγνωρίσουμε ότι η συγκεκριμένη στάση, καθώς πρόκρινε μια ελεύθερη από μεταφυσικές παραδοχές μεθοδολογία, ήταν εκείνη ακριβώς που, μέσω της κατάλληλης χρήσης της γλώσσας, κατόρθωσε να οδηγήσει σε μια *ριζικάως καινούργια* θέαση της φυσικής πραγματικότητας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΚΤΟ

Η ΑΡΧΗ ΤΗΣ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΙΑΣ

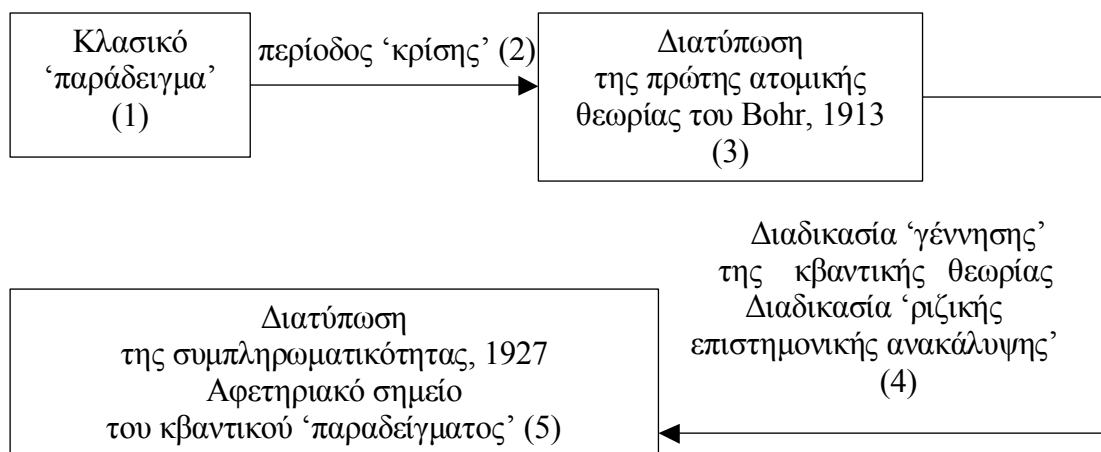
ΩΣ ΦΟΡΕΑΣ ΜΙΑΣ ‘ΡΙΖΙΚΗΣ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΗΣ ΑΝΑΚΑΛΥΨΗΣ’

Μέσω της προηγηθείσας ανάλυσης, οδηγηθήκαμε στο συμπέρασμα ότι οι στηρίζουσες την AAB μεθοδολογικές αρχές όχι μόνο δεν υπέθαλπαν, αλλά αντίθετα επερωτούσαν τις αντιλήψεις εκείνες που προσέβλεπαν με ρητό ή άρρητο τρόπο σε μια σωρευτική εξέλιξη της επιστημονικής γνώσης κατά το πρότυπο των θετικιστικών (§Α-5.1), των παραγωγικών – ενοποιητικών (§Α-5.2) ή των οντικών – αιτιακών προσεγγίσεων (§Α-5.3). Ολοκληρώνοντας λοιπόν το πρώτο μέρος της εργασίας μας, θα προσπαθήσουμε να προσδιορίσουμε ένα σχήμα ερευνητικής αναζήτησης στο οποίο ν’ ανταποκρίνεται με *θετικό πλεόν* τρόπο η υποστηριζόμενη από την AAB ερευνητική στρατηγική. Ένα τέτοιο σχήμα, για ν’ αντικατοπτρίζει με πιστότητα τον επιστημολογικό ρόλο της AAB, οφείλει να διαθέτει δύο αντικρουόμενες, εκ πρώτης όψεως, δυνατότητες: *πρώτον*, να εγκολπώνεται και ν’ αποδίδει συγκεκριμένο περιεχόμενο στη διαδικασία της κατά Kuhn ‘ριζικής’ επιστημονικής ανακάλυψης και, *δεύτερον*, ν’ αναδεικνύει τη *συνέχεια* και την *πρόοδο* της επιστημονικής γνώσης.

Ο Kuhn χρησιμοποιεί τον όρο ‘ριζική επιστημονική ανακάλυψη’ (‘radical scientific discovery’) με έναν μάλλον περιγραφικό τρόπο για να επονομάσει ένα ‘συμβάν’ ή ένα ‘επεισόδιο’ που προκαλεί ή διευκολύνει την αλλαγή ‘παραδείγματος’ (Kuhn, 1970/1981, σσ. 121–136).⁵⁹ Εμείς, για να εξειδικεύσουμε το περιεχόμενο του συγκεκριμένου όρου στην περίπτωση της κβαντικής θεωρίας, αποδεχόμαστε τα εξής. Η κατά Kuhn έννοια του ‘παραδείγματος’ αναφέρεται σε μια συμπαγή και καθολικά αναγνωρισμένη επιστημονική παράδοση. Ακολουθώντας λοιπόν τη συγκεκριμένη νοηματοδότηση, θεωρούμε ότι η επικράτηση του κβαντικού ‘παραδείγματος’ υπήρξε *σταδιακή* με σημείο εκκίνησης την πρώτη συνεκτική φυσική ερμηνεία της κβαντικής

⁵⁹ Καθώς ο όρος ‘ριζική επιστημονική ανακάλυψη’ αναλύεται από τον Kuhn στο κύριο σώμα της ‘Δομής των Επιστημονικών Επαναστάσεων’, ο όρος ‘παραδείγμα’ νοείται υπό την ευρεία του έννοια: υποδεικνύει «το σύνολο των πεποιθήσεων, των αναγνωρισμένων αξιών και των τεχνικών που ασπάζονται τα μέλη μιας δεδομένης επιστημονικής κοινότητας ... και αποτελείται από ένα ισχυρό πλέγμα εννοιολογικών, θεωρητικών, πειραματικών και μεθοδολογικών παραδοχών ... [οι οποίες] είναι δυνατό να έχουν ακόμη και μεταφυσικό χαρακτήρα» (Kuhn, 1970, σσ. 10, 42, 41, η συνένωση των αποσπασμάτων ανήκει στον Β. Κάλφα, επιμελητή και μεταφραστή της ελληνικής έκδοσης της ‘Δομής’, 1981, σ. 26). Η διάκριση μεταξύ ‘κλαδικής μήτρας’ (‘disciplinary matrix’) και ‘υποδείγματος’ (‘exemplar’) εμφανίζεται μόνο στο Υστερόγραφο που συνοδεύει τη δεύτερη έκδοση της ‘Δομής’ (Kuhn, 1970, σσ. 175, 182–187).

θεωρίας μέσω της συμπληρωματικότητας, το 1927, το χρονικό δηλαδή σημείο στο οποίο παρουσιάστηκε με πληρότητα ένας *ριζικός* διαφορετικός τρόπος θέασης του φυσικού κόσμου. Θεωρούμε, επίσης, ότι η διατύπωση της συμπληρωματικότητας σηματοδοτεί, ταυτόχρονα, και το σημείο στο οποίο ολοκληρώθηκε επιτυχώς μια επίπονη διαδικασία ‘ριζικής επιστημονικής ανακάλυψης’, η δεκαπενταετής διαδικασία ‘ανακάλυψης’ της κβαντικής θεωρίας. Η εκτίμηση αυτή συνάδει με τον ισχυρισμό του Kuhn ότι «η ανακάλυψη είναι μια ολόκληρη διαδικασία που διαρκεί στο χρόνο. ... [Κι’ αυτό, επειδή] η ανακάλυψη είναι ένα πολύπλοκο συμβάν, ένα συμβάν που προϋποθέτει την αναγνώριση τόσο του ότι *κάτι* συμβαίνει όσο και του *τι είναι* αυτό που συμβαίνει» (στο ίδιο, σ. 125). Υπό τη συγκεκριμένη οπτική γωνία, η διαδικασία ‘ανακάλυψης’ ή ‘γέννησης’ της κβαντικής θεωρίας μπορεί κατά τη γνώμη μας να οριοθετηθεί με σχετική ακρίβεια. Γιατί, εάν η κατανόηση του *τι είναι* αυτό που συμβαίνει επιτεύχθηκε το 1927 μέσω της συμπληρωματικότητας, η αναγνώριση του ότι *κάτι* συμβαίνει διατυπώθηκε για πρώτη φορά *με σαφήνεια* το 1913, όταν ο Bohr ανακοίνωσε την πρώτη ατομική του θεωρία. Θα επιχειρήσουμε λοιπόν να δείξουμε ότι η μετάβαση από το κλασικό στο κβαντικό ‘παράδειγμα’ ακολούθησε μια πορεία που μπορεί ν’ αναπαρασταθεί με σχηματικό τρόπο ως εξής.



Σχήμα 1

Καθώς λοιπόν, με βάση τα παραπάνω, η διαδικασία ‘γέννησης’ της κβαντικής θεωρίας οριοθετείται μεταξύ του 1913 και του 1927, κατά την περίοδο δηλαδή εφαρμογής της AAB, θα επιχειρήσουμε στη συνέχεια να δείξουμε ότι η AAB μπορεί βάσιμα να εκληφθεί ως ο *μεθοδολογικός φορέας* της ‘ριζικής’ εκείνης επιστημονικής ‘ανακάλυψης’ που σηματοδότησε την ανάδυση του κβαντικού ‘παραδείγματος’.

Για να επιτύχουμε τη διεξοδικότερη περιγραφή του παραπάνω σχήματος, θα επιχειρήσουμε να συνθέσουμε δύο προσεγγίσεις που τοποθετούνται, από τους ίδιους τους εισηγητές τους, στο ευρύ πλαίσιο των ‘δομικών θεωριών της επιστήμης’ (‘structuralist theories of science’). Θα προσπαθήσουμε δηλαδή να συνδέσουμε το ‘ερωτηματικό μοντέλο επιστημονικής αναζήτησης’ (the ‘interrogative model of scientific inquiry’) όπως αυτό προτείνεται από τον Sintonen (Sintonen, 1996, σσ. 45-74), με ορισμένες ‘γραμματικές πλευρές της επιστημονικής ανακάλυψης’ (some ‘grammatical aspects of scientific discovery’) όπως αυτές αναδεικνύονται από τον Α. Μπαλτά (Baltas, 1997β, σσ. 1-14). Κατά την πορεία, θα θίξουμε εκ των πραγμάτων και ορισμένες γενικότερες θέσεις της δομικής θεώρησης, χωρίς ωστόσο να υπεισέλθουμε στη συνιστώσα της εκείνη που αφορά τη φορμαλιστική ανάλυση των επιστημονικών θεωριών, ένα ζήτημα που υπερβαίνει κατά πολύ το αντικείμενο της εργασίας μας. Αντιμετωπίζοντας λοιπόν υπό το πρίσμα των προαναφερθέντων προσεγγίσεων την περίοδο γέννησης της κβαντικής θεωρίας, μπορούμε να παρατηρήσουμε τα εξής.

Η δομική θεώρηση εκλαμβάνει τις θεωρίες της ώριμης επιστήμης ως ‘πολιτισμικές οντότητες’ με ‘βαθιά δομή’. Αυτό σημαίνει ότι η ‘ταυτότητα’ των επιστημονικών θεωριών δεν προσδιορίζεται μόνο από τη γλωσσική τους σύνταξη, αλλά και από τις μεταξύ τους διασυνδέσεις και τη χρονική τους εξέλιξη. Γι’ αυτόν δε ακριβώς τον λόγο, οι επιστημονικές θεωρίες μελετώνται όχι μόνο υπό τη ‘συγχρονική’ τους μορφή, αλλά και υπό τη ‘διαχρονική’ τους προοπτική. Όπως επισημαίνει με χαρακτηριστικό τρόπο ο Moulines,⁶⁰ «όταν μιλάμε για μια επιστημονική θεωρία, οφείλουμε πάντοτε να διακρίνουμε με προσοχή τη συγχρονική από τη διαχρονική της διάσταση ... Γιατί κάθε επιστημονική θεωρία αντιπροσωπεύει μια μονάδα επιστημονικής γνώσης που μπορεί ν’ αντιμετωπισθεί ως συγχρονική ‘τομή’ ή ως διαχρονικό ‘σκουλήκι’» (Moulines, 1996, σσ. 1-2).

Υπό τη συγχρονική τους μορφή, οι επιστημονικές θεωρίες εκλαμβάνονται ως συμβολικά ‘θεωρητικά δίκτυα’ (‘theory-nets’), τα οποία, μέσω της φυσικής ερμηνείας που τους αποδίδεται, προσλαμβάνουν τον χαρακτήρα εννοιολογικών συστημάτων που υποβάλλουν έναν συγκεκριμένο τρόπο θέασης του φυσικού κόσμου. Το νόημα μιας έννοιας συναρτάται με τη θέση της εντός του θεωρητικού δικτύου, με τις

⁶⁰ Το άρθρο στο οποίο αναφερόμαστε, με τίτλο “Structuralism: The Basic Ideas”, εμπεριέχεται σ’ έναν τόμο ειδικά αφιερωμένο στις πρόσφατες εξελίξεις της δομικής θεώρησης (*Structuralist Theory of Science*, 1996). Στο συγκεκριμένο άρθρο, ο Moulines προσφέρει μια συνοπτική, αλλά ταυτόχρονα και αυστηρή παρουσίαση των βασικών αρχών της δομικής θεώρησης.

ενδοσυστημικές της δηλαδή διασυνδέσεις, καθώς και με τη φυσική ερμηνεία που υποβάλλεται από το δίκτυο ως όλον. Κατ' αυτόν τον τρόπο, αναδεικνύεται ο δομικός χαρακτήρας των επιστημονικών θεωριών τόσο ως προς την 'οντολογική' τους υπόσταση όσο και ως προς τη 'λειτουργική' τους διάσταση (Moulines, 1996, σ. 3).

Υπό τη 'διαχρονική' τους προοπτική, οι επιστημονικές θεωρίες εκλαμβάνονται ως δυναμικές πολιτισμικές οντότητες που 'εξελίσσονται' στον ιστορικό χρόνο (Moulines, 1996, σ. 11). Έτσι, η δομική τους συγκρότηση, η φυσική τους ερμηνεία, καθώς και η ιστορική τους εξέλιξη, εκλαμβάνονται ως ισχυρώς επηρεαζόμενες από κοινωνικούς και πραγματολογικούς παράγοντες. Υπ' αυτήν την έννοια, όπως επισημαίνει ο Α. Μπαλτάς, «ο όρος 'παράδειγμα' – υπό την έννοια της 'κλαδικής μήτρας'⁶¹ – θα όφειλε ίσως ν' αντικαταστήσει τον παραδοσιακό όρο 'θεωρία', εφόσον καμία έννοια, ούτε και η πλέον αφηρημένη, η περισσότερο αποκομμένη από την εμπειρία ή η πλήρως τυποποιημένη δεν μπορεί να λειτουργήσει στο πλαίσιο της επιστημονικής αναζήτησης, εάν δεν φέρει μαζί της ένα άμορφο πλήθος 'παραδοχών υποβάθρου' ('background assumptions'). Οι παραδοχές αυτές, οι οποίες διαμορφώνουν έναν 'ωκεανό' μέσα στον οποίο η έννοια κατά κάποιο τρόπο 'κλυμπά', παραμένουν στο υπόβαθρο της ερευνητικής διαδικασίας, επειδή επιτελούν το έργο τους σιωπηλά, άρρητα, και αφανώς (Baltas, 1997β, σ. 4). Οι 'παραδοχές υποβάθρου' μπολιάζουν το εννοιολογικό σύστημα μιας θεωρίας με τις αξίες τόσο της επιστημονικής κοινότητας όσο και του ευρύτερου κοινωνικού περιβάλλοντος. Έτσι, εκλαμβάνονται ως παρέχουσες το 'κλειδί' για τη σύνδεση των δύο κατ' αρχήν αυτόνομων, αλλά επί της ουσίας αδιαχώριστων προσεγγίσεων στην ιστορία της φυσικής επιστήμης: της 'εσωτερικής' και της 'εξωτερικής' προσέγγισης.⁶²

Η διεξοδική ανάλυση των 'παραδοχών υποβάθρου' υπερβαίνει το ζήτημα που μας απασχολεί. Μια ειδική όμως κατηγορία των παραδοχών αυτών διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην παρούσα ανάλυση. Αναφερόμαστε σ' εκείνες τις παραδοχές, οι οποίες, παρότι αφανείς, διαθέτουν μια συγκεκριμένη μορφή, μια μορφή που

⁶¹ Τα στοιχεία της 'κλαδικής μήτρας', όπως τα παρουσιάζει συνοπτικά η Β. Κιντή, διακρίνονται σε **α)** συμβολικές γενικεύσεις, **β)** συγκεκριμένα ευρετικά μοντέλα, **γ)** αξίες και **δ)** συγκεκριμένα υποδείγματα με τα οποία εξοικειώνονται οι επιστήμονες από τα πρώτα ήδη βήματα της επιστημονικής τους εκπαίδευσης (Κιντή, 1995, σ. 30).

⁶² Οι όροι 'εσωτερική' και 'εξωτερική' προσέγγιση στην ιστορία της φυσικής επιστήμης χρησιμοποιήθηκαν από τον Kuhn για να υποδηλώσουν, η μεν πρώτη τη μελέτη της εξέλιξης της φυσικής ως σώματος γνώσης, η δε δεύτερη τη μελέτη της επιστημονικής κοινότητας των φυσικών ως κοινωνικής ομάδας ενταγμένης σ' ένα ευρύτερο κοινωνικό πλαίσιο. Ο ρόλος των 'παραδοχών υποβάθρου' για τη σύνδεση των δύο προσεγγίσεων, καθώς και η ίδια η έννοια 'παραδοχή υποβάθρου' (υπό το όνομα 'ιδεολογική παραδοχή'), αναλύονται διεξοδικά στο άρθρο του Α. Μπαλτά "Ideological 'Assumptions' in Physics: Social Determinations of Internal Structures" (Baltas, 1986, σσ.130–151).

αποτυπώνεται στη λογική δομή της θεωρίας που τις υποθάλλει. Η Boolean, λόγω χάριν λογική δομή της κλασικής θεωρίας εμφανίζεται, εκ πρώτης όψεως, σαν ένα τυπικό και μόνο χαρακτηριστικό. Παρ' όλα αυτά, το εγγενές αυτό δομικό χαρακτηριστικό της κλασικής θεωρίας ευνοεί μια συγκεκριμένη φυσική ερμηνεία, μια ερμηνεία που υποβάλλει ως 'αυτονόητη' τη δυνατότητα της πλήρους απόσπασης του υποκειμένου ή της συσκευής μέτρησης από το υπό παρατήρηση φυσικό σύστημα. Λόγω βεβαίως των ενδοσυστημικών διασυνδέσεων της κλασικής δομής, η θεμελιακή αυτή παραδοχή είναι άρρηκτα συνδεδεμένη μ' ένα πλήθος 'αυτονόητων' επίσης παραδοχών που συνοδεύουν άλλες κλασικές τυπικές σχέσεις. Αναφέρουμε ενδεικτικά το 'αυτονόητο', έως τη γέννηση της κβαντικής θεωρίας, καθεστώς τόσο της συνεχούς χωρο-χρονικής εξέλιξης των φυσικών φαινομένων όσο και της αυστηρής αιτιακής τους εξέλιξης (υπό την αιτιοκρατική ή τη στατιστική της διατύπωση).

Όπως επισημαίνει ο Α. Μπαλτάς επικαλούμενος τον Wittgenstein, οι 'παραδοχές υποβάθρου' δεν είναι ούτε *a priori* ούτε *a posteriori*. Κι' αυτό, γιατί σε περιόδους 'κανονικής' κατά Kuhn επιστήμης η ισχύς τους, εκλαμβανόμενη ως δεδομένη, αφίσταται κάθε αμφισβήτησης. Αντίθετα, και γι' αυτόν ακριβώς τον λόγο, οι 'παραδοχές υποβάθρου' μπορούν να ειπωθούν «ως [κατά Wittgenstein] 'μεντεσέδες' που σφαιρίζουν την πόρτα της ερευνητικής αναζήτησης. Υπ' αυτό δε το πρίσμα, συνιστούν τις οιωνεί λογικές ('quasi-logical') ή, ακριβέστερα, τις γραμματικές συνθήκες που επιτρέπουν στις υπό την επιρροή τους έννοιες να έχουν νόημα» (στο ίδιο, σ. 4). Θα μπορούσαμε λοιπόν να θεωρήσουμε ότι οι εμβαπτισμένες στο εννοιολογικό σύστημα της κλασικής θεωρίας 'παραδοχές' λειτουργούσαν, πράγματι, ως κατά Wittgenstein 'μεντεσέδες' ή ως κατά Bachelard 'επιστημολογικά εμπόδια' που ανέκοπταν κάθε ερευνητική δυναμική. Στις αρχές όμως του 20^{ου} αιώνα, σημειώθηκε μια αξιοσημείωτη συσσώρευση εμπειρικών δεδομένων που απέκρουαν επίμονα κάθε κλασική ερμηνεία. Η συσσώρευση αυτή σηματοδότησε την έναρξη μιας περιόδου που έφερε τα χαρακτηριστικά της κατά Kuhn επιστημονικής 'κρίσης'. Στο σημείο όμως αυτό, θα μεταφερθούμε για λίγο στο προτεινόμενο από τον Sintonen 'ερωτηματικό μοντέλο', μέχρις ότου καταστεί δυνατή η επιθυμητή σύνθεση.

Ο Sintonen θεωρεί ότι «το πλέον σαρωτικό επίτευγμα του δομισμού συνδέεται με τη διαπίστωση ότι οι θεωρίες παράγουν ή εγείρουν ερωτήσεις» (Sintonen, 1996, σ. 46). Η συγκεκριμένη διαδικασία εξελίσσεται ως εξής. Σε περιόδους 'κανονικής' κατά Kuhn επιστήμης, τα καινούργια εμπειρικά δεδομένα εκλαμβάνονται κατ' αρχήν από τους επιστήμονες ως 'προσδοκώμενες εφαρμογές' ('intended applications') της

υφιστάμενης θεωρίας. Μια ερώτηση επομένως που αναζητά τρόπους θεωρητικής περιγραφής των δεδομένων αυτών, διατυπώνεται εκ των πραγμάτων στη γλώσσα της υφιστάμενης θεωρίας ή, ισοδύναμα, η υφιστάμενη θεωρία παρέχει τα αναγκαία γλωσσικά μέσα για τη διατύπωση νέων ερωτήσεων. Σύμφωνα με τη χαρακτηριστική μεταφορική παρουσίαση του Sintonen, «το σύνολο των προσδοκώμενων εφαρμογών μιας θεωρίας προσφέρει ‘τροφή’ στον προβληματισμό, ενώ ο πυρήνας της υφιστάμενης θεωρίας προσφέρει τα αναγκαία ‘μαχαιροπήρουνα’» (στο ίδιο, σ. 61).

Οι κατ’ αυτόν τον τρόπο τιθέμενες ερωτήσεις φέρουν, επομένως, δύο ιδιαίτερα χαρακτηριστικά: μοιράζονται, *αφενός*, την ίδια γλώσσα με την υφιστάμενη θεωρία και διαθέτουν, *αφετέρου*, μια αμιγώς θεωρητική δομή. Έτσι, εκ της ίδιας της φύσεώς τους ενέχουν τη δυνατότητα προσαρμογής στο θεωρητικό δίκτυο της υφιστάμενης θεωρίας. Η παρουσία τους όμως εκεί, καθώς σηματοδοτεί την ύπαρξη *ανοικτών προβλημάτων*, είναι δυνατό να εκληφθεί ως προβάλλουσα *ελλείποντα στοιχεία* του δικτύου αυτού. Ή υπό μια διαφορετική διατύπωση, «οι ερωτήσεις είναι δυνατό να υποδεικνύουν ‘οπές’ στο θεωρητικό δίκτυο μιας επιστημονικής θεωρίας» (στο ίδιο, σ. 63), εκείνης της θεωρίας που προσφέρει τους γραμματικούς όρους για τη γλωσσική τους σύνταξη. Γι αυτόν ακριβώς τον λόγο, οι τιθέμενες ερωτήσεις μπορούν εύλογα να ειπωθούν «ως διαθέτουσες *πλουσιότερη* δομή απ’ ό,τι η γλωσσική τους διατύπωση αφήνει να διαφανεί» (στο ίδιο, σ. 61). Με άλλα λόγια, η γλωσσική τους διατύπωση είναι δυνατό να κυφορεί άγνωστες ακόμη δομές. Η διαδικασία κάλυψης των ‘οπών’, κατά συμβατό με την υπάρχουσα γνώση τρόπο, οδηγεί στην ανάπτυξη του θεωρητικού δικτύου της υφιστάμενης θεωρίας και στον μετασχηματισμό των ‘προσδοκώμενων εφαρμογών’ της σε ‘ενεργές εφαρμογές’ (*‘actual applications’*). Μια τέτοια δε σωρευτική ανάπτυξη της επιστημονικής γνώσης εξελίσσεται σε περιόδους ‘κανονικής’ κατά Kuhn επιστήμης. Υπάρχουν όμως περιπτώσεις κατά τις οποίες οι τιθέμενες ερωτήσεις, καθώς και οι υποδεικνυόμενες από αυτές ‘οπές’, οδηγούν στην αναγνώριση της *ουσιαστικής ανεπάρκειας* του υφιστάμενου θεωρητικού σχήματος για την πρόβλεψη των νέων εμπειρικών δεδομένων. Η αναγνώριση της αδυναμίας εξεύρεσης ικανοποιητικών απαντήσεων εντός του πλαισίου της υφιστάμενης θεωρίας υποδεικνύει, κατά την αντίληψη του Sintonen, την αναγκαιότητα διατύπωσης ενός καινούργιου θεωρητικού σχήματος. Υπό μια δική μας ευρύτερη διατύπωση, η αναγνώριση της εξηγητικής ανεπάρκειας του υφιστάμενου ‘παραδείγματος’, σε σχέση με τις εύλογες προσδοκίες που το ίδιο το ‘παραδείγμα’

αυτό γεννά, καταγράφει μια κατά Kuhn ‘ανωμαλία’, η συσσώρευση δε τέτοιων ‘ανωμαλιών’ σηματοδοτεί μια κατάσταση επιστημονικής ‘κρίσης’.

Καθώς φθάσαμε λοιπόν και πάλι στην περίοδο της ‘κρίσης’, θα λέγαμε, υπό την οπτική γωνία τώρα του Sintonen, ότι, στις αρχές του 20^{ου} αιώνα, η αδυναμία ερμηνείας μιας πληθώρας εμπειρικών δεδομένων που σχετιζόνταν με τις ιδιότητες των χημικών στοιχείων έθετε με πειστικό πλέον τρόπο ως κεντρικό ερώτημα, το ερώτημα περί της δομής των ατόμων. Η ανακάλυψη δε του ηλεκτρονίου από τον Thomson, το 1897, προωθούσε τη διατύπωση ατομικών μοντέλων που επιχειρούσαν ν’ απαντήσουν στο συγκεκριμένο ερώτημα, εκκινώντας από την υπόθεση ότι τα ηλεκτρόνια συνιστούσαν βασικά συστατικά των ατόμων. Τόσο όμως το τεθέν ερώτημα, όσο και οι προσφερόμενες απαντήσεις, διατυπώνονταν με κλασικούς όρους: όλα τα προταθέντα, έως το 1913, ατομικά μοντέλα εκλάμβαναν τα ατομικά ηλεκτρόνια ως σωματίδια που υπάκουαν απαρέγκλιτα στους νόμους της κλασικής θεωρίας. Καθώς δε τα συναγόμενα από τα μοντέλα αυτά αποτελέσματα έρχονταν σε ευθεία αντίθεση με τις εμπειρικές διαπιστωμένες χημικές και φασματοσκοπικές ιδιότητες των στοιχείων, κατά την πρώτη δεκαετία του 20^{ου} αιώνα, παρουσιάστηκε μια πληθώρα *εκτροπών* από τις αναμενόμενες προβλέψεις, παρουσιάστηκε, δηλαδή, μια πληθώρα κατά Kuhn ‘ανωμαλιών’. Θα λέγαμε, λοιπόν, ότι η ‘ερώτηση’ περί της δομής των ατόμων υποδείκνυε πλέον μια ‘οπή’ στο θεωρητικό δίκτυο της κλασικής θεωρίας, μια ‘οπή’ που αδυνατούσε να καλυφθεί κατά συμβατό με την κλασική θεωρία (ή, ευρύτερα, με το κλασικό ‘παράδειγμα’) τρόπο: οι ‘προσδοκώμενες’ εφαρμογές της κλασικής θεωρίας (τα σχετιζόμενα με την ατομική δομή εμπειρικά αποτελέσματα) αδυνατούσαν να μετασηματοδοτηθούν σε ‘ενεργές’ της εφαρμογές.

Τα πειράματα του Rutherford, το 1911, προσέφεραν ισχυρές ενδείξεις για την ύπαρξη ενός θετικά φορτισμένου πυρήνα στο εσωτερικό του ατόμου. Έτσι, όταν ο Bohr έφθασε το 1912 στο Manchester για να εργασθεί με την ομάδα του Rutherford, συνάντησε εκεί ένα *εμπειρικά* διαμορφωμένο ατομικό μοντέλο που εισήγαγε για πρώτη φορά την έννοια του πυρήνα και εκλάμβανε ως πλανητική την κίνηση των ηλεκτρονίων γύρω απ’ αυτόν. Στο συγκεκριμένο μοντέλο, τα πλανητικά ηλεκτρόνια αντιμετωπίζονταν ως αρνητικώς φορτισμένα *κλασικά* σωματίδια που ταλαντώνονταν με μια συγκεκριμένη συχνότητα, τη συχνότητα της κυκλικής τους περιστροφής γύρω από τον πυρήνα. Στο σημείο όμως αυτό, το μοντέλο του Rutherford αντιμετώπιζε ένα κρίσιμο πρόβλημα. Γιατί, καθώς, σύμφωνα με την κλασική ηλεκτρομαγνητική θεωρία, ένας φορτισμένος ταλαντωτής εκπέμπει συνεχώς ενέργεια, η απόσταση των

ηλεκτρονίων από τον πυρήνα όφειλε συνεχώς να φθίνει μέχρι την τελική τους πρόπτωση σ' αυτόν και τη συνακόλουθη κατάρρευση του ατόμου. Έτσι, ο Bohr προσέθεσε στην ερώτηση περί της δομής των ατόμων μια δεύτερη θεμελιακή 'γιατί' ερώτηση (a 'why' question), την ερώτηση 'γιατί τα άτομα παραμένουν σταθερά'. Ακολουθώντας λοιπόν τον Sintonen, ο οποίος διατείνεται ότι «οι νέες θεωρίες συνιστούν εξελισσόμενα ερευνητικά προγράμματα που κατάγονται από ορισμένα θεμελιακά, αλλά συχνά ασαφή ως προς τη διατύπωσή τους ερωτήματα» (στο ίδιο, σ. 46), θεωρούμε ότι το ερευνητικό ερώτημα του Bohr υποδεικνύει με σχετική σαφήνεια, *την καταγωγή ή τις ρίζες* της κβαντικής θεωρίας.

Για ν' αντιμετωπίσουμε όμως τη 'γέννηση' της κβαντικής θεωρίας ως μια διαδικασία 'ρίζικης επιστημονικής ανακάλυψης', οφείλουμε να προχωρήσουμε ακόμη περισσότερο. Κι' αυτό, γιατί η 'ερώτηση' περί της 'σταθερότητας των ατόμων', μπορεί μεν να υποδείκνυε την περίοδο εκείνη μια 'οπή' στο θεωρητικό δίκτυο της κλασικής θεωρίας, ήταν όμως αφ' εαυτής αδύναμη να προωθήσει την επιστημονική έρευνα προς την υπέρβαση της κλασικής κοσμοθεώρησης. Στο σημείο αυτό, συναντάμε και πάλι τον Α. Μπαλτά. Ας τον παρακολουθήσουμε.

(A6.1) «Είναι προφανές ότι η αποδοχή της ταυτόχρονης ισχύος της ηλεκτρομαγνητικής θεωρίας, αφενός, και της σταθερότητας του πλανητικού ατομικού μοντέλου, αφετέρου, οδηγεί σε αντιφάσεις. ... Αλλά ο Bohr, αρνούμενος ν' αποδεχθεί ή να παρακάμψει τη συγκεκριμένη αντίφαση, προχωρά προς τα εμπρός, μετατρέποντας, απλώς, το συγκεκριμένο αδιέξοδο σ' έναν καινούργιο ορισμό: τα άτομα στη θεμελιώδη κατάσταση [στην ενεργειακά σταθερότερη εξ όλων των στασίμων καταστάσεων] παραμένουν σταθερά. Δηλαδή, είναι σταθερά, αναλυτικώς, εξ ορισμού. Ο ορισμός αυτός υποδεικνύει ότι η ηλεκτρομαγνητική θεωρία και το ατομικό μοντέλο ισχύουν ταυτόχρονα και, ακόμη, ότι υπάρχουν συγκεκριμένες 'ατομικές' καταστάσεις που είναι σταθερές. Κι' όλα αυτά, χωρίς να επιδιωχθεί ή να δοθεί η οποιαδήποτε δικαιολόγηση, αλλά αποκλειστικά και μόνο εκ της δηλώσεως του Bohr» (Baltas, 1997β, σ. 3).

Ο ορισμός βεβαίως για τον οποίο μιλά ο Α. Μπαλτάς δεν είναι άλλος από το αποκαλούμενο από τον Bohr 'κβαντικό αξίωμα' (the 'quantum postulate'), ένα αξίωμα που, όχι μόνο συνιστούσε την *κεντρική* προκείμενη της πρώτης ατομικής θεωρίας, αλλά παρέμεινε *αδιαπραγμάτευτο* καθ' όλη τη διάρκεια εφαρμογής της AAB (§A-1). Ποια ήταν όμως η λειτουργία του 'κβαντικού αξιώματος' όσον αφορά την εξέλιξη της επιστημονικής έρευνας; Κατά την αντίληψη του Α. Μπαλτά, το αξίωμα αυτό σηματοδότησε ένα 'άλμα στον μη-γραμματικό χώρο' (a 'leap into the ungrammatical'), επειδή, υπό τη μορφή ενός καινούργιου 'ορισμού', προσέδωσε 'όνομα' στο υφιστάμενο επιστημονικό αδιέξοδο. Τέτοιας φύσεως δε 'άλματα' στην

ιστορία της επιστήμης αναδεικνύουν το ακριβές περιεχόμενο του όρου ‘ριζική επιστημονική ανακάλυψη’ (στο ίδιο, σ. 3). Η συγκεκριμένη ιδέα εκτίθεται ως εξής.

(A6.2) «Πριν να επισυμβεί ένα τέτοιο ‘άλμα’, η έρευνα που διεξάγεται στο πλαίσιο ενός συγκεκριμένου ‘παραδείγματος’ προσκρούει σ’ ένα αδιέξοδο ή σε μια αντίφαση. Αυτή η κατάσταση αντιστοιχεί σε μια κατά Kuhn ‘ανωμαλία’, η οποία, εάν αποδοθεί ακριβέστερα στο γλωσσικό επίπεδο, μπορεί να χαρακτηριστεί ως μια συνάντηση με τα γραμματικά όρια του υφιστάμενου παραδείγματος: η εμφανιζόμενη αντίφαση δεν είναι δυνατό να υπερπηδηθεί δια της κινητοποίησης των γραμματικών πόρων του παραδείγματος αυτού. Η έρευνα όμως δεν σταματά εκεί ... πραγματοποιεί ένα ‘άλμα’ προς τα εμπρός και προσδίδει ένα νέο όνομα στο ‘αδύνατο’, μετατρέποντας ‘απλώς’ το εμφανιζόμενο αδιέξοδο σ’ έναν καινούργιο ‘θετικό’ ορισμό. Ένας τέτοιος ορισμός είναι ‘θετικός’ υπό την έννοια ότι, εκ κατασκευής, είναι σε θέση να ‘ξεχάσει’ ή, με ψυχαναλυτικούς όρους, να ‘απωθήσει’ το γεγονός ότι συνιστά απλώς το όνομα του ‘αδύνατου’. Αγνοώντας δε το γεγονός αυτό, διανοίγει έναν νέο γραμματικό χώρο, τον γραμματικό χώρο του νέου παραδείγματος. Ο γραμματικός αυτός χώρος είναι νέος υπό μια *ριζική* έννοια. Γιατί, καθώς ενσωματώνει την αδυναμία του εννοιολογικού συστήματος του παλαιού παραδείγματος να χειρισθεί το υφιστάμενο αδιέξοδο, είναι, εκ της ίδιας της φύσεώς του, ‘ασύμμετρος’ με το παράδειγμα αυτό» (στο ίδιο, σσ. 3-4).

Πως μπορούμε λοιπόν να δούμε αναλυτικότερα την περίοδο γέννησης της κβαντικής θεωρίας υπό το φως μιας τέτοιας θεώρησης;⁶³ Στηριζόμενοι στην ανάλυση του πρώτου μέρους της εργασίας μας και συγκεκριμενοποιώντας ακόμη περισσότερο τη θεώρηση του Α. Μπαλτά στην περίπτωση της κβαντικής θεωρίας, θα εστιάσουμε την προσοχή μας στα ακόλουθα σημεία.

1. *Μια απόπειρα ‘εμπειρικής δικαιολόγησης’ των παραδοχών της πρώτης ατομικής θεωρίας.* Η πρώτη ατομική θεωρία επέβαλε, μέσω του ‘κβαντικού αξιώματος,’ μια παραδοχή που ήταν εκ λόγων αρχής ασύμβατη με το κλασικό οικοδόμημα. Καθώς όμως επέτρεπε ταυτόχρονα και τη χρήση των εξισώσεων της κλασικής μηχανικής για τη μελέτη της κίνησης των ηλεκτρονίων στις ‘στάσιμες’ καταστάσεις (§Α-1 και §Α-2), έφερε εκ συστάσεως στη δομή της μια θεμελιακή *εγγενή* αντίφαση. Ο Bohr, έχοντας πλήρη επίγνωση του ρηξικέλευθου χαρακτήρα των παραδοχών της θεωρίας του ή, αλλιώς, του λογικώς ‘αδύνατου’ για το οποίο μιλά ο Α. Μπαλτάς, αποπειράθηκε να προσφέρει μια εμπειρικός θεμελιωμένη δικαιολόγηση των παραδοχών αυτών. Έτσι, από τον πρόλογο ήδη της ‘τριλογίας’ του (που εμπεριείχε την πρώτη ανακοίνωση της ατομικής θεωρίας), θέλησε να διευκρινίσει τα εξής:

⁶³ Μιλάμε για μια αναλυτικότερη αντιμετώπιση, επειδή ο Α. Μπαλτάς χρησιμοποιεί, όπως ο ίδιος σημειώνει, το παράδειγμα του Bohr «ως μια απλή εικόνα που δεν στοχεύει να εξαντλήσει τα λογικά, εννοιολογικά ή εμπειρικά κίνητρα που οδήγησαν στη διατύπωση της ατομικής θεωρίας, να χαράξει την ιστορία της συγκεκριμένης ‘ανακάλυψης’ ή να ανασυγκροτήσει τον τρόπο σκέψης του Bohr ως προς το υπό συζήτηση θέμα. Επιθυμεί απλώς να υποδείξει τις γραμματικές πλευρές της επιστημονικής ανακάλυψης, πλευρές που μπορεί να ενέχουν κάποια σημασία ως προς την κατανόηση του τι πραγματικά συμβαίνει» (στο ίδιο, σ. 3, υποσημείωση).

(A6.3) «Οι εισαχθείσες από τη θεωρία του Planck καινούργιες παραδοχές επιβεβαιώθηκαν με άμεσο τρόπο από πειράματα που αφορούσαν τελείως διαφορετικά μεταξύ τους φαινόμενα, όπως, λόγου χάριν, τα σχετιζόμενα με τις ειδικές θερμότητες φαινόμενα, το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο, τις ακτίνες Röntgen, κ.ο.κ. Από την αναπτυχθείσα δε συζήτηση φαίνεται να προκύπτει η γενική αναγνώριση της ακαταλληλότητας της κλασικής ηλεκτροδυναμικής για την περιγραφή της συμπεριφοράς των ατομικών συστημάτων. Αυτό συμβαίνει επειδή οποιαδήποτε μεταβολή κι' αν επιχειρούμε στους νόμους κίνησης των ηλεκτρονίων, αναγκάζομαστε τελικά να εισαγάγουμε στους νόμους αυτούς μια ποσότητα ξένη προς την κλασική ηλεκτροδυναμική, τη σταθερά του Planck που επονομάζεται συχνά και στοιχειώδες κβάντο δράσης ... Η παρούσα εργασία αποπειράται να δείξει ότι η εφαρμογή των ιδεών αυτών στο ατομικό μοντέλο του Rutherford παρέχει μια βάση για την ανάπτυξη μιας θεωρίας περί της συγκρότησης των ατόμων» (Bohr, 1913, *NBCW2*, σσ. [162]-[163]).

Ο Bohr προέβαλε εδώ δύο κοινώς αποδεκτές διαπιστώσεις: την εμπειρική δικαίωση των προτεινόμενων από τη θεωρία του Planck παραδοχών και την εμφανή απόκλιση των παραδοχών αυτών από το κλασικό πλαίσιο. Προχώρησε όμως περισσότερο. Γιατί, εκκινώντας από τις διαπιστώσεις αυτές, διείδε την αναγκαιότητα διατύπωσης μιας νέας θεωρίας για τη συγκρότηση των ατόμων, μιας θεωρίας πιθανότατα ξένης προς το κλασικό οικοδόμημα (§A-1, σημείο 1). Έτσι, η ανωτέρω επίκληση στη 'γενική αναγνώριση' της 'ακαταλληλότητας' της κλασικής φυσικής για την περιγραφή των ατομικών συστημάτων συνιστά αναμφίβολα υπερβολή. Αρκεί να θυμηθούμε ότι, δύο χρόνια μετά τη διατύπωση της ατομικής θεωρίας, ακόμη και ο ίδιος ο Planck δεν δίστασε να εκφράσει το 'μίσος' του προς την 'ασυνέχεια', γεγονός που, όπως επισημαίνει ο Holton, μας υπενθυμίζει ότι «η πλειονότητα των Ευρωπαίων φυσικών παρέμεναν ισχυρά προβληματισμένοι σε σχέση με τις θεμελιώδεις παραδοχές της κβαντικής θεωρίας, παρότι οι επιτυχίες της εφαρμογής στα φάσματα και στις ειδικές θερμότητες είχαν αρχίσει ήδη να εμφανίζονται» (Holton, 1994, σ. 158). Μας υπενθυμίζει, ακόμη, ότι μια σειρά επιφανών φυσικών, πολλά χρόνια μετά τη διατύπωση της συμπληρωματικότητας – θα λέγαμε δε χωρίς υπερβολή μέχρι και σήμερα – προσέβλεπαν ή προσβλέπουν ακόμη στην ενοποίηση της κλασικής και της κβαντικής θεωρίας σε ένα ενιαίο λογικό σχήμα. Οι περιπτώσεις των Planck, de Broglie, Schrödinger και κυρίως του Einstein (§A-5.2.3) συνιστούν χαρακτηριστικά παραδείγματα. Η δικαιολόγηση συνεπώς των αξιωμάτων της ατομικής θεωρίας, καθώς ήταν αποστερημένη από ισχυρά στοιχεία διυποκειμενικότητας, περιέγραφε απλώς την προσωπική στάση του Bohr έναντι της υφιστάμενης κατάστασης. Υπ' αυτήν δε την έννοια, ο *ad hoc* χαρακτήρας των συγκεκριμένων αξιωμάτων, όπως αυτός αναδεικνύεται από τον Α. Μπαλά (A6.1), παραμένει αδιαμφισβήτητος.

2. Η πρώτη ατομική θεωρία του Bohr σηματοδοτεί το αφηρητικό σημείο της 'ριζικής' εκείνης επιστημονικής ανακάλυψης που οδήγησε στη θεμελίωση της κβαντικής θεωρίας. Στο σημείο όμως αυτό, είναι καιρός να επανασυνδεθούμε με τις υποκείμενες στις επιστημονικές θεωρίες 'παραδοχές υποβάθρου'. Σύμφωνα με τη θεώρηση του Α. Μπαλτά, μια 'ριζική επιστημονική ανακάλυψη', ένα επεισόδιο που όπως είδαμε αντιμετωπίζεται ως 'άλμα στον μη-γραμματικό χώρο', «μπορεί να ερμηνευθεί *ex post facto*, ως ισοδύναμη με την αποκάλυψη μιας 'παραδοχής υποβάθρου' ... [Κι' αυτό, γιατί] ένα επεισόδιο 'ριζικής επιστημονικής ανακάλυψης' μετατρέπει μια 'παραδοχή' που θεωρείται με ρητό ή άρρητο τρόπο δεδομένη και, ως εκ τούτου, μη-επερωτήσιμη σε κάτι που είναι δυνατό ν' αμφισβητηθεί και να τεθεί, επομένως, υπό εννοιολογικό και εμπειρικό έλεγχο» (στο ίδιο, σ. 5). Υπ' αυτήν ακριβώς την οπτική γωνία, η πρώτη ατομική θεωρία οφείλει κατά τη γνώμη μας να ειδωθεί όχι τόσο ως 'ριζική επιστημονική ανακάλυψη', αλλά, μάλλον, ως αφηρητικό σημείο της ερευνητικής εκείνης διαδικασίας που οδήγησε στην 'ανακάλυψη' της κβαντικής θεωρίας (σχήμα 1, φάση 3). Γιατί η θεωρία του Bohr δεν επιτύχανε, ούτε καν άγγιζε, την επιζητούμενη από τον Α. Μπαλτά αποκάλυψη των υποκείμενων στην κλασική θεωρία 'παραδοχών υποβάθρου'. Δια της κινητοποίησης όμως των ακόλουθων δύο σημαντικών λειτουργιών, προσέφερε τα κατάλληλα ερείσματα για την προώθηση της επιστημονικής έρευνας προς αυτήν την κατεύθυνση.

2α. Η πρώτη ατομική θεωρία προσέδωσε 'δομή' και 'γλώσσα' στην 'ερώτηση' περί της 'σταθερότητας των ατόμων'. Τα αξιώματα της πρώτης ατομικής θεωρίας όχι μόνο διάνοιξαν τον νέο 'γραμματικό χώρο' για τον οποίο μιλά ο Α. Μπαλτάς, αλλά, πολύ περισσότερο, διαμόρφωσαν ένα εναλλακτικό ως προς την κλασική θεωρία λογικό πλαίσιο, υπό την οπτική γωνία του οποίου μπορούσε πλέον να 'βλέπει' κανείς με διαφορετικό τρόπο τα εμπειρικά δεδομένα. Έτσι, ο Bohr αναίρεσε κατά κάποιο τρόπο έμπρακτα τον ισχυρισμό του Kuhn ότι «είναι δύσκολο ή μάλλον αδύνατο ένας επιστήμονας να έχει δύο θεωρίες ταυτόχρονα στο μυαλό του και να τις συγκρίνει, σημείο προς σημείο, είτε μεταξύ τους είτε με τη φύση» (Kuhn, 1973, σ. 338). Γιατί ο Bohr, από την πρώτη ήδη διατύπωση της θεωρίας του αλλά και καθ' όλη τη διάρκεια εφαρμογής της AAB, είχε πράγματι 'δύο θεωρίες ταυτόχρονα στο μυαλό του', έστω κι' αν η μια από αυτές ήταν ελλιπής. Και μπορεί μεν να μη συνέκρινε τις δύο θεωρίες 'σημείο προς σημείο είτε μεταξύ τους είτε με τη φύση', τις συνέκρινε όμως διαρκώς με την εμπειρία και, μέσω αυτής, έθετε συστηματικά σ' επικοινωνία τα θεωρητικά

σχήματα των δύο θεωριών (π.χ. §Α-3.1). Η διατύπωση συνεπώς της πρώτης ατομικής θεωρίας μπορεί να εκληφθεί ως φυσική απόρροια μιας πρώιμης, ίσως διαισθητικής, εφαρμογής του ‘μαθήματος’ που, κατά την αντίληψη του Bohr, προσέφερε η φυσική επιστήμη εκείνη την περίοδο. Ενός ‘μαθήματος’ που υποδείκνυε τα εξής.

(Α6.4) «Οποιαδήποτε μορφή γνώσης παρουσιάζεται σε εμάς μέσω ενός εννοιολογικού πλαισίου που είναι προσαρμοσμένο στην προηγούμενη εμπειρία μας. Επομένως, κάθε τέτοιο πλαίσιο είναι δυνατό ν’ αποδειχθεί πολύ στενό για να συλλάβει καινούργιες εμπειρίες. ... Οφείλουμε λοιπόν να λαμβάνουμε υπ’ όψη μας ότι καμία εμπειρία δεν είναι δυνατό να προσδιοριστεί χωρίς να υπάρχει ένα λογικό πλαίσιο και ότι κάθε εμφανής *δυσαρμονία* είναι δυνατό να αρθεί μόνο μέσω της κατάλληλης διεύρυνσης του υφιστάμενου εννοιολογικού πλαισίου» (Bohr, 1954, *ΑΡΗΚ* II, σ. 67 και σ. 82).

Η ατομική λοιπόν θεωρία, καθώς διαμόρφωνε ένα καινούργιο, προσωρινό βεβαίως, λογικό πλαίσιο για τη θέαση της εμπειρίας, μπορεί να ειπωθεί ως εναρκτήριο βήμα της ερευνητικής πορείας προς την ‘άρση των δυσαρμονιών’.

2β. Η πρώτη ατομική θεωρία ενείχε τις μεθοδολογικές εκείνες αρχές που δημιουργούσαν τις προϋποθέσεις για την υπέρβαση των εγγενών της αντιφάσεων. Η ατομική όμως θεωρία θα μπορούσε ίσως να συναθροίζεται με την πληθώρα των επιστημονικών επινοήσεων που παραμένουν για πάντα στην αφάνεια, εάν δεν ενσωμάτωνε σ’ εμβρυακή μορφή τις προωθητικές μεθοδολογικές αρχές της ΑΑΒ (§Α-1.1). Γιατί η θεωρία του Bohr μπορεί μεν ν’ απέσπασε το ενδιαφέρον της επιστημονικής κοινότητας λόγω της εντυπωσιακής προβλεπτικής της καρποφορίας, αλλά ήταν, κυρίως, οι εμβαπτισμένες σε αυτήν μεθοδολογικές αρχές εκείνες που διασφάλισαν την περαιτέρω επιτυχή ερευνητική εξέλιξη. Η καθοριστική δε συμβολή του Bohr στη διαδικασία γέννησης της κβαντικής θεωρίας οφείλει κατά τη γνώμη μας να τοποθετηθεί σε αυτό ακριβώς το σημείο. Η συνείδηση, αφενός, του ‘προκαταρκτικού’ χαρακτήρα της θεωρίας του τον ώθησε να διαμορφώσει ευνοϊκές μεθοδολογικές προϋποθέσεις για τη σταδιακή υπέρβαση των εγγενών της αντιφάσεων. Η υπόνοια, αφετέρου, περί της ενδεχόμενης ‘ρίζικης ρήξης’ της κβαντικής θεωρίας με τις κλασικές ιδέες τον ώθησε να διαμορφώσει ευνοϊκές επίσης μεθοδολογικές προϋποθέσεις για την ενδελεχή διερεύνηση των ορίων ισχύος των κλασικών αρχών. Η πρώτη λοιπόν ατομική θεωρία μπορεί βάσιμα να ειπωθεί ως *εφαπτήριο* της διαδικασίας ‘ανακάλυψης’ της κβαντικής θεωρίας, επειδή ακριβώς εγκαινίασε την εφαρμογή της ΑΑΒ, ενός μεθοδολογικού εργαλείου που, ως εκ του τρόπου συγκρότησής του, υποκινούσε συστηματικά την πολύπλευρη επερώτηση των ‘αυτονόητων’ έως τότε κλασικών παραδοχών, έως την οριστική τους ‘αποκάλυψη’.

3. Η AAB ως 'φορέας ανακάλυψης' της κβαντικής θεωρίας. Η AAB μπορεί λοιπόν ν' αναγνωρισθεί ως 'φορέας ανακάλυψης' της κβαντικής θεωρίας, επειδή καθοδήγησε τη δεκαπενταετή εκείνη ερευνητική διαδικασία που έφερε στο φως τις 'παραδοχές υποβάθρου' της κλασικής κοσμοθεώρησης. Αξίζει δε να σημειώσουμε ότι, ενώ η δυνατότητα εφαρμογής της AAB διανοίχτηκε μέσω ενός 'άλματος στον γραμματικό χώρο', η ίδια η AAB, ως 'αναλογία συγκρότησης θεωρίας', αντιπροσωπεύει, περισσότερο, μια μη-γλωσσική μορφή επιστημονικής αναζήτησης (§A-3.2). Ήταν δε, ακριβώς, η ιδιαίτερη αυτή φύση της, εκείνη που προώθησε με καταλυτικό πράγματι τρόπο την ερευνητική εξέλιξη. Γιατί, καθώς απεγκλώβιζε την ερευνητική διαδικασία από τις προειλημμένες επιλογές των 'κλειστών' θεωρητικών σχημάτων (§A-5.2), δημιουργούσε τις κατάλληλες προϋποθέσεις για την προσέγγιση του 'ριζικώς καινούργιου' (§A-4.3). Όλες οι επί μέρους αναλύσεις του πρώτου μέρους της εργασίας μας συντείνουν προς αυτό το συμπέρασμα. Ένα επιπλέον όμως παράδειγμα μπορεί να υποστηρίξει ακόμη περισσότερο τον συγκεκριμένο ισχυρισμό.

3α. Η εφαρμογή της AAB ανέδειξε τον αμοιβαίο αποκλεισμό των κλασικών 'παραδοχών' και 'εικόνων' εντός του κβαντικού πλαισίου. Ο Sintonen ισχυρίζεται ότι «όταν τίθενται νέες επιστημονικές ερωτήσεις, υπάρχουν παραδειγματικές λύσεις σε προηγούμενες ερωτήσεις, ... οι οποίες προσφέρουν σημαντική ευρετική καθοδήγηση. Όταν, λόγου χάριν, ένας τύπος απάντησης έχει χρησιμοποιηθεί επιτυχώς στο παρελθόν, μια καλή στρατηγική που συχνά ακολουθείται είναι η απόπειρα εφαρμογής μιας αναλογίας, ενός τύπου δηλαδή απάντησης που είναι *ανάλογος* προς τον αρχικό» (στο ίδιο, 1996, σ. 63). Σε αγαστή συμφωνία με τη συγκεκριμένη διαπίστωση, ο Bohr, επεξηγώντας το καθεστώς της Αδιαβατικής Αρχής στο κβαντικό πλαίσιο, δήλωνε τα εξής: «η εφαρμογή της Αδιαβατικής Αρχής μπορεί να θεωρηθεί ως φυσική επέκταση της εφαρμογής των κλασικών ηλεκτροδυναμικών νόμων στα απομονωμένα από το περιβάλλον τους ατομικά συστήματα. ... Γιατί, στο όριο των μεγάλων κβαντικών αριθμών, οι αλλαγές τις οποίες υφίσταται ένα ατομικό σύστημα κατά την εκπομπή ακτινοβολίας μπορούν να ειδωθούν, μέσω μιας απλής αναλογίας με την κινητική θεωρία, ως ένας 'αδιαβατικός μετασχηματισμός' του ατομικού αυτού συστήματος» (Bohr, 1923α, NBCW3, σ. [470] και σ. [469]). Με αυτόν τον τρόπο, ο τύπος μιας παρελθούσας επιτυχούς απάντησης μεταφέρθηκε στο πλαίσιο της ατομικής θεωρίας και επιτέλεσε μία *ανάλογη*, προς την αρχική του χρήση, λειτουργία (§A-2.1). Ο Bohr δεν αρκέστηκε όμως σ' αυτό. Υπακούοντας στην προβαλλόμενη,

μέσω της AAB, 'ορθολογική' απαίτηση της *σαφούς οριοθέτησης* των πλαισίων εφαρμογής της κλασικής και της υπό αναζήτηση κβαντικής θεωρίας (§A-4.3, 2^η συνιστώσα, σημείο 6), αισθάνθηκε την υποχρέωση να υπογραμμίσει τα εξής.

(A6.5) «Η δυνατότητα εφαρμογής των κλασικών νόμων στο όριο των μεγάλων κβαντικών αριθμών οφείλει να εκλαμβάνεται, απλώς, ως μια *εκ λόγων αρχής* απάλειψη της διαφοράς που υφίσταται μεταξύ των νόμων που διέπουν τον πραγματικό μηχανισμό της συγκεκριμένης διαδικασίας [της διαδικασίας εκπομπής ακτινοβολίας από τα άτομα] και των συνεχών νόμων της κλασικής θεωρίας» (Bohr, 1923α, *NBCW3*, σ. [468]).

Η δυνατότητα συνεπώς εφαρμογής των κλασικών νόμων στο όριο των μεγάλων κβαντικών αριθμών προέκυπτε από τη μεθοδολογική και *μόνο* απάλειψη της εικαζόμενης διαφοροποίησης μεταξύ του πραγματικού μηχανισμού της ατομικής ακτινοβολίας και των συνεχών κλασικών νόμων. Και λέμε 'εικαζόμενη διαφοροποίηση', επειδή ο εν λόγω μηχανισμός δεν είχε βεβαίως ακόμη ανακαλυφθεί ή, για να είμαστε ακριβέστεροι, δεν ήταν ακόμη γνωστό ότι, εκ λόγων αρχής, ήταν αδύνατο ν' ανακαλυφθεί. Είναι βεβαίως φανερό ότι μια τέτοια μεθοδολογική πρακτική καθιστούσε δυνατή τη συνεχή τροφοδότηση του 'υπό συγκρότηση' λογικού πλαισίου της κβαντικής θεωρίας με τις ελλείπουσες από αυτό κλασικές τυπικές σχέσεις *χωρίς* ν' αποκρύπτει την ενδεχόμενη ριζική του απόκλιση από την κλασική θεωρία. Μία τέτοια επομένως μεθοδολογική πρακτική, ενώ έθετε με έγκυρο τρόπο τα επιτεύγματα της κλασικής θεωρίας στην υπηρεσία της επιστημονική έρευνας, διάνοιγε παράλληλα τη δυνατότητα της προοδευτικής διάβρωσης του 'αυτονόητου' καθεστώτος των 'παραδοχών υποβάθρου' της κλασικής κοσμοθεώρησης.

Ας παρακολουθήσουμε τη σημαντικότερη ίσως περίπτωση της συγκεκριμένης λειτουργίας. Η *ad hoc* εισαγωγή των κλασικών εννοιών στο κβαντικό πλαίσιο, παρότι υπάκουε σε αυστηρούς μεθοδολογικούς κανόνες, οδηγούσε επίμονα στο ίδιο πάντοτε σημείο τριβής: η εφαρμογή των συνεχών νόμων της κλασικής θεωρίας, των νόμων δηλαδή εκείνων που, σύμφωνα με την ιδιότυπη ορολογία του Bohr, διασφάλιζαν το 'ιδεώδες της παρατήρησης' (the 'ideal of observation'), φαινόταν ν' αναιρεί τη δυνατότητα εφαρμογής των νόμων διατήρησης υπό την κλασική τους έκφραση, των νόμων δηλαδή εκείνων που, σύμφωνα επίσης με την ορολογία του Bohr, διασφάλιζαν το 'ιδεώδες της αιτιότητας' (the 'ideal of causality'). Η αρμονική συνύπαρξη των 'ιδεωδών' αυτών εντός του κλασικού πλαισίου επιτρέπει βεβαίως τον αυστηρώς αιτιακό χωρο-χρονικό προσδιορισμό τόσο της κατάστασης όσο και της εξέλιξης των φυσικών συστημάτων, μία 'αυτονόητη', υπό το πρίσμα της κρατούσας τότε αντίληψης, δυνατότητα. Κατά την εισαγωγή όμως των κλασικών αυτών νόμων στο

κβαντικό πλαίσιο και μέσω της πολυδιάστατης εφαρμογής τους στο πλαίσιο της AAB, η ‘αυτονόητη’ αυτή δυνατότητα φαινόταν να τίθεται υπό διαρκή επερώτηση. Θα λέγαμε, λοιπόν, ότι η AAB διάνοιξε ένα πεδίο αμοιβαίας ‘αντιπαράθεσης’ δύο εκ των κεντρικών ‘παραδοχών υποβάθρου’ της κλασικής κοσμοθεώρησης, των ‘παραδοχών’ της συνέχειας και της αυστηρής αιτιότητας. Όπως άρχισε δε προοδευτικά να διαφαίνεται, η πρωτόγνωρη αυτή ‘αντιπαράθεση’ συνδεόταν στενά με τον παρατηρούμενο, επίσης εντός του πλαισίου εφαρμογής της AAB, αμοιβαίο αποκλεισμό των κλασικών ‘εικόνων’ του ‘κύματος’ και του ‘σωματιδίου’.

3β. *Η προάσπιση του κλασικού ‘ιδεώδους’*. Ο κλωνισμός του κλασικού ‘ιδεώδους’ προκάλεσε τον βαθύ διχασμό της επιστημονικής κοινότητας. Από τη μια πλευρά, δημιουργήθηκε μια ομάδα επιστημόνων που δεν δίσταζαν να εκφράζουν τη βαθιά τους δυσaréσκεια για τη σημειούμενη εξέλιξη. Στο ‘μίσος’ του Planck προς την ‘κβαντική ασυνέχεια’ μπορούμε να προσθέσουμε, ενδεικτικά, την εξομολόγηση του Einstein προς τον Born ότι «εάν αναγκαζόταν να εγκαταλείψει την αιτιότητα, θα προτιμούσε να είναι παπουτσής ή υπάλληλος σε πρακτορείο τυχερών παιχνιδιών παρά φυσικός» (Einstein, 29 Απριλίου 1924, σ. 82) και τη δήλωση του Schrödinger ότι «εάν τα καταραμένα κβαντικά άλματα διατηρούνταν εν τέλει στο κβαντικό πλαίσιο», θα προτιμούσε «να μην είχε ποτέ εμπλακεί στην κβαντική θεωρία» (1926, όπως η δήλωση αυτή μεταφέρθηκε από τον Heisenberg, *NBCW6*, σ. [10]).

Η στάση βεβαίως αυτή απέρρεε από την ακλόνητη πεποίθηση ότι οι συγκροτούσες την κβαντική θεωρία αρχές δεν συνιστούσαν τίποτε παραπάνω από αυθαίρετες παραδοχές ευρετικού και μόνο χαρακτήρα. Η ερευνητική συνεπώς αποβλεπτικότητα των συγκεκριμένων επιστημόνων επικεντρωνόταν στην εξεύρεση μιας θεωρίας που θα διασφάλιζε μεν τα ευρετικά επιτεύγματα της κβαντικού σχήματος, αλλά θα διατηρούσε επίσης αδιασάλευτη τη δεσπόζουσα θέση των κλασικών ‘ιδεωδών’. Ο Einstein, λόγου χάριν, εκλαμβάνοντας «την κυματική και την κβαντική δομή ως μη-αμοιβαίως ασύμβατες», διατύπωνε από πολύ νωρίς την εκτίμηση ότι «η επόμενη φάση εξέλιξης της θεωρητικής φυσικής θα έφερε στο φως μια θεωρία που θα μπορούσε να ερμηνευθεί ως συγχώνευση της κυματικής και της ατομικής θεωρίας» (Einstein, 1909, από Pais, 1991, σ. 231). Έτσι, όπως εξιστορεί στις ‘αυτοβιογραφικές’ του ‘σημειώσεις’, όλες του οι δυνάμεις εκείνη την περίοδο συνένειναν σε μια και μόνο προσπάθεια: «στην προσαρμογή των θεωρητικών θεμελίων της φυσικής στο καινούργιο είδος γνώσης» (Einstein, 1949α, σ. 45).

Εμπνεόμενοι από το ίδιο ακριβώς όραμα, οι de Broglie και Schrödinger έφθασαν, όπως γνωρίζουμε, ο μιν πρώτος στη διατύπωση της κυματικής θεωρίας της ύλης το 1923, ο δε δεύτερος στη διατύπωση της κυματικής μηχανικής το 1926.

Οφείλουμε όμως να υπογραμμίσουμε ότι ο ερευνητικός προσανατολισμός των συγκεκριμένων επιστημόνων δεν αποσκοπούσε στη μελλοντική διατήρηση των κλασικών εννοιών ή εικόνων στο περιεχόμενο της επιστημονικής γνώσης. Το κλασικό τους 'ιδεώδες' συρρικνωνόταν, αντίθετα, σε μια και μόνο επιταγή: στη διατήρηση της δυνατότητας του 'πλήρους' και 'αντικειμενικού' προσδιορισμού της κατάστασης και της εξέλιξης των φυσικών συστημάτων όπως αυτά 'πραγματικά είναι'. Εάν δε ο Einstein, προσβλέποντας σ' αυτόν τον στόχο, έθετε την ερευνητική του αναζήτηση υπό τη σκέπη του αιτήματος της αυστηρής αιτιότητας (§A-5.2.3, σημείο 5), ο Schrödinger, προσβλέποντας στον ίδιο ακριβώς στόχο, πρόταξε το αίτημα των συνεχών χωρο-χρονικών περιγραφών. Έτσι, ακόμη κι' όταν αποδείχθηκε ότι η κυματική του θεωρία ήταν αδύναμη να προσφέρει μια φυσική ερμηνεία βασισμένη στην έννοια των 'υλικών κυμάτων' ('matter-waves') όπως ο ίδιος επεδίωκε, ο Schrödinger δεν έπαυσε να επιμένει ότι «ακόμη κι' αν εκατοντάδες προσπάθειες αποτύχουν, οφείλει να διατηρεί κανείς ακέραια την ελπίδα επίτευξης του επιζητούμενου στόχου, όχι κατ' ανάγκη μέσω κλασικών εικόνων, αλλά μέσω μιας συνεκτικής θεώρησης της *πραγματικής φύσης* των χωρο-χρονικών συμβάντων» (Γράμμα του Schrödinger προς τον Bohr, 23 Οκτωβρίου 1926γ, *NBCW6*, σ. [12]).

3γ. *Η καταφυγή σε θετικιστικές, εργαλειοκρατικές ή συμβασιοκρατικές θεωρήσεις.* Από την άλλη πλευρά, ο κλονισμός του κλασικού 'ιδεώδους' οδήγησε μια ομάδα επιστημόνων στην υιοθέτηση μιας θετικιστικής – εργαλειοκρατικής ή συμβασιοκρατικής κατεύθυνσης για την υπέρβαση της υφιστάμενης 'κρίσης'. Τα ερευνητικά προγράμματα του κύκλου του Göttingen (§A-5.1.2, σημείο 5) και της σχολής του Μονάχου (§A-5.2.2, σημείο 6) εξέφραζαν, αντίστοιχα, μία απτή εφαρμογή των συγκεκριμένων τάσεων. Η θεωρία δε των μητρών και οι σχέσεις απροσδιοριστίας του Heisenberg υπήρξαν απτά επίσης αποκυήματα των αντίστοιχων επιστημολογικών επιλογών του εμπνευστή τους (§A-5.1.2, σημείο 5, και §A-5.2.3, σημεία 1, 2 και 3). Η παρότρυνση του Pauli προς τους επιστήμονες «να επιμένουν στην εισαγωγή εκείνων μόνο των φυσικών εννοιών που είναι εκ λόγων αρχής παρατηρήσιμες» (Pauli, 1919, σσ. 749-750) εκφράζει συνοπτικά το επικρατούν στην ομάδα αυτή πνεύμα. Μια τέτοια επιστημολογική αντίληψη απάλλασε ασφαλώς τους

υποστηρικτές της από την έγνοια μιας ενδεχόμενης κατάλυσης των κλασικών ‘ιδεωδών’. Καθώς όμως υποβάθμιζε, παράλληλα, το αίτημα της βαθύτερης φυσικής ερμηνείας των προτεινόμενων θεωρητικών σχημάτων – πέραν βεβαίως της απαράβατης προϋπόθεσης του επιτυχούς ‘συντονισμού’ τους με την εμπειρία – αποδεικνυόταν εν τέλει αδύναμη ν’ αγγίξει το ουσιαστικό περιεχόμενο των υποκείμενων στην κλασική θεωρία ‘παραδοχών’. Αρκεί να θυμηθούμε ότι ο Heisenberg, παρότι έφθασε μέσω των σχέσεων απροσδιοριστίας στην αναγγελία της ‘οριστικής κατάλυσης της αυστηρής αιτιότητας’ και παρότι είχε ήδη αποποιηθεί κάθε απόπειρα χωρο-χρονικής περιγραφής, εξακολουθούσε να εμφορείται από την κλασική ιδέα της ‘καλώς καθορισμένης’ κατάστασης των κβαντικών συστημάτων τόσο πριν όσο και μετά τη διαδικασία της μέτρησης (§A-5.2.3, σημείο 4).

3δ. Η AAB ως μέσο υπέρβασης των ‘αντιφάσεων’. Ο Bohr δεν θα μπορούσε, φυσικά, ν’ αποτελεί εξαίρεση του γενικού κανόνα. Όταν εξέφραζε λόγου χάριν την άποψη ότι «ο μη-πλήρης χαρακτήρας της [κβαντικής] θεωρίας γινόταν φανερός όχι μόνο κατά την επεξεργασία των μεμονωμένων λεπτομερειών, αλλά και κατά την απόπειρα θεμελίωσης μιας γενικότερης οπτικής γωνίας» (Bohr, 1921, από Honner, 1987, σ. 36), προέβαλε τη *μη-πληρότητα* της κβαντικής θεωρίας υπό το πρίσμα των κλασικών προδιαγραφών. Όντας όμως αποδεσμευμένος από τις μεταφυσικές προκείμενες του παραδοσιακού ρεαλισμού (§A-5.3.3), ο Bohr, σε αντίθεση με την πρώτη από τις προαναφερθείσες ομάδες, δεν δίσταζε να θέτει υπό διαρκή επερώτηση τόσο την ισχύ της αυστηρής αιτιότητας όσο και την ισχύ της συνεχούς χωρο-χρονικής εξέλιξης. Όντας δε παράλληλα πεισμένος για την αναγκαιότητα κατανόησης των υποκείμενων στα φαινόμενα φυσικών διαδικασιών (§A-5.3.3, σημείο 3), δεν δίσταζε επίσης να εκφράζει τις ισχυρές του επιφυλάξεις έναντι των προτεινόμενων από τη δεύτερη ομάδα λύσεων. Μπορούμε δε να θυμηθούμε ότι η εφαρμοζόμενη μέσω της AAB μεθοδολογική στρατηγική, καθώς απέκλινε ισχυρά από τα επιστημολογικά πρότυπα και των δύο προαναφερθέντων ομάδων, αντιμετώπιζε συχνά τις έντονες επικρίσεις τους (π.χ. §A-5.2.2, σημείο 6).

Κατά την αντίληψη όμως του Bohr, η AAB επιτελούσε μία σημαντική λειτουργία: «επέτρεπε τη διερεύνηση του τρόπου με τον οποίο η φύση αποφεύγει τις αντιφάσεις» (όπως η ρήση αυτή μεταφέρθηκε από τον Heisenberg, 1963, σ. 22). Οι ‘αντιφάσεις’ βεβαίως αυτές αφορούσαν τον διαπιστούμενο αμοιβαίο αποκλεισμό των κλασικών αφενός ‘εικόνων’ του ‘κύματος’ και του ‘σωματιδίου’ και των κλασικών

αφετέρου ‘παραδοχών’ της αυστηρής αιτιότητας και της χωρο-χρονικής συνέχειας. Μέσω της διεξοδικής διερεύνησης των συγκεκριμένων ‘αντιφάσεων’ – δια της δοκιμαστικής λόγου χάριν πρόκρισης μίας εκ των δύο κλασικών ‘παραδοχών’ όπως στην περίπτωση της BKS θεωρίας (§A-3, σημείο 6) – ο Bohr έφθασε προοδευτικά ν’ αναγνωρίσει την ακαταλληλότητα *αμφότερων* των κλασικών ‘παραδοχών’ και ‘εικόνων’ για την περιγραφή των υποατομικών φαινομένων. Η θεωρητική όμως ανάπτυξη της κβαντικής θεωρίας του υπέδειξε και κάτι περισσότερο: τα προτεινόμενα κβαντικά σχήματα αναδείκνυαν, ανάλογα με τον τρόπο της θεωρητικής τους θεμελίωσης, μια διαφορετική πλευρά του δυϊσμού. Η θεωρία, λόγου χάριν, των μητρών του Heisenberg, έχοντας ενσωματώσει την ισχύ των νόμων διατήρησης υπό την κλασική τους έκφραση, φαινόταν κατ’ εξοχήν κατάλληλη για την περιγραφή της σωματιδιακής ‘εικόνας’ των κβαντικών συστημάτων. Η κυματική θεωρία του Schrödinger, αντίθετα, έχοντας ενσωματώσει, πρωτίστως, το αίτημα της χωρο-χρονικής συνέχειας, φαινόταν ιδιαίτερα κατάλληλη για την περιγραφή της κυματικής τους ‘εικόνας’. Όπως ο ίδιος ο Bohr έθετε το ζήτημα, η ‘εικόνα’ του ‘κύματος’ ή του ‘σωματιδίου’ παρουσιαζόταν ως η πλέον κατάλληλη, αναλόγως ‘του σημείου της περιγραφής’ στο οποίο υπεισερχόταν με σαφήνεια η κβαντική ασυνέχεια’ (A5.21).

3ε. Η θεμελιακή ‘παραδοχή υποβάθρου’ της κλασικής θεωρίας αποκαλύπτεται. Μέσω των προαναφερθέντων παρατηρήσεων, ο Bohr συνέλαβε την ιδέα μιας τεχνητά διενεργούμενης ‘τομής’ σε μια μη-διαχωρίσιμη *εκ λόγων αρχής* ‘ολότητα’, μία ιδέα που προσέδιδε στο ‘κβαντικό αξίωμα’ μία εντελώς καινούργια σημασία. Το αξίωμα αυτό δεν περιοριζόταν στην επιβολή της κβαντικής ασυνέχειας, όπως έως τότε εικαζόταν, αλλά υποδείκνυε κάτι ουσιαδώς σημαντικότερο: την περιορισμένη διαχωρισιμότητα των φυσικών διαδικασιών και τον απορρέοντα από αυτήν ολιστικό χαρακτήρα της κβαντικής μέτρησης. Η ιδέα της συμπληρωματικότητας είχε αρχίσει να μορφοποιείται: ο αμοιβαίος αποκλεισμός των κλασικών ‘παραδοχών’ και ‘εικόνων’ φαινόταν πλέον ν’ απορρέει από δύο αντικρουόμενα εκ λόγων αρχής γεγονότα. Από την αναγκαιότητα, *αφενός*, σύνδεσης του κβαντικού οικοδομήματος με τη διαδικασία της παρατήρησης/ μέτρησης και από την ασυμβατότητα, *αφετέρου*, των ανθρώπινων δυνατοτήτων προς παρατήρηση – δυνατοτήτων που εκ της ίδιας της φύσεώς τους υπόκεινται στον περιορισμό του πλήρους διαχωρισμού του υποκειμένου από το υπό παρατήρηση αντικείμενο – με τον ολιστικό χαρακτήρα της κβαντικής παρατήρησης/ μέτρησης (§B-1, σημείο 5). Υπ’ αυτό δε το δεδομένο, η δυνατότητα

προσδιορισμού της κατάστασης του υπό παρατήρηση συστήματος ανεξάρτητα από το μετρητικό του περιβάλλον καθίστατο, επίσης, *εκ λόγων αρχής* αδύνατη (§B-2, σημείο 1). Η διαπίστωση αυτή σηματοδοτούσε την αποκάλυψη της θεμελιακής ‘παραδοχής υποβάθρου’ της κλασικής κοσμοθεώρησης και, υπ’ αυτήν την έννοια, σηματοδοτούσε, παράλληλα, και την επιτυχή ολοκλήρωση της διαδικασίας ‘ανακάλυψης’ της κβαντικής θεωρίας.

Η θεμελιακή ‘παραδοχή υποβάθρου’ στην οποία αναφερόμαστε αφορά την υποβαλλόμενη, από τη λογική δομή της κλασικής θεωρίας, υπόθεση περί της δυνατότητας πλήρους ‘απόσπασης’ του υπό παρατήρηση συστήματος από το υποκείμενο ή τη συσκευή μέτρησης. Η ‘παραδοχή’ όμως αυτή, καθώς εναρμονίζεται πλήρως με τη βιωματική πρόσληψη της παρατηρησιακής διαδικασίας, λειτουργούσε *άρρητα* και *αφανώς* ως ‘αυτονόητη’ προϋπόθεση της επιστημονικής έρευνας. Και ήταν μόνο, όπως υπογράμμισε ο Bohr, «η καταπληκτική ανάπτυξη των πειραματικών μεθόδων εκείνη που έφερε στο φως ένα μεγάλο αριθμό φαινομένων που παρείχαν άμεσες πληροφορίες τόσο για τον αριθμό όσο και για την κίνηση των ατόμων ... Ήταν μόνο η ανάπτυξη αυτή, εκείνη που οδήγησε σε μια αξιοθαύμαστη επέκταση της ανθρώπινης εμπειρίας». Παρ’ όλα αυτά, συνέχισε, «την ίδια στιγμή που απαλείφθηκε κάθε αμφιβολία για την αληθινή ύπαρξη των ατόμων και κατακτήθηκε μια λεπτομερής γνώση ακόμη και της εσωτερικής δομής τους, αναγκαστήκαμε να θυμηθούμε, και μάλιστα μέσω ενός ιδιαίτερου διδακτικού τρόπου, τα φυσικά όρια των αντιληπτικών μας δυνατοτήτων» (Bohr, 1929γ, *ATDN*, σσ. 102-103).

Ήταν, συνεπώς, μόνο η πέραν των αισθήσεων επέκταση της ανθρώπινης εμπειρίας εκείνη που επέτρεψε την αποκάλυψη των ορίων των ανθρώπινων δυνατοτήτων προς παρατήρηση και, ταυτόχρονα, τα όρια ισχύος της κλασικής κοσμοθεώρησης. Γιατί, όπως κατέδειξε η κβαντική θεωρία, μια θεωρία που κατόρθωσε βεβαίως να προβλέψει επιτυχώς τα φαινόμενα στα οποία η κλασική θεωρία αποτύγχανε, ο υποβαλλόμενος, τόσο από τους συνηθισμένους τρόπους αντίληψης όσο και από την κλασική θεωρία, πλήρης διαχωρισμός υποκειμένου – αντικειμένου δεν αντιπροσώπευε τίποτε περισσότερο από μια ‘παραδοχή υποβάθρου’ ή, με τα λόγια του Bohr, μία ασυνείδητη ‘εξιδανίκευση’ ή ‘αφαίρεση’, που εκλαμβάνονταν *αδικαιολόγητα* ως προφανής. Από τη στιγμή δε που αποκαλύφθηκε η θεμελιακή ‘παραδοχή υποβάθρου’ της κλασικής θεωρίας, φωτίστηκε πλέον άπλετα και το καθεστώς των διασυνδεδεμένων με αυτήν δευτερευουσών ‘παραδοχών’ και ‘εικόνων’. Όπως παρουσίασε ο Bohr τη διαμορφωθείσα κατάσταση, «ο υποδειχθείς

εκ της μη-διαιρετότητας του κβάντου δράσης περιορισμός, όσον αφορά τη δυνατότητα διάκρισης μεταξύ των φυσικών διαδικασιών και της διαδικασίας παρατήρησής τους, επέβαλε μια ουσιαστική αλλαγή στη στάση μας, τόσο ως προς την αιτιότητα, όσο και ως προς την παρατήρηση [τις χωρο-χρονικές περιγραφές]» (Bohr, 1929β, *ATDN*, σσ. 4-5). Αυτό σήμαινε ότι η κατανόηση του ολιστικού χαρακτήρα της κβαντικής μέτρησης κατέστησε πλέον φανερό ότι τόσο οι χωρο-χρονικές περιγραφές και η αυστηρή αιτιότητα όσο και οι ‘εικόνες’ του κύματος και του σωματιδίου αντιπροσώπευαν επίσης ‘εξιδανικεύσεις’ των οποίων η *περιορισμένη και σαφώς οροθετημένη* χρήση εντός του κβαντικού πλαισίου επιβαλλόταν από την *αναπόδραστη* αναγκαιότητα σύνδεσης του κβαντικού φορμαλισμού με την κοινή ανθρώπινη εμπειρία (§B-1). Η κατανόηση του ολιστικού χαρακτήρα της κβαντικής μέτρησης κατέστησε επίσης φανερό ότι η εκ λόγων αρχής αδυναμία προσδιορισμού της κατάστασης ενός υποατομικού συστήματος εκτός του μετρητικού του περιβάλλοντος ακύρωνε οριστικά τη δυνατότητα απεικονιστικής αναπαράστασης των υποατομικών οντοτήτων όπως αυτές ‘πραγματικά είναι’ (§B-1).

Συνοψίζοντας, μπορούμε λοιπόν να ισχυριστούμε ότι η AAB μπορεί να φέρει επάξια τον τίτλο του ‘φορέα ανακάλυψης’ της κβαντικής θεωρίας, επειδή ήταν τα ιδιαίτερα επιστημολογικά της χαρακτηριστικά εκείνα που κατέστησαν προοδευτικά δυνατή την αποκάλυψη των έως τότε αφανών ‘παραδοχών υποβάθρου’ της κλασικής κοσμοθεώρησης. Η ‘ανακάλυψη’ δε της κβαντικής θεωρίας μπορεί εύλογα να ειπωθεί ως ‘ριζική’, εφόσον η κατανόηση του ολιστικού χαρακτήρα των φυσικών διαδικασιών επέφερε μια εκ θεμελίων μεταστροφή στον τρόπο θέασης του φυσικού κόσμου. Γι’ αυτό και η διατύπωση της συμπληρωματικότητας μπορεί βάσιμα να εκληφθεί ως σημείο ανάδυσης του κβαντικού ‘παραδείγματος’ (σχήμα 1, σημείο 5).

4. *Η πρόοδος και η συνέχεια της επιστημονικής γνώσης κατά τη μετάβαση από το κλασικό στο κβαντικό ‘παράδειγμα’.* Το ερώτημα βεβαίως που εγείρεται άμεσα είναι κατά πόσο η θεμελιακή αυτή μεταστροφή μπορεί να ειπωθεί ως μια κατά Kuhn *gestalt* μεταστροφή και, εάν ναι, κατά πόσο μία τέτοια μεταστροφή μπορεί να είναι συμβατή με τη συνέχεια και την πρόοδο της επιστημονικής γνώσης. Ως προς το συγκεκριμένο ζήτημα, ας παρακολουθήσουμε τη θεώρηση του Α. Μπαλτά.

(A6.7) Η σχέση μεταξύ των δύο παραδειγμάτων *δεν είναι* συμμετρική. ... Και, υπ’ αυτήν την έννοια, όταν χρησιμοποιούμε τη μεταφορά του Kuhn περί μιας ‘gestalt’ μεταστροφής, οφείλουμε να είμαστε προσεκτικοί. Γιατί, σε αντίθεση με το παράδειγμα πάπιας/ κουνελιού, στην περίπτωση των διαδοχικών παραδειγμάτων δεν έχουμε την ευχέρεια να μετακινούμαστε μπρος – πίσω. Εδώ, αντιμετωπίζουμε

μια ημι-αγώγιμη μεταστροφή υπό την ακόλουθη έννοια. Εάν βρισκόμαστε στο εσωτερικό του παλιού παραδείγματος, αδυνατούμε να κατανοήσουμε, τουλάχιστον εν μέρει, αυτό που λένε οι ευρισκόμενοι εντός του νέου παραδείγματος συνομιλητές μας ... Εάν πάλι βρισκόμαστε εντός του νέου παραδείγματος, όχι μόνο κατανοούμε τι λένε οι ευρισκόμενοι εντός του παλαιού παραδείγματος συνομιλητές μας, αλλά κατανοούμε και *γιατί* το λένε» (Baltas, 1997β, σ. 9).

Η ‘μη-συμμετρικότητα’ των διαδοχικών ‘παραδειγμάτων’ απορρέει από το γεγονός ότι οι μετέχοντες στο νέο ‘παράδειγμα’, μέσω της αποκάλυψης των ‘παραδοχών υποβάθρου’ που έχει ήδη σημειωθεί, είναι σε θέση ν’ αναγνωρίζουν τους άρρητους περιορισμούς του παλαιότερου ‘παραδείγματος’ και να ερμηνεύουν τις αποτυχίες του. Είναι δε η, υπ’ αυτήν την έννοια, ‘υπεροχή’ του νέου ‘παραδείγματος’ έναντι του παλαιότερου, εκείνη που, κατά την αντίληψη του Α. Μπαλτά, προσδίδει ουσιαστικό περιεχόμενο στην έννοια της ‘προόδου’. Υπ’ αυτήν λοιπόν την οπτική γωνία, μπορούμε αναμφίβολα να ισχυριστούμε ότι η μετάβαση από το κλασικό στο κβαντικό ‘παράδειγμα’ συνιστά ένα αποφασιστικό βήμα επιστημονικής προόδου. Γιατί η αποκάλυψη της θεμελιακής ‘παραδοχής υποβάθρου’ της κλασικής θεωρίας οδήγησε στη *ρητή* πράγματι διατύπωση των θεμελιακών εκείνων λόγων που καθιστούσαν την κλασική θεωρία αναποτελεσματική στο υποατομικό επίπεδο: η ‘παραδοχή’ της δυνατότητας πλήρους διαχωρισμού του υποκειμένου από το υπό παρατήρηση αντικείμενο, μια ‘παραδοχή’ *συμβατή* με την κλασική λογική δομή και παράλληλα *προφανής* στο επίπεδο της κοινής αντιληπτικής εμπειρίας, ήταν εκείνη που προδιέγραφε τα όρια της κλασικής ‘γλώσσας’ και, γενικότερα, της κλασικής κοσμοθεώρησης. Και ήταν μόνο, όπως υπογράμμισε ο Bohr, η συνείδηση του γεγονότος ότι ‘οι περιορισμοί των κλασικών εννοιών είναι τόσο στενά συνδεδεμένοι με τους περιορισμούς της παρατήρησης’, εκείνη που κατέστησε τελικά εφικτή την υπέρβαση των ‘αντιφάσεων’ (A5.24). Το γεγονός όμως ότι οι μετέχοντες στο κλασικό ‘παράδειγμα’ στερούνταν, εκ των πραγμάτων, μιας τέτοιας συνείδησης καταδεικνύει τον ‘μη-αντιστρεπτό’ χαρακτήρα της επισυμβείσας αλλαγής. Θα μπορούσαμε δε να θεωρήσουμε ότι το αντιστοιχούν, σε κάθε μη-αντιστρεπτή διαδικασία, *χρονικό βέλος* καταδεικνύει την κατεύθυνση της σημειωθείσας προόδου.

Η αποκάλυψη όμως της θεμελιακής ‘παραδοχής υποβάθρου’ της κλασικής θεωρίας οδήγησε, όπως είδαμε, και στην επίγνωση των φυσικών περιορισμών της ανθρώπινης αντίληψης. Σηματοδότησε, επομένως, και μια *επί πλέον* ρήξη με το εποπτικά αυταπόδεικτο, μια *επί πλέον* ρήξη με τους προσδιορισμούς και τις κατηγοριοποιήσεις του κοινού νου. Ακολουθώντας λοιπόν τώρα τον Bachelard, μπορούμε βέσιμα να ισχυρισθούμε ότι η φυσική ερμηνεία της κβαντικής θεωρίας

μπορεί να καταγραφεί στην ιστορία της επιστήμης ως μια επιστημολογική ‘τομή’ (‘rupture’), μια τομή που, κατά την αντίληψη του Bachelard, συνιστά ‘αποδεικτικό’ στοιχείο επιστημονικής προόδου. Κι’ αυτό, γιατί η επιστήμη είναι αναγκαστικώς *ασυνεχής* προς τον κοινό νου: το ‘επιστημονικό πνεύμα’ εξελίσσεται μέσω της συστηματικής του προσπάθειας να υπερβεί το ‘επιστημολογικό εμπόδιο’ του ‘δοσμένου’ (‘donné’), της άμεσης δηλαδή εμπειρικής γνώσης. Όπως διατείνεται ο Bachelard με πειστικότητα, «μαθαίνουμε τη φύση μέσω της συνεχούς μας *αντίστασης* προς αυτήν» (Bachelard, 1938, από Lecourt, 1974, σ. 164). Αντιστεκόμαστε δε στη φύση, επειδή αποτελούμε κι’ εμείς αναπόσπαστο μέρος της, επειδή η ίδια η ανθρώπινη φύση μας επιβάλλει δραστικούς περιορισμούς στις αντιληπτικές μας δυνατότητες. Έτσι, η άμεση προφάνεια της εμπειρίας δεν αποκαλύπτει θεμελιώδεις αλήθειες, όπως ο παραδοσιακός εμπειρισμός ή ο θετικισμός ισχυρίζονται, αλλά δημιουργεί, αντίθετα, ισχυρά *σημεία εμμονής* που παρακωλύουν την κατάκτηση καινούργιας γνώσης. Κάθε επιτυχής συνεπώς υπερπήδηση μιας τέτοιας εμμονής, κάθε βήμα ουσιαστικής απομάκρυνσης από τις ‘αυτονόητες’ εμπειρικές αλήθειες, υποδεικνύει με αλάνθαστο τρόπο την πρόοδο της επιστημονικής γνώσης.

Οι προαναφερθείσες προσεγγίσεις, ενώ είναι βαθιά εμποτισμένες από την *ιστορικότητα* της επιστημονικής γνώσης, υπερβαίνουν παράλληλα επιτυχώς τον απορρέοντα – εκούσια ή ακούσια – από τις θεωρήσεις των Kuhn και Feyerabend σχετικισμό. Γι’ αυτό, και οι συγκεκριμένες προσεγγίσεις ερμηνεύουν με τον καταλληλότερο, κατά τη γνώμη μας, τρόπο τη σημειωθείσα πρόοδο κατά τη μετάβαση από το κλασικό στο κβαντικό ‘παράδειγμα’. Οφείλουμε δε να παρατηρήσουμε ότι μια τέτοια ερμηνευτική γραμμή φέρει δύο ουσιαστικά χαρακτηριστικά: *πρώτον*, αναθέτει την τεκμηρίωση της επιστημονικής προόδου σε μια *αναδρομική* ανάλυση της ιστορίας της επιστήμης, σε μια ανάλυση που διενεργείται υπό το φως του παρόντος καθεστώτος της επιστημονικής γνώσης. Και, *δεύτερον*, αναθέτει την τεκμηρίωση αυτή σε αμιγώς *ποιοτικά* κριτήρια, εφόσον η αποκάλυψη μιας ‘παραδοχής υποβάθρου’ ή η αναγνώριση μιας επιστημολογικής ‘τομής’ είναι αδύνατο προφανώς να προκύψει από τη χρήση λογικών κριτηρίων. Είναι, επομένως, εξαιρετικά ενδιαφέρον ότι τα συγκεκριμένα κριτήρια, ενώ πηγάζουν από μια ‘εκ των υστέρων’ και ‘εκ των έξω’ εποπτεία της επιστημονικής εξέλιξης, παρουσιάζουν ισχυρά σημεία συνάφειας με τα κριτήρια ‘ορθολογικότητας’ που έθετε ‘a priori’ και ‘εντός’ του επιστημονικού πεδίου ο Bohr για την αξιολόγηση της σημειούμενης τότε προόδου (§A-4.3).

Πράγματι, ο Bohr, όταν έθετε ως στόχο του ερευνητικού του προγράμματος τη διατύπωση μιας θεωρίας που όφειλε να συνιστά ‘ορθολογική γενίκευση’ της κλασικής, συνέδεε *εξ’ αρχής* το αίτημα της επιστημονικής προόδου με τις ακόλουθες δύο *απαράβατες* προϋποθέσεις: *πρώτον*, η κβαντική θεωρία όφειλε να συνιστά ένα συνεκτικό θεωρητικό σχήμα, υπό την οπτική γωνία του οποίου θα μπορούσε πλέον να *εξηγήσει* κανείς τους περιορισμούς της κλασικής κοσμοθεώρησης. Και, *δεύτερον*, η AAB όφειλε, εκ του τρόπου συγκρότησης και εφαρμογής της, να προωθεί με συστηματικό τρόπο την ανάδειξη της ενδεχόμενης *ριζικής* ρήξης της κβαντικής θεωρίας με τις ‘συνηθισμένες’ αντιλήψεις (§Α-4.3). Στις συγκεκριμένες βεβαίως προϋποθέσεις μπορούμε εύκολα ν’ αναγνωρίσουμε το ουσιαστικό περιεχόμενο των ‘*παραδοχών υποβάθρου*’ και της επιστημολογικής ‘*τομής*’ αντίστοιχα.

Μια τέτοια αξιοσημείωτη σύγκλιση μεταξύ μιας επιστημονικής και μιας μετα-επιστημονικής θεώρησης αντικατοπτρίζει κατά τη γνώμη μας με καθαρότητα τη στενή συγγένεια της επιστημολογικής και, γενικότερα, της φιλοσοφικής τοποθέτησης του Bohr με τον πυρήνα των φιλοσοφικών θεωρήσεων των Α. Μπαλτά και G. Bachelard. Η συγγένεια δε αυτή καταδεικνύει, περαιτέρω, τη στενή διασύνδεση της επιλεγόμενης από έναν επιστήμονα ερευνητικής πορείας με τις μετα-επιστημονικές και φιλοσοφικές του αντιλήψεις, ενώ, σε αντίστροφη κατεύθυνση, καταγράφει παράλληλα τον ισχυρό επηρεασμό της φιλοσοφικής σκέψης από τα νέα επιστημονικά επιτεύγματα. Έτσι, μια φιλοσοφική θεώρηση μπορεί να φωτίσει όχι μόνο το καθεστώς, τη λειτουργία και την εξέλιξη της επιστήμης στη γενικότητά της, αλλά και τις αντιλήψεις, τις επιλογές και τις πρακτικές ενός συγκεκριμένου επιστήμονα που φέρει έναν ανάλογο προς αυτήν φιλοσοφικό προβληματισμό. Οι επιστημολογικές δε αντιλήψεις του Bohr είναι *μπολιασμένες*, όπως με οξυδέρκεια παρατηρεί ο Röseberg, με μια ‘*κρυμμένη ιστορικότητα*’ (Röseberg, 1994, σσ. 325–343), μια ιστορικότητα που αποτυπώνεται με διαυγή βεβαίως τρόπο στις θεωρήσεις των Α. Μπαλτά και G. Bachelard. Κωδικοποιώντας, λοιπόν, ορισμένες θεμελιακές θέσεις των θεωρήσεων αυτών, μπορούμε να συνοψίσουμε, υπό μια αμιγώς πλέον φιλοσοφική διατύπωση, τις μετα-επιστημονικές εκείνες αρχές που καθοδήγησαν τη μεθοδολογική πρακτική του Bohr καθ’ όλη τη διάρκεια εφαρμογής της AAB. Είναι αρχές που εγκολπώνονται, πράγματι, το στοιχείο της ‘*ιστορικότητας*’ και αναδεικνύουν, μέσω αυτού, τις προϋποθέσεις υπό τις οποίες ενέτασσε ο Bohr το αίτημα της επιστημονικής προόδου.

Ως τέτοιας φύσεως αρχές μπορούμε ν' αναγνωρίσουμε τις ακόλουθες:⁶⁴ **α)** Απόρριψη της θεμελιωτικής γνωσιολογίας και, κατ' επέκταση, άρνηση απόδοσης μιας προνομιακής θέσης στην αυστηρή λογική ή στην εμπειρία: η επιστήμη εξελίσσεται χωρίς να περιορίζεται από το οποιοδήποτε μη-αναθεωρήσιμο 'δεδομένο' είτε στο θεωρητικό είτε στο εμπειρικό επίπεδο. **β)** Αποδοχή της αδυναμίας απεμπλοκής του περιεχομένου της επιστημονικής γνώσης από το γνωρίζον υποκείμενο και, κατ' επέκταση, αναγνώριση της αδυναμίας διαχωρισμού των πειραματικών μεθόδων από τις θεωρητικές τους αγκιστρώσεις. **γ)** Υποστήριξη μιας ρεαλιστικής αντίληψης για τη φυσική πραγματικότητα, μιας αντίληψης που αφίσταται όμως δραστικά από τις παραδοσιακές ρεαλιστικές τοποθετήσεις: αναγνωρίζεται η οντολογική πρωτοκαθεδρία του φυσικού κόσμου έναντι των επιστημονικών θεωριών, ενώ επερωτάται, ταυτόχρονα, η δυνατότητα της απεικονιστικής του, μέσω αυτών, αναπαράστασης. Αναζητείται, παράλληλα, η φυσική ερμηνεία της επιστημονικής γνώσης, γεγονός που καθιστά τις εργαλειοκρατικές ή συμβασιοκρατικές θεωρήσεις, τουλάχιστον, ανεπαρκείς. **δ)** Αναζήτηση των όρων της επιστημονικής αντικειμενικότητας πέραν των όποιων γνωσιολογικών θεμελίων (κατά το πρότυπο του παραδοσιακού εμπειρισμού, του θετικισμού ή του καντιανισμού) και πέραν της οποιασδήποτε αντιστοιχιστικής θεωρίας περί αλήθειας (κατά το παραδοσιακό ρεαλιστικό πρότυπο). Η αντικειμενικότητα της επιστημονικής γνώσης τοποθετείται στην ορθολογική διατύπωση των επιστημονικών ισχυρισμών. Η εγκυρότητα δε των ισχυρισμών αυτών, καθώς και των εκάστοτε υιοθετούμενων κριτηρίων 'ορθολογικότητας', ελέγχεται από τη στέρεα κρίση της επιστημονικής κοινότητας. **ε)** Η ερευνητική δυναμική των ορθολογικών δομών δικαιολόγησης (υπό τον προαναφερθέντα ευρύ προσδιορισμό τους) εκλαμβάνεται ως ουσιωδώς υπέρτερη των παραγωγικών συναγωγών των 'κλειστών' λογικών σχημάτων. Ως εκ τούτου, η διαδικασία της επιστημονικής 'ανακάλυψης' αναγνωρίζεται ως μια *κατεξοχήν* ορθολογική διαδικασία που υποκινείται από ανοικτά επιστημονικά προβλήματα, χρησιμοποιεί τους υφιστάμενους γνωσιακούς πόρους και ακολουθεί δι'υποκειμενικώς ελέγξιμους συλλογισμούς. **στ)** Η επιστημονική γνώση αναπτύσσεται μέσω μιας δυναμικής διαδικασίας συνεχούς 'διαλόγου' μεταξύ πειράματος και θεωρίας, μεταξύ υπάρχουσας γνώσης και

⁶⁴ Η φυσική φιλοσοφία του Bohr θα μελετηθεί και θ' αναλυθεί εκτενώς στο δεύτερο μέρος της εργασίας μας (§B-3). Στο σημείο αυτό, επιχειρούμε απλώς να διατυπώσουμε με φιλοσοφικούς όρους τις μετα-επιστημονικές πτυχές της μεθοδολογικής του στρατηγικής, όπως αυτές αναδείχθηκαν στο πρώτο μέρος της εργασίας μας.

καινούργιων θεωρητικών προτάσεων, μεταξύ εναλλακτικών, εν τέλει, προσεγγίσεων. Η διαδικασία δε αυτή καταλήγει, ενίοτε, στη ‘ριζική’ αλλαγή της υφιστάμενης κοσμοθεώρησης – μέσω μίας ριζικής ‘ρήξης’ ή ‘τομής’ με το ‘ήδη γνωστό’ – σε μια αλλαγή, όμως, που όχι μόνο δεν καταλύει την *ουσιαστική* συνέχεια της επιστημονικής γνώσης, αλλά καταγράφει, αντίθετα, ένα σημαντικό βήμα επιστημονικής προόδου.

Ο ρητός ή υπόρρητος καθοδηγητικός ρόλος των μετα-επιστημονικών αυτών αρχών έχει ήδη αναδειχθεί από την εργασία μας κατά την ανάλυση του τρόπου συγκρότησης και εφαρμογής της AAB. Ένα συμπληρωματικό όμως σχόλιο, σε σχέση με τη συνέχεια της επιστημονικής γνώσης, μας παρέχει την ευκαιρία να επανασυνδεθούμε με το σημείο εκκίνησης του παρόντος κεφαλαίου. Υιοθετώντας λοιπόν και πάλι την οπτική γωνία της δομικής θεώρησης και χρησιμοποιώντας τους δικούς της όρους, θα επιχειρήσουμε να δείξουμε ότι η μετάβαση από το κλασικό στο κβαντικό ‘παράδειγμα’ όχι μόνο δεν καταλύει, αλλά αντίθετα πιστοποιεί την *ουσιαστική* συνέχεια της επιστημονικής γνώσης παρά τη σημειωθείσα ριζική ρήξη.

Αντιμετωπίζοντας λοιπόν την κβαντική θεωρία υπό τη ‘διαχρονική’ της κατ’ αρχήν προοπτική, μπορούμε να καταγράψουμε δύο σημαντικά πειστήρια συνέχειας. Το πρώτο σχετίζεται με την ‘καταγωγή’ της κβαντικής θεωρίας: η κβαντική θεωρία μπορεί βάσιμα να ειπωθεί ως συνέχεια της κλασικής, επειδή έλκει την καταγωγή της από τις ανοικτές εκείνες ‘οπές’ του κλασικού θεωρητικού δικτύου που δεν μπόρεσαν να καλυφθούν από τα εφόδια της υπάρχουσας γνώσης. Το δεύτερο σχετίζεται με τη διαδικασία ‘γέννησης’ της κβαντικής θεωρίας: η κβαντική θεωρία μπορεί βάσιμα να ειπωθεί ως συνέχεια της κλασικής, επειδή, μέσω της AAB, η διαδικασία της ‘γέννησής’ της τροφοδοτήθηκε ενεργώς και ποικιλοτρόπως από το κλασικό πλαίσιο.

Αντιμετωπίζοντας τώρα την κβαντική θεωρία υπό τη ‘συγχρονική’ της μορφή, διαπιστώνουμε ότι το θεωρητικό της δίκτυο συμπεριλαμβάνει ένα σύνολο εντελώς καινούργιων εννοιών, νόμων, σχέσεων και τεχνικών, καθώς και ένα σύνολο ανάλογων κλασικών εργαλείων. Τα διατηρηθέντα όμως εντός του κβαντικού πλαισίου κλασικά εργαλεία προσλαμβάνουν, μέσω των ενδοσυστημικών διασυνδέσεων του κβαντικού δικτύου, ένα *ριζικώς* διαφορετικό, ως προς το κλασικό τους ‘αντίστοιχο’, νόημα. Ένα νόημα που καθορίζεται από τη θέση τους εντός του κβαντικού δικτύου και από τη φυσική ερμηνεία της κβαντικής θεωρίας ως όλου. Επί πλέον, υπό την οπτική γωνία της κβαντικής θεωρίας, κατανοείται η περιορισμένη προβλεπτική ικανότητα της κλασικής θεωρίας και προσδιορίζονται επακριβώς, τα όρια προσεγγιστικής ισχύος των κλασικών νόμων.

Οφείλουμε όμως να υπογραμμίσουμε ότι η προσεγγιστική σύμπτωση των ποσοτικών αποτελεσμάτων των δύο θεωριών σε μια συγκεκριμένη φυσική κλίμακα δεν υποστηρίζει κατ' ουδένα τρόπο τον ισχυρισμό ότι η κλασική θεωρία αποτελεί οριακή περίπτωση της κβαντικής στο όριο $h \rightarrow 0$ (στο πεδίο, δηλαδή, των μεγάλων κβαντικών αριθμών ή των αργών ταλαντώσεων). Η δομή του χώρου Hilbert, φέροντας ως εγγενές της χαρακτηριστικό τη μη-διαχωρισιμότητα του 'όλου' στα συναπαρτίζοντα αυτό 'μέρη', είναι εκ λόγων αρχής ασύμβατη με τη *Boolean* λογική δομή της κλασικής θεωρίας: η κβαντική μηχανική, σύμφωνα με την αποδιδόμενη στον Weyl ρήση, «είναι η πρώτη ολιστική θεωρία που δουλεύει πραγματικά» (από d' Espagnat, 1995, σ. 312). Η απόδοση, επομένως, λογικών σχέσεων αντιστοίχισης μεταξύ των κλασικών και κβαντικών νόμων (Popper, 1972, σ. 202, Krajewski, 1977, σ. 6), μπορεί να κριθεί, τουλάχιστον, ως αποπροσανατολιστική. Η κατάσταση μπορεί, αντίθετα, να περιγραφεί ως εξής. Η κβαντική θεωρία, υπό τη 'συγχρονική' της μορφή, έχει ενσωματώσει στο διευρυμένο πεδίο εφαρμογής της τις επιτυχείς εφαρμογές της κλασικής. Εάν όμως η επιστήμη κρίνει ότι η διαφοροποίηση των ποσοτικών αποτελεσμάτων των δύο θεωριών μπορεί ν' αγνοηθεί σε κάποια φυσική κλίμακα, χρησιμοποιεί μεν την κλασική θεωρία στην κλίμακα αυτή, τα συναγόμενα όμως από τη χρήση αυτή αποτελέσματα νοηματοδοτούνται υπό το πρίσμα της κβαντικής κοσμοθεώρησης. Όπως λοιπόν διαπιστώνουμε, η επίκληση λογικών κανόνων αντιστοίχισης αδυνατεί σήμερα, όπως ακριβώς και κατά την περίοδο εφαρμογής της AAB, να τεκμηριώσει τη συνέχεια της επιστημονικής γνώσης.

Εν τούτοις, εάν βασιστούμε στα στοιχεία που συλλέξαμε από τη 'διαχρονική' και 'συγχρονική' εξέταση της κβαντικής θεωρίας, οδηγούμαστε, κατά τη γνώμη μας, σ' ένα και μόνο συμπέρασμα: η κβαντική θεωρία αποτελεί πράγματι *συνέχεια* της κλασικής, ενώ, παράλληλα, είναι *ριζικώς διαφορετική* από αυτήν. Και είναι ριζικώς διαφορετική, όχι μόνο ως προς τη λογική της σύνταξη, αλλά και ως προς τη θέαση της φυσικής πραγματικότητας που έχει πλέον διανοίξει. Μια τέτοια βεβαίως τεκμηρίωση της επιστημονικής συνέχειας, παρότι μετέρχεται ορθολογικών κριτηρίων και συλλογισμών, αδυνατεί να υπαχθεί σε λογικώς αδιαμφισβήτητους κανόνες. Η ορθολογική της επομένως εγκυρότητα τίθεται, κατά το πνεύμα του Α. Μπαλά, του Bachelard ή ακόμη και του Bohr, υπό την κρίση της επιστημονικής κοινότητας.

5. Το υποκείμενο της 'ανακάλυψης'. Στα σημεία 2 και 3 της παρούσας ενότητας προσπαθήσαμε ν' αναπτύξουμε τους λόγους που καθιστούν κατά τη γνώμη μας

δυνατό έναν μάλλον ακριβή προσδιορισμό τόσο του χρονικού εύρους όσο και του φορέα ‘ανακάλυψης’ της κβαντικής θεωρίας (σχήμα 1). Εάν όμως καλούμασταν να κατονομάσουμε το υποκείμενο της συγκεκριμένης ‘ανακάλυψης’ θα είμαστε αναγκασμένοι να ισορροπήσουμε μεταξύ των ακόλουθων δύο απαντήσεων.

Υπό μια συγκεκριμένη οπτική γωνία, η απάντησή μας θα έτεινε να επιβεβαιώσει τον ισχυρισμό του Kuhn ότι «οι επιστημονικές ανακαλύψεις δεν συνιστούν κατά κανόνα μεμονωμένες πράξεις που μπορούν ν’ αποδοθούν σ’ ένα υποκείμενο ή σε μια χρονική στιγμή» (Kuhn, 1970/1981, σ. 125). Η απάντησή μας θα έτεινε δηλαδή να προκρίνει την ιδέα ενός ‘συλλογικού’ υποκειμένου της ‘ανακάλυψης’ και να υποδείξει ως τέτοιο την επιστημονική κοινότητα της περιόδου 1912 - 1927. Η θέση αυτή μπορεί να υποστηριχθεί από το ακόλουθο επιχείρημα. Ο Bohr ήταν βεβαίως εκείνος που προσέφερε, μέσω της συμπληρωματικότητας, την πρώτη συνεκτική ερμηνεία της κβαντικής θεωρίας, μια ερμηνεία που σηματοδότησε, πράγματι, την αλλαγή ‘παραδείγματος’. Είναι όμως αμφίβολο εάν θα έφθανε ποτέ σ’ αυτήν χωρίς την καθοριστική σύμπραξη μιας πληθώρας επιστημόνων που διερευνούσαν το κβαντικό πρόβλημα εκείνη την περίοδο. Αρκεί να θυμηθούμε ότι, κατά τη συγκεκριμένη περίοδο, είδε το φως μια σειρά επί μέρους, αλλά εξέχουσας σημασίας, ‘ανακαλύψεων’, οι οποίες συνέβαλαν με κρίσιμο τρόπο στη *σταδιακή* διαμόρφωση της ιδέας της συμπληρωματικότητας. Η θεωρία των μητρών (1925) και οι σχέσεις απροσδιοριστίας (1927) του Heisenberg, η κυματική θεωρία του Schrödinger (1926), η πιθανοκρατική ερμηνεία του Born (1926), η κβαντική άλγεβρα του Dirac (1925), η κυματική θεωρία της ύλης του de Broglie και η απαγορευτική αρχή του Pauli (1925) αντιπροσωπεύουν ορισμένα κορυφαία παραδείγματα. Οι ‘ανακαλύψεις’ αυτές, πέραν της τεράστιας επιστημονικής αξίας του περιεχομένου τους, προσέφεραν ένα διαφορετικό τρόπο χειρισμού των προβλημάτων, διάνοιγαν μια διαφορετική οπτική γωνία ως προς τον χαρακτήρα και την εξέλιξη της επιστημονικής γνώσης, κατέθεταν, τελικά, μια διαφορετική κοσμοαντίληψη. Έτσι, κάθε μια από αυτές, παρότι δεν στάθηκε από μόνη της ικανή να οδηγήσει σε μια ριζική αλλαγή του τρόπου θέασης της φυσικής πραγματικότητας, μπορεί εύλογα να εκληφθεί ως *αναπόσπαστο* κομμάτι της *συλλογικής* εκείνης διαδικασίας που επέφερε τη συγκεκριμένη αλλαγή.

Υπό μια διαφορετική όμως οπτική γωνία, θα τείναμε να προτάξουμε το γεγονός ότι ήταν μόνο ο Bohr εκείνος που συνέδεσε όλη τη διαθέσιμη τότε γνώση σε μια συνεκτική φυσική θεωρία που τερμάτιζε *τελεσίδικα* την επιστημονική και μετα-επιστημονική κυριαρχία της κλασικής κοσμοθεώρησης. Και ήταν μόνο εκείνος που

όχι μόνο αναγνώρισε τη θεμελιακή ‘παραδοχή υποβάθρου’ της κλασικής θεωρίας, αλλά φάνηκε επίσης πρόθυμος ν’ αποδεχθεί και τις προκύπτουσες από την αναγνώριση αυτή συνέπειες, όσο κι’ αν οι συνέπειες αυτές συγκλόνιζαν τα θεμέλια που στήριζαν την έως τότε άσκηση της φυσικής επιστήμης.

Θα μπορούσαμε ίσως να καταλήξουμε σ’ ένα συνολικό συμπέρασμα, εάν επιχειρούσαμε να υπερβούμε το συγκεκριμένο δίλημμα. Λαμβάνοντας δηλαδή υπόψη μας τον ισχυρισμό του Feyerabend ότι «το περιεχόμενο μιας θεωρίας εξαρτάται από τον τρόπο που αυτό εντάσσεται ... στο σύνολο των *εναλλακτικών προτάσεων* που συζητούνται κάποια συγκεκριμένη ιστορική περίοδο» (Feyerabend, 1981, σ. 74), θα μπορούσαμε εν τέλει να δούμε το περιεχόμενο της συμπληρωματικότητας ως μια *έμπνευσμένη συνάρθρωση* των αποτελεσμάτων ενός *συνόλου* ατομικών προσπαθειών. Προσπαθειών που, μέσω των αμοιβαίων τους συγκλίσεων ή αντιπαραθέσεων, προωθούσαν την επιστημονική έρευνα προς τον κατακτηθέντα τελικώς στόχο: την ‘ανακάλυψη’ της κβαντικής θεωρίας. Η έμπνευση για την κρίσιμη τελική συνάρθρωση ανήκει αναμφίβολα στον Bohr. Το επιστημονικό όμως περιεχόμενο της συγκεκριμένης συνάρθρωσης εκφράζει το απόσταγμα της δράσης, των πρακτικών και των προβληματισμών της επιστημονικής κοινότητας ως συλλογικού υποκειμένου.

Μια τέτοια βεβαίως θεώρηση τείνει να υπογραμμίσει ακόμη περισσότερο την τεράστια επιστημολογική αξία της AAB. Γιατί η AAB ήταν κυρίως εκείνη που διαμόρφωσε το πλαίσιο ενός μεθοδολογικώς οροθετημένου ‘διαλόγου’ μεταξύ πειράματος και θεωρίας, μεταξύ παλαιού και νέου, μεταξύ των νέων θεωρητικών προτάσεων, μεταξύ των ποικιλόμορφων, εν τέλει, επιστημολογικών και φιλοσοφικών αντιλήψεων εκείνης της περιόδου. Τα εντυπωσιακά δε αποτελέσματα της εφαρμογής της προσφέρουν ένα ισχυρό, αναμφίβολα, επιχείρημα σε όλους εκείνους που θα υποστήριζαν, μαζί με τον Feyerabend, ότι «η ποικιλομορφία των θέσεων συνιστά *μεθοδολογική αναγκαιότητα* τόσο των επιστημών όσο και, *a fortiori*, της φιλοσοφίας» (Feyerabend, 1981, σ. 76).

ΜΕΡΟΣ ΔΕΥΤΕΡΟ

**ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΦΙΛΟΣΟΦΙΚΗΣ ΘΕΩΡΗΣΗΣ
ΤΟΥ NIELS BOHR**

**Η ΦΥΣΙΚΗ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ
ΥΠΟ ΤΗΝ ΟΠΤΙΚΗ ΓΩΝΙΑ ΤΗΣ ΣΥΜΠΛΗΡΩΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑΣ**

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ

ΤΟ ΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑ ΤΗΣ ΣΥΜΠΛΗΡΩΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΥΠΟ ΤΗΝ ΠΡΩΤΑΡΧΙΚΗ ΤΟΥ ΔΙΑΤΥΠΩΣΗ ΑΠΟΣΑΦΗΝΙΣΗ ΕΝΝΟΙΩΝ

Το 1927, το συνέδριο φυσικής του Como τιμούσε τα εκατό χρόνια από τον θάνατο του Alessandro Volta. Από το βήμα του συγκεκριμένου συνεδρίου, στις 16 Σεπτεμβρίου του 1927, ο Bohr προέβη στην πρώτη δημόσια ανακοίνωση της συμπληρωματικότητας και της προτεινόμενης, μέσω αυτής, φυσικής ερμηνείας της κβαντικής θεωρίας. Η διάλεξη του Como, υπό την πρωτότυπη μορφή της, δεν έχει διασωθεί. Έτσι, η πλέον ακριβής εικόνα του περιεχομένου της μάς αποκαλύπτεται από ένα σχεδόν πλήρες χειρόγραφο του Bohr που φέρει ημερομηνία 13 Σεπτεμβρίου 1927 και τίτλο «Θεμελιώδη προβλήματα της κβαντικής θεωρίας» (Bohr, 1927γ, “Fundamental problems of the quantum theory”, *NBCW6*, σσ. [73]-[89]).

Από μεταγενέστερες περιγραφές επιστημόνων που ήταν παρόντες στο Como μαθαίνουμε ότι ο επαναστατικός χαρακτήρας της εισήγησης του Bohr δεν έγινε άμεσα αντιληπτός. Κατά την αντίληψη, λόγου χάριν, του Klein, «η παρουσίαση ήταν τόσο σύντομη, ώστε δεν μπόρεσε κανένας να την κατανοήσει πραγματικά» (Klein, 1963, *AHQP*, σ. 11). Ο δε Rosenfeld περιέγραψε τις προσωπικές του εντυπώσεις ως εξής: «όταν διάβασα τη διάλεξη του Como, διαμόρφωσα την άποψη ότι ο Bohr παρουσίαζε με περίπλοκο τρόπο θέματα που ήταν τρέχοντα εκείνη την περίοδο στο Göttingen και είχαν ήδη εκφρασθεί από τον Born με πολύ πιο απλό τρόπο. Δεν μπόρεσα να διακρίνω ή να αισθανθώ κάτι από τη σημασία της διάλεξης και υποθέτω ότι η γενικότερη αίσθηση στο Göttingen ήταν παρόμοια» (Rosenfeld, 1963β, *AHQP*, σ. 19). Ο ίδιος ο Bohr συνήθιζε αργότερα να λέει ότι ήταν ο Wigner εκείνος που είχε αποτυπώσει με τον πλέον εύστοχο τρόπο τις αντιδράσεις του ακροατηρίου, όταν αποφάνθηκε ότι «η διάλεξη αυτή δεν επρόκειτο να κάνει κανέναν από όσους την παρακολούθησαν ν’ αλλάξει τη γνώμη του για την κβαντική μηχανική» (όπως η ρήση αυτή μεταφέρεται από τους Kalckar και Rosenfeld, *NBCW6*, σσ. [29]-[30]).

Το 5^ο συνέδριο του Solvay, στις 24 – 29 Οκτωβρίου του 1927, προσέφερε στον Bohr την ευκαιρία να παρουσιάσει για δεύτερη φορά την ερμηνευτική του προσέγγιση και μάλιστα σ’ ένα ακροατήριο που συμπεριλάμβανε όλους τους επιφανείς επιστήμονες της περιόδου, μη εξαιρουμένου του Einstein. Καθώς δε στο

περιθώριο του συνεδρίου ο Bohr δέχθηκε για πρώτη φορά την πρόκληση των νοητικών πειραμάτων του Einstein, η ιστορική έρευνα τοποθετεί στη συνάντηση αυτή την απαρχή της μεταξύ των δύο επιστημόνων ‘διαμάχης’ (Pais, 1991, σ. 318-319). Τα αποτελέσματα της παρουσίασης στο Solvay υπήρξαν ενθαρρυντικότερα από τα αντίστοιχα στο Como. Ο Ehrenfest, λόγου χάριν, κατέγραψε με τον ακόλουθο ενθουσιώδη τρόπο την προσωπική του αίσθηση: «Βρυξέλλες – Solvay, ήταν κάτι υπέροχο! Lorenz, Planck, Einstein, Heisenberg, Kramers, Pauli, Dirac, Fowler, Brillouin, Bragg, Compton, Langmuir, Schrödinger, de Broglie, Curie, Wilson, Richardson, Knudson, Debye και τέλος ο Bohr που φάνταζε σαν γίγαντας μπροστά σε όλους. Στην αρχή δεν έγινε κατανοητός από κανέναν (ο Born ήταν επίσης εκεί). Στη συνέχεια, όμως, βήμα προς βήμα τους νικούσε όλους» (Γράμμα του Ehrenfest προς τους Goudsmit, Uhlenbeck και Dieke, 3 Νοεμβρίου 1927, *NBCW6*, σσ. [37]-[38]).

Αργότερα, ο Heisenberg απέδωσε στις συγκεκριμένες ‘νίκες’ την ακόλουθη σημασία: «η συνάντηση των Βρυξελλών μας παρείχε την ευκαιρία να διαπιστώσουμε ότι μπορούσαμε ν’ αντιμετωπίσουμε επιτυχώς τις οποιεσδήποτε ενστάσεις, τις οποιεσδήποτε απόπειρες διάψευσης της θεωρίας. Μπορούσαμε πράγματι να διαλευκάνουμε το οποιοδήποτε ζήτημα: χρησιμοποιούσαμε τις ‘παλιές’ [τις ‘κλασικές’] λέξεις, τις περιορίζαμε μέσω των σχέσεων αβεβαιότητας και επιτυγχάναμε μια πλήρη και συνεκτική εικόνα». Όταν δε ρωτήθηκε ποιους συμπεριλάμβανε στη λέξη ‘μας’, ο Heisenberg απάντησε: «θα έλεγα ότι, εκείνη την περίοδο, είμαστε κατ’ ουσία ο Bohr, ο Pauli κι’ εγώ. Ίσως, μόνο οι τρεις μας. Πολύ σύντομα, όμως, ‘αυτό’ άρχισε να διαχέεται» (Heisenberg, 1963, *AHQP*, σ. 21).

‘Αυτό’ που είχε αρχίσει να διαχέεται ήταν ό,τι ο Heisenberg αποκάλυψε, το 1929, ‘πνεύμα της Κοπεγχάγης’, μια έκφραση που λειτούργησε με αποπροσανατολιστικό πολλές φορές τρόπο. Γιατί, μπορεί μεν η σύλληψη της συμπληρωματικότητας να ευνοήθηκε από την ιδιαίτερη φιλοσοφική κοσμοθεώρηση του Bohr, μια κοσμοθεώρηση που εγχαράχθηκε, αναμφίβολα, στο αναδυόμενο από την Κοπεγχάγη ‘πνεύμα’, η έννοια όμως της συμπληρωματικότητας οφείλει να ειπωθεί, όπως ακριβώς υπέδειξε ο Rosenfeld, «όχι ως έκφραση μιας ιδιαίτερης φιλοσοφικής θέσης, αλλά ως εγγενές χαρακτηριστικό της θεωρίας, ένα χαρακτηριστικό που έχει την ίδια αξία με την τυπική της μορφή και είναι αδιαχώριστο από αυτήν» (Rosenfeld, 1969, *NBCW6*, σ. [28]). Πράγματι, η έννοια της συμπληρωματικότητας, μια έννοια που ανέτρεψε *εκ θεμελίων* την κλασική κοσμοθεώρηση, ογδόντα περίπου χρόνια μετά τη αρχική της διατύπωση και παρά τη θεαματική περαιτέρω ανάπτυξη του κβαντικού

φορμαλισμού, εξακολουθεί ν' αναγνωρίζεται ως εγγενές χαρακτηριστικό τόσο της λογικής δομής όσο και της φυσικής ερμηνείας της σύγχρονης κβαντικής θεωρίας. Υπ' αυτή δε ακριβώς την οπτική γωνία, η διάλεξη του Como μπορεί να ειπωθεί, όπως ήδη υποστηρίξαμε, ως σημείο ανάδυσης του κβαντικού 'παραδείγματος' (§A-6).

Στο παρόν κεφάλαιο, θα επικεντρώσουμε κυρίως την προσοχή μας στην πρώτη δημοσιευμένη εκδοχή της διάλεξης του Como με τίτλο «Το κβαντικό αξίωμα και η πρόσφατη εξέλιξη της ατομικής θεωρίας» (“The quantum postulate and the recent development of atomic theory”, Bohr, 1927a/1928, *NBCW6*, σσ. [147]-[158] και *ATDN*, σσ. 52-91). Το κείμενο αυτό, καθώς αποτυπώνει την πρώτη συνεκτική απάντηση στα κρίσιμα επιστημονικά ερωτήματα της περιόδου 1913 – 1927, αποκαλύπτει με τον πιο άμεσο τρόπο την οργανική σύνδεση της αποδοθείσας μέσω της συμπληρωματικότητας ερμηνείας με τον αναπτυχθέντα, κατά την περίοδο γέννησης της κβαντικής θεωρίας, προβληματισμό. Επειδή όμως η ιδιότυπη ορολογία του Bohr και η ασαφής πρωταρχική διατύπωση των ισχυρισμών του συσκοτίζουν πολλές φορές το περιεχόμενο της προτεινόμενης ερμηνείας, θα επιχειρήσουμε ν' αναλύσουμε το αρχικό του, περί συμπληρωματικότητας, επιχείρημα δια της συστηματικής αντιπαραβολής της αρχικώς χρησιμοποιηθείσας ορολογίας με την μεταγενέστερη εκλεπτυσμένη της μορφή. Μια τέτοια ανάλυση, πέραν του ότι πιστοποιεί την άρρηκτη συνέχεια των επιστημολογικών αντιλήψεων του Bohr κατά την προ- και τη μετά- τη συμπληρωματικότητα εποχή, ευνοεί, παράλληλα, και την άρση των όποιων παρανοήσεων σε σχέση με τους μετά τη συμπληρωματικότητα ισχυρισμούς του. Γιατί, σε αντίθεση με ό,τι έχει συχνά υποστηριχθεί,⁶⁵ η εργασία μας τείνει να καταδείξει ότι η διάλεξη του Como προσέφερε, πράγματι, την πρώτη συνεκτική και ακλόνητη, έως σήμερα, φυσική ερμηνεία της κβαντικής θεωρίας: οι μεταγενέστερες αλλαγές ορολογίας αποσαφήνισαν απλώς το φυσικό της περιεχόμενο, ενίσχυσαν την αναλυτική της ακρίβεια και ενδυνάμωσαν την εξηγητική της ισχύ.

⁶⁵ Η συνέχεια των αντιλήψεων του Bohr έχει ποικιλοτρόπως αμφισβητηθεί. Ο Lakatos, λόγου χάριν, διαπιστώνει μία δραστική 'υποβάθμιση' των επιστημονικών κριτηρίων του Bohr κατά την μετά τη συμπληρωματικότητα εποχή (Lakatos, 1984), ενώ ο Held διακρίνει μία ουσιαστική μεταστροφή της πρότερης έκδηλα ρεαλιστικής – όπως ισχυρίζεται – στάσης του Bohr μετά τη διαμάχη του με τους EPR: ο Bohr εξωθήθηκε στον αντι-ρεαλισμό κατά τη διάρκεια της ισχυρής του αντιπαράθεσης με τον Einstein (Held, 1994). Επίσης, ο Feyerabend, προτού κατανοήσει σε βάθος την προτεινόμενη από τον Bohr ερμηνεία (μία κατανόηση που γίνεται φανερή σε μεταγενέστερες αναλύσεις του, π.χ. 1981ε, σσ. 247-297), υποστήριξε ότι οι υπερασπιστές της συμπληρωματικότητας, συμπεριλαμβανομένου του Bohr, επιχειρούσαν ν' απαντήσουν στην οποιαδήποτε κριτική μέσω της *ανάπτυξης* και όχι της *αναδιατύπωσης* των επιχειρημάτων τους, γεγονός που δημιουργούσε τη λανθασμένη εντύπωση ότι η σωστή απάντηση ήταν πάντα εκεί, κάτι που στην πραγματικότητα δεν συνέβαινε (π.χ. ο Feyerabend είχε, πολύ πριν από τον Held, υποστηρίξει ότι ο Bohr αναγκάστηκε να μεταβάλει ουσιωδώς τις θέσεις του για ν' απαντήσει με επάρκεια στις ενστάσεις των EPR, 1962β).

1. Η 'ουσία' της κβαντικής θεωρίας εδράζεται στη 'μοναδικότητα' ('individuality') των ατομικών διαδικασιών. Στο κείμενο του Como, ο Bohr επέλεξε να εκκινήσει την εργασία του με την ανάδειξη της βαθύτερης 'ουσίας' της κβαντικής θεωρίας.

(B1.1) «Η ουσία της κβαντικής θεωρίας εκφράζεται μέσω του αποκαλούμενου κβαντικού αξιώματος, το οποίο προσαρτά σε κάθε ατομική διαδικασία μια ουσιαστική ασυνέχεια ή μάλλον 'μοναδικότητα' ('individuality') που είναι εντελώς άγνωστη στις κλασικές θεωρίες, ενώ στην κβαντική θεωρία συμβολίζεται με το κβάντο δράσης του Planck» (Bohr, 1927α, *ATDN*, σ. 53).

Η πρόταξη της 'μοναδικότητας' έναντι της 'ασυνέχειας' τοποθετούσε εξ αρχής τον πυρήνα της κβαντικής θεωρίας στον υποδεικνυόμενο από τον κβαντικό φορμαλισμό ολιστικό χαρακτήρα των ατομικών διαδικασιών. Γιατί η έννοια της 'μοναδικότητας' αποκτά φυσικό περιεχόμενο μόνο εάν κάθε υποατομική διαδικασία εννοηθεί ως μια 'ολότητα' με ιδιαίτερη 'υπόσταση' και 'ταυτότητα'. Μια υπόσταση *μη-αναγόμενη* στην εξατομικευμένη υπόσταση των συστατικών της μερών και μια ταυτότητα *μη-καθοριζόμενη* από τα φυσικά τους γνωρίσματα και τις μεταξύ τους αλληλεπιδράσεις. Καθώς όμως ο Bohr απέφευγε πάντοτε με προσοχή τους αμιγείς οντολογικούς ισχυρισμούς, επικέντρωσε την προσοχή του σ' εκείνο το πεδίο όπου ο ολιστικός χαρακτήρας του κβαντικού φορμαλισμού γεννούσε καινοφανή για τη φυσική επιστήμη επιστημολογικά προβλήματα: στο πεδίο της ανθρώπινης εμπειρίας.

2. Διασάφηση της σημασίας του όρου 'φαινόμενο'. Ο Bohr ανέδειξε το διαφορετικό καθεστώς της παρατηρησιακής διαδικασίας εντός του πλαισίου της κλασικής και της κβαντικής θεωρίας, αντίστοιχα, με τον ακόλουθο τρόπο:

(B1.2) «Έως τώρα, η συνήθης περιγραφή των φυσικών φαινομένων ήταν βασισμένη εξ ολοκλήρου στην ιδέα ότι τα υπό διερεύνηση φαινόμενα είναι δυνατό να παρατηρηθούν χωρίς να διαταραχθούν κατά αισθητό τρόπο. ... Το κβαντικό όμως αξίωμα υποδεικνύει πλέον ότι κάθε παρατήρηση των ατομικών φαινομένων εμπεριέχει μια αλληλεπίδραση με τη συσκευή μέτρησης που είναι αδύνατο ν' αγνοηθεί» (στο ίδιο, σσ. 53, 54).

Όπως είναι φανερό, ο όρος 'φαινόμενα' χρησιμοποιείται εδώ κατά τον τετριμμένο στη φυσική επιστήμη τρόπο. Αναφέρεται, δηλαδή, στα διερευνούμενα, μέσω της παρατήρησης ή της μέτρησης, φυσικά συστήματα. Ο Bohr διατήρησε τη συγκεκριμένη ορολογία για αρκετά χρόνια. Το 1929, λόγου χάριν, στον πρόλογο του τόμου «Η ατομική θεωρία και η περιγραφή της φύσης» (Bohr, *ATDN*, 1929β, σσ. 1-24), επανέλαβε τον προηγούμενο ισχυρισμό με τον ακόλουθο τρόπο.

(B1.3) «Η πεπερασμένη τιμή του κβάντου δράσης εμποδίζει παντελώς τη σαφή διάκριση ενός φαινομένου από τη συσκευή που χρησιμοποιείται για την παρατήρησή του. Η διάκριση δε αυτή, καθώς αποτελεί το υπόστρωμα της συνηθισμένης έννοιας της παρατήρησης, είναι εκείνη που θέτει επί της ουσίας τη βάση επί της οποίας στηρίζονται οι κλασικές ιδέες της κίνησης» (Bohr, 1929β, *ATDN*, σσ. 11-12).

Ο ισχυρισμός του Bohr περί της μη δυνατότητας ‘διάκρισης’ των υποατομικών ‘φαινομένων’ από τη ‘συσκευή μέτρησης’ αποσκοπούσε ν’ αναδείξει, κατά συνεπή προς τον θεμελιακό του ισχυρισμό τρόπο, το στοιχείο της ‘ολότητας’ (‘wholeness’) που χαρακτηρίζει την κβαντική μέτρηση: κάθε παρατηρησιακή/ μετρητική διαδικασία που αφορούσε υποατομικά φαινόμενα, καθώς εντασσόταν εκ φύσεως στην κατηγορία των υποατομικών διαδικασιών, εθεάτο από την κβαντική θεωρία ως ‘μοναδική’, ως μη επιδεχόμενη τη ‘διάκριση’ των συστατικών της μερών. Υπό το πρίσμα όμως μιας αποσπασματικής ανάγνωσης, η χρησιμοποιούμενη στα ανωτέρω αποσπάσματα ορολογία είναι δυνατό να δημιουργήσει σοβαρές παρανοήσεις. Γιατί η κβαντική μέτρηση παρουσιάσθηκε ως μία διαδικασία ‘αλληλεπίδρασης’ μεταξύ του υπό παρατήρηση συστήματος και της συσκευής μέτρησης, μία διαδικασία που, σε αντιδιαστολή προς την κλασική μέτρηση, ‘διατάρασσε αισθητά’ το υπό παρατήρηση σύστημα (B1.2). Και μία τέτοια παρουσίαση παρέπεμπε εύλογα σε μια ‘μη-ελέγξιμη’, έναντι της ‘ελέγξιμης’ στην κλασική μέτρηση, ‘διατάραξη’ της κατά τα άλλα καλώς ορισμένης κατάστασης του υπό παρατήρηση συστήματος.

Η συγκεκριμένη βεβαίως ανάγνωση βρίσκεται σε πλήρη αντίθεση με τη θέση που ο Bohr θέλησε ευθύς εξ αρχής να προβάλλει. Γιατί, εάν το υπό παρατήρηση σύστημα και, κατ’ επέκταση, η μετρητική συσκευή διατηρούσαν ανά πάσα στιγμή την καλώς ορισμένη τους κατάσταση ή, με οντολογικούς όρους, την εξατομικευμένη τους υπόσταση και ταυτότητα, η διαμορφούμενη κατά τη μετρητική διαδικασία ολότητα έχανε πλέον τη ‘μοναδικότητά’ της. Η περί ‘διατάραξης’ όμως ορολογία συσκοτίζε τη θεμελιακή διαφοροποίηση της θεώρησης του Bohr από την ερμηνευτική γραμμή του Heisenberg στην εμπεριέχουσα τις σχέσεις απροσδιοριστίας εργασία του.⁶⁶ Το γεγονός δε αυτό δημιουργούσε – και δημιουργεί ακόμη – σοβαρότατες πολλές φορές συγχύσεις. Γιατί, εάν υπέθετε κανείς, μαζί με τον Heisenberg, ότι το υπό παρατήρηση σύστημα βρισκόταν ανά πάσα στιγμή σε μια καλώς καθορισμένη κατάσταση, θα

⁶⁶ Μπορούμε να θυμηθούμε ότι η ερμηνευτική προσέγγιση του Heisenberg, καθώς ανήγαγε ευθέως την αδυναμία προσδιορισμού της κατάστασης του υπό μελέτη συστήματος στην αδυναμία ταυτόχρονης μέτρησης των αντίστοιχων, ως προς την κατάσταση αυτή, συζυγών μεταβλητών, μετέτρεπε ολόκληρο το κβαντικό οικοδόμημα σε μία ‘σύμβαση’ που δικαιωνόταν αποκλειστικά από την επιτυχή οπερασιοναλιστική της χρήση (§A-5.2.3, σημείο 3). Όπως επιχειρήσαμε να δείξουμε, η ερμηνεία του Bohr, καθώς ανήγαγε τους περιορισμούς της μέτρησης στην αδυναμία επακριβούς προσδιορισμού της κατάστασης του υπό μελέτη συστήματος – εξ αιτίας της διαμορφούμενης κατά τη μετρητική διαδικασία ‘ολότητας’ – αποστασιοποιήθηκε ολοσχερώς από τους οπερασιοναλιστικούς χειρισμούς του Heisenberg και προσέδωσε όχι μόνο στις σχέσεις απροσδιοριστίας, αλλά και σ’ ολόκληρο το κβαντικό οικοδόμημα ένα ουσιαδώς διαφορετικό φυσικό περιεχόμενο (§A-5.2.3, σημείο 4). Έτσι, ο ισχυρισμός, λόγου χάριν, του Hughes ότι «ο Bohr υιοθετεί απερίφραστα τη θέση του Heisenberg ότι η αρχή της απροσδιοριστίας εκφράζει τους περιορισμούς της μετρητικής διαδικασίας» (Hughes, 1992, σ. 267) αποκαλύπτει με τον πιο ξεκάθαρο τρόπο τις υφιστάμενες ακόμη συγχύσεις.

μπορούσε, μέσω μιας οντολογικής μεταφοράς, να επερωτήσει εύλογα την ‘πληρότητα’ της κβαντικής θεωρίας. Θα μπορούσε δηλαδή να ισχυριστεί, μαζί με τους EPR, ότι μια ‘πλήρης’ φυσική θεωρία όφειλε να προβλέπει ταυτόχρονα και επακριβώς, εκείνα τα ‘στοιχεία της φυσικής πραγματικότητας’ (the ‘elements of reality’) ή, ισοδύναμα, τις ‘αντιστοιχούσες σ’ αυτά φυσικές ποσότητες’ (the ‘corresponding physical quantities’, π.χ. τη θέση και την ορμή), που απαιτούνταν για τον (κατά το κλασικό πρότυπο) ‘πλήρη’ προσδιορισμό της κατάστασης του υπό θεώρηση συστήματος (Einstein, Podolsky & Rosen, 1935, σσ. 138-141). Καθώς, λοιπόν, η μεταξύ των Bohr και EPR αντιπαράθεση κατέδειξε ότι οι πρωτόγνωροι και ρηξικέλευθοι, ως προς τα έως τότε επιστημονικά ειωθότα, ισχυρισμοί επιζητούσαν τη μέγιστη γλωσσική ακρίβεια, ο Bohr προχώρησε, το 1938, στην ακόλουθη κρίσιμη, σε σχέση με την καθαρότητα της ερμηνευτικής του προσέγγισης, διασάφηση.

(B1.4) «Η ασυνήθιστη κατάσταση με την οποία βρισκόμαστε αντιμέτωποι στην κβαντική θεωρία απαιτεί μέγιστη πρόνοια όσον αφορά τη χρησιμοποιούμενη ορολογία. Μιλώντας, όπως συχνά έχει συμβεί, για τη διατάραξη ενός φαινομένου κατά την παρατήρησή του ή, ακόμη, για την απόδοση φυσικών γνωρισμάτων στα αντικείμενα μέσω της μετρητικής διαδικασίας, είναι πράγματι δυνατό να προκύψουν συγχύσεις, εφόσον οι συγκεκριμένες προτάσεις ... είναι πάντα διφορούμενες. Ταιριάζει περισσότερο στη δομή και στην ερμηνεία του κβαντομηχανικού συμβολισμού, καθώς επίσης και στις θεμελιώδεις επιστημολογικές αρχές, να κατανοούμε με τη λέξη ‘φαινόμενο’ τα αποτελέσματα που παρατηρούνται σε δεδομένες πειραματικές συνθήκες. Οι συνθήκες αυτές, οι οποίες συμπεριλαμβάνουν τις ιδιότητες και τους χειρισμούς όλων των συσκευών που εμπλέκονται ουσιαστικά στη μετρητική διαδικασία, συνιστούν τη μοναδική πράγματι βάση για τον ορισμό εκείνων των εννοιών, μέσω των οποίων ένα φαινόμενο είναι δυνατό να περιγραφεί» (Bohr, 1938a, C&C, σ. 104).

Ο Rosenfeld απέδωσε τη συγκεκριμένη αλλαγή στο ακόλουθο κίνητρο. «Για τον Bohr», ισχυρίστηκε, «το κβαντικό αξίωμα έθετε ένα όριο στην ανάλυση της αλληλεπίδρασης μεταξύ του συστήματος και της πειραματικής διάταξης που καθόριζε τις συνθήκες της παρατήρησής του. Ήταν, συνεπώς, το άτμητο όλο, συνιστώμενο από το σύστημα και τις συσκευές παρατήρησης, εκείνο που όριζε το ‘φαινόμενο’» (Rosenfeld, 1953, από d’ Espagnat, 1995, σ. 221).

Η ύστερη χρήση του όρου ‘φαινόμενο’ θα μας απασχολήσει διεξοδικότερα στη συνέχεια (§B-2). Προς το παρόν, αρκεί να υπογραμμίσουμε τα εξής. Ο Bohr, για να υπερβεί την περί ‘διατάραξης’ ορολογία και ν’ αποδώσει τη δέουσα έμφαση στον ολιστικό χαρακτήρα της κβαντικής παρατήρησης/ μέτρησης, μετέβαλε το νόημα της λέξης ‘φαινόμενο’, μεταβάλλοντας ολοσχερώς την αναφορά της. Πράγματι, η συγκεκριμένη λέξη έπαυσε έκτοτε ν’ αναφέρεται στο υπό παρατήρηση σύστημα ως εάν αυτό ν’ αντιπροσώπευε μια ‘πραγματική’ (απόλυτη) φυσική οντότητα, ένα κατά

Kant 'πράγμα καθεαυτό'. Η λέξη 'φαινόμενο' αναφερόταν πλέον στην εμφάνιση της υπό θεώρηση οντότητας εντός ενός επακριβώς προσδιορισμένου πειραματικού πλαισίου (B1.4). Κατ' αυτόν τον τρόπο, ο Bohr μετέφερε τα φυσικά 'φαινόμενα' από το πεδίο της 'φυσικής πραγματικότητας' στο πεδίο της 'ανθρώπινης εμπειρίας'.

Για να κατανοήσουμε όμως καλύτερα τους λόγους που υποκίνησαν τη συγκεκριμένη μεταφορά, οφείλουμε να επανέλθουμε στο πρωταρχικό επιχείρημα του Bohr και να παρουσιάσουμε, όπως ακριβώς κι' εκείνος, το διαφορετικό καθεστώς της παρατηρησιακής/ μετρητικής διαδικασίας εντός του κλασικού και του κβαντικού πλαισίου. Γιατί, όπως θα διαπιστώσουμε στη συνέχεια, η ύστερη σημασία του όρου 'φαινόμενο', όντας επί της ουσίας εμβαπτισμένη στην έννοια της 'μοναδικότητας', αποτελούσε ευθύς εξ αρχής τη βάση επί της οποίας ο Bohr θεμελίωσε την ερμηνεία του. Όπως επισήμανε ο Rosenfeld, «η αντίκρουση της κριτικής του Einstein δεν προσέθεσε κανένα καινούργιο στοιχείο στην αντίληψη του Bohr περί συμπληρωματικότητας» (Rosenfeld, 1967, σ. 129). Εμείς απλώς θα προσθέταμε ότι η αντίκρουση αυτή οδήγησε στην εκλέπτυνση της χρησιμοποιούμενης ορολογίας και στη συνεπέστερη, ως εκ τούτου, παρουσίαση της προτεινόμενης ερμηνείας.

3. Η 'φύση' της παρατήρησης και η κοινή, καθημερινή γλώσσα. Όπως επισήμανε ο Bohr στο κείμενο του Como, κάθε παρατήρηση, είτε αυτή διενεργείται με γυμνό μάτι είτε με τις κατάλληλες συσκευές (φωτογραφικές πλάκες, θαλάμους Wilson, κ.ο.κ), ολοκληρώνεται μόνο όταν αφήσει το 'ίχνος' της στο πεδίο της 'αισθητηριακής εμπειρίας' (Bohr, 1927α, *ATDN*, σ. 67). Έτσι, κάθε παρατηρησιακή ή μετρητική διαδικασία είναι εκ φύσεως προσαρμοσμένη στις ανθρώπινες δυνατότητες προς παρατήρηση ή, κατά την έκφραση του Bohr, στις 'φόρμες' της ανθρώπινης αντίληψης. Οι 'φόρμες' όμως αυτές υπόκεινται σ' έναν θεμελιακό περιορισμό. Προϋποθέτουν, εκ της ίδιας της φύσεώς τους, τον *πλήρη διαχωρισμό* του υποκειμένου από το υπό παρατήρηση αντικείμενο: το υποκείμενο αποκωδικοποιεί τη φύση, βιώνοντας τον εαυτό του ως 'εξωτερικό' παρατηρητή, ως οντότητα 'αποκομμένη' από το παρατηρούμενο φυσικό σύστημα. Το γεγονός δε αυτό καταδεικνύει ότι «η σαφής διάκριση μεταξύ αντικείμενου και συσκευής μέτρησης συνιστά εγγενές στοιχείο της ιδέας της παρατήρησης» (στο ίδιο, σ. 68).

Εάν τώρα το γνωρίζον υποκείμενο αποφασίσει να περιγράψει την παρατηρησιακή του εμπειρία, θ' αντιμετωπίσει δύο ανυπέρβλητες περαιτέρω δεσμεύσεις: οφείλει να χρησιμοποιήσει τις κατάλληλες χωρο-χρονικές εικόνες και ν' αποδώσει αυστηρούς

αιτιακούς συσχετισμούς. Κι' αυτό, γιατί «η ίδια η ιδέα της παρατήρησης ανήκει στον αιτιοκρατικό – χωρο-χρονικό τρόπο περιγραφής» (στο ίδιο, σ. 67). Ο ισχυρισμός αυτός καταγράφει τη σταθερή θέση του Bohr όσον αφορά τον τρόπο συγκρότησης και χρήσης της κοινής, καθημερινής γλώσσας: η γλώσσα αυτή αποτυπώνει και επικοινωνεί τις ανθρώπινες δυνατότητες προς παρατήρηση ή, κατά την έκφραση του Bohr, την 'ιδέα' της παρατήρησης. Η 'ιδέα' αυτή διαμορφώνεται από την αυθόρμητη διάκριση υποκειμένου – αντικειμένου και από τις αυστηρώς αιτιακές χωρο-χρονικές νοητικές εικόνες που δημιουργούνται από την αισθητηριακή εμπειρία.⁶⁷

4. *Η κλασική παρατήρηση/ μέτρηση.* Η λογική δομή της κλασικής θεωρίας φέρει ως εγγενές της χαρακτηριστικό την 'αρχή της διαχωρισιμότητας' ('separability principle') η οποία, υπό μια σχηματική έκφραση, μπορεί να διατυπωθεί ως εξής.

(B1.5) «Οι καταστάσεις των υποσυστημάτων S_1, S_2, \dots, S_N ενός σύνθετου κλασικού συστήματος S είναι ατομικώς καλώς-ορισμένες, ενώ οι καταστάσεις του σύνθετου συστήματος S καθορίζονται πλήρως και επακριβώς μέσω αυτών και των φυσικών τους αλληλεπιδράσεων συμπεριλαμβανομένων των χωρο-χρονικών τους σχέσεων» (Καρακώστας, 2005, σ. 49-50).

Η κλασική θεωρία, όπως ευκρινώς καταδεικνύει η αρχή της διαχωρισιμότητας, επιτρέπει την αναγωγιστική, μηχανιστική περιγραφή του φυσικού κόσμου. Και στο πλαίσιο μιας τέτοιας περιγραφής, η δυνατότητα του *πλήρους και μονοσήμαντου* διαχωρισμού της διαμορφούμενης, κατά τη μετρητική διαδικασία, ολότητας σε 'υποκείμενο'/ 'συσκευή μέτρησης' και 'υπό παρατήρηση σύστημα' είναι, *εκ λόγων αρχής*, δεδομένη. Το θεμελιακό αυτό χαρακτηριστικό της κλασικής μέτρησης αναδεικνύεται στο κείμενο του Como με τρόπο που στερείται αναλυτικής ακρίβειας. Παρ' όλα αυτά, ο Bohr επισήμανε τα ακόλουθα κρίσιμα σημεία.

Το πρώτο σημείο αφορούσε την ανά πάσα στιγμή δυνατότητα του πλήρους και επακριβούς προσδιορισμού της κατάστασης του υπό παρατήρηση συστήματος. Όταν,

⁶⁷ Κατά την αντίληψη του Bohr, η 'ιδέα' της παρατήρησης διαμορφωνόταν από τις συνήθεις 'φόρμες' της ανθρώπινης αντίληψης. Οι 'φόρμες' αυτές, πέραν της σαφούς διάκρισης υποκειμένου – αντικειμένου, συμπεριλάμβαναν και τις αυστηρώς αιτιακές χωρο-χρονικές περιγραφές ως ενιαίο σύνολο. Η θεώρηση αυτή, μια θεώρηση που απάλειψε την καντιανή διάκριση μεταξύ 'εποπτείας' (χωρόχρονος) και 'διάνοιας' (αυστηρή αιτιότητα), αποδίδεται, από τον Faye, στην επιρροή που ασκούσαν οι φιλοσοφικές ιδέες του Hoffding στις αντιλήψεις του Bohr. Όπως σημειώνει ο Faye σχετικά, «για τον Hoffding, η 'αισθητηριακή εμπειρία', οι 'ιδέες' και οι 'έννοιες' συνιστούσαν, στο σύνολό τους, 'φόρμες', εντός των οποίων εμφανίζεται και τακτοποιείται από τον νου το περιεχόμενο της εμπειρίας. Έτσι, η έκφραση του Bohr 'φόρμες της αντίληψης' παραπέμπει στην έκφραση του Hoffding 'φόρμες της σκέψης'» (Faye, 1991, σ. 131). Σε σχέση με την παρατήρηση αυτή, οφείλουμε να σημειώσουμε ότι ο Bohr, πέραν των όποιων επιρροών, διέκρινε πάντοτε τις 'έννοιες' της κβαντικής θεωρίας – οι οποίες, ως εγγενή στοιχεία του κβαντικού φορμαλισμού, υπόκειντο στις προϋποθέσεις της ολιστικής του δόμησης – από τις συνήθεις 'φόρμες' της ανθρώπινης αντίληψης, την 'αισθητηριακή εμπειρία' και τις διαμορφούμενες, βάσει αυτής, 'ιδέες', οι οποίες υπόκειντο στην παραδοχή της σαφούς διάκρισης υποκειμένου – αντικειμένου (βλ. και σημείο 5).

λόγου χάριν, ο Bohr επισήμαινε ότι ‘η συνήθης περιγραφή των φαινομένων⁶⁸ ήταν έως τότε βασισμένη στην ιδέα ότι τα υπό διερεύνηση φαινόμενα₁ ήταν δυνατό να παρατηρηθούν χωρίς να διαταραχθούν κατά αισθητό τρόπο’ (B1.2), επιθυμούσε να υπενθυμίσει το εξής. Κατά τη μετρητική διαδικασία, η αλληλεπίδραση του υπό παρατήρηση συστήματος με τη συσκευή μέτρησης επιφέρει, αναπόδραστα, ποσοτικές μεταβολές στα υπό μέτρηση φυσικά μεγέθη. Εντός του κλασικού όμως πλαισίου, οι μεταβολές αυτές είναι πάντοτε δυνατό να υπολογισθούν με όσο το δυνατόν υψηλότερη ακρίβεια και, επομένως, ν’ αντισταθμιστούν ή ν’ απαλειφθούν. Έτσι, οι επαναλαμβανόμενες στο μακροσκοπικό επίπεδο μετρήσεις, όχι μόνο δεν ακυρώνουν τη δυνατότητα περιγραφής της αρχικής κατάστασης του παρατηρούμενου συστήματος, αλλά οδηγούν στον προοδευτικώς ακριβέστερο προσδιορισμό της. Γι’ αυτό και ο Bohr αισθάνθηκε την ανάγκη να τονίσει ότι «στο πεδίο ισχύος των κλασικών θεωριών, κάθε επανάληψη της παρατήρησης, καθώς βελτιώνει συνεχώς τη γνώση μας για την αρχική κατάσταση του συστήματος, επιτρέπει την πρόβλεψη των μελλοντικών συμβάντων με αυξανόμενη προοδευτικά ακρίβεια» (στο ίδιο, σ. 68).

Το δεύτερο σημείο που αναδεικνύεται από την ανάλυση του Bohr είναι η απόλυτη *συμβατότητα* του κλασικού φορμαλισμού με τη ‘φύση’ της παρατήρησης, γεγονός που επιτρέπει την απρόσκοπτη εν γένει σύνδεση της κλασικής θεωρίας με την πειραματική διαδικασία. Πράγματι, οι κλασικές έννοιες, καθώς υπόκεινται στις επιβαλλόμενες από την αρχή της διαχωρισιμότητας επιταγές, περιγράφουν το υπό παρατήρηση αντικείμενο ως μια *διακεκριμένη*, σε σχέση με το υποκείμενο ή το μετρητικό περιβάλλον, οντότητα, γεγονός που εναρμονίζεται πλήρως με τις κατά Bohr ‘φόρμες’ της ανθρώπινης αντίληψης και την εξαρτώμενη από αυτές κοινή καθημερινή γλώσσα. Αυτές ακριβώς οι διαπιστώσεις καταγράφονται συνοπτικά από τον Bohr, όταν επισημαίνει ότι ‘η σαφής διάκριση μεταξύ ενός φαινομένου₁ και της συσκευής που χρησιμοποιείται για την παρατήρησή του’, είναι ‘εκείνη ακριβώς που θέτει τη βάση επί της οποίας στηρίζονται οι κλασικές ιδέες’ (B1.3).

Το τρίτο και σημαντικότερο τέλος σημείο που αναδεικνύεται από την ανάλυση του Bohr είναι οι υφιστάμενοι εντός του κλασικού πλαισίου *αδιαμφισβήτητοι όροι επιστημονικής αντικειμενικότητας*. Πράγματι, εάν δεχθούμε, μαζί με τον d’ Espagnat, ότι η διυποκειμενική συμφωνία συνιστά μια ‘ασθενή’ μορφή αντικειμενικότητας

⁶⁸ Για την πληρέστερη κατανόηση των θέσεων του Bohr, θα χρησιμοποιούμε τον συμβολισμό ‘φαινόμενο₁’ και ‘φαινόμενο₂’ για την κατάδειξη της πρωταρχικής και της ύστερης χρήσης, αντίστοιχα, του συγκεκριμένου όρου.

(‘weak objectivity’, d’ Espagnat, 1995, σ. 22), η ολοσχερής απεμπλοκή του υποκειμένου από την παρατηρησιακή διαδικασία εντός του κλασικού πλαισίου διασφαλίζει την πρωταρχική προϋπόθεση για την επίτευξη μια τέτοιας συμφωνίας. Η κλασική όμως θεωρία επιτρέπει, επί πλέον, την επίκληση και μιας ‘ισχυρής’, σύμφωνα πάντα με τη διάκριση του d’ Espagnat, μορφής αντικειμενικότητας (‘strong objectivity’, στο ίδιο, σ. 22). Γιατί η ανά πάσα στιγμή δυνατότητα προσδιορισμού της κατάστασης ενός φυσικού συστήματος αφήνει σε κάποιον το περιθώριο να υποθέσει ότι το υπό παρατήρηση σύστημα συνιστά μια εξατομικευμένη ως προς το μετρητικό της περιβάλλον οντότητα, *οι εγγενείς ιδιότητες* της οποίας περιγράφονται με ακριβή και αντικειμενικό τρόπο, από τα μετρούμενα φυσικά μεγέθη, όπως ‘πραγματικά’ είναι. Αναγνωρίζουμε βεβαίως εδώ, αυτούσια, την υποκείμενη στο επιχείρημα των EPR αντίληψη, μια αντίληψη που διαπερνά, επίσης, ολόκληρο το φιλοσοφικό οικοδόμημα του παραδοσιακού επιστημονικού ρεαλισμού (§B-3.1). Ο Bohr, για να καταδείξει, ακριβώς, ότι ο ολιστικός χαρακτήρας της κβαντικής θεωρίας αφαιρούσε πλέον από τη συγκεκριμένη θεώρηση το οποιοδήποτε επιστημονικό έρεισμα, προέβαλε από το κείμενο ήδη του Como τον ακόλουθο ισχυρισμό.

(B1.6) «Το κβαντικό αξίωμα υποδεικνύει ... ότι μια εξατομικευμένη πραγματικότητα, υπό τη συνηθισμένη φυσική σημασία, δεν είναι πλέον δυνατό να προσαρτάται ούτε στα υπό παρατήρηση φαινόμενα₁ ούτε στις συσκευές μέσω των οποίων αυτά παρατηρούνται» (στο ίδιο, σ. 54).

Το συγκεκριμένο απόσπασμα μας επιτρέπει να συνδεθούμε με ορισμένα ζητήματα που συζητήθηκαν προηγουμένως. Κατ’ αρχήν, μας πείθει ότι η περί ‘διατάραξης’ ορολογία οφείλει ν’ αποδοθεί στην αδυναμία και μόνο του Bohr ν’ αποδώσει γλωσσικά το ρηζικέλευθο φυσικό περιεχόμενο της κβαντικής θεωρίας. Γιατί το περιεχόμενο του αποσπάσματος (B1.6) μπορεί να συνταιριαστεί μόνο με μια ερμηνευτική προσέγγιση που αντιπαραβάλλει την κλασική θέαση της φυσικής πραγματικότητας με την απορρέουσα από τη ‘μοναδικότητα’ των υποατομικών διαδικασιών κοσμοθεώρηση (σημείο 1), μία κοσμοθεώρηση εκ θεμελίων ασύμβατη με τις περί ‘διατάραξης’ ιδέες. Το απόσπασμα όμως (B1.6) προαναγγέλλει, ακόμη, και τη μεταφορά των ‘φαινομένων’ από το πεδίο της ‘φυσικής πραγματικότητας’ στο πεδίο της ανθρώπινης εμπειρίας. Γιατί ο ισχυρισμός ότι ‘μια εξατομικευμένη πραγματικότητα δεν είναι πλέον δυνατό να προσαρτάται ούτε στα υπό παρατήρηση φαινόμενα₁ ούτε στις συσκευές της παρατήρησής τους’ καταγράφει επί της ουσίας την απόσπαση των υπό παρατήρηση ‘φαινομένων’ από το πεδίο της ‘φυσικής πραγματικότητας’, εάν η ‘πραγματικότητα’ αυτή νοείται υπό το παραδοσιακό

ρεαλιστικό της πρότυπο. Μέσω, τέλος, του αποσπάσματος (B1.6), ο Bohr ανάγγελλε και την κατάρρευση της ‘ισχυρής’ μορφής αντικειμενικότητας, μιας μορφής που είχε στηρίξει σταθερά την έως τότε άσκηση της φυσικής επιστήμης. Αυτό σήμαινε ότι η αντικειμενικότητα της επιστημονικής γνώσης όφειλε πλέον ν’ αναζητηθεί στην ‘ασθενή’ μορφή αντικειμενικότητας, στη διυποκειμενική δηλαδή συμφωνία.

5. Το ‘πρόβλημα της παρατήρησης’ εντός του κβαντικού πλαισίου. Ο Bohr έθεσε στο επίκεντρο της ερμηνευτικής του προσέγγισης το αποκαλούμενο, από τον ίδιο, ‘πρόβλημα της παρατήρησης’, ένα πρόβλημα που πήγαζε από την ασυμβατότητα του ολιστικού χαρακτήρα της κβαντικής λογικής δομής με την προϋποτιθέμενη για κάθε παρατήρηση σαφή διάκριση υποκειμένου/ συσκευής μέτρησης – αντικειμένου. Η κβαντική θεωρία, όπως τόνισε ο Bohr, δεν μπορούσε ν’ αποτελεί ένα ‘κλειστό σύστημα απρόσιτο από τη μέτρηση’. Αντίθετα, όφειλε, όπως κάθε φυσική θεωρία, ‘να συνδέεται κατάλληλα με την πειραματική διαδικασία’ (στο ίδιο, σ. 75). Γι’ αυτό εξάλλου και το κβαντικό θεωρητικό σχήμα εμπεριείχε ως εγγενή του στοιχεία τις συμβολικές αναπαραστάσεις των παρατηρήσιμων μεγεθών ή, υπό την ιδιότυπη έκφραση του Bohr, την ‘έννοια της παρατήρησης’ (στο ίδιο, σ. 75). Στο σημείο όμως ακριβώς όπου η ‘έννοια της παρατήρησης’ όφειλε πλέον να συνδεθεί με την ενεργό παρατηρησιακή διαδικασία ή, αλλιώς, με τις υποβαλλόμενες από την ‘ιδέα’ της παρατήρησης προϋποθέσεις (πλήρης διαχωρισμός υποκειμένου – αντικειμένου, αυστηρώς αιτιακές χωροχρονικές εικόνες) εμφανιζόταν ‘το πρόβλημα της παρατήρησης’ με τον ακόλουθο, πρωτόγνωρο για τη φυσική επιστήμη, τρόπο.

(B1.7) «Η έννοια της παρατήρησης είναι ‘αυθαίρετη’ (‘arbitrary’) στο βαθμό που εξαρτάται από τα αντικείμενα που συμπεριλαμβάνονται κάθε φορά στο υπό παρατήρηση σύστημα. Κάθε παρατήρηση ανάγεται βεβαίως τελικά στις αισθητηριακές μας αντιλήψεις. Εάν λάβουμε όμως υπόψη μας ότι η ερμηνεία των παρατηρησιακών αποτελεσμάτων διενεργείται πάντοτε μέσω θεωρητικών εννοιών,⁶⁹ καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι, σε κάθε συγκεκριμένη περίπτωση, εισάγουμε την έννοια της παρατήρησης, καθώς και την εγγενή της ‘ανορθολογικότητα’ (‘irrationality’), σ’ εκείνο ακριβώς το σημείο ‘που μας εξυπηρετεί’» (‘it is a question of convenience’, στο ίδιο, σ. 54).

Κατά την αντίληψη συνεπώς του Bohr, το ‘πρόβλημα της παρατήρησης’ εδραζόταν στον ‘αυθαίρετο’ και ‘ανορθολογικό’ χαρακτήρα της ‘έννοιας’ της παρατήρησης.

Η ‘έννοια’ της παρατήρησης ήταν ‘αυθαίρετη’, επειδή εξαρτιόταν ‘από τα αντικείμενα που συμπεριλαμβάνονταν κάθε φορά στο υπό παρατήρηση σύστημα’.

⁶⁹ Όταν ο Bohr δήλωνε ότι ‘η ερμηνεία των παρατηρησιακών αποτελεσμάτων διενεργείται μέσω θεωρητικών εννοιών’, αναγνώριζε με άμεσο και απερίφραστο τρόπο τη θεωρητικώς εξαρτώμενη εμπειρία. Ο ισχυρισμός συνεπώς αυτός καταγράφει, όπως ακριβώς και κατά την περίοδο εφαρμογής της AAB (§A-5.1.2), την πλήρη διάσταση της θεώρησής του από τις θετικιστικές αντιλήψεις.

Για να κατανοήσουμε το περιεχόμενο της συγκεκριμένης απόφασης, οφείλουμε να προστρέξουμε σε μια μεταγενέστερη ρήση του Bohr. «Ο κβαντικός φορμαλισμός [υπογράμμισε ο Bohr αργότερα] είναι δυνατό να εφαρμοσθεί στο *συνολικό* μόνο σύστημα, όπως αυτό διαμορφώνεται από το όργανο παρατήρησης και το προς παρατήρηση αντικείμενο» (Bohr, 1949, *APHK* II, σ. 50). Η ‘έννοια’ συνεπώς της παρατήρησης, ως εγγενές στοιχείο του ολιστικού κβαντικού οικοδομήματος, μπορούσε να εφαρμοσθεί στο ‘συνολικό’ μόνο σύστημα, όπως αυτό διαμορφωνόταν από τη συσκευή μέτρησης και το υπό παρατήρηση σύστημα. Αυτό σήμαινε ότι η ‘έννοια’ της παρατήρησης ήταν αδύναμη να προσδιορίσει, αφ’ εαυτής, ‘τα αντικείμενα που συμπεριλαμβάνονταν κάθε φορά στο υπό παρατήρηση σύστημα’ (B1.7). Έτσι, η ‘έννοια’ της παρατήρησης ήταν ‘αυθαίρετη’, επειδή αδυνατούσε να ‘διακρίνει’ επακριβώς το υπό μελέτη σύστημα από το μετρητικό του περιβάλλον.

Η ‘έννοια’ της παρατήρησης ήταν επίσης ‘ανορθολογική’, επειδή ο ολιστικός χαρακτήρας του κβαντικού φορμαλισμού την καθιστούσε εκ λόγων αρχής ασύμβατη με τον πλήρη διαχωρισμό υποκειμένου – αντικειμένου, έναν διαχωρισμό που θεωρείται από το υποκείμενο *αυτονόητος* κατά τη συνήθη παρατηρησιακή εμπειρία. Η ‘έννοια’ λοιπόν της παρατήρησης (καθώς και ο κβαντικός φορμαλισμός συνολικά) κρινόταν ως ‘ανορθολογική’, επειδή έμοιαζε *ακατανόητη* και *παράλογη* υπό το πρίσμα της κοινής ανθρώπινης εμπειρίας. Λίγο αργότερα, ο Bohr παρουσίασε με μεγαλύτερη σαφήνεια το συγκεκριμένο ζήτημα, υπογραμμίζοντας τη στενή του διασύνδεση με το πρόβλημα της γλώσσας. «Οι δυσκολίες που συναντάμε στην κβαντική θεωρία [διευκρίνισε ο Bohr] πηγάζουν εν τέλει από το γεγονός ότι όλες οι λεκτικές μας εκφράσεις φέρουν τη σφραγίδα των συνηθισμένων τρόπων αντίληψης, υπό την οπτική γωνία των οποίων το κβάντο δράσης [ο κβαντικός φορμαλισμός] αποτελεί ‘ανορθολογικό στοιχείο’» (Bohr, 1929β, *ATDN*, σ. 19).

Η επίλυση συνεπώς του ‘προβλήματος της παρατήρησης’ απαιτούσε την άρση τόσο του ‘αυθαίρετου’ όσο και ‘ανορθολογικού’ στοιχείου του κβαντικού φορμαλισμού. Η αναίρεση του ‘ανορθολογικού’ στοιχείου μπορούσε να επιτευχθεί δια της ‘αναγωγής’ της ‘έννοιας’ της παρατήρησης στις ‘αισθητηριακές αντιλήψεις’ (B1.7) ή, υπό μια άλλη διατύπωση, δια της σύνδεσης των συμβολικών αναπαραστάσεων των προς μέτρηση μεγεθών με τις αποτυπώσεις τους στο πεδίο της κοινής ανθρώπινης εμπειρίας (με τα πειραματικά αποτελέσματα). Η σύνδεση όμως αυτή προϋπέθετε την *τεχνητή* πλέον τομή της εκ λόγων αρχής άτμητης κβαντικής ολότητας σε ‘υπό παρατήρηση σύστημα’ και ‘μετρητική συσκευή’. Και μια τέτοια

τομή δημιουργούσε καινοφανή, πράγματι, επιστημολογικά προβλήματα. Γιατί, υπό το κράτος του ‘αυθαίρετου’ πλέον στοιχείου του κβαντικού φορμαλισμού, το σημείο της τομής δεν ήταν μονοσήμαντα προσδιορισμένο, αλλά εξαρτιόταν από τους ερευνητικούς στόχους του υποκειμένου ή, κατά την έκφραση του Bohr, από ό,τι κάθε φορά ‘εξυπηρετούσε’ τον ερευνητή (B1.7). Η άρση, επομένως, και του ‘αυθαίρετου’ στοιχείου του κβαντικού φορμαλισμού απαιτούσε την *επακριβή και διυποκειμενικώς ελέγξιμη* έκθεση των προθέσεων του ερευνητή, μια έκθεση που, κατά την αντίληψη του Bohr, ήταν δυνατό να συνταχθεί μόνο μέσω της κατάλληλης χρήσης της κλασικής ‘γλώσσας’. Η χρήση αυτή ήταν η μόνη που μπορούσε ν’ ανατρέψει, ταυτόχρονα, το ‘αυθαίρετο’ και ‘ανορθολογικό’ στοιχείο του κβαντικού φορμαλισμού, τα δύο σύμφυτα με το ‘πρόβλημα της παρατήρησης’ στοιχεία.

6. *Το καθεστώς της κλασικής γλώσσας εντός του κβαντικού πλαισίου.* Κατά την αντίληψη του Bohr, η παρουσία των κλασικών εννοιών στο κβαντικό πλαίσιο διαμόρφωνε την ακόλουθη ‘περίεργη’ κατάσταση.

(B1.8) «Η κβαντική θεωρία αναγνωρίζει τη θεμελιακή ανεπάρκεια των κλασικών ιδεών, όταν αυτές εφαρμόζονται στα ατομικά φαινόμενα¹. Η κατάσταση όμως που δημιουργείται λόγω αυτού του γεγονότος είναι περίεργη, εφόσον η ερμηνεία των πειραματικών αποτελεσμάτων βασίζεται με ουσιαστικό τρόπο στις κλασικές έννοιες» (στο ίδιο, σ. 53).

Ενώ λοιπόν η κβαντική θεωρία αναγνώριζε ‘την ανεπάρκεια των κλασικών ιδεών’ στο υποατομικό επίπεδο, η διατήρηση των κλασικών εννοιών στο κβαντικό πλαίσιο κρινόταν αναγκαία, επειδή αυτές ‘στήριζαν ουσιαδώς την ερμηνεία των πειραματικών αποτελεσμάτων’. Κι’ αυτό, για τους ακόλουθους λόγους.

Όπως έχουμε ήδη διαπιστώσει, κατά την αντίληψη του Bohr, η άμεση αισθητηριακή αντίληψη, η κοινή καθημερινή γλώσσα και η γλώσσα της κλασικής θεωρίας ήταν άρρηκτα συνδεδεμένες με *την ίδια* θεμελιακή παραδοχή: τη δυνατότητα της πλήρους απόσπασης του υπό παρατήρηση συστήματος από το μετρητικό του περιβάλλον. Εφόσον, λοιπόν, η δυνατότητα αυτή ακυρωνόταν εντός του κβαντικού πλαισίου, όφειλε πλέον ν’ αποδεχθεί κανείς ότι «οι περιορισμοί των κλασικών εννοιών είναι στενά συνδεδεμένοι με τους περιορισμούς της παρατήρησης» (όπως ο Bohr είχε επισημάνει σε γράμμα του προς τον Einstein ήδη από τον Απρίλιο του 1927, A6.24). Ο Bohr παρουσίασε αργότερα το συγκεκριμένο ζήτημα ως εξής.

(B1.9) Α. Για τις ‘φόρμες’ της ανθρώπινης αντίληψης. «[Η κβαντική θεωρία] αναγνώρισε φυσικούς νόμους, οι οποίοι, καθώς εκτείνονται πέραν του πεδίου της κοινής εμπειρίας, δημιουργούν δυσκολίες στις συνηθισμένες ‘φόρμες’ αντίληψης. Μαθαίνουμε, λοιπόν, ότι οι συγκεκριμένες φόρμες αποτελούν *εξιδανικεύσεις*, των

οποίων η καταλληλότητα για την ταξινόμηση της εμπειρίας κρίνεται μόνο... από την απειροστά μικρή τιμή του κβάντου δράσης» (Bohr, 1929β, *ATDN*, σ. 5).

B. Για την κλασική θεωρία. «Η ανακάλυψη αυτή [του κβάντου δράσης] μας δίδαξε ότι οι κλασικές φυσικές θεωρίες συνιστούν *εξιδανικεύσεις* που μπορούν να εφαρμοσθούν κατά μη-διφορούμενο τρόπο μόνο σ' εκείνο το όριο όπου όλες οι εμπλεκόμενες δράσεις είναι επαρκώς μεγάλες σε σύγκριση με το κβάντο δράσης (Bohr, 1949, *APHK* II, σ. 33).

Κατά την αντίληψη συνεπώς του Bohr, η κβαντική θεωρία, μια θεωρία που κατόρθωσε να προβλέψει επιτυχώς φαινόμενα που υπερέβαιναν τις ανθρώπινες αντίληπτικές δυνατότητες, υποδείκνυε πλέον με σαφήνεια ότι τόσο οι συνήθειες 'φόρμες' αντίληψης όσο και οι κλασικές έννοιες συνιστούσαν 'εξιδανικεύσεις' αποκλειστικώς εφαρμόσιμες στο μακροσκοπικό επίπεδο. Μπορούμε αναμφίβολα ν' αναγνωρίσουμε εδώ την πεποίθηση του Bohr για την *ύπαρξη* μιας *πέραν της κοινής ανθρώπινης εμπειρίας* φυσικής πραγματικότητας, τους φυσικούς νόμους της οποίας η κβαντική θεωρία κατόρθωσε ν' αναγνωρίσει.⁷⁰ Ήταν, όμως, αυτοί ακριβώς οι φυσικοί νόμοι εκείνοι που επέβαλαν τη διατήρηση των κλασικών εννοιών στο κβαντικό πλαίσιο. Τα ακόλουθα αποσπάσματα, έχουν επιλεγεί από το συνολικό έργο του Bohr για ν' αναδείξουν με τον πιο αντιπροσωπευτικό τρόπο τη συγκεκριμένη θέση.

(B1.10) A. Για τις 'φόρμες' της ανθρώπινης αντίληψης. «Η αναγνώριση των ορίων που χαρακτηρίζουν τις κοινές 'φόρμες' αντίληψης δεν συνεπάγεται και τη δυνατότητα αποκοπής απ' αυτές. Γιατί είναι αυτές ακριβώς οι 'φόρμες' που χρωματίζουν τη γλώσσα μας και επιβάλλουν τους όρους μέσω των οποίων εκφράζεται τελικά κάθε εμπειρία» (Bohr, 1929β, *ATDN*, σ. 5).

B. Για την κοινή, καθημερινή γλώσσα. «Παρόλη την εκλέπτυνση της ορολογίας λόγω της συσσώρευσης μεγάλου αριθμού εμπειρικών ενδείξεων και παρόλη την ανάπτυξη των θεωρητικών εννοιών, η περιγραφή κάθε φυσικής εμπειρίας βασίζεται τελικά στην κοινή γλώσσα, η οποία είναι προσαρμοσμένη, *πρώτον*, στον τρόπο με τον οποίο προσανατολιζόμαστε στο χώρο και, *δεύτερον*, στη χάραξη διασυνδέσεων μεταξύ αιτίας και αποτελέσματος» (Bohr, 1958β, *APHK* III, σ. 1).

Γ. Για τις κλασικές έννοιες. «Κατά τη γνώμη μου, θ' αποτελούσε παρανόηση να πιστεύει κανείς ότι οι δυσκολίες που παρουσιάζει η κβαντική θεωρία θα αποφεύγονταν, εάν τελικά κατορθώναμε ν' αντικαταστήσουμε τις κλασικές έννοιες με νέες εννοιολογικές φόρμες. ... Όπως πιστεύω, οι θεμελιώδεις έννοιες των κλασικών θεωριών δεν πρόκειται να καταστούν *ποτέ* περιττές για την περιγραφή της φυσικής μας εμπειρίας. Γιατί η αναγνώριση της μη-διαιρετότητας του κβάντου δράσης και ο προσδιορισμός της τιμής του, όχι μόνο εξαρτάται από μια ανάλυση των μετρήσεων βασισμένη σε κλασικές έννοιες, αλλά είναι *μόνο* η εφαρμογή των συγκεκριμένων εννοιών εκείνη που καθιστά δυνατή τη σύνδεση *των συμβόλων* της κβαντικής θεωρίας με τα δεδομένα της εμπειρίας» (Bohr, 1929β, *ATDN*, σ. 16).

⁷⁰ Η επίκληση φυσικών νόμων που εκτείνονται 'πέραν της ανθρώπινης εμπειρίας' αποκαλύπτει, αναμφίβολα, τη ρεαλιστική τοποθέτηση του Bohr. Όπως όμως έχουμε ήδη διαπιστώσει (§A-5.3.3) και όπως θα δείξουμε διεξοδικότερα στη συνέχεια (§B-3), η κοσμοθεώρηση του Bohr απέκλινε ισχυρά από τις θέσεις του παραδοσιακού επιστημονικού ρεαλισμού.

Οι έννοιες λοιπόν της κλασικής θεωρίας ‘δεν επρόκειτο να καταστούν ποτέ περιττές’, επειδή ήταν μόνο η εφαρμογή τους εκείνη που καθιστούσε δυνατή τη σύνδεση των ‘συμβόλων’⁷¹ της κβαντικής θεωρίας με ‘τα δεδομένα της εμπειρίας’. Ο πλήρης διαχωρισμός υποκειμένου – αντικειμένου, καθώς και οι κλασικές αυστηρώς αιτιακές χωρο-χρονικές περιγραφές, καθώς συνταιριάζονταν αρμονικά με τις περιγραφές της κοινής καθημερινής γλώσσας, ανταποκρίνονταν, πράγματι, στις τιθέμενες από τις ‘φόρμες’ της ανθρώπινης αντίληψης προϋποθέσεις. Μπορούμε επομένως να διακρίνουμε ότι, στο πλαίσιο της θεώρησης του Bohr, η έννοια της ‘κλασικότητας’ ήταν εξ αρχής συνυφασμένη με το πεδίο της κοινής ανθρώπινης εμπειρίας (εκτενής ανάλυση στην ενότητα §B-2). Εκ της συνύφανσης δε αυτής, προέκυπτε μια κρίσιμης σημασίας δυνατότητα: οι κλασικές έννοιες επέτρεπαν τη διασφάλιση αδιαμφισβήτητων όρων αντικειμενικότητας εντός του κβαντικού πλαισίου, εκείνων των όρων που είχαν εμφανώς διαταραχθεί από την εισδοχή των προθέσεων του γνωρίζοντος υποκειμένου στο περιεχόμενο της επιστημονικής γνώσης (σημείο 5).

7. Η διασφάλιση των όρων επιστημονικής αντικειμενικότητας εντός του κβαντικού πλαισίου. Ο Bohr όρισε τη σημασία της αντικειμενικότητας στο πεδίο των θετικών επιστημών ως εξής: «η ιδιότητα που χαρακτηρίζει τις θετικές επιστήμες είναι η προσπάθεια επίτευξης μιας ενιαίας αντίληψης του περιεχομένου τους μέσω της απόλειψης κάθε αναφοράς στο παρατηρούν υποκείμενο» (Bohr, 1929α, *ATDN*, σ. 97). Όσον αφορά δε την κβαντική θεωρία, «η όλη προσπάθεια αποσκοπούσε εξ αρχής στην περιγραφή της ανθρώπινης εμπειρίας με τρόπο ανεξάρτητο από την όποια υποκειμενική κρίση. Αποσκοπούσε, επομένως, σε μια αντικειμενική περιγραφή της ανθρώπινης εμπειρίας, αντικειμενική υπό την έννοια ότι η περιγραφή αυτή όφειλε να επιτρέπει τη μη-διφορούμενη επικοινωνία του περιεχομένου της μέσω της συνηθισμένης ανθρώπινης γλώσσας» (Bohr, 1960α, *APHK*, III, σ. 10).

Η χρήση συνεπώς των κλασικών εννοιών στο κβαντικό πλαίσιο κρινόταν αναγκαία και, ως εκ τούτου, αναπόδραστη, επειδή η κλασική ‘γλώσσα’ παρείχε τη δυνατότητα απόλειψης ‘κάθε αναφοράς στο παρατηρούν υποκείμενο’ ή, αλλιώς, τη

⁷¹ Στο σημείο αυτό, συναντάμε τον όρο ‘σύμβολο’, όπως αυτός χρησιμοποιήθηκε από τον Bohr μετά τη διατύπωση της συμπληρωματικότητας. Η λέξη ‘σύμβολο’ δείχνει εδώ τον μη-αναπαραστασιακό χαρακτήρα του κβαντικού formalισμού, τη μη-δυνατότητα δηλαδή ‘αντιστοίχισης’ των κβαντικών όρων σε χαρακτηριστικά του φυσικού κόσμου, όπως αυτός ‘πραγματικά είναι’. Υπ’ αυτήν την έννοια, η λέξη ‘σύμβολο’ συσχετίζεται ευθέως με τον ‘ανορθολογικό’ χαρακτήρα του κβαντικού formalισμού (σημείο 5). Οφείλουμε βεβαίως να σημειώσουμε ότι η χρήση αυτή αφίσταται πλήρως από τη χρήση της συγκεκριμένης λέξης κατά την περίοδο γέννησης της κβαντικής θεωρίας. Γιατί, τότε, η λέξη ‘σύμβολο’ χρησιμοποιείτο για τις κλασικές έννοιες και υποδήλωνε την αποκοπή των εννοιών αυτών από το κλασικό τους νόημα, όταν εισάγονταν εντός του κβαντικού πλαισίου (§A-5.1.2, σημείο 2γ).

δυνατότητα περιγραφής της ανθρώπινης εμπειρίας με τρόπο ‘ανεξάρτητο από την οποιαδήποτε υποκειμενική κρίση’, ή, ισοδύναμα, τη δυνατότητα ‘μη-διφορούμενης περιγραφής και επικοινωνίας της ανθρώπινης εμπειρίας’. Με άλλα λόγια, η κλασική γλώσσα, έχοντας δομηθεί υπό την προϋπόθεση του πλήρους διαχωρισμού του υποκειμένου από το υπό παρατήρηση αντικείμενο, διασφάλιζε την, υπό την ορολογία του d’ Espagnat, ‘ασθενή’ μορφή αντικειμενικότητας (σημείο 4) ή το κατά Bohr πρότυπο του ‘αποσπασμένου παρατηρητή’. Το πρότυπο αυτό οριζόταν ως εξής.

(B1.11) «Η φράση ‘αποσπασμένος παρατηρητής’ (‘detached observer’), ... όταν τη χρησιμοποιώ σε συνδυασμό με τη φράση ‘αντικειμενική περιγραφή’, έχει ένα σαφές για μένα νόημα. Πρωταρχική πράγματι προϋπόθεση κάθε μη-διφορούμενης περιγραφής είναι ο σαφής προσδιορισμός και η κοινή συμφωνία όσον αφορά το σημείο στο οποίο διενεργείται ο διαχωρισμός μεταξύ υποκειμένου και αντικειμένου και, επίσης, όσον αφορά το περιεχόμενο της επικοινωνίας. ... Η συγκεκριμένη συνθήκη είναι απαραίτητη για το σύνολο της επιστημονικής γνώσης. ... Φαίνεται, λοιπόν, ότι αυτό που πράγματι μάθαμε από τη φυσική επιστήμη είναι το πώς να απαλείψουμε τα υποκειμενικά στοιχεία κατά την περιγραφή της εμπειρίας. ... Κατά την προσωπική μου άποψη, η κατάσταση αυτή περιγράφεται επιτυχώς από τη φράση ‘αποσπασμένος παρατηρητής’ (Γράμμα του Bohr προς τον Pauli, 2 Μαρτίου 1955α, *NBCW10*, σσ. [567]-[568]).

Η κλασική λοιπόν γλώσσα μπορούσε εν τέλει να διασφαλίσει την επιζητούμενη διυποκειμενική συμφωνία,⁷² επειδή παρείχε τη δυνατότητα σαφούς προσδιορισμού του σημείου τομής της διαμορφούμενης κατά τη μέτρηση κβαντικής ολότητας σε ‘υποκείμενο’/ ‘μετρητική συσκευή’ και ‘υπό μελέτη αντικείμενο’. Κατά την αντίληψη του Bohr, οι κλασικές έννοιες, καθώς εναρμονίζονταν πλήρως με τον διυποκειμενικό χαρακτήρα των δυνατοτήτων της ανθρώπινης αντίληψης και της κοινής, καθημερινής γλώσσας, ήταν οι μόνες που μπορούσαν ν’ αποφέρουν τη διυποκειμενική – εξ ου και αντικειμενική – κατανόηση των εκάστοτε προθέσεων και ανακοινώσεων του ερευνητή. Η διαπίστωση βεβαίως αυτή έθετε άμεσα πλέον το αίτημα της πλήρους αποσαφήνισης του νοήματος και των προϋποθέσεων χρήσης των

⁷² Στο σημείο αυτό, έχει ενδιαφέρον να παρατηρήσουμε ότι ο W. James – ο οποίος, σημειωτέον, είναι ο μόνος φιλόσοφος (εκτός βεβαίως από τον Hoffding) προς τον οποίο ο Bohr εξέφρασε τον ‘θαυμασμό’ του κατά την τελευταία του συνέντευξη (*AHQP*, 1962, σ. 5) – για να υπερασπισθεί τον εαυτό του έναντι του υποκειμενισμού που του είχε αποδοθεί, προέβη στην ακόλουθη οντολογική διάκριση (James, 1909/1970, σ. 239): α) ‘προσωπικές έννοιες’ (‘private concepts’), β) ‘αντικείμενα της αισθητηριακής εμπειρίας’ (‘sense objects’) και γ) ‘υπερευαίσθητες πραγματικότητες’ (‘hypersensible realities’). Το νόημα των ‘προσωπικών εννοιών’ είναι αυστηρώς ιδιωτικό, εφόσον οι έννοιες αυτές είναι δυνατό να νοηματοδοτηθούν με διαφορετικό τρόπο από διαφορετικά υποκείμενα. Αντίθετα, το νόημα των ‘αντικειμένων της αισθητηριακής εμπειρίας’ απολαμβάνει διυποκειμενικής συμφωνίας, εφόσον τα αντικείμενα αυτά γίνονται αντιληπτά με τον ίδιο τρόπο από όλα τα ανθρώπινα όντα: τα αντικείμενα αυτά συνιστούν ‘δημόσιες αλήθειες’ (‘public realities’). Από την άλλη πλευρά, οι ‘υπερευαίσθητες αλήθειες’ είναι αλήθειες που υπάρχουν ανεξάρτητα από την ανθρώπινη υπόσταση. Μπορούμε βεβαίως ν’ αναγνωρίσουμε την αιτούμενη από τον Bohr διυποκειμενική συμφωνία στα ‘αντικείμενα της αισθητηριακής εμπειρίας’.

κλασικών εννοιών εντός του κβαντικού πλαισίου. Στο αίτημα δε ακριβώς αυτό ερχόταν ν' ανταποκριθεί η έννοια της συμπληρωματικότητας. Μια από τις αμέτρητες αναφορές του Bohr στη συγκεκριμένη έννοια συσχετίζει το σύνολο των ζητημάτων που μας απασχόλησαν έως τώρα με τον ακόλουθο ελλειπτικό τρόπο.

(B1.12) «Η έννοια της συμπληρωματικότητας αγκαλιάζει όλες εκείνες τις χαρακτηριστικές ιδιότητες που απορρέουν από τη 'μοναδικότητα' των κβαντικών φαινομένων₂ και διαλευκαίνει, ταυτόχρονα, τις περιέργες πλευρές του 'προβλήματος της παρατήρησης' στο συγκεκριμένο πεδίο της εμπειρίας. Οφείλουμε συνεπώς ν' αναγνωρίσουμε ότι, *όσο κι' αν τα φαινόμενα₂ υπερβαίνουν την οπτική γωνία της κλασικής φυσικής, η περιγραφή όλων των [πειραματικών] δεδομένων δεν μπορεί παρά να εκφράζεται μέσω κλασικών όρων.* Το επιχειρήμα μου βασίζεται, απλώς, στο ότι, όταν χρησιμοποιούμε τη λέξη 'πείραμα', αναφερόμαστε σε μια κατάσταση όπου μπορούμε να πούμε στους άλλους τι κάναμε και τι μάθαμε. Κατά συνέπεια, η περιγραφή τόσο της πειραματικής διάταξης όσο και των πειραματικών αποτελεσμάτων οφείλει να διατυπώνεται σε μια μη-διφορούμενη γλώσσα, μια γλώσσα που προκύπτει από την κατάλληλη εφαρμογή της ορολογίας της κλασικής φυσικής» (Bohr, 1949, *APHK* II, σ. 39).

Το απόσπασμα αυτό προσφέρει μια συνοπτική ανακεφαλαίωση της προηγηθείσας ανάλυσης και την προσφορότερη ως εκ τούτου βάση για την ανασυγκρότηση του κατά Bohr επιχειρήματος της συμπληρωματικότητας. Τα θέματα που θίγονται: **α) Το προς επίλυση πρόβλημα:** το 'πρόβλημα της παρατήρησης' εντός του πλαισίου της κβαντικής θεωρίας. **β) Πηγή του προβλήματος:** η 'μοναδικότητα' των υποατομικών διαδικασιών και η επαγόμενη εξ αυτής εισδοχή των προθέσεων του υποκειμένου στο περιεχόμενο της επιστημονικής γνώσης. **γ) Αναγκαία συνθήκη για την επίλυση του προβλήματος:** η διατήρηση των κλασικών παρατηρησιακών εννοιών εντός του κβαντικού πλαισίου. **δ) Η συμβολή των κλασικών εννοιών:** μέσω της κατάλληλης χρήσης τους, επιτυγχάνεται η διυποκειμενική συμφωνία για το περιεχόμενο της επιστημονικής γνώσης, διασφαλίζονται, δηλαδή, αδιαμφισβήτητοι όροι αντικειμενικότητας εντός του κβαντικού πλαισίου. **ε) Η λειτουργία των κλασικών εννοιών εντός του κβαντικού πλαισίου:** οι κλασικές έννοιες αναφέρονται στα γεγονότα και αντικείμενα του πεδίου της κοινής ανθρώπινης εμπειρίας, στα δυνατά, δηλαδή, μετρητικά αποτελέσματα και στο μετρητικό περιβάλλον, όπως αυτό καθορίζεται από το ερευνητικό ερώτημα του γνωρίζοντος υποκειμένου. **στ) Ερμηνευτικός στόχος της συμπληρωματικότητας:** ο σαφής καθορισμός του νοήματος και των όρων χρήσης των κλασικών εννοιών εντός του κβαντικού πλαισίου.

8. Η έννοια της συμπληρωματικότητας. Καθώς ο Bohr δεν διατύπωσε ποτέ έναν αναλυτικό ορισμό της συμπληρωματικότητας, έχει υπάρξει κατά καιρούς – και εξακολουθεί να υπάρχει ακόμη – σημαντική αβεβαιότητα σε σχέση με το ακριβές

περιεχόμενο που προσέδιδε στην έννοια αυτή. Έτσι, ο συνήθης προσδιορισμός της συμπληρωματικότητας ως ‘Αρχής’ είναι κατά κάποιο τρόπο παραπλανητικός. Ο Pais, παρατηρώντας εύστοχα ότι «η συμπληρωματικότητα μπορεί να ορισθεί χωρίς άμεση αναφορά στη φυσική» – οπότε υποδεικνύει έναν ‘απελευθερωτικό’, όπως ο ίδιος τον βίωσε, τρόπο σκέψης – ορίζει τις συμπληρωματικές όψεις «ως δύο πλευρές μίας περιγραφής, οι οποίες, παρότι αμοιβαίως αποκλειόμενες, είναι εξίσου αναγκαίες για την πλήρη κατανόηση αυτού που κάθε φορά περιγράφεται» (Pais, 1991, σ. 24).

Ο Pais προβάλλει ως προσδιοριστικές της συμπληρωματικότητας συνθήκες τον ‘αμοιβαίο αποκλεισμό’ και την ‘αναγκαία συμπλήρωση’, εκείνες δηλαδή τις συνθήκες που ορίζουν με αναλυτική ακρίβεια την, εντός του κβαντικού πλαισίου, αλληλεξάρτηση των συμπληρωματικών όρων (σημείο 8γ). Η έννοια όμως της συμπληρωματικότητας χρησιμοποιήθηκε από τον Bohr με πολύ χαλαρότερο τρόπο, όχι μόνο κατά την εισαγωγή της σε ευρύτερα πεδία της ανθρώπινης γνώσης (§B-3.5), αλλά και κατά την πρώιμη, εντός του κβαντικού πλαισίου, χρήση της. Η χρήση αυτή υποδήλωνε, κατά περίπτωση, είτε την αρμονική συνύπαρξη και εναλλακτική εφαρμογή είτε την αρμονική συνύπαρξη και αναγκαία συμπλήρωση είτε, υπό την ακριβή της έκφραση, τον αμοιβαίο αποκλεισμό και την αναγκαία συμπλήρωση των εκάστοτε συσχετιζόμενων όρων. Στη συνέχεια, θα επιχειρήσουμε λοιπόν να δείξουμε ότι, σε αντίθεση με ό,τι έχει συχνά υποστηριχθεί (π.χ. Held, 1994), η λογική ανομοιογένεια των πρώιμων προσδιορισμών της συμπληρωματικότητας δεν διαταράσσει σε καμία περίπτωση την ερμηνευτική συνεκτικότητα της κατά Bohr θεώρησης. Γιατί, από το κείμενο του Como έως την τελική τους ενσωμάτωση σε μία ενιαία έκφραση, οι προσδιορισμοί αυτοί υποστήριζαν με ερμηνευτική συνέπεια την ακόλουθη, ίδια πάντοτε, θέση: ο συμπληρωματικός χαρακτήρας της περιγραφής των υποατομικών συστημάτων συνιστούσε αναπόφευκτη συνέπεια της αντίθεσης μεταξύ της ‘μοναδικότητας’ των υποατομικών διαδικασιών και της διάκρισης αντικειμένου – συσκευής μέτρησης, μιας διάκρισης εγγενούς στην ‘ιδέα’ της παρατήρησης.

8α. *Η συμπληρωματικότητα μεταξύ ‘χωρο-χρονικού συντονισμού’ και ‘αιτήματος της αιτιότητας’ και η επαγόμενη εξ αυτής συμπληρωματικότητα των συζυγών κλασικών εννοιών (‘κινηματική – δυναμική’ συμπληρωματικότητα).* Η πρώτη έκφραση της κατά Bohr έννοιας της συμπληρωματικότητας αφορά τη συμπληρωματική αλληλεξάρτηση του ‘χωρο-χρονικού συντονισμού’ και του ‘αιτήματος της αιτιότητας’, μία αλληλεξάρτηση που παρουσιάζεται στο κείμενο του Como με τον ακόλουθο τρόπο.

(B1.13) «Η κατάσταση αυτή [που προκύπτει από τη ‘μοναδικότητα’ των ατομικών διαδικασιών] συνοδεύεται από συνέπειες μέγιστης εμβέλειας. Από τη μια πλευρά, ο προσδιορισμός της κατάστασης του συστήματος, όπως αυτός κατανοείται συνήθως, απαιτεί την εξάλειψη όλων των εξωτερικών διαταραχών. Αλλά σ’ αυτήν την περίπτωση, σύμφωνα με το κβαντικό αξίωμα, κάθε παρατήρηση είναι αδύνατη και, ακόμη περισσότερο, οι έννοιες του χώρου και του χρόνου χάνουν την άμεση σημασία τους. Από την άλλη πλευρά, για να καταστήσουμε την παρατήρηση δυνατή, μπορούμε να επιτρέψουμε ορισμένες αλληλεπιδράσεις με κατάλληλες μετρητικές συσκευές που δεν συμπεριλαμβάνονται στο σύστημα. Αλλά σ’ αυτήν την περίπτωση, ο μη-διφορούμενος προσδιορισμός της κατάστασης του συστήματος δεν είναι πλέον δυνατός, οπότε η εφαρμογή των νόμων της αιτιότητας είναι πλέον αδύνατη, εάν η αιτιότητα εννοηθεί υπό τη συνηθισμένη της σημασία. Έτσι, η ίδια η φύση της κβαντικής θεωρίας μας υποχρεώνει να θεωρήσουμε τον ‘χωρο-χρονικό συντονισμό’ (the ‘space-time coordination’) και το ‘αίτημα της αιτιότητας’ (the ‘claim of causality’), η ενότητα των οποίων χαρακτηρίζει τις κλασικές θεωρίες, ως συμπληρωματικές, αλλά εξίσου σημαντικές ιδιότητες της περιγραφής. Οι περιγραφές αυτές συμβολίζουν, αντίστοιχα, τα ιδεώδη της παρατήρησης και του προσδιορισμού. Μαθαίνουμε λοιπόν από την κβαντική θεωρία ότι η καταλληλότητα των συνήθων χωρο-χρονικών περιγραφών οφείλεται, καθ’ ολοκληρίαν, στη μικρή τιμή του κβάντου δράσης σε σχέση με τις δράσεις που εμπλέκονται στις συνήθεις αισθητηριακές αντιλήψεις. Πράγματι, για την περιγραφή των ατομικών φαινομένων¹, το κβαντικό αξίωμα μας υποχρεώνει ν’ αναπτύξουμε μια ‘συμπληρωματική θεωρία’, η συνεκτικότητα της οποίας μπορεί να κριθεί μόνο δια της στάθμισης των δυνατοτήτων της παρατήρησης και του προσδιορισμού» (στο ίδιο, σσ. 54-55).

Ο Bohr επισημαίνει εδώ ότι ο ‘προσδιορισμός’ της κατάστασης του υπό παρατήρηση συστήματος, ‘όπως αυτός κατανοείται συνήθως’, απαιτεί την ‘εξάλειψη όλων των εξωτερικών διαταραχών’, μια εξάλειψη που, στο πλαίσιο της κλασικής θεωρίας, είναι, εκ λόγων αρχής, επιτρεπτή (σημείο 4). Στο κβαντικό όμως πλαίσιο, ο προσδιορισμός της κατάστασης του υπό παρατήρηση συστήματος – ένας προσδιορισμός που είναι βεβαίως αναγκαίος για την εφαρμογή των αιτιακών νόμων διατήρησης – αποκλείει την οποιαδήποτε παρατήρηση και, ως εκ τούτου, αφαιρεί από τις έννοιες του χώρου και του χρόνου την εμπειρική τους αναφορά ή, με τα λόγια του Bohr, την ‘άμεση’ σημασία τους. Εάν, αντίθετα, επιχειρηθεί η οποιαδήποτε παρατήρηση, η ‘μοναδικότητα’ της διαμορφούμενης κατά την παρατηρησιακή διαδικασία κβαντικής ολότητας αποκλείει τον μονοσήμαντο ή, κατά την έκφραση του Bohr, τον ‘μη-διφορούμενο’ προσδιορισμό της κατάστασης του συστήματος, γεγονός που καθιστά την κατά το κλασικό πρότυπο εφαρμογή των αιτιακών νόμων αδύνατη. Κατά την αντίληψη λοιπόν του Bohr, ήταν η ίδια η ‘φύση’ της κβαντικής θεωρίας (ο ολιστικός χαρακτήρας της λογικής της δομής) εκείνη που υποδείκνυε την αναγκαιότητα ανάπτυξης μίας ‘συμπληρωματικής’ θεωρίας ικανής να ‘σταθμίζει’ τα κλασικά ‘ιδεώδη’ της ‘παρατήρησης’ (τον ‘χωρο-χρονικό συντονισμό’) και του ‘προσδιορισμού’ (το ‘αίτημα της αιτιότητας’). Ήταν επίσης η ίδια η κβαντική θεωρία

εκείνη που προσέφερε μέσω των σχέσεων απροσδιοριστίας – σχέσεων που προέκυπταν με παραγωγικό τρόπο από τις γενικές αρχές του κβαντικού φορμαλισμού (§Α-5.2.3) – τη δυνατότητα της ποσοτικής πλέον ‘στάθμισης’ των κλασικών αυτών ‘ιδεωδών’ εντός του κβαντικού πλαισίου. Στο κείμενο του Como, η άρρηκτη διασύνδεση του φυσικού περιεχομένου των σχέσεων απροσδιοριστίας με τη συμπληρωματικότητα μεταξύ ‘χωρο-χρονικού συντονισμού’ και ‘αιτήματος της αιτιότητας’ παρουσιάστηκε, για λόγους συντομίας, με τη ‘γλώσσα της σχετικότητας’.

(B1.14) «Εάν χρησιμοποιήσουμε τη γλώσσα της σχετικότητας, το περιεχόμενο των σχέσεων απροσδιοριστίας μπορεί να συνοψισθεί στον ακόλουθο ισχυρισμό. Σύμφωνα με την κβαντική θεωρία, υφίσταται μια γενική σχέση αμοιβαιότητας (‘a general reciprocal relation’) μεταξύ της ακρίβειας προσδιορισμού των διανυσμάτων χώρου – χρόνου και ορμής – ενέργειας, όταν τα διανύσματα αυτά περιγράφουν απομονωμένα φυσικά συστήματα (‘individuals’). Η συνθήκη αυτή συνιστά μια απλή συμβολική έκφραση της συμπληρωματικής φύσης των χωρο-χρονικών περιγραφών και του αιτήματος της αιτιότητας» (στο ίδιο, σ. 60).

Οι σχέσεις απροσδιοριστίας όριζαν, λοιπόν, μία ‘γενική σχέση αμοιβαιότητας’ ως προς την ακρίβεια προσδιορισμού των συζυγών μεταβλητών ‘ορμής – θέσης’ και ‘ενέργειας – χρόνου’, κάθε φορά που, για τις ανάγκες μίας επικείμενης μέτρησης, ένα φυσικό σύστημα εθεωρείτο ‘απομονωμένο’ από το μετρητικό του περιβάλλον. Η, υπό μία αντίστροφη διατύπωση, «η ‘ιδέα’ της παρατήρησης [η σαφής διάκριση του υπό μελέτη αντικειμένου από τη συσκευή μέτρησης, σημείο 3] ήταν δυνατό να εφαρμοσθεί με συνεκτικό τρόπο στο κβαντικό πλαίσιο μόνο εάν λαμβανόταν υπόψη η οριζόμενη από τις σχέσεις απροσδιοριστίας αβεβαιότητα» (στο ίδιο, σ. 67). Αυτό όμως σήμαινε ότι οι σχέσεις απροσδιοριστίας προσέφεραν μια ‘απλή’, ‘συμβολική’ έκφραση της συμπληρωματικότητας μεταξύ ‘χωρο-χρονικού συντονισμού’ και ‘αιτήματος της αιτιότητας’. Γιατί καταδείκνυαν ότι «ο προσδιορισμός της θέσης του υπό παρατήρηση συστήματος έμελλε να συνοδεύεται πάντοτε από την πλήρη ρήξη της αιτιακής περιγραφής της δυναμικής του συμπεριφοράς, ενώ ο προσδιορισμός της ορμής του συστήματος έμελλε να προκαλεί πάντοτε ένα κενό γνώσης σε σχέση με τον χωρικό του εντοπισμό» (στο ίδιο, σ. 68). Είναι φανερό ότι, υπ’ αυτήν την προοπτική, η αναδεικνυόμενη από τις σχέσεις απροσδιοριστίας συμπληρωματικότητα των συζυγών κλασικών εννοιών (η ‘κινηματική – δυναμική’, όπως αποκαλείται από τον Murdoch, συμπληρωματικότητα, 1987, σ. 58) εκλαμβάνονταν ως μία ειδική έκφραση της συμπληρωματικότητας μεταξύ ‘χωρο-χρονικού συντονισμού’ και ‘αιτήματος της αιτιότητας’. Υπό μια ενιαία διατύπωση, οι εν λόγω εκφράσεις της συμπληρωματικότητας «υπογράμμιζαν το γεγονός ότι κάθε συγκεκριμένη εφαρμογή

των κλασικών εννοιών απέκλειε την ταυτόχρονη χρήση άλλων κλασικών εννοιών, οι οποίες ... είναι εξίσου αναγκαίες για την περιγραφή των φαινομένων₁» (Bohr, 1929β, *ATDN*, σ. 10). Όλα τα προηγούμενα μάς οδηγούν στα ακόλουθα συμπεράσματα.

Οφείλουμε κατ' αρχήν να επισημάνουμε ότι η συμπληρωματικότητα⁷³ ειδώθηκε από τον Bohr ως μία *αδιαχώριστη*, από την κβαντική λογική δομή, σχέση (εφόσον οι σχέσεις απροσδιοριστίας θεωρήθηκαν 'συμβολική' της έκφραση) και, συγκεκριμένα, ως μία σχέση λογικής αλληλεξάρτησης κβαντικών περιγραφών που προέβλεπαν πειραματικώς προσεγγίσιμα γεγονότα. Λόγω του φορμαλιστικού της λοιπόν αντιστοίχου, η συμπληρωματικότητα₁ όριζε με σαφήνεια τις συνθήκες του 'αμοιβαίου αποκλεισμού' και της 'αναγκαίας συμπλήρωσης', τις συνθήκες δηλαδή που ορίζουν με αναλυτική ακρίβεια την εντός του κβαντικού πλαισίου αλληλεξάρτηση των συμπληρωματικών όρων. Γι' αυτό, η συμπληρωματικότητα₁ μπορεί να εκληφθεί ως μία πρόδρομη ατελής, πλην όμως έγκυρη και από ερμηνευτικής άποψης διαφωτιστική, διατύπωση της συμπληρωματικότητας των κβαντικών φαινομένων₂.

Υπό την ερμηνευτική της τώρα διάσταση, η συμπληρωματικότητα₁ διάνοιγε έναν ριζικώς νέο, για τη φυσική επιστήμη, επιστημολογικό και φιλοσοφικό ορίζοντα: προσέδιδε στις έννοιες του χωρόχρονου και της αιτιότητας αμιγώς επιστημικό χαρακτήρα – εφόσον τις εμφάνιζε ως 'εξιδανικεύσεις' αποκλειστικώς εφαρμόσιμες στο πεδίο της κοινής ανθρώπινης εμπειρίας – διαρρήγνυε την, έως τότε, συνεχή και αυστηρώς αιτιακή επιστημονική εικόνα του φυσικού κόσμου – εφόσον οι συμπληρωματικοί όροι, ως εκ του αμοιβαίως αποκλειόμενου περιεχομένου τους, αδυνατούσαν να συναρθρωθούν σε μία ενιαία εικόνα – και ανακοίνωνε την οριστική κατάλυση του επιστημονικού ιδεώδους της 'πλήρους', στο ιδανικό οριο, γνώσης – εφόσον η συνεκτίμηση των συμπληρωματικών όρων μπορούσε ν' αποφέρει τη μέγιστη δυνατή, και σε καμία περίπτωση απεικονιστική, πληροφορία για το υπό μελέτη υποατομικό σύστημα. Στο πλαίσιο όμως της προτεινόμενης από τον Bohr ερμηνείας, όλα τα προηγούμενα εμφανίζονταν ως εύλογες συνέπειες μίας εγγενούς, στο πλαίσιο της κβαντικής θεωρίας, αντίθεσης: της αντίθεσης μεταξύ της αναγκαιότητας 'απομόνωσης' του υπό μελέτη υποατομικού συστήματος από το μετρητικό του περιβάλλον και του ολιστικού χαρακτήρα της κβαντικής μέτρησης. Οφείλουμε λοιπόν να υπογραμμίσουμε ότι η συμπληρωματικότητα₁ δεν αποτελούσε

⁷³ Για λόγους συντομίας και εάν δεν επιβάλλεται η μεταξύ τους διάκριση, η συμπληρωματικότητα μεταξύ 'χωρο-χρονικού συντονισμού' και 'αιτιότητας της αιτιότητας' μαζί με την επαγόμενη εξ αυτής συμπληρωματικότητα των συζυγών εννοιών θα αναφέρεται ως συμπληρωματικότητα₁.

μία πρωτογενή κανονιστική αρχή (όπως λόγου χάριν συμβαίνει στο πλαίσιο ορισμένων σύγχρονων πραγματιστικών προσεγγίσεων π.χ. Stapp, 1993, Plotnitsky, 1994), αλλά αντλούσε την κανονιστική και ερμηνευτική της ισχύ από τη θεμελιακή προκείμενη της κατά Bohr θεώρησης, από την αναγνώριση, δηλαδή, της ‘μοναδικότητας’ των υποατομικών διαδικασιών και του επαγόμενου εξ αυτής ‘προβλήματος της παρατήρησης’ (βλ. και §B-3.4.1). Ως ενισχυτικό της συγκεκριμένης ανάγνωσης τεκμήριο παραθέτουμε τον ακόλουθο συνοπτικό, αλλά απολύτως διαυγή, σε σχέση με την ακολουθούμενη ερμηνευτική γραμμή, ισχυρισμό του Bohr: «φθάσαμε σταδιακά [υπογράμμισε ο Bohr] στην πλήρη κατανόηση της υφιστάμενης διασύνδεσης μεταξύ της κατάργησης της αυστηρής αιτιότητας και των τιθέμενων από το κβάντο δράσης περιορισμών όσον αφορά τη δυνατότητα διάκρισης των φυσικών διαδικασιών από τη διαδικασία παρατήρησής τους. ... [Γιατί κατανοήσαμε] ότι κάθε παρατήρηση έχει ως κόστος της αδυναμία σύνδεσης του παρελθόντος με τη μελλοντική εξέλιξη των φαινομένων¹» (1929β, σσ. 4-5 και 11).

Από τα παραπάνω γίνεται φανερό ότι, από το κείμενο ήδη του Como, ο Bohr προσαρτούσε στις σχέσεις απροσδιοριστίας, ένα μονοσήμαντο, μη δυνάμενο να παρανοηθεί, περιεχόμενο: οι σχέσεις απροσδιοριστίας, ως ‘συμβολική’ έκφραση της συμπληρωματικότητας¹, καθόριζαν απλώς με μαθηματική ακρίβεια τα όρια της συνδυαστικής χρήσης των κλασικών εννοιών εντός του κβαντικού πλαισίου, όρια που επιβάλλονταν από τη ‘μοναδικότητα’ της *κάθε* κβαντικής μέτρησης. Όταν λοιπόν ο Hughes, υιοθετώντας την άποψη του Gibbins (1981), διατείνεται ότι ο Bohr «ταλαντεύεται μεταξύ μίας έμμεσης αποδοχής της οντικής ανάγνωσης [των σχέσεων απροσδιοριστίας] και μίας έκδηλης εμμονής σε μία ανάγνωση υπό όρους μετρητικών περιορισμών» (Hughes, 1992, σ. 266), αποδίδει στον Bohr δύο παντελώς ξένες, προς τις πραγματικές του προθέσεις, τάσεις. Πράγματι, η εκ θεμελίων διάσταση της θεώρησης του Bohr από την οπερασιοναλιστική ερμηνεία του Heisenberg έχει ήδη δειχθεί (§A-5.2.3, σημείο 4). Μία ευκρινής τώρα έκφραση της οντικής θεώρησης εκφέρεται από τον Davies, όταν αυτός ισχυρίζεται ότι «η [προβλεπόμενη από τις ανισότητες του Heisenberg] αβεβαιότητα είναι *εγγενής* στο μικρο-σύστημα, είναι δηλαδή εκεί, διαρκώς παρούσα, ανεξάρτητα από τις δικές μας μετρήσεις» (Davies, 1984, σ. 8). Όταν λοιπόν ο Hughes, επιθυμώντας να τεκμηριώσει τον προηγούμενο ισχυρισμό του, παρατηρεί ότι «σε ορισμένες περιπτώσεις ο Bohr ταυτίζει χωρίς κανέναν ενδοιασμό το εύρος αβεβαιότητας με τις ιδιότητες των κυμάτων» (στο ίδιο, σ. 266), αποδίδει στον Bohr μία συγγενή, προς τη θέση του Davies, αντίληψη.

Ο Hughes στηρίζει την κριτική του σε μία εργασία του 1949,⁷⁴ όταν ο Bohr, μέσω της έννοιας του φαινομένου₂ (σημείο 2), είχε ήδη ορίσει με τη δέουσα σαφήνεια το φυσικό περιεχόμενο των εμπειροχόμενων στις σχέσεις απροσδιοριστίας εννοιών. Όπως όμως καταδεικνύει η προηγηθείσα ανάλυση, η κριτική του Hughes αδυνατεί να συναντήσει το οποιοδήποτε έρεισμα ακόμη και στην πρωτόλεια διατύπωση της κατά Bohr θεώρησης. Είναι χαρακτηριστικό ότι, όταν από το κείμενο ήδη του Como ο Bohr υποδείκνυε ότι ‘μία εξατομικευμένη πραγματικότητα δεν μπορεί πλέον να προσαρτάται ούτε στα υπό παρατήρηση φαινόμενα₁ ούτε στις συσκευές μέτρησης’ (B1.6), υποδήλωνε με τον πλέον κατηγορηματικό τρόπο την οριστική ακύρωση κάθε δυνατότητας απεικονιστικής αναπαράστασης των υποατομικών οντοτήτων όπως αυτές ‘πραγματικά είναι’. Υπ’ αυτήν δε την προοπτική, δεν θα μπορούσε, φυσικά, ούτε να κατατάσσει τα υποατομικά συστήματα σε οντολογικές κατηγορίες (στην κλασική οντολογική κατηγορία των ‘κυμάτων’), ούτε να τους αποδίδει εγγενείς ιδιότητες (το οριζόμενο από τις σχέσεις απροσδιοριστίας ‘εύρος αβεβαιότητας’), όπως ο Hughes ισχυρίζεται. Γίνεται λοιπόν φανερό ότι, για να φθάσουμε στον ουσιαστικό και ακλόνητο έως σήμερα πυρήνα της κατά Bohr έννοιας της συμπληρωματικότητας, οφείλουμε πρώτα να εξετάσουμε μία ισχυρά παρερμηνευμένη πρωτόλεια μορφή της, τη συμπληρωματικότητα μεταξύ ‘κύματος’ και ‘σωματιδίου’.

8β. *Η συμπληρωματικότητα των κλασικών ‘εικόνων’ του ‘κύματος’ και του ‘σωματιδίου’ και η απορρέουσα εξ αυτής συμπληρωματικότητα των κατά Schrödinger και Heisenberg διατυπώσεων του κβαντικού φορμαλισμού.* Κατά την αντίληψη του Bohr, η ερμηνευτική αξιοπιστία της συμπληρωματικότητας μεταξύ ‘χωρο-χρονικού συντονισμού’ και ‘αιτήματος της αιτιότητας’ αποδεικνυόταν με τον πιο ξεκάθαρο τρόπο στην περίπτωση του πλέον ακανθώδους προβλήματος της φυσικής επιστήμης

⁷⁴ Ο Hughes στηρίζει την κριτική του σ’ ένα από τα πλέον σημαντικά και διαυγή, λόγω της σαφήνειας των ισχυρισμών του, άρθρα του Bohr, στο άρθρο ‘Συζήτηση με τον Einstein’ (Discussion with Einstein’, 1949, *APHK*, II). Στο άρθρο αυτό, ο Bohr, αναλύοντας το νοητικό πείραμα ενός διαφράγματος με μία μοναδική οπή, χρησιμοποιεί την ακόλουθη έκφραση: «Εξ αιτίας της περιορισμένης έκτασης του κυματικού πεδίου στην περιοχή της οπής, η παράλληλη, προς το επίπεδο του διαφράγματος, συνιστώσα του κυματικού αριθμού ‘περιλαμβάνει’ (‘involves’: η επίμαχη λέξη) ένα εύρος αβεβαιότητας ...» (σ. 43). Το απόσπασμα αυτό αρκεί στον Hughes για να συμπεράνει ότι ‘ο Bohr ταυτίζει χωρίς κανέναν ενδοιασμό το εύρος αβεβαιότητας με τις ιδιότητες των κυμάτων’, ενώ, σημειωτέον, ο Bohr στο ίδιο αυτό άρθρο, πέραν της αναλυτικής παρουσίασης της ερμηνευτικής του προσέγγισης, αισθάνθηκε για μία ακόμη φορά την ανάγκη να επαναλάβει ότι «η αναπτυσσόμενη εδώ επιχειρηματολογία αποσκοπεί ν’ αποκαλύψει και την ουσιαστική ασάφεια που ενέχεται σε κάθε ισχυρισμό που αναφέρεται σε φυσικές ιδιότητες των υποατομικών οντοτήτων...» (σ. 61). Εξάλλου, από το κείμενο ήδη του Como, ο Bohr είχε καταστήσει σαφές ότι, στο πλαίσιο της κβαντικής θεωρίας, οι κλασικές έννοιες του ‘κύματος’ και του ‘σωματιδίου’ δεν αντιπροσώπευαν τίποτε περισσότερο από ‘αφαιρέσεις’ ή ‘βοηθητικές ιδέες’ που στερούνταν του οποιοδήποτε φυσικού περιεχομένου (8β, 8γ).

εκείνη την περίοδο, στην περίπτωση του δυΐσμού κύματος – σωματιδίου. Στο κείμενο του Como, το συγκεκριμένο πρόβλημα τοποθετήθηκε στην ακόλουθη βάση.

(B1.15) A. Όσον αφορά τη φύση της ακτινοβολίας. «Η θεώρηση αυτή [η θεώρηση που διαμορφώνεται υπό το πρίσμα της συμπληρωματικότητας] ήλθε ευκρινώς στην επιφάνεια μέσω του πολυσυζητημένου ερωτήματος περί της φύσης της ακτινοβολίας και των υποατομικών συστατικών της ύλης. Όσον αφορά την ακτινοβολία, η χωρο-χρονική της διάδοση εκφράζεται κατάλληλα από την ηλεκτρομαγνητική θεωρία. ... Παρ' όλα αυτά, η διατήρηση της ενέργειας και της ορμής κατά την αλληλεπίδραση μεταξύ ύλης και ακτινοβολίας ... εκφράζεται κατάλληλα από την ιδέα των κβάντων φωτός του Einstein. Όπως είναι γνωστό, οι αμφιβολίες σε σχέση με την ισχύ της αρχής της υπέρθεσης, αφενός, και των αρχών διατήρησης, αφετέρου, διαψεύστηκαν τελικά από την πειραματική διαδικασία. Η συγκεκριμένη κατάσταση φαινόταν να υποδεικνύει την αδυναμία απόδοσης αυστηρών αιτιακών χωρο-χρονικών περιγραφών στα φαινόμενα της ακτινοβολίας. Από τη μια πλευρά, προσπαθώντας να επιτύχουμε χωρο-χρονικές περιγραφές σύμφωνες με το κβαντικό αξίωμα, αναγκαζόμαστε να περιοριστούμε σε στατιστικές μόνο προβλέψεις. Από την άλλη πλευρά, η ισχύς του αιτιώματος της αιτιότητας για τις μεμονωμένες διαδικασίες της ακτινοβολίας ακύρωνε κάθε δυνατότητα χωρο-χρονικής περιγραφής. Φυσικά, δεν τίθεται σε καμία περίπτωση το ζήτημα μιας ανεξάρτητης εφαρμογής των ιδεών του χωρόχρονου και της αιτιότητας. Οι δύο θεωρήσεις για τη φύση του φωτός οφείλουν μάλλον να θεωρηθούν ως διαφορετικές προσπάθειες ερμηνείας των πειραματικών δεδομένων. Στις προσπάθειες αυτές, οι περιορισμοί των κλασικών εννοιών εκφράζονται με συμπληρωματικό τρόπο» (στο ίδιο, σ. 56).

B. Όσον αφορά τη φύση των υποατομικών συστατικών της ύλης. «Πράγματι, και στην περίπτωση αυτή, δεν χειριζόμαστε αντικρουόμενες αλλά συμπληρωματικές εικόνες των φαινομένων¹, ο συνδυασμός των οποίων αποφέρει μια φυσική γενίκευση των κλασικών τρόπων περιγραφής» (στο ίδιο, σ. 56).

Όπως παρατηρούμε, το ζήτημα του δυΐσμού τοποθετήθηκε, όπως ακριβώς και η συμπληρωματικότητα¹, στο θεωρητικό επίπεδο: οι δύο θεωρίες για τη φύση του φωτός όφειλαν να ειδωθούν ως 'διαφορετικές προσπάθειες ερμηνείας των πειραματικών δεδομένων' (A), προσπάθειες στις οποίες οι περιορισμοί των κλασικών εννοιών εκφράζονταν με συμπληρωματικό τρόπο. Οι θεωρίες βεβαίως στις οποίες αναφερόταν ο Bohr δεν ήταν άλλες από την κυματική μηχανική του Schrödinger και τη θεωρία των μητρών του Heisenberg υπό την εξελιγμένη της πλέον μορφή.

Οι θεωρίες των Schrödinger και Heisenberg, παρότι είχαν δομηθεί υπό την παραδοχή του κβαντικού αξιώματος – η περιορισμένη επομένως διαχωριστικότητα των κβαντικών διαδικασιών ήταν εγγεγραμμένη στη λογική τους δομή – είχαν δομηθεί, παράλληλα, και υπό το πρότυπο δύο κλασικών 'εικόνων', των 'εικόνων', αντίστοιχα, του 'κύματος και του 'σωματιδίου'. Ο Schrödinger, δια της μεταφοράς της κλασικής 'εικόνας' του 'κύματος' εντός του κβαντικού πλαισίου, «ήλπιζε ν' αναπτύξει μια κυματική θεωρία, η οποία θα απάλειφε το εισαγόμενο από το κβαντικό αξίωμα ανορθολογικό στοιχείο και θα διάνοιγε τον δρόμο για την πλήρη περιγραφή

των ατομικών φαινομένων¹ κατά το κλασικό πρότυπο» (στο ίδιο, σ. 75). Έτσι, θέτοντας ως θεμελιακή έννοια της θεωρίας του, την έννοια του ‘κύματος’, επιχείρησε μέσω της αρχής της υπέρθεσης να επιτύχει χωρο-χρονικώς εντοπισμένα κυματοπακέτα από τα οποία αναμενόταν ν’ αναδυθεί η έννοια του ‘σωματιδίου’. Από την άλλη πλευρά, ο Heisenberg, μέσω της σωματιδιακής ‘εικόνας’, ήλπιζε ν’ απαλείψει κάθε μη-παρατηρήσιμη ποσότητα από τον κβαντικό φορμαλισμό και να προσφέρει ένα θεωρητικό σχήμα απαλλαγμένο από κάθε κλασικού τύπου χωρο-χρονική περιγραφή (§A-5.1.2, σημείο 5). Παρά την αντιδιαμετρική τους όμως εκκίνηση και προοπτική, οι θεωρίες των Schrödinger και Heisenberg μοιράζονταν εκ των πραγμάτων ένα κοινό χαρακτηριστικό: καθώς όφειλαν να προβλέψουν τα πειραματικά αποτελέσματα, όπως αυτά αναμενόταν να εμφανισθούν στο πεδίο της κοινής ανθρώπινης εμπειρίας, όφειλαν να καθορίσουν με ‘μη-διφορούμενο’ τρόπο την κατάσταση του υπό μελέτη συστήματος *πριν* αυτό παρατηρηθεί. Αυτό όμως σήμαινε ότι αναγκάζονταν να θεωρήσουν το υπό μελέτη σύστημα ‘απομονωμένο’ από το μετρητικό του περιβάλλον (ως ‘individual’, π.χ. B1.14) *πριν* από τη διενέργεια της οποιασδήποτε μέτρησης. Η δυνατότητα αυτή προσφερόταν, πράγματι, από τις ‘εικόνες’ του ‘κύματος’ και του ‘σωματιδίου’, εφόσον οι ‘εικόνες’ αυτές, ως εκ της κλασικής τους καταγωγής, προϋπέθεταν τον πλήρη διαχωρισμό υποκειμένου – αντικειμένου. Στο κείμενο του Como, ο Bohr έθεσε το συγκεκριμένο ζήτημα ως εξής.

(B1.16) «Εφόσον η γνώση μας για τις ιδιότητες των ατόμων απορρέει εξ ολοκλήρου από πειράματα που αποτυπώνουν τις αντιδράσεις των ατόμων σε περιπτώσεις σωματιδιακών κρούσεων ή αλληλεπίδρασης με την ακτινοβολία, η ερμηνεία των πειραματικών αποτελεσμάτων είναι *άμεσα εξαρτημένη* από τις *αφαιρέσεις* (‘abstractions’) της ακτινοβολίας στον ελεύθερο χώρο, αφενός, και των ελεύθερων υλικών σωματιδίων, αφετέρου. Κατά συνέπεια, τόσο η χωρο-χρονική θέαση των φαινομένων, όσο και ο προσδιορισμός της ενέργειας και της ορμής εξαρτώνται, τελικά, από τις συγκεκριμένες αφαιρέσεις. Αξιολογώντας δε τις εφαρμογές των *βοηθητικών* αυτών ιδεών [του ‘κύματος’ και του ‘σωματιδίου’], οφείλουμε να περιοριζόμαστε στην αποτίμηση της συνεκτικότητάς τους, αποδίδοντας ιδιαίτερη προσοχή στις δυνατότητες της παρατήρησης και του προσδιορισμού» (στο ίδιο, σ. 77).

Στο πλαίσιο της κβαντικής θεωρίας, οι κλασικές ‘εικόνες’ του ‘κύματος και του ‘σωματιδίου’ αντιπροσώπευαν ‘αφαιρέσεις’ ή ‘βοηθητικές ιδέες’, εφόσον προϋπέθεταν την ‘απομόνωση’ του υπό μελέτη υποατομικού συστήματος από το μετρητικό του περιβάλλον, κάτι που αντέβαινε, βεβαίως, στις θεμελιακές αρχές της κβαντικής θεωρίας. Η ‘απομόνωση’ όμως που επιτυγχανόταν μέσω της εναλλακτικής χρήσης μίας εκ των συγκεκριμένων ‘αφαιρέσεων’ ήταν ακριβώς εκείνη που επέτρεπε τη συνεκτική σύνδεση του κβαντικού φορμαλισμού με το πεδίο της κοινής

ανθρώπινης εμπειρίας. Υπό την επίγνωση του συγκεκριμένου γεγονότος, η κυματική μηχανική και η θεωρία των μητρών αντιμετωπίζονταν πλέον με τον ακόλουθο τρόπο.

(B1.17) «Η κυματική μηχανική, καθώς αντιπροσωπεύει, όπως ακριβώς και η θεωρία των μητρών, μια *συμβολική μεταγραφή* του προβλήματος της κλασικής κίνησης στο κβαντικό πλαίσιο, οφείλει να ερμηνεύεται αποκλειστικά μέσω του κβαντικού αξιώματος. Πράγματι, οι δύο διατυπώσεις του προβλήματος της αλληλεπίδρασης μπορούν να θεωρηθούν συμπληρωματικές *με την ίδια έννοια* που μπορούν να θεωρηθούν συμπληρωματικές οι ιδέες του κύματος και του σωματιδίου που χρησιμοποιούνται [από τις συγκεκριμένες διατυπώσεις] για την περιγραφή *απομονωμένων* υποατομικών συστημάτων» (στο ίδιο, σσ 75-76).

Κατ' αυτόν τον τρόπο, ο Bohr αναδείκνυε δύο καινούργιες εκφράσεις της συμπληρωματικότητας. Η πρώτη αφορούσε τη συμπληρωματικότητα των κλασικών 'εικόνων' του 'κύματος' και του 'σωματιδίου', εκείνων των 'εικόνων' που προσέφεραν την αναγκαία βάση για τη 'συμβολική μεταγραφή της κλασικής κίνησης στο κβαντικό πλαίσιο'. Η δεύτερη αφορούσε τη συμπληρωματικότητα των διαφορετικών τρόπων συμβολικής μεταγραφής, όπως οι τρόποι αυτοί αποτυπώνονταν στα θεωρητικά σχήματα των Schrödinger και Heisenberg. Όπως είναι φανερό, η δεύτερη έκφραση της συμπληρωματικότητας απέρρεε ευθέως από την πρώτη.⁷⁵

Ένα ερώτημα που τίθεται επομένως άμεσα είναι εάν υφίσταται κάποια σχέση λογικής διασύνδεσης μεταξύ της συμπληρωματικότητας των κλασικών 'εικόνων' αφενός, και της συμπληρωματικότητας μεταξύ 'χωρο-χρονικού συντονισμού' και 'αιτήματος της αιτιότητας', αφετέρου, μία σχέση ικανή να τοποθετήσει τις δύο αυτές εκφράσεις της συμπληρωματικότητας σ' ένα ενιαίο σχήμα. Στο ερώτημα αυτό δόθηκαν διαμετρικώς αντίθετες απαντήσεις. Οι Hughes και Pais, λόγου χάριν, εκτιμούν ότι ο 'χωρο-χρονικός συντονισμός' αντιστοιχεί στη 'σωματιδιακή' συμπεριφορά του κβαντικού συστήματος και το 'αίτημα της αιτιότητας' στην 'κυματική' (Hughes, 1992, σ. 229, Pais, 1991, σ. 315), ενώ ο Rosenfeld εκφράζει την ακριβώς αντίθετη άποψη (Rosenfeld, 1971, σ. 88). Μια τέτοια απόκλιση εκτιμήσεων οφείλεται, αναμφίβολα, στην εξαιρετικά χαλαρή χρήση της έννοιας της συμπληρωματικότητας στα αρχικά του κείμενα του Bohr. Μία προσεκτική όμως μελέτη των κειμένων αυτών τοποθετεί τη συμπληρωματικότητα₂ στη εξής βάση.

A. Η συμπληρωματικότητα των κλασικών 'εικόνων'. Στην περίπτωση αυτή, η έννοια της συμπληρωματικότητας έθετε *μόνο* τη συνθήκη της *αναγκαίας συμπλήρωσης* των εμπλεκόμενων συμπληρωματικών όρων: οι 'εικόνες' του 'κύματος' και του

⁷⁵ Για λόγους συντομίας και εάν δεν επιβάλλεται η μεταξύ τους διάκριση, η συμπληρωματικότητα των κλασικών 'εικόνων' μαζί με τη συμπληρωματικότητα των διαφορετικών διατυπώσεων του κβαντικού φορμαλισμού θα αναφέρονται στη συνέχεια ως συμπληρωματικότητα₂.

‘σωματιδίου’ ήταν συμπληρωματικές επειδή ήταν και οι δύο αναγκαίες για τη συνεκτική σύνδεση οποιασδήποτε εκ των δύο εκφράσεων του κβαντικού φορμαλισμού με την πειραματική διαδικασία. Εξ ου και ο ισχυρισμός του Bohr περί της αναγκαιότητας ‘συνδυασμένης χρήσης δύο μη αντικρουόμενων, αλλά συμπληρωματικών εικόνων των φαινομένων’ (B1.15, B). Ο συγκεκριμένος ισχυρισμός υποδείκνυε τα εξής. Από τη μία πλευρά, οι λύσεις της κυματικής μηχανικής μπορούσαν να ‘οπτικοποιηθούν’ μόνο στο βαθμό που περιγράφονταν ‘με τη βοήθεια της έννοιας των ελευθέρων σωματιδίων’. Η συνεκτική, λόγου χάριν, ερμηνεία των φαινομένων συμβολής μπορούσε να επιτευχθεί μόνο εάν η κυματική έννοια της ‘πυκνότητας ηλεκτρικού φορτίου’ (ή της ‘πυκνότητας ενέργειας’ της ακτινοβολίας) εκλαμβάνόταν ως εκφράζουσα την ‘πυκνότητα πιθανότητας’ να βρεθεί το ηλεκτρόνιο (ή το φωτόνιο), ως *σωματίδιο*, σε μία συγκεκριμένη περιοχή του χώρου (στο ίδιο, σ. 79). Από την άλλη πλευρά, το θεωρητικό σχήμα του Heisenberg, για να επιτύχει, λόγου χάριν, μια συνεκτική ερμηνεία των παρατηρησιακών αποτελεσμάτων του γ-μικροσκοπίου όφειλε να θεωρήσει την ακτινοβολία υπό την *κυματική* της φύση κατά τη φάση της διέλευσής της από τον φακό (στο ίδιο, σσ. 63-64). Όλα αυτά καταδείκνυαν με σαφήνεια ότι οι δύο εναλλακτικές διατυπώσεις του κβαντικού φορμαλισμού, παρότι είχαν δομηθεί υπό το πρότυπο μιας συγκεκριμένης κλασικής ‘εικόνας’, είχαν ανάγκη τη ‘συμπληρωματική’ προς τη δική τους ‘εικόνα’ (ή ‘έννοια’ ή ‘βοηθητική ιδέα’) για τη συνεκτική τους σύνδεση με την εμπειρία.

B. Η συμπληρωματικότητα των κατά Schrödinger και Heisenberg διατυπώσεων του κβαντικού φορμαλισμού. Στην περίπτωση αυτή, η έννοια της συμπληρωματικότητας δεν όριζε καμία συνθήκη αλληλεξάρτησης των συμπληρωματικών όρων: τα θεωρητικά σχήματα των Schrödinger και Heisenberg αντιπροσώπευαν (όπως είχε ήδη αποδειχθεί μέσω της θεωρίας μετασχηματισμού των Jordan και Dirac και μέσω της αξιωματικής διατύπωσης της κβαντικής μηχανικής από τον von Neumann) δύο εμπειρικά και λογικά ισοδύναμες ανεξάρτητες διατυπώσεις του κβαντικού φορμαλισμού. Έτσι, στη συγκεκριμένη περίπτωση, η έννοια της συμπληρωματικότητας χρησίμευε για τη σημειολογική και μόνο υποδήλωση τόσο της συμπληρωματικότητας μεταξύ των κλασικών προτύπων των δύο διατυπώσεων, υπό την προαναφερθείσα της διάσταση (A), όσο και της συμπληρωματικότητας μεταξύ των θεμελιακών τους προκειμένων (της χωρο-χρονικής συνέχειας ως πρωτεύον χαρακτηριστικό της κυματικής ‘εικόνας’ στην κυματική μηχανική και της κατά το κλασικό πρότυπο εφαρμογής των αιτιακών

νομων διατήρησης ως πρωτεύον χαρακτηριστικό της σωματιδιακής ‘εικόνας’ στη θεωρία των μητρών). Εξ ου και ο ισχυρισμός του Bohr ότι ‘στις δύο θεωρήσεις για τη φύση του φωτός, οι περιορισμοί των κλασικών εννοιών εκφράζονται με συμπληρωματικό τρόπο’ (B1.15, A).

Όπως διαπιστώνουμε, εκ των δύο ανωτέρω εκφράσεων της συμπληρωματικότητας, η συμπληρωματικότητα μεταξύ των κλασικών ‘εικόνων’ ήταν η μόνη που όριζε μια σχέση λογικής αλληλεξάρτησης των συμπληρωματικών όρων. Επί πλέον, η συγκεκριμένη σχέση ήταν ουσιωδώς διαφορετική από τη σχέση που συνέδεε τους εμπλεκόμενους όρους στη συμπληρωματικότητα₁: ενώ η συμπληρωματικότητα₁ υποδήλωνε την αμοιβαίο αποκλεισμό και την αναγκαία συμπλήρωση εννοιών που ήταν *πλήρως εναρμονισμένες* στο κλασικό πλαίσιο, η συμπληρωματικότητα των κλασικών ‘εικόνων’ του ‘κύματος’ και του ‘σωματιδίου’ υποδήλωνε την αναγκαία *μόνο* συμπλήρωση δύο *λογικώς ασύμβατων* κλασικών εικόνων στο πλαίσιο της κβαντικής θεωρίας. Όπως είναι φανερό, μια τέτοια ριζική διαφοροποίηση, όσον αφορά τη συνθήκη αλληλεξάρτησης των συμπληρωματικών όρων, θέτει φραγμό σε κάθε προσπάθεια εξεύρεσης λογικών κανόνων αντιστοίχισης μεταξύ των δύο αυτών εκφράσεων της συμπληρωματικότητας. Μπορούμε λοιπόν να θεωρήσουμε ότι οι προαναφερθείσες ελλειπτικές αντιστοιχίσεις των Hughes, Rosenfeld και Pais επιτείνουν τη σύγχυση που ούτως ή άλλως δημιουργείται από την πολυσήμαντη αρχική χρήση της έννοιας της συμπληρωματικότητας. Σύμφωνα με τη δική μας ανάλυση, ένας διευρυμένος ορισμός της συμπληρωματικότητας, για να συμπεριλαμβάνει όλες τις κατά Bohr εκφάνσεις της, οφείλει ν’ αναδεικνύει τα εξής.

Γ. Η έννοια της συμπληρωματικότητας υπό την ευρεία της έκφραση. Η συμπληρωματικότητα αποτελεί αναπόδραστη συνέπεια του ολιστικού χαρακτήρα της κβαντικής θεωρίας, εφόσον απορρέει από την επιστημική αναγκαιότητα της σαφούς διάκρισης του υπό μελέτη αντικειμένου από το μετρητικό του περιβάλλον *πριν* από κάθε μέτρηση. Έτσι, οι ενεχόμενοι σε οποιαδήποτε έκφραση της συμπληρωματικότητας όροι (ακόμη και οι εναλλακτικές διατυπώσεις του κβαντικού φορμαλισμού από τη στιγμή που, για τις ανάγκες μίας συγκεκριμένης μέτρησης, θεωρούν το υπό μελέτη σύστημα ‘απομονωμένο’ από το μετρητικό του περιβάλλον), καθώς συνιστούν προϊόν της διεξαγόμενης από τον ερευνητή ‘τομής’, εμπίπτουν, εκ φύσεως, στο προσδιορίζον την ‘κλασικότητα’, υπό την ευρεία της έννοια, καθεστώς (§B-2). Οι συμπληρωματικές επομένως περιγραφές, υπό την οιαδήποτε

εξειδικευμένη τους έκφραση, αντιπροσωπεύουν καλώς ορισμένες πλην όμως μη-εξαντλητικές και μη-απεικονιστικές περιγραφές του υπό μελέτη συστήματος, περιγραφές που, ως ετερογενείς και ενίοτε ασύμβατες, αποκλείουν εκ λόγων αρχής τη συνεκτική τους συγχώνευση σε μία ενιαία εικόνα ή δομή. Έτσι, η *μέγιστη δυνατή* κατανόηση της φύσης του υπό μελέτη συστήματος (μία φύση που ουδέποτε αποκαλύπτεται όπως ‘πραγματικά είναι’) μπορεί να προκύψει μόνο μέσω της ‘συνεκτίμησης’, της ‘κατάλληλης στάθμισης’ ή της ‘διαλεκτικής σύνθεσης’ συμπερασμάτων που προκύπτουν από την συνδυασμένη εφαρμογή συμπληρωματικών, υπό την ευρεία αυτήν έννοια, ενεργημάτων ή προοπτικών.

Μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι, ακόμη και υπό τη διευρυμένη της αυτή έκφραση, η κατά Bohr έννοια της συμπληρωματικότητας δεν επιτρέπει την οιαδήποτε αμφισβήτηση σε σχέση με τον χαρακτήρα των συμπληρωματικών όρων: σε κάθε περίπτωση, οι συμπληρωματικοί όροι αντιπροσώπευαν καλώς ορισμένες ‘συμβολικές μετεγγραφές’, ‘βοηθητικές ιδέες’, ‘αφαιρέσεις’ ή ‘εξιδανικεύσεις’ «στις οποίες ήταν αδύνατο πλέον να προσαρτάται μία ‘άμεση πραγματικότητα’» (‘immediate reality’, στο ίδιο, σ. 79). Είναι δε φανερό ότι, υπ’ αυτήν την προοπτική, οι διασυνδεδεμένοι μέσω της συμπληρωματικότητας όροι απογυμνώνονταν παντελώς από τον κλασικό τους νόημα. Όταν λοιπόν ο Hughes παρατηρεί ότι «η θεώρηση του Bohr απορρίπτεται άμεσα από οποιονδήποτε προσυπογράφει την αρχή της ασυμμετρίας του νοήματος, την αντίληψη δηλαδή που υποστηρίζει ότι, κατά την αλλαγή θεωρίας, όλοι οι όροι υφίστανται μία ριζική αλλαγή νοήματος» (Hughes, 1992, σ. 230), παρουσιάζει, για μία ακόμη φορά, μία παντελώς αδόκιμη εικόνα της κατά Bohr θεώρησης. Γιατί, όπως έδειξε συνολικά η εργασία μας και όπως πιστοποιεί στο σημείο αυτό η παρούσα ανάλυση, ο Bohr θα ήταν πράγματι ο πρώτος που θα υποστήριζε, μαζί με τον Hughes, ότι «τα λεξιλόγια του πειραματιστή και του θεωρητικού φυσικού (εάν χρησιμοποιούσε κανείς την αμφίβολη αυτή διάκριση) υπήρξαν πάντοτε αδιαχώριστα και ότι οι όροι που αφορούν ριζικώς νέες έννοιες εισάγονται ταυτόχρονα στο λεξιλόγιο τόσο του θεωρητικού φυσικού όσο και του πειραματιστή» (στο ίδιο, σ. 231). Για τον Bohr, η διατήρηση της ‘κλασικότητας’ εντός του κβαντικού πλαισίου δεν εξυπηρετούσε τη διασφάλιση της νοηματικής συνέχειας της κλασικής και της κβαντικής θεωρίας μέσω μίας κοινής, ουδέτερης παρατηρησιακής γλώσσας κατά το θετικιστικό πρότυπο, όπως ο Hughes υπαινίσσεται (βλ. και §B-3.4, σημείο 1β). Για τον Bohr, αντίθετα, η ‘κλασικότητα’, υπό την

οριζόμενη από τη συμπληρωματικότητα νοηματική της διάσταση, αποτελούσε εγγενές στοιχείο *κάθε* κβαντικής περιγραφής (θεωρητικής ή πειραματικής) που διεξαγόταν υπό την *ενσυνείδητη πλέον* εφαρμογή της υποκείμενης στην κλασική θεωρία παραδοχής του ‘αποσπασμένου παρατηρητή’ και υπό την *πλήρη επίγνωση* των περιορισμών της. Όπως δε διαπιστώσαμε, η δικαίωση της συμπληρωματικότητας απέρρευε πάντοτε από την ίδια ερμηνευτική προκείμενη: από την αναγνώριση της θεμελιακής αντίθεσης μεταξύ του ολιστικού χαρακτήρα του κβαντικού φορμαλισμού (ενός χαρακτήρα που, κατά την αντίληψη του Bohr, αντανακλούσε την ολιστική δομή της πέραν της εμπειρίας και του υποκειμένου φυσικής πραγματικότητας, βλ. §B-3.4.2) και της αναγκαιότητας απομόνωσης του υπό μελέτη συστήματος από το μετρητικό του περιβάλλον υπό την προοπτική μίας σχεδιαζόμενης μέτρησης.

Για να ολοκληρώσουμε όμως την ανάλυση των πρώιμων εκφράσεων της συμπληρωματικότητας, είναι αναγκαία η ακόλουθη παρατήρηση. Ο Bohr εισήγαγε τη συμπληρωματικότητα₂ για να καταδείξει την άρρηκτη διασύνδεση της συμπληρωματικότητας₁ με το πρόβλημα του δυϊσμού. Η κίνηση αυτή, παρότι δικαιολογημένη εάν ληφθούν υπόψη τα υφιστάμενα εκείνη την εποχή προβλήματα, συσκότιζε σε σημαντικό βαθμό τον θεμελιακό χαρακτήρα της συμπληρωματικότητας₁, μίας έκφρασης που, σε αντίθεση με τις υπόλοιπες, διατηρεί την κανονιστική και ερμηνευτική της ισχύ έως σήμερα. Η πολυσήμαντη επομένως χρήση της έννοιας της συμπληρωματικότητας, αν και δεν διατάρασσε, όπως διαπιστώσαμε, τη συνεκτικότητα της προτεινόμενης ερμηνείας, αποδυνάμωνε την αναλυτική της ακρίβεια και ευνοούσε πολυποίκιλες συγχύσεις. Ενισχυτικός της κατάστασης αυτής παράγοντας υπήρξε ο καθ’ ολοκληρίαν *αρνητικός* προσδιορισμός του νοήματος των συμπληρωματικών όρων σε όλες τις πρώιμες εκφράσεις της συμπληρωματικότητας: οι συμπληρωματικοί όροι, ως ‘αφαιρέσεις’, ‘εξιδανικεύσεις’, κ.λ.π. αδυνατούσαν να προσλάβουν το φυσικό τους νόημα μέσω μίας, κατά το κλασικό πρότυπο, ‘αντιστοίχισης’ σε χαρακτηριστικά του φυσικού κόσμου όπως αυτός ‘πραγματικά είναι’. Όπως όμως επισήμανε ο ίδιος ο Bohr αργότερα, «μια φράση που δηλώνει ότι ‘δεν μπορούμε να γνωρίζουμε *και* τη θέση *και* την ορμή ενός ατομικού αντικειμένου’ εγείρει άμεσα ερωτήματα για τη πραγματική φυσική υπόσταση των δύο αυτών χαρακτηριστικών του αντικειμένου» (Bohr, 1949, *ΑΡΗΚ*, II σ. 40). Η έννοια λοιπόν που ορίστηκε για να προσδιορίσει με *θετικό πλέον* τρόπο το φυσικό περιεχόμενο των ενεχόμενων στη συμπληρωματικότητα₁ όρων ήταν η έννοια του κβαντικού φαινομένου₂ υπό τον ύστερο προσδιορισμό της (σημείο 2).

8γ. Η συμπληρωματικότητα των κβαντικών φαινομένων₂ υποκαθιστά όλες τις υπόλοιπες εκφράσεις της συμπληρωματικότητας. Μετά την επίπονη διαμάχη του με τους EPR, ο Bohr ήταν πλέον σε θέση να προσδιορίζει με τον ακόλουθο ακριβή τρόπο την εστία του προβλήματος της κβαντικής μέτρησης: «στο πλαίσιο του κβαντικού φορμαλισμού, καμία καλώς ορισμένη χρήση της έννοιας της ‘κατάστασης’, ως αναφερόμενης σε απομονωμένο από τη μετρητική συσκευή αντικείμενο, δεν είναι δυνατή, έως ότου προσδιοριστούν με μη διαφορούμενο τρόπο οι εξωτερικές συνθήκες που εμπλέκονται στον ορισμό της συγκεκριμένης έννοιας» (Bohr, C&C, 1938α, σ. 102). Μπορούμε βεβαίως να παρατηρήσουμε ότι, μέσω του συγκεκριμένου ισχυρισμού, ο Bohr διατύπωνε απλώς με σαφήνεια το ουσιαστικό περιεχόμενο του κειμένου του Como. Ο ισχυρισμός όμως αυτός οδηγούσε ευθέως στον ορισμό της έννοιας του φαινομένου₂ (σημείο 2), αναδείκνυε τον *πλαισιακό* χαρακτήρα της κβαντικής μέτρησης⁷⁶ και καθόριζε με τον ακόλουθο, *θετικό πλέον*, τρόπο το νόημα των κλασικών εννοιών εντός του κβαντικού πλαισίου.

(B1.18) «Είναι σημαντικό να κατανοήσουμε ότι κανένα πειραματικό αποτέλεσμα που αφορά φαινόμενα₂, τα οποία υπερβαίνουν εκ λόγων αρχής το πεδίο της κλασικής φυσικής, δεν μπορεί να εκληφθεί ως παρέχον πληροφορία για *ανεξάρτητες ιδιότητες* (‘independent properties’) των αντικειμένων. Γιατί ένα τέτοιο αποτέλεσμα είναι εγγενώς συνδεδεμένο με μια καλώς καθορισμένη κατάσταση, στην περιγραφή της οποίας υπεισέρχονται με ουσιώδη τρόπο οι μετρητικές συσκευές» (Bohr, 1938β, *APHK* II, σ. 26).

Οι κλασικές λοιπόν έννοιες, ως παρατηρήσιμα μεγέθη της κβαντικής θεωρίας, περιέγραφαν, όχι το υπό μελέτη σύστημα καθεαυτό, αλλά *τις δυνατές του εμφανίσεις* ή *τις υλικές του πραγματώσεις* του σ’ ένα συγκεκριμένο πειραματικό πλαίσιο (σ’ ένα συγκεκριμένο περιβάλλον της κοινής ανθρώπινης εμπειρίας), όπως αυτό καθοριζόταν από το ερώτημα του ερευνητή (από τον τρόπο προσδιορισμού της κατάστασης του υπό μελέτη συστήματος εν όψει μίας επικείμενης μέτρησης). Το νόημα επομένως των κλασικών εννοιών ήταν *πλαισιακώς εξαρτώμενο*: η δύναμην να συλλεχθεί (ή η εκάστοτε συλλεγόμενη) από μία μέτρηση πληροφορία περιέγραφε τη συμπεριφορά και τις ιδιότητες ενός *φαινομένου αντικειμένου* (ενός φαινομένου₂), στη διαμόρφωση του οποίου το πειραματικό πλαίσιο διαδραμάτιζε καθοριστικό ρόλο. Υπό την επίγνωση δε «της αδυναμίας πλήρους διαχωρισμού της συμπεριφοράς των υποατομικών συστημάτων από την αλληλεπίδρασή τους με τις μετρητικές συσκευές που προσδιορίζουν τις συνθήκες υπό τις οποίες εμφανίζονται τα φαινόμενα₂», κατανοούσε

⁷⁶ Για την αποφυγή σχετικών παρανοήσεων, οφείλουμε να σημειώσουμε ότι ο ίδιος ο Bohr ουδέποτε χρησιμοποίησε τον όρο ‘πλαισιακότητα’.

πλέον κανείς ότι «οι ενδείξεις που επιτυγχάνονται υπό διαφορετικές πειραματικές συνθήκες είναι αδύνατο να συντεθούν σε μια ενιαία εικόνα, αλλά οφείλουν να εκλαμβάνονται ως συμπληρωματικές, υπό την έννοια ότι μόνο το σύνολο των φαινομένων₂ εξαντλεί τη δυνατή πληροφορία για τα υπό παρατήρηση αντικείμενα» (Η έμφαση από τον Bohr, 1949, *APHK* II, σ. 40). Κατ' αυτόν τον τρόπο, η κατά Bohr έννοια της συμπληρωματικότητας αποκτούσε την ακριβή της έκφραση:

Α. Η συμπληρωματικότητα των φαινομένων₂: η αναγκαιότητα καθορισμού (στο θεωρητικό επίπεδο) και χρήσης (κατά την ενεργό πειραματική διαδικασία) αμοιβαίως αποκλειόμενων πειραματικών διατάξεων για τη συλλογή της μέγιστης δυνατής πληροφορίας για το υπό μελέτη υποατομικό σύστημα υπό όρους επιστημονικής αντικειμενικότητας. Ή, υπό μια ισοδύναμη διατύπωση, η αναγκαιότητα χειρισμού, τόσο στο θεωρητικό όσο και στο εμπειρικό επίπεδο, αμοιβαίως αποκλειόμενων φαινομένων₂, για τη συλλογή της μέγιστης δυνατής πληροφορίας για το υπό μελέτη υποατομικό σύστημα υπό όρους επιστημονικής αντικειμενικότητας.

Η συμπληρωματικότητα των φαινομένων₂, καθώς οριοθετεί με απολύτως συνεπή, προς τη σύγχρονη αντίληψη, τρόπο το καθεστώς της 'κλασικότητας' εντός του κβαντικού πλαισίου, θα μελετηθεί διεξοδικά στη συνέχεια (§B-2). Προς το παρόν, αρκεί να επισημάνουμε ότι η συγκεκριμένη έκφραση της συμπληρωματικότητας, καθώς όριζε με απόλυτη σαφήνεια τις συνθήκες της 'αναγκαίας συμπλήρωσης' και του 'αμοιβαίου αποκλεισμού', ενσωμάτωσε άμεσα τη συμπληρωματικότητα₁: τα ερωτήματα σε σχέση με 'τις συνθήκες μη-διφορούμενης χρήσης των χωρο-χρονικών εννοιών, αφενός, και των δυναμικών νόμων διατήρησης, αφετέρου', μπορούσαν ν' απαντηθούν με λογικώς συνεκτικό τρόπο, εάν λάμβανε κανείς υπόψη του ότι 'η χρήση αυτή επιτυγχανόταν μέσω της μελέτης συμπληρωματικών φαινομένων₂', φαινομένων₂ δηλαδή 'που αντιστοιχούσαν σε αμοιβαίως αποκλειόμενες πειραματικές διατάξεις' (Bohr, 1949, *APHK* II, σσ. 40- 41). Εάν τώρα αναρωτιόμαστε τι απέμεινε από τη συμπληρωματικότητα₂ μετά το 1938 (αφότου δηλαδή ορίστηκε η έννοια του φαινομένου₂), η μελέτη των όψιμων κειμένων του Bohr αποκαλύπτει τα εξής.

Η μεν συμπληρωματικότητα των δύο εναλλακτικών διατυπώσεων του κβαντικού φορμαλισμού έπαυσε έκτοτε να μνημονεύεται, η δε συμπληρωματικότητα των κλασικών 'εικόνων' του 'κύματος' και του 'σωματιδίου' υποκαταστάθηκε εν γένει από τη διαπίστωση ότι «η προσάρτηση συμβατικών φυσικών χαρακτηριστικών στα υποατομικά αντικείμενα δημιουργεί μια κατάσταση ουσιαστικής ασάφειας που

γίνεται ιδιαίτερα εμφανής όταν αναφερόμαστε στις σωματιδιακές και κυματικές ιδιότητες των ηλεκτρονίων και των φωτονίων (στο ίδιο, σ. 40). Ο Bohr επισημαίνει εδώ ότι η εναλλακτική εμφάνιση των ‘σωματιδιακών’ και ‘κυματικών’ ‘εικόνων’ στο εμπειρικό επίπεδο συνιστούσε πρόβλημα, επειδή, υπό την καθοδήγηση της κλασικής κοσμοθεώρησης, οι ‘εικόνες’ αυτές εκλαμβάνονταν ως αποδίδουσες τα χαρακτηριστικά των υποατομικών οντοτήτων, όπως αυτές ‘πραγματικά είναι’. Μια φυσική δε οντότητα ήταν πράγματι αδύνατο να διαθέτει λογικώς ασύμβατα (‘κυματικά’ και ‘σωματιδιακά’) χαρακτηριστικά. Εάν όμως οι κλασικές ‘εικόνες’ εκλαμβάνονταν ως ‘αφαιρέσεις’ ή ‘βοηθητικές ιδέες’ το πρόβλημα του δυϊσμού έπαυε να υφίσταται: τα φυσικά, λόγω χάριν, μεγέθη E, p και ν, λ δεν αποτελούσαν αναπαραστάσεις των ‘σωματιδιακών’ ή των ‘κυματικών’ ιδιοτήτων των υποατομικών οντοτήτων, αντίστοιχα, αλλά απλά ‘σύμβολα’ που δεσμεύονταν από τους περιορισμούς της συμπληρωματικότητας των φαινομένων². Κάθε αξιολόγηση, επομένως, ‘των εφαρμογών των βοηθητικών αυτών ιδεών’ όφειλε να ‘περιορίζεται στην αποτίμηση, και μόνο, της συνεκτικότητάς τους’ (στο ίδιο, σ. 40). Η κβαντική θεωρία υποδείκνυε πλέον με σαφήνεια ότι οι υποατομικές οντότητες δεν είναι ούτε ‘κύματα’ ούτε ‘σωματίδια’. Είναι ενδιαφέρον ότι, σαράντα χρόνια αργότερα, οι Aspect and Grangier παρουσίασαν τα συμπεράσματα δύο σημαντικών πειραμάτων που διερευνούσαν τον δυϊσμό κύματος – σωματιδίου σ’ ένα μεμονωμένο φωτόνιο με τον ακόλουθο, απολύτως συμβατό με τη θεώρηση του Bohr, τρόπο.

(B1.19) «Τα δύο αυτά πειράματα αποσαφηνίζουν με άμεσο τρόπο την έννοια του δυϊσμού κύματος – σωματιδίου σ’ ένα μεμονωμένο φωτόνιο. Χρησιμοποιώντας κλασικές εικόνες (ή έννοιες) για να επεξηγήσουμε τα πειράματα αυτά, οφείλουμε να χειριστούμε μια σωματιδιακή εικόνα για το πρώτο, ... ενώ, αντίθετα, το δεύτερο μπορεί να γίνει κατανοητό μόνο στο πλαίσιο μιας κυματικής θεωρίας. ... Είναι πράγματι αληθές ότι οι δύο κλασικές εικόνες που αντιστοιχούν στα συγκεκριμένα πειράματα είναι αμοιβαίως αποκλειόμενες. Είναι όμως επίσης αληθές ότι τα αντίστοιχα πειράματα είναι επίσης αμοιβαίως αποκλειόμενα, υπό την έννοια ότι θα ήταν αδύνατο να πραγματοποιηθούν ταυτόχρονα. ... Η αδυναμία ταυτόχρονης πραγματοποίησης πειραμάτων που αντιστοιχούν σε συμπληρωματικές περιγραφές υπήρξε ένα επαναλαμβανόμενο επιχείρημα του Bohr, ένα επιχείρημα που κατέληγε στο συμπέρασμα ότι η κβαντική μηχανική είναι μια συνεκτική και πλήρης θεωρία. Πράγματι, το πρόβλημα των λογικώς ασύμβατων περιγραφών αναφαίνεται μόνο στο βαθμό που επιμένουμε να χρησιμοποιούμε κλασικές εικόνες, όπως τα κύματα και τα σωματίδια. Εάν περιοριστούμε στην κβαντομηχανική περιγραφή, υπάρχει μια ενιαία περιγραφή του φωτός μέσω του ίδιου καταστατικού ανύσματος και στα δύο αυτά πειράματα. Είναι η παρατηρήσιμη ποσότητα εκείνη που αλλάζει ανάλογα με το πείραμα και όχι η περιγραφή του φωτός» (Aspect and Grangier, 1988, σσ. 281-283).

Η σύγκλιση προς τη θεώρηση του Bohr είναι πράγματι εντυπωσιακή: τα πειραματικά αποτελέσματα καταδείκνυαν ότι το πρόβλημα του δυϊσμού έπαυε να υφίσταται, εάν,

υπό το κράτος μιας ενιαίας κβαντομηχανικής περιγραφής, καθορίζονταν στο θεωρητικό επίπεδο και χρησιμοποιούντο στην πειραματική διαδικασία αμοιβαίως αποκλειόμενες πειραματικές διατάξεις που εντέλλονταν να μετρήσουν αμοιβαίως αποκλειόμενες, επίσης, παρατηρήσιμες ποσότητες.. Για να ολοκληρώσουμε, όμως, την ανάλυση της πρωταρχικής διατύπωσης του επιχειρήματος της συμπληρωματικότητας, είναι αναγκαίες οι ακόλουθες παρατηρήσεις.

Η έννοια της συμπληρωματικότητας, ως εκ της άρρηκτης διασύνδεσής της με την έννοια του φαινομένου² μετέφερε την *καλώς προσδιορισμένη αναφορά* των επιστημονικών όρων από το επίπεδο της ‘φυσικής πραγματικότητας’ στο επίπεδο της ‘κοινής ανθρώπινης εμπειρίας’ (σημείο 2). Η μεταφορά βεβαίως αυτή δεν μετέβαλλε στο ελάχιστο τη σκόπευση της φυσικής επιστήμης, η οποία απέβλεπε – και αποβλέπει πάντοτε – στην αποκρυπτογράφηση των ουσιαστικών χαρακτηριστικών της *πέραν των φαινομένων και της εμπειρίας* φυσικής πραγματικότητας. Η ίδια η κβαντική θεωρία προσέφερε ένα απτό παράδειγμα του συγκεκριμένου γεγονότος: η φυσική επιστήμη έφθασε ν’ αναγνωρίσει ένα ουσιαστικό οντολογικό χαρακτηριστικό της φυσικής πραγματικότητας – τον ολιστικό χαρακτήρα των κβαντικών διαδικασιών – μόνο όταν κατόρθωσε ν’ αποκαλύψει και να υπερβεί τις απορρέουσες από την καθημερινή εμπειρία παραδοχές. Έτσι, κατά την αντίληψη του Bohr, η κβαντική θεωρία, γενικότερα, και η έννοια της συμπληρωματικότητας ειδικότερα, δεν εξέφραζαν τίποτε άλλο από «το όριο που επέβαλε η ίδια η φύση στη δυνατότητά μας να μιλάμε για τα φυσικά φαινόμενα¹ όπως υπάρχουν αντικειμενικά, όπως υπάρχουν, δηλαδή, ανεξάρτητα από τις παρατηρήσεις μας» (Bohr, 1929γ, *ATDN*, σ. 115). Υπ’ αυτήν ακριβώς την προοπτική, ο Bohr επέλεξε να ολοκληρώσει το κείμενο του Como με τρόπο που αναδεικνυε τις αμετάκλητες – *τις μη υπερβάσιμες από τη μελλοντική ανάπτυξη της επιστήμης* – επιστημολογικές συνέπειες του κβαντικού ολισμού:

(B1.20) «Το επιχείρημα της σχετικότητας υποστηρίζει με ουσιαστικό τρόπο την ενότητα του χωρο-χρονικού συντονισμού και του αιτήματος της αιτιότητας, εκείνη την ενότητα που χαρακτηρίζει τις κλασικές θεωρίες. Κατά την προσπάθεια λοιπόν προσαρμογής του αιτήματος της σχετικότητας στο κβαντικό αξίωμα, οφείλουμε να είμαστε προετοιμασμένοι για μια ευρύτερη ακόμη ακύρωση της συνήθους δυνατότητας οπτικοποίησης, σε σχέση με αυτήν που συναντάμε στους κβαντικούς νόμους. Πράγματι, βρίσκουμε εδώ τους εαυτούς μας ν’ ακολουθούν το ίδιο μονοπάτι με τον Einstein σε μια προσπάθεια προσαρμογής των αισθητηριακών μας τρόπων αντίληψης στην ολοένα και βαθύτερη γνώση των νόμων της φύσης. Τα εμπόδια που συναντώνται στο μονοπάτι αυτό εδράζονται, κατά κύριο λόγο, στο ότι *κάθε λέξη της γλώσσας μας αναφέρεται στη συνήθη εμπειρία*. Στην κβαντική θεωρία, συγκεκριμένα, η δυσκολία αυτή συναντάται, άμεσα, στην αναπόφευκτη ανορθολογικότητα που χαρακτηρίζει το κβαντικό αξίωμα. Ελπίζω, εν τούτοις, ότι η ιδέα της συμπληρωματικότητας θ’ αποδειχθεί κατάλληλη για τον χαρακτηρισμό

μιας κατάστασης, η οποία φέρει βαθιές αναλογίες με τη γενική δυσκολία συγκρότησης των ανθρώπινων ιδεών και είναι εγγενής σε κάθε προσπάθεια διάκρισης υποκειμένου – αντικειμένου» (Bohr, 1927α σσ. 90-91).

Η φυσική λοιπόν επιστήμη, στην προσπάθειά της ν' αποκτήσει 'ολοένα και βαθύτερη γνώση των νόμων της φύσης', βρέθηκε αντιμέτωπη με τη 'γενικότερη κατάσταση που χαρακτηρίζει τη συγκρότηση των ανθρώπινων ιδεών', μια κατάσταση που περιορίζεται από δύο θεμελιακές δεσμεύσεις: 'τη δυσκολία διάκρισης υποκειμένου – αντικειμένου' και τους περιορισμούς της ανθρώπινης γλώσσας, της οποίας 'κάθε λέξη αναφέρεται στη συνήθη εμπειρία'. Η φυσική όμως επιστήμη κατόρθωσε να υπερβεί τις συγκεκριμένες δεσμεύσεις, εφόσον «η έννοια της συμπληρωματικότητας επιτύγχανε μια φιλοσοφικώς συνεκτική και, επομένως, ικανοποιητική επέκταση των θεμελίων των ανθρώπινων μέσων οπτικοποίησης» (στο ίδιο, σ. [48]).

Εάν όμως ο Bohr αναγνώριζε στην έννοια της συμπληρωματικότητας τη μόνη δυνατότητα συνεκτικής επέκτασης των ανθρώπινων μέσων οπτικοποίησης, οι εκδότες του 'Nature' δεν συμμερίστηκαν τη γνώμη του. Έτσι, θεώρησαν σκόπιμο να προλογίσουν το κείμενο του Como με μια 'εισαγωγή' που κατέληγε στο ακόλουθο 'γελοίο', σύμφωνα με τον χαρακτηρισμό του Pauli, σχόλιο: «Οφείλουμε να ομολογήσουμε [αποφάνθηκαν] ότι η νέα κβαντική μηχανική αδυνατεί να ικανοποιήσει τα αιτήματα ενός μη-ειδικού που επιθυμεί να διατυπώνει πάντοτε τις απόψεις του μέσω μιας απεικονιστικής γλώσσας. Προφανώς, οι εμπνευστές της κβαντικής μηχανικής εκτιμούν ότι μια τέτοια συμβολική αναπαράσταση είναι εγγενώς αδύνατη. Ελπίζουμε, ολόψυχα, να μην είναι αυτή η τελευταία τους λέξη. Ελπίζουμε, δηλαδή, ότι θα καταφέρουν εν τέλει να προσδώσουν μια απεικονιστική μορφή στο κβαντικό αξίωμα» (14 Απριλίου 1928, *NBCW6*, σ. [52]).

Κατά την αντίληψη βεβαίως του Bohr, η έννοια της συμπληρωματικότητας προσέθετε πράγματι την 'τελευταία λέξη' στο θέμα της οπτικοποίησης. Επί πλέον, όπως θα διαπιστώσουμε στο επόμενο κεφάλαιο, η αποδοθείσα μέσω της συμπληρωματικότητας, ερμηνεία καταδείκνυε ότι η κβαντική θεωρία εκπλήρωνε έναν προς έναν τους επιδιωκόμενους από την Αρχή της Αντιστοιχίας στόχους. Κατά φυσικό λοιπόν τρόπο, ο Bohr εξέλαβε τη διάλεξη του Como ως καταληκτικό σημείο του ερευνητικού του προγράμματος, εκείνου του προγράμματος που είχε εγκαινιασθεί, πριν από δεκαπέντε χρόνια, με την πρώτη διατύπωση της ατομικής θεωρίας. Υπό την ίδια ακριβώς οπτική γωνία, υποστηρίζαμε και εμείς ότι η διάλεξη του Como σηματοδοτεί το σημείο 'ανάδυσης' του κβαντικού 'παραδείγματος' (§A-6).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ

ΤΟ ΚΑΘΕΣΤΩΣ ΤΗΣ ‘ΚΛΑΣΙΚΟΤΗΤΑΣ’ ΕΝΤΟΣ ΤΟΥ ΚΒΑΝΤΙΚΟΥ ΠΛΑΙΣΙΟΥ: Η ΚΒΑΝΤΙΚΗ ΘΕΩΡΙΑ ΩΣ ‘ΟΡΘΟΛΟΓΙΚΗ ΓΕΝΙΚΕΥΣΗ’ ΤΩΝ ΚΛΑΣΙΚΩΝ ΘΕΩΡΙΩΝ

Όπως υπενθύμισε ο Bohr στο κείμενο του Como, «η επιδίωξη να φθάσουμε σε μια κβαντική θεωρία που θα συνιστούσε ορθολογική γενίκευση των κλασικών θεωριών, μας οδήγησε στη συγκρότηση της Αρχής της Αντιστοιχίας» (Bohr, 1927a, *ATDN*, σ. 70). Και πράγματι, όπως διαπιστώσαμε στο πρώτο μέρος της εργασίας μας, κατά την περίοδο εφαρμογής της AAB, μια συνιστώσα της κατά Bohr έννοιας της ‘ορθολογικότητας’ αφορούσε τον επιδιωκόμενο τότε στόχο, όριζε, δηλαδή, τις προϋποθέσεις ‘ορθολογικής’ επάρκειας της υπό αναζήτηση κβαντικής θεωρίας (§A-4.3, 1^η συνιστώσα). Έχει λοιπόν ενδιαφέρον να διερευνήσουμε με ποιο τρόπο η έννοια της συμπληρωματικότητας προσέδιδε στην κβαντική θεωρία τον χαρακτήρα της ‘ορθολογικής’ ή ‘φυσικής’ γενίκευσης της κλασικής φυσικής (π.χ. B1.18).

Το εγχείρημα αυτό προϋποθέτει τη διεξοδική πλέον διερεύνηση του καθεστώτος της ‘κλασικότητας’ στο πλαίσιο της κβαντικής θεωρίας, όπως το καθεστώς αυτό οριοθετείται στην ερμηνευτική προσέγγιση του Bohr. Για την κατά το δυνατό δε πληρέστερη διαπραγμάτευση του συγκεκριμένου ζητήματος – ενός ζητήματος που βρίσκεται ακόμη και σήμερα στο επίκεντρο του επιστημονικού και φιλοσοφικού διαλόγου περί κβαντικής θεωρίας – θα εξετάσουμε τη θεώρηση του Bohr υπό μια σύγχρονη οπτική γωνία, στηρίζοντας την ανάλυσή μας σε ορισμένες από τις πλέον δόκιμες, κατά τη γνώμη μας, σύγχρονες προσεγγίσεις στην κβαντική θεωρία. Κατ’ αυτόν τον τρόπο, η εργασία μας αποκαλύπτει, παράλληλα, το αντίκρισμα της θεώρησης του Bohr στον σύγχρονο προβληματισμό, σ’ έναν προβληματισμό που στηρίζεται πλέον σε μια πολύ πιο σταθερή θεωρητική και πειραματική βάση.

1. Το καθεστώς της ‘κλασικότητας’ εντός του κβαντικού πλαισίου υπό μια σύγχρονη οπτική γωνία. Με σύγχρονους όρους, η ‘καθαρή κατάσταση’ (‘pure state’) ή, όπως θα αναφέρεται συνοπτικά, η ‘κατάσταση’ ενός κβαντικού συστήματος ορίζεται ως ένα ‘καταστατικό μοναδιαίο διάνυσμα’ (‘state vector’) του χώρου Hilbert και μπορεί εν γένει να γραφεί ως γραμμικός συνδυασμός των δυνατών καταστάσεων του συστήματος (των ιδιοκαταστάσεών του) σε μία κατάλληλα επιλεγμένη –

σύμφωνα με το πειραματικό ερώτημα του ερευνητή – βάση (υπόχωρο) του χώρου Hilbert. Έτσι, η κατάσταση ενός κβαντικού συστήματος αναπαρίσταται εν γένει από μια *επαλληλία* ή *υπέρθυση* των ιδιοκαταστάσεων του: $\vec{v} = \sum_i c_i \vec{v}_i$ ή, ισοδύναμα, $|\Psi\rangle = \sum_i c_i |\psi_i\rangle$, $i = 1, 2, \dots, k, \dots$ (1) με $\sum_i |c_i|^2 = \sum_i p(a_i) = 1$, όπου $p(a_i)$ η πιθανότητα να προκύψει, κατά τη μέτρηση ενός μεγέθους A , η αντιστοιχούσα στην ιδιοκατάσταση $|\psi_i\rangle$ ιδιοτιμή a_i (του A). Η ‘μη-διαχωρισιμότητα’ (‘non-separability’)⁷⁷ των καταστάσεων των μικροφυσικών συστημάτων – ένα θεμελιακό χαρακτηριστικό τόσο του χώρου Hilbert όσο και της μη-Boolean λογικής δομής της κβαντικής μηχανικής – είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με το φαινόμενο της ‘κβαντικής συζευξιμότητας’ (‘quantum entanglement’), ένα φαινόμενο που έχει επανειλημμένα επιβεβαιωθεί από την πειραματική διαδικασία (για πρώτη φορά, Aspect et al. 1982).

Για να κατανοήσουμε με ένα απλό παράδειγμα τις καινοφανείς επιστημολογικές συνέπειες της κβαντικής συζευξιμότητας, ας θεωρήσουμε ένα σύνθετο σύστημα Σ (ας το αποκαλέσουμε ‘όλον’) που δημιουργείται τη χρονική στιγμή t_0 , κατά την οποία δύο κβαντικά συστήματα, έστω τα Σ_1 και Σ_2 (ας τα αποκαλέσουμε ‘μέρη’), αλληλεπιδρούν. Η φυσική χρονική εξέλιξη της κατάστασης του συστήματος Σ , όπως αυτή προσδιορίζεται από την εξίσωση Schrödinger, καταλήγει εν γένει στο ότι, μετά από χρονικό διάστημα $\Delta t = t - t_0$ από τη στιγμή t_0 της αλληλεπίδρασης, η κατάσταση του Σ δεν μπορεί πλέον να ‘διαχωριστεί’ στις καταστάσεις των Σ_1 και Σ_2 . Κι’ αυτό, γιατί οι καταστάσεις των Σ_1 και Σ_2 που ανήκουν στο χώρο Hilbert του κάθε υποσυστήματος δεν αποτελούν εν γένει και ιδιοκαταστάσεις του Σ .

Στην περίπτωση αυτή, λέγεται ότι το Σ βρίσκεται σε μια ‘συζευγμένη’ (Schrödinger, 1935) ή ‘μαθηματικώς μη-διαχωρίσιμη’ κατάσταση, υπό την έννοια ότι οι καταστάσεις των Σ_1 και Σ_2 (καθώς και οι αντιστοιχούσες στις καταστάσεις αυτές παρατηρήσιμες ποσότητες) είναι *αντικειμενικώς απροσδιόριστες*: λόγω των διαμορφούμενων εντός του ‘όλου’ κβαντικών συζεύξεων, η απόδοση μιας εξατομικευμένης κατάστασης στα συναπαρτίζοντα το ‘όλον’ ‘μέρη’ είναι εν γένει αδύνατη. Καθώς λοιπόν η κατάσταση του ‘όλου’ δεν είναι εν γένει αναγώγιμη στις καταστάσεις των οιονδήποτε υποσυστημάτων του, γίνεται φανερό ότι «μέγιστη γνώση του όλου συστήματος δεν επιτρέπει τη δυνατότητα απόκτησης μέγιστης

⁷⁷ Για μία διεξοδική φορμαλιστική και εννοιολογική ανάλυση της κβαντικής μη-διαχωρισιμότητας βλ. Karakostas, 2003, 2004.

γνώσης των συνιστώντων μερών του» (Καρακώστας, 2005, σ. 55). Εάν δε, όπως επισημαίνει ο d' Espagnat, αποπειραθούμε να χρησιμοποιήσουμε μία 'ρεαλιστική' γλώσσα – οπότε η κατάσταση ενός συστήματος υποδεικνύει ένα καθεστώς 'ύπαρξης' – η αντικειμενική απροσδιοριστία των καταστάσεων των 'μερών' μάς αναγκάζει να παραδεχθούμε ότι «υπό μία αυστηρή έννοια, ένα σύστημα που βρίσκεται σε συζευγμένη κατάσταση 'δεν συναπαρτίζεται από μέρη'» (d' Espagnat, 1995, σ. 114).

Εάν τώρα, σε αντίστροφη κατεύθυνση, οι καταστάσεις των Σ_1 και Σ_2 θεωρηθούν κάποια χρονική στιγμή γνωστές, η γνώση τους, καθώς δεν συμπεριλαμβάνει εκ λόγων αρχής την οποιαδήποτε πληροφορία για τις μεταξύ των δύο συστημάτων συζεύξεις, αδυνατεί ν' αποφέρει τον επακριβή προσδιορισμό της κατάστασης του Σ .⁷⁸ Έτσι, όπως επισημαίνει ο d' Espagnat, «είμαστε αναγκασμένοι να συμπεράνουμε ότι 'το όλον' είναι περισσότερο από τα 'μέρη' του, ακόμη και στις περιπτώσεις που καμία αλληλεπίδραση δεν υφίσταται πλέον μεταξύ των μερών» (στο ίδιο σ. 114). Υπό μία συνοπτική λοιπόν έκφραση θα μπορούσαμε να πούμε ότι, εντός του κβαντικού πλαισίου, «το 'όλο' δεν είναι πλήρως αναγόμενο ή ισοδύναμο προς το άθροισμα των 'μερών' του, συμπεριλαμβανομένων των μεταξύ τους φυσικών αλληλεπιδράσεων και χωροχρονικών σχέσεων» (Καρακώστας, 2005, σ. 56). Και αυτό βεβαίως σημαίνει ότι ο ολιστικός χαρακτήρας της κβαντικής δομής ακυρώνει κάθε δυνατότητα μελέτης των υποατομικών διαδικασιών μέσω μιας μηχανιστικής, κατά το κλασικό πρότυπο, ανάλυσης και σύνθεσης της επιστημονικής γνώσης.

Τα μακροσκοπικά συστήματα, καθώς συγκροτούνται από υποατομικά σωματίδια και αλληλεπιδρόντα πεδία, μπορούν εύλογα να ειπωθούν ως κβαντικά συστήματα εξαιρετικής πολυπλοκότητας. Εάν όμως υιοθετηθεί η συγκεκριμένη οπτική γωνία,

⁷⁸ Οφείλουμε βεβαίως να εξαιρέσουμε την εξιδανικευμένη περίπτωση $\Delta t \rightarrow 0$ (όπου Δt ο χρόνος που πέρασε από τη στιγμή που το σύνθετο σύστημα δημιουργήθηκε). Σε κάθε άλλη περίπτωση, όπως επισημαίνει ο d' Espagnat, «ακόμη κι' αν διαθέτουμε, κάθε χρονική στιγμή, πλήρη γνώση της Χαμιλτονιανής του σύνθετου συστήματος, η γνώση των καταστάσεων των υποσυστημάτων του δεν μας προσφέρει εξαντλητική γνώση για το σύνθετο σύστημα» (d' Espagnat, 1995, σ. 113, όπου παρατίθενται και σχετικά παραδείγματα). Οφείλουμε επίσης να σημειώσουμε ότι η 'μεικτή κατάσταση' ('mixed state') του σύνθετου συστήματος μπορεί να οριστεί κάθε χρονική στιγμή. Η μεικτή όμως κατάσταση δεν συμπεριλαμβάνει, εξ' ορισμού, τους όρους συμβολής που προκύπτουν από την επαλληλία των ιδιοκαταστάσεων στην καθαρή κατάσταση (εξίσωση 1). Αυτό γίνεται άμεσα αντιληπτό εάν συγκρίνουμε τους 'τελεστές πυκνότητας' ('density operators') της καθαρής και της μεικτής κατάστασης του σύνθετου συστήματος (βλ. Καρακώστας, 2000, σ. 98). Έτσι, όπως υπογραμμίζει ο Β. Καρακώστας σε μία διεξοδική ανάλυση του 'Προβλήματος της Κβαντικής Μέτρησης', «η μεικτή κατάσταση περιγράφει ένα μίγμα μακροσκοπικώς διακεκριμένων καταστάσεων. Αντίθετα, η καθαρή κατάσταση δεν ανάγεται στο σύνολο των 'συνιστωσών' ιδιοκαταστάσεων του συστήματος ... θεωρουμένων ως μεμονωμένων και ανεξάρτητων μεταξύ τους οντοτήτων: μόνον η επαλληλία αυτών των ιδιοκαταστάσεων ... περιγράφει πλήρως ... την κατάσταση του συστήματος» (στο ίδιο, σ. 99). Αυτό σημαίνει ότι η καθαρή κατάσταση του σύνθετου συστήματος εσωκλείει, εν γένει, περισσότερη πληροφορία απ' ό,τι οι καταστάσεις των υποσυστημάτων του.

είναι εύλογο να υποθέσει κανείς ότι, τουλάχιστον σε ορισμένες περιπτώσεις, η αλληλεπίδραση μεταξύ της μετρητικής συσκευής, έστω A, και του υπό μελέτη κβαντικού συστήματος, έστω K, θα φέρει το σύνθετο σύστημα A+K σε μια συζευγμένη κατάσταση (π.χ. d' Espagnat, 1995, σσ. 158-161). Τότε, σύμφωνα με τα παραπάνω, η δυνατότητα *μονοσήμαντης* τομής του σύνθετου συστήματος A+K σε υποσυστήματα με επακριβώς προσδιορισμένες καταστάσεις ακυρώνεται οριστικά, εάν βεβαίως εξαιρεθούν οι τετριμμένες περιπτώσεις. Καθώς όμως ο προσδιορισμός της κατάστασης του υπό μελέτη συστήματος συνιστά αναγκαία συνθήκη, όχι μόνο για τη σύνδεση του κβαντικού φορμαλισμού με την εμπειρία, αλλά και για την ίδια τη συγκρότηση του 'αντικειμένου' της φυσικής επιστήμης, ο ερευνητής, κατά τον σχεδιασμό μιας μέτρησης, οφείλει να 'διαχωρίσει', *στο θεωρητικό επίπεδο*, το υπό μελέτη σύστημα από το μετρητικό του περιβάλλον. Ο διαχωρισμός αυτός διενεργείται μέσω μιας 'αυθαίρετης' – εφόσον δεν είναι μονοσήμαντα ορισμένη – μεθοδολογικής τομής (που συχνά αναφέρεται ως 'τομή Heisenberg', Heisenberg, 1958, σ. 116). Υπό μια αυστηρή διατύπωση, η τομή Heisenberg αντιπροσωπεύει «μια διαδικασία αφαίρεσης/ προβολής της μη-Boolean ολιστικής περιοχής σ' ένα Boolean [κλασικό] πλαίσιο, το οποίο καθιστά αναγκαία την εξάλειψη – ή την, κατά το δυνατό, ελαχιστοποίηση – των κβαντικών συζευγμένων συσχετίσεων μεταξύ του προς λήψη αντικειμένου και του περιβάλλοντός του (Καρακώστας, 2005, σ. 60, όπου και οι σχετικές αναφορές). Η τομή Heisenberg, καθώς 'αποκόπτει' τις υφιστάμενες εντός του 'όλου' κβαντικές συζεύξεις, οδηγεί, αναπόφευκτα, *σε απώλεια γνώσης*, γεγονός που αποτυπώνεται στον *εγγενή* πιθανοκρατικό χαρακτήρα της κβαντικής θεωρίας. Η τομή όμως Heisenberg, καθώς αποφέρει και την πλήρη διάκριση του υπό μελέτη συστήματος από το μετρητικό του περιβάλλον, σηματοδοτεί με αλάνθαστο τρόπο την εισδοχή της 'κλασικότητας' στο κβαντικό πλαίσιο. Γι' αυτό και αναφέρεται συχνά ως 'τομή κβαντικού - κλασικού' ('quantum – classical cut', d' Espagnat, 1995, σ. 163).

Όπως παρατηρεί ο Primas, «σύμφωνα με την κβαντική μηχανική, όλα τα υποσυστήματα του κόσμου είναι συσχετισμένα με αδιαχώριστο τρόπο, οπότε η περιγραφή τους μέσω καθαρών καταστάσεων είναι αδύνατη» (Primas, 1989, σ. 244). Η τομή λοιπόν Heisenberg σημαίνει πρακτικά ότι, για να οριστεί η καθαρή κατάσταση ενός υποατομικού συστήματος κατά τον σχεδιασμό μιας μέτρησης, το φυσικό σύστημα που ορίζεται ως 'μετρητική συσκευή' εκλαμβάνεται ως μη-ολιστικώς συζευγμένο με το υπό μελέτη σύστημα. Η παραδοχή αυτή πραγματώνεται με την προβολή της κατάστασης του υπό μελέτη συστήματος σε μια ορθοκανονική

βάση ιδιοσυναρτήσεων που αντιστοιχούν σε συμβατά (μετατιθέμενα) και συνεπώς συν-μετρήσιμα παρατηρήσιμα μεγέθη (εξίσωση 1). Αυτό όμως σημαίνει ότι η οριζόμενη, μέσω μιας τομής Heisenberg, κατάσταση έχει αυθεντικώς *πλαισιακό* χαρακτήρα, εφόσον η αναφορά της περιορίζεται σ' ένα συγκεκριμένο μετρητικό περιβάλλον που προσδιορίστηκε με όρους 'κλασικότητας'. Η 'κλασικότητα' της κατ' αυτόν τον τρόπο οριζόμενης 'κατάστασης' αναδεικνύεται και από το ακόλουθο γεγονός. Όπως αποδεικνύεται με αυστηρό μαθηματικό τρόπο, από τη στιγμή που θα καθορισθεί επακριβώς το πλαίσιο της σχεδιαζόμενης μέτρησης, είναι δυνατό να κατασκευασθεί ένα 'κατάλληλο μίγμα' ('proper mixture') που παρέχει τις ίδιες προσεγγιστικώς προβλέψεις με την καθαρή κατάσταση, όσον αφορά τις παραμέτρους που εμπλέκονται στη συγκεκριμένη μέτρηση (d' Espagnat, 1995, σσ. 158-161). Μια κβαντομηχανική όμως περιγραφή με όρους μιγμάτων αποτελεί μια αμιγώς φορμαλιστική επινόηση⁷⁹ που επιτρέπει σε κάποιον να εκλαμβάνει τα περιγραφόμενα συστήματα ως ευρισκόμενα σε επακριβώς καθορισμένες, αν και άγνωστες, ενδογενείς καταστάσεις ως προς τις ιδιότητες που απαιτούν κλασική περιγραφή. Υπ'

⁷⁹ Ο Howard τοποθετεί το συγκεκριμένο ζήτημα ως εξής. Η περιγραφή μέσω καθαρών καταστάσεων αντανακλά την ουσιαστική μη-διαχωρισσιμότητα των κβαντικών αλληλεπιδράσεων, όπως αυτή αποτυπώνεται στον κβαντικό φορμαλισμό. Μια περιγραφή όμως μέσω καθαρών καταστάσεων, λόγω ακριβώς της υφιστάμενης μη-διαχωρισσιμότητας, δεν επιτρέπει τον διαχωρισμό συσκευής μέτρησης – παρατηρούμενου συστήματος. Αλλά είναι σ' αυτό ακριβώς το σημείο που η έννοια του 'κατάλληλου μίγματος' βρίσκει πλέον την εφαρμογή της. Γιατί, μέσω του 'κατάλληλου μίγματος', «οι καταστάσεις της συσκευής και του αντικειμένου διαχωρίζονται μεταξύ τους, γεγονός που επιτρέπει την απόδοση μιας αμιγώς κλασικής ερμηνείας άγνοιας ('ignorance interpretation') στον εφαρμοζόμενο στατιστικό χειρισμό. ... Η διάκριση μεταξύ των κλασικών και κβαντικών τρόπων περιγραφής, εκφραζόμενη μέσω της διάκρισης μεταξύ 'κατάλληλων μιγμάτων' και 'καθαρών καταστάσεων', είναι εγγενής στην κβαντική μηχανική και, έτσι, δεν αποτελεί σημάδι κάποιας ιδιαίτερης θεμελιακής οντολογικής ή επιστημολογικής τοποθέτησης» (Howard, 1994, σ. 223 και σ. 204). Ο Howard υπογραμμίζει εδώ ότι η περιγραφή του σύνθετου συστήματος 'μετρητική συσκευή' + 'υπό μελέτη σύστημα' (του συστήματος A + K) μέσω μιας καθαρής κατάστασης αντανακλά την ουσιαστική μη-διαχωρισσιμότητα των κβαντικών αλληλεπιδράσεων. Οφείλουμε λοιπόν να διευκρινίσουμε ένα λεπτό σημείο: ο προαναφερθείς ισχυρισμός του Howard και ο ισχυρισμός του Primas ως προς το ότι 'σύμφωνα με την κβαντική μηχανική, όλα τα υποσυστήματα του κόσμου είναι συσχετισμένα με αδιαχώριστο τρόπο, οπότε η περιγραφή τους μέσω καθαρών καταστάσεων είναι αδύνατη' (Primas, 1989, σ. 244) δεν είναι ασύμβατοι. Γιατί, και στην υποδεικνυόμενη από τον Howard περίπτωση, το σύστημα A + K ως όλον, για να περιγραφεί μέσω μίας καθαρής κατάστασης, οφείλει πρώτα να διαχωριστεί από τον υπόλοιπο φυσικό κόσμο. Αυτό λοιπόν που έχει εν τέλει σημασία είναι ότι, εάν η καθαρή κατάσταση του υπό μελέτη συστήματος ορισθεί σε σχέση με μία συγκεκριμένη μέτρηση (εξίσωση 1), το 'υπό μελέτη σύστημα' έχει πλέον διαχωριστεί από τη 'μετρητική συσκευή', οπότε, για τη συγκεκριμένη μέτρηση, η εξίσωση (1) αποτελεί ταυτόχρονα και το 'κατάλληλο μίγμα'. Γι' αυτό και, όπως υπογραμμίζει ο Hughes, η διάκριση μεταξύ καθαρής και μεικτής κατάστασης μπορεί να πιστοποιηθεί πειραματικά μόνο δια της διενέργειας ενός νέου πειράματος (προς μέτρηση ενός νέου, ασύμβατου με το αρχικό, παρατηρήσιμου μεγέθους που αφορά το ίδιο υπό μελέτη σύστημα) στο οποίο η προηγούμενη μεικτή κατάσταση δεν θα αποτελεί πλέον το 'κατάλληλο μίγμα' (Hughes, 1992, σσ. 109-111). Με άλλα λόγια, «για ν' αποδοθεί περιεχόμενο στην αρχή της υπέρθεσης είναι αναγκαία η θεώρηση περισσότερων του ενός πειραμάτων» (στο ίδιο, σ. 97).

αυτήν την έννοια, μια περιγραφή με όρους μιγμάτων προσλαμβάνει τον χαρακτήρα ενός στατιστικού χειρισμού 'άγνοιας' κατά το κλασικό πρότυπο (βλ. υποσ. 73, 74).

Συνοψίζοντας λοιπόν τα παραπάνω υπό μία διαφορετική διατύπωση, μπορούμε να πούμε ότι το καθεστώς της 'κλασικότητας' εντός του κβαντικού πλαισίου οριοθετείται από την τομή Heisenberg, μια τομή που, καθώς μεταφέρει το πρότυπο του 'αποσπασμένου παρατηρητή' στο ολιστικό κβαντικό σχήμα, διασφαλίζει την αντικειμενική επικοινωνία εκείνων των κβαντικών περιγραφών που αναφέρονται στο πεδίο της κοινής ανθρώπινης εμπειρίας. Εκείνων των περιγραφών που, λόγω του αμιγώς πλαισιακού τους χαρακτήρα, δεν μπορούν πλέον να εκλαμβάνονται ως αναφερόμενες στο υπό μελέτη σύστημα 'καθ'εαυτό', αλλά, μόνο, στις δυνατές του 'εμφανίσεις' εντός ενός συγκεκριμένου πειραματικού πλαισίου. Ο ισχυρισμός αυτός, ως εκ της ισχυρής του συνάφειας με τα επιχειρήματα του Bohr, μας επαναφέρει με φυσικό τρόπο στην ερμηνευτική προσέγγιση του τελευταίου.

2. Η έννοια του 'φαινομένου₂' οριοθετεί το καθεστώς της 'κλασικότητας' εντός του κβαντικού πλαισίου. Η έννοια του 'φαινομένου₂', υπό την ύστερη χρήση της (§B-1, σημείο 2), εμπεριέχει, κατά τη γνώμη μας, τον πυρήνα των προαναφερθέντων ζητημάτων υπό μια ποιοτική, αλλά, εν τούτοις, εξαιρετικά διεισδυτική προοπτική. Η ανάλυση που ακολουθεί επιχειρεί να υποστηρίξει τον συγκεκριμένο ισχυρισμό.

2α. Η εισδοχή της 'κλασικότητας' στο κβαντικό πλαίσιο συμπίπτει με τη συγκρότηση των φαινομένων₂. Πότε ο κβαντομηχανικός χειρισμός καθίσταται 'ισοδύναμος' με μια κλασική περιγραφή; Τα αποσπάσματα που ακολουθούν μας δίνουν την ευκαιρία να διαπιστώσουμε ότι, στο πλαίσιο της θεώρησης Bohr, η έννοια του φαινομένου₂ είναι εξ'ορισμού συνδεδεμένη με το καθεστώς της 'κλασικότητας' εντός του κβαντικού πλαισίου, όπως το καθεστώς αυτό ορίστηκε προηγουμένως.

(B2.1) Α. «Εφόσον στο πλαίσιο της κβαντικής θεωρίας οφείλουμε πάντοτε να διαχωρίζουμε το υποκείμενο από το αντικείμενο με τρόπο που να διασφαλίζει, σε κάθε μεμονωμένη περιγραφή, τη μη-διφορούμενη εφαρμογή των χρησιμοποιούμενων στοιχειωδών φυσικών εννοιών, ο σαφής καθορισμός της λειτουργίας των μετρητικών συσκευών είναι απαραίτητος για τον προσδιορισμό των φαινομένων₂». (Bohr, 1955β, *ΑΡΗΚ* II, σ. 91).

Β. «Το κύριο ζήτημα που τίθεται σε κάθε μετρητική διαδικασία είναι η σαφής διάκριση των υπό μελέτη αντικειμένων από τις συσκευές μέτρησης που χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό, μέσω κλασικών όρων, των συνθηκών υπό τις οποίες εμφανίζονται τα φαινόμενα₂» (Bohr, 1949, *ΑΡΗΚ* II, σ. 50).

Γ. «Ενώ σύμφωνα με τη μηχανιστική θεώρηση της φύσης, ο διαχωρισμός υποκειμένου – αντικειμένου είναι μονοσήμαντα ορισμένος, η αναγνώριση ότι η προσεχής χρήση των εννοιών μας απαιτεί διαφορετικές τοποθετήσεις του

διαχωρισμού αυτού μας προσφέρει τη δυνατότητα διενέργειας ευρύτερων περιγραφών» (Bohr, 1955β, *ΑΡΗΚ* II, σσ. 91-92).

Δ. «Η αναγκαιότητα να διευκρινίζουμε πλήρως σε κάθε κβαντική μέτρηση ποια μέρη του συστήματος χειριζόμαστε ως εργαλεία μέτρησης και ποια μέρη συνιστούν τα αντικείμενα της έρευνάς μας συνιστά το κύριο σημείο διάκρισης μεταξύ των κλασικών και των κβαντομηχανικών περιγραφών» (η έμφαση από τον Bohr, 1935, *C&C*, σ. 81).

Ο Bohr επισημαίνει εδώ ότι η συγκρότηση ενός φαινομένου₂ συντελείται δια του επακριβούς προσδιορισμού, *μέσω κλασικών όρων*, ‘των συνθηκών’ υπό τις οποίες το φαινόμενο₂ αναμένεται να ‘εμφανισθεί’ (B) ή της ‘λειτουργίας των μετρητικών συσκευών’ που θα επιφέρουν την ‘εμφάνισή’ του (A). Ένα φαινόμενο₂ συγκροτείται, επομένως, τη στιγμή που ο ερευνητής ‘διαχωρίζει’ το υπό μελέτη σύστημα από το ‘υποκείμενο’ (A) ή τις ‘συσκευές μέτρησης’ (B). Κατά συνέπεια, ένα φαινόμενο₂ επιδεικνύει έναν κβαντομηχανικό χειρισμό που *ισοδυναμεί* με μια κλασικού τύπου περιγραφή, εφόσον φέρει *εξ ορισμού* στη δομή του τη σαφή διάκριση του υπό μελέτη συστήματος από το μετρητικό του περιβάλλον, μια διάκριση που συντελείται, πρακτικά, όταν οι πειραματικές συνθήκες προσδιορίζονται μέσω κλασικών όρων. Εξ ου και, κατά την αντίληψη του Bohr, η διαφοροποίηση των κλασικών από τις κβαντομηχανικές περιγραφές περιοριζόταν στην υφιστάμενη εντός του κβαντικού πλαισίου αναγκαιότητα της πλήρους αποσαφήνισης του σημείου διαχωρισμού των ‘εργαλείων μέτρησης’ από τα ‘υπό διερεύνηση αντικείμενα’ (Δ).

Εφόσον η συγκρότηση ενός φαινομένου₂ συντελείται στο θεωρητικό επίπεδο, το φαινόμενο₂ είναι ένα καλώς προσδιορισμένο *θεωρητικό* αντικείμενο, του οποίου η καλώς προσδιορισμένη επίσης *αναφορά* δεν τοποθετείται στην ‘πραγματικότητα’ του ολιστικού κβαντικού κόσμου, τον οποίο η κβαντική θεωρία επιχειρεί να προσεγγίσει, αλλά στο πεδίο *της κοινής ανθρώπινης εμπειρίας*, στο πεδίο όπου το φαινόμενο₂ αναμένεται να ‘εμφανισθεί’ (B): ένα φαινόμενο₂ αναφέρεται στις αναμενόμενες ‘εμφανίσεις’ του υπό μελέτη υποατομικού συστήματος σ’ ένα συγκεκριμένο πειραματικό περιβάλλον, σ’ ένα περιβάλλον που διέπεται από τους περιορισμούς της ανθρώπινης αντίληψης. Επί πλέον, ένα φαινόμενο₂ συγκροτείται μέσω μιας ‘αυθαίρετης’ τομής, εφόσον ο διαχωρισμός υποκειμένου – αντικειμένου δεν είναι ‘μονοσήμαντα ορισμένος’ αλλά επιδέχεται ‘διαφορετικές τοποθετήσεις’ (Γ). Έτσι, κατά συνεπή προς την αντίληψη του Bohr τρόπο, η συγκρότηση ενός φαινομένου₂ μπορεί με σύγχρονους όρους να ορισθεί ως ο επακριβής προσδιορισμός, μέσω μίας τομής Heisenberg, της κατάστασης του υπό μελέτη συστήματος σε σχέση με μια ορθοκανονική βάση ιδιοσυναρτήσεων που αντιστοιχούν σε συν-μετρήσιμα φυσικά

μεγέθη (σημείο 1, εξίσωση 1). Γιατί μια τομή Heisenberg, εφόσον αποφέρει, όπως διαπιστώσαμε, την εξάλειψη των κβαντικών συζεύξεων μεταξύ του υπό μελέτη αντικειμένου και του περιβάλλοντός του, σηματοδοτεί, όπως ακριβώς και ο όρος φαινόμενο₂, την εισδοχή της ‘κλασικότητας’ εντός του κβαντικού πλαισίου.

Στο σημείο αυτό έχει ενδιαφέρον να επισημάνουμε την ισχυρή ποιοτική συνάφεια της έννοιας του κβαντικού φαινομένου₂ με την έννοια του μη-κλασικού ‘αντικειμένου’, όταν η τελευταία ορίζεται από τον Primas ως εξής: «Ως αντικείμενο ορίζεται ένα ανοικτό κβαντικό σύστημα που αλληλεπιδρά με το περιβάλλον του, αλλά δεν είναι EPR-συσχετισμένο με αυτό. ... Κάθε κλασικό σύστημα είναι ένα αντικείμενο. Ένα μη-κλασικό ανοικτό σύστημα είναι ένα αντικείμενο μόνο όταν το περιβάλλον του είναι κλασικό» (Primas, 1989, σ. 245, 246). Και ο Primas συνεχίζει:

(B2.2) «Έχει συχνά υποστηριχθεί ότι η προσκόλληση στις κλασικές έννοιες, όπως αυτή επιδείχθηκε από τον Bohr, δεν επιβάλλεται από τον φορμαλισμό της κβαντικής μηχανικής. Στην αλγεβρική κβαντική μηχανική το θεώρημα του Raggio [η δεύτερη πρόταση του ανωτέρω ορισμού] αποδεικνύει το αντίθετο: για να μπορεί κανείς να μιλήσει για κβαντικά αντικείμενα, είναι αναγκαίο να αποκόψει τις EPR-συσχετίσεις μεταξύ του αντικειμένου και του περιβάλλοντός του (το οποίο μπορεί να εμπεριέχει μία μετρητική συσκευή). Από αυτό *συνεπάγεται ότι το περιβάλλον οφείλει να δέχεται μία κλασική περιγραφή* (υπό την έννοια της Boolean λογικής δομής)» (Η έμφαση από τον Primas, στο ίδιο, σ. 245).

Κατ’ αυτόν τον τρόπο, ο Primas αναγνωρίζει την ουσιαστική συγγένεια της ερμηνευτικής του προσέγγισης με την αντίστοιχη του Bohr, ενώ ταυτόχρονα παρέχει στην έννοια του φαινομένου₂ μία ισχυρή αναλυτική στήριξη. Από την άλλη πλευρά, είναι ενδιαφέρον ότι, ενώ ο Hughes αντιμετωπίζει επικριτικά τη θεώρηση του Bohr (παρερμηνεύοντας, όμως, ορισμένα ουσιαστικά της σημεία, βλ. §B-1, σημεία 8α, 8β), ορίζει τη θεμελιακή έννοια της δικής του προσέγγισης – το ‘συμβάν’ (‘event’) – με ποιοτικώς ανάλογο προς την έννοια του φαινομένου₂ τρόπο: «ένα συμβάν αναγνωρίζεται ως μία πειραματική ερώτηση ... Ένα συμβάν είναι ένα σύνολο αποτελεσμάτων που σχετίζονται με μία συγκεκριμένη πειραματική διάταξη. Το σύνολο δε των αποτελεσμάτων που σχετίζονται με μία συγκεκριμένη μέτρηση διαμορφώνει ένα πεδίο συνόλων που αποτελούν μία Boolean άλγεβρα» (Hughes, 1992, σσ. 197, 195). Όλα τα προηγούμενα αποτελούν, κατά τη γνώμη μας, ισχυρές ενδείξεις του άμεσου αντικρίσματος που έχει η έννοια του φαινομένου₂ – ως οριοθετούσα την ‘κλασικότητα’ έννοια – στη σύγχρονη φιλοσοφία της φυσικής.

2β. *Η θεώρηση του Bohr σε αντιδιαστολή προς τις μακρο-ρεαλιστικές προσεγγίσεις.*
Ο Bohr συνήθιζε να συμπεριλαμβάνει στις εργασίες του ορισμένα χαρακτηριστικά

νοητικά πειράματα (π.χ. Bohr, 1949, *APHK* II, σσ. 41-56), δια της εννοιολογικής ανάλυσης των οποίων επιχειρούσε να καταστήσει σαφείς τους ερμηνευτικούς του ισχυρισμούς. Εκ των αναλύσεων αυτών γίνεται φανερό ότι οι μετρητικές συσκευές δεν εκλαμβάνονταν ως κλασικά συστήματα, στο σύνολό τους, αλλά ως συστήματα των οποίων τα μέρη μπορούσαν να τύχουν κλασικού ή κβαντομηχανικού χειρισμού ανάλογα με τον ρόλο που τους είχε κάθε φορά ανατεθεί. Η θεώρηση αυτή αποτυπώνεται ξεκάθαρα στα αποσπάσματα που ακολουθούν.

(B2.3) A. «Το σύστημα στο οποίο εφαρμόζεται ο κβαντομηχανικός φορμαλισμός είναι φυσικά δυνατό να συμπεριλαμβάνει κάθε ενδιάμεση βοηθητική συσκευή που χρησιμοποιείται κατά τη μετρητική διαδικασία. Εφόσον, όμως, όλες οι ιδιότητες των συγκεκριμένων συσκευών που – σύμφωνα με το σκοπό της μέτρησης – συγκρίνονται με αντίστοιχες ιδιότητες του ατομικού αντικειμένου, οφείλουν να περιγράφονται με κλασικό τρόπο, ο κβαντομηχανικός τους χειρισμός, σ' αυτήν την περίπτωση, είναι ουσιαστικά ισοδύναμος με μια κλασική περιγραφή. Έτσι, το ερώτημα σε σχέση με το ποιες συσκευές συμπεριλαμβάνονται τελικά στο υπό παρατήρηση σύστημα καθίσταται θέμα πρακτικής σκοπιμότητας, όπως ακριβώς και στις κλασικές μετρήσεις. Η μετατόπιση δε της τομής μεταξύ αντικειμένου και μετρητικής συσκευής δεν ενέχει πλέον καμία αυθαιρεσία» (Bohr, 1938α, *C&C*, σ. 104).

B. «Κάθε απομάκρυνση από τη συνήθη λογική και την κοινή γλώσσα μπορεί ν' αποφευχθεί εντελώς, εάν διατηρήσουμε την έννοια 'φαινόμενο₂' για ν' αναφερόμαστε αποκλειστικά στη μη-διφορούμενη επικοινωνία της πληροφορίας. Στο πλαίσιο μιας τέτοιας επικοινωνίας, η λέξη 'μέτρηση' χρησιμοποιείται με το πλήρες της νόημα ως τυποποιημένη σύγκριση» ('standardized comparison'). ... Ο μη-διφορούμενος προσδιορισμός των κβαντικών φαινομένων₂ οφείλει εκ λόγων αρχής να εμπεριέχει την περιγραφή όλων των εμπλεκόμενων [στη μετρητική διαδικασία] ιδιοτήτων (the 'relevant features') της πειραματικής διάταξης» (Bohr, 1960β, *C&C*, σ. 183 και σ. 182).

Οφείλουμε να προσέξουμε την παρατήρηση του Bohr ότι 'οι ιδιότητες των μετρητικών συσκευών που όφειλαν να περιγράφονται με κλασικό τρόπο' ήταν εκείνες που, 'σύμφωνα με τους σκοπούς της μέτρησης, συγκρίνονταν με αντίστοιχες ιδιότητες του αντικειμένου' (A), ήταν εκείνες που 'εμπλέκονταν' ουσιαστικά στη διαδικασία της σχεδιαζόμενης μέτρησης (B). Η παρατήρηση αυτή δικαιώνει, αναμφίβολα, την εκτίμηση του Howard ότι ο Bohr δεν φαίνεται να 'ταύτιζε', στην κατεύθυνση μιας 'ερμηνείας ταύτισης' ('coincidence interpretation'), τη διάκριση 'κλασικού/ κβαντικού' με τη διάκριση 'μετρητικής συσκευής/ παρατηρούμενου συστήματος', όπως συχνά έχει υποστηριχθεί (π.χ. Scheibe, 1973, σ. 48). Γιατί, όπως ο Howard υποστηρίζει, «ο Bohr απαιτούσε μια κλασική περιγραφή εκείνων μόνο των ιδιοτήτων της μετρητικής συσκευής που, κατά τη μετρητική αλληλεπίδραση, ευρίσκονται σε σύζευξη με τις προς μέτρηση ιδιότητες του συστήματος. Απαιτούσε, επομένως, μια κλασική επίσης περιγραφή των υπό μέτρηση συζευγμένων ιδιοτήτων του συστήματος. Αντίθετα, μια κβαντομηχανική περιγραφή ήταν κατάλληλη για τις

υπόλοιπες ιδιότητες τόσο της συσκευής όσο και του συστήματος, για εκείνες δηλαδή τις ιδιότητες που δεν εμπλέκονται με κρίσιμο τρόπο στη διαδικασία της μέτρησης» (Howard, 1994, σ. 203). Την εκτίμηση αυτή συμμερίζεται και ο Shimony, όταν παρατηρεί ότι «η αντιμετώπιση του Bohr ως μακρο-ρεαλιστή που προσαρτά αντικειμενική ύπαρξη στα μακροσκοπικά συστήματα, ενώ χειρίζεται τη μικροφυσική μόνο ως εργαλείο πρόβλεψης της παρατηρήσιμης συμπεριφοράς των μακροσκοπικών αντικειμένων, βρίσκεται σε παραφωνία με τη θεώρηση που αναδύεται από το έργο του. ... Ο Bohr χειρίζεται μέσω κβαντομηχανικών περιγραφών οποιοδήποτε σύστημα συνιστά το αντικείμενο της έρευνας και μέσω κλασικών περιγραφών τα μέρη των συσκευών που, κατά τον διαχωρισμό υποκειμένου – αντικειμένου, τοποθετούνται στην πλευρά του υποκειμένου» (Shimony, 1988, σ. 297).

Από τα παραπάνω μπορούμε εύλογα να συμπεράνουμε ότι η έννοια του φαινομένου₂ παρουσίαζε τη σχεδιαζόμενη ή τη διενεργούμενη μέτρηση ως μια κατά το κλασικό πρότυπο ‘τυποποιημένη σύγκριση’ (B), μια σύγκριση που αφορούσε όμως *αποκλειστικά* τις υπό διερεύνηση ιδιότητες του υπό μελέτη συστήματος και τις ‘αντίστοιχες’ ιδιότητες των μετρητικών συσκευών (A). Οι μετρητικές συσκευές, ως μακροσκοπικά αντικείμενα, ως αντικείμενα της κοινής ανθρώπινης εμπειρίας, δεν απολάμβαναν κάποιας προνομιακής αντιμετώπισης ως προς την ‘πραγματική’ τους υπόσταση και ταυτότητα. Κείμενες στο πεδίο των κλασικών ‘εξιδανικεύσεων’ απολάμβαναν μόνο την ‘πραγματικότητα’ που τους προσαρτούσε η κοινή ανθρώπινη αντίληψη (βλ. και §B-3.4.1, σημείο 1). Εκείνες όμως οι ιδιότητες των μετρητικών συσκευών, καθώς και οι ‘αντίστοιχες’ ιδιότητες των υπό μελέτη συστημάτων που αναφέρονταν στο πεδίο της κοινής ανθρώπινης εμπειρίας – *τα φαινόμενα₂ δηλαδή στο σύνολό τους* – όφειλαν να προσομοιάζουν σε κλασικού τύπου περιγραφές (να φέρουν τη διάκριση υποκειμένου – αντικειμένου) επειδή όφειλαν να ικανοποιούν το αίτημα της επιστημονικής αντικειμενικότητας (της ‘μη-διφορούμενης επικοινωνίας’, B), ένα αίτημα που διασφαλιζόταν μόνο δια του κατάλληλου χειρισμού των δυποκειμενικών κανόνων πρόσληψης και κατανόησης της εμπειρίας (§B-1, σημείο 7). Υπό μια τέτοια οπτική γωνία, μπορούμε να κατανοήσουμε και τον θολό, κατ’ αρχήν, ισχυρισμό του Bohr, όταν, από το κείμενο ήδη του Como, αποφαινόταν ότι ‘μια εξατομικευμένη πραγματικότητα δεν είναι πλέον δυνατό να προσαρτάται ούτε στα ‘φαινόμενα₁’ [στα ‘υπό μελέτη συστήματα’, σύμφωνα με την αρχική χρήση του όρου], ούτε στις συσκευές μέσω των οποίων αυτά παρατηρούνται’ (B1.6).

2γ. Τα φαινόμενα₂ συνιστούν καλώς ορισμένα επιστημονικά αντικείμενα με αυθεντικώς πλαισιακό χαρακτήρα. Ένα φαινόμενο₂, ως εκ του τρόπου συγκρότησής του, φέρει εγγενώς την προϋπόθεση του ‘αποσπασμένου παρατηρητή’, την απαραίτητη δηλαδή προϋπόθεση για την άσκηση κάθε επιστήμης. Έτσι, τα φαινόμενα₂ συνιστούν καλώς ορισμένα επιστημονικά αντικείμενα, η διωποκειμενική αναγνώριση των οποίων εγγυάται την αντικειμενικότητα των κβαντικών περιγραφών (§B-1, σημείο 7). Ένα φαινόμενο₂ μπορεί επίσης να εκληφθεί ως αντικείμενο με αυθεντικώς πλαισιακό χαρακτήρα, εφόσον τόσο η θεωρητική του συγκρότηση όσο και η εμπειρική του αναφορά συναρτώνται, εξ ορισμού, με τον σαφή προσδιορισμό ενός συγκεκριμένου πειραματικού πλαισίου (B2.1, A, B). Οι όροι ‘παρατηρητής’ και ‘αντικείμενο της παρατήρησης’ – οι απαραίτητοι για τη συγκρότηση ενός φαινομένου₂ όροι – αποκτούν σαφές θεωρητικό και εμπειρικό περιεχόμενο μόνο σ’ ένα συγκεκριμένο πλαίσιο περιγραφής που διαμορφώνεται από τις συνθήκες του σχεδιαζόμενου ή πραγματοποιούμενου πειράματος. Αυτό όμως σημαίνει ότι οι οριζόμενες, μέσω ενός φαινομένου₂, τιμές των παρατηρήσιμων μεγεθών δεν μπορούν πλέον να εκλαμβάνονται ως αντιστοιχούσες σε εγγενείς ιδιότητες του υπό μελέτη συστήματος (B1.17). Γιατί το νόημα των παρατηρήσιμων κβαντικών μεγεθών είναι άρρηκτα συνδεδεμένο μ’ ένα συγκεκριμένο εμπειρικό πλαίσιο αναφοράς, εκτός του οποίου οι ‘στοιχειώδεις φυσικές έννοιες’ (οι κλασικές έννοιες ως παρατηρήσιμα μεγέθη της κβαντικής θεωρίας) καθίστανται ‘διφορούμενες’, στερούνται επομένως κάθε νοήματος (B2.1, A). Όπως με σαφήνεια ισχυρίζεται ο Bohr σε άλλο σημείο, «η αποσαφήνιση των παραδόξων της ατομικής φυσικής αποκάλυψε το γεγονός ότι η αναπόδραστη αλληλεπίδραση μεταξύ των αντικειμένων και των μετρητικών συσκευών θέτει ένα απόλυτο όριο στη δυνατότητά μας να μιλάμε για συμπεριφορά των ατομικών αντικειμένων που είναι ανεξάρτητη από τα μέσα παρατήρησης» (Bohr, 1938β, *APHK* II, σ. 25). Γίνεται λοιπόν φανερό ότι, στο πλαίσιο της κατά Bohr θεώρησης, οι, εντός των φαινομένων₂, θεωρητικώς οριζόμενες ή πειραματικώς πιστοποιούμενες τιμές των παρατηρήσιμων μεγεθών αποτελούν πλαισιακώς προσδιοριζόμενες και, επομένως, πλαισιακώς εξαρτώμενες ιδιότητες.

Η πλαισιακή εξάρτηση των καλώς ορισμένων αντικειμένων της κβαντικής θεωρίας, αναδεικνύεται με έμφαση από ορισμένες εκ των πλέον δόκιμων σύγχρονων προσεγγίσεων στην κβαντική θεωρία. Ο Primas, λόγου χάριν, παρατηρεί ότι «το νόημα της έννοιας ‘κλασικό’ εξαρτάται από τις αφαιρέσεις μας, είναι επομένως πλαισιακώς εξαρτώμενο. Έτσι, όλα τα αντικείμενα του κβαντικού κόσμου είναι

πλαισιακά εξαρτώμενα» (Primas, 1989, σ. 245). Ο δε Β. Καρακώστας, στο πλαίσιο της θεώρησής του περί 'Ενεργού Επιστημονικού Ρεαλισμού' (Karakostas, 2006, σσ. 10-17 και Καρακώστας, 2005, σσ. 61-64) προσδιορίζει με αναλυτικός διεξοδικό τρόπο την ουσιαστική φύση των πλασιακών κβαντικών αντικειμένων ως εξής.

(B2.4) «Τα πλασιακά αντικείμενα, παρότι δεν μπορούν να εκληφθούν, εξ ορισμού, ως αντικείμενα υπό την απόλυτη, εγγενή έννοια, είναι αντικείμενα που διαφυλάσσουν την *επιστημονική αντικειμενικότητα*: αντανακλούν δομές της πραγματικότητας με τρόπο ανεξάρτητο από το υποκείμενο της παρατήρησης ή τη γνωσιακή πρόσληψη του κάθε υποκειμένου. Κι' αυτό, γιατί, καθώς η δημιουργία τους έχει ως κόστος την κβαντομηχανική μη-διαχωρισιμότητα, οι 'συνθήκες υπό τις οποίες καθίστανται εμπειρικά προσιτά' ('the conditions of being experienced') προσδιορίζονται ... από τις 'συνθήκες της αποσύζευξης' ('the conditions of disentanglement'). Από τη στιγμή που οι συνθήκες αυτές καθορίζονται, το αποτέλεσμα της αναφοράς τους έχει διυποκειμενικό χαρακτήρα, είναι επομένως ανεξάρτητο από τον νου. Με άλλα λόγια, δοθέντος ενός ιδιαίτερου πειραματικού πλαισίου, τα συγκεκριμένα αντικείμενα διαθέτουν καλώς ορισμένες ιδιότητες, ανεξαρτήτως της γνώσης μας γι' αυτές» (Karakostas, 2006, σ. 16).

Μία τέτοια ανάλυση φωτίζει με τον καλύτερο, κατά τη γνώμη μας, τρόπο την έννοια του φαινομένου₂. Η παρατήρηση ότι 'τα πλασιακά αντικείμενα αντανακλούν δομές της πραγματικότητας' θα μας απασχολήσει στη συνέχεια (σημείο 2ζ).

2δ. *Η συγκρότηση των φαινομένων₂ είναι συνυφασμένη με την προθετικότητα του ερευνητή.* Εφόσον η συγκρότηση των φαινομένων₂ σηματοδοτεί την εισδοχή της 'κλασικότητας' εντός του κβαντικού πλαισίου και εφόσον η τομή 'κβαντικού' – 'κλασικού' δεν είναι μονοσήμαντα ορισμένη αλλά συναρτάται με τις επιδιώξεις του ερευνητή, μπορούμε εύλογα να ισχυριστούμε ότι τα φαινόμενα₂ φέρουν εγγεγραμμένη στη δομή τους την *προθετικότητα* του γνωρίζοντος υποκειμένου. Το απόσπασμα που ακολουθεί μας παρέχει την ευκαιρία να διαπιστώσουμε ότι και ο ίδιος ο Bohr διαπνεόταν από μια ανάλογη αντίληψη.

(B2.5) «Ένα από τα ερωτήματα που αντιμετωπίσαμε ήταν αν θα έπρεπε να υιοθετήσουμε [σε σχέση με τον τρόπο εμφάνισης των μεμονωμένων συμβάντων] την ορολογία που προτάθηκε από τον Dirac, σύμφωνα με την οποία βρισκόμαστε αντιμέτωποι στο σημείο αυτό με μια επιλογή από πλευράς της φύσης ή την ορολογία που προτάθηκε από τον Heisenberg, σύμφωνα με την οποία βρισκόμαστε αντιμέτωποι με μια επιλογή του 'παρατηρητή' που κατασκευάζει τις μετρητικές συσκευές και καταγράφει τις μετρήσεις. Κάθε τέτοια όμως ορολογία θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως ύποπτη, εφόσον, από τη μια πλευρά, είναι λογικά δύσκολο να προικίσει κανείς τη φύση με βούληση, υπό τη συνηθισμένη έννοια του όρου και, από την άλλη, είναι σίγουρα αδύνατο για τον παρατηρητή ν' ασκήσει επίδραση στα γεγονότα που μπορούν να εμφανισθούν στο πλαίσιο των συνθηκών που ο ίδιος καθόρισε. Για μένα, το ερώτημα αυτό μπορεί ν' απαντηθεί μόνο αν παραδεχθούμε ότι, σ' αυτό το πεδίο της εμπειρίας, έχουμε να κάνουμε με 'αυτόνομα' ('individual') φαινόμενα₂ και ότι η δυνατότητά μας να χειριζόμαστε τις μετρητικές συσκευές μας επιτρέπει απλώς να επιλέγουμε, μεταξύ των διαφορετικών τύπων

συμπληρωματικών φαινομένων₂, εκείνα τα φαινόμενα₂ που κάθε φορά επιθυμούμε να μελετήσουμε» (Bohr, 1949, *ΑΡΗΚ* II, σ. 51).

Ο Bohr αρνιόταν συνεπώς να προσυπογράψει μια φυσική ερμηνεία που θα εκλάμβανε την εμφάνιση των κβαντικών συμβάντων ως αποτέλεσμα της δεσπόζουσας 'βούλησης' και, κατ' επέκταση, των προδιαγεγραμμένων 'επιλογών' της πέραν του υποκειμένου φυσικής πραγματικότητας. Αρνιόταν επίσης να προσυπογράψει μια φυσική ερμηνεία που θα εκλάμβανε την 'επίδραση' του παρατηρητή ως γενεσιουργό αιτία των κβαντικών συμβάντων. Η συμμετοχή του γνωρίζοντος υποκειμένου ήταν δεδομένη, αλλά περιοριζόταν στην επιλογή και μόνο των προς μελέτη φαινομένων₂. Όπως ο ίδιος ο Bohr για μια ακόμη φορά επισήμανε, «η ελεύθερη επιλογή του υποκειμένου, θέτει το σημείο διάκρισης αντικειμένου – μετρητικής συσκευής σε μια τέτοια περιοχή, όπου η κβαντομηχανική περιγραφή είναι ουσιαστικά ισοδύναμη με μια κλασική περιγραφή» (Bohr, 1935, *C&C*, σ. 82).⁸⁰

Η ελεύθερη συνεπώς επιλογή του υποκειμένου είναι εκείνη που καθορίζει το σημείο τομής της κβαντικής ολότητας σε 'αντικείμενο' και 'μετρητική συσκευή' ή, ισοδύναμα, το κατάλληλο, για τους σκοπούς της μέτρησης, πειραματικό πλαίσιο, ή, με σύγχρονους όρους, την κατάλληλη, για το σχεδιαζόμενο πείραμα, βάση του χώρου Hilbert. Η ελεύθερη επιλογή του υποκειμένου, μια επιλογή που εκφράζει την ερευνητική του προθετικότητα, είναι εν τέλει εκείνη που καθορίζει τον τρόπο εισδοχής της 'κλασικότητας' εντός του κβαντικού πλαισίου και είναι ο τρόπος ακριβώς αυτός που αποτυπώνεται ανεξίτηλα στη δομή των φαινομένων₂. Εάν τώρα συνυπολογίσουμε ότι τα φαινόμενα₂ αντιπροσωπεύουν, ταυτόχρονα, και τους φορείς της επιστημονικής αντικειμενικότητας εντός του κβαντικού πλαισίου, μπορούμε βάσιμα να ισχυρισθούμε ότι τα φαινόμενα₂ φέρουν *εξ ορισμού* εγγεγραμμένη στη δομή τους τη *διαλεκτική σύνθεση* δύο αντικρουόμενων, κατ' αρχήν, κατηγοριών: της 'υποκειμενικότητας' και της 'αντικειμενικότητας επικοινωνίας'. Μπορούμε δε να εικάσουμε ότι, υπ' αυτό ακριβώς το πνεύμα, ο Bohr επισήμανε τα εξής. «Το γεγονός ότι στην ατομική φυσική η αντικειμενικότητα επιτυγχάνεται μόνο όταν η περιγραφή

⁸⁰ Οφείλουμε βεβαίως να σημειώσουμε ότι ο Bohr κατέληξε στη συγκεκριμένη θέση μετά από μια περίοδο έντονου προβληματισμού σε σχέση με την ορθή χρήση της γλώσσας. Γιατί στα αρχικά του, μετά τη διατύπωση της συμπληρωματικότητας, κείμενα εμφανίζεται να προκρίνει την προταθείσα από τον Dirac ορολογία. Το απόσπασμα που ακολουθεί είναι χαρακτηριστικό της συγκεκριμένης τάσης. «Αναγκαστήκαμε βήμα προς βήμα να παραιτηθούμε από τη δυνατότητα μιας αιτιοκρατικής χώρο-χρονικής περιγραφής των ατομικών διαδικασιών και να συμφιλιωθούμε με την ιδέα της *ελεύθερης επιλογής από πλευράς της φύσης μεταξύ μιας σειράς δυνατοτήτων* για τις οποίες μόνο πιθανοκρατικές θεωρήσεις είναι δυνατό να εφαρμοστούν» (Bohr, 1929β, *ATDN*, σ. 4).

των φαινομένων₂ συμπεριλαμβάνει μια επακριβή αναφορά των πειραματικών συνθηκών υπογραμμίζει με καινοφανή τρόπο *το αδιαχώριστο της γνώσης μας από τις δυνατότητές μας να θέτουμε ερωτήματα*» (Bohr, 1960α, *ΑΡΗΚ* III, σ. 12).

2ε. Τα φαινόμενα₂ αποκαθιστούν τη δυνατότητα διεξαγωγής κλασικού τύπου αιτιακών στατιστικών περιγραφών εντός του κβαντικού πλαισίου. Όπως ήδη διαπιστώσαμε, ο σαφής προσδιορισμός της κατάστασης του υπό μελέτη συστήματος, ως προς ένα συγκεκριμένο πειραματικό περιβάλλον, επιτρέπει την εφαρμογή στατιστικών χειρισμών μέσω ‘κατάλληλων μιγμάτων’, χειρισμών που ενέχουν χαρακτήρα κλασικών στατιστικών περιγραφών (σημείο 1). Υπ’ αυτό λοιπόν το πρίσμα, θα προσπαθήσουμε να κατανοήσουμε τα αποσπάσματα που ακολουθούν.

(B2.6) Α. «Εφόσον η ίδια καλώς προσδιορισμένη πειραματική διάταξη επιτρέπει εν γένει την καταγραφή διαφορετικών μεμονωμένων διαδικασιών, η στατιστική περιγραφή των κβαντικών φαινομένων₂ καθίσταται αναπόφευκτη» (Bohr, 1962, *ΑΡΗΚ* III, σ. 25).

Β. «Ο κβαντομηχανικός φορμαλισμός, μη επιδεχόμενος απεικονιστικής αναπαράστασης, αποσκοπεί στην πρόβλεψη των αποτελεσμάτων της παρατήρησης, όπως αυτά αναμένονται να εμφανισθούν σε επακριβώς καθορισμένες συνθήκες. Δοθέντος δε του γεγονότος ότι στο πλαίσιο μιας συγκεκριμένης πειραματικής διάταξης είναι δυνατό να εμφανισθεί, εν γένει, ένας αριθμός διαφορετικών κβαντικών διαδικασιών, οι προβλέψεις που κάθε φορά διατυπώνονται εμφανίζουν έναν ουσιαδώς στατιστικό χαρακτήρα. Σε αντίθεση όμως με τις προηγούμενες εφαρμογές της στατιστικής, όπου αυτή χρησιμοποιείτο για την περιγραφή μηχανικών φαινομένων με πολλούς βαθμούς ελευθερίας, η χρήση των στατιστικών μεθόδων στην κβαντική φυσική υποδηλώνει μια ουσιαστική απομάκρυνση από τις αιτιοκρατικές περιγραφές, μια απομάκρυνση που είναι εγγενώς συνδεδεμένη με τη ‘μη-διαιρετότητα’ (‘indivisibility’) των υποατομικών διαδικασιών» (Bohr, 1956, *C&C*, σσ. 172-173).

Γ. «Οποιαδήποτε σύγκριση της κβαντικής μηχανικής με τη συνηθισμένη κλασική στατιστική – όσο χρήσιμη κι’ αν είναι για τη φορμαλιστική παρουσίαση της θεωρίας – είναι τελείως αδόκιμη. Πράγματι, ... ο στατιστικός χαρακτήρας της κβαντικής θεωρίας δεν εκφράζει *την άγνοια* κάποιων φυσικών ποσοτήτων, αλλά *την αδυναμία επακριβούς προσδιορισμού τους*» (Bohr, 1935, *C&C*, σ. 78).

Η επισήμανση του Bohr ότι ‘ο στατιστικός χαρακτήρας της κβαντικής μηχανικής δεν εκφράζει *την άγνοια* κάποιων φυσικών ποσοτήτων αλλά την αδυναμία ακριβούς προσδιορισμού τους’ (Γ), μια αδυναμία ‘εγγενώς συνδεδεμένη με τη μη-διαιρετότητα των υποατομικών διαδικασιών’ (Β), καταδεικνύει την απόλυτη εναρμόνιση της ερμηνευτικής του προσέγγισης με τη σύγχρονη αντίληψη για τον εγγενή πιθανοκρατικό χαρακτήρα της κβαντικής θεωρίας: ο χαρακτήρας αυτός πηγάζει από την αντικειμενική απροσδιοριστία της κατάστασης του υπό μελέτη συστήματος και όχι από την επιστημική της άγνοια. Επί πλέον, η επισήμανση ότι οι στατιστικές προβλέψεις του κβαντικού φορμαλισμού αφορούν αποτελέσματα που αναμένονται να

‘εμφανισθούν σε επακριβώς καθορισμένες συνθήκες’ (B) ή ‘στην ίδια επακριβώς προσδιορισμένη πειραματική διάταξη’ (A) συνδέει ευθέως τη δυνατότητα διεξαγωγής στατιστικών περιγραφών με τον σαφή προσδιορισμό του πειραματικού πλαισίου, εκείνον τον προσδιορισμό που, υπό τη σύγχρονη αντίληψη, αποφέρει τη δυνατότητα διεξαγωγής στατιστικών περιγραφών κλασικού τύπου.

Έτσι, κατά συνεπή προς την αντίληψη του Bohr τρόπο, θα μπορούσαμε να πούμε ότι η έννοια του φαινομένου₂ οριοθετεί το πλαίσιο από όπου μπορεί ν’ αναφέρεται με σαφήνεια κανείς στη δυνατή εμπειρία, ή, ισοδύναμα, να προβλέπει μέσω αντιγεγονικών προτάσεων (counterfactuals) τη δυνατή εμπειρία, ακόμη κι’ αν οι προτάσεις αυτές έχουν στατιστικό χαρακτήρα. Κάθε τέτοια όμως πρόβλεψη ή αναφορά διενεργείται υπό το καθεστώς μιας ενσυνείδητης εξιδανίκευσης, εφόσον αναγνωρίζεται ως άμεση απόρροια του ολιστικού χαρακτήρα των κβαντικών διαδικασιών. Συγκεκριμένα, οι κλασικές στατιστικές μέθοδοι – μέθοδοι που προϋποθέτουν για την εφαρμογή τους τον σαφή προσδιορισμό της κατάστασης του υπό μελέτη συστήματος – μπορεί μεν να προσφέρουν πολύτιμα φορμαλιστικά εργαλεία για την, κατά το κλασικό πρότυπο, ανάλυση της επιστημονικής γνώσης, σε καμία όμως περίπτωση δεν διατηρούν την κλασική τους σημασία: οι στατιστικές προβλέψεις δεν εκφράζουν την επιστημική άγνοια κάποιων αναλλοίωτων εγγενών ιδιοτήτων του υπό μελέτη συστήματος – εκείνων των ιδιοτήτων που αντιστοιχούν στην ορισθείσα κατάσταση – αλλά προσδιορίζουν με αντικειμενικό τρόπο την πιθανότητα να πραγματοποιηθεί κάθε μια από τις δυνατές εμφανίσεις του υπό μελέτη συστήματος σ’ ένα συγκεκριμένο πειραματικό περιβάλλον, σ’ ένα περιβάλλον που έχει ορισθεί με όρους ‘κλασικότητας’. Υπ’ αυτήν την έννοια, η συγκρότηση ενός φαινομένου₂ μπορεί να ειδωθεί ως *γεφύρωση* της αντικειμενικής απροσδιοριστίας της κατάστασης των κβαντικών συστημάτων με την αντικειμενικότητα του στατιστικού λογισμού ή, υπό μια οντολογική μεταφορά, της αντικειμενικής απροσδιοριστίας του κβαντικού κόσμου με την αντικειμενικότητα της κοινής ανθρώπινης εμπειρίας, την αντικειμενικότητα του ‘αποσπασμένου παρατηρητή’.

Οφείλουμε τέλος να σημειώσουμε ότι, σύμφωνα με τα παραπάνω, ένα φαινόμενο₂, ως σαφώς καθορισμένο θεωρητικό αντικείμενο, προαναγγέλλει, με στατιστικώς ακριβή και αντικειμενικό τρόπο, τις δυνατές του πραγματώσεις. Έτσι, τα καλώς ορισμένα αντικείμενα της κβαντικής θεωρίας μπορούν να διακριθούν σε δύο κατηγορίες: στα φαινόμενα₂, στα θεωρητικά δηλαδή αντικείμενα του κβαντικού φορμαλισμού που αναφέρονται στο πεδίο της κοινής ανθρώπινης εμπειρίας, και στις

υλικές τους πραγματώσεις, στα παρατηρούμενα, δηλαδή, μέσω της πειραματικής διαδικασίας, αντικείμενα. Σε όποια όμως κατηγορία κι' αν ανήκουν, τα καλώς ορισμένα αντικείμενα της κβαντικής θεωρίας, καθώς φέρουν εγχαραγμένη στη δομή τους την πλήρη διάκριση υποκειμένου – αντικειμένου, δεν αντιπροσωπεύουν τίποτε περισσότερο από 'εξιδανικεύσεις'. 'Εξιδανικεύσεις' όμως αναντικατάστατες, εφόσον είναι αυτές και μόνο που επιτρέπουν τη γνωσιακή διείσδυση στην πέραν των φαινομένων φυσική πραγματικότητα υπό όρους επιστημονικής αντικειμενικότητας.

2στ. Η 'σύνθεση' των συμπληρωματικών φαινομένων₂ προσδίδει στην κβαντική θεωρία τον τίτλο της 'ορθολογικής γενίκευσης' της κλασικής φυσικής. Ένα φαινόμενο₂, εφόσον υπόκειται στην προϋπόθεση του 'αποσπασμένου παρατηρητή', προσομοιάζει σε μια κλασικού τύπου στατιστική 'ανάλυση', σε μια 'ανάλυση' που περιορίζεται, όμως, στις ειδικές συνθήκες ενός συγκεκριμένου πειραματικού περιβάλλοντος. Έτσι, εγείρεται το πρόβλημα της 'σύνθεσης' της επιστημονικής γνώσης, ένα πρόβλημα που, κατά την αντίληψη του Bohr, ήταν δυνατό να επιλυθεί μόνο δια της επίκλησης της έννοιας της συμπληρωματικότητας. Τα αποσπάσματα που ακολουθούν αναδεικνύουν τα επιστημολογικά ερείσματα του συγκεκριμένου ισχυρισμού.

(B2.7) Α. «Η μη-δυνατότητα συνδυασμού σε μια ενιαία κλασική εικόνα φαινομένων₂ που παρατηρούνται σε διαφορετικές πειραματικές διατάξεις υποδεικνύει με σαφήνεια ότι τέτοια εμφανώς αντικρουόμενα φαινόμενα₂ οφείλουν να εκλαμβάνονται ως συμπληρωματικά, υπό την έννοια ότι, εάν ληφθούν ως σύνολο υπόψη, εξαντλούν όλη την καλώς προσδιορισμένη γνώση μας για τα ατομικά αντικείμενα» (Bohr, 1962, *APHK* III, σ. 25).

Β. «Η έννοια της συμπληρωματικότητας δεν σηματοδοτεί καθιονδῆποτε τρόπο την εγκατάλειψη της θέσης μας ως αποσπασμένων παρατηρητών της φύσης. Αποτελεί, αντίθετα, λογική έκφραση της κατάστασής μας όσον αφορά την αντικειμενικότητα των περιγραφών μας στο συγκεκριμένο πεδίο της εμπειρίας. (Bohr, 1954, *APHK* II, σ. 74).

Γ. «Η οπτική γωνία της συμπληρωματικότητας δεν εισηγείται σε καμία περίπτωση την αυθαίρετη απάρνηση της δυνατότητας ανάλυσης των φυσικών γεγονότων, αλλά εκφράζει, αντίθετα, μια ορθολογική σύνθεση του πλούτου της εμπειρίας μας στο συγκεκριμένο πεδίο. Μια τέτοια σύνθεση έκανε δυνατή την υπέρβαση των ορίων στα οποία η εφαρμογή της έννοιας της αιτιότητας είναι εκ φύσεως προσαρτημένη» (Bohr, 1937β, *APHK* II, σ. 19).

Δ. «Η οπτική γωνία της συμπληρωματικότητας επιτρέπει την αποφυγή κάθε ανώφελης συζήτησης σε σχέση με κάποιο απώτερο ντετερμινισμό ή μη-ντετερμινισμό των φυσικών διαδικασιών, προσφέροντας μια άμεση εξελικτική γενίκευση του ιδεώδους της αυστηρῆς αιτιότητας. Η γενίκευση αυτή αποσκοπεί στη σύνθεση φαινομένων₂ που περιγράφονται με όρους που προϋποθέτουν ότι η συμπεριφορά των αντικειμένων είναι ανεξάρτητη από τα μέσα παρατήρησης» (Bohr, 1938α, *C&C*, σ. 104).

Υπό το φως της προηγηθείσας ανάλυσης, τα ανωτέρω αποσπάσματα μπορούν ν' αναπτυχθούν με τον ακόλουθο τρόπο. Όπως έχουμε ήδη διαπιστώσει, ο Bohr τοποθετούσε το 'ανορθολογικό' στοιχείο της κβαντικής θεωρίας στον ολιστικό χαρακτήρα του κβαντικού φορμαλισμού, έναν χαρακτήρα ασύμβατο, τόσο με το αίτημα της αιτιότητας, την πρωταρχική προϋπόθεση της ανθρώπινης νοητικής λειτουργίας, όσο και με τη θέαση των αντικειμένων στο χώρο και στο χρόνο, την πρωταρχική προϋπόθεση της ανθρώπινης αισθητηριακής αντίληψης (§B-1, σημείο 5). Επί πλέον, όπως ο ίδιος ο Bohr υπογράμμιζε, «ο χωρο-χρονικός συντονισμός και οι δυναμικοί νόμοι διατήρησης μπορούσαν να ειπωθούν ως δύο συμπληρωματικές πλευρές της συνηθισμένης αιτιότητας, πλευρές που, παρά τον αμοιβαίο τους αποκλεισμό, διατηρούσαν εντός του κβαντικού πλαισίου την εγγενή τους εγκυρότητα» (η έμφαση από τον Bohr, 1932β, σ. 54). Ο Bohr εννοούσε βεβαίως εδώ ότι ο 'χωρο-χρονικός συντονισμός' μπορούσε να ειπωθεί ως 'μια πλευρά της συνηθισμένης αιτιότητας', επειδή κάθε συνεχής κλασική χωρο-χρονική περιγραφή προϋποθέτει τη γνώση της δυναμικής εξέλιξης του υπό μελέτη συστήματος. Οι δύο δε 'συμπληρωματικές πλευρές της συνηθισμένης αιτιότητας' διατηρούσαν εντός του κβαντικού πλαισίου 'την εγγενή τους εγκυρότητα', επειδή ο περιορισμός τους, μέσω της έννοιας του 'φαινομένου₂' σ' ένα συγκεκριμένο πειραματικό πλαίσιο, διασφάλιζε τη λογικώς συνεκτική χρήση τους. Οι αντιστοιχούσες, επομένως, στα διαφορετικά φαινόμενα₂ περιγραφές, καθώς διασφάλιζαν, αφενός, το αίτημα της οπτικοποίησης, ενώ προσομοίαζαν, αφετέρου, σε κλασικού τύπου αιτιακές 'αναλύσεις', ανταποκρίνονταν, απόλυτα, στις 'ορθολογικές' προϋποθέσεις της ανθρώπινης νόησης και αντίληψης. Οι περιγραφές όμως αυτές, ως εκ του αμοιβαίως αποκλειόμενου χαρακτήρα τους, αδυνατούσαν να συντεθούν σε μια 'ενιαία κλασική εικόνα' (A).

Η έννοια λοιπόν της συμπληρωματικότητας εμφανιζόταν ως 'άμεση εξελικτική γενίκευση του ιδεώδους της αυστηρής αιτιότητας' (Δ), επειδή επιτύγγανε τη 'σύνθεση' – και όχι τη συνάρθρωση σε μια ενιαία εικόνα – των κλασικού τύπου αιτιακών 'αναλύσεων' που ενέχονταν στα εμφανώς αντικρουόμενα, μεταξύ τους, φαινόμενα₂: η έννοια της συμπληρωματικότητας υποδείκνυε ότι, εάν λαμβάνονταν ως σύνολο υπόψη φαινόμενα₂ που αντιστοιχούσαν σε αμοιβαίως αποκλειόμενες διατάξεις, τα φαινόμενα₂ αυτά εξαντλούσαν όλη την καλώς προσδιορισμένη γνώση για το υπό μελέτη ατομικό αντικείμενο (A). Έτσι, η έννοια της συμπληρωματικότητας, όχι μόνο δεν εξέφραζε 'μια αυθαίρετη απάρνηση της δυνατότητας ανάλυσης των φυσικών γεγονότων' (Γ), όχι μόνο δεν σηματοδοτούσε

‘την εγκατάλειψη της θέσης του αποσπασμένου παρατηρητή’ (B), αλλά, καθώς επέτρεπε, μέσω της σύνθεσης των συμπληρωματικών φαινομένων₂, ‘την υπέρβαση των ορίων στα οποία η εφαρμογή της αιτιότητας είναι εκ φύσεως προσαρτημένη’ (Γ), ήταν εκείνη που διασφάλιζε τη δυνατότητα άσκησης της φυσικής επιστήμης. Εν τέλει, η έννοια της συμπληρωματικότητας ήταν εκείνη που προσέδιδε στην κβαντική θεωρία τον τίτλο της ‘ορθολογικής’ ή ‘φυσικής’ γενίκευσης των κλασικών θεωριών (B1.18), επειδή, δια της τοποθέτησης των εναρμονισμένων με την ‘ορθολογικότητα’ της ανθρώπινης υπόστασης κλασικών προτύπων σε μια ριζικώς καινούργια βάση, διασφάλιζε τη δυνατότητα της κατάλληλης εφαρμογής τους στο πλαίσιο της κβαντικής θεωρίας. Για ν’ αντιληφθούμε το αντίκρισμα των ισχυρισμών του Bohr σε ορισμένες από τις σύγχρονες θεωρήσεις της κβαντικής θεωρίας, αρκεί να παρακολουθήσουμε το παρακάτω απόσπασμα, στο οποίο ο Primas συνοψίζει ορισμένα καίρια σημεία της ερμηνευτικής του προσέγγισης.

(B2.8) «Εάν διαθέτουμε ένα επαρκώς πλούσιο ενδοσύστημα, μπορούμε να κατασκευάσουμε πολλές επί μέρους εξωφυσικές περιγραφές του συστήματος αυτού, στις οποίες οι αντίστοιχοι παρατηρητές ζουν σε κλασικούς κόσμους, έτσι ώστε να είναι κβαντομηχανικώς αποσυσζευγμένοι από τα αντικείμενα της παρατήρησης. Ενώ η κβαντική ενδοφυσική κυβερνάται από θεμελιακές αρχές και δεν διαθέτει (ή διαθέτει πολύ λίγες) παρατηρήσιμες ποσότητες και σπασμένες συμμετρίες, κάθε εξωφυσική περιγραφή είναι πλαισιακώς εξαρτώμενη, δεν διαθέτει παγκόσμιες θεμελιακές αρχές και επιδεικνύει πολλές παρατηρήσιμες ποσότητες και σπασμένες συμμετρίες. Όλες οι εξωφυσικές περιγραφές είναι *a priori* εξίσου αξιόπιστες, αλλά εν γένει αμοιβαίως αποκλειόμενες. Για να επιλέξουμε μια από τις συμπληρωματικές αυτές περιγραφές, χρειαζόμαστε, πέραν των θεμελιακών αρχών της ενδοφυσικής, κάποιες κανονιστικές αρχές για την περιγραφή του κλασικού έξω-κόσμου στον οποίο ο παρατηρητής ζει. Οι πρόσθετες αυτές αρχές μπορούν λόγω χάριν ν’ αντανakλούν τις γνωσιακές οπτικές γωνίες του εξωτερικού παρατηρητή – παρατηρητή ή στοχαστή – να αναπαριστούν, δηλαδή, ένα ειδικό σύνολο προϋποθέσεων και στάσεων που συσχετίζονται με τις έννοιες της ικανότητας, του ενδιαφέροντος και των αξιών. ... Οφείλουμε να υπογραμμίσουμε ότι οι θεμελιακές αρχές της ενδοφυσικής δεν μπορούν να εξηγήσουν τις εξωφυσικές κανονιστικές αρχές όπως ... την προϋποτιθέμενη ελευθερία μας να δημιουργούμε αρχικές συνθήκες ή το εφικτό των ‘αποσπασμένων παρατηρητών’» (Primas, 1989, σ. 253 και 255).

Μπορούμε να διακρίνουμε εδώ, υπό μια εμπειριστατωμένη και αναλυτικώς ακριβή πλέον ανάλυση, όλα τα χαρακτηριστικά που συγκροτούν την κατά Bohr έννοια του φαινομένου₂: την εισδοχή της ‘κλασικότητας’ στο κβαντικό πλαίσιο ως συνέπεια της αναγκαίας ‘αποσύζευξης’ του παρατηρητή από το αντικείμενο της παρατήρησης, τη μετάθεση της αναφοράς των κβαντομηχανικών περιγραφών από το επίπεδο της κβαντικής πραγματικότητας (των ‘ενδοσυστημάτων’) στο επίπεδο του ‘κλασικού κόσμου’ (στον οποίο αναφέρονται οι ‘εξωφυσικές περιγραφές’), την ‘a priori

αξιοπιστία' των 'εξωφυσικών περιγραφών' του 'αποσπασμένου παρατηρητή', την 'πλαισιακή εξάρτηση' των 'εξωφυσικών περιγραφών' και τον 'συμπληρωματικό' τους χαρακτήρα και, τέλος, την εισδοχή της 'ικανότητας', του 'ενδιαφέροντος' και των 'αξιών' του ερευνητή (υπό τη μορφή 'κανονιστικών αρχών που δεν 'εξηγούνται από τις θεμελιακές αρχές της ενδοφυσικής') στο αντικείμενο της γνώσης.

Οφείλουμε βεβαίως ν' αναγνωρίσουμε ότι ο Primas, προβάλλοντας ευκρινώς την οντολογική θεμελίωση της ερμηνευτικής του προσέγγισης, αναγνωρίζει την ύπαρξη μιας πραγματικότητας των 'ενδοσυστημάτων', μια πραγματικότητα που, εκ λόγων αρχής, δεν είναι γνώσιμη και περιγράψιμη στο σύνολό της. Όπως χαρακτηριστικά επισημαίνει, «ένας εξωφυσικός χειρισμός δεν μπορεί ποτέ να εξαντλήσει όλο τον κόσμο» (στο ίδιο, σ. 252). Την ίδια έννοια της, εκ λόγων αρχής, μη-γνώσιμης – όπως αυτή 'πραγματικά είναι' – φυσικής πραγματικότητας συναντάμε στην 'κεκαλυμμένη πραγματικότητα' του d' Espagnat ('veiled reality', 1995) ή στο 'έσω επίπεδο πραγματικότητας' του Ενεργού Επιστημονικού Ρεαλισμού του Β. Καρακώστα (2006, σσ. 23-26). Αντίθετα, ο Bohr, αποφεύγοντας επιμελώς τις άμεσες οντολογικές αναφορές, δημιούργησε εντονότερες αμφισβητήσεις σε σχέση με το ρεαλιστικό ή μη υπόβαθρο της ερμηνείας του. Παρ' όλα αυτά, όπως ήδη προσπαθήσαμε να δείξουμε και όπως θα διαφανεί επίσης στη συνέχεια (§B-3), η προσεκτική ανάλυση του έργου του Bohr μας πείθει για τον αυθεντικώς ρεαλιστικό προσανατολισμό της ερμηνευτικής του προσέγγισης. Ο προσανατολισμός αυτός γίνεται, κατά τη γνώμη μας, ιδιαίτερα εμφανής στην έννοια των συμπληρωματικών φαινομένων₂.

2ζ. *Η έννοια των συμπληρωματικών φαινομένων₂ προϋποθέτει την ύπαρξη μιας 'πέραν των φαινομένων' φυσικής πραγματικότητας. Όσο κι' αν φαίνεται από ετυμολογικής άποψης περίεργο, η ίδια η έννοια των συμπληρωματικών φαινομένων₂ προϋπέθετε την ύπαρξη μιας πέραν των φαινομένων φυσικής πραγματικότητας, της οποίας τις δομές επιχειρεί η επιστήμη να προσεγγίσει. Το απόσπασμα που ακολουθεί θα μας βοηθήσει να τεκμηριώσουμε τον συγκεκριμένο ισχυρισμό.*

(B2.9) «Η πληροφορία που συλλέγεται σε σαφώς προσδιορισμένες πειραματικές συνθήκες και αφορά τη συμπεριφορά ενός υποατομικού αντικειμένου μπορεί ... να χαρακτηριστεί κατάλληλα ως συμπληρωματική κάθε πληροφορίας για το ίδιο αντικείμενο που συλλέγεται από κάποια άλλη πειραματική διάταξη, η οποία αποκλείει την ισχύ των αρχικών συνθηκών. Παρότι τέτοιου είδους πληροφορίες δεν μπορούν να συνδυασθούν σε μια ενιαία εικόνα μέσω των συνηθισμένων εννοιών, οι πληροφορίες αυτές αντιπροσωπεύουν εξίσου ουσιαστικές πλευρές της δυνατής γνώσης για το συγκεκριμένο αντικείμενο» (Bohr, 1938β, *APHK* II, σ. 26).

Τα συμπληρωματικά λοιπόν φαινόμενα₂ αποτύπωναν εξίσου ουσιαστικές πλευρές της συμπεριφοράς ‘του ίδιου αντικειμένου’, όπως η συμπεριφορά αυτή μπορούσε να ‘εμφανισθεί’ σε αμοιβαίως αποκλειόμενα πλαίσια της κοινής ανθρώπινης εμπειρίας. Το απόσπασμα αυτό καταγράφει ξεκάθαρα μια αντίληψη που προτάσσει την οντολογική ύπαρξη της εκτός υποκειμένου πραγματικότητας έναντι των οιαδήποτε αισθητηριακών αντιλήψεων ή γνωσιακών εγχειρημάτων του υποκειμένου. Και, πράγματι, δεν θα μπορούσε να συμβαίνει διαφορετικά. Γιατί η ίδια η έννοια των συμπληρωματικών φαινομένων₂ καθιστά την έννοια της φυσικής πραγματικότητας λογικώς πρότερη της ανθρώπινης γνώσης και εμπειρίας. Υπό το πρίσμα μιας φαινομεναλιστικής, εμπειριστικής ή εργαλειοκρατικής αντίληψης, η λογικώς συνεκτική περιγραφή των εμπειρικών φαινομένων θα ήταν επαρκής. Η ‘αναγκαία συμπλήρωση’ των αμοιβαίως αποκλειόμενων φαινομένων₂ θα ήταν, επομένως, κενή περιεχομένου. Επί πλέον, το σύνολο των προαναφερθέντων θεωρήσεων δεν θα είχε κανένα λόγο να υποστηρίζει ότι η εκφραζόμενη, μέσω των φαινομένων₂, ‘κλασικότητα’ έμελλε να παραμείνει, παρά την οιαδήποτε επιστημονική εξέλιξη, συστατικό και αναφαίρετο χαρακτηριστικό της επιστημονικής γλώσσας. Γιατί θα ήταν πάντοτε δυνατή η κατασκευή μιας ‘νέας’ γλώσσας που θα μπορούσε να περιγράφει με την ίδια αποτελεσματικότητα τα φαινόμενα της εμπειρίας. Έτσι, όταν ο Bohr απέκλειε κατηγορηματικά κάθε τέτοιο ενδεχόμενο, δεν μπορούσε παρά να εκφράζει μια αδιαπραγμάτευτη οντολογική πεποίθηση: την πεποίθηση ότι ο ολιστικός χαρακτήρας του κβαντικού φορμαλισμού αποτύπωνε τη μόνη αδιαμφισβήτητη πραγματικότητα, την ολιστική πραγματικότητα του φυσικού κόσμου. Γι’ αυτό και, αξιολογώντας την κβαντική θεωρία ως πλήρη και εξηγητικώς επαρκή, δεν δίστασε να δεχθεί ότι η ‘αληθινή ουσία’ της εκτός υποκειμένου φυσικής πραγματικότητας έμελλε να παραμείνει, για πάντα, επιστημικώς απρόσιτη.

3. Η κβαντική θεωρία ικανοποιεί το αίτημα της ‘εξηγητικής προόδου’. Η προηγούμενη παρατήρηση μας υπενθυμίζει ότι, κατά την περίοδο εφαρμογής της AAB, το ισχυρότερο κριτήριο που ετίθετο από τον Bohr για την αποτίμηση της ‘ορθολογικότητας’ της υπό αναζήτηση κβαντικής θεωρίας ήταν η δυνατότητά της ν’ αποφέρει εξηγητική πρόοδο: η κβαντική θεωρία όφειλε να επιτυγχάνει την ενοποίηση της επιστημονικής γνώσης σ’ ένα ενιαίο και συνεκτικό ερμηνευτικό σχήμα (και όχι, κατ’ ανάγκη, σε μια ενιαία λογική δομή), υπό την έννοια ότι, υπό το πρίσμα της δικής της συνεκτικής κοσμοθεώρησης, όφειλε ν’ αναγνωρίσει τα βαθύτερα εκείνα

χαρακτηριστικά της φυσικής πραγματικότητας που επέτρεπαν την επιτυχή μεν εφαρμογή της κλασικής φυσικής στο μακροσκοπικό επίπεδο, ενώ προδίκαζαν την αποτυχία της στην υποατομική κλίμακα (§A-4.3, Πίνακας 1).

Υπ' αυτό το πρίσμα, το αίτημα της λογικής συνεκτικότητας της υπό αναζήτηση κβαντικής θεωρίας ήταν αυτονόητο. Όπως επισημαίνει ο Rosenfeld, «για τον Bohr, η λογική ανάλυση δεν περιοριζόταν στην απλή επιβεβαίωση της συνεκτικότητας, μια διαδικασία την οποία θεωρούσε τετριμμένη, αλλά λειτουργούσε ως δυναμικό εργαλείο συγκρότησης για τον προσανατολισμό του νου που διερευνά προς τη σωστή κατεύθυνση» (Rosenfeld, 1967, σ. 117). Και, πράγματι, κατά την περίοδο γέννησης της κβαντικής θεωρίας, ο Bohr επεδίωκε πάντοτε τη 'βαθύτερη κατανόηση της φυσικής σημασίας' των νεοεμφανιζόμενων φορμαλιστικών επιτευγμάτων, μια κατανόηση που του ήταν απαραίτητη για τη συγκρότηση των αξιολογικών του κρίσεων. Οι κριτικές του αποτιμήσεις για τη θεωρία των κβάντων, τη μηχανική των μητρών και τα μαθηματικά σχήματα της σχολής του Μονάχου μας προσέφεραν, ήδη, τρία χαρακτηριστικά παραδείγματα της συγκεκριμένης στάσης (§A-4.4, §A-5.1.2, σημείο 5 και §A-5.2.2, σημείο 6). Καθώς λοιπόν η λογική συνεκτικότητα του κβαντικού φορμαλισμού αποτελούσε αυτονόητη προϋπόθεση της επιστημικής του επάρκειας, ο Bohr δεν την ενέταξε ποτέ στα κριτήρια αξιολόγησης της 'ορθολογικότητας' της κβαντικής θεωρίας. Παρ' όλα αυτά, μετά τη διατύπωση της συμπληρωματικότητας και λόγω της αναπόφευκτης παρουσίας της 'κλασικότητας' στο κβαντικό πλαίσιο, ο Bohr θεώρησε ότι το ζήτημα αυτό όφειλε να συζητηθεί, για να τεθεί σε μια ξεκάθαρη, από φυσικής άποψης, βάση.

3α. *Η λογική συνεκτικότητα του κβαντικού φορμαλισμού και η αρμονική του σύνδεση με την εμπειρία.* Στο απόσπασμα που ακολουθεί, ο Bohr, κατά συνεπή προς τις πάγιες θέσεις του τρόπο, συνέδεσε άμεσα το ζήτημα της λογικής συνεκτικότητας με το φυσικό υπόβαθρο του κβαντικού φορμαλισμού.

(B2.10) «Η επιτυχής σύνδεση της κβαντικής μηχανικής με τις καινούργιες εμπειρικές κανονικότητες έγινε δυνατή, μόνο όταν τα συνήθη κινηματικά και δυναμικά μεγέθη αντικαταστάθηκαν από σύμβολα που υπακούουν υπολογιστικούς κανόνες νέου τύπου. ... Πράγματι, με τη βοήθεια αφηρημένων αριθμητικών εννοιών, κατέστη δυνατή η συγκρότηση ενός αυστηρού λογικού φορμαλισμού, ο οποίος μας επέτρεψε να κατανοήσουμε σε βάθος καινούργια πεδία της εμπειρίας. ... Επιθυμώ όμως να τονίσω ότι, στα συγκεκριμένα πεδία, οι λογικές διασυνδέσεις επιτυγχάνουν μόνο όταν απαρνηθούμε τις συνήθεις απαιτήσεις μας για οπτικοποίηση. Θα ήθελα δε να προειδοποιήσω για μια παρανόηση που είναι δυνατό να προκύψει εάν κανείς επιχειρήσει να εκφράσει το περιεχόμενο των σχέσεων απροσδιοριστίας του Heisenberg – οι οποίες, σημειωτέον, διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην αποτίμηση της συνεκτικότητας του ουσιαστικώς

πιθανοκρατικού χαρακτήρα της κβαντικής μηχανικής – με τη φράση ‘η θέση και η ορμή ενός σωματιδίου δεν μπορούν να μετρηθούν ταυτόχρονα με αυθαίρετη ακρίβεια’. Γιατί μια τέτοια έκφραση θα μπορούσε να υπονοεί ότι αντιμετωπίζουμε εδώ κάποια αυθαίρετη απόλειψη της δυνατότητας μέτρησης μίας εκ των δύο καλώς προσδιορισμένων ιδιοτήτων του αντικειμένου, η οποία δεν θα απέκλειε τη δυνατότητα εμφάνισης μιας μελλοντικής θεωρίας που θα μπορούσε να συνυπολογίζει και τις δύο αυτές ιδιότητες κατά το πρότυπο της κλασικής φυσικής. Πρέπει όμως να γίνει σαφές ότι η όλη κατάσταση στην υποατομική φυσική αφαιρεί κάθε νόημα από τέτοιες εγγενείς ιδιότητες, όπως αυτές που θα αποδίδονταν από τις εξιδανικεύσεις της κλασικής φυσικής στο υπό εξέταση αντικείμενο. Αντίθετα, ο ρόλος των σχέσεων απροσδιοριστίας είναι να διασφαλίζουν, ποσοτικώς, τη λογική συμβατότητα εκείνων των εμφανώς αντιτιθέμενων νόμων που εμφανίζονται όταν χρησιμοποιούμε διαφορετικές πειραματικές διατάξεις. Εκ των διατάξεων αυτών, μόνο η μία επιτρέπει τη μη-διφορούμενη χρήση της έννοιας της θέσης, ενώ μόνο η άλλη επιτρέπει την εφαρμογή της έννοιας της ορμής. ... Οι ενδείξεις που αντλούνται από διαφορετικές μετρητικές διατάξεις – διατάξεις που είναι εμφανώς αντιτιθέμενες εξ αιτίας της πεπερασμένης τιμής του κβάντου δράσης – είναι λογικώς συμβατές μεταξύ τους» (Bohr, 1937α, C&C, σσ. 85-86).

Η παρατήρηση του Bohr ότι ‘ο αυστηρός κβαντικός φορμαλισμός ήταν εκείνος που επέτρεψε την εις βάθος κατανόηση καινούργιων πεδίων της εμπειρίας’, καθώς αποκαλύπτει για μια ακόμη φορά την πεποίθησή του για τη θεωρητικώς εξαρτώμενη εμπειρία, μας προσφέρει ένα ακόμη τεκμήριο για τη ριζική διάσταση της θεώρησής του από τις θετικιστικές αντιλήψεις. Στη συγκεκριμένη όμως περίπτωση, ο Bohr επιθυμούσε κυρίως να επισημάνει ότι η λογική συνεκτικότητα του κβαντικού οικοδομήματος δεν ήταν από μόνη της αρκετή. Γιατί η κβαντική θεωρία εμφανιζόταν εμπειρικώς επιτυχής, μόνο όταν συνοδευόταν από την κατάλληλη φυσική ερμηνεία: εάν επέμενε κανείς ν’ αποδίδει στις παρατηρησιακές της έννοιες το αναπαραστασιακό νόημα των κλασικών ‘εξιδανικεύσεων’ ή εάν συνέχιζε να προβάλλει τις ‘συνήθειες απαιτήσεις οπτικοποίησης’, θα κατέληγε αναπόδραστα σε αντιφάσεις (όπως, λόγου χάριν, στο ‘παράδοξο’ του δυϊσμού ‘κύματος’ – ‘σωματιδίου’ §B-1, σημείο 8β).

Η κλασική χωρο-χρονική συνέχεια και η κλασική αιτιότητα, καθώς έφεραν, εκ της καταγωγής τους, την προϋπόθεση της σαφούς διάκρισης υποκειμένου – αντικειμένου ήταν ακατάλληλες για την περιγραφή των ολιστικών κβαντικών φαινομένων. Γι’ αυτό και εμφανίζονταν ως ‘εμφανώς αντιτιθέμενοι νόμοι’ κατά τη σύνδεση του κβαντικού φορμαλισμού με το πεδίο της κοινής ανθρώπινης εμπειρίας. Η λογική συμβατότητα των κλασικών αυτών ‘εξιδανικεύσεων’ διασφαλιζόταν μόνο δια του καθορισμού (στο θεωρητικό επίπεδο) και της χρήσης (κατά την ενεργό πειραματική διαδικασία) ‘εμφανώς αντιτιθέμενων’ μετρητικών διατάξεων, δια του καθορισμού δηλαδή και της χρήσης ‘συμπληρωματικών’ πειραματικών πλαισίων. Όσον αφορά τα όρια εντός των οποίων η χρήση των κλασικών εννοιών απέφευγε τις

λογικές αντιφάσεις, αυτά ορίζονταν, ‘ποσοτικώς’, από τις σχέσεις της απροσδιοριστίας. Η ελπίδα αναθεώρησης των σχέσεων αυτών από κάποια μελλοντική ‘πληρέστερη’ θεωρία, ήταν, κατά τη γνώμη του Bohr, μάταιη. Το ίδιο μάταιη ήταν και η απόπειρα καταφυγής σε μια ‘τρίτιμη λογική’, κι’ αυτό, για τους εξής λόγους.

(B2.11) «Η καταφυγή στην τρίτιμη λογική, η οποία μερικές φορές προτείνεται ως το κατάλληλο μέσο για τον χειρισμό των παραδόξων της κβαντικής θεωρίας, δεν μπορεί, κατά τη γνώμη μου, να οδηγήσει σε μια ευκρινέστερη ερμηνεία της κατάστασης, εφόσον κάθε καλώς ορισμένη πειραματική ένδειξη, ακόμη κι’ αν δεν είναι δυνατό ν’ αναλυθεί μέσω κλασικών όρων, οφείλει αναγκαστικά να εκφράζεται στη συνηθισμένη γλώσσα, μια γλώσσα που χρησιμοποιεί, βεβαίως, την κοινή λογική» (Bohr, 1948, *C&C*, σ. 147).

Ο Bohr προέβαλε και πάλι εδώ την αναγκαιότητα διατήρησης της ‘κλασικότητας’ εντός του κβαντικού πλαισίου, μίας ‘κλασικότητας’ που δεν ισοδυναμούσε, κατ’ ανάγκην, με τη χρήση ‘κλασικών όρων’ (εφόσον, λόγου χάριν, το φυσικό μέγεθος ‘spin’ δεν διέθετε κλασικό ανάλογο), αλλά με τη θεμελιακή προϋπόθεση της ‘συνηθισμένης’ γλώσσας, τη σαφή διάκριση υποκειμένου – αντικειμένου. Η αναγκαιότητα βεβαίως μιας τέτοιας διάκρισης πήγαζε από τον ολιστικό και μόνο χαρακτήρα των κβαντικών διαδικασιών. Έτσι, τόσο στις απόπειρες καταφυγής στην τρίτιμη λογική,⁸¹ όσο και στις απόπειρες αναθεώρησης των σχέσεων απροσδιοριστίας, σε κάθε δηλαδή προσπάθεια λογικής ανασκευής του κβαντικού φορμαλισμού, ο Bohr αντέτασσε πάντα ένα οντολογικό χαρακτηριστικό της φυσικής πραγματικότητας, τον ολιστικό της χαρακτήρα. Η αξιολόγηση, επομένως, της λογικής συνεκτικότητας του κβαντικού φορμαλισμού κατέληγε, όπως ακριβώς και κατά την περίοδο εφαρμογής της AAB, στην αποτίμηση της φυσικής του σημασίας.

3β. *Η συμπληρωματικότητα ως ‘διαλεκτικός’ τύπος επιστημονικής εξήγησης.* Κατά συνεπή, προς το αίτημα της ‘εξηγητικής προόδου’ τρόπο, ο Bohr δεν δίστασε ν’

⁸¹ Ο Bohr αναφέρεται πιθανότατα εδώ στην απόπειρα του Reichenbach (1944, ενότητες 29-33) να επιτύχει τη λογική τυποποίηση της ‘συμπληρωματικής’, όπως την αποκαλεί, σχέσης των ασύμβατων παρατηρήσιμων μεγεθών. Η λύση του Reichenbach ήταν η τρίτιμη λογική: οι προτάσεις μπορούσαν να είναι αληθείς, ψευδείς ή απροσδιόριστες. Έτσι, οι προτάσεις που εξέφραζαν συμπληρωματικές σχέσεις ήταν τέτοιες, ώστε, εάν η μία δεχόταν την τιμή ‘αληθής’ (ή ‘ψευδής’), η άλλη δεχόταν την τιμή ‘απροσδιόριστη’. Οι συζεύξεις τέτοιων προτάσεων ήταν καλώς ορισμένες, δεν μπορούσαν όμως ποτέ να δεχθούν την τιμή ‘αληθής’. Όπως προκύπτει από το σύνολο της εργασίας μας, η λογική τυποποίηση της επιστημονικής γνώσης δεν υποκίνησε ποτέ το ενδιαφέρον του Bohr. Εν τούτοις, εάν κάποιος επιθυμούσε να εντάξει την ερμηνευτική του προσέγγιση σ’ ένα τυπικό σχήμα – κάτι, που, κατά τη γνώμη μας, θα αποστράγγιζε τον φιλοσοφικό της πλούτο – το σχήμα αυτό θα όφειλε να πληροί τις υποδεικνυόμενες από τον Bub προϋποθέσεις: «...ο Bohr θεωρεί ότι η έννοια της αλήθειας έχει νόημα μόνο στο πλαίσιο μίας Boolean δομής δυνατοτήτων. Δηλαδή, το να προσαρτά κανείς μία ιδιότητα σ’ ένα σύστημα έχει νόημα μόνο σε σχέση με μία δομή δυνατών ιδιοτήτων που διαμορφώνουν μια Boolean άλγεβρα. Στην περίπτωση της κβαντικής μηχανικής, αυτή η δομή δυνατοτήτων είναι μη-Boolean. Η εφαρμογή της κλασικής έννοιας της αλήθειας, η απόδοση φυσικών ιδιοτήτων σ’ ένα τέτοιο σύστημα απαιτεί την αναφορά σε μία κλασική μετρητική συσκευή που ορίζει μια συγκεκριμένη Boolean άλγεβρα στο εσωτερικό της μη- Boolean δομής δυνατοτήτων» (Bub, 1979, σ. 118).

αναγνωρίσει την κβαντική θεωρία ως ‘πλήρη’ και ‘εξηγητικώς επαρκή’ από τη στιγμή που αναγνώρισε τον ολιστικό χαρακτήρα του κβαντικού φορμαλισμού ως έκφραση της *οντολογικής μη-διαχωρισιμότητας* του υποκειμένου από το προς παρατήρηση αντικείμενο. Γιατί θεώρησε, τότε, ότι ο συνδυασμός του ολιστικού χαρακτήρα της παρατήρησης/ μέτρησης με τους φυσικούς περιορισμούς των ανθρώπινων δυνατοτήτων προς παρατήρηση απέφερε μια ενοποιημένη και συνεκτική φυσική ερμηνεία των μακροσκοπικών και μικροσκοπικών διαδικασιών, μια ερμηνεία που απέκλινε όμως δραστικά από τα καθιερωμένα πρότυπα επιστημονικής εξήγησης.

Κατ’ αρχήν, η ασυμβατότητα των λογικών δομών της κλασικής και της κβαντικής θεωρίας, σε συνδυασμό με την αναγκαιότητα διατήρησης της ‘κλασικότητας’ εντός του κβαντικού πλαισίου, καθιστούσε την κβαντική θεωρία αδύναμη ν’ ανταποκριθεί στο ισχυρότερο κριτήριο εξηγητικής επάρκειας των ενοποιητικών θεωρήσεων, στο αίτημα, δηλαδή, της λογικής ενοποίησης της επιστημονικής γνώσης (§Α-5.2.1). Η παρουσία της ‘κλασικότητας’ εντός του κβαντικού πλαισίου ακύρωνε τον ‘κλειστό’ παραγωγικό χαρακτήρα της επιστημονικής γνώσης, κάτι που αντέβαινε τόσο στα εξηγητικά ιδεώδη των ενοποιητικών θεωρήσεων όσο και στις διαπνεόμενες από τα ιδεώδη αυτά ερευνητικές επιδιώξεις της πλειονότητας των επιστημόνων, μη εξαιρουμένων των Heisenberg, Schrödinger και Einstein. Η επιστημολογική στρατηγική του πρώτου στην εμπεριέχουσα τις σχέσεις απροσδιοριστίας εργασία του (§Α-5.2.3) και οι προσπάθειες των τελευταίων για τη διατύπωση μιας ‘νέας’ γλώσσας έτειναν να εξυπηρετήσουν αυτό ακριβώς το ιδεώδες. Ο ισχυρισμός, λόγου χάριν, του Schrödinger ότι «οι περιορισμοί της εφαρμογής των *παλιών* εννοιών εγείρουν άμεσα το αίτημα της εισαγωγής *νέων* εννοιών για τις οποίες οι περιορισμοί αυτοί *δεν θα ισχύουν*» είναι αποκαλυπτικός της συγκεκριμένης επιδίωξης (γράμμα του Schrödinger προς τον Bohr, 5 Μαΐου 1928, *NBCW6*, σ. [47]).

Η προσπάθεια όμως εξεύρεσης μιας ‘μοντέρνας’ γλώσσας φαινόταν στα μάτια του Bohr να στερείται νοήματος, εφόσον «κάθε εφαρμογή των κλασικών εννοιών ... επιδεχόταν φυσικής ερμηνείας» (από την απάντηση του Bohr στο γράμμα του Schrödinger, 23 Μαΐου 1928α, *NBCW6*, σ. [48]). Η κβαντική θεωρία ήταν σε θέση να ερμηνεύει με φυσικώς συνεκτικό τρόπο, τόσο την αναγκαιότητα της διατήρησης των κλασικών εννοιών στο κβαντικό πλαίσιο, όσο και το νόημα και τα όρια της χρήσης τους. Ήταν επίσης σε θέση να ερμηνεύει την αποτυχία των κλασικών ‘εξιδανικεύσεων’ στο υποατομικό επίπεδο και να καθορίζει επακριβώς τα όρια της προσεγγιστικής τους ισχύος. Έτσι, μπορεί μεν το αίτημα της παραγωγικής

συστηματοποίησης της επιστημονικής γνώσης να είχε ακυρωθεί – ένα αίτημα που δεν υπήρξε εξάλλου ποτέ πρωταρχικός ερευνητικός στόχος του Bohr (§A-5.2.2) – το αίτημα όμως της ενοποίησης συναντούσε την επιστημονική του πλήρωση κατά έναν εγκυρότερο και ουσιωδέστερο τρόπο: η κβαντική θεωρία, υπό το πρίσμα της δικής της συνεκτικής κοσμοθεώρησης, επιτύγχανε μια κατά το δυνατόν *ενοποιημένη φυσική ερμηνεία* των μακροσκοπικών και μικροσκοπικών διαδικασιών.

Εάν όμως ο Bohr έθεσε, κατ' αυτόν τον τρόπο, το αίτημα της ενοποίησης σε μια ριζικώς διαφορετική βάση, δεν δίστασε ν' αντιμετωπίσει με τον ίδιο ακριβώς τρόπο και το αίτημα της αιτιότητας. Μπορούμε πράγματι να θυμηθούμε ότι, κατά την περίοδο εφαρμογής της AAB, ο Bohr προσέβλεπε σε μια κβαντική θεωρία που θα αποδεικνυόταν ικανή να περιγράψει τους 'υποκείμενους στα φυσικά φαινόμενα μηχανισμούς' (π.χ. A4.1). Παρ' όλα αυτά, υπό το δεδομένο του ολιστικού χαρακτήρα των υποατομικών διαδικασιών, δεν δίστασε ν' αναγνωρίσει ότι το εξηγητικό αυτό ιδεώδες καθίστατο, επίσης, απρόσιτο: η 'τεχνητή τομή' της διαμορφούμενης, κατά τη μετρητική διαδικασία, ολότητας απέκλειε κάθε δυνατότητα λεπτομερούς εννοιολογικής περιγραφής των υποκείμενων στη μετρητική διαδικασία μηχανισμών και γεννούσε, *αναπόφευκτα*, τον εγγενή πιθανοκρατικό χαρακτήρα της κβαντικής θεωρίας. Η θετική βεβαίως αξιολόγηση μιας επιστημονικής θεωρίας που υποδείκνυε την *οριστική και αμετάκλητη* ακύρωση της δυνατότητας περιγραφής της αιτιακής δομής του κόσμου, όπως αυτός 'πραγματικά είναι', παραβίαζε ευθέως το ισχυρότερο κριτήριο εξηγητικής επάρκειας των αιτιακών θεωρήσεων της εξήγησης (§A-5.3.1). Καθώς όμως ο Bohr δεν υπέταξε ποτέ τις ερευνητικές του επιδιώξεις σε προκαθορισμένες οντολογικές δεσμεύσεις (κατά το πρότυπο των αιτιακών θεωριών περί εξήγησης και αναφοράς, §A-5.3.3), δεν δίστασε ν' αναγνωρίσει την κβαντική θεωρία ως εξηγητικώς επαρκή, από τη στιγμή που κατόρθωσε να τοποθετήσει το αίτημα της αιτιότητας, όπως ακριβώς και το αίτημα της ενοποίησης, υπό τη σκέπη μιας διαφορετικής, πλην όμως «πλέον κατανοητής και αποκατάληπτης θεώρησης» (Bohr, 1932α, C&C, σ. 53). Ας τον παρακολουθήσουμε:

(B2.12) «Η μη δυνατότητα υποδιαίρεσης των κβαντικών διαδικασιών και η μη δυνατότητα διαχωρισμού της συμπεριφοράς των αντικειμένων από την αλληλεπίδρασή τους με τις μετρητικές συσκευές, που χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό των συνθηκών υπό τις οποίες εμφανίζονται τα φαινόμενα₂, αποφέρει μια ασάφεια στην προσάρτηση συμβατικών γνωρισμάτων στα ατομικά αντικείμενα, μια ασάφεια που μας καλεί ν' αναθεωρήσουμε τη στάση μας έναντι του προβλήματος της φυσικής εξήγησης. Στην καινούργια αυτή κατάσταση, ακόμη και το παλιό ερώτημα της 'απόλυτης προσδιορισιμότητας' ('ultimate determinacy') των φυσικών φαινομένων έχει χάσει την εννοιολογική του βάση. Έναντι αυτής

ακριβώς της κατάστασης, η οπτική γωνία της συμπληρωματικότητας παρουσιάζεται ως *ορθολογική γενίκευση της ιδέας της αιτιότητας*. Πράγματι, ο συμπληρωματικός τρόπος περιγραφής δεν σηματοδοτεί κάποια αυθαίρετη απάρνηση των συνηθισμένων προϋποθέσεων της εξήγησης, αλλά προσφέρει, αντίθετα, *μια διαλεκτική έκφραση των πραγματικών συνθηκών ανάλυσης και σύνθεσης στο πεδίο της υποατομικής φυσικής*» (Bohr, 1948, C&C, σ. 147).

Το αίτημα της αιτιότητας ήταν άρρηκτα συνδεδεμένο με τη δυνατότητα επακριβούς προσδιορισμού της κατάστασης των υπό μελέτη φυσικών συστημάτων. Και μπορεί μεν η ‘απόλυτη προσδιορισσιμότητα των φυσικών φαινομένων’ να γεννούσε από φιλοσοφικής άποψης πάντοτε ερωτήματα, στο πεδίο όμως της φυσικής επιστήμης συναντούσε, έως τότε, μια αξιόπιστη εννοιολογική κάλυψη: η επακριβώς προσδιοριζόμενη, μέσω της κλασικής μέτρησης, κατάσταση των φυσικών συστημάτων ήταν δυνατό να εκληφθεί, κατά συμβατό προς τα επιστημονικά δεδομένα τρόπο, ως περιγράφουσα τα χαρακτηριστικά των φυσικών οντοτήτων όπως αυτές ‘πραγματικά είναι’ (§B.1, σημείο 4). Καθώς όμως, υπό το δεδομένο του ολιστικού χαρακτήρα των υποατομικών διαδικασιών, η ‘απόλυτη προσδιορισσιμότητα των φυσικών φαινομένων έχανε την εννοιολογική της βάση’, η φυσική επιστήμη όφειλε να επανακαθορίσει τη στάση της έναντι του προβλήματος της αιτιότητας και, επομένως, ‘έναντι του προβλήματος της επιστημονικής εξήγησης’. Στο αίτημα ακριβώς αυτό ερχόταν ν’ ανταποκριθεί η έννοια της συμπληρωματικότητας, μια έννοια που, όπως υπογράμμισε ο Bohr, δεν εξέφραζε ‘την απάρνηση των συνηθισμένων εξηγητικών προϋποθέσεων’, αλλά προσέφερε, αντίθετα, μια ‘ορθολογική γενίκευση της ιδέας της αιτιότητας’. Όπως, ήδη διαπιστώσαμε, η ‘γενίκευση’ αυτή προέκυπτε από τη ‘σύνθεση’ των συμπληρωματικών φαινομένων₂ (σημείο 2στ). Καθώς δε το πεδίο αναφοράς κάθε φαινομένου₂ δεν συνέπιπτε με την ‘πραγματικότητα’ του κβαντικού κόσμου, αλλά με ένα συγκεκριμένο περιβάλλον της κοινής ανθρώπινης εμπειρίας, οι αποδιδόμενες, μέσω των φαινομένων₂ αιτιακές περιγραφές δεν μπορούσαν πλέον να εκλαμβάνονται ως αποδίδουσες τους αιτιακούς μηχανισμούς του κόσμου όπως αυτός ‘πραγματικά είναι’. Έτσι, το ιδεώδες της κλασικής αιτιότητας – ένα ιδεώδες συνυφασμένο με τη δυνατότητα άσκησης της φυσικής επιστήμης – μπορεί μεν να είχε διασφαλισθεί, είχε χάσει όμως *αμετάκλητα* το οριζόμενο, από τις αιτιακές θεωρήσεις, οντολογικό του υπόβαθρο.

Η συμπληρωματικότητα, όπως και ίδιος ο Bohr επισήμανε (B2.12), εισήγαγε για πρώτη φορά στο πεδίο της φυσικής επιστήμης ένα ‘διαλεκτικό’ πρότυπο εξήγησης, εφόσον η εξηγητική της ισχύς εδραζόταν στη ‘σύνθεση’ αμοιβαίως αποκλειόμενων κατηγοριών, στη ‘διαλεκτική’ δηλαδή επεξεργασία της διαθέσιμης πληροφορίας.

Κατά την εκτίμηση δε του Bohr, «η ελπίδα για μια μελλοντική επιστροφή σε περιγραφές των φυσικών φαινομένων που θα ήταν περισσότερο συμβατές με το ιδεώδες της κλασικής αιτιότητας ήταν μάταιη. Μάλλον, [προέβλεψε] θα βρεθούμε αντιμέτωποι με την αναγκαιότητα μιας ακόμη πιο ριζικής απομάκρυνσης από τους συνηθισμένους τρόπους περιγραφής, μιας απομάκρυνσης που θα υποδεικνύει την ανάγκη περαιτέρω επέκτασης της οπτικής γωνίας της συμπληρωματικότητας» (Bohr, 1938α, C&C, σ. 108).

Δεν μπορούμε παρά να επισημάνουμε ότι η διαλεκτική στάση του Bohr έναντι της επιστήμης και γενικότερα της ζωής, μια στάση που τον ωθούσε «να ψάχνει για ομοιότητες σε εμφανώς διαφορετικά πράγματα» (Klein, 1967, σ. 75), συνάντησε απρόσμενα την πραγμάτωσή της στο ίδιο το περιεχόμενο της επιστημονικής γνώσης. Σε αντίστροφη δε κατεύθυνση, θα μπορούσαμε να πούμε ότι η κβαντική θεωρία, η θεωρία που εισήγαγε πρώτη τη διαλεκτική θεώρηση στο πεδίο της φυσικής επιστήμης, έγινε δυνατό να προσεγγισθεί μέσω μιας κατ' εξοχήν διαλεκτικής μεθοδολογικής στρατηγικής (§A-6). Εν τέλει, τόσο το επιστημολογικό υπόβαθρο της AAB, όσο και το φιλοσοφικό υπόβαθρο της συμπληρωματικότητας έφεραν ατόφιο τον προβληματισμό του Bohr για τις 'συνθήκες της ανθρώπινης σκέψης', έναν προβληματισμό που εκτίθεται ανάγλυφα στο απόσπασμα που ακολουθεί.

(B2.13) «Το προσδιοριστικό στοιχείο της εποχής μας δεν είναι η αναγνώριση των ανθρώπινων περιορισμών, αλλά οι προσπάθειές μας να διερευνήσουμε τη φύση των περιορισμών αυτών. Πράγματι, θα δίναμε μια φτωχή εικόνα των δυνατοτήτων μας, εάν παρομοιάζαμε τους περιορισμούς μας με απροσπέλαστο τείχος. ... Μέσω της ολοένα και βαθύτερης διερεύνησης των βασικών μας αντιλήψεων, κατανοούμε μια ολοένα και βαθύτερη συνεκτικότητα και έτσι φθάνουμε να βιώνουμε μια ολοένα και πλουσιότερη αίσθηση εσωτερικής και διαρκούς *αρμονίας*, παρότι αισθανόμαστε την αόριστη, και μόνο, παρουσία της, χωρίς ποτέ να μπορούμε να τη συλλάβουμε στ' αλήθεια. Σε κάθε τέτοια προσπάθεια, η αρμονία αυτή, όπως ακριβώς ταιριάζει στη φύση της, μας γλιστρά από τα χέρια. Τίποτε δεν είναι σταθερό, κάθε σκέψη, κάθε λέξη είναι κατάλληλη για να υπογραμμίζει μια συνεκτικότητα που δεν μπορεί να περιγραφεί ποτέ με ακρίβεια αλλά μελετάται, προοδευτικά, σε ολοένα και μεγαλύτερο βάθος. Αυτές είναι οι συνθήκες της ανθρώπινης σκέψης» (Bohr, 1928, MSS: 11, σ. 4).

Ο Bohr συνάντησε λοιπόν στην κβαντική θεωρία την εσωτερική εκείνη 'αρμονία' που αναδύεται από την διαλεκτική σύνθεση των αντιθέτων, την αρμονία εκείνη που, όταν προσεγγίζεται, υποδηλώνει την κατανόηση μιας 'βαθύτερης συνεκτικότητας'. Έτσι, όπως χαρακτηριστικά επισημαίνει, «η προσέγγιση στο πρόβλημα της εξήγησης που ενσωματώνεται στην έννοια της συμπληρωματικότητας υποδεικνύει από μόνη της τη θέση μας ως ενσυνείδητα όντα και ανακαλεί με ισχυρό τρόπο τη διδασκαλία των αρχαίων φιλοσόφων: κατά την αναζήτηση μιας αρμονικής στάσης απέναντι στη

ζωή, δεν πρέπει ποτέ να ξεχνάμε ότι εμείς οι ίδιοι είμαστε ταυτόχρονα ηθοποιοί και θεατές στο μεγάλο δράμα της ύπαρξης» (Bohr, 1948, *C&C*, σ. 148).

Ο Bohr διείδε στη συμπληρωματικότητα μια εις βάθος φυσική εξήγηση, μια εξήγηση που αναγνώριζε το υποκείμενο ως αναπόσπαστο μέρος του φυσικού κόσμου, κατανοούσε τους περιορισμούς και τις προσδιορίζουσες ιδιότητες των αντιληπτικών και γνωσιακών του δυνατοτήτων και διασφάλιζε την ‘ορθολογική’ τους προσπέλαση: τη μέγιστη δυνατή γνώση της ανεξάρτητης του υποκειμένου πραγματικότητας υπό όρους επιστημονικής αντικειμενικότητας. Κατά την αντίληψη επίσης του Bohr, η συμπληρωματικότητα συνιστούσε μια εις βάθος φυσική εξήγηση, επειδή αποκάλυπτε τις άρρητες, ‘αυτονόητες’ παραδοχές της κλασικής κοσμοθεώρησης (της χωρο-χρονικής συνέχειας, της αυστηρής αιτιότητας και κυρίως της διάκρισης υποκειμένου – αντικειμένου), ενώ καθόριζε επακριβώς τους όρους της ‘ορθολογικής’ χρήσης τους εντός του κβαντικού πλαισίου. Εν τέλει, η συμπληρωματικότητα, όχι μόνο εκπλήρωνε το αίτημα της ‘εξηγητικής προόδου’ όπως αυτό είχε τεθεί κατά την περίοδο εφαρμογής της AAB, αλλά προσέδιδε σ’ αυτό ένα ευρύτερο και ουσιωδέστερο περιεχόμενο: σε κάθε πεδίο της ανθρώπινης γνώσης, μια τέτοια πρόοδος μπορούσε να σημειωθεί μόνο δια του συνδυασμού «της αντικειμενικής περιγραφής και της αρμονικής κατανόησης», ενός συνδυασμού που απαιτούσε για την κατάκτησή του «την απόδοση ιδιαίτερης προσοχής στις συνθήκες υπό τις οποίες συλλέγονται κάθε φορά οι ενδείξεις» (Bohr, 1958α, *APHK* II, σ. 2).

Αποτιμώντας τη θεώρηση του Bohr περί επιστημονικής εξήγησης, θα παραθέσουμε ένα απόφθεγμα των London και Bauer που εκφράζει με τον καλύτερο τρόπο τη θέση μας, αλλά, όπως πιστεύουμε, και τη θέση του ίδιου του Bohr.

(B2.14) «Η φυσική, ως εμπειρική επιστήμη, αδυνατεί να υπεισέλθει στα φιλοσοφικά προβλήματα σε όλη τους τη γενικότητα. Αρκείται εν γένει στη χρήση κάποιων φιλοσοφικών εννοιών που αναποκρίνονται στις ανάγκες της. Αλλά, σε συγκεκριμένες περιπτώσεις, έχει το δικαίωμα ν’ αναγνωρίσει ότι κάποιες από τις έως στιγμής χρήσιμες έννοιες κατέστησαν μη-αναγκαίες, ότι εμπεριέχουν στοιχεία άχρηστα ή ακόμη και λανθασμένα, πραγματικά δηλαδή εμπόδια στην πρόοδο. Μπορεί κάποιος ν’ αμφισβητεί τη δυνατότητα τεκμηρίωσης φιλοσοφικών αληθειών μέσω των μεθόδων της φυσικής επιστήμης, αλλά δεν είναι σίγουρα έξω από την ικανότητα των επιστημόνων η κατάδειξη ότι ορισμένοι ισχυρισμοί που παριστάνουν ότι έχουν φιλοσοφική αξία, στην πραγματικότητα, δεν έχουν. Και, μερικές φορές, αυτές οι ‘αρνητικές’ φιλοσοφικές ανακαλύψεις των φυσικών δεν είναι λιγότερο σημαντικές, ούτε λιγότερο επαναστατικές για τη φιλοσοφία από τις ανακαλύψεις των αναγνωρισμένων φιλοσόφων» (London & Bauer, 1939, σ. 259).

Κατά γενική ομολογία, η κβαντική θεωρία αντιπροσωπεύει την πλέον επιτυχή σύγχρονη θεωρία της φυσικής επιστήμης. Έτσι, επικαλούμενοι ένα από τα κεντρικά

επιχειρήματα του παραδοσιακού επιστημονικού ρεαλισμού, θα μπορούσαμε να ισχυρισθούμε ότι, για να μη μοιάζει η επιτυχία αυτή με 'θαύμα', θα όφειλε να παραδεχθεί κανείς ότι η κβαντική θεωρία κατόρθωσε να συλλάβει ένα ουσιώδες χαρακτηριστικό της φυσικής πραγματικότητας, ένα χαρακτηριστικό που, όπως η πειραματική διαδικασία σωρευτικά καταδεικνύει, δεν μπορεί παρά να ταυτίζεται με τον ολιστικό χαρακτήρα των μικροφυσικών διαδικασιών. Εάν αυτό είναι αληθές, και εάν η επιστημονική εξήγηση εννοηθεί ως υπέρβαση της επιστημικής επάρκειας, τότε οφείλει πλέον ν' αποδεχθεί κανείς – μαζί με τους London και Bauer – ότι η κβαντική θεωρία σηματοδότησε, πράγματι, μια 'αρνητική' φιλοσοφική ανακάλυψη: ως κριτήριο εξηγητικής επάρκειας των επιστημονικών θεωριών δεν μπορεί πλέον να εκλαμβάνεται η αναπαραστασιακή τους, ως προς τον φυσικό κόσμο, ικανότητα. Όπως ο Bohr, πριν από ογδόντα περίπου χρόνια πρότεινε, μια επιστημονική θεωρία μπορεί να κριθεί ως 'πλήρης' και 'εξηγητικώς επαρκής', επειδή επεξηγεί *γιατί* η επακριβής αναπαράσταση του κόσμου είναι αδύνατη. Η κατά το δυνατό δε αυστηρότερη επεξεργασία ενός διαλεκτικού τύπου εξήγησης, ίσως να διανοίγει τον δρόμο για τη συμφιλίωση της σύγχρονης φυσικής με τη φιλοσοφία της επιστήμης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ

Η ΦΥΣΙΚΗ ΦΙΛΟΣΟΦΙΑ ΤΟΥ BOHR: ΜΙΑ ΦΙΛΟΣΟΦΙΑ ΠΟΥ ΕΠΙΒΛΗΘΗΚΕ ‘ΑΠΟ ΤΗΝ ΙΔΙΑ ΤΗ ΦΥΣΗ’

Οι σχολιαστές του Bohr, ανεξάρτητα από την ευνοϊκή ή επικριτική τους στάση έναντι της ερμηνευτικής του προσέγγισης, προτάσσουν συχνά τη φιλοσοφική συνιστώσα του έργου του. Με έκδηλο λόγο χάριν θαυμασμό, ο Heisenberg ισχυρίστηκε ότι «ο Bohr υπήρξε πρωτίστως φιλόσοφος και όχι φυσικός, έναν φιλόσοφο που κατανόησε, όμως, ότι στη σύγχρονη εποχή η φυσική φιλοσοφία αποκτά βάρος μόνο στο βαθμό που η κάθε της λεπτομέρεια μπορεί να υποβληθεί σε εξονυχιστικό πειραματικό έλεγχο» (Heisenberg, 1967α, σ. 95). Στο ίδιο μήκος κύματος, ο Kalckar εκτιμά ότι «ο Bohr υπήρξε ένας γεννημένος φιλόσοφος της φύσης, ο οποίος συνάντησε στη φυσική ένα εξαιρετικά δυναμικό εργαλείο για να διερευνήσει τα θεμέλια της ανθρώπινης γνώσης και των ανθρώπινων περιγραφών του φυσικού κόσμου» (Kalckar, 1985, *NBCW6*, σ. xvii). Υπό μια επικριτική τώρα αντιμετώπιση, η Beller, σχολιάζοντας την επιχειρηματολογία του Bohr περί συμπληρωματικότητας, διατείνεται ότι «αυτό που εμφανίζεται ως αντικειμενική (και ως εκ τούτου ‘αναπόφευκτη’) κβαντική φιλοσοφία είναι επί της ουσίας μια ιδεολογία, εφόσον αποτελεί ένα σύστημα ισχυρισμών που αντλεί τη δικαίωση, την αλήθεια και την ισχύ του εκ των έσω» (Beller, 1999, σ. 11). Στην ίδια ακριβώς κατεύθυνση, ο Cushing αποφαίνεται ότι, «ενώ ο φορμαλισμός της κβαντικής μηχανικής αποδείχθηκε ορθός (ακριβής στις προβλέψεις του), οι ‘διορατικές’ ερμηνευτικές ιδέες του Bohr συσκότισαν πολλά θεμελιώδη ζητήματα. ... [Γιατί] οι φιλοσοφικές απαγορεύσεις του Bohr [οι απορρέοντες από τη συμπληρωματικότητα περιορισμοί] ξεπερνούσαν κατά πολύ τις αναγκαίες λογικές συνέπειες του κβαντικού φορμαλισμού» (Cushing, 1994, σ. 57 και σ. 62).⁸²

Παρότι ο διαχωρισμός της επιστημονικής από τη φιλοσοφική διάσταση ενός επιστημονικού έργου είναι εν πολλοίς τεχνητός, εάν καλούμαστε να τον επιχειρήσουμε, θα αντιστρέψαμε ανεπιφύλακτα την αναδυόμενη από τις προαναφερθείσες θεωρήσεις εικόνα. Θα υποστηρίζαμε, δηλαδή, ότι ο Bohr υπήρξε ένας επιστήμονας με βαθιά φιλοσοφική διερώτηση, ένας επιστήμονας που συνάντησε *αναπάντεχα* στο ίδιο το αντικείμενο της φυσικής επιστήμης τους δικούς του

⁸² Οφείλουμε να σημειώσουμε ότι ο Cushing είναι θιασώτης των θεωριών λανθανουσών παραμέτρων. Η επικριτική συνεπώς στάση του έναντι του Bohr θα όφειλε, ίσως, να είναι αναμενόμενη.

ευρύτερους προβληματισμούς σε σχέση με το περιεχόμενο, τα ερείσματα και τα όρια της ανθρώπινης γνώσης. Ο συγκεκριμένος ισχυρισμός υποστηρίζεται κατά τη γνώμη μας ισχυρά από την προσεκτική μελέτη της περιόδου εφαρμογής της AAB. Όπως δε η εργασία μας επιχείρησε συνολικά να καταδείξει, η κρίσιμη συμβολή του Bohr στην προσέγγιση και θεμελίωση της κβαντικής θεωρίας εδράζεται στον βαθύ μετα-επιστημονικό και μετα-γνωσιακό αναστοχασμό που συνόδευε πάντοτε το έργο του, σ' έναν αναστοχασμό που, σε αντιδιαστολή με ό,τι η Beller ισχυρίζεται, αρνιόταν να υποταχθεί σε άκαμπτες επιστημολογικές, ιδεολογικές ή μεταφυσικές προκείμενες.

Έτσι, υπό το πρίσμα της δικής μας ανάγνωσης, η διατύπωση της συμπληρωματικότητας δεν σηματοδοτεί την 'προσαρμογή' του επιστημονικού περιεχομένου της κβαντικής θεωρίας σε προσωπικές ή συλλογικές ιδεολογικές δεσμεύσεις όπως οι Cushing και Beller ισχυρίζονται, αλλά σε αντιδιαμετρική ακριβώς κατεύθυνση, καταγράφει στην ιστορία της επιστήμης την *απελευθέρωση* της επιστημονικής γνώσης από ορισμένα κυρίαρχα έως τότε επιστημονικά, ιδεολογικά και μεταφυσικά στερεότυπα (§A-6). Ακόμη δε κι' αν συμφωνούσαμε προς στιγμήν με τον Cushing στο ότι οι απορρέουσες από τη συμπληρωματικότητα 'απαγορεύσεις' φαίνονταν κατ' αρχάς να ξεπερνούν τις λογικές συνέπειες του κβαντικού φορμαλισμού, οι μεταγενέστερες θεωρητικές και πειραματικές εξελίξεις υποδεικνύουν σωρευτικά και επίμονα ότι οι 'απαγορεύσεις' αυτές διέθεταν ισχυρά φυσικά ερείσματα, τα ερείσματα ακριβώς εκείνα που κατόρθωσε ο Bohr να κατανοήσει. Καθώς δε το γεγονός αυτό αφαιρεί κατά την γνώμη μας και τα τελευταία ψήγματα πειστικότητας από τους ισχυρισμούς των Cushing και Beller περί 'ιδεολογικής επικάλυψης' του κβαντικού φορμαλισμού, θα μπορούσαμε εν τέλει να ισχυριστούμε ότι η δικαίωση της φυσικής φιλοσοφίας του Bohr δεν υποδεικνύεται 'εκ των έσω', όπως η Beller διατείνεται, αλλά από την ιστορική εξέλιξη της κβαντικής θεωρίας, τόσο πριν, όσο και μετά τη διατύπωση της συμπληρωματικότητας.

Ο ίδιος ο Bohr, φοβούμενος προφανώς τις παρανοήσεις που είναι δυνατό να προκληθούν από άκριτες φιλοσοφικές ταυτοποιήσεις ή μεταφορές, «δυσανασχετούσε στην ιδέα μιας ταμπέλας επικολλημένης πάνω του» (όπως ο Rosenfeld επεξηγεί σε γράμμα του προς τον Stapp την απροθυμία του Bohr να συγκαταλέξει τον εαυτό του μεταξύ των φιλοσόφων, Stapp, 1993, σ. 76). Στην τελευταία του δε συνέντευξη προς τον Kuhn, ο Bohr, υπερασπιζόμενος όπως πάντα το αμιγώς επιστημονικό περιεχόμενο της συμπληρωματικότητας, εξέφρασε το παράπονο ότι «κανείς από εκείνους που αποκαλούνται φιλόσοφοι δεν μπόρεσε να κατανοήσει ότι [η

συμπληρωματικότητα] αντιπροσώπευε μια αντικειμενική περιγραφή, και ότι αυτή ήταν η μόνη δυνατή αντικειμενική περιγραφή» (Bohr, 1962, *AHQP*, συνέντευξη 5, σ. 3). Ο συγκεκριμένος ισχυρισμός, παρότι υπερβολικός λόγω της γενικότητάς του, καταγράφει κατά τη γνώμη μας με πιστότητα τον αίολο πολλές φορές χαρακτήρα των πορισμάτων μιας λανθασμένης φιλοσοφικής στρατηγικής. Ακολουθώντας λοιπόν την αντίθετη από τη στρατηγική αυτή κατεύθυνση, δεν θ' αποπειραθούμε να εγκλωβίσουμε τη θεώρηση του Bohr σ' ένα συγκεκριμένο φιλοσοφικό σχήμα όπως συχνά έχει συμβεί, αλλά, εκκινώντας από το αμιγώς επιστημονικό της περιεχόμενο, θα επιχειρήσουμε να προσδιορίσουμε το φιλοσοφικό της στίγμα δια της κριτικής της σύγκρισης με ορισμένα ισχυρά ρεύματα της φιλοσοφικής διάνοησης. Κι' αυτό, γιατί πιστεύουμε ότι η φυσική φιλοσοφία του Bohr συνιστά ένα *αυτόνομο* φιλοσοφικό σχήμα που συγκροτήθηκε υπό το κράτος μιας και μόνο επιδίωξης: της προσφοράς μιας συνεκτικής και κατά το δυνατό διαυγέστερης θέασης του φυσικού κόσμου υπό την οπτική γωνία της συμπληρωματικότητας, μιας έννοιας που, κατά την αντίληψη του Bohr, *είχε επιβληθεί* στη φυσική επιστήμη *από την ίδια τη φύση* (π.χ. B1.20).

1. Η κλασική κοσμοθεώρηση αποτυπώνει ανάγλυφα

το μεταφυσικό ιδεώδες του παραδοσιακού επιστημονικού ρεαλισμού

Ως θεμέλιο λίθο και κεντρικό άξονα των θεωρήσεων που ασπάζονται τον παραδοσιακό επιστημονικό ρεαλισμό (ΠΕΡ), μπορούμε ν' αναγνωρίσουμε την παραδοχή της 'μεταφυσικής ανεξαρτησίας', μια παραδοχή που ορίζει ότι τα αντικείμενα των επιστημονικών περιγραφών και εξηγήσεων ανήκουν σ' έναν κόσμο *ανεξάρτητο* από το γνωρίζον υποκείμενο. Η παραδοχή της 'μεταφυσικής ανεξαρτησίας', παρότι φαινομενικά πρωτογενής, στηρίζεται σε δύο διακριτές μεταξύ τους προκείμενες (για μια ανάλογη διάκριση βλ. Devitt, 1997, σσ. 14-22): **α)** την αδιαμφισβήτητη, υπό το πρίσμα *κάθε* ρεαλιστικής τοποθέτησης, προκείμενη της 'ύπαρξης', μια προκείμενη που αναγνωρίζει *την οντολογική πρωτοκαθεδρία* του φυσικού κόσμου έναντι των αντιληπτικών εμπειριών και γνωσιακών εγχειρημάτων του υποκειμένου και **β)** την αδιαμφισβήτητη επίσης, αλλά μόνο στο πλαίσιο του ΠΕΡ, προκείμενη της 'ανεξαρτησίας', μια προκείμενη που διαχωρίζει επιμελώς την υπόσταση και τη δομή του φυσικού κόσμου από την υπόσταση και τα γνωσιακά εγχειρήματα του γνωρίζοντος υποκειμένου. Όπως παρατηρεί εύστοχα ο Feyerabend, «κάθε παραδοσιακός ρεαλιστής θα επιμείνει σθεναρά στον απόλυτο διαχωρισμό

υποκειμένου – αντικειμένου και θα επιχειρήσει με κάθε τρόπο να τον συντηρήσει, κάθε φορά που η έρευνα φαίνεται να τον επερωτά» (Feyerabend, 1981δ, σ. 72).

Οι εντασσόμενες στο πλαίσιο του ΠΕΡ θεωρήσεις υιοθετούν, εντός εύλογων βεβαίως ορίων, τις ακόλουθες τρεις, επικαλυπτόμενες εν πολλοίς, θέσεις. **α)** Η ‘μεταφυσική’ θέση δέχεται ότι ο φυσικός κόσμος έχει μία καθορισμένη και ανεξάρτητη από τον νου δομή (π.χ. Devitt, 1997, σ. 18, Psillos, 1999, σ. xix). **β)** Η ‘σημασιολογική’ θέση ορίζει ότι οι επιστημονικές θεωρίες είναι οντολογικώς αναφερόμενες, οι εμπειρεχόμενοι συνεπώς σε αυτές όροι αντλούν το καλώς ορισμένο τους νόημα εκ της αυθεντικής τους αναφοράς στις οντότητες του φυσικού κόσμου. Όπως υποστηρίζει λόγου χάριν ο Boyd, «οι θεωρητικοί όροι των φυσικών θεωριών, οι μη-παρατηρήσιμοι δηλαδή όροι, εκλαμβάνονται ως αναφερόμενοι» (Boyd, 1983, σ. 195). **γ)** Η ‘επιστημική’, τέλος, θέση του ΠΕΡ ορίζει ότι οι ώριμες και επιτυχείς, ως προς τις προβλέψεις τους, επιστημονικές θεωρίες είναι ‘προσεγγιστικώς αληθείς’. Όπως ισχυρίζεται και πάλι ο Boyd, «οι νόμοι και οι θεωρίες της αυθεντικής θεωρητικής μας παράδοσης είναι προσεγγιστικώς αληθείς του κόσμου» (στο ίδιο, σ. 207). Αυτό δε σημαίνει, περαιτέρω, ότι «οι οριζόμενες από τις ώριμες και επιτυχείς θεωρίες οντότητες, ή τουλάχιστον κάποιες οντότητες σχεδόν όμοιες με αυτές, κατοικούν πράγματι στον κόσμο» (Psillos, 1999, σ. xix). Η επιστημική θέση οδηγεί ευθέως στην ‘αντιστοιχιστική’ θεωρία περί αλήθειας, ενώ ο συνδυασμός της επιστημικής με τη σημασιολογική θέση επιτρέπει στους θιασώτες του ΠΕΡ να υπερασπίζονται τη σωρευτική ανάπτυξη της επιστημονικής γνώσης, μία ανάπτυξη που εδραιώνεται στην κοινή οντολογική αναφορά των όρων των διαδοχικών θεωριών (§Α-5.3). Έτσι, κατά την εξέλιξη της επιστήμης, οι ώριμες και επιτυχείς, ως προς τις προβλέψεις τους φυσικές θεωρίες, εκλαμβάνονται ως προοδευτικώς ακριβέστερες αναπαραστάσεις του φυσικού κόσμου όπως αυτός ‘πραγματικά είναι’.

Όπως έχουμε ήδη επισημάνει, η κλασική θεωρία, καθώς φέρει ως εγγενές στοιχείο της λογικής της δομής την αρχή της διαχωρισιμότητας (§B-1, σημείο 4), υποβάλλει ευθέως την έννοια του οντολογικού αναγωγισμού, μια έννοια που ικανοποιεί εξ ορισμού το αίτημα της ‘μεταφυσικής διαχωρισιμότητας’ και, κατ’ επέκταση, όλες τις θεμελιακές θέσεις του ΠΕΡ. Θα μπορούσαμε έτσι να πούμε ότι ο κλασικός κόσμος εναρμονίζεται απόλυτα με το μεταφυσικό ιδεώδες του παραδοσιακού ρεαλισμού: είναι ένας κόσμος εξατομικευμένων, παρά τις μεταξύ τους αλληλεπιδράσεις, φυσικών οντοτήτων, ένας κόσμος ‘αποσπασμένος’ από το γνωρίζον υποκείμενο, ένας κόσμος μη-επηρεαζόμενος, επομένως, από τη διερώτηση και τη

δράση του γνωρίζοντος υποκειμένου, ένας κόσμος δηλαδή προ-δομημένος και εκ λόγων αρχής καθ' ολοκληρίαν γνώσιμος που αναμένει ν' ανακαλυφθεί από την επιστημονική έρευνα και ν' αναπαρασταθεί στο ιδανικό όριο όπως 'πραγματικά είναι'.⁸³ Επί πλέον, ο κλασικός κόσμος δικαιώνει την αντιστοιχιστική θεωρία περί αλήθειας και προσδίδει στην επιστημονική γνώση το κύρος της 'ισχυρής' αντικειμενικότητας, όπως αυτή ορίζεται από τον d' Espagnat (§B-1, σημείο 4).

Ο ισχυρισμός βεβαίως του Bohr ότι 'μία εξατομικευμένη πραγματικότητα, υπό τη συνηθισμένη φυσική σημασία, δεν είναι πλέον δυνατό να προσαρτάται, ούτε στα υπό παρατήρηση φαινόμενα₁, ούτε στις συσκευές μέτρησης' (B1.6) σηματοδότησε, από το κείμενο ήδη του Como, την οριστική αποκοπή της θεώρησής του από τον παραδοσιακό ρεαλισμό. Εν τούτοις, όπως ήδη διαπιστώσαμε, ο πυρήνας της αποδοθείσας μέσω της συμπληρωματικότητας ερμηνείας – η έννοια των συμπληρωματικών φαινομένων₂ – προϋποθέτει εκ λόγων αρχής την αναγνώριση της οντολογικής πρωτοκαθεδρίας μιας πέραν της εμπειρίας και του υποκειμένου φυσικής πραγματικότητας, την οποία η επιστήμη επιχειρεί να προσεγγίσει (§B-2, σημείο 2ζ). Η θεώρηση συνεπώς του Bohr προτάσσει με σαφήνεια τη διάσταση της 'ύπαρξης', ενώ αποδέχεται ως οριστική την κατάλυση της 'ανεξαρτησίας'. Κατά την αντίληψη του Devitt, μια θεώρηση που συγκροτείται υπό τέτοιους όρους εκφράζει έναν 'ασθενή ρεαλισμό' ('weak realism') που δεσμεύεται «στην ύπαρξη ενός αδιαφοροποίητου, μη-επιδεχόμενου κατηγοριοποιήσεων εξωτερικού κόσμου, στην ύπαρξη ενός καντιανού 'πράγματος καθεαυτό'». Αλλά, συνεχίζει, «σε τι μπορεί να χρησιμεύει μια τέτοια δέσμευση; Ένας τέτοιος κόσμος είναι ένας κόσμος για τον οποίο δεν μπορούμε να μιλάμε, ένας κόσμος που δεν διαδραματίζει τον οποιοδήποτε ρόλο στην εξήγηση των φαινομένων, ένας τέτοιος κόσμος είναι επομένως μια άχρηστη προσθήκη στον ιδεαλισμό: υποδηλώνει έναν αντι-ρεαλισμό με 'φύλλο συκής' ('fig- leaf')» (στο ίδιο, σ. 17).

Ο ισχυρισμός του Devitt δείχνει ξεκάθαρα ότι η αμφισβήτηση των ιδεωδών του ΠΕΡ καθιστά τα όρια ρεαλισμού – αντιρεαλισμού ιδιαίτερος δυσδιάκριτα. Εάν δεχθεί επομένως κανείς ότι ο ρεαλισμός δεν είναι ταυτόσημος με την παραδοσιακή του έκφραση, αναδεικνύεται η ανάγκη θέσπισης νέων, σχετικώς σαφών, κριτηρίων για την αποτίμηση του ρεαλιστικού ή μη χαρακτήρα μιας φιλοσοφικής θεώρησης. Ένα τέτοιο κριτήριο θα μπορούσε κατά τη γνώμη μας να είναι ο *ρόλος* που διαδραματίζει

⁸³ Για μία ενδελεχή ανάλυση των 'άρρητων προϋποθέσεων του κλασικού επιστημονικού ρεαλισμού στο πεδίο της κλασικής φυσικής', βλ. Καρακώστας 2005, ενότητα 2.

στο πλαίσιο κάθε θεώρησης η έννοια της πέραν του υποκειμένου και της εμπειρίας φυσικής πραγματικότητας. Γιατί, αντίθετα απ' ό,τι ο Devitt διατείνεται, η έννοια αυτή είναι δυνατό να μην αποτελεί 'άχρηστη προσθήκη' σε μια ιδεαλιστική θεώρηση, αλλά ζωτικό και αναφαίρετο στοιχείο μιας αποκλίνουσας από τον ΠΕΡ προσέγγισης, μιας προσέγγισης που, εάν πληροί τη συγκεκριμένη συνθήκη, οφείλει να κριθεί ως αμιγώς ρεαλιστική. Όπως θα δείξουμε στη συνέχεια, η συνθήκη αυτή πληρείται πράγματι με επάρκεια, τόσο στη θεώρηση του Bohr, όσο και σε ορισμένες από τις πλέον δόκιμες σύγχρονες προσεγγίσεις στην κβαντική θεωρία. Πριν φθάσουμε όμως εκεί, οφείλουμε να διερευνήσουμε τη θέση της πέραν του υποκειμένου και της εμπειρίας φυσικής πραγματικότητας στο πλαίσιο ορισμένων ισχυρών φιλοσοφικών τάσεων, οι οποίες, βάσει του κριτηρίου μας, οφείλουν να θεωρηθούν αντι-ρεαλιστικές.

2. Η θέση της πέραν της εμπειρίας και του υποκειμένου πραγματικότητας στις αντι-ρεαλιστικές θεωρήσεις

Όπως ακριβώς συμβαίνει και στην περίπτωση του ΠΕΡ, η θέση που καταλαμβάνει η έννοια της πέραν του υποκειμένου και της εμπειρίας φυσικής πραγματικότητας στο πλαίσιο των αντι-ρεαλιστικών θεωρήσεων προσδιορίζει σε μεγάλο βαθμό και το περιεχόμενο που προσάπτεται, από τις θεωρήσεις αυτές, στις έννοιες της 'γνώσης', της 'αλήθειας' και της 'αντικειμενικότητας'. Θα εστιάσουμε λοιπόν κυρίως την προσοχή μας στη διερεύνηση της συγκεκριμένης διασύνδεσης.

1. *Ιδεαλιστικός Εμπειρισμός*. Υπό το πρίσμα των ιδεαλιστικών θεωρήσεων, ό,τι γίνεται αντιληπτό ως 'πραγματικό' δεν αντιπροσωπεύει τίποτε περισσότερο από νοητικές εικόνες για τον κόσμο, εικόνες που δημιουργούνται από τη σύμπραξη των αντιληπτικών και νοητικών μηχανισμών του γνωρίζοντος υποκειμένου. Στις ακραίες τους εκφάνσεις, οι ιδεαλιστικές θεωρήσεις φθάνουν να ταυτίσουν την 'ύπαρξη' με το υποκείμενο ή το αντικείμενο της 'αντίληψης'. Όταν, λόγου χάριν, ο Staver, ένας εκ των ένθερμων υποστηρικτών του 'ριζικού κονστρουκτιβισμού' ('radical constructivism') δηλώνει ότι «για τους κονστρουκτιβιστές, οι παρατηρήσεις, τα αντικείμενα, τα συμβάντα, οι ενδείξεις, οι νόμοι και οι θεωρίες δεν υπάρχουν ανεξάρτητα από τους παρατηρητές» (Staver, 1998, σ. 503), μοιάζει ν' αναδιατυπώνει τρεις αιώνες αργότερα και με σύγχρονους όρους την περίφημη φράση του Berkeley 'υπάρχω σημαίνει γίνομαι αντιληπτός ή αντιλαμβάνομαι'. Ο ριζικός κονστρουκτιβισμός αντιπροσωπεύει μια εκ των αυθεντικότερων ιδεαλιστικών τάσεων

της σύγχρονης φιλοσοφικής σκέψης. Παρακάμπτοντας λοιπόν τις σημαντικές πολλές φορές διαφοροποιήσεις των εκπροσώπων του, μπορούμε να κάνουμε τις ακόλουθες, σχετικές με το θέμα μας, παρατηρήσεις.

Ο ριζικός κονστρουκτιβισμός, όπως διευκρινίζουν οι υποστηρικτές του, «υιοθετεί την ιδέα ότι το υποκείμενο κατασκευάζει τον δικό του κόσμο, έναν κόσμο που δεν προσδιορίζεται από κάποια εξωτερική πραγματικότητα» (Riegler, 2001, σ. 1). Το υποκείμενο ‘κατασκευάζει’ τον δικό του κόσμο αντλώντας πρώτες ύλες αποκλειστικά από τις αισθήσεις – των οποίων τα όρια ουδέποτε μπορεί να υπερβεί – τα προκύπτοντα δε, από τη διαδικασία αυτή, νοητικά μορφώματα αντιπροσωπεύουν ό,τι, υπό το πρίσμα του ριζικού κονστρουκτιβισμού, μπορεί ν’ αποκληθεί ‘γνώση’: η γνώση εκφράζει τον βαθμό οργάνωσης του αντλούμενου από την αισθητηριακή εμπειρία υλικού σε μια λιγότερο ή περισσότερο συνεκτική εικόνα για τον κόσμο. Γι’ αυτό, και το περιεχόμενο της γνώσης δεν αξιολογείται σε σχέση με έναν υποτιθέμενο ‘εξωτερικό’ κόσμο, αλλά σε σχέση με την εσωτερική του συνεκτικότητα και την αποτελεσματικότητα της χρήσης του. Υπ’ αυτούς τους όρους, όπως ο Glaserfeld, ένας από τους ηγέτες του κονστρουκτιβιστικού ρεύματος ισχυρίζεται, η ‘αλήθεια’ προσλαμβάνει το νόημα της ‘βιωσιμότητας’ (‘viability’): το περιεχόμενο της γνώσης αποτιμάται ως ‘αληθές’, ‘εάν προσαρμόζεται λειτουργικά’ (‘if it functionally fits’) στον εμπειρικό κόσμο του υποκειμένου. Η λειτουργική δε αυτή προσαρμογή της ‘γνώσης’ στην εμπειρία είναι εκείνη ακριβώς που διασφαλίζει την αναγκαία ‘βιωσιμότητα’ (Glaserfeld, 2001, σσ. 39-40). Καθώς τώρα η επιστήμη, ως ανθρώπινο εγχείρημα, υπόκειται εκ φύσεως στους περιορισμούς των ανθρώπινων δυνατοτήτων, η κονστρουκτιβιστική θεώρηση καταλήγει εύλογα στο συμπέρασμα ότι «η επιστήμη [όπως ακριβώς και τα μεμονωμένα φυσικά πρόσωπα] αδυνατεί να υπερβεί το πεδίο της ανθρώπινης εμπειρίας ... Οι επιστημονικές θεωρίες πηγάζουν από την ανθρώπινη εμπειρία και διατυπώνονται με ανθρώπινες έννοιες» (στο ίδιο, σ. 31 και 41).

Όσον αφορά την έννοια του ‘αντικειμένου’, ο ριζικός κονστρουκτιβισμός της προσαρτά ένα αυστηρώς προσωπικό περιεχόμενο. Συγκεκριμένα, «κάθε τι που εμπριέχεται στον εμπειρικό κόσμο του υποκειμένου μπορεί ν’ αποκληθεί ‘αντικείμενο’» (στο ίδιο, σ. 36). Υπ’ αυτήν δε την προοπτική, «η υπόθεση ότι διαφορετικά υποκείμενα σχηματοποιούν, μέσω της προσωπικής τους εμπειρίας, πανομοιότυπα αντικείμενα ... συνιστά, απλώς, ψευδαίσθηση» (στο ίδιο, σ. 37). Μια τέτοια αντίληψη αποστερεί βεβαίως τη γλώσσα – τόσο την καθημερινή όσο και επιστημονική – από οποιοδήποτε αυστηρό κριτήριο αντικειμενικότητας: οι γλωσσικές

εκφράσεις, εξαρτώμενες από την ιδιαίτερη βιωματική εμπειρία του *κάθε* υποκειμένου, όχι μόνο αδυνατούν να συλλάβουν τα χαρακτηριστικά του κόσμου όπως αυτός 'πραγματικά είναι' (οπότε αδυνατούν να ικανοποιήσουν την κατά d' Espagnat 'ισχυρή' μορφή αντικειμενικότητας), αλλά αδυνατούν επίσης να επιτύχουν αναντίρρητη διυποκειμενική συμφωνία σε σχέση με το περιεχόμενο της επικοινωνίας (οπότε αδυνατούν να ικανοποιήσουν και την κατά d' Espagnat 'ασθενή' μορφή αντικειμενικότητας, §B-1, σημείο 4). Κατά φυσικό λοιπόν τρόπο, ο Glaserfeld αποφαίνεται ότι ο όρος 'αντικειμενικότητα' «δεν υποδεικνύει τίποτε περισσότερο από *τη σχετική συμβατότητα* των εννοιών σε καταστάσεις όπου τα υποκείμενα έχουν την ευκαιρία να συγκρίνουν την *προσωπική χρήση των λέξεων*» (στο ίδιο, σ. 37).

Από όλα τα προηγούμενα γίνεται φανερό ότι ο ριζικός κονστρουκτιβισμός αποξενώνει ολοσχερώς τη γνώση από την 'πέραν του υποκειμένου και της εμπειρίας' πραγματικότητα (την 'εξωτερική' πραγματικότητα). Όπως τίθεται από τον Riegler, «στο κονστρουκτιβιστικό πλαίσιο, η εξωτερική πραγματικότητα, ούτε απορρίπτεται, ούτε επιβεβαιώνεται. Κι' αυτό, γιατί δεν κατέχει την οποιαδήποτε θέση» ('is irrelevant', Riegler 2001, σ. 5). Ο μετριοπαθής ισχυρισμός του Riegler – μετριοπαθής υπό την έννοια ότι η ύπαρξη της πέραν του υποκειμένου πραγματικότητας δεν αμφισβητείται ρητά, όπως στις θεωρήσεις των Berkeley και Staver – καταδεικνύει με σαφήνεια ότι, στο πλαίσιο του ριζικού κονστρουκτιβισμού, η έννοια της 'εξωτερικής' πραγματικότητας δεν διαδραματίζει τον οποιοδήποτε ρόλο. Καθίσταται επομένως περιττή. Έτσι, σύμφωνα με το κριτήριο που θεσπίσαμε, ο ριζικός κονστρουκτιβισμός οφείλει να συγκαταλεχθεί μεταξύ των αντι-ρεαλιστικών θεωρήσεων.

2. *Κλασικός Εμπειρισμός, Φαινομενισμός, Λογικός Θετικισμός (Λογικός Εμπειρισμός) και οι Εργαλειοκρατικές του εκφάνσεις.* Διαχωρίσαμε τον ιδεαλιστικό εμπειρισμό από τις υπόλοιπες εμπειριστικές θεωρήσεις, επειδή οι δεύτερες, σε αντίθεση με τον πρώτο, επιχειρούν ν' αποκαθάρουν την εμπειρική γνώση από τα όποια υποκειμενικά στοιχεία και να διασφαλίσουν, κατ' αυτόν τον τρόπο, αδιαμφισβήτητους όρους αντικειμενικότητας (υπό την έννοια της διυποκειμενικής συμφωνίας). Υπ' αυτήν την προοπτική, οι μη-ιδεαλιστικές εμπειριστικές θεωρήσεις εστιάζουν την προσοχή τους στην ομοιόμορφα αναγνωρίσιμη – εξ ου και αντικειμενική – ανθρώπινη εμπειρία: η κοινή, αισθητηριακής βάσης εμπειρία, τιθέμενη υπό την επίβλεψη των αυστηρών κανόνων του πειραματισμού (από την εποχή ήδη του Bacon) και της λογικής (στο πλαίσιο του λογικού θετικισμού),

εκλαμβάνεται ως θεμέλιος λίθος του σαφώς καθορισμένου ‘νοήματος’ των γλωσσικών όρων, της αντικειμενικής ‘γνώσης’ και κάθε αδιαμφισβήτητης ‘αλήθειας’. Με άλλα λόγια, στο πλαίσιο των συγκεκριμένων θεωρήσεων, τα εμπειρικά δεδομένα αναλαμβάνουν έναν θεμελιακό επιστημολογικό ρόλο: προσφέρουν το ‘δοσμένο’ (the ‘given’), αυτό δηλαδή για το οποίο μπορεί να είναι κανείς βέβαιος, εφόσον παραμένει ανεπηρέαστο από τις προσωπικές εντυπώσεις του υποκειμένου ή την υιοθετούμενη από αυτό προοπτική (ή επιστημονική θεωρία). Ο Mach εξέφρασε με σαφήνεια τον πυρήνα της συγκεκριμένης αντίληψης όταν, παρά τον ακραιφνή αισθησιοκρατικό χαρακτήρα της θεωρίας του, απέρριψε τον άκρατο υποκειμενισμό με τον ακόλουθο τρόπο. «Σήμερα, [ισχυρίστηκε], δεν μπορούμε να δεχόμαστε πλέον τον αφελή υποκειμενισμό, ο οποίος, για να τις αντιτάξει σε μια πάγια πραγματικότητα, θα θεωρούσε φαινομενικότητες τις διαφορετικές αντιλήψεις ενός προσώπου σε διαφορετικές περιστάσεις και διαφορετικών προσώπων σε διαφορετικές περιπτώσεις. Καταγινώμαστε με την πλήρη γνώση των συνθηκών μιας αντίληψης, τα υπόλοιπα δεν έχουν κανένα πρακτικό ή θεωρητικό ενδιαφέρον. ... Ας αρκεστούμε, λοιπόν, στη μελέτη της συναρτησιακής εξάρτησης, με τη μαθηματική έννοια, των στοιχείων που απαρτίζουν τις αισθήσεις μας» (Mach, 1919, από Besnier, 1996, σ. 540).

Εμπνεόμενοι από τη φιλοσοφία του κλασικού εμπειρισμού (ιδιαίτερα του Hume) και από τις ιδέες του Mach, οι φιλόσοφοι του Κύκλου της Βιέννης έθεσαν ως αδιαμφισβήτητη αρχή της ‘Επιστημονικής Κοσμοαντίληψης’ τον ισχυρισμό ότι «στην επιστήμη δεν υπάρχει βάθος, όλα είναι επιφάνεια» (από το ιδρυτικό Μανιφέστο του Κύκλου της Βιέννης, 1929, από Besnier, 1996, σ. 544) και ως πρωταρχικό τους σκοπό «την υποκίνηση της αντιμεταφυσικής έρευνας αναφορικά με τα γεγονότα» (στο ίδιο, σ. 543). Ο εξοστρακισμός δε κάθε μεταφυσικής έννοιας από το επιστημονικό πεδίο ανατέθηκε με εμπιστοσύνη στις αδιαμφισβήτητες κρίσεις της εμπειρικής ‘επαλήθευσης’ (ή, αργότερα, ‘επιβεβαίωσης’) και της αυστηρής λογικής: οι επιστημονικοί ισχυρισμοί, μέσω της λογικής τους ανάλυσης, όφειλαν ν’ ανάγονται σε εμπειρικά ελέγξιμες προτάσεις – από τις οποίες προσλάμβαναν και το σαφές τους νόημα – ειδάλλως εκλαμβάνονταν, κατά το πνεύμα του Wittgenstein, ως α-νόητοι. Κατ’ αυτόν τον τρόπο, το εμπειριστικό ρεύμα μετακινήθηκε από τον ‘απαλειπτικό εμπειρισμό’ (‘eliminative empiricism’) του Mach – όλοι οι μη-παρατηρήσιμοι όροι όφειλαν ν’ απαλειφθούν από το επιστημονικό λεξιλόγιο – στον ‘αναγωγιστικό εμπειρισμό’ (‘reductive empiricism’) του λογικού θετικισμού – όλοι οι θεωρητικοί όροι όφειλαν ν’ ανάγονται πλήρως στη ‘γλώσσα της παρατήρησης’ (§A-5.1.1).

Οι εκπρόσωποι της ‘Επιστημονικής Κοσμοαντίληψης’ ήθελαν «να πατούν στο στέρεο έδαφος της απλής ανθρώπινης εμπειρίας» (στο ίδιο, σ. 549). Έτσι, σεβόμενοι τις αρχές του παραδοσιακού εμπειρισμού, αρνήθηκαν κατηγορηματικά τη δυνατότητα κάθε a priori γνώσης. Κατ’ αρχήν, ακολουθώντας τους Russell και Wittgenstein, δέχτηκαν ότι οι προτάσεις της λογικής και των μαθηματικών ήταν ανεξάρτητες της εμπειρίας, όχι επειδή συνιστούσαν αλήθειες υψηλότερης τάξης από τις εμπειρικές αλήθειες – όπως υποστήριζαν οι παραδοσιακοί ορθολογιστές – αλλά επειδή, ως ‘ταυτολογίες’, ήταν κενές περιεχομένου. Επί πλέον, απορρίπτοντας αξιωματικά το συνθετικό καντιανό a priori, αρνήθηκαν την ύπαρξη a priori μορφών εποπτείας και κατηγοριών νόησης. Έτσι οι έννοιες, λόγου χάριν, της αιτιότητας και του χωρόχρονου, ως μη-επαληθεύσιμες, τοποθετήθηκαν στο πεδίο της μεταφυσικής. Εν τέλει, υπό το κράτος του φαινομενισμού και αντι-απριορισμού που καθόριζε τη στάση τους, οι θετικιστές φιλόσοφοι φρόντιζαν να παρακάμπτουν κάθε ερώτημα που αφορούσε την πέραν της εμπειρίας πραγματικότητα. Γιατί, όπως υποστήριζαν, «πραγματικό είναι ό,τι μπορεί να ενσωματωθεί στο οικοδόμημα της εμπειρίας» (στο ίδιο, σ. 548). Εξ ου, και το οικοδόμημα της εμπειρίας ήταν ο μόνος χώρος όπου οι έννοιες της ‘αντικειμενικότητας’ και της ‘αλήθειας’ αποκτούσαν περιεχόμενο. ‘Αντικειμενικό’ και ‘αληθές’ ήταν ό,τι μπορούσε να διατυπωθεί ή ν’ αναχθεί στη ‘γλώσσα’ της ανθρώπινης εμπειρίας. Όσον αφορά το ζήτημα της ανθρώπινης ‘γνώσης’, αυτό εναποτέθηκε εξ ολοκλήρου στα χέρια της ψυχολογίας: οι λειτουργίες της ανθρώπινης νόησης και αντίληψης θεωρήθηκαν άσχετες με το αντικείμενο της φιλοσοφίας. Το γεγονός βεβαίως ότι μια τέτοια αντίληψη περιόριζε εκ των πραγμάτων το γνωσιακό περιεχόμενο των επιστημονικών θεωριών στο πεδίο της άμεσης εμπειρίας αποτέλεσε μια από τις κύριες αιτίες της παρακμής του θετικισμού.

Η εργαλειοκρατία, όπως συνήθως γίνεται αντιληπτή, πρεσβεύει ότι οι επιστημονικές θεωρίες δεν αντιπροσωπεύουν τίποτε περισσότερο από υπολογιστικά εργαλεία που επιτρέπουν τη μετάβαση από ένα σύνολο εμπειρικών δεδομένων σ’ ένα προβλεπόμενο νέο σύνολο εμπειρικών δεδομένων με τον κατά το δυνατόν οικονομικότερο τρόπο. Υπό το συγκεκριμένο καθεστώς, οι επιστημονικές θεωρίες εκλαμβάνονται ως ‘συμβολικές’ γλωσσικές δομές που στερούνται του όποιου εξηγητικού περιεχομένου, οι εμπειροχόμενοι δε, σ’ αυτές, θεωρητικοί όροι ως ‘σύμβολα’ που στερούνται της όποιας, ακόμη και δυνητικής, αναφοράς. Μία τέτοια θεώρηση, καθώς προϋποθέτει τη σαφή διάκριση μεταξύ παρατηρησιακών και θεωρητικών όρων και τη ρητή αποδοχή της επιστημολογικής υπεροχής των πρώτων

έναντι των δευτέρων, υπήρξε ιδιαίτερα δημοφιλής στο θετικιστικό πλαίσιο μετά τη δύση του αμιγούς θετικισμού. Και πράγματι, η εργαλειοκρατία, υπ' αυτήν της την εκδοχή,⁸⁴ διαφοροποιείται από τον αυθεντικό θετικισμό μόνο όσον αφορά την αποδοχή ύπαρξης στο λεξιλόγιο των επιστημονικών θεωριών 'μη-αναγωγικών' (στην παρατήρηση) θεωρητικών όρων. Τόσο λοιπόν στο πλαίσιο του ευρύτερου θετικισμού, όσο και στο πλαίσιο του κλασικού εν γένει εμπειρισμού, η έννοια της 'εξωτερικής' πραγματικότητας, δεν διαδραματίζει τον οποιοδήποτε ρόλο. Έτσι, βάσει του κριτηρίου μας, οι αντίστοιχες θεωρήσεις – εκτός πιθανών ειδικών παρεκκλίσεων – οφείλουν να κριθούν ως αντι-ρεαλιστικές.

3. *Η εξέλιξη του Εμπειρισμού: οι Συμβασιοκρατικές και Πραγματιστικές του εκφάνσεις.* Η κλασική εργασία περί επιστημονικής εξήγησης των Hempel και Oppenheim ήταν η πρώτη που εισήγαγε με σαφήνεια στο πλαίσιο της αναλυτικής φιλοσοφίας, την ιδέα ότι η επιστημονική διερώτηση θέτει 'γιατί' ερωτήματα στη φύση. Πράγματι, η πρώτη φράση της συγκεκριμένης εργασίας δηλώνει τα ακόλουθα: «Η εξήγηση των φαινομένων της εμπειρίας μας, η απάντηση δηλαδή στο ερώτημα 'γιατί' και όχι μόνο στο ερώτημα 'πώς', συνιστά πρώτιστη επιδίωξη της επιστήμης. Ειδικότερα, η επιστημονική έρευνα ... προσπαθεί να υπερβεί την απλή περιγραφή του αντικειμένου της δια της απόδοσης εξηγήσεων για τα φαινόμενα που διερευνά» (Hempel & Oppenheim, 1948, σ. 245). Η δήλωση ότι η επιστήμη αποσκοπεί, όχι μόνο στην περιγραφή και πρόβλεψη των φυσικών φαινομένων, αλλά και στην εξήγηση της

⁸⁴ Ο όρος 'εργαλειοκρατία', πέραν της στενής του σύνδεσης με τον θετικισμό, παραπέμπει συχνά στην πραγματιστική θεώρηση του Dewey. Στο πλαίσιο όμως της συγκεκριμένης θεώρησης ο όρος 'εργαλειοκρατία' αποκτά εντελώς διαφορετικό περιεχόμενο: εκφράζει μια συναρτησιακή θεώρηση των εννοιών (συμπεριλαμβανομένων και των επιστημονικών), υπό το πρίσμα της οποίας το επιστημικό καθεστώς των εννοιών και η ορθολογικότητα της δράσης κρίνονται συναρτησει του ρόλου που εκάστοτε διαδραματίζουν στον έλεγχο, στην πρόβλεψη και στη γενίκευση της γνώσης που απορρέει από την αλληλεπίδραση του υποκειμένου με το πεδίο της εμπειρίας. Η θεώρηση του Dewey δεν αποδέχεται τη θετικιστική διάκριση παρατήρησης – θεωρίας, παρότι δε οι έννοιες της 'αναφοράς' και της 'αλήθειας' παρακάμπτονται, η γνωσιακή πρόοδος αξιολογείται βάσει ανάλογων, μη-οντολογικών όμως φορτισμένων, κριτηρίων. Γιατί ο Dewey δεν αντιμετώπιζε τη φύση ως ένα 'στατικό' αποκομμένο, από την ανθρώπινη δράση και εμπειρία, σύστημα – κάτι που θα επέτρεπε τις σαφείς οντολογικές αναφορές και την επίκληση της αντιστοιχιστικής θεωρίας της 'αλήθειας' – αλλά ως ένα αέναα εξελισσόμενο σύστημα, εξελισσόμενο μέσω των 'φυσικών συναλλαγών' ('natural transactions') τριών μη αμοιβαίως αναγόμενων επιπέδων: **α)** του 'φυσικοχημικού' ('physicochemical'), **β)** του 'ψυχοφυσικού' ('psychophysical') και **γ)** του επιπέδου της ανθρώπινης εμπειρίας (the level of 'human experience', Dewey, 1908/1995, σσ. 79-101). Η ίδια η εμπειρία αντιπροσωπεύει, επομένως, ένα από τα επίπεδα φυσικών συναλλαγών της φύσης, ένα επίπεδο που δεν διαθέτει κάποια ιδιαίτερα προνόμια σε σχέση με τα υπόλοιπα δύο. Γι' αυτό και ο Dewey αποκάλυψε τη θεώρησή του νατουραλιστικό 'μη-αναγωγιστικό εμπειρισμό' ('non-reductive empiricism'), διακρίνοντάς την με σαφήνεια, τόσο από τον κλασικό εμπειρισμό, όσο και από οποιασδήποτε μορφής υλισμό. Όπως είναι φανερό, τόσο η ανθρώπινη υπόσταση στο σύνολό της (φυσική, νοητική, κοινωνική), όσο και η εκτός υποκειμένου και εμπειρίας φυσική πραγματικότητα, συνιστούν αναπόσπαστα μέρη της συγκεκριμένης αντίληψης. Βάσει λοιπόν του κριτηρίου μας, η θεώρηση του Dewey οφείλει να κριθεί ως *ρεαλιστική*.

εμφάνισής τους – μια δήλωση που αναγγέλλει την οριστική παρακμή, τόσο του λογικού θετικισμού, όσο και του παραδοσιακού εμπειρισμού – εισάγει κατά έμμεσο και υπαινικτικό τρόπο την έννοια της πέραν της εμπειρίας φυσικής πραγματικότητας στο πλαίσιο της εμπειριστικής παράδοσης. Η εξέλιξη αυτή υποκινήθηκε, μεταξύ άλλων, από την αναγνώριση της θεωρητικώς εξαρτώμενης εμπειρίας, μια αναγνώριση που έθετε υπό αμφισβήτηση την αντικειμενικότητα των εμπειρικών δεδομένων και των δομούμενων, βάσει αυτών, ‘παρατηρησιακών’ γλωσσών (§Α-5.2.1). Έτσι, με βάση το κλασικό νομο-παραγωγικό μοντέλο του Hempel και με άξονα την έννοια της ‘επιστημονικής εξήγησης’ αναπτύχθηκε μια σειρά φιλοσοφικών θεωρήσεων που προτείνουν μια ‘επιστημική’, σύμφωνα με την ορολογία του Salmon (1984), προσέγγιση, τόσο στην έννοια της εξήγησης όσο και στο συνολικό οικοδόμημα της επιστημονικής γνώσης. Ένας από τους θεμέλιους λίθους των θεωρήσεων αυτών είναι η ιδέα της ‘ενοποίησης’: οι θεωρίες αξιολογούνται βάσει της ικανότητάς τους να συνταιριάζουν τα επί μέρους φαινόμενα σε λογικές δομές που καλύπτουν κατά το δυνατόν ευρύτερα τμήματα του σύμπαντος.

Στο πλαίσιο των συγκεκριμένων θεωρήσεων, η πρόοδος της ‘γνώσης’ ταυτίζεται εν γένει με την διεύρυνση της ‘κατανόησης’, μια διεύρυνση που μπορεί ν’ αξιολογηθεί δια της αποτίμησης της εξηγητικής ισχύος των επιστημονικών θεωριών, δια της αποτίμησης, δηλαδή, της ενοποιητικής τους ικανότητας. Στο ερώτημα όμως τι ακριβώς σημαίνει ‘ενοποίηση’, οι απαντήσεις αποκλίνουν. Κατά την αντίληψη λόγου χάριν, του Friedman, «η επιστήμη αυξάνει την κατανόησή μας για τον κόσμο δια της μείωσης του συνολικού αριθμού των φαινομένων που αποδεχόμαστε ως απώτατα ή δεδομένα» (Friedman, 1974, σ. 15), ενώ, κατά την εκτίμηση του Kitcher, «η επιστήμη αυξάνει την κατανόησή μας για τη φύση, δείχνοντάς μας τον τρόπο μέσω του οποίου μπορούμε να επιτύχουμε περιγραφές μιας πληθώρας φαινομένων χρησιμοποιώντας ξανά και ξανά το ίδιο πρότυπο συναγωγών» (Kitcher, 1989, σ. 423). Ενώ, δηλαδή ο Friedman προτείνει τη μέγιστη δυνατή αναγωγή των ad hoc αποδεκτών νόμων, ο Kitcher εστιάζει την προσοχή του στη μέγιστη δυνατή αναγωγή των χρησιμοποιούμενων επεξηγηματικών ‘προτύπων’.

Παρά τις ουσιαστικές ως προς ορισμένες πτυχές διαφοροποιήσεις τους, οι επιστημικές προσεγγίσεις προβάλλουν εν γένει, έκδηλα, τα χαρακτηριστικά της εμπειριστικής παράδοσης. Κατ’ αρχήν, προσδιορίζοντας την ενοποίηση ως *παραγωγική συστηματοποίηση*, χαρακτηρίζουν, όπως εξάλλου και ο Hempel, την επιστημονική εξήγηση με συντακτικούς όρους. Ακόμη περισσότερο, αποφεύγοντας

να παραβιάσουν τη Χιουμική παράδοση, επιχειρούν ν' αναλύσουν τις έννοιες της εξήγησης και της κατανόησης μέσω μη-αιτιακών όρων. Κατά την αντίληψη λόγου χάριν του Kitcher, «το 'διότι' της αιτιότητας προκύπτει πάντοτε από το 'διότι' της εξήγησης» (στο ίδιο, σ. 477), ενώ σύμφωνα με τον ορισμό του van Fraassen «το αιτιακό δίκτυο = η περιγραφόμενη από την επιστήμη δομή συσχετίσεων» (van Fraassen, 1980, σ. 124).⁸⁵ Αυτό σημαίνει ότι οι αιτιακές μας κρίσεις αντανakλούν, απλώς, τις εξηγητικές συσχετίσεις που παράγονται, όταν επιχειρούμε να συγκροτήσουμε φυσικές θεωρίες. Πέραν και υπεράνω αυτού, δεν υφίσταται η οποιαδήποτε αιτιακή δομή, την οποία οι θεωρίες μας οφείλουν να συλλάβουν. Η αιτιακή δομή του κόσμου αναδύεται από τις εξηγητικές εξαρτήσεις που δημιουργούνται εντός του λογικώς ενοποιημένου συστήματος της γνώσης μας.

Οι επιστημικές θεωρήσεις, για να δικαιολογήσουν τη γνωσιακή συνεισφορά των (μη-αναγωγικών στην εμπειρία) θεωρητικών όρων και το 'υπερβάλλον', σε σχέση με την εμπειρία, περιεχόμενο των επιστημονικών θεωριών, υιοθετούν μια ολιστική εν γένει σημασιολογία: ένα θεωρητικό σύστημα *ως όλον* επιβάλλει μέσω των γενικών του αρχών και ενδοσυστημικών διασυνδέσεων το νόημα, τόσο των θεωρητικών, όσο και των εμπειρικών του προτάσεων και όρων, ένα νόημα που υπερβαίνει το εμπειρικώς 'δοσμένο'. Έτσι, το περιεχόμενο της επιστημονικής 'γνώσης' απελευθερώνεται μεν από τις εμπειρικές νοηματικές του αγκιστρώσεις (§Α-5.2.1), εξακολουθεί όμως ν' απογυμνώνεται προσεκτικά από οντολογικές ή μεταφυσικές δεσμεύσεις. Η περίπτωση της αιτιότητας είναι ενδεικτική. Ο πυρήνας της συγκεκριμένης θεώρησης παρουσιάστηκε από τον Hempel με τον ακόλουθο τρόπο.

(B3.1) «Μία τέτοια (ολιστική) ερμηνεία του 'υπερβάλλοντος νοήματος' μιας υπόθεσης φαίνεται να είναι σύμφωνη με την επιστημονική χρήση. Γιατί εστιάζει την προσοχή της στη συστηματική διασύνδεση των υποθέσεων με τους

⁸⁵ Ο 'Κonstruktivistischer Empirismus' ('Constructive Empiricism') του van Fraassen (1980) δεν συγκαταλέγεται συνήθως μεταξύ των ενοποιητικών θεωρήσεων. Κι' αυτό, γιατί ο van Fraassen ανέπτυξε μια πραγματιστική θεωρία της εξήγησης, η οποία επικεντρώνει την προσοχή της στην πραγματολογική επάρκεια των αποδιδόμενων εξηγήσεων, στην ικανότητά τους, δηλαδή, ν' απαντούν κατά επιστημονικώς έγκυρο τρόπο σε 'γιατί' ερωτήματα, όπως αυτά τίθενται εντός ενός συγκεκριμένου πλαισίου διερώτησης. Παρ' όλα αυτά, η θεώρηση του van Fraassen διακρίνεται για τον σαφή εμπειριστικό της προσανατολισμό και τον αμιγή επιστημικό της χαρακτήρα. Αναφέρουμε ενδεικτικά ότι ο van Fraassen: **α)** Θέτει ως σκοπό της επιστήμης την 'παραγωγή θεωριών που είναι εμπειρικώς επαρκείς' και όχι 'κυριολεκτικά αληθείς'. Μία επιστημονική δε θεωρία είναι εμπειρικώς επαρκής εάν 'όλα τα φαινόμενα ενσωματώνονται στα μοντέλα της' (1976, σ. 193). **β)** Ορίζει την εμπειρική επάρκεια ως κριτήριο 'αποδοχής' και 'αλήθειας' μιας επιστημονικής θεωρίας (στο ίδιο, σ. 176). Και **γ)** αντιμετωπίζει την εξήγηση υπό όρους λογικής συνεκτικότητας, υποκαθιστώντας την κατά Hempel λογική συσχέτιση προκειμένων – συμπεράσματος με την λογική συσχέτιση ερωτήματος – απάντησης (1980). Οφείλουμε τέλος να σημειώσουμε ότι ο van Fraassen δεν υποβαθμίζει καθόλου το αίτημα της ενοποίησης. Όπως χαρακτηριστικά ισχυρίζεται, «τα φαινόμενα σώζονται όταν εκτίθενται ως κομμάτια μιας ευρύτερης ενότητας» (1976, σ. 191).

θεωρητικούς ισχυρισμούς, αφενός, και τις παρατηρησιακές προτάσεις αφετέρου. Και είναι, ακριβώς, η λογική συνεκτικότητα ενός θεωρητικού συστήματος, σε συνδυασμό με την εμπειρική του επιβεβαίωση, εκείνη που υποκινεί τους επιστήμονες να βεβαιώνουν την ‘πραγματική ύπαρξη’ (‘actual existence’) ή την ‘πραγματικότητα’ (‘reality’) των οριζόμενων, εντός του συστήματος αυτού, υποθετικών οντοτήτων» (Hempel, 1950β, σ. 152).

Κατά την αντίληψη λοιπόν του Hempel, οι περί ‘ύπαρξης’ ισχυρισμοί αντλούν την εγκυρότητά τους από το θεωρητικό σχήμα στο οποίο εντάσσονται. Εκλαμβάνονται, επομένως, ως θεωρητικώς εξαρτώμενοι και, κατ’ επέκταση, ως επιστημικώς αξιολογήσιμοι: η εγκυρότητα των περί ‘ύπαρξης’ ισχυρισμών συναρτάται με την επιστημική επάρκεια των αντίστοιχων επιστημονικών θεωριών, μια επάρκεια που πιστοποιείται εκ της εμπειρικής τους επιβεβαίωσης και λογικής συνεκτικότητας. Εφόσον δε η λογική συνεκτικότητα των θεωρητικών σχημάτων, υπό τη συνθήκη της μέγιστης δυνατής συντακτικής ενοποίησης, εκλαμβάνεται εν γένει ως αδιάψευστος δείκτης αύξουσας επεξηγηματικής εμβέλειας, ουσιαστικότερης κατανόησης και γνωσιακής προόδου, οι έννοιες της ‘εμπειρίας’ και της ‘γνώσης’ καθίστανται εκ των πραγμάτων λογικώς πρότερες της έννοιας της ‘ύπαρξης’. Υπ’ αυτό ακριβώς το πρίσμα, ο Carnap θεώρησε ότι το ερώτημα περί της ύπαρξης των θεωρητικών οντοτήτων – όπως λόγου χάριν του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου ή των χωρο-χρονικών σημείων – εάν τεθεί ως γενικό ερώτημα, συνιστά ένα ‘εξωτερικό’ ως προς την επιστήμη ερώτημα – ένα ‘ψευδές’ επομένως ερώτημα - και, ως τέτοιο, εμπίπτει στο πεδίο της μεταφυσικής. Το ερώτημα αυτό μπορεί να μεταφερθεί στο ‘εσωτερικό’ της επιστήμης, μόνο όταν τεθεί εντός ενός συγκεκριμένου θεωρητικού πλαισίου. Γιατί «τότε, μπορεί να έχει είτε εμπειρικό, είτε λογικό χαρακτήρα. Οπότε, μια ορθή απάντηση είναι είτε εμπειρικώς αληθής είτε αναλυτική» (Carnap, 1956α, σ. 91). Στηρίζεται, επομένως, σε επιστημονικώς έγκυρες διαδικασίες ή ενδείξεις.

Η αποδοχή του σχεσιακού, ως προς το εκάστοτε αποδεκτό θεωρητικό πλαίσιο, ορισμού της ‘ύπαρξης’ δημιουργεί αγεφύρωτο χάσμα μεταξύ των επιστημικών θεωρήσεων και των θέσεων του παραδοσιακού επιστημονικού ρεαλισμού περί ‘σταθερής’ και ‘απόλυτης’ (εξ ου και δια-θεωρητικής) αλήθειας και ‘ισχυρής’ αντικειμενικότητας (Devitt, 1997, σ. 46 και §B-3.1). Επί πλέον, η αναγνώριση της θεωρητικώς εξαρτώμενης εμπειρίας ακυρώνει οριστικά τη δυνατότητα προσάρτησης δια-χρονικής και δια-θεωρητικής ‘αλήθειας’ και ‘αντικειμενικότητας’ στο εμπειρικώς ‘δοσμένο’ σύμφωνα με το παραδοσιακό εμπειριστικό πρότυπο. Έτσι, στο πλαίσιο των επιστημικών θεωρήσεων ορίζονται, συνήθως, ορισμένα συντακτικής και εμπειρικής φύσεως κριτήρια (όπως η απλότητα, η καρποφορία, η ενοποιητική

ικανότητα, η προβλεπτική ακρίβεια και εμβέλεια) που εντέλλονται ν' αποτιμήσουν την επιστημική επάρκεια και, κατ' επέκταση, την 'αλήθεια' των εκάστοτε προτεινόμενων υποθέσεων ή θεωριών. Η 'αλήθεια' βεβαίως αυτή προσδιορίζεται πλέον με όρους που υποδηλώνουν τον αμιγώς επιστημικό της χαρακτήρα. Ο όρος του Pierce 'εγγυημένη επιβεβαίωση' ('warranted assertibility'), ένας όρος που υιοθετείται σήμερα από τον Dummett (1982), είναι ενδεικτικός.

Οι επιστημικές προσεγγίσεις, παρά τις επίπονες προσπάθειες ορισμένων εκ των εισηγητών τους, δεν κατόρθωσαν να καθορίσουν αδιαμφισβήτητα κριτήρια 'αντικειμενικότητας' και 'αλήθειας'. Κι' αυτό, γιατί, όπως επισήμαναν με οξυδέρκεια οι φιλόσοφοι του ιστορικού ρεύματος, ο τρόπος χρήσης των παγίως αποδεκτών επιστημονικών κριτηρίων, καθώς και το αποδιδόμενο σε κάθε ένα από αυτά σχετικό βάρος, εξαρτώνται ως ένα – μη μετρήσιμο βεβαίως – βαθμό από τις ιδιαίτερες προσωπικές αξίες του ερευνητή (π.χ. Kuhn, 1973). Η αδυναμία εξεύρεσης σταθερών κριτηρίων για την αξιολόγηση των επιστημονικών θεωριών προσδίδει στις επιστημικές θεωρήσεις μια συμβασιοκρατική χροιά που τείνει να τις τοποθετήσει στο αντι-ρεαλιστικό πλαίσιο. Έτσι, δεν είναι τυχαίο ότι ορισμένοι από τους εισηγητές των θεωρήσεων αυτών παραδέχονται τον αμιγή πραγματολογικό χαρακτήρα των εκάστοτε θεσπιζόμενων κριτηρίων και χαρακτηρίζουν απερίφραστα τις θεωρίες τους ως αντι-ρεαλιστικές. Η περίπτωση του van Fraassen και του κονστρουκτιβιστικού του εμπειρισμού είναι χαρακτηριστική (van Fraassen, 1980, βλ. και υποσημείωση 17). Δεν είναι επίσης τυχαίο ότι ο Devitt τοποθετεί τη διάκριση ρεαλισμού – αντιρεαλισμού στις ακόλουθες απαγωγικές συναγωγές: 'ρεαλισμός → 'αντιστοιχιστική θεωρία περί αλήθειας' και 'αντι-ρεαλισμός' → 'επιστημική θεωρία περί αλήθειας' (στο ίδιο, σσ. 44-45). Οι συναγωγές βεβαίως αυτές περιορίζουν τον ρεαλισμό στην παραδοσιακή του έκφραση και τον αποξενώνουν ολοσχερώς από την κβαντική θεωρία. Έτσι, υπό το πρίσμα της δικής μας θεώρησης, η ρεαλιστική ή μη τοποθέτηση μιας επιστημικής θεώρησης οφείλει να κρίνεται βάσει των ιδιαίτερων – πέραν των γενικών που προαναφέρθηκαν – προκειμένων της και, συγκεκριμένα, βάσει του τρόπου με τον οποίο συνδέει το γνωρίζον υποκείμενο, τόσο με την εμπειρία, όσο και με την πέραν της εμπειρίας φυσική πραγματικότητα. Στο βαθμό όμως που μια θεώρηση περιορίζεται στις γενικές αρχές του επιστημικού εμπειρισμού, εμπίπτει βάσει του κριτηρίου μας στο αντι-ρεαλιστικό πλαίσιο. Κι' αυτό γιατί, όπως διαπιστώσαμε, οι αρχές αυτές αδυνατούν να προσδώσουν στην πέραν της εμπειρίας φυσική πραγματικότητα τον οποιοδήποτε διακριτό ρόλο.

3. Η Καντιανή παράδοση

Στην υπερβατολογική φιλοσοφία του Kant, ο ανθρώπινος λόγος εντέλλεται να προσδιορίσει μέσω μιας ενδελεχούς ‘κριτικής’ διαδικασίας τις πηγές, τις συνθήκες, τους περιορισμούς και την έκταση εφαρμογής των ίδιων των αρχών του *πριν* από κάθε εμπειρία ή παρατήρηση (εξ ου και *a priori* ή ‘καθαρός λόγος’). Με άλλα λόγια, «ο λόγος ως κριτής του λόγου είναι η ουσιαστική αρχή της υπερβατολογικής μεθόδου» (Deleuze, 1963/2000, σ. 12). Προσεγγίζοντας λοιπόν την ‘Κριτική του Καθαρού Λόγου’ υπό το πρίσμα του δικού μας προβληματισμού – διερευνώντας δηλαδή τη διασύνδεση της πέραν του υποκειμένου και της εμπειρίας πραγματικότητας με τις έννοιες της ‘γνώσης’, της ‘αντικειμενικότητας’ και της ‘αλήθειας’ – οφείλουμε να σταθούμε στα ακόλουθα σημεία.

Ο Kant, επιχειρώντας να θέσει οριστικό τέρμα στη διαμάχη ορθολογισμού - εμπειρισμού, αναγνωρίζει τις αισθήσεις και τη διάνοια ως *ισοδύναμης σημασίας* πηγές της ανθρώπινης γνώσης. Οι αισθήσεις προσφέρουν το πρωταρχικό υλικό κάθε γνώσης, ενώ η διάνοια, δια της επεξεργασίας του συγκεκριμένου υλικού, αποφέρει την υπερβάλλουσα, σε σχέση με την εμπειρία, γνώση. Επειδή όμως η αισθητηριακή εμπειρία, ως πηγή γνώσης, αναγνωρίζεται, λόγω της ίδιας της φύσης της, ως υποκειμενική, η υπερβατολογική έρευνα θέτει ως πρώτιστο στόχο την αναζήτηση των όρων αντικειμενικότητας της ανθρώπινης γνώσης. Έτσι, όταν ο Kant αναζητά *τις a priori δυνατότητες* της γνώσης, επιχειρεί κατ’ ουσία να προσδιορίσει τα κριτήρια αντικειμενικότητας των εμπειρικών επιστημών: το *a priori* ορίζεται ως ανεξάρτητο της εμπειρίας, επειδή οφείλει να διέπεται από *αναγκαιότητα* και *καθολικότητα*, δύο χαρακτηριστικά που προσδίδουν στη γνώση την αιτούμενη αντικειμενικότητα.

Μέσω της υπερβατολογικής λοιπόν έρευνας, ο Kant καταλήγει στο συμπέρασμα ότι η ανθρώπινη γνώση προϋποθέτει ‘δεκτικότητα’ και ‘κατανόηση’, δύο προϋποθέσεις που διασφαλίζονται από τη συνεργασία δύο διακριτών, ως προς τη λειτουργία τους, ικανοτήτων: η ανθρώπινη ‘αισθητικότητα’ προσδιορίζει τον τρόπο με τον οποίο η ανθρώπινη φύση ‘δέχεται’ το αντλούμενο από τις αισθήσεις υλικό, ενώ η ανθρώπινη ‘διάνοια’ τον τρόπο με τον οποίο το υλικό αυτό μετατρέπεται σε ‘κατανοητή’ γνώση για τον κόσμο. Κάθε μία από τις ικανότητες αυτές επιβάλλει στο περιεχόμενο της γνώσης ορισμένες *a priori* συνθήκες: η αισθητικότητα επιβάλλει τις *a priori* ‘φόρμες’ του χώρου και του χρόνου, ενώ η διάνοια τις ‘κατηγορίες’ (όπως την αιτιότητα και την ουσία), τις έννοιες δηλαδή που *προϋποτίθενται* για τη διατύπωση της οποιασδήποτε κατανοητής κρίσης. Τα *a priori* στοιχεία της

αισθητικότητας και της διάνοιας, εκτός του ότι σχηματοποιούν και νοηματοδοτούν τα δεδομένα της εμπειρίας (εφόσον τα μετασχηματίζουν, αντίστοιχα, σε εποπτείες και εννοιολογικώς προσδιορισμένα αντικείμενα), επιτρέπουν, επιπρόσθετα, τη διατύπωση a priori συνθετικών κρίσεων, εκείνων των κρίσεων που, όταν εφαρμοσθούν στην εμπειρία, αποφέρουν την υπερβάλλουσα σε σχέση με αυτήν γνώση. Οι a priori, λόγου χάριν, συνθετικές κρίσεις ‘η ευθεία είναι ο πιο σύντομος δρόμος’ ή ‘κάθε συμβάν έχει μία αιτία’ αποδίδουν στις αισθητηριακές παραστάσεις (στις εποπτείες) ένα περιεχόμενο που δεν εμπεριέχεται πρωτογενώς σ’ αυτές.⁸⁶

Κατά την αντίληψη λοιπόν του Kant, η ύπαρξη των a priori συνθετικών της γνώσης αποδεικνύεται εκ της μελέτης του τρόπου εκφοράς και του περιεχομένου των συνθετικών κρίσεων, οι οποίες συντάσσονται δια της εφαρμογής των a priori, επίσης, νομοθετικών αρχών της διάνοιας. Η διαπίστωση όμως αυτή δεν αρκεί. Η κριτική φιλοσοφία, για ν’ αντικρούσει τις σκεπτικιστικές ενστάσεις, οφείλει να εξηγήσει γιατί οι κρίσεις αυτές είναι *βέβαιες*, γιατί δηλαδή προσαρμόζονται *αναγκαστικά* στην εμπειρία μολονότι δεν προκύπτουν από αυτήν. Στο σημείο αυτό, ο Kant προχωρά στη διατύπωση της πλέον ρηξικέλευθης αρχής της θεωρίας του, μίας αρχής που σηματοδοτεί τη δική του, όπως δηλώνει, ‘κοπερνίκεια επανάσταση’: αντί να υποθέτουμε ότι η γνώση μας προσαρμόζεται στα αντικείμενα της εμπειρίας μας, υποθέτουμε ότι τα αντικείμενα της εμπειρίας μας προσαρμόζονται στη γνώση μας.

Η *αναγκαία υπαγωγή* του εμπειρικού κόσμου στις a priori παραστάσεις και κρίσεις του γνωρίζοντος υποκειμένου επιτυγχάνει, στο πλαίσιο της καντιανής θεώρησης, την αρμονική συνύπαρξη του ‘Υπερβατολογικού Ιδεαλισμού’ με τον ‘Εμπειρικό Ρεαλισμό’: η ‘αλήθεια’ και η ‘αντικειμενικότητα’ του εμπειρικού κόσμου (εξ ου και ‘εμπειρικός ρεαλισμός’) απορρέει από την αναγκαστική του συμφωνία με τις καθολικές και αναγκαίες αρχές της ανθρώπινης νόησης (εξ ου και ‘υπερβατολογικός ιδεαλισμός’). Κατά την αντίληψη του Kant, μια τέτοια θεώρηση γεφύρωνε οριστικά το χάσμα μεταξύ γνωρίζοντος υποκειμένου και αντικειμένου της

⁸⁶ Η πρόταση ‘η ευθεία γραμμή είναι ο πιο σύντομος δρόμος μεταξύ δύο σημείων’ είναι συνθετική, επειδή η έννοια του ‘πιο σύντομου δρόμου’ δεν προκύπτει από την ανάλυση της έννοιας ‘ευθεία’. Επιπροσθέτως, η πρόταση αυτή είναι a priori, επειδή η έννοια του ‘πιο σύντομου δρόμου’ δεν προκύπτει από την εμπειρία, αλλά εκφράζει έναν προεμπειρικό κανόνα της αισθητικότητας βάσει του οποίου μια γραμμή παράγεται ως ευθεία. Έτσι, η έννοια ‘ευθεία γραμμή’ νοείται βάσει της a priori εποπτείας που αντιστοιχεί σ’ αυτήν, ενώ η εκφερόμενη, μέσω αυτής, συνθετική κρίση προσαρτά στην εποπτεία ένα υπερβάλλον περιεχόμενο. Ούτε η ‘αιτιότητα’, ισχυρίζεται ο Kant, είναι μια εμπειρική έννοια, αλλά μια προεμπειρική έννοια της διάνοιας που επιβάλλεται επί της εμπειρίας και την καθιστά κατανοητή. Έτσι, οι συνθετικές κρίσεις αποφέρουν τη *διεύρυνση* της γνώσης, σε αντίθεση με τις αναλυτικές κρίσεις που απλώς διασαφηνίζουν την ήδη υφιστάμενη γνώση.

γνώσης, ένα χάσμα που έμενε ανοικτό στη φιλοσοφία του Locke και οδηγούσε στον σκεπτικισμό. Ο Berkeley επέλυσε το συγκεκριμένο πρόβλημα μεταφέροντας το αντικείμενο της γνώσης στον ανθρώπινο νου. Η λύση του Kant ήταν διαφορετική: τα αντικείμενα της γνώσης θεωρήθηκαν ‘εξωτερικά’ του υποκειμένου, αλλά υπάχθηκαν, παράλληλα, στις *a priori* δυνατότητες και δεσμεύσεις της φυσικής του υπόστασης. Όπως σημειώνει ο Stroud, «ο ιδιαίτερος χαρακτήρας της καντιανής θεώρησης εδράζεται στην προσπάθεια παροχής θετικών αποδείξεων για μεταφυσικά συμπεράσματα που αφορούν τον κόσμο από προκείμενες που σχετίζονται με την ανθρώπινη σκέψη και εμπειρία» (Stroud, 1994, σ. 158). Μία τέτοια θεώρηση νομιμοποιούσε τους θεωρητικούς (και επομένως μεταφυσικούς) ισχυρισμούς της θεωρητικής φυσικής και διασφάλιζε την αντικειμενικότητα της επιστημονικής γνώσης. Όπως σημειώνει ο ίδιος ο Kant στα ‘Προλεγόμενα’, «οι θεμελιώδεις αρχές μέσω των οποίων όλα τα φαινόμενα υπάγονται σ’ αυτές τις έννοιες [στις κατηγορίες] αποτελούν ένα φυσικοθεωρητικό σύστημα, ένα σύστημα δηλαδή της φύσης που προηγείται κάθε εμπειρικής γνώσης, που καθιστά τη γνώση αυτή δυνατή και μπορεί συνεπώς να ονομαστεί η κατ’ εξοχήν γενική και καθαρή φυσική» (1783/1982, σ. 97).

Ο φυσικός βεβαίως κόσμος που αποκαλύπτεται από την καντιανή θεώρηση είναι ο κόσμος της δυνατής εμπειρίας, ένας ‘φαινόμενος’ κόσμος που υπόκειται στους επιβαλλόμενους από την ανθρώπινη υπόσταση περιορισμούς: ένα ‘φαινόμενο’ είναι κάτι που ‘εμφανίζεται’ και ό,τι εμφανίζεται υπάγεται κατ’ ανάγκην στις *a priori* νοητικές κατηγορίες και αρχές, υπόκειται δηλαδή ολοκληρωτικά στους περιορισμούς της ανθρώπινης εμπειρίας και γνώσης. Σε αντίστροφη δε κατεύθυνση, οι *a priori* έννοιες και αρχές της διάνοιας μπορούν να εφαρμόζονται μόνο στα ‘φαινόμενα’ αντικείμενα, στα αντικείμενα της δυνατής εμπειρίας, στα αντικείμενα που οι ίδιες ‘συνθέτουν’ μετασχηματίζοντας το ‘πολυσχιδές’ (the ‘manifold’) της αισθητηριακής αντίληψης σε αντικειμενικό περιεχόμενο της γνώσης. Η *a priori* λόγω χάριν συνθετική πρόταση ‘κάθε συμβάν έχει μια αιτία’ – μια πρόταση που εμπεριέχει την κατηγορία της αιτιότητας – είναι αληθής, επειδή αποδεικνύεται εφαρμόσιμη κατά καθολικό τρόπο στον κόσμο της δυνατής εμπειρίας, στον κόσμο των ‘φαινόμενων’ αντικειμένων. Μία έννοια που δεν μπορεί να εφαρμοσθεί στον κόσμο αυτόν, στερείται σαφούς νοήματος και αναφοράς. Έτσι, στο πλαίσιο της καντιανής θεώρησης, η επιστημολογία καθίσταται κριτής του οποιουδήποτε οντολογικού (μεταφυσικού) ισχυρισμού: οι οντολογικοί ισχυρισμοί νομιμοποιούνται μόνο στο πεδίο της δυνατής γνώσης, το πεδίο δε αυτό δεν μπορεί ποτέ να υπερβεί το πεδίο της

δυνατής εμπειρίας. Ο Strawson αποκαλεί τη συγκεκριμένη θέση ‘σημασιολογική αρχή της καντιανής θεώρησης’ (‘Kant’s principle of significance’) και την αναδιατυπώνει με σύγχρονους όρους ως εξής: «Η εφαρμογή των ιδεών και εννοιών δεν μπορεί να είναι νόμιμη ή ακόμη και κατανοητή, εάν δεν συνδέει τις έννοιες με τις εμπειρικές ή πειραματικές συνθήκες της εφαρμογής τους» (Strawson, 1966, σ. 16).

Η θέση αυτή μας φέρνει αναμφίβολα στον νου τους ισχυρισμούς του Bohr. Και, πράγματι, όπως θα διαπιστώσουμε στη συνέχεια, η θεώρηση του Bohr, καθώς στοχεύει πρωτίστως στον προσδιορισμό των *συνθηκών* της ‘αντικειμενικής γνώσης’, παρουσιάζει ορισμένες συγγενείς προς την καντιανή θεώρηση πτυχές. Εν τούτοις, οφείλουμε να επισημάνουμε ότι ο Kant δέχεται την ύπαρξη μιας πέραν της εμπειρίας και του υποκειμένου πραγματικότητας, μίας πραγματικότητας των πραγμάτων ‘καθ’ εαυτών’ ή των ‘νοούμενων’ αντικειμένων – ‘νοούμενων’ υπό την έννοια ότι η ανθρώπινη νόηση μπορεί να δεχθεί την ύπαρξή τους – μια πραγματικότητα, όμως, που είναι καθ’ ολοκληρίαν γνωσιακώς απρόσιτη. Στο πλαίσιο συνεπώς της καντιανής θεώρησης, η πέραν του υποκειμένου και της εμπειρίας πραγματικότητα δεν συνεισφέρει το οτιδήποτε στο περιεχόμενο της ανθρώπινης γνώσης. Βάσει λοιπόν του κριτηρίου μας, η θεώρηση του Kant οφείλει να κριθεί ως αντι-ρεαλιστική.

4. Η θέαση του φυσικού κόσμου

υπό την οπτική γωνία της συμπληρωματικότητας

Ο Bohr απέφευγε επιμελώς τους αμιγείς οντολογικούς ισχυρισμούς. Εν τούτοις, μπορούμε να προσδιορίσουμε το οντολογικό υπόβαθρο και τις δυνατές οντολογικές προεκτάσεις της φιλοσοφικής του θεώρησης, στηριζόμενοι σε ορισμένες σύγχρονες θεωρήσεις της κβαντικής θεωρίας, σε θεωρήσεις που, όπως ακριβώς και ο ίδιος Bohr, επιχειρούν να προσφέρουν μια ρεαλιστική θέαση του φυσικού κόσμου σύμφωνη με το εννοιολογικό περιεχόμενο της μικροφυσικής.

4.1. Το καθεστώς της ‘εμπειρικής’ πραγματικότητας

εντός του κβαντικού πλαισίου

Ο Strawson, επιχειρώντας ν’ αποδώσει μια έγκυρη ερμηνεία στην πολυσυζητημένη πρόταση ‘δεν υφίσταται οντότητα χωρίς ταυτότητα’, καταλήγει στην ακόλουθη ολοκληρωτική της αναδιατύπωση: «για να μπορεί να μιλήσει κανείς με νόημα για κάτι, οφείλει να ξέρει με ποιο τρόπο αυτό το ‘κάτι’ ταυτοποιείται» (Strawson, 1976, σ. 22). Με άλλα λόγια, εάν δεν μπορεί να μιλήσει κανείς με νόημα για μία

συγκεκριμένη οντότητα, αυτό δεν σημαίνει ότι η οντότητα αυτή δεν υπάρχει. Αλλά, εάν υπάρχει, για να μιλήσει κανείς με νόημα γι' αυτήν, οφείλει να γνωρίζει με ποιο τρόπο γίνεται διακριτή, με ποιο τρόπο αποκτά τη δική της ιδιαίτερη 'ταυτότητα'. Η απόφαση αυτή διευκρινίζει με τον καλύτερο κατά τη γνώμη μας τρόπο τους λόγους που ωθούν ορισμένους εκ των σύγχρονων φιλοσόφων της φυσικής να δεχθούν την ύπαρξη δύο 'επιπέδων' πραγματικότητας: της 'ανεξάρτητης' (d' Espagnat, 1995), της 'έσω' ή 'οντικής' πραγματικότητας (Karakostas, 2003), της πραγματικότητας των 'ενδοσυστημάτων' (Primas, 1990), αφενός, και της 'εμπειρικής' πραγματικότητας (d' Espagnat, 1995, Καρακώστας, 2005), της πραγματικότητας του 'κλασικού έξω-κόσμου' (Primas, 1990), αφετέρου. Το πρώτο επίπεδο αντιστοιχεί «στη δομική πραγματικότητα του κόσμου», ενώ το δεύτερο «στην παρατηρήσιμη, υπό συνθήκη (contingent) πραγματικότητα των απομονωμένων συστημάτων» (d' Espagnat, σ. 196), μια πραγματικότητα «που συμπεριλαμβάνει το σύνολο των 'φαινομένων' με την καντιανή έννοια του όρου ... συμπεριλαμβάνει [δηλαδή] ό,τι εμπίπτει στην εμπειρία μιας κοινότητας ουσιαστικώς τοπικών παρατηρητών» (στο ίδιο, σ. 4 και σ. 183). Η αναγκαιότητα διάκρισης δύο επιπέδων πραγματικότητας απορρέει από μία συγκεκριμένη στάση που εκφράζεται από τον Primas με τον ακόλουθο τρόπο:

(B3.2) «Εάν θεωρήσουμε την κβαντική μηχανική, όχι ως ένα σύστημα εξαιρετικώς επιτυχών πραγματιστικών κανόνων εργασίας, αλλά ως την καλύτερη υπονύχια θεμελιακή θεωρία του υλικού κόσμου, τότε αναγκάζομαστε να δεχτούμε ότι δεν υπάρχουν μεμονωμένα αντικείμενα με απόλυτο τρόπο. Η κβαντική μηχανική προβλέπει ότι η φύση είναι μη-διαχωρίσιμη. Η πρόβλεψη αυτή επαληθεύτηκε τα τελευταία χρόνια μέσω μιας σειράς πειραμάτων που αφίστανται κάθε εύλογης αμφισβήτησης. Ο ισχυρισμός των εμπειριστών ότι τα αντικείμενα δίνονται με απόλυτο τρόπο αποδείχθηκε αβάσιμος – τα αντικείμενα δεν υφίστανται σε πλήρη απομόνωση. ... Η κβαντική μηχανική περιγράφει τον υλικό κόσμο ως όλον και, συγκεκριμένα, ως όλον που δεν είναι φτιαγμένο από μέρη» (η έμφαση από τον Primas, 1990, σ. 243 και 244).

Η μετα-επιστημονική και υπέρ-επιστημική πεποίθηση που εκφράζεται από τον Primas, η πεποίθηση ότι η κβαντική θεωρία αντιπροσωπεύει μια θεμελιακή φυσική θεωρία που συλλαμβάνει ένα ουσιώδες οντολογικό χαρακτηριστικό του φυσικού κόσμου, είναι εκείνη που επιβάλλει επιτακτικά τη διάκριση δύο επιπέδων πραγματικότητας. Γιατί, εάν η οντολογική μη-διαχωρισιμότητα, του φυσικού κόσμου θεωρηθεί δεδομένη, οφείλει να προσδιορίσει πλέον κανείς τις μεθοδολογικές προϋποθέσεις άσκησης της φυσικής επιστήμης, τις αναγκαίες δηλαδή προϋποθέσεις για τη συγκρότηση των 'επιστημονικών αντικειμένων' της κβαντικής φυσικής. Το ζήτημα αυτό εκτίθεται από τον Β. Καρακώστα ως εξής.

(B3.3) «Το εσώτερο επίπεδο της πραγματικότητας είναι, εκ της φύσεώς του, πειραματικώς μη-προσβάσιμο, οπερασιοναλιστικώς ανέφικτο. Αφορά στην περιοχή των κβαντικώς συζευγμένων συσχετίσεων, δυναμικότητων και κβαντικών υπερθέσεων, στοιχείων που διέπονται από μια μη-Μπούλειαν λογική δομή. Σ' αυτήν την περιοχή του υπαρκτού, η έννοια του αντικειμένου είναι ασαφής, στερείται a priori νοήματος ανεξάρτητα από το φαινόμενο εντός του οποίου εντίθεται. Υπό μία θεμελιώδη οπτική της κβαντικής θεωρίας, η επίτευξη οποιασδήποτε συνεπούς περιγραφής, η ικανότητα σαφούς ομιλίας για ένα αντικείμενο ή η δυνατότητα αναφοράς σε πειραματικώς προσπελάσιμα γεγονότα, θέτουν ως αναγκαίο όρο την αποσυσχέτιση (disentanglement) της υπολανθάνουσας ολότητας της φύσης σε διακριτά αλληλεπιδρώντα μεταξύ τους – όχι όμως κβαντικώς συζευγμένα – υποσυστήματα. Στην κβαντική μηχανική, κάθε καλώς ορισμένο αντικείμενο δημιουργείται μέσω μίας τομής Heisenberg ... Η έννοια της τομής Heisenberg αποκτά την ισχύ μιας μεθοδολογικής αρχής μέσω της οποίας καθίσταται δυνατή η πρόσβαση στην εμπειρική πραγματικότητα» (Καρακώστας, 2005, σσ. 59-60).

Η μεθοδολογική συνεπώς αποδόμηση της κβαντικής ολότητας – μέσω μιας τομής Heisenberg – σε 'υπό παρατήρηση αντικείμενο' και 'υποκείμενο'/ 'μετρητική συσκευή' ή, όπως τίθεται από τον Primas, «σε ένα μέρος που 'βλέπει' και σε ένα μέρος που 'βλέπεται'» (στο ίδιο, σ. 251), είναι εκείνη που τροφοδοτεί τη φυσική επιστήμη με διακριτά και καλώς ορισμένα αντικείμενα, με αντικείμενα που διαθέτουν τη δική τους ιδιαίτερη 'ταυτότητα' ή, με όρους της φυσικής, την επακριβώς προσδιορισμένη τους κατάσταση (§B-2, σημείο 1). Ακολουθώντας λοιπόν το πνεύμα του Strawson, μπορούμε να πούμε ότι η έννοια της εμπειρικής πραγματικότητας καθίσταται στο κβαντικό πλαίσιο αναγκαία, επειδή οριοθετεί το χώρο εντός του οποίου φυσική επιστήμη μπορεί 'να μιλά με νόημα' για τα κβαντικά αντικείμενα: η εμπειρική πραγματικότητα συμπεριλαμβάνει το σύνολο των καλώς ορισμένων αντικειμένων της κβαντικής θεωρίας, εκείνων των αντικειμένων που, καθώς φέρουν εγγραγμένη στη δομή τους τη σαφή διάκριση υποκειμένου – αντικειμένου, εμπίπτουν εκ φύσεως στο καθεστώς της 'κλασικότητας'. Η έννοια επομένως της εμπειρικής πραγματικότητας, όπως ορίζεται από τις προαναφερθείσες θεωρήσεις, οριοθετεί με ακρίβεια τον χώρο εντός του οποίου εντίθενται, *εξ ορισμού*, τα κατά Bohr 'φαινόμενα₂' (§B-2, σημείο 2). Πως μπορεί όμως να ειπωθεί η ούτως οριζόμενη εμπειρική πραγματικότητα⁸⁷ υπό μία ευρύτερη φιλοσοφική προοπτική;

1. *Η θέση της Εμπειρικής Πραγματικότητας εντός του κβαντικού πλαισίου.* Τα καλώς ορισμένα αντικείμενα της κβαντικής θεωρίας μπορούν να διαχωριστούν σε

⁸⁷ Η έννοια της εμπειρικής πραγματικότητας, υπ' αυτόν της τον προσδιορισμό (ως πεδίο των καλώς ορισμένων κβαντικών αντικειμένων ή των κατά Bohr φαινομένων₂) θα υποδηλώνεται στη συνέχεια με κεφαλαία αρχικά ως 'Εμπειρική Πραγματικότητα'. Κι' αυτό, για να διακρίνεται από την 'εμπειρική πραγματικότητα' υπό το σύνηθες φιλοσοφικό της περιεχόμενο.

δύο διακριτές κατηγορίες: στα *θεωρητικά* αντικείμενα του κβαντικού φορμαλισμού, τα οποία συγκροτούνται στο *προ-μετρητικό στάδιο* μέσω της διενεργούμενης από τον ερευνητή ‘τομής’, και στις *υλικές τους πραγματώσεις*, στα παρατηρούμενα δηλαδή μέσω της πειραματικής διαδικασίας, αντικείμενα (§B-2, σημείο 2ε). Ο Bohr δεν προέβη ποτέ στη συγκεκριμένη διάκριση – μιλούσε εν γένει για ‘φαινόμενα₂’ – ίσως, επειδή έκρινε ότι μία τέτοια διάκριση μπορούσε ν’ αποκρύψει αυτό που ο ίδιος θεωρούσε ουσιώδες. Γιατί αυτό που ο Bohr υπογράμμιζε, σε οποιαδήποτε έκφραση των καλώς ορισμένων κβαντικών αντικειμένων κι’ αν αναφερόταν, ήταν ότι τα αντικείμενα αυτά δεν αντιπροσώπευαν τίποτε περισσότερο από ‘εξιδανικεύσεις’ που ικανοποιούσαν μία και μόνο συνθήκη: τη συνθήκη του ‘αποσπασμένου παρατηρητή’, μία συνθήκη που, ενώ επιβαλλόταν από τους περιορισμούς της ανθρώπινης αντίληψης, αποτελούσε, παράλληλα, και απαράβατο όρο για την άσκηση της φυσικής επιστήμης (§B-1, σημείο 7). Έτσι, μπορούμε εύλογα να εικάσουμε ότι ο Bohr (όπως ακριβώς και οι προαναφερθείσες σύγχρονες θεωρήσεις) θα αναγνώριζε ως κύριο χαρακτηριστικό της Εμπειρικής Πραγματικότητας την εγγενή της δυνατότητα να προσφέρει την αδιαμφισβήτητη αντικειμενικότητα του ‘αποσπασμένου παρατηρητή’, μία αντικειμενικότητα που εδράζεται στα διυποκειμενικά χαρακτηριστικά της ανθρώπινης αντίληψης ή, ισοδύναμα, στην ομοιόμορφα αναγνωρίσιμη και, επομένως, *αποπροσωποποιημένη* ανθρώπινη εμπειρία. Είναι βεβαίως φανερό ότι μία τέτοια θεώρηση αφίσταται δραστικά από τις αντιλήψεις του εμπειρικού ιδεαλισμού. Μέσω μιας συνοπτικής όμως σύγκρισης με τις θέσεις του ριζικού κονστρουκτιβισμού (§B-3.2, σημείο 1), μπορούμε να κάνουμε κάποιες ενδιαφέρουσες παρατηρήσεις.

1α. *Σαφής διάσταση από τον εμπειρικό ιδεαλισμό.* Υπό μία έννοια, τα ‘κβαντικά αντικείμενα’⁸⁸ μπορούν πράγματι να ειπωθούν ως ‘κατασκευές’, εφόσον η θεωρητική τους συγκρότηση και, κατ’ επέκταση, η υλική τους πραγμάτωση συναρτώνται με την προθετικότητα του ερευνητή (§B-2, σημείο 2γ). Οφείλουμε όμως να τονίσουμε ότι η δράση του γνωρίζοντος υποκειμένου περιορίζεται *αποκλειστικά* στην επιλογή του κατάλληλου, για τις ερευνητικές του επιδιώξεις, πειραματικού πλαισίου (§B-2, σημείο 2δ). Από τη στιγμή που συντελείται η συγκεκριμένη επιλογή, τα κβαντικά αντικείμενα αποκτούν τη δική τους *ανεξάρτητη* ύπαρξη και τη δική τους ιδιαίτερη,

⁸⁸ Για λόγους συντομίας και εάν δεν επιβάλλεται η μεταξύ τους διάκριση, τα καλώς ορισμένα (πλαισιακά) αντικείμενα της Εμπειρικής Πραγματικότητας – τόσο τα θεωρητικά κβαντικά αντικείμενα που προκύπτουν μετά τον επακριβή καθορισμό ενός πλαισίου μέτρησης (§B-2, σημείο 2γ) όσο και οι υλικές τους πραγματώσεις - θ’ αναφέρονται στη συνέχεια υπό τον ενιαίο όρο ‘κβαντικά αντικείμενα’ ή, ισοδύναμα εάν αναφερόμαστε στον Bohr, φαινόμενα₂.

καλώς ορισμένη και διυποκειμενικώς αναγνωρίσιμη ‘ταυτότητα’, μία ‘ταυτότητα’ που παραμένει ανεπηρέαστη από την όποια περαιτέρω δράση, αντίληψη ή γνώση του ερευνητή. Με τα λόγια του Pauli, «από τη στιγμή που ο παρατηρητής επιλέγει την πειραματική διάταξη, παύει να ασκεί την οποιαδήποτε πλέον επίδραση στο αποτέλεσμα της μέτρησης, το οποίο, υπό την αντικειμενική του καταγραφή, είναι διαθέσιμο σε όλους» (Pauli, 1954, από Primas, 1990, σ. 249).

Αναδιατυπώνοντας λοιπόν τις θέσεις των ριζικών κονστρουκτιβιστών, μπορούμε να ισχυριστούμε ότι, από τη στιγμή που συντελείται η συγκρότησή τους, τα κβαντικά αντικείμενα ‘υπάρχουν ανεξάρτητα από τους παρατηρητές’, δεν συνιστούν, επομένως, ‘προσωπικές κατασκευές του ανθρώπινου νου’, οι υλικές τους δε πραγματώσεις αποτελούν για όλους τους παρατηρητές ‘πανομοιότυπα αντικείμενα’. Με άλλα λόγια, η Εμπειρική Πραγματικότητα, μπορεί μεν να φέρει εγχαραγμένη στη δομή της την επιστημονική διερώτηση του γνωρίζοντος υποκειμένου, είναι όμως μία αποσπασμένη από το υποκείμενο πραγματικότητα, μία εξωτερική του υποκειμένου πραγματικότητα, μία πραγματικότητα με τη δική της ανεξάρτητη ύπαρξη και τη δική της ιδιαίτερη ‘ταυτότητα’. Έτσι, μια ιδεαλιστική θεώρηση, μια θεώρηση που, όπως ο ριζικός κονστρουκτιβισμός, εκλαμβάνει το περιεχόμενο της ανθρώπινης συνείδησης ως τη μόνη θεμελιακή πραγματικότητα και την επιστήμη ως εργαλείο σύνοψης και συστηματοποίησης του συνειδησιακού περιεχομένου, πέραν των όποιων γενικότερων ενστάσεων, οφείλει να κριθεί και στο κβαντικό πλαίσιο ως εξίσου αδόκιμη. Όσον αφορά την προσέγγιση του Bohr, η προσεκτική της ανάγνωση απαλείφει, όπως δείξαμε, κάθε υπόνοια ιδεαλιστικής παρέκκλισης. Επειδή όμως μία τέτοια ανάγνωση δεν είναι σε όλους προφανής (π.χ. Aerts, 1998),⁸⁹ παραθέτουμε ως πρόσθετο τεκμήριο το κείμενο που ακολουθεί.

(B3.4) «Θα ήθελα να υπογραμμίσω ότι η θεώρηση που εκτίθεται εδώ αντιτίθεται ολοκληρωτικά σε κάθε προσπάθεια αναζήτησης πνευματικών επιδράσεων στην ύλη για την εξήγηση της στατιστικής περιγραφής των ατομικών φαινομένων. ... [Εξάλλου] η ανάλυση της ίδιας της έννοιας της εξήγησης ξεκινά και τελειώνει, όπως ακριβώς οφείλει, με την εγκατάλειψη κάθε προσπάθειας ερμηνείας της συνειδησιακής μας δραστηριότητας» (Bohr, 1932β, *APHK*, II, σ. 11).

⁸⁹ Ο Aerts, υπό τον υπότιτλο «Bohr: η εξαφάνιση της πραγματικότητας, ένα σαφές βήμα προς τον υποκειμενισμό», επιχειρεί να υποστηρίξει ότι «η συμπληρωματικότητα του Bohr εισάγει την αναγκαιότητα μίας υποκειμενικής ερμηνείας της κβαντικής θεωρίας ... [σύμφωνα με την οποία] η φύση της πραγματικότητας, ως όλου, εξαρτάται από τη διαδικασία της παρατήρησής της. Κατά συνέπεια, δεν έχει νόημα να μιλά κανείς για μια πραγματικότητα που υπάρχει ανεξάρτητα από τον παρατηρητή» (Aerts, 1998, σσ. 227-228). Η πλήρης ασυμβατότητα της συγκεκριμένης εκτίμησης, τόσο με το σύνολο της δικής μας ανάλυσης, όσο και με την εκφερόμενη στο απόσπασμα (B3.4) θέση είναι προφανής.

1β. Σαφής διάσταση από τον 'εμπειρικό ρεαλισμό' του κλασικού εμπειρισμού, του θετικισμού, του φαινομενισμού, της εργαλειοκρατίας και των μακρο-ρεαλιστικών εν γένει θεωρήσεων. Οφείλουμε να παρατηρήσουμε ότι, πέραν της κάθετης ρήξης που επιφέρει με τον ιδεαλισμό, η έννοια της Εμπειρικής Πραγματικότητας, σηματοδοτεί, παράλληλα, και την απόρριψη της 'σημασιολογικής' θέσης του παραδοσιακού επιστημονικού ρεαλισμού (§B-3.1). Γιατί μπορούμε να θυμηθούμε ότι τα κβαντικά αντικείμενα, υπό τη θεωρητική τους έκφραση, δεν αναφέρονται στις υποατομικές οντότητες 'καθ' εαυτές', αλλά στις δυνατές τους 'πραγματώσεις' ή 'εμφανίσεις' εντός ενός συγκεκριμένου πειραματικού πλαισίου, όπως αυτό ορίζεται από το 'ερώτημα' του ερευνητή (εξ ου και ο αυθεντικός πλαισιακός τους χαρακτήρας, §B-2, σημείο 2γ). Κατ' επέκταση, οι οριζόμενες, στο θεωρητικό επίπεδο, τιμές των παρατηρήσιμων κβαντικών μεγεθών δεν αναφέρονται – όπως η 'σημασιολογική' θέση του παραδοσιακού επιστημονικού ρεαλισμού ορίζει – σε εγγενείς ιδιότητες των υποατομικών οντοτήτων, αλλά σε ιδιότητες των δυνατών τους 'εμφανίσεων' ή 'πραγματώσεων', στο πεδίο της κοινής ανθρώπινης εμπειρίας. Όσον αφορά τα μη-παρατηρήσιμα μεγέθη του κβαντικού φορμαλισμού, μπορούμε, ακολουθώντας τον Bohr (§B-1, υποσημ. 22), να τα αποκαλέσουμε 'σύμβολα', εφόσον στερούνται οντολογικής αναφοράς και, κατά συνέπεια, αναπαραστασιακού περιεχομένου. Το γεγονός βεβαίως αυτό αφαιρεί οποιοδήποτε έρεισμα από την 'αντιστοιχιστική' θεωρία περί αλήθειας του παραδοσιακού επιστημονικού ρεαλισμού και αναιρεί κάθε δυνατότητα επίκλησης της 'ισχυρής', κατά d' Espagnat, μορφής αντικειμενικότητας.

Έτσι, γίνεται φανερό ότι η Εμπειρική Πραγματικότητα στο σύνολό της – τόσο ως προς τον θεωρητικό της προσδιορισμό, όσο και ως προς την πειραματική της πιστοποίηση – είναι μεν μια 'εξωτερική' του υποκειμένου πραγματικότητα, αλλά μία πραγματικότητα που συμπεριλαμβάνει αποκλειστικά ό,τι εμπίπτει ή αναφέρεται στο πεδίο της κοινής ανθρώπινης εμπειρίας.⁹⁰ Είναι επομένως μία 'φαινόμενη' πραγματικότητα, μια πραγματικότητα προσαρμοσμένη στις διυποκειμενικές δυνατότητες της ανθρώπινης υπόστασης. Μία τέτοια θεώρηση, συνεπικουρούμενη από την απάρνηση της 'σημασιολογικής' θέσης του παραδοσιακού ρεαλισμού και της 'αντιστοιχιστικής' θεωρίας περί αλήθειας, φαίνεται να συνάδει με τη θέση της πρώιμης εμπειριστικής, της φαινομεναλιστικής και της θετικιστικής παράδοσης για

⁹⁰ Εκ πρώτης όψεως, η πρόταση αυτή μπορεί να μοιάζει με ταυτολογική αναφορά: 'η εμπειρική πραγματικότητα δεν είναι δυνατό να υπερβαίνει την εμπειρία'. Στην περίπτωση όμως της κβαντικής μηχανικής, το ουσιώδες είναι ότι η Εμπειρική Πραγματικότητα αποφέρει ουσιαστική γνώση για την πέραν του υποκειμένου και της εμπειρίας φυσική πραγματικότητα (βλ. §B-4.2).

την αμιγώς εμπειρική καταγωγή της ‘βέβαιης’ γνώσης και της ‘αδιαμφισβήτητης’ αλήθειας (§B-3.2, σημείο 2). Επί πλέον, η εναπόθεση της επιστημονικής αντικειμενικότητας στη διυποκειμενική συμφωνία (μία συμφωνία που εδράζεται στην ομοιόμορφα αναγνωρίσιμη εμπειρία και αποφέρει την κατά d’ Espagnat ‘ασθενή’ μορφή αντικειμενικότητας) συμπίπτει με το περιεχόμενο που αποδίδεται στην έννοια της ‘αντικειμενικότητας’, τόσο από τις πρώιμες όσο και από τις σύγχρονες εμπειριστικές (τις επιστημικές) θεωρήσεις (§B-3.2). Κατά πόσο όμως οι συμπτώσεις αυτές αποτελούν εκφράσεις μίας κοινής ή συγγενούς φιλοσοφικής προοπτικής;

Όπως ήδη σημειώσαμε, η Εμπειρική Πραγματικότητα είναι η πραγματικότητα του ‘αποσπασμένου παρατηρητή’ ή, όπως ορίζεται από τον d’ Espagnat, ‘η πραγματικότητα των ‘απομονωμένων συστημάτων’. Έτσι, η κβαντική θεωρία, μία ολιστική θεωρία που αρνείται εκ λόγων αρχής τη δυνατότητα μίας τέτοιας ‘απομόνωσης’, μπορεί δύσκολα να ειπωθεί ως θεωρία που ‘πήγασε από την εμπειρία’, όπως θα ισχυριζόταν ο Glaserfeld υπό το πρίσμα της κονστρουκτιβιστικής του θεώρησης. Γιατί, όπως ο Bohr υπογράμμιζε, η συνεκτική φυσική ερμηνεία της κβαντικής θεωρίας κατέστη ιστορικά δυνατή μόνο *μετά* την αναγνώριση φυσικών νόμων που εκτείνονται πέραν του πεδίου της κοινής ανθρώπινης εμπειρίας (π.χ. B1.9). Η κβαντική όμως θεωρία μπορεί εξίσου δύσκολα να ειπωθεί και ως θεωρία που ‘μπορεί ν’ αναχθεί στην εμπειρία’, όπως θα ήλπιζαν οι θετικιστές φιλόσοφοι. Γιατί, όπως ο Bohr επίσης υπογράμμιζε, η κατανόηση της κβαντικής θεωρίας απέφερε, όχι μόνο υπερβάλλουσα της εμπειρίας γνώση, αλλά *ασύμβατη* προς την κοινή εμπειρία γνώση (π.χ. §B-3.1, σημείο 6). Μπορούμε λοιπόν να υποθέσουμε ότι ο Bohr, αντιστρέφοντας τις διακηρύξεις του Glaserfeld και του θετικισμού αντίστοιχα, θα υποστήριζε ότι αυτό που η κβαντική θεωρία κατ’ εξοχήν κατέδειξε είναι ότι ‘η επιστήμη *μπορεί* να υπερβεί το πεδίο της ανθρώπινης εμπειρίας’, ότι ‘στην επιστήμη *υπάρχει* βάθος, *δεν* είναι όλα επιφάνεια’. Έτσι, η διαπίστωση του Neurath, ενός εκ των ηγητόρων του θετικιστικού ρεύματος, ότι «τα γραπτά του Bohr είναι γεμάτα από άξεστη [crass] μεταφυσική» (14 Νοεμβρίου 1934, σε γράμμα του προς τον Carnap) δεν πρέπει να μας εκπλήσσει ιδιαίτερα. Από τη δική του πλευρά, ο Bohr σχολίαζε με το ακόλουθο τρόπο τις θετικιστικές αντιλήψεις.

(B3.5) «Είμαι έτοιμος να συμφωνήσω με τους θετικιστές για τα πράγματα που θέλουν, αλλά όχι για τα πράγματα που απορρίπτουν. Η θετικιστική επιμονή για εννοιολογική καθαρότητα είναι κάτι το οποίο επικροτώ πλήρως, αλλά η απαγόρευση κάθε συζήτησης που αφορά ευρύτερα θέματα, απλά και μόνο επειδή έχουμε έλλειψη ξεκάθαρων εννοιών σ’ αυτό το πεδίο, δεν μου φαίνεται ιδιαίτερα

χρήσιμη. Γιατί μία τέτοια αντίληψη *θα εμπόδιζε* την κατανόηση της κβαντικής θεωρίας» (Όπως το σχόλιο αυτό μεταφέρεται από τον Heisenberg, 1961, σ. 208f).

Ο Bohr επισήμαινε για μία ακόμη φορά εδώ ότι η κατανόηση της κβαντικής θεωρίας απαίτησε τη διάτρηση της βεβαιότητας για το εμπειρικά ‘δοσμένο’ και την παραβίαση της εννοιολογικής καθαρότητας που υποτίθεται ότι αυτό προσφέρει. Μπορούμε λοιπόν επίσης να υποθέσουμε ότι ο Bohr, μαζί με τον Primas αυτή τη φορά (B3.2), θα ισχυριζόταν ότι αυτό που η κβαντική θεωρία κατ’ εξοχήν διέψευσε είναι ‘η αντίληψη του εμπειρισμού ότι τα αντικείμενα δίνονται με απόλυτο τρόπο’.⁹¹

Μία τέτοια βεβαίως θεώρηση αφαιρεί από την Εμπειρική Πραγματικότητα κάθε προνόμιο νοηματικής ‘καθαρότητας’, ‘αδιαμφισβήτητης’ αλήθειας και ‘βέβαιης’ γνώσης: η Εμπειρική Πραγματικότητα προσλαμβάνει τον χαρακτήρα μίας *θεωρητικώς εξαρτώμενης* πραγματικότητας, μίας πραγματικότητας που, αντί ν’ αποδίδει νόημα, προσλαμβάνει η ίδια το νόημά της από το εννοιολογικό σύστημα της κβαντικής θεωρίας ως όλον. Μπορούμε, λόγου χάριν, να παρατηρήσουμε ότι, στο πλαίσιο της κβαντικής θεωρίας, οι όροι ‘αντικείμενο’, ‘συμβάν’ ή ‘φαινόμενο’ δεν έχουν κάποιο *a priori* νόημα. Και όλα αυτά σημαίνουν, περαιτέρω, ότι η ‘αλήθεια’ των εμπειρικών προτάσεων συναρτάται με την ‘αλήθεια’ του κβαντικού οικοδομήματος ως όλου, η εμπειρική γνώση εκτιμάται υπό το πρίσμα της προσφερόμενης (από την κβαντική θεωρία) *πέραν* της εμπειρίας ‘γνώσης’, ενώ οι όροι ‘αντικειμενικότητας’, όσον αφορά τη συγκρότηση των κβαντικών αντικειμένων (ο τρόπος επακριβούς καθορισμού της κατάστασης του υπό μελέτη συστήματος ή, αλλιώς, οι όροι διεξαγωγής μίας τομής Heisenberg, §B-2, σημείο 1) υπαγορεύονται από τις γενικές αρχές του κβαντικού φορμαλισμού. Έτσι, γίνεται εν τέλει φανερό ότι, εντός του κβαντικού πλαισίου, η Εμπειρική Πραγματικότητα απολαμβάνει το

⁹¹ Όπως σημειώσαμε στο Α’ μέρος της εργασίας μας, η ερμηνευτική προσέγγιση του Bohr ειδώθηκε από ορισμένους φιλοσόφους ως σαφής έκφραση μίας θετικιστικής ή εργαλειοκρατικής τοποθέτησης. Προσπαθήσαμε δε να δείξουμε ότι, καθ’ όλη την περίοδο εφαρμογής της AAB, τόσο η μεθοδολογική στρατηγική, όσο και οι γενικότερες θέσεις του Bohr επερωτούν ευθέως την εγκυρότητα μίας τέτοιας εκτίμησης (§A-5.1.2). Στους φιλοσόφους που εξέφρασαν την εκτίμηση αυτή (τους οποίους μνημονεύσαμε στο Α’ μέρος της εργασίας μας), οφείλουμε να προσθέσουμε στο σημείο αυτό τους Beller και Fine, λόγω της στενής συνάφειας της κριτικής τους με το ζήτημα που μας απασχολεί εδώ. Γράφουν λοιπόν οι Beller και Fine: «Η χρήση της ‘ολότητας’ από τον Bohr είναι *θετικιστική*, εφόσον αναφέρεται στην ανάγκη προσδιορισμού ολόκληρης της πειραματικής διάταξης για την περιγραφή των κβαντικών φαινομένων. Ο Bohr νοιαζόταν μόνο για τη ‘μη-διαχωρισσιμότητα’ μεταξύ των μικρο-αντικειμένων και των μακροσκοπικών μετρητικών συσκευών. ... Σε μία EPR κατάσταση μπορεί βεβαίως να προσπαθήσει κανείς να επεκτείνει τη μη-διαχωρισσιμότητα στα ίδια τα μικρο-αντικείμενα. ... Αλλά, στην περίπτωση του Bohr, μία τέτοια επέκταση της ‘ολότητας’ είναι ακατάλληλη, επειδή για εκείνον, η μετρητική συσκευή όφειλε να είναι, εκ λόγων αρχής, ‘βαριά’ και κλασική» (Beller and Fine, 1994, σσ. 26, 27). Όπως παρατηρούμε, οι Beller και Fine επιχειρούν να καταδείξουν τη θετικιστική τοποθέτηση του Bohr δια της απόδοσης μίας μακρο-ρεαλιστικής αντίληψης στην ερμηνευτική του προσέγγιση, γεγονός που, όπως δείξαμε, δεν ευσταθεί (§B-2, σημείο 2β).

καθεστώς μίας *επιστημικώς οριζόμενης* πραγματικότητας, μίας ‘υπό συνθήκη’, κατά την έκφραση του d’ Espagnat, πραγματικότητας, μίας πραγματικότητας, επομένως, εκ θεμελίων ασύμβατης με τον εμπειρικό ρεαλισμό του κοινού νου, του κλασικού εμπειρισμού, του θετικισμού, αλλά και κάθε άλλης μακρο-ρεαλιστικής αντίληψης (της αντίληψης, λόγου χάριν, που εκφράζεται από τις σύγχρονες εργαλειοκρατικές προσεγγίσεις, §B-3.2, σημείο 2). Όσον αφορά τον Bohr, ο προσδιορισμός των κβαντικών αντικειμένων ως ‘εξιδανικεύσεων’, καθώς και ο ίδιος ο ορισμός της έννοιας του φαινομένου₂, αποτελούν πρόσθετα τεκμήρια της ριζικής του διαφοροποίησης από όλες εκείνες τις προσεγγίσεις που υιοθετούν *καθ’ ολοκληρίαν* τον ρεαλισμό του κοινού νου. Εν τέλει, η παρούσα ανάλυση, συνεπικουρούμενη από το Α’ μέρος της εργασίας μας, οδηγεί σ’ ένα και μόνο συμπέρασμα: η διάσταση της θεώρησης του Bohr από τις μακρο-ρεαλιστικές αντιλήψεις υπήρξε *εξίσου βαθιά* τόσο πριν όσο και μετά τη διατύπωση της συμπληρωματικότητας.

1γ. *Αναγνωρίσιμες συγγένειες με τις επιστημικές και πραγματιστικές θεωρήσεις.* Όπως διαπιστώσαμε, η έννοια της Εμπειρικής Πραγματικότητας συνταιριάζεται κατ’ αρχήν αρμονικά με τις αμιγώς επιστημικές θεωρήσεις, ενώ αποδεικνύεται ασύμβατη με όλες εκείνες τις προσεγγίσεις που υιοθετούν *καθ’ ολοκληρίαν* τον εμπειρικό ρεαλισμό του κοινού νου. Οφείλουμε όμως να εξετάσουμε και ένα ακόμη, ενδιάμεσο κατά κάποιο τρόπο, ενδεχόμενο. Γιατί υπάρχουν φιλόσοφοι που υποστηρίζουν ότι ‘η άρνηση του ρεαλισμού του κοινού νου, του ρεαλισμού που αφορά, λόγου χάριν, τα τραπέζια και τις καρέκλες’ επιδεικνύει έναν ‘επιστημονισμό’ που, ‘χωρίς να είναι τελείως εσφαλμένος’, μπορεί να έχει ‘καταστροφικές’ πολλές φορές συνέπειες (Putnam, 1987, σ. 166). Υπ’ αυτήν την προοπτική, ο Putnam αναπτύσσει περαιτέρω τον φιλοσοφικό του προβληματισμό και ορίζει τον ‘εσωτερικό’ του ρεαλισμό (‘internal realism’) με τον ακόλουθο τρόπο.

(B3.6) «Οι μεταφυσικοί ρεαλιστές εξακολουθούν να μάχονται έως σήμερα ... για το εάν, λόγου χάριν, τα χωρο-χρονικά σημεία είναι μεμονωμένες οντότητες ή ιδιότητες (‘individuals or properties’), εξατομικευμένες οντότητες ή απλά όρια (‘particulars or mere limits’). Η γνώμη μου είναι ότι, ακόμη κι’ ο ίδιος ο Θεός, εάν δεχόταν ν’ απαντήσει στην ερώτηση ‘αν τα σημεία πράγματι υπάρχουν ή είναι απλά όρια’, θα έλεγε ‘δεν γνωρίζω’. Όχι επειδή η παντογνωσία Του είναι περιορισμένη, αλλά επειδή οι ερωτήσεις αποκτούν νόημα μόνο εντός συγκεκριμένων ορίων. ... Το κλειδί του προγράμματός μου, ενός προγράμματος που αποσκοπεί στη διατήρηση του ρεαλισμού του κοινού νου και στην αποφυγή των παραλογισμών και αντινομιών του μεταφυσικού ρεαλισμού, είναι κάτι που το ονόμασα *εσωτερικό ρεαλισμό* (θα μπορούσα να το είχα ονομάσει και *πραγματιστικό ρεαλισμό!*). Ο εσωτερικός ρεαλισμός αφορά κυρίως στην επιμονή ότι ο ρεαλισμός δεν είναι ασύμβατος με τον εννοιολογικό σχετικισμό. Ρεαλισμός

(με μικρό 'ρ') ... είναι η αντίληψη που εκλαμβάνει το οικείο σχήμα του κοινού νου, καθώς και τα επιστημονικά, καλλιτεχνικά ή άλλα σχήματα, ως καθ' αρχήν αξιόπιστα ('at face value') χωρίς να προστρέχει στην έννοια του πράγματος 'καθ' εαυτού'. Ενωσιολογικός σχετικισμός είναι η αντίληψη που ισχυρίζεται ... ότι η απόφαση για το ποιες οντότητες είναι 'αφηρημένες οντότητες' ή 'συγκεκριμένα αντικείμενα' εξαρτάται από την υιοθετούμενη, κάθε φορά, οπτική γωνία» (Putnam, 1987, σ. 172 και 173).

Ο Putnam εκθέτει εδώ μία πραγματιστική, όπως ο ίδιος δηλώνει, θεώρηση περί 'πραγματικότητας', 'ύπαρξης' και 'αλήθειας', μία θεώρηση που επιχειρεί να διασώσει τόσο τον ρεαλισμό του κοινού νού όσο και τον επιστημονικό ρεαλισμό, 'χωρίς να προστρέχει στην έννοια του πράγματος καθ' εαυτού'. Η παρατήρηση δε ότι 'οι ερωτήσεις περί ύπαρξης αποκτούν νόημα μόνο εντός συγκεκριμένων ορίων' αποκαλύπτει τον επιστημικό κατά βάση προσανατολισμό της συγκεκριμένης θεώρησης, εφόσον φέρει ανάλογο περιεχόμενο με τα 'εσωτερικά' λόγου χάριν ερωτήματα περί 'ύπαρξης' και 'αλήθειας' του Carnap, εκείνα τα ερωτήματα που αποκτούν σαφές νόημα και επιδέχονται έγκυρων απαντήσεων μόνο όταν τίθενται εντός ενός συγκεκριμένου θεωρητικού πλαισίου (§B-3.2, σημείο 2). Θα λέγαμε ότι, υπό το πρίσμα μίας πραγματιστικής θεώρησης, μίας θεώρησης που επιθυμεί να δικαιώσει όλα εκείνα τα σχήματα που συμβάλλουν στην *επιτυχή οργάνωση* της ανθρώπινης δράσης και εμπειρίας, ο Putnam επεκτείνει, εύλογα, τον σχεσιακό προσδιορισμό της 'πραγματικότητας', της 'ύπαρξης' και της 'αλήθειας' των επιστημικών θεωρήσεων σε έξω-επιστημονικά πεδία (όπως στα πεδία της 'τέχνης' ή του 'κοινού νού'). Μήπως λοιπόν μία τέτοια θεώρηση περιγράφει κατάλληλα τη θέση της Εμπειρικής Πραγματικότητας εντός του κβαντικού πλαισίου;

Δεν πρέπει να ξεχνάμε ότι η Εμπειρική Πραγματικότητα είναι μία εξωτερική του υποκειμένου και διυποκειμενικώς αντικειμενική πραγματικότητα, μία πραγματικότητα που συμπεριλαμβάνει τόσο τις δυνατές όσο και τις πραγματωμένες υλικές 'εμφανίσεις' των κβαντικών αντικειμένων στο πεδίο της κοινής ανθρώπινης εμπειρίας. Υπ' αυτόν της λοιπόν τον προσδιορισμό, η Εμπειρική Πραγματικότητα εναρμονίζεται, πράγματι, με έναν πραγματιστικό ορισμό της 'αλήθειας' υπό τη μορφή που αυτός εκφράζεται από τον James (η φιλοσοφία του οποίου αναγνωρίζεται από τον Putnam ως σημαντική πηγή έμπνευσης για το πρόγραμμα του 'εσωτερικού ρεαλισμού'). Γράφει λοιπόν ο James:

(B3.7) «Αλλά εσύ κι' εγώ μπορούμε ν' ανταλλάξουμε θέσεις: όπως εσύ μπορείς να εγγυηθείς για το γραφείο μου, μπορώ κι' εγώ να εγγυηθώ για το δικό σου. Αυτή η έννοια της πραγματικότητας που αντλείται από τη συνήθη εμπειρία, της πραγματικότητας που είναι *ανεξάρτητη* κι' από τους δυο μας, βρίσκεται στη βάση του πραγματιστικού ορισμού της αλήθειας» (James, 1909/1970, σ. 217).

Ο ορισμός αυτός, ένας ορισμός που τοποθετεί την ‘αλήθεια’ στα διυποκειμενικώς αναγνωρίσιμα αντικείμενα και γεγονότα της συνήθους εμπειρίας, προσφέρει μια συνεκτική πράγματι θεώρηση περί ‘αντικειμενικότητας’ και ‘αλήθειας’ στο πεδίο της Εμπειρικής Πραγματικότητας. Πέραν όμως αυτού, εάν εστιάσουμε την προσοχή μας στην ιδιαίτερη φιλοσοφική κοσμοθεώρηση του Bohr, μπορούμε να κάνουμε τις ακόλουθες πρόσθετες παρατηρήσεις. Κατ’ αρχήν, η διαρκής έγνοια του Bohr για την ορθή χρήση των λέξεων – μία χρήση που, για να είναι ορθή, όφειλε να λαμβάνει κάθε φορά υπ’ όψιν το νοηματοδοτούν τη γλώσσα θεωρητικό πλαίσιο (π.χ. §A-4.3) – μπορεί πράγματι να ειπωθεί ως σαφής ένδειξη μίας πραγματολογικής αντίληψης για τη χρήση της γλώσσας, μίας αντίληψης που συνοδοιπορεί εκ φύσεως με τις πραγματιστικές ιδέες. Επιπροσθέτως, οι επίμονες αναφορές του Bohr στην εγγενή ‘ανορθολογικότητα’ της κβαντικής θεωρίας, μία ‘ανορθολογικότητα’ που, όπως κατ’ εξακολούθηση τόνιζε, απέρρευε από τη λογική ασυμβατότητα του κβαντικού φορμαλισμού με την ‘πραγματικότητα’ της κοινής ανθρώπινης αντίληψης (§B-1, σημείο 5), μας ωθούν να εικάσουμε ότι θα εκλάμβανε, όπως ακριβώς και ο Putnam, ως στείορο ‘επιστημονισμό’ ή ακόμη και ‘παραλογισμό’ την άρνηση της ‘αλήθειας’ του κοινού νου και της αποπροσωποποιημένης ανθρώπινης εμπειρίας. Εν τέλει, και ίσως το κυριότερο, μετά τη διατύπωση της συμπληρωματικότητας, η ακύρωση κάθε δυνατότητας επίκλησης μίας ‘αντιστοιχιστικής’ θεωρίας περί αλήθειας στο κβαντικό πλαίσιο οδηγούσε τον Bohr σε αποφάνσεις όπως οι ακόλουθες.

(B3.8) A. «Σκοπός της επιστήμης είναι να επεκτείνει το πεδίο της εμπειρίας μας και, παράλληλα, να θέτει τη συσσωρευμένη εμπειρία σε τάξη ... Κατά την προσπάθεια περιγραφής της φύσης, σκοπός μας δεν είναι ν’ ανακαλύψουμε την αληθινή ουσία των φαινομένων, αλλά να εντοπίσουμε, όσο περισσότερο γίνεται, σχέσεις μεταξύ των πολυσχιδών πλευρών της εμπειρίας μας» (Bohr, 1929β, *ATDN*, σ. 1 και σ.18).

B. «Η περιγραφή αυτή [η κβαντομηχανική περιγραφή] χρησιμοποιεί έναν μαθηματικό φορμαλισμό στον οποίο οι μεταβλητές των κλασικών θεωριών έχουν αντικατασταθεί από σύμβολα που εντάσσονται σε μία μη-μεταθετική άλγεβρα εμπεριέχουσα τη σταθερά του Planck. Εξ αιτίας του ιδιαίτερου χαρακτήρα των συγκεκριμένων αφαιρέσεων, ο φορμαλισμός δεν επιδέχεται εικονιστικής ερμηνείας κατά τον συνήθη τρόπο, αλλά αποσκοπεί άμεσα στην καθιέρωση σχέσεων μεταξύ παρατηρήσεων που επιτυγχάνονται υπό καλώς ορισμένες συνθήκες» (Bohr, 1954, *APHK*, II, σ. 71).

Έχει ενδιαφέρον ν’ αντιπαραβάλουμε τους ανωτέρω ισχυρισμούς με την πραγματιστική θεώρηση της επιστήμης που προβάλλεται από τον Stapp στο απόσπασμα που ακολουθεί. Γράφει λοιπόν ο Stapp:

(B3.9) «Η σημασία που αποκτά η πραγματιστική θεώρηση στο επιστημονικό πεδίο αντικατοπτρίζεται στην άρνηση της ιδέας που εκλαμβάνει ως σκοπό της επιστήμης

τη συγκρότηση μίας νοητικής ή μαθηματικής εικόνας για τον ίδιο τον κόσμο. Υπό το πρίσμα της πραγματιστικής θεώρησης, σκοπός της επιστήμης είναι η αύξηση και η ταξιθέτηση της εμπειρίας. Μία επιστημονική θεωρία οφείλει να κρίνεται βάσει της ικανότητάς της να επεκτείνει το πεδίο της εμπειρίας μας και να το θέτει σε τάξη. Δεν χρειάζεται να προσφέρει μία νοητική ή μαθηματική εικόνα του ίδιου του κόσμου, επειδή η δομική μορφή του κόσμου μπορεί να είναι τέτοια ώστε να μην μπορεί να τεθεί σε απλή αντιστοιχία με τον τύπο των δομών που μπορούν να συγκροτηθούν από τις νοητικές μας διαδικασίες» (Stapp, 1993, σ. 60).

Οι ομοιότητες των δύο προσεγγίσεων στα συγκεκριμένα κείμενα είναι εκ πρώτης όψεως εντυπωσιακές. Εάν λοιπόν περιοριστεί κανείς σ' αυτές, μπορεί να καταλήξει μαζί με τον Stapp στο ακόλουθο συμπέρασμα:

(B3.10) «Η ίδια η έννοια της συμπληρωματικότητας του Bohr είναι καθ' ολοκληρίαν πραγματιστική: οι ιδέες οφείλουν ν' αξιολογούνται από τη χρησιμότητά τους, οι ιδέες επομένως της φυσικής οφείλουν ν' αξιολογούνται βάσει της ικανότητάς τους να θέτουν σε τάξη τις φυσικές εμπειρίες και όχι βάσει της ακρίβειας με την οποία υποτίθεται ότι καθρεφτίζουν την ουσία της εξωτερικής πραγματικότητας. Η χρήση συμπληρωματικών ιδεών σε συμπληρωματικές καταστάσεις είναι φυσικός συνοδοιπόρος της πραγματιστικής σκέψης» (στο ίδιο, σ. 64).

Η θεώρηση του Bohr φέρει, πράγματι, εμφανείς πραγματιστικές πτυχές. Οι πτυχές εξάλλου αυτές ενέχονται στην ίδια την έννοια της Εμπειρικής Πραγματικότητας, όπως αυτή προσδιορίζεται από τις σύγχρονες προσεγγίσεις στην κβαντική θεωρία. Όπως λόγου χάριν, επισημαίνει ο Primas, «τα συνήθη ad hoc αξιώματα [της κβαντικής μηχανικής] για την αξιολόγηση των αναμενόμενων τιμών και για τη λειτουργική περιγραφή της μετρητικής διαδικασίας (η αποκαλούμενη 'κατάρρευση' της κυματοσυνάρτησης) αποτελούν *πραγματιστικούς κανόνες εργασίας* που εντάσσονται στην έξω-φυσική» (Primas, 1990, σ. 251). Η επιτυχής δε 'χρήση' της κβαντικής μηχανικής διασφαλίζεται από αυτούς ακριβώς τους κανόνες, εφόσον «όλες οι καλώς επιβεβαιωμένες κβαντομηχανικές εφαρμογές ανήκουν σε μία Βακόνεια επιστήμη ... που ασκείται στο επίπεδο της τεχνολογίας», σ' ένα επίπεδο του οποίου «τα εργαλεία απολαμβάνουν έγκυρης περιγραφής με όρους της κλασικής φυσικής και των τεχνολογικών επιστημών που σχετίζονται μ' αυτήν» (στο ίδιο, σ. 253).

Γίνεται λοιπόν φανερό ότι Εμπειρική Πραγματικότητα, το πεδίο της 'έξω-φυσικής', το πεδίο της 'Βακόνειας επιστήμης' και της 'τεχνολογίας', το πεδίο εν τέλει των κατά Bohr 'φαινομένων₂' είναι ένα πεδίο που διέπεται από πραγματιστικούς κανόνες εργασίας και είναι εκείνο ακριβώς το πεδίο που καθιστά την κβαντική θεωρία αποτελεσματική στη 'χρήση' της. Οφείλουμε δε να σημειώσουμε ότι η έννοια της συμπληρωματικότητας εφαρμόζεται *αποκλειστικά* στο συγκεκριμένο πεδίο, εφόσον αναφέρεται στις συνθήκες αμοιβαίου αποκλεισμού των

κατά Bohr φαινομένων². Μπορεί όμως το γεγονός αυτό να μας οδηγήσει αυτονόητα στο συμπέρασμα του Stapp ότι η ίδια η έννοια της συμπληρωματικότητας του Bohr υποδηλώνει την αναγκαιότητα αξιολόγησης των ιδεών ‘βάσει της χρησιμότητάς τους’, ότι η ίδια επομένως η έννοια της συμπληρωματικότητας είναι ‘καθ’ ολοκληρίαν πραγματιστική’; Για ν’ απαντήσουμε στο συγκεκριμένο ερώτημα, θα στηριχθούμε σ’ ένα παράδειγμα που χρησιμοποίησε ο ίδιος ο Bohr στην τελευταία του συνέντευξη προς τον Kuhn λίγο πριν τον θάνατό του (Bohr, 1962, ενότητα. 5).

Όπως ισχυρίστηκε ο Bohr, εάν θελήσει κανείς ν’ αντλήσει διδάγματα για την ορθή χρήση της γλώσσας, μπορεί ν’ αναλογισθεί τη λειτουργία των επιφανειών Riemann στα μαθηματικά.⁹² Εν συντομία, υπάρχουν συναρτήσεις μιγαδικών μεταβλητών (όπως η λογαριθμική συνάρτηση) που επιδέχονται πολλαπλές τιμές στο ίδιο σημείο του μιγαδικού επιπέδου. Η πολυσημία μίας τέτοιας συνάρτησης μπορεί ν’ αρθεί δια της εισαγωγής ενός συνόλου μιγαδικών επιπέδων – ‘φύλλων’ Riemann – διατεταγμένων κατά τέτοιο τρόπο, ώστε η συγκεκριμένη συνάρτηση να επιδέχεται μία μοναδική τιμή σε κάθε ένα από τα ‘φύλλα’ αυτά. Οι ιδιαίτερες όμως αυτές τιμές δεν είναι ασύνδετες μεταξύ τους, εφόσον τα ‘φύλλα’ Riemann ως τμήματα μίας ενιαίας επιφάνειας – της επιφάνειας Riemann – εντάσσονται σ’ ένα ευρύτερο συνεκτικό σύνολο. Εάν μεταφερθούμε τώρα στη χρήση της γλώσσας, ή άρση της λεκτικής ασάφειας προϋποθέτει τον σαφή καθορισμό του νοηματικού πλαισίου εντός του οποίου εκφέρονται κάθε φορά οι λέξεις. Τα εξειδικευμένα αυτά νοηματικά πλαίσια⁹³ θα μπορούσαν, όπως τόνισε ο Bohr, ν’ αποκληθούν και επίπεδα ‘αντικειμενικότητας’, εφόσον διασφαλίζουν – όπως ακριβώς τα φύλλα Riemann – τη μονοσήμαντη νοηματοδότηση και, κατ’ επέκταση, την αντικειμενική εκφορά και επικοινωνία των λέξεων. Καθώς όμως η γλώσσα οφείλει να διαθέτει και *καθολική* νοηματική συνεκτικότητα, τα επί μέρους νοηματικά πλαίσια οφείλουν να θεώνται και υπό μία ευρύτερη αντίληψη, ικανή να ερμηνεύει τη δική τους ιδιαιτερότητα και να τα εντάσσει – όπως ακριβώς η επιφάνεια Riemann – σ’ ένα συνεκτικό σύνολο.

⁹² Όπως εξομολογήθηκε ο Bohr στον Kuhn, η συγκεκριμένη λειτουργία των επιφανειών Riemann του είχε προξενήσει τότε εντύπωση από την εποχή ήδη που ήταν φοιτητής, ώστε είχε σκεφθεί να γράψει ένα βιβλίο για το εν λόγω ζήτημα. Η επιθυμία όμως αυτή δεν υλοποιήθηκε ποτέ.

⁹³ Μιλάμε για ‘νοηματικά πλαίσια’ και όχι για ‘γλωσσικά πλαίσια’, επειδή είναι δυνατό δύο ‘επίπεδα αντικειμενικότητας’ να είναι μεταξύ τους λογικώς ασύμβατα, κάτι που συμβαίνει ασφαλώς στην περίπτωση της κβαντικής κοσμοθεώρησης και της κοσμοθεώρησης του κοινού νου. Μία τέτοια ασυμβατότητα, ενώ αναιρεί κάθε δυνατότητα αμοιβαίας γλωσσικής μετάφρασης, δεν αποκλείει τη νοηματική συνεκτικότητα των ‘επιπέδων’ (εάν αυτά μπορούν, κατά το πρότυπο Riemann, ν’ αποτελέσουν τμήματα μίας ενιαίας νοηματικής δομής), μία συνεκτικότητα που διασφαλίζει αντικειμενική κατανόηση και επικοινωνία.

Μπορούμε λοιπόν να υποθέσουμε ότι, υπ' αυτήν ακριβώς την προοπτική, ο Bohr θα ισχυριζόταν ότι, εάν μία θεώρηση είναι διυποκειμενικώς αναγνωρίσιμη και ελέγξιμη – οπότε διαμορφώνει το δικό της 'επίπεδο αντικειμενικότητας' - το αντιστοιχούν σ' αυτήν πλαίσιο κατανόησης και επικοινωνίας είναι δυνατό να διαθέτει 'νοηματική αυτονομία' (ισχυρισμός που συνάδει με τον 'ενοιολογικό σχετικισμό' του Putnam, B3.6), να διέπεται επομένως από τις δικές του ιδιαίτερες 'συνθήκες αλήθειας' (ισχυρισμός που συνάδει με τον πραγματιστικό ορισμό της 'αλήθειας' του James, B3.7) και να διαμορφώνει έτσι τον δικό του 'εσωτερικό ρεαλισμό' (ισχυρισμός που συνάδει με τον 'εσωτερικό ρεαλισμό' του Putnam, B3.6). Θα ισχυριζόταν δε, περαιτέρω, ότι, εφόσον το πεδίο της κοινής ανθρώπινης εμπειρίας αποτελεί ένα ιδιαίτερο πράγματι 'επίπεδο αντικειμενικότητας', τα εμπεριεχόμενα σ' αυτό αντικείμενα και γεγονότα είναι 'πραγματικά', οι αναφερόμενες σ' αυτό γλωσσικές προτάσεις κρίνονται βάσει των δικών του 'συνθηκών αλήθειας', η κοσμοθεώρηση δε του κοινού νου ενέχει τον δικό της 'εσωτερικό ρεαλισμό'. Μπορούμε όμως να εικάσουμε ότι, κατ' αναλογία προς το πρότυπο Riemann, ο Bohr θα προσέθετε αμέσως ότι όλα τα προηγούμενα διατηρούν την ισχύ τους μόνο στο βαθμό που τα εξετάζει κανείς εντός του δικού τους 'επιπέδου αντικειμενικότητας'. Γιατί, θα συνέχιζε, υφίσταται μία ευρύτερη κοσμοθεώρηση – η κβαντική κοσμοθεώρηση – εντός της οποίας η εμπειρική πραγματικότητα εντάσσεται με απόλυτα συνεκτικό τρόπο. Μία κοσμοθεώρηση που, επειδή ακριβώς διαθέτει την ικανότητα της νοηματικής ενοποίησης, δεν μπορεί να θεωρηθεί ισότιμη με την κοσμοθεώρηση του κοινού νου (όπως ακριβώς η επιφάνεια Riemann δεν μπορεί να θεωρηθεί νοηματικά ισότιμη με τα 'φύλλα' που εμπεριέχει).

Είναι φανερό ότι, στο πλαίσιο μίας τέτοιας θεώρησης, η πραγματιστική έννοια της 'αλήθειας', ενώ συναντά εν μέρει τη φιλοσοφική της δικαίωση, υποκαθορίζεται εν τέλει από την επιστημική έννοια της 'αλήθειας', όπως η τελευταία προτείνεται από τις αμιγώς επιστημικές προσεγγίσεις: η κβαντική θεωρία, ως όλον, φωτίζει το επικρατούν στην εμπειρική πραγματικότητα καθεστώς, κατανοεί 'εκ των έξω' τις 'συνθήκες αλήθειας' του και προσδιορίζει επακριβώς τα όρια ισχύος τους. Είναι χαρακτηριστικό ότι η ίδια η έννοια της συμπληρωματικότητας διατηρεί την 'αλήθεια' εμφανώς αντικρουόμενων, υπό το πρίσμα της κοινής ανθρώπινης αντίληψης, εννοιών (π.χ. 'κύμα' έναντι 'σωματιδίου'). Όπως επανειλημμένα επισήμαινε ο Bohr, η κβαντική θεωρία καταδεικνύει ότι η 'πραγματικότητα' της κοινής εμπειρίας και της καθημερινής γλώσσας αποτελεί μία 'εξιδανίκευση' ή 'αφαίρεση', η εγκυρότητα της

οποίας περιορίζεται αποκλειστικά στο πεδίο όπου όλες οι εμπλεκόμενες δράσεις είναι επαρκώς μεγάλες σε σύγκριση με το κβάντο δράσης (π.χ. B1.9). Με άλλα λόγια, από τη στιγμή που κατακτήθηκε η κβαντική κοσμοθεώρηση, η εμπειρική πραγματικότητα (με ‘ε’ και ‘κ’ μικρά) δεν μπορεί παρά να θεάται (τουλάχιστον από την επιστήμη) ως ‘Εμπειρική Πραγματικότητα’ (με ‘Ε’ και ‘Κ’ κεφαλαία).

Από τα παραπάνω μπορούμε επίσης να διαπιστώσουμε ότι, όταν ο Stapp διατείνεται ότι ‘η έννοια της συμπληρωματικότητας του Bohr είναι καθ’ ολοκληρίαν πραγματιστική’ (B3.10), διερμηνεύει τη θεώρηση του Bohr υπό το πρίσμα της δικής του κατά βάση αντίληψης. Όταν βεβαίως ο Bohr συνόμιζε την πρωτόγνωρη κατάσταση που αντιμετώπιζε τότε η επιστήμη στην απόφαση ότι ‘σκοπός της επιστήμης δεν είναι η ανακάλυψη της αληθινής ουσίας των φαινομένων¹ αλλά η καθιέρωση σχέσεων που θέτουν σε τάξη τις πολυσχιδείς πλευρές της εμπειρίας’ (B3.8, A), διατύπωνε αναμφίβολα έναν ισχυρισμό που προσομοιάζει ισχυρά στις πραγματιστικές θέσεις. Η συγγενής όμως ορολογία δεν σημαίνει, κατ’ ανάγκην, και ταύτιση αντιλήψεων. Γιατί, ενώ στο πλαίσιο της προσέγγισης του Bohr, ο ισχυρισμός αυτός προέκυπε ως *καταληκτικό συμπέρασμα*, στο πλαίσιο της προσέγγισης του Stapp αποτελεί ρητή *φιλοσοφική προκείμενη*. Αυτό γίνεται φανερό από τα εξής.

Ο Bohr, μέσω της δεκαπενταετούς του προσπάθειας να κατανοήσει ‘τη φύση των υποατομικών διαδικασιών’ (π.χ. A5.3), κατέληξε στο συμπέρασμα ότι ήταν η ίδια η φύση των υποατομικών διαδικασιών – ο ολιστικός τους χαρακτήρας – εκείνη που επέβαλε την έννοια των συμπληρωματικών φαινομένων² (π.χ. B1.24), μία έννοια που έθετε ασφαλώς σε τάξη τις πολυσχιδείς πλευρές της εμπειρίας. Το κύριο όμως επίτευγμα της έννοιας αυτής ήταν ότι επιτύγγανε (κατά το πρότυπο Riemann) την ενσωμάτωση της εγγενούς ‘κλασικότητας’ της εμπειρικής πραγματικότητας σε μία *ενιαία και συνεκτική* κοσμοθεώρηση, την κβαντική κοσμοθεώρηση. Γι’ αυτό και η ‘σύνθεση’ των συμπληρωματικών φαινομένων² ειδώθηκε από τον Bohr ως ‘φυσική γενίκευση’ των κλασικών τρόπων περιγραφής (B1.18 και §B-2, σημείο 2στ).

Ο Stapp, αντίθετα, ξεκινά από την πεποίθηση ότι «οι ανθρώπινες έννοιες είναι απλώς εργαλεία για την κατανόηση της εμπειρίας και ότι οι ανθρώπινες ιδέες, όντας φυλακισμένες στο πεδίο της ανθρώπινης εμπειρίας, δεν μπορούν να ‘γνωρίσουν’ τίποτε άλλο παρά άλλες ανθρώπινες ιδέες» (στο ίδιο, σ. 70). Έτσι, αναγνωρίζει *εξ αρχής* τη συμπληρωματικότητα ως αντίποδα κάθε ‘απόλυτης θεμελιοκρατικής κοσμοθεώρησης’ (absolutist viewpoint’, σ. 70) και ως ‘φυσικό συνοδοιπόρο της πραγματιστικής σκέψης’ (B3.10), επειδή ακριβώς την εκλαμβάνει ως

αποτελεσματικό 'εργαλείο' για την κατανόηση αμοιβαίως αποκλειόμενων πεδίων της ανθρώπινης εμπειρίας. Αυτό όμως που κατ' εξοχήν ο Stapp παραβλέπει είναι ότι η κατά Bohr έννοια της συμπληρωματικότητας, εκτός από τον 'αμοιβαίο αποκλεισμό', υποδηλώνει και την 'αμοιβαία συμπλήρωση' των κβαντικών φαινομένων₂ (§B-1, σημείο 8δ). Μία τέτοια δε συμπλήρωση μπορεί να θεωρηθεί αναγκαία, μόνο στο βαθμό που αναμένεται ν' αποφέρει 'κάτι' που υπερβαίνει τα φαινόμενα καθαυτά, 'κάτι' που υπερβαίνει, επομένως, το πεδίο στο οποίο αυτά εντίθενται, 'κάτι' που υπερβαίνει, εν τέλει, το πεδίο της ανθρώπινης εμπειρίας. Έτσι, η κατά Bohr έννοια της συμπληρωματικότητας, μπορεί μεν ν' αναφέρεται στο πεδίο της ανθρώπινης εμπειρίας, δεν είναι όμως σε καμία περίπτωση 'φυλακισμένη' σ' αυτό. Γιατί αυτό το 'κάτι' που κατακτάται από την αμοιβαία συμπλήρωση των κβαντικών φαινομένων₂ είναι γνώση που αφορά την πέραν της εμπειρίας και του υποκειμένου φυσική πραγματικότητα (§B-2, σημείο 2ζ).

Οφείλουμε βεβαίως να σημειώσουμε ότι τόσο ο Stapp όσο και ο Putnam δεν αρνούνται την ύπαρξη μίας πέραν του υποκειμένου και της εμπειρίας φυσικής πραγματικότητας. Αποκλείουν όμως κατηγορηματικά κάθε δυνατότητα γνωσιακής διείσδυσης σ' αυτήν. Έτσι, στο πλαίσιο των φιλοσοφικών τους σχημάτων, η έννοια της πέραν του υποκειμένου και της εμπειρίας πραγματικότητας στερείται την οιαδήποτε επεξηγηματική ισχύ. Τα φιλοσοφικά επομένως σχήματα των Stapp και Putnam οφείλουν, βάσει του κριτηρίου μας, να κριθούν ως αντι-ρεαλιστικά. Στο πλαίσιο τώρα της θεώρησης του Bohr, η έννοια της Εμπειρικής Πραγματικότητας, πέραν των διακριτών πραγματιστικών της πτυχών, διαθέτει, όπως είδαμε, έναν επιστημικό κατά βάση χαρακτήρα: οτιδήποτε αφορά το πεδίο της ανθρώπινης εμπειρίας φωτίζεται και προσδιορίζεται από το εννοιολογικό σύστημα της κβαντικής θεωρίας ως όλον. Η έννοια συνεπώς της Εμπειρικής Πραγματικότητας αδυνατεί να πιστοποιήσει από μόνη της τη ρεαλιστική τοποθέτηση της κατά Bohr θεώρησης. Οφείλουμε όμως να επικεντρώσουμε την προσοχή μας στο ακόλουθο σημείο.

Σύμφωνα με τις γενικές αρχές του επιστημικού εμπειρισμού, η επιστημική και επεξηγηματική επάρκεια μίας επιστημονικής θεωρίας αξιολογούνται μέσω ορισμένων κριτηρίων συντακτικής και εμπειρικής φύσεως (η απλότητα, η ικανότητα λογικής ενοποίησης και η προβλεπτική ακρίβεια είναι τα κυριότερα από αυτά, βλ. §B-3.2, σημείο 3). Μπορούμε όμως να διαπιστώσουμε ότι, με δεδομένη βεβαίως την εντυπωσιακή προβλεπτική ακρίβεια της κβαντικής θεωρίας, ο Bohr ακολουθούσε την αντίστροφη ακριβώς πορεία αξιολόγησης. Ας τον παρακολουθήσουμε.

(B3.11) «Η ολότητα ενός κβαντικού φαινομένου₂ βρίσκει τη λογική της έκφραση στο γεγονός ότι κάθε προσπάθεια να διαχωριστεί η ολότητα αυτή με καλώς προσδιορισμένο τρόπο θα απαιτούσε μία αλλαγή στην πειραματική διάταξη, ασυμβίβαστη με την εμφάνιση του ίδιου του φαινομένου₂. ... Είναι σημαντικό λοιπόν να κατανοήσουμε ότι ο κβαντομηχανικός φορμαλισμός επιτρέπει καλώς ορισμένες εφαρμογές μόνο όταν οι τελευταίες αναφέρονται σε τέτοιου είδους κλειστά φαινόμενα₂. ... Εδώ, η λογική προσέγγιση περιορίζεται εκ των πραγμάτων στη λογική παραγωγή σχετικών πιθανοτήτων που αφορούν την εμφάνιση των φαινομένων₂ εντός συγκεκριμένων πειραματικών συνθηκών. ... Έτσι, η ιστορία της φυσικής επιστήμης καταδεικνύει ότι η εξερεύνηση ευρύτερων πεδίων της εμπειρίας, με το να αποκαλύπτει μη-αναμενόμενους περιορισμούς στις συνηθισμένες ιδέες, οδηγεί σε νέους τρόπους αποκατάστασης της λογικής τάξης» (Bohr, 1954, *APHK*, II, σσ. 72, 73 και 74).

Αντί λοιπόν ν' αξιολογείται η κβαντική θεωρία μέσω των συνηθισμένων επιστημικών κριτηρίων, είναι τα κριτήρια εκείνα που αξιολογούνται και αναθεωρούνται βάσει της προσφερόμενης από την κβαντική θεωρία γνώσης. Η αναθεώρηση δε αυτή αγγίζει, όπως βλέπουμε, ακόμη και τους 'τρόπους αποκατάστασης της λογικής τάξης'. Ο Bohr αναγνώρισε συνεπώς την κβαντική θεωρία ως επιστημικώς και εξηγητικώς επαρκή, όχι δια της εφαρμογής κάποιων συντακτικών ή λογικών κριτηρίων, αλλά μόνο όταν προσέγγισε μία συνεκτική *φυσική ερμηνεία* του κβαντικού φορμαλισμού, μία ερμηνεία που πρότασε ένα *οντολογικό* χαρακτηριστικό της πέραν του υποκειμένου και της εμπειρίας πραγματικότητας, τον ολιστικό της χαρακτήρα (στη συνέχεια, §B-3.4.2, σημείο 2).

Έτσι, καταλήγουμε στο ακόλουθο συμπέρασμα. Η ρεαλιστική τοποθέτηση της θεώρησης του Bohr δεν εδράζεται στην Εμπειρική Πραγματικότητα, στην πραγματικότητα των κβαντικών φαινομένων₂ – μία πραγματικότητα με επιστημικό κατά βάση χαρακτήρα – αλλά στη σχέση της Εμπειρικής Πραγματικότητας με την πέραν της εμπειρίας και του υποκειμένου φυσική πραγματικότητα, μία σχέση που αποδίδει στην τελευταία έναν διακριτό εξηγητικό ρόλο. Πριν ν' αναλύσουμε όμως περισσότερο τη συγκεκριμένη σχέση, οφείλουμε να επισημάνουμε ορισμένες διακριτές συγγένειες της προσέγγισης του Bohr με την καντιανή παράδοση.

1δ. *Αναγνωρίσιμες συγγένειες με την καντιανή παράδοση.* Αρκετοί από τους σχολιαστές του Bohr υπογράμμισαν με πολυποίκιλους και αντιφατικούς πολλές φορές τρόπους τα καντιανά στοιχεία της θεώρησής του (Feyerabend, 1962β, Weizsäcker, 1980, Folse, 1985, Honner, 1987, Murdock, 1987, Hooker, 1994). Τα περισσότερα από τα ερωτήματα που εγείρονται από τις συγκεκριμένες προσεγγίσεις έχουν ήδη απαντηθεί στο πλαίσιο της εργασίας μας. Έτσι, θα περιοριστούμε σε μία σύντομη κριτική σύγκριση της θεώρησης του Bohr με τις ιδέες της καντιανής

παράδοσης, επικεντρώνοντας όπως και πριν την προσοχή μας στα ζητήματα της ‘αλήθειας’, της ‘γνώσης’ και της ‘αντικειμενικότητας’.

Μπορούμε κατ’ αρχήν να παρατηρήσουμε ότι τόσο ο Bohr όσο ο Kant διέκριναν με σαφήνεια δύο επίπεδα πραγματικότητας: το επίπεδο της πέραν του υποκειμένου και της εμπειρίας πραγματικότητας, της πραγματικότητας των πραγμάτων ‘καθ’ εαυτών’ ή των ‘νοούμενων αντικειμένων’ και το επίπεδο της εμπειρικής πραγματικότητας, της πραγματικότητας των ‘φαινόμενων’ αντικειμένων, της πραγματικότητας του κοινού νου και της κοινής ανθρώπινης εμπειρίας. Μπορούμε επίσης να παρατηρήσουμε ότι τόσο ο Bohr όσο ο Kant κατέληξαν στη συγκεκριμένη διάκριση εκκινώντας από τον ίδιο βαθύτερο προβληματισμό και επιχειρώντας να εξυπηρετήσουν το ίδιο κεντρικό αίτημα. Η διεξοδική διερεύνηση των ανθρώπινων αντιληπτικών και γνωσιακών δυνατοτήτων ήταν εκείνη που ώθησε, και τους δύο άνδρες, στην εξαντλητική αναζήτηση των όρων αντικειμενικότητας της ανθρώπινης εμπειρίας και γνώσης. Εκ της αναζήτησης δε αυτής, αναδύθηκαν δύο κοσμοθεωρήσεις, οι οποίες, παρά τις επί μέρους σημαντικές συγκλίσεις τους, διανοίγουν, εν τέλει, δύο ριζικώς διαφορετικές θεάσεις του φυσικού κόσμου και του γνωρίζοντος υποκειμένου μέσα σ’ αυτόν.

Ως σημαντικότερο σημείο σύγκλισης των δύο θεωρήσεων μπορούμε αναμφίβολα να θεωρήσουμε την κοινή τους τοποθέτηση όσον αφορά τη λειτουργία δύο *καθολικών* χαρακτηριστικών της ανθρώπινης αντίληψης: η αντίληψη του φυσικού κόσμου ως κόσμου διακριτών αντικειμένων – μία αντίληψη που συμπεριλαμβάνει εκ φύσεως και τον σαφή διαχωρισμό υποκειμένου - αντικειμένου – και ο εντοπισμός των φυσικών αντικειμένων στον χώρο και στον χρόνο εκλήφθηκαν, από αμφότερες τις θεωρήσεις, ως θεμέλιοι λίθοι κάθε αντικειμενικής επικοινωνίας της ανθρώπινης εμπειρίας. Η εμβριθής ανάγνωση του Kant από τον Strawson επεξηγεί με ενάργεια τα βαθύτερα κίνητρα της καντιανής τοποθέτησης: η αρμονική συνεργασία των προαναφερθέντων αντιληπτικών χαρακτηριστικών είναι η μόνη που επιτρέπει την μονοσήμαντη και πανομοιότυπη ‘ταυτοποίηση’ των φυσικών αντικειμένων από όλα τα ανθρώπινα όντα δια της κατάλληλης εφαρμογής των κατηγοριών (εννοιών) της ανθρώπινης νόησης. Είναι η μόνη επομένως που εγγυάται τη διωκειμενική συμφωνία σε σχέση με το περιεχόμενο της εμπειρίας. Η παρουσίαση του συγκεκριμένου ζητήματος από τον ίδιο τον Strawson είναι πράγματι διαφωτιστική.

(B3.12) «Ο ίδιος ο ορισμός της λέξης ‘έννοια’ επιτρέπει σ’ έναν μετρήσιμο αριθμό ανεξάρτητων αντικειμένων να συγκαταλέγονται στην ίδια έννοια. ... Ο χώρος και

ο χρόνος προσφέρουν το μοναδικό αναγκαίο μέσο για τη διάκριση τέτοιων αντικειμένων. Αναφέρομαι σε ‘μοναδικό αναγκαίο μέσο’, επειδή είναι βεβαίως δυνατόν τα ανεξάρτητα αντικείμενα που συγκαταλέγονται στην ίδια έννοια να είναι μεταξύ τους διακρίσιμα με πολλούς άλλους τρόπους. Αλλά ο μόνος τρόπος που διασφαλίζει αναγκαστικά τη διακρισιμότητά τους είναι ο χωρικός ή/ και ο χρονικός τους εντοπισμός» (η έμφαση από τον Srawson, 1987, σσ. 240-241).

Μία τέτοια θεώρηση επιδεικνύει αξιοσημείωτες πράγματι αναλογίες με την επιχειρηματολογία που ανέπτυξε ο Bohr, όταν προσδιόριζε τις συνθήκες διυποκειμενικής συμφωνίας σε σχέση με τα αποτελέσματα της κβαντικής μέτρησης. Ας τον παρακολουθήσουμε.

(B3.13) «Το ίδιο το αίτημα της μη-διφορούμενης επικοινωνίας των πειραματικών ενδείξεων είναι εκείνο που υποδεικνύει με σαφήνεια την αναγκαιότητα περιγραφής τόσο της πειραματικής διάταξης όσο και των αποτελεσμάτων της παρατήρησης μέσω της κοινής γλώσσας, μίας γλώσσας που είναι προσαρμοσμένη στον τρόπο με τον οποίο προσανατολιζόμαστε στο περιβάλλον. Έτσι, η περιγραφή των κβαντικών φαινομένων απαιτεί, εκ λόγων αρχής, τη σαφή διάκριση των υπό μελέτη αντικειμένων από τη μετρητική συσκευή, εκείνη τη συσκευή που προσδιορίζει τις εκάστοτε συνθήκες της παρατήρησης» (Bohr, 1962, *APHK*, III, σ. 78).

Σε συμφωνία λοιπόν με τον Kant, ο Bohr συναρτούσε τη διυποκειμενικώς ομοιόμορφη κατανόηση των εμπειρικών προτάσεων με τους περιορισμούς που θέτουν εκ φύσεως οι καθολικές ‘φόρμες’ της ανθρώπινης αντίληψης και η δομούμενη βάσει αυτών κοινή καθημερινή γλώσσα (βλ. και §B-1, σημείο 6). Σε συμφωνία επίσης με τον Kant, ο Bohr αναγνώριζε ως θεμελιώδη χαρακτηριστικά της ανθρώπινης αντίληψης την εξατομικευμένη θέαση των φυσικών αντικειμένων – με προεξάρχουσα τη σαφή διάκριση υποκειμένου - αντικειμένου – και τη χωρο-χρονική τους ένθεση. Τα χαρακτηριστικά αυτά, όντας εμβαπτισμένα στην κοινή καθημερινή γλώσσα, ήταν εκείνα ακριβώς που επέτρεπαν την επακριβή και μονοσήμαντη ‘ταυτοποίηση’ των κβαντικών αντικειμένων (των φαινομένων₂) και, κατ’ επέκταση, τη ‘μη-διφορούμενη’ επικοινωνία των πειραματικών ενδείξεων. Εξ ου, και η αμετάκλητη, έως τέλους, θέση του για την αναγκαιότητα διατήρησης ‘των θεμελιωδών κλασικών εννοιών’, ως παρατηρησιακών εννοιών, στο κβαντικό πλαίσιο (B1.10, Γ). Σε συμφωνία εν τέλει με τον Kant (χωρίς όμως ποτέ να υποδηλώνει κάποια διάκριση μεταξύ ‘αισθητικότητας’ και ‘διάνοιας’), ο Bohr αναγνώριζε ως θεμελιακό χαρακτηριστικό της κατανοητής και έλλογης επικοινωνίας ‘τη χάραξη διασυνδέσεων μεταξύ αιτίας και αποτελέσματος’ (B1.10, B)⁹⁴ Καθώς δε το σύνολο των προαναφερθέντων χαρακτηριστικών είναι εκείνο που σχηματοποιεί το πεδίο της Εμπειρικής Πραγματικότητας στο κβαντικό πλαίσιο (της πραγματικότητας των

⁹⁴ Ο τρόπος με τον οποίο τα φαινόμενα₂ αποκαθιστούν τη δυνατότητα διεξαγωγής κλασικού τύπου αιτιακών περιγραφών εντός του κβαντικού πλαισίου εξετάζεται και αναλύεται στην §B-2, σημείο 2ε.

φαινομένων₂, §B-2), ο Bohr θα τοποθετούσε ανεπιφύλακτα, μαζί με τον Kant, την αντικειμενικότητα της επιστημονικής γνώσης (πέραν βεβαίως των λογικών της εκφράσεων) στο συγκεκριμένο πεδίο. Θα ισχυριζόταν, δηλαδή, ότι τα καλώς ορισμένα αντικείμενα της κβαντικής θεωρίας (τα φαινόμενα₂) εμπίπτουν σε καθεστώς επιστημονικής αντικειμενικότητας, επειδή ακριβώς συγκροτούνται (στο θεωρητικό επίπεδο) και πραγματώνονται (στο επίπεδο της κοινής ανθρώπινης εμπειρίας) υπό τις επιταγές των δυποκειμενικών αρχών της ανθρώπινης αντίληψης.

Ο Bohr θ' απέρριπτε όμως κατηγορηματικά την καντιανή θέση για την *αναγκαία υπαγωγή* των εμπειρικών δεδομένων στις προεμπειρικές 'συνθετικές κρίσεις', στα θεωρητικά δηλαδή σχήματα της ανθρώπινης νόησης που δομούνται βάσει των θεμελιακών χαρακτηριστικών της ανθρώπινης υπόστασης (§B-3.3). Η άρνηση αυτή αποκαλύπτεται ξεκάθαρα στο απόσπασμα που ακολουθεί.

(B3.14) «Κατά τη διάρκεια του προηγούμενου αιώνα, η επιτυχία της κλασικής μηχανικής επηρέασε βαθύτατα τη γενική φιλοσοφική στάση και ενίσχυσε την άποψη ότι οι έννοιες του χώρου και του χρόνου όπως και αυτές της αιτίας και του αποτελέσματος όφειλαν να εκλαμβάνονται ως *a priori* κατηγορίες για την κατανόηση οποιασδήποτε μορφής γνώσης. Η διεύρυνση όμως της εμπειρίας στις μέρες μας δημιούργησε την ανάγκη μιας *ριζικής αναθεώρησης* αυτού του είδους των θεμελίων προκειμένου να γίνει δυνατή η μη-διφορούμενη χρήση των στοιχειωδών εννοιών της γλώσσας μας. Πράγματι, υπό την παρούσα οπτική γωνία, η φυσική επιστήμη δεν νοείται πλέον ως μελέτη μιας πραγματικότητας που είναι *a priori* δεδομένη, αλλά, μάλλον, ως ανάπτυξη μεθόδων που αποσκοπούν στη σύνταξη και στην κατανόηση της ανθρώπινης εμπειρίας. Υπ' αυτήν την προοπτική, η προσπάθειά μας επικεντρώνεται στην περιγραφή και κατανόηση αυτής της εμπειρίας με τρόπο ανεξάρτητο από οποιαδήποτε υποκειμενική κρίση και κατά συνέπεια αντικειμενικό, υπό την έννοια της μη-διφορούμενης επικοινωνίας των περιγραφών μας μέσω της κοινής ανθρώπινης γλώσσας» (Bohr, 1960α, *APHK* III, σσ. 9-10).

Υπό την οπτική λοιπόν γωνία της κβαντικής θεωρίας, η φυσική επιστήμη δεν μπορεί πλέον να νοείται ως μελέτη μιας 'a priori δεδομένης' (με την έννοια της καντιανής προ-εμπειρικής της εννοιολογικοποίησης, §B-3.3) φυσικής πραγματικότητας. Γιατί τα θεωρούμενα ως *a priori* θεμέλια της ανθρώπινης γνώσης, έχοντας επί της ουσίας αντληθεί από το εννοιολογικό οπλοστάσιο του κοινού νου, αποδείχθηκαν αδύναμα να ερμηνεύσουν τη διευρυμένη ανθρώπινη εμπειρία. Δεν φαίνεται λοιπόν περίεργο ότι η καντιανή 'Κοπερνίκεια επανάσταση', προβάλλοντας έναν κόσμο εξατομικευμένων φυσικών αντικειμένων, έναν κόσμο διαποτισμένο από τα κλασικά ιδεώδη, αποδεικνυόταν συμβατή με τη φυσική επιστήμη μόνο για όσο διάστημα οι εμπειρικές ενδείξεις περιορίζονταν στο πεδίο σκόπευσης της κλασικής φυσικής.

Οφείλουμε βεβαίως να σημειώσουμε ότι οι αντι-θεμελιωτικές γνωσιολογικές αντιλήψεις του Bohr δεν διαμορφώθηκαν υπό το φως της κβαντικής κοσμοθεώρησης. Σε αντίστροφη ακριβώς κατεύθυνση, κατά την περίοδο ‘γέννησης’ της κβαντικής θεωρίας, η AAB, επερωτώντας πολύπλευρα τα κάθε μορφής γνωσιακά θεμέλια – τα οποία υπό έναν βάσιμο προσδιορισμό τους αντιμετωπίζονταν ως κατά Bachelard ‘επιστημολογικά εμπόδια’ (§A-6) – κατέστησε δυνατή την υπέρβαση των δυνατοτήτων της ανθρώπινης αντίληψης και την προσέγγιση μίας θεωρίας που υποδείκνυε πλέον τον τρόπο σύμφωνα με τον οποίο τα θεμέλια αυτά όφειλαν ν’ αναθεωρηθούν. Ο Heisenberg τοποθέτησε το συγκεκριμένο ζήτημα ως εξής: «Η χρήση των κλασικών εννοιών, μαζί με τις έννοιες του χώρου, του χρόνου και της αιτιότητας, αποτελεί πράγματι προϋπόθεση για την παρατήρηση των ατομικών συμβάντων και είναι, υπ’ αυτήν την έννοια, a priori. Εκείνο που ο Kant δεν είχε προβλέψει είναι ότι οι έννοιες αυτές μπορούν ν’ αποτελούν προϋποθέσεις για την επιστήμη και, ταυτόχρονα, να έχουν περιορισμένη έκταση εφαρμογής» (Heisenberg, 1958, σ. 116). Κατά την αντίληψη δε του Bohr, η συμπληρωματικότητα – μία έννοια που ερμήνευε με φυσικώς συνεκτικό τρόπο τον αμοιβαίο αποκλεισμό των κλασικών χωρο-χρονικών και αυστηρώς αιτιακών περιγραφών στο κβαντικό πλαίσιο και όριζε με ακρίβεια τον δυνατό τρόπο εφαρμογής τους (§B-1, σημείο 8α) – ήταν ακριβώς εκείνη που καθιστούσε δυνατή ‘την προσαρμογή των δυνατοτήτων της ανθρώπινης αντίληψης στην ολοένα και βαθύτερη γνώση των νόμων της φύσης’ (B1.24).

Έτσι, φθάνουμε στο σημαντικότερο ίσως σημείο διαφοροποίησης της θεώρησης του Bohr από την καντιανή θεώρηση: ενώ ο Bohr θα εναπόθετε, μαζί με τον Kant, την ‘αντικειμενικότητα’ της επιστημονικής γνώσης στο πεδίο της εμπειρικής πραγματικότητας, θα διαφωνούσε ριζικά μαζί του στα ζητήματα της ‘αλήθειας’ και της ‘γνώσης’. Όσον αφορά την ‘αλήθεια’, ο Bohr θα την αποσπούσε, τόσο από τα καθολικά χαρακτηριστικά της ανθρώπινης υπόστασης, όσο και από το πεδίο της εμπειρικής πραγματικότητας και θα της προσέδιδε έναν επιστημικό κατά βάση χαρακτήρα.⁹⁵ Όσον αφορά δε τη ‘γνώση’, θα την αποσπούσε, επίσης, τόσο από τα δομούμενα μέσω των νοητικών κατηγοριών θεωρητικά σχήματα, όσο και από τις οποιεσδήποτε ‘προβολές’ τους στο εμπειρικό επίπεδο. Θα υποστήριζε βεβαίως, μαζί

⁹⁵ Όπως ήδη διαπιστώσαμε, ο Bohr τοποθετούσε την Εμπειρική Πραγματικότητα υπό το καθεστώς μίας επιστημικής, κατά βάση (‘κατά βάση’ λόγω των εμφανών πραγματιστικών της πτυχών), αντίληψης της ‘αλήθειας’ (§B-3.4.1, σημείο 1γ). Εν τούτοις, όπως θα γίνει φανερό στη συνέχεια, ο Bohr εξέφραζε, παράλληλα, μία υπερ-επιστημική αντίληψη της ‘αλήθειας’ σε σχέση με το πεδίο της πέραν της εμπειρίας και του υποκειμένου φυσικής πραγματικότητας (§B-3.4.2, σημείο 2).

με τον Kant, ότι η γνωσιακή προσέγγιση των υποατομικών οντοτήτων, ως ‘πραγμάτων καθ’ εαυτών’, είναι επιστημικώς αδύνατη. Θα συμπλήρωνε όμως, ταυτόχρονα, ότι αυτό που κατ’ εξοχήν η έννοια των συμπληρωματικών φαινομένων² ορίζει είναι οι όροι αντικειμενικής γνωσιακής διείσδυσης στο πεδίο ακριβώς της πραγματικότητας που υπερβαίνει τις δυνατότητες της ανθρώπινης αντίληψης, στο πεδίο ακριβώς της πραγματικότητας όπου εντίθενται τα ‘πράγματα καθ’ εαυτά’ (§B-2, σημείο 2ζ). Θα συμπλήρωνε, επίσης, ότι η φυσική επιστήμη μπόρεσε να φθάσει εγγύτερα στους θεμελιακούς νόμους της φύσης – μπόρεσε, λόγου χάριν, ν’ αναγνωρίσει τη μη-διαχωρισιμότητα των υποατομικών διαδικασιών – μόνο όταν κατόρθωσε να υπερβεί τους επιβαλλόμενους από την ανθρώπινη αντίληψη και νόηση ‘νόμους’ και να τους εντάξει με συνεκτικό τρόπο στο πλαίσιο μία ριζικώς νέας κοσμοθεωρησης. Αυτό επομένως που ο Bohr θα έτεινε να καταδείξει είναι ότι η πέραν της εμπειρίας και του υποκειμένου φυσική πραγματικότητα είναι *γνωσιακώς προσπελάσιμη*. Έτσι, καταλήγουμε και πάλι στο ακόλουθο συμπέρασμα: η θεώρηση του Bohr, σε αντίθεση με την καντιανή θεώρηση, οφείλει να κριθεί ως ρεαλιστική λόγω του διακριτού ρόλου που αποδίδει στην πέραν της εμπειρίας και του υποκειμένου φυσική πραγματικότητα.

4.2. ‘Σύγχρονος Επιστημονικός Ρεαλισμός’

Το καθεστώς της ‘πέραν της εμπειρίας και του υποκειμένου φυσικής πραγματικότητας’ εντός του κβαντικού πλαισίου

Όταν ο Bohr διατύπωνε τον ισχυρισμό ότι «η διατύπωση της κβαντικής μηχανικής εκφράζει το όριο που επέβαλε η ίδια η φύση στη δυνατότητά μας να μιλάμε για τα φυσικά φαινόμενα¹ όπως υπάρχουν αντικειμενικά, όπως υπάρχουν δηλαδή ανεξάρτητα από τις παρατηρήσεις μας» (Bohr, 1929γ, *ATDN*, σ. 115), εξέφραζε με απερίφραστο τρόπο την πεποίθησή του για την οντολογική πρωτοκαθεδρία της πέραν του υποκειμένου και της εμπειρίας φυσικής πραγματικότητας έναντι των γνωσιακών εγχειρημάτων και αντιληπτικών βιωμάτων του γνωρίζοντος υποκειμένου. Έτσι, η θεώρηση του Bohr είναι κατ’ αρχήν συμβατή με έναν ‘αρνητικό’ τύπο ρεαλισμού, ο οποίος ορίζει «ως ‘πραγματικό’ αυτό που αντιστέκεται στις ανθρώπινες κατασκευές και επιδεικνύει, κατ’ αυτόν τον τρόπο, *την ανεξάρτητη ύπαρξή του* σε σχέση με αυτές» (Baltas, 1997α, σ. 79). Πέραν όμως της δέσμευσής του στην εκφερόμενη από τον ‘αρνητικό’ ρεαλισμό παραδοχή της ‘ύπαρξης’ – μία παραδοχή που κατά την αντίληψη του Devitt καταγράφει μία ‘ασθενή’ μορφή ρεαλισμού (§B-3.1) – ο Bohr

εξέθετε, όπως θα δείξουμε, τον πυρήνα μίας κατά πολύ ισχυρότερης ρεαλιστικής θεώρησης, μίας θεώρησης που μπορεί κατά τη γνώμη μας ν' αποκληθεί 'Σύγχρονος Επιστημονικός Ρεαλισμός'.⁹⁶ Κι' αυτό, γιατί η συγκεκριμένη θεώρηση *δεν καταργεί* τις παραδοσιακές ρεαλιστικές θέσεις (§B-3.1), αλλά *τις προσαρμόζει* στη σύγχρονη επιστημονική γνώση. Μία τέτοια προσαρμογή διαμορφώνει την ακόλουθη εικόνα.

1. Η 'σημσιολογική' θέση. Η σημσιολογική θέση του ΠΕΡ μπορεί να χωριστεί σε δύο διακριτές συνιστώσες ως εξής: **α)** Οι ώριμες και επιτυχείς θεωρίες της φυσικής επιστήμης είναι οντολογικώς αναφερόμενες. **β)** Οι όροι των φυσικών θεωριών – τόσο οι θεωρητικοί όσο και οι παρατηρησιακοί – είναι επίσης οντολογικώς αναφερόμενοι, εκ της αυθεντικής τους δε αναφοράς στις οντότητες του φυσικού κόσμου προσλαμβάνουν το καλώς ορισμένο τους νόημα. Έως την ανακάλυψη της κβαντικής θεωρίας, η ανωτέρω διάκριση ήταν περιττή. Γιατί, με δεδομένο τον αναγωγιστικό εν γένει χαρακτήρα των φυσικών θεωριών, η αποδοχή της πρώτης συνιστώσας συνεπαγόταν άμεσα και την αποδοχή της δεύτερης. Στο πλαίσιο όμως της κβαντικής θεωρίας, η κατάσταση μεταβάλλεται ολοσχερώς. Οι ισχυρισμοί, λόγου χάριν, του Primas ότι «η κβαντική μηχανική προβλέπει ότι η φύση είναι μη-διαχωρίσιμη» (Primas, B3.2), του d' Espagnat ότι «η ανεξάρτητη [από τον υποκείμενο] πραγματικότητα είναι μη-διαχωρίσιμη» (1995, σ. 398) και του Β. Καρακώστα ότι «η ποιότητα της κβαντικής ολότητας αναφέρεται σ' ένα έσω επίπεδο πραγματικότητας, την ανεξάρτητη από τη νόηση πραγματικότητα» (2005, σ. 62), αποτελούν σαφείς εκφράσεις της πρώτης συνιστώσας της σημσιολογικής θέσης. Γιατί διατυπώνουν την πεποίθηση ότι η πέραν του υποκειμένου και της εμπειρίας *οντολογικώς μη-διαχωρίσιμη* φυσική πραγματικότητα αποτελεί πεδίο αναφοράς και, κατ' επέκταση, πηγή νοήματος της κβαντικής θεωρίας *ως όλου*. Στην ίδια ακριβώς κατεύθυνση, αλλά με πρωτόλειο αναμφίβολα τρόπο, κινιόταν και ο Bohr, όταν υπογράμμισε ότι «η ανακάλυψη του κβάντου δράσης αποκάλυψε ότι οι υποατομικές διαδικασίες χαρακτηρίζονται από *μία ολιστική ιδιότητα* τελείως ξένη προς τη μηχανική αντίληψη της φύσης» (Bohr, 1954, *ΑΡΗΚ*, II, σ. 71).

⁹⁶ Στον 'Σύγχρονο Επιστημονικό Ρεαλισμό' εντάσσουμε όλες εκείνες τις θεωρήσεις που, όπως ακριβώς και η θεώρηση του Bohr, θεμελιώνουν την ερμηνευτική τους προσέγγιση επί της παραδοχής της οντολογικής μη-διαχωρισιμότητας του φυσικού κόσμου (Karakostas, 2004, 2005, 2006, d' Espagnat, 1995, Primas, 1990). Αυτό βεβαίως δεν σημαίνει, ούτε ότι εξαντλούμε το περιεχόμενο των συγκεκριμένων θεωρήσεων, ούτε ότι επιχειρούμε κάποια ευθεία αντιστοίχιση μεταξύ αυτών και της θεώρησης του Bohr. Στην ανάλυση που ακολουθεί επιχειρούμε απλώς να δείξουμε ότι η παραδοχή της οντολογικής μη-διαχωρισιμότητας, ως αρχική παραδοχή και πέραν των ενδεχόμενων στη συνέχεια διαφοροποιήσεων, είναι εκείνη που οριοθετεί ό,τι σήμερα μπορεί ν' αποκαλείται αξιόπιστα 'Σύγχρονος Επιστημονικός Ρεαλισμός'.

Μπορούμε όμως να διαπιστώσουμε ότι η απόδοση οντολογικής αναφοράς στην κβαντική θεωρία ακυρώνει κάθε δυνατότητα επίκλησης της δεύτερης συνιστώσας της σημασιολογικής θέσης του ΠΕΡ. Γιατί, εφόσον σ' έναν οντολογικώς μη-διαχωρίσιμο κόσμο η έννοια του απομονωμένου, από το περιβάλλον του, φυσικού συστήματος δεν συναντά το οντολογικό της 'αντίστοιχο', η απόδοση συγκεκριμένης οντολογικής αναφοράς στους μεμονωμένους θεωρητικούς κβαντικούς όρους είναι αδύνατη. Όπως επισήμαινε ο Bohr, εντός του κβαντικού πλαισίου, ο όρος, λόγου χάριν, 'σωματίδιο' (καθώς βεβαίως και οποιαδήποτε εξειδικευμένη του έκφραση όπως 'ηλεκτρόνιο', 'πρωτόνιο', κλπ), καθώς φέρει εγγενώς το στοιχείο της 'εξαιδίκευσης', δεν αντιπροσωπεύει τίποτε περισσότερο από μία 'εξιδανίκευση', μία 'αφαίρεση' ή ένα 'σύμβολο' που στερείται αναπαραστασιακού περιεχομένου (§B-1, σημείο 8γ). Ο d'Espagnat εκφράζει την ίδια ακριβώς αντίληψη με τον ακόλουθο τρόπο: «Είναι ειρωνικό πράγματι το γεγονός ότι όλη η ορολογία της φυσικής των υψηλών ενεργειών, καθώς χρησιμοποιεί εκφράσεις όπως 'στοιχειώδη σωμάτια', 'καταστάσεις σωματιδίων' κλπ, δίνει την εντύπωση ότι υποστηρίζει ισχυρά τον *φιλοσοφικό* ατομισμό, την ιδέα, δηλαδή, ότι το Απώτατο Είναι απαρτίζεται από μυριάδες απλά, μικροσκοπικά, [χωρο-χρονικώς] εντοπισμένα στοιχεία. Γιατί, όπως είδαμε, μία τέτοια θεώρηση είναι αυστηρώς ασύμβατη με τη σύγχρονη γνώση» (στο ίδιο, σσ. 402-403).

Πέραν όμως της αποκοπής της δεύτερης συνιστώσας της, η σημασιολογική θέση του ΠΕΡ αποκτά εντός του κβαντικού πλαισίου και μία ουσιώδη προσθήκη. Γιατί οι παρατηρησιακοί όροι της κβαντικής θεωρίας, συναντούν *κατά προσέγγιση* το οντολογικό τους 'αντίστοιχο' στο πεδίο της Εμπειρικής Πραγματικότητας, στο πεδίο των κατά Bohr φαινομένων²: έχοντας προσδιοριστεί υπό τη συνθήκη της σαφούς διάκρισης υποκειμένου – αντικειμένου (υπό το καθεστώς μίας 'τομής Heisenberg'), οι παρατηρησιακοί όροι της κβαντικής θεωρίας προσλαμβάνουν το σαφώς καθορισμένο τους νόημα εκ της αυθεντικής τους αναφοράς στις *δυνατές εμφανίσεις* της υπό μελέτη υποατομικής οντότητας εντός ενός συγκεκριμένου πειραματικού πλαισίου που έχει συγκροτηθεί με όρους 'κλασικότητας' (§B-2). Οφείλουμε όμως να σημειώσουμε ότι η διαφορετική σημασιολογική αντιμετώπιση των θεωρητικών και παρατηρησιακών όρων εντός του κβαντικού πλαισίου δεν απορρέει από κάποια διάθεση προνομιακής μεταχείρισης των τελευταίων υπό το κράτος μίας θετικιστικής, εμπειριστικής ή φαινομεναλιστικής αντίληψης (§B-3.4.1, σημείο 1β). Απορρέει, αντίθετα, από τους περιορισμούς που θέτει, εκ φύσεως, το σημασιολογικό περιεχόμενο της κβαντικής θεωρίας ιδωμένης ως όλον: οι παρατηρησιακοί κβαντικοί

όροι προσλαμβάνουν το πλαισιακώς εξαρτώμενο φυσικό τους νόημα από την έννοια της συμπληρωματικότητας, μία έννοια που εκφράζει, *ακριβώς*, τις επιστημολογικές συνέπειες της μη-διαχωρίσιμης υπόστασης του φυσικού κόσμου.

Όπως λοιπόν διαπιστώνουμε, μία σημασιολογική θεώρηση στην περιγραφείσα κατεύθυνση δεν καταργεί τον *κύριο* σκοπό εκφοράς της σημασιολογικής θέσης του ΠΕΡ – την απόδοση οντολογικής αναφοράς και φυσικού νοήματος στις φυσικές θεωρίες – αλλά προσαρμόζει τη συγκεκριμένη θέση στις επιταγές της σύγχρονης επιστημονικής γνώσης. Ο πυρήνας συνεπώς της εν λόγω θεώρησης θα μπορούσε ν' αποκληθεί, κατά τη γνώμη μας, 'σημασιολογική' θέση του 'Σύγχρονου Επιστημονικού Ρεαλισμού'. Προτού όμως προχωρήσουμε στις υπόλοιπες θέσεις του ΠΕΡ, είναι από αναλυτικής άποψης ευνοϊκότερο να επικεντρώσουμε την προσοχή μας στις έννοιες της 'αλήθειας', της 'αντικειμενικότητας' και της 'γνώσης'.

2. *Αλήθεια – Αντικειμενικότητα - Γνώση*. Εάν βεβαιώσει κανείς ότι η πρόταση 'η φυσική πραγματικότητα έχει ολιστικό χαρακτήρα' είναι αληθής, έχει αποδεσμεύσει πλήρως τις 'συνθήκες αλήθειας' από τις 'συνθήκες επαλήθευσης' της συγκεκριμένης πρότασης. Με άλλα λόγια, τέτοιας φύσεως προτάσεις μπορούν ν' αντλήσουν την 'αλήθεια' τους μόνο από την πεποίθηση ότι η κβαντική θεωρία έχει συλλάβει έναν *τρόπο ύπαρξης* του φυσικού κόσμου, ο οποίος 'είναι αντικειμενικά έτσι' ανεξάρτητα από τις δυνατότητες επιστημικής πρόσβασης σ' αυτόν. Οι ισχυρισμοί όμως ότι «οι συνθήκες αλήθειας οφείλουν να διακρίνονται από τις συνθήκες επαλήθευσης» και ότι «η επιστήμη ... περιγράφει έναν κόσμο ... του οποίου το περιεχόμενο μπορεί εκ λόγων αρχής να υπερβαίνει αυτό που είναι γνώσιμο» (Psillos, 1999, σ.14) αποτελούν θεμελιακές προκείμενες του ΠΕΡ. Όσον αφορά την έννοια της 'αντικειμενικότητας', η επίκληση μορφών ύπαρξης που *υπερβαίνουν* τα στενά επιστημικά όρια και, κατά συνέπεια, τη διυποκειμενική συμφωνία – όπως κατ' εξοχήν συμβαίνει στην περίπτωση της οντολογικής μη-διαχωρισιμότητας – προσιδιάζει ασφαλώς στην κατά d' Espagnat 'ισχυρή' μορφή αντικειμενικότητας, στο πρότυπο δηλαδή αντικειμενικότητας των παραδοσιακών ρεαλιστικών θεωρήσεων. Ως χαρακτηριστικό παράδειγμα απόδοσης 'σταθερής αλήθειας' και 'ισχυρής αντικειμενικότητας' στον μη-διαχωρίσιμο χαρακτήρα του φυσικού κόσμου μπορούμε ν' αναγνωρίσουμε την απόλυτη πεποίθηση του Bohr για την *αμετάκλητη* παρουσία της συμπληρωματικότητας στο μελλοντικό περιεχόμενο της επιστημονικής γνώσης.

Όπως παρατηρούμε, η πέραν του υποκειμένου και της εμπειρίας φυσική πραγματικότητα, υπό τη *συνολική* της διάσταση, ανταποκρίνεται επαρκώς στις *αρχικές* προδιαγραφές του ΠΕΡ περί ‘αντικειμενικότητας’ και ‘αλήθειας’. Όπως όμως ακριβώς συνέβη και στην περίπτωση της σημασιολογικής θέσης, η αρχική αυτή σύμπτωση είναι εκείνη ακριβώς που απενεργοποιεί τις θέσεις του ΠΕΡ, όταν αυτές εκφέρονται υπό την κυριολεκτική τους διατύπωση. Κατ’ αρχήν, η αναγνώριση της μη-διαχωρισιμότητας ως θεμελιακής μορφής ύπαρξης του φυσικού κόσμου ακυρώνει κάθε δυνατότητα επίκλησης της ‘ισχυρής’ μορφής αντικειμενικότητας στην περίπτωση των υποατομικών οντοτήτων: ο αναγκαίος, για την άσκηση της φυσικής επιστήμης, διαχωρισμός υποκειμένου – αντικειμένου εναποθέτει, αναπόδραστα, την αντικειμενικότητα της επιστημονικής γνώσης στο πεδίο της Εμπειρικής Πραγματικότητας, στο πεδίο των καλώς ορισμένων πλαισιακών κβαντικών αντικειμένων, στο πεδίο των κατά Bohr φαινομένων₂, στο πεδίο δηλαδή της ‘ασθενούς’ αντικειμενικότητας ή, ισοδύναμα, της δυποκειμενικής συμφωνίας (§B-2, σημείο 2β). Επιπροσθέτως, υπό την παραδοχή της απουσίας εξατομικευμένων φυσικών οντοτήτων, η ‘αντιστοιχιστική’ θεωρία περί αλήθειας απογυμνώνεται από οποιοδήποτε οντολογικό έρεισμα. Έτσι, η ‘αλήθεια’ των κβαντικών προτάσεων, μη επιδεχόμενη αντιστοιχιστικής εδραίωσης, συναρτάται κατά φυσικό τρόπο με την επιστημική εγκυρότητα της κβαντικής θεωρίας. Οφείλουμε όμως να υπογραμμίσουμε ότι η ούτως προκύπτουσα θεώρηση περί ‘αλήθειας’ δεν αποτελεί έκφραση μίας αμιγούς επιστημικής τοποθέτησης – η εγκυρότητα, λόγου χάριν, της κβαντικής θεωρίας δεν αποτιμάται δια της αποκλειστικής χρήσης λογικών και εμπειρικών κριτηρίων όπως οι επιστημικές θεωρίες περί ‘αλήθειας’ ορίζουν (§B-3.2, σημείο 3 και §B-3.4.1, σημείο 1γ) – αλλά προκύπτει ως φυσική συνέπεια της προτασόμενης *υπέρ-επιστημικής* ‘αλήθειας’ περί της μη-διαχωρισιμότητας του φυσικού κόσμου. Μία τέτοια δε οντολογική πρόταξη δεν μπορεί παρά να εκληφθεί ως τεκμήριο μίας αμιγώς ρεαλιστικής προοπτικής. Έτσι, στη συγκεκριμένη τουλάχιστον περίπτωση, οι απαγωγικές συναγωγές του Devitt ‘ρεαλισμός’ → ‘αντιστοιχιστική θεωρία περί αλήθειας’ και ‘αντι-ρεαλισμός’ → ‘επιστημική θεωρία περί αλήθειας’ (§B-3.1), λόγω του άκαμπτου χαρακτήρα τους, αδυνατούν ν’ αποφέρουν αξιόπιστα συμπεράσματα.

Εξετάζοντας, τέλος, την έννοια της ‘γνώσης’, μπορούμε να θυμηθούμε ότι η αμοιβαία ‘συμπλήρωση’ των κατά Bohr φαινομένων₂ αποφέρει αυθεντική και ουσιαστική γνώση για την πέραν του υποκειμένου και της εμπειρίας φυσική πραγματικότητα (§B-2, σημείο 2ζ). Λόγω της αναπόφευκτης βεβαίως απώλειας

γνώσης κατά τη μετρητική διαδικασία, η πέραν του υποκειμένου και της εμπειρίας φυσική πραγματικότητα είναι μη καθ' ολοκληρίαν γνώσιμη, γεγονός που παραβιάζει ευθέως ένα από τα βασικά ιδεώδη του ΠΕΡ. Η παραβίαση όμως αυτή δεν ερμηνεύεται και πάλι υπό το πρίσμα μίας αντι-ρεαλιστικής προοπτικής – μία τέτοια εξάλλου προοπτική θα απέκλειε κάθε δυνατότητα άντλησης γνώσης για την πέραν του υποκειμένου και της εμπειρίας φυσική πραγματικότητα (§B-3.2) – αλλά υπό το πρίσμα μίας *οντολογικώς θεμελιωμένης* ερμηνείας της κβαντικής θεωρίας.

Καταλήγουμε λοιπόν στο συμπέρασμα ότι η ισχυρή απόκλιση της θεώρησης του Bohr (ή, γενικότερα, του ρεύματος που ονομάσαμε 'Σύγχρονο Επιστημονικό Ρεαλισμό') από τις καθιερωμένες ρεαλιστικές θέσεις δεν εδράζεται στο *αρχικώς* τιθέμενο αίτημα – στην απόδοση ισχυρών ερεισμάτων αντικειμενικότητας και αλήθειας στην επιστημονική γνώση – αλλά στην *τελικώς* υιοθετούμενη οντολογία. Γι' αυτό και θεωρούμε ότι οι θέσεις περί 'γνώσης', 'αλήθειας' και 'αντικειμενικότητας', όπως εκτέθηκαν παραπάνω, αποτυπώνουν τον πυρήνα κάθε ρεαλιστικής προσέγγισης που αναγνωρίζει την 'πληρότητα' της κβαντικής θεωρίας. Σύμφωνα, τέλος, με την προηγηθείσα ανάλυση, το στοιχείο εκείνο που καθιστά κατ' εξοχήν διακριτό και δύσκολα αμφισβητήσιμο τον ρεαλιστικό προσανατολισμό μίας θεώρησης είναι ο καθοριστικός ρόλος που διαδραματίζει, εντός του πλαισίου της, η πέραν του υποκειμένου και της εμπειρίας φυσική πραγματικότητα σε σχέση με τα ζητήματα της 'αλήθειας', της 'αντικειμενικότητας' και της 'γνώσης'. Η διαπίστωση αυτή, συνδυαζόμενη με την πιστοποίηση της καθολικής απουσίας ενός τέτοιου ρόλου στο πλαίσιο των αντιρεαλιστικών θεωρήσεων (§B-3.2), επιβεβαιώνει την εγκυρότητα του κριτηρίου που εξαρχής θέσαμε για τη διάκριση ρεαλισμού – αντιρεαλισμού.

3. *Η 'επιστημική' θέση.* Η επιστημική θέση του ΠΕΡ (§B-3.1) μπορεί να χωριστεί σε δύο συνιστώσες: **α)** Οι ώριμες και επιτυχείς, ως προς τις προβλέψεις τους, φυσικές θεωρίες είναι προσεγγιστικώς αληθείς του κόσμου, οι εμπεριεχόμενες, επομένως, στις θεωρίες αυτές οντότητες 'υπάρχουν πραγματικά'. **β)** Κατά την εξέλιξη της φυσικής επιστήμης, οι επιτυχείς φυσικές θεωρίες αναπαριστούν με προοδευτικώς αυξανόμενη πιστότητα τον φυσικό κόσμο όπως αυτός 'πραγματικά είναι'. Η πρώτη συνιστώσα οδηγεί ευθέως στην 'αντιστοιχιστική' θεωρία περί 'αλήθειας' και επιτρέπει τη διατύπωση ενός καίριου ρεαλιστικού επιχειρήματος, του επιχειρήματος περί του 'μη-θαύματος' της προβλεπτικής επιτυχίας των επιστημονικών θεωριών. Η δεύτερη συνιστώσα, υποστηριζόμενη από τη 'σημασιολογική' θέση του ΠΕΡ –

προσάρτηση ‘εξατομικευμένης’ οντολογικής αναφοράς στους όρους των φυσικών θεωριών – οδηγεί στην αντίληψη της σωρευτικής ανάπτυξης της επιστημονικής γνώσης, εφόσον, κατά την αλλαγή θεωρίας, η οντολογική αναφορά των επιστημονικών όρων θεωρείται αναλλοίωτη όσον αφορά τον πυρήνα της (§Α-5.3).

Όπως έχουμε ήδη διαπιστώσει, η αναγνώριση της μη-διαχωρισιμότητας του φυσικού κόσμου αποκλείει τη δυνατότητα της αναπαραστασιακής του απεικόνισης και, κατ’ επέκταση, τη δυνατότητα υποστήριξης μίας ‘αντιστοιχιστικής’ θεωρίας περί ‘αλήθειας’. Αποκλείει, επίσης, τη δυνατότητα εδραίωσης της επιστημονικής συνέχειας στην κοινή οντολογική αναφορά των όρων των διαδοχικών θεωριών, εφόσον, στην περίπτωση της κβαντικής θεωρίας, μία τέτοια αναφορά δεν υφίσταται. Παρά την ακύρωση, όμως, της αυστηρής διατύπωσης της επιστημικής θέσης εντός του κβαντικού πλαισίου, μπορούμε να διακρίνουμε ότι κάποιες ουσιαστικές της πτυχές παραμένουν ενεργές. Κατ’ αρχήν, η ίδια η έννοια των συμπληρωματικών φαινομένων₂, καθώς προσδιορίζει τις συνθήκες άντλησης της μέγιστης δυνατής γνώσης για *την ίδια* υποατομική οντότητα, υποδηλώνει, με έμμεσο αλλά αδιαμφισβήτητο εν τούτοις τρόπο, ότι η οντότητα αυτή ‘πράγματι υπάρχει’ (§B-2, σημείο 2ζ). Έτσι, η πρώτη συνιστώσα της επιστημικής θέσης διατηρείται ακέραια, αρκεί να συμπληρώσει βεβαίως κανείς ότι η επιστημική θέαση των φυσικών οντοτήτων υπό το καθεστώς της ‘πραγματικής’ τους ύπαρξης είναι, λόγω της ίδιας της φύσης του κόσμου και του γνωρίζοντος υποκειμένου, αδύνατη. Επιπροσθέτως, η τοποθέτηση της μη-διαχωρισιμότητας του φυσικού κόσμου στο επίκεντρο μίας ερμηνευτικής προσέγγισης υποδηλώνει με σαφήνεια την πεποίθηση ότι ‘η κβαντική θεωρία κατόρθωσε ν’ αποφέρει βαθύτερη γνώση για τους νόμους της φύσης’ (Bohr, 1929γ, *ATDN*, σ. 90), ακριβέστερη δηλαδή πληροφορία για την ‘πραγματική’ φύση του κόσμου απ’ ό,τι η κλασική φυσική. Μία τέτοια όμως πεποίθηση συνιστά κυριολεκτική έκφραση της δεύτερης συνιστώσας της επιστημικής θέσης του ΠΕΡ, εάν βεβαίως με την έκφραση ‘ακριβέστερη πληροφορία’ δεν υπονοεί κανείς πληρέστερες ‘αντιστοιχιστικές’ αναπαραστάσεις. Η πεποίθηση αυτή δικαιώνει ακόμη το επιχείρημα του ‘μη-θαύματος’ του ΠΕΡ, ενώ αναγνωρίζει, παράλληλα, την πρόοδο της επιστημονικής γνώσης παρά τη δεδηλωμένη παραδοχή της οντολογικής ασυμμετρίας της κλασικής και της κβαντικής θεωρίας.

Όπως λοιπόν διαπιστώνουμε, η βαθιά απόκλιση της θεώρησης του Bohr (ή, γενικότερα, του ρεύματος που ονομάσαμε ‘Σύγχρονο Επιστημονικό Ρεαλισμό’) από τον ΠΕΡ απορρέει και πάλι, όχι από το *πρωταρχικώς* υιοθετούμενο επιστημικό

ιδεώδες – την προοδευτικώς βαθύτερη κατανόηση της *πραγματικής* φύσης του κόσμου μέσω των εγχειρημάτων της φυσικής επιστήμης – αλλά από την *τελικώς* υιοθετούμενη οντολογία. Ο πυρήνας συνεπώς μίας επιστημικής θεώρησης στην περιγραφείσα κατεύθυνση θα μπορούσε κατά τη γνώμη μας ν' αποκληθεί 'επιστημική' θέση του 'Σύγχρονου Επιστημονικού Ρεαλισμού'.

4. Η 'μεταφυσική' θέση. Η μεταφυσική θέση του ΠΕΡ ορίζει ότι ο φυσικός κόσμος έχει μία καθορισμένη και ανεξάρτητη από τον νου δομή (§B-3.1). Όπως έχουμε ήδη διαπιστώσει, η αναγνώριση της οντολογικής πρωτοκαθεδρίας του φυσικού κόσμου έναντι των αντιληπτικών εμπειριών και γνωσιακών εγχειρημάτων του γνωρίζοντος υποκειμένου αποτελεί θεμελιακό στοιχείο όλων εκείνων των θεωρήσεων που εισάγουν (ή προϋποθέτουν, όπως η θεώρηση του Bohr) την έννοια της πέραν του υποκειμένου και της εμπειρίας φυσικής πραγματικότητας. Υπό την πλέον σαφή της έκφραση, η οντολογική αυτή πρωτοκαθεδρία ορίζεται ως εξής: «κάθε εμπειρική έκφανση των μικροφυσικών αντικειμένων εκλαμβάνεται ... ως τρόπος 'εκδήλωσης' της οντικής πραγματικότητας [της πέραν του υποκειμένου και της εμπειρίας φυσικής πραγματικότητας] στο αποπροσωποποιημένο υποκείμενο, δηλαδή ως ιδιαίτερη 'όψη' ή 'προβολή' της οντικής πραγματικότητας στις επακριβώς καθορισμένες συνθήκες ενός πλαισίου μέτρησης» (Καρακώστας, 2005, σ. 65).

Υπό την πλέον γενική της τώρα μορφή, η 'μεταφυσική' θέση του 'Σύγχρονου Επιστημονικού Ρεαλισμού', θα μπορούσε να διατυπωθεί ως εξής: 'η ύπαρξη της πέραν του υποκειμένου και της εμπειρίας φυσικής πραγματικότητας προηγείται κάθε γνωσιακού εγχειρήματος και αισθητηριακής εμπειρίας'. Μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι η διαφοροποιημένη αυτή, σε σχέση με την πρωτότυπη, διατύπωση της 'μεταφυσικής' θέσης διατηρεί ακέραια την προκείμενη της 'ύπαρξης', καταργεί την προκείμενη της 'ανεξαρτησίας' (§B-1) και απαλείφει από τη δομή του φυσικού κόσμου τον προσδιορισμό 'καθορισμένη'. Όπως θα δειχθεί στη συνέχεια, η διαφοροποίηση αυτή επιβάλλεται, και πάλι, από τη φύση της υιοθετούμενης οντολογίας. Καταλήγουμε λοιπόν στο ακόλουθο συμπέρασμα. Η πρόταξη της οντολογίας της φυσικής πραγματικότητας έναντι του οποιουδήποτε επιστημικού κριτηρίου είναι εκείνη που δικαιολογεί τον προσδιορισμό 'Επιστημονικός Ρεαλισμός'. Κατ' αναλογία, η πρόταξη της οντολογίας της πέραν του υποκειμένου και της εμπειρίας φυσικής πραγματικότητας έναντι του οποιουδήποτε επιστημικού κριτηρίου – μία πρόταξη που διαπιστώθηκε σ' όλα τα μείζονα ζητήματα – είναι

εκείνη που δικαιολογεί τον προσδιορισμό ‘Σύγχρονος Επιστημονικός Ρεαλισμός’. Η λέξη ‘Σύγχρονος’ προστίθεται για να υπογραμμίσει την απόλυτη συμβατότητα της κβαντικής θεωρίας με την υιοθετούμενη, από το ρεύμα αυτό, οντολογία.

Κατά τη γνώμη μας, η απόδοση αντι-ρεαλιστικών τάσεων στις προσεγγίσεις του συγκεκριμένου ρεύματος (συμπεριλαμβανόμενης βεβαίως και της θεώρησης του Bohr), εάν δεν οφείλεται σε άγνοια ή παρανοήσεις, πηγάζει αποκλειστικά από την *άρνηση αποδοχής* της υποδεικνυόμενης από την κβαντική θεωρία οντολογίας. Γιατί μόνο έτσι μπορεί να εξηγηθεί εύλογα το γεγονός ότι, ογδόντα περίπου χρόνια μετά τη διάλεξη του Como και παρά την εντυπωσιακή θεωρητική ανάπτυξη και προβλεπτική καρποφορία της κβαντικής θεωρίας, οι υποστηρικτές του ΠΕΡ παρακάμπτουν με σχετική άνεση το επιχείρημα του ‘μη-θαύματος’ και υποστηρίζουν με επιμονή ότι «σ’ αυτή τη φάση, η κβαντική θεωρία δεν μπορεί να θεωρηθεί έμπιστος οδηγός προς την πραγματικότητα» (Devitt, 1996, σ. 133). Αυτό που εν τέλει αποδεικνύεται είναι ότι η κλασική αντίληψη του φυσικού κόσμου αποτελεί, ακόμη και σήμερα, ένα ισχυρότατο κατά Bachelard ‘επιστημολογικό εμπόδιο’, το οποίο είναι δύσκολο να υπερπηδηθεί. Εμείς, θεωρώντας πλέον δεδομένο τον ρεαλιστικό προσανατολισμό των στεγαζόμενων υπό την ονομασία ‘Σύγχρονος Επιστημονικός Ρεαλισμός’ θεωρήσεων, θα επιχειρήσουμε ν’ αντλήσουμε από αυτές ορισμένα πρόσθετα στοιχεία για την πέραν της εμπειρίας και του υποκειμένου φυσικής πραγματικότητας, ελέγχοντας ταυτόχρονα τη συμβατότητα των στοιχείων αυτών με τη θεώρηση του Bohr. Γιατί, όπως έχουμε ήδη σημειώσει, ο ίδιος ο Bohr, αποσκοπώντας πρωτίστως στη διασφάλιση των συνθηκών αντικειμενικότητας της επιστημονική γνώσης, απέφευγε επιμελώς τους αμιγείς οντολογικούς ισχυρισμούς.

5. *Η πέραν του υποκειμένου και της εμπειρίας φυσική πραγματικότητα.* Όπως έχουμε ήδη, διαπιστώσει, ένα κατά Bohr φαινόμενο₂ αντιπροσωπεύει ένα καλώς ορισμένο πλαισιακό αντικείμενο που συγκροτείται ή πραγματώνεται κατά την προετοιμασία ή τη διεξαγωγή αντίστοιχα μίας μέτρησης, ένα αντικείμενο που περιγράφει, επομένως, μία δυνατή ή πραγματωμένη ‘εμφάνιση’ της υπό μελέτη υποατομικής οντότητας στο πεδίο της κοινής ανθρώπινης εμπειρίας (§B-2, σημείο 2γ). Υπ’ αυτήν την λοιπόν την προοπτική, θα μπορούσαμε να εκλάβουμε, όπως ο Folse, την ‘αλληλεπίδραση’ των υποατομικών οντοτήτων με τη μετρητική συσκευή ως το κατ’ εξοχήν ‘αίτιο’ της εμφάνισης των φαινομένων₂ (1985, σ. 243). Ο ίδιος όμως ο Bohr, και από την εποχή ήδη του Como, θ’ αρνιόταν μία τέτοια διερμίνευση

της ερμηνευτικής του προσέγγισης, επισημαίνοντας το ενεχόμενο, στη διερμίνευση αυτή, εννοιολογικό σφάλμα. Θα υπογράμμιζε, δηλαδή, ότι ‘το αίτημα της αιτιότητας’ και ο ‘χωρο-χρονικός συντονισμός’ δεν αντιπροσωπεύουν τίποτε περισσότερο από συμπληρωματικά κλασικά ‘ιδεώδη’, η δυνατή *επιστημική* εφαρμογή των οποίων περιορίζεται στο πεδίο, και μόνο, της κοινής ανθρώπινης εμπειρίας (§B-1).

Η επιστημική διάσταση του χωρόχρονου στο κβαντικό πλαίσιο αναδεικνύεται από τον Primas με τον ακόλουθο τρόπο. «Το ‘βέλος του χρόνου’ συνιστά μέρος μίας επιστημικής περιγραφής. Δεν μπορεί, επομένως, ούτε να ορίζεται μέσω διαταγμάτων ως παγκόσμιας ισχύος, ούτε να προσαρτάται σε ισχυρώς αντικειμενικές οντικές ερμηνείες» (Primas, 1990, σ. 255). Από την άλλη πλευρά, ο d’ Espagnat προτιμά ν’ αποκαλύψει τον επιστημικό χαρακτήρα της συνήθους αιτιότητας αναδεικνύοντας την καντιανή της καταγωγή, μία καταγωγή που την εντάσσει *εξ ορισμού* στο επιστημικό, υπό την οπτική γωνία της κβαντικής φυσικής, πεδίο της εμπειρικής πραγματικότητας (§B-3.4.1, σημείο 1γ). Ο d’ Espagnat τοποθετεί δε, περαιτέρω, το ζήτημα της αιτιότητας στην ακόλουθη ριζικώς καινούργια βάση.

(B3.16) «Ο καντιανός προσδιορισμός της αιτιότητας ως απλού τρόπου οργάνωσης των αντιληπτών, από τις αισθήσεις μας, φαινομένων είναι πολύ περιοριστική. Πέραν και υπεράνω αυτής της έννοιας της αιτιότητας, μίας έννοιας που είναι εμβαπτισμένη στην εμπειρική πραγματικότητα και τη σημασία της οποίας δεν μπορούμε σε καμία περίπτωση να υποβαθμίζουμε, οφείλουμε να θεωρήσουμε ότι υπάρχει ένας διαφορετικός τύπος αιτιότητας που δρα από την ανεξάρτητη πραγματικότητα προς τα φαινόμενα, ένας τύπος αιτιότητας για τον οποίο μπορούμε να μιλάμε με νόημα. Εφόσον, με δεδομένη τη μη-διαχωριστικότητα, η ανεξάρτητη πραγματικότητα δεν μπορεί να εκληφθεί ως ένα σύνολο εντοπισμένων στοιχείων εμβαπτισμένων στον χωρόχρονο, είναι φανερό ότι αυτή η ‘διευρυμένη αιτιότητα’ (‘extended causality’) διαφέρει ουσιωδώς από την καντιανή αιτιότητα ... Πράγματι, αυτά τα ‘διευρυμένα αίτια’ δεν αντιπροσωπεύουν τίποτε περισσότερο από τις ίδιες τις δομές της ανεξάρτητης πραγματικότητας και είναι αυτά που εξηγούν το γεγονός ότι οι νόμοι – δηλαδή η φυσική επιστήμη – υπάρχει ... Οφείλουμε βεβαίως να σημειώσουμε ότι η περιγραφείσα αντίληψη στηρίζεται στην πεποίθηση ότι μπορούμε να μιλάμε με νόημα για αίτια, ακόμη κι’ αν τα αίτια αυτά είναι τέτοιας φύσεως ώστε υπάρχει το ενδεχόμενο να μην ανακαλυφθούν ποτέ. Και, πράγματι, τα ‘διευρυμένα αίτια’, για τα οποία μιλάμε, θεωρούνται πρότερα των νόμων» (d’ Espagnat, 1995, σσ. 414 και 415).

Εφόσον λοιπόν το πεδίο αναφοράς και εφαρμογής των συνήθων χωρο-χρονικών και αιτιακών διασυνδέσεων περιορίζεται *αποκλειστικά* στο πεδίο της Εμπειρικής Πραγματικότητας, η σχέση της πέραν του υποκειμένου και της εμπειρίας πραγματικότητας με την πραγματικότητα των κατά Bohr φαινομένων₂ αδυνατεί να προσαρμοσθεί στο σχήμα ‘αίτιο’ – ‘αποτέλεσμα’. Έτσι, το ζήτημα της αιτιότητας μας δίνει την ευκαιρία να διαπιστώσουμε τις ιδιαίτερες πράγματι δυσκολίες που αναφαίνονται, κάθε φορά που επιχειρούμε να μιλήσουμε με σαφήνεια για το πεδίο

της πέραν της εμπειρίας και του υποκειμένου φυσικής πραγματικότητας. Γιατί αυτό που κατ' ουσία ο d' Espagnat επιχειρεί να υπερβεί μέσω της έννοιας της 'διευρυμένης αιτιότητας' είναι οι περιορισμοί της κοινής καθημερινής γλώσσας, μίας γλώσσας που, όπως υπογράμμιζε ο Bohr, είναι αδύναμη να εκφράσει τον 'ανορθολογικό', υπό το πρίσμα της ανθρώπινης αντίληψης, χαρακτήρα του κβαντικού κόσμου (§B-1, σημείο 5). Παρότι λοιπόν η έννοια της 'διευρυμένης αιτιότητας' είναι απολύτως συμβατή με τη θεώρηση του Bohr – εφόσον προσδιορίζει απλώς με ακρίβεια την κατεύθυνση εξέλιξης των φυσικών διαδικασιών από το πεδίο της πέραν του υποκειμένου και της εμπειρίας πραγματικότητας προς το πεδίο των φαινομένων₂ – μπορούμε εύλογα να εικάσουμε ότι ο ίδιος ο Bohr θα δίσταζε να εισαγάγει μία έννοια που είναι δύσκολο να οριστεί. Εάν χρησιμοποιούσε τη σύγχρονη ορολογία, θα προτιμούσε ίσως ν' αντικαταστήσει τον περί 'αιτίων' ισχυρισμό του Folse με την ακόλουθη, συμβατή με τη θεώρησή του, έκφραση: 'η κατάλληλα *συζευγμένη ύπαρξη* των οντοτήτων της πέραν της εμπειρίας και του υποκειμένου φυσικής πραγματικότητας με τον υπόλοιπο φυσικό κόσμο (συμπεριλαμβανόμενων και των μετρητικών συσκευών) συνιστά *απαράβατη προϋπόθεση* για την 'εμφάνιση' των φαινομένων₂.

Η έκφραση αυτή, πέραν της συνήθους αιτιότητας, επιχειρεί να υπερβεί και ορισμένους πρόσθετους γλωσσικούς περιορισμούς. Πράγματι, όπως έχουμε ήδη επισημάνει, η έννοια των συμπληρωματικών φαινομένων₂, καθώς προσδιορίζει τις συνθήκες άντλησης της μέγιστης δυνατής γνώσης για την ίδια υποατομική οντότητα, βεβαιώνει, εκ των πραγμάτων, ότι η οντότητα αυτή 'πραγματικά υπάρχει'. Εν τούτοις, ο ίδιος ο προσδιορισμός 'υποατομική οντότητα', καθώς υποβάλλει ευθέως την ιδέα της 'εξατομίκευσης', είναι ως ένα σημείο παραπλανητικός. Από την άλλη πλευρά, δεδομένου ότι οι δομές προσδιορίζονται από σχέσεις και ότι οι σχέσεις απαιτούν εκ φύσεως συσχετιζόμενα μέρη, η αποδοχή της ύπαρξης 'φυσικών δομών' χωρίς την παράλληλη αποδοχή της ύπαρξης των συσχετιζόμενων, μέσω των δομών αυτών, φυσικών οντοτήτων (π.χ. French & Ladyman, 2003) δεν φαίνεται πειστική. Προσπαθώντας λοιπόν και εμείς να υπερβούμε τα όρια της γλώσσας, θα οφείλαμε ίσως να διευκρινίζουμε ότι, όταν μιλάμε για 'υποατομικές οντότητες', εννοούμε την *συζευγμένη* με τον υπόλοιπο κόσμο φυσική τους ύπαρξη, μία τέτοια δε 'συζευγμένη ύπαρξη' μπορεί υπό μία έννοια να εκληφθεί και ως 'φυσική δομή'. Μία φυσική όμως

δομή που, εκ λόγων αρχής, είναι *μη καθ' ολοκληρίαν γνώσιμη και μη απεικονιστικώς αναπαραστάσιμη* (μέσω των μαθηματικών δομών της κβαντικής θεωρίας).⁹⁷

Επανερχόμενοι όμως στην ‘εμφάνιση’ των κατά Bohr φαινομένων₂, μπορούμε να θυμηθούμε ότι η ‘εμφάνιση’ αυτή συναρτάται άμεσα και με έναν ακόμη καθοριστικό παράγοντα: την ενεργό παρεμβολή της ‘προθετικότητας’ του ερευνητή. Παρότι ο παράγοντας αυτός είχε επισημανθεί, με πρωτόλειο αλλά ευκρινή οπωσδήποτε τρόπο από τον Bohr (§B-2, σημείο 2ε), η διεξοδική ανάλυση της συμμετοχής του γνωρίζοντος υποκειμένου στη συγκρότηση των ‘αντικειμένων’ της φυσικής επιστήμης (των καλώς ορισμένων κβαντικών αντικειμένων ή, ισοδύναμα, των κατά Bohr φαινομένων₂) από τη σύγχρονη φιλοσοφία της φυσικής εμπλουτίζει με ουσιαστικό τρόπο την οντολογική εικόνα της πέραν του υποκειμένου και της εμπειρίας φυσικής πραγματικότητας, μία εικόνα που είχε αφηθεί από τον Bohr σχεδόν ‘γυμνή’ (εάν εξαιρέσουμε βεβαίως το θεμελιακό της χαρακτηριστικό, την οντολογική της μη-διαχωρισιμότητα). Η έννοια που κατ’ εξοχήν εμπλουτίζει το οντολογικό περιεχόμενο της πέραν του υποκειμένου και της εμπειρίας φυσικής πραγματικότητας είναι η έννοια της ‘δυνατότητας’ ή, εάν ακολουθήσουμε τον B. Καρακώστα, η έννοια της ‘δυνητικότητας’, μία έννοια που παρουσιάζεται ως εξής.

(B3.17) «Η κβαντική κατάσταση είναι δυνατόν να ερμηνευθεί στο *οντικό επίπεδο* ως το μέτρο της συνύπαρξης ενός συνόλου πολλαπλών δυνητικοτήτων. Ενώ στο *επιστημικό επίπεδο*, η πραγμάτωση μίας συγκεκριμένης δυνητικότητας επιτυγχάνεται, κατά την κβαντική θεωρία, μέσω της πράξης της μέτρησης ή της αυθόρμητης αλληλεπίδρασης με το περιβάλλον, επιβάλλοντας τη μετάβαση από τη δύναμη στην ενεργεία ύπαρξη. Συνεπώς, κάθε σύνθετο μικροφυσικό σύστημα ευρισκόμενο σε κατάσταση κβαντικής σύζευξης ... χαρακτηρίζεται από ένα *πεδίο αλληλεπιδρώντων δυνητικοτήτων*, ένα σύνολο *δυνάμει δυνατών καταστάσεων*. Η

⁹⁷ Οι French και Ladyman, επεκτείνοντας τον ‘επιστημικό’, όπως τον χαρακτηρίζουν, ‘δομικό ρεαλισμό’ του Worrall (1996), προτείνουν μία ‘οντική’ θεώρηση του ‘δομικού ρεαλισμού’, η οποία επιχειρεί «να συγκροτήσει την έννοια του αντικειμένου με δομικούς όρους» (2003, σ. 37). Για ν’ αντιληφθούμε την απόκλιση της θεώρησής τους από το ρεύμα που ονομάσαμε ‘Σύγχρονο Επιστημονικό Ρεαλισμό’, αρκεί ν’ αναφέρουμε τα ακόλουθα σημεία. **α)** Υιοθετείται μία ‘αντιστοιχιστική’ θεωρία περί αλήθειας που στηρίζεται στην ‘αντιστοίχιση’ των ‘μαθηματικών δομών’ μίας θεωρίας (αντί των θεωρητικών της όρων) στις ‘φυσικές δομές’ του κόσμου (αντί των ‘φυσικών οντοτήτων’). Η ύπαρξη φυσικών οντοτήτων επερωτάται ευθέως, στο σημασιολογικό δε περιεχόμενο των θεωρητικών όρων αποδίδεται αμιγώς ευρετικός χαρακτήρας. **β)** Οι δομές του φυσικού κόσμου εκλαμβάνονται ως καθ’ ολοκληρίαν γνώσιμες. **γ)** Υποστηρίζεται η σωρευτική ανάπτυξη της επιστημονικής γνώσης, κατά την οποία «αυτό που διατηρείται/ συσσωρεύεται κατανοείται με δομικούς όρους» (στο ίδιο, σ. 45). Είναι δε αξιοσημείωτο ότι μέσω της ‘οντικής’ δομικής τους θεώρησης, οι French και Ladyman προσπαθούν να πιστοποιήσουν την οντολογική συνέχεια (ως συνέχεια της υφιστάμενης, κατά τη γνώμη τους, δομικής συνέχειας) της κλασικής και της κβαντικής θεωρίας (στο ίδιο, σσ. 46-48), μία προσπάθεια που, για τους λόγους που έχουμε αναπτύξει εκτενώς στην εργασία μας, παραμένει εν τέλει (κατά τη γνώμη μας) ατελέσφορη. Οφείλουμε, τέλος, να σημειώσουμε ότι το ρεύμα του ‘δομικού ρεαλισμού’ των Worrall, French και Ladyman κινείται σε τελείως διαφορετική κατεύθυνση από τις ‘δομικές θεωρίες της επιστήμης’ (όπως εκφράζονται, μεταξύ άλλων, από τους Moulines, και Sintonen), στις οποίες αναφερθήκαμε στο Α’ μέρος της εργασίας μας (§A-6).

απόδοση της διπλής τροπικότητας, υπό τη σημασία του ‘δυνάμει δυνατό’, δεν αποσκοπεί απλώς να καταδείξει τη μετάβαση από μία δυνάμει σε ενεργεία ύπαρξη ή από μία κατάσταση απροσδιοριστίας στη σαφή συγκεκριμενοποίησή της. Προτίθεται επίσης να υπογραμμίσει ότι το πεδίο των κβαντομηχανικών δυναμικότητων διέπει *αλλά δεν ελέγχει*, ως αποτέλεσμα αυτής της μετάβασης, τον καθορισμό των ενεργεία πραγματικών γεγονότων. Η σημασία της δυναμικότητας συνίσταται στο ότι, τι αποτυπώνεται ως ενεργεία πραγματικό θα μπορούσε να μην ήταν ‘πραγματικό’ και ό,τι δεν είναι ‘πραγματικό’ (δηλαδή είναι απομονωμένο στην περιοχή της δυνατότητας) θα μπορούσε να ήταν ‘πραγματικό’ στην παρουσία κατάλληλων συνθηκών. Η κβαντική δυναμικότητα αναφέρεται σε μία δυναμική, εν τω γίνεσθαι διαδικασία ως προς τη μορφοποίηση μίας πραγματικότητας. Η μορφοποίηση δεν είναι παρά αποτέλεσμα μίας πιθανοτικής επιλογής μεταξύ εναλλακτικών δυνατοτήτων συναρτηθεί ενός καθορισμένου πλαισίου αναφοράς, εν προκειμένω, ενός πειραματικού πλαισίου ... Η κβαντική δυναμικότητα δεν αναφέρεται στην ελλειπτική ή ανεπαρκή γνώση του πειραματιστή ή του θεωρητικού επιστήμονα ως προς την ακριβή γνώση ενός δοθέντος συστήματος, αλλά ανήκει στον *τρόπο ύπαρξης* του συστήματος *καθεαυτών*» (η έμφαση από τον Β. Καρακώστα, 2005, σς. 58-59, όπου και οι σχετικές αναφορές).

Η διεισδυτική ανάλυση της έννοιας της ‘δυναμικότητας’ από τον Β. Καρακώστα, πέραν του ότι αποδίδει έναν *τρόπο ύπαρξης* στις φυσικές οντότητες, παρουσιάζει μία δυναμικώς εξελισσόμενη εικόνα του φυσικού κόσμου, μία εικόνα ριζικώς διαφορετική από τον κλασικό κόσμο του ΠΕΡ, έναν κόσμο ‘αποσπασμένο’ από το γνωρίζον υποκείμενο, έναν κόσμο στατικό, παθητικό και προ-δομημένο που αναμένει ν’ ανακαλυφθεί από την επιστημονική έρευνα και ν’ αναπαρασταθεί, στο ιδανικό όριο, όπως ‘πραγματικά είναι’. Η ριζική αυτή αντίθεση μεταξύ των αναδυόμενων από την κβαντική και την κλασική θεωρία κοσμοθεωρήσεων είναι εκείνη ακριβώς που επιβάλλει την απαλοιφή του προσδιορισμού ‘καθορισμένη’ από τη δομή του φυσικού κόσμου στη ‘μεταφυσική’ θέση του ΠΕΡ (§B-3.4.2, σημείο 4). Καθώς όμως οι φερόμενες από τις υποατομικές οντότητες δυναμικότητες ‘διέπουν *αλλά δεν ελέγχουν* τον καθορισμό των ενεργεία πραγματικών γεγονότων’, η θεώρηση του Β. Καρακώστα αναδεικνύει, παράλληλα, και την ουσιαστική συμβολή του γνωρίζοντος υποκειμένου στην πραγμάτωση των υφιστάμενων δυναμικότητων, την ενεργό του δηλαδή συμμετοχή στην εξελικτικές διαδικασίες του φυσικού κόσμου. Η συμμετοχή αυτή, υπό το πρίσμα της θεώρησης του ‘Ενεργού Επιστημονικού Ρεαλισμού’ (‘Active Scientific Realism’) περιγράφεται ως εξής.

(B3.18) «Σύμφωνα με την φυσικο-μαθηματική δομή της πρότυπης κβαντικής μηχανικής, η ελευθερία στην επιλογή ενός πλαισίου αναφοράς, στο είδος του τιθέμενου έναντι της φύσεως ερωτήματος και στον προσδιορισμό των ορίων χρονικού ελέγχου του, καθιστά δυνατή την άσκηση ανεξίτηλων επιδράσεων στη δυναμική εξέλιξη όπως και στη φύση ενός κβαντικού συστήματος. Τέτοιου είδους επίδραση ασκείται για παράδειγμα κατά τη διαδικασία της μέτρησης όσον αφορά την πραγμάτωση των μικροφυσικών δυναμικότητων (potentialities) του προς μέτρηση συστήματος. Πράγματι, δεδομένης της αρχικής κατάστασης ενός

κβαντικού συστήματος όπως και της επιλογής ενός πειραματικού πλαισίου, η πράξη της μέτρησης μεταβάλλει το πληροφοριακό περιεχόμενο του μετρούμενου συστήματος κατά τα εξειδικευμένα χαρακτηριστικά του πλαισίου ως προς το οποίο πραγματοποιείται η μέτρηση. Έτσι, ο καθορισμός του πλαισίου προσδίδει στην κατάσταση του συστήματος ένα ιδιαίτερο υποσύνολο δυνητικοτήτων, δηλαδή δυνάμει δυνατών αποτελεσμάτων. Κατά την ολοκλήρωση της διαδικασίας της μέτρησης μόνο ένα δυνάμει δυνατό αποτέλεσμα πραγματώνεται έναντι του συνόλου των λοιπών δυνητικοτήτων, ενώ η αρχική κατάσταση του συστήματος ποιοτικώς μεταβάλλεται αντιστοιχώντας πλέον μετά τη μέτρηση σ' ένα εντελώς νέο σύνολο δυνητικοτήτων, το οποίο επίσης υπόκειται σε μεταβολή όταν και εάν το προκύπτον σύστημα υποβληθεί σε μία εκ νέου μέτρηση βάσει των χαρακτηριστικών του επιλεγόμενου νέου πλαισίου, κ.ό.κ. Συνεπώς, κατά τη διεξαγωγή μίας ακολουθίας μετρήσεων, η κατάσταση του συστήματος μεταφέρει στον χρόνο κατά ανεξίτηλο, μη-αντιστρέψιμο τρόπο το πληροφοριακό περιεχόμενο της επιλογής του κάθε πειραματικού πλαισίου, η δε μεταφορά συντελείται εις τρόπον ώστε να επιτυγχάνεται κβαντομηχανικώς ο στατιστικός έλεγχος των αποτελεσμάτων των διαδοχικών μετρήσεων» (η έμφαση από τον Β. Καρακώστα, στο ίδιο, σσ. 67-68).

Το τιθέμενο λοιπόν από τον ερευνητή ερώτημα ή, αλλιώς, ο προσδιορισμός ενός συγκεκριμένου πειραματικού πλαισίου είναι το ενέργημα εκείνο που *επιλέγει* από το σύνολο των δυνητικοτήτων μίας υποατομικής οντότητας εκείνες τις δυνητικότητες (ένα 'ιδιαίτερο υποσύνολο') που, εντός του συγκεκριμένου πλαισίου, έχουν τη δυνατότητα να πραγματωθούν. Το επιλεγέν όμως πειραματικό πλαίσιο δεν παρέχει μόνο τη δυνατότητα πραγμάτωσης σ' ένα ιδιαίτερο υποσύνολο δυνητικοτήτων, αλλά, πολύ περισσότερο, 'μεταβάλλει το πληροφοριακό περιεχόμενο' της υπό μελέτη υποατομικής οντότητας σύμφωνα με τα δικά του 'εξειδικευμένα χαρακτηριστικά', συμμετέχει δηλαδή με καθοριστικό τρόπο στη διαμόρφωση των δυνατών τρόπων εμφάνισης της υπό μελέτης οντότητας σ' ένα συγκεκριμένο περιβάλλον της ανθρώπινης εμπειρίας. Η διεξαγωγή, τέλος, της μέτρησης είναι εκείνη που αποφέρει την εμπράγματη εμφάνιση μίας εκ των υφιστάμενων, εντός του συγκεκριμένου πλαισίου, δυνητικοτήτων, ενώ μεταβάλλει παράλληλα ποιοτικώς την αρχική κατάσταση της υπό μελέτη οντότητας: 'η κατάσταση μετά τη μέτρηση αντιστοιχεί σ' ένα εντελώς νέο σύνολο δυνητικοτήτων'. Η ούτως αναδεικνυόμενη ενεργός συμμετοχή του γνωρίζοντος υποκειμένου στις εξελικτικές διαδικασίες του φυσικού κόσμου, καθώς και η ανεξίτηλη αποτύπωση της ερευνητικής του προθετικότητας στο περιεχόμενο της επιστημονικής γνώσης είναι εκείνοι ακριβώς οι παράγοντες που επιβάλλουν την οριστική απάλειψη της παραδοσιακής ρεαλιστικής προκείμενης της 'ανεξαρτησίας' από την προοπτική του σύγχρονου ρεαλισμού (§B-3.1).

Θα μπορούσε όμως η έννοια της 'δυνητικότητας' να ενταχθεί με συνεκτικό τρόπο στην ερμηνευτική προσέγγιση του Bohr; Μία πιστή προς το πνεύμα του Bohr

απάντηση θα ήταν η εξής. Ο καθορισμός του πλαισίου μέτρησης αποφέρει, όπως είδαμε, την ενεργοποίηση ενός ‘ιδιαίτερου υποσυνόλου δυνητικοτήτων’ της υπό μελέτη υποατομικής οντότητας, εκείνων των δυνητικοτήτων που μπορούν να πραγματοποιούν εντός του συγκεκριμένου πλαισίου. Ο καθορισμός όμως του πλαισίου μέτρησης σηματοδοτεί, παράλληλα, τον σαφή προσδιορισμό – μέσω μίας τομής Heisenberg – της κατάστασης της υπό μελέτη οντότητας ή, ισοδύναμα, την ‘κατασκευή’ ενός καλώς ορισμένου θεωρητικού αντικειμένου, ή επίσης ισοδύναμα, τη συγκρότηση ενός κατά Bohr φαινομένου₂ (§B-2, σημείο 2α). Οι δυνητικότητες συνεπώς που ενεργοποιούνται κατά την επιλογή ενός συγκεκριμένου πειραματικού πλαισίου αποτελούν *καλώς ορισμένα* φυσικά μεγέθη που αναφέρονται στις *δυνατές εμφανίσεις* της υπό μελέτη οντότητας στο πεδίο της κοινής ανθρώπινης εμπειρίας, όπως οι εμφανίσεις αυτές προβλέπονται από τους κλασικού τύπου στατιστικούς κανόνες του κβαντικού φορμαλισμού (§B-2, σημείο 2ε). Υπ’ αυτήν της λοιπόν τη διάσταση – την ‘επιστημική’, σύμφωνα με τον προσδιορισμό του B. Καρακώστα, διάσταση (B1.17) – η έννοια της δυνητικότητας, λόγω του σαφώς προσδιορισμένου και διυποκειμενικώς ελέγξιμου περιεχομένου της, θα μπορούσε να συνταιριαστεί αρμονικά με την ερμηνευτική κατεύθυνση του Bohr. Όταν, λόγου χάριν, ο Bohr επισήμαινε ότι «οι κβαντομηχανικές μέθοδοι περιορίζονται στη διατύπωση στατιστικών κανονικοτήτων, οι οποίες αφορούν τα αποτελέσματα μετρήσεων που προκύπτουν από διαφορετικές *δυνατές εξελίξεις* των φαινομένων₁» (1929β, *ATDN*, σ. 12), άγγιζε, ατελώς και ακροθιγώς, την επιστημική ακριβώς έκφανση των δυνητικοτήτων. Η έννοια όμως της δυνητικότητας υπό τον ‘οντολογικό’ της προσδιορισμό (B1.17), όπως ακριβώς και η έννοια της κατά d’ Espagnat ‘διευρυμένης αιτιότητας’, παρότι συμβατή με την ερμηνευτική προσέγγιση του Bohr, διαφεύγει ολοσχερώς από το πνεύμα της τελευταίας.

Εάν όμως οι θεωρήσεις των B. Καρακώστα και d’ Espagnat αποκαλύπτουν τα οντολογικά ‘ελλείμματα’ της θεώρησης του Bohr χωρίς να είναι ασύμβατες με αυτήν, οι ισχυρισμοί του Shimony περί ‘δυνατοτήτων’ (‘potentialities’) ενέχουν κάποιες πτυχές που παραβιάζουν ευθέως τον πυρήνα της. Πράγματι, ο Shimony, παρουσιάζοντας τη ‘ρεαλιστική’, όπως ο ίδιος τονίζει, ερμηνευτική του προσέγγιση στην κβαντική θεωρία, μία προσέγγιση που θεμελιώνεται στον ‘τρόπο της δυνατότητας’ (‘the modality of potentiality’) – «έναν τρόπο ύπαρξης των φυσικών συστημάτων που αντιπροσωπεύει μία ενδιάμεση κατά κάποιο τρόπο κατάσταση

μεταξύ της γυμνής λογικής δυνατότητας και της ενεργού ύπαρξης στην πληρότητά της» (Shimony, 1988, σ. 292) – παραθέτει το ακόλουθο σχόλιο.

(B3.19) «Μία θεμελιώδης δυσκολία της ρεαλιστικής ερμηνείας της κβαντικής θεωρίας έχει ήδη αναφερθεί: η δυσκολία εξήγησης της ενεργοποίησης των δυνατοτήτων στο πλαίσιο της κβαντικής μηχανικής. Την τρέχουσα περίοδο, μεγάλες προσπάθειες αφιερώνονται στο συγκεκριμένο πρόβλημα. ... Παρότι καμία αποφασιστική πρόοδος δεν έχει ακόμη σημειωθεί προς τη συγκεκριμένη κατεύθυνση, είναι πολύ πρόωρο να συμπεράνουμε ότι οι εν λόγω προσπάθειες είναι καταδικασμένες σε αποτυχία. Μπορεί όμως να πει κανείς υποθετικά ότι, εάν οι συνεχείς προσπάθειες απόδοσης μίας ρεαλιστικής ερμηνείας της ενεργοποίησης των κβαντομηχανικών δυνατοτήτων αποδειχθούν εν τέλει ανεπιτυχείς, τότε θα υφίστανται a posteriori λόγοι για να συμπεράνει κανείς ότι το πρόγραμμα αυτό είχε εξ αρχής λάθος κατεύθυνση και να επανέλθει, επομένως, στη θεώρηση του Bohr (στο ίδιο, σ. 301).

Η δυνατότητα μελλοντικής εξεύρεσης λογικών ή αιτιακών εξηγήσεων για τον τρόπο ενεργοποίησης των κβαντομηχανικών δυνατοτήτων θ' αποκλειόταν πράγματι από τον Bohr a priori και με κατηγορηματικό τρόπο. Γιατί η εξεύρεση τέτοιου τύπου εξηγήσεων θα ισοδυναμούσε, επί της ουσίας, με τη λογική ή αιτιακή επίλυση του προβλήματος της παρατήρησης/ μέτρησης, με την οριστική επομένως απόλειψη της συμπληρωματικότητας από το περιεχόμενο της επιστημονικής γνώσης. Μία τέτοια δε εξέλιξη ήταν για τον Bohr αδύνατη, εφόσον παραβίαζε τη μοναδική υπερ-επιστημική του πεποίθηση: την πεποίθηση περί του μη-διαχωρίσιμου χαρακτήρα του φυσικού κόσμου, ενός χαρακτήρα που, συνδυαζόμενος με τους περιορισμούς της ανθρώπινης αντίληψης, υποδείκνυε με ευκρίνεια τα ανυπέρβλητα όρια της ανθρώπινης γνώσης.

Εν τούτοις, η αδυναμία εξεύρεσης λογικών ή αιτιακών εξηγήσεων για τον τρόπο ενεργοποίησης των κβαντομηχανικών δυνατοτήτων δεν ισοδυναμεί, όπως ο Shimony υπαινίσσεται, με ακύρωση της δυνατότητας απόδοσης μίας ρεαλιστικής φυσικής ερμηνείας στην κβαντική θεωρία. Γιατί η παραδοχή της οντολογικής μη-διαχωρισιμότητας, πέραν του ότι εξηγεί με φυσικώς συνεκτικό τρόπο γιατί τα συγκεκριμένα πρότυπα εξήγησης είναι ανέφικτα στο κβαντικό πλαίσιο (§B-2, σημείο 3β), θέτει η ίδια, όπως είδαμε, τον θεμέλιο λίθο μίας αμιγώς ρεαλιστικής θεώρησης. Για λόγους όμως εσωτερικής συνεκτικότητας, μία θεώρηση υπ' αυτήν την παραδοχή δεν μπορεί παρά να εσωκλείει την πεποίθηση ότι, παρά την όποια μελλοντική επιστημονική εξέλιξη, και παρά τον όποιο περαιτέρω οντολογικό εμπλουτισμό της πέραν του υποκειμένου και της εμπειρίας πραγματικότητας, η πραγματική φύση της τελευταίας θα παραμείνει, για πάντα, ως ένα βαθμό 'κεκαλυμμένη'.

5. Bohr: ένας επιστήμονας με βαθιά φιλοσοφική διερώτηση

Ολοκληρώνοντας την εργασία μας, θα επανέλθουμε στο σημείο εκκίνησης του παρόντος κεφαλαίου. Γιατί μπορούμε πλέον να υποστηρίξουμε με πειστικότητα ότι ο ισχυρισμός της ‘ιδεολογικής επικάλυψης’ στερείται αξιόπιστων ερεισμάτων. Πράγματι, όπως έδειξε η προηγηθείσα ανάλυση, η φυσική φιλοσοφία του Bohr δεν επιχείρησε να ‘επικαλύψει’ τον κβαντικό φορμαλισμό με α priori φιλοσοφικές δεσμεύσεις, αλλά, σε αντίθετη ακριβώς κατεύθυνση, προσπάθησε να προσδώσει στα πάγια, έως τότε, επιστημονικά ιδεώδη μία καινούργια διάσταση, μία διάσταση συμβατή με το περιεχόμενο της κβαντικής θεωρίας. Όπως δε διαπιστώσαμε στο πρώτο μέρος της εργασίας μας, ο Bohr αποφάσισε να εγκαταλείψει τα παραδοσιακά επιστημονικά πρότυπα ή, με τα δικά του λόγια, ν’ αποδεχθεί ένα διαφορετικό είδος ‘ορθολογικότητας’, μόνο όταν πείσθηκε ότι όλες οι εναλλακτικές δυνατότητες προοδευτικά αποκλείονταν, επειδή προσέκρουαν ‘στην ίδια τη φύση’.

Οι ισχυρισμοί περί ‘ιδεολογικής επικάλυψης’, παρότι εκφέρονται σήμερα με σαφώς ηπιότερο τρόπο (βλ. τον πρόλογο του παρόντος κεφαλαίου), έλκουν εμφανώς την καταγωγή τους από τις ιστοριογραφικές μελέτες του ‘σκληρού’ προγράμματος του Εδιμβούργου, από μελέτες δηλαδή που επιχείρησαν ν’ αναλύσουν και να ερμηνεύσουν την εξέλιξη της επιστήμης δια της απαρέγκλιτης εφαρμογής του μεθοδολογικού σχήματος αίτιο → αποτέλεσμα. Στο πλαίσιο του ‘σκληρού’ προγράμματος, εντάσσονται και ορισμένες περιώνυμες, λόγω της ακρότητάς τους, εργασίες, οι οποίες αναδεικνύουν ως αποκλειστικό ‘αίτιο’ της ερμηνείας της Κοπεγχάγης, είτε τις ‘κοινωνικές ιδιαιτερότητες’ της δημοκρατίας της Βαϊμάρης (Forman, 1971, 1979, 1984),⁹⁸ είτε τις ‘ψυχολογικές ιδιαιτερότητες’ των επιστημόνων που προωθούσαν τη συγκεκριμένη ερμηνεία (Heilbron, 1985).⁹⁹ Η ανεπάρκεια βεβαίως του αιτιοκρατικού μοντέλου ως εργαλείου ιστορικής ανάλυσης, καθώς και η μειωμένη εγκυρότητα των καταληκτικών, σε σχέση με την κβαντική θεωρία,

⁹⁸ Ο Forman, δια της εφαρμογής του σχήματος εχθρικός κοινωνικός περίγυρος (η εχθρική προδιάθεση της κοινωνίας του μεσοπολέμου έναντι των καθιερωμένων επιστημονικών ιδεωδών) → προσαρμογή, ενσωμάτωση (των επιστημόνων στις επικρατούσες κοινωνικές αντιλήψεις) → ανακατασκευή της γνώσης (για την εναρμόνισή της με τα κυρίαρχα κοινωνικά πρότυπα), καταλήγει στο ακόλουθο συμπέρασμα: «οι φυσικοί επέτρεψαν στους εαυτούς τους και αφέθηκαν ελεύθεροι από τους άλλους να κατασκευάσουν την [κβαντική] θεωρία όπως οι ίδιοι επιθυμούσαν ή, μάλλον, όπως το πολιτιστικό περιβάλλον τους υποχρέωνε να επιθυμούν» (Forman, 1984, σ. 344).

⁹⁹ Ο Heilbron εμφανίζει τον Bohr ως ‘γκουρού’ ή ως ‘καθοδηγητή μιας θρησκευτικής αίρεσης’, ο οποίος, μαζί με τους ‘αποστόλους’ του – τους Heisenberg, Pauli και Jordan – διέδιδε ‘το πνεύμα της Κοπεγχάγης’, χρησιμοποιώντας ως ‘μυστικιστικό δόγμα’ τη συμπληρωματικότητα. Σύμφωνα πάντοτε με τον Heilbron, ο Bohr, ήταν εκείνος, που, μέσω των ‘παραβολών’ του, κατόρθωσε να εισαγάγει τον ‘βιταλισμό’ και τον ‘μυστικισμό’ στην ερμηνεία της Κοπεγχάγης.

πορισμάτων του, καταδείχθηκαν σύντομα (π.χ. Wise, 1987, Hendry, 1980). Παρά την εγκατάλειψη όμως των άκαμπτων αιτιοκρατικών συσχετίσεων, η ισχυρή επίδραση των ιδεών του ‘σκληρού’ προγράμματος σε ορισμένες, ακόμη και εξαιρετικά πρόσφατες, ιστοριογραφικές αναλύσεις είναι φανερή. Η Beller, λόγου χάριν, επιχειρεί, όπως η ίδια ισχυρίζεται, ν’ αποκαλύψει τις μεθόδους μέσω των οποίων οι ηγήτορες της Κοπεγχάγης – προεξάρχοντος βεβαίως του Bohr – κατόρθωσαν να ‘κατασκευάσουν’ την κβαντική επανάσταση (Beller, 1999).

Η σημαντική επίδραση – είτε προωθητική, είτε ανασταλτική – τόσο του κοινωνικού πλαισίου, όσο και της προσωπικής κοσμοαντίληψης των επιστημόνων, στην εξέλιξη της επιστημονικής γνώσης είναι σήμερα καθολικώς αποδεκτή. Υπ’ αυτήν δε ακριβώς την προοπτική, έχουν προταθεί ορισμένα ιδιαιτέρως διεισδυτικά μεθοδολογικά μοντέλα για τη συστηματική ιστοριογραφική μελέτη της συγκεκριμένης επίδρασης (Holton, 1973, Wise, 1993). Αυτό όμως που η παρούσα εργασία φθάνει να καταδείξει είναι ότι, στην περίπτωση τουλάχιστον του Bohr, ήταν τα ‘εσωτερικά’ προβλήματα της επιστήμης εκείνα που υποκίνησαν τη μεθοδολογική του στρατηγική και ήταν το ίδιο το περιεχόμενο της κβαντικής θεωρίας εκείνο που τροφοδότησε τη φυσική του φιλοσοφία. Γι’ αυτό και η ερμηνευτική του προσέγγιση σχηματοποιεί μία αυτόνομη, όπως δείξαμε, κοσμοθεώρηση, μία κοσμοθεώρηση που συναντά τη μεν επιστημονική της δικαίωση στις μεταγενέστερες θεωρητικές και πειραματικές εξελίξεις της σύγχρονης φυσικής, τη δε φιλοσοφική της δικαίωση σε ορισμένες από τις πλέον έγκυρες θεωρήσεις της σύγχρονης φιλοσοφίας της φυσικής.

Οφείλουμε βεβαίως να σημειώσουμε ότι, όπως ακριβώς οι ‘ανοικτές’ και ‘αντι-θεμελιωτικές’ επιστημολογικές αντιλήψεις του Bohr αποτυπώθηκαν ανεξίτηλα στη δομή της AAB – καθιστώντας την ικανή να καθοδηγήσει μία ευρείας κλίμακας αλλαγή θεωρίας – έτσι και ο ευρύτερος φιλοσοφικός του προβληματισμός δημιουργούσε πρόσφορο έδαφος για τη σύλληψη, τόσο του ολιστικού φυσικού περιεχομένου της κβαντικής θεωρίας, όσο και των καινοφανών της επιστημολογικών συνεπειών. Γιατί, από πολύ νεαρή ηλικία, οι προσωπικές αναρωτήσεις του Bohr περιστρέφονταν επίμονα γύρω από το ίδιο πάντοτε ζήτημα: τον ολιστικό χαρακτήρα της ανθρώπινης συνείδησης και την αδυναμία επομένως διάκρισης της ‘σκέψης’ από το ‘υπό σκέψη αντικείμενο’. Η κατάσταση αυτή εκφράζεται με ιδιαίτερο πράγματι τρόπο στο ακόλουθο, κατ’ εξακολούθηση αναφερόμενο από τον Bohr, απόσπασμα.

(B3.20) Ένας μαθητής εξηγεί σ’ έναν συμμαθητή του γιατί δεν αποφάσισε να βρει ακόμη μία πρακτική δουλειά: «Οι ατέλειωτες αναρωτήσεις μου με εμπόδισαν να

επιτύχω το οτιδήποτε. Ακόμη περισσότερο, φθάνω να σκέφτομαι για τις ίδιες μου τις σκέψεις, για την κατάσταση στην οποία βρίσκω τον εαυτό μου. Σκέφτομαι ακόμη ότι σκέφτομαι τις σκέψεις μου και έτσι χωρίζω τον εαυτό μου σε μία ατελείωτη, κατευθυνόμενη προς το παρελθόν, ακολουθία 'Εγώ' που το ένα εξετάζει το άλλο. Δεν ξέρω σε ποιο 'Εγώ' να σταματήσω, ποιο 'Εγώ' να θεωρήσω ενεργό και, μόλις σταματώ, είναι, πράγματι, και πάλι ένα 'Εγώ' εκείνο που σταματά σ' αυτό το σημείο. Έτσι, περιέρχομαι σε κατάσταση σύγχυσης, αισθάνομαι απεριγράπτο ίλιγγο, όπως εάν κοίταζα προς μία απύθμενη άβυσσο, και οι συλλογισμοί μου καταλήγουν σ' έναν τρομερό πονοκέφαλο».

Και ο συμμαθητής του, απαντά: «Πραγματικά, δεν μπορώ να σου προσφέρω καμία βοήθεια στην ταξινόμηση των πολλών σου 'Εγώ'. Κάτι τέτοιο βρίσκεται εντελώς έξω από τη σφαίρα δράσης μου και θα ήμουν, ή θα γινόμουν, το ίδιο τρελός με σένα, εάν άφηνα τον εαυτό μου να συμμερισθεί τις υπέρ-ανθρώπινες ονειροπολήσεις σου. Η δική μου γραμμή πλευσης είναι να στηρίζομαι σε απτά και μόνο πράγματα και ν' ακολουθώ τη φαρδιά λεωφόρο του κοινού νου. Έτσι, το δικό μου 'Εγώ' δεν μπερδεύεται ποτέ» (Poul Martin Moller, από Bohr, 1960a, *APHK* III, σ. 440).¹⁰⁰

Η προωθητική δράση της γενικότερης φιλοσοφικής διερώτησης του Bohr στο επιστημονικό του έργο γίνεται ιδιαίτερα φανερή, εάν συγκρίνουμε τον ενεχόμενο στο ανωτέρω απόσπασμα προβληματισμό με το ακόλουθο γράμμα του Bohr προς τον φίλο του Oseen, ένα χρόνο περίπου μετά τη διατύπωση της συμπληρωματικότητας.

(B3.21) «Όπως έχουμε συμπεράνει εδώ και πολλά χρόνια κατά τις συζητήσεις μας, η κυριότερη δυσκολία που συναντάται στο φιλοσοφικό πεδίο εδράζεται στο γεγονός ότι η λειτουργία της συνείδησης προϋποθέτει *την αντικειμενικότητα* του περιεχομένου της, ενώ, από την άλλη πλευρά, η ίδια η ιδέα του υποκειμένου, του ίδιου μας του 'Εγώ', αποτελεί μέρος του περιεχομένου της συνείδησης. Ο χαρακτήρας των περιγραφών της φύσης, όπως αυτές επιβάλλονται από τη βαθύτερη ουσία του κβαντικού αξιώματος, μας έδωσε λοιπόν ένα ξεκάθαρο παράδειγμα αυτών ακριβώς των δυσκολιών» (Γράμμα του Bohr προς τον Oseen, 5 Νοεμβρίου 1928, *NBCW6*, σ. [189]).

Για να επιτευχθεί λοιπόν η 'αντικειμενική' λειτουργία της συνείδησης απαιτείται ο διαχωρισμός του 'Εγώ' από το 'αντικείμενο της σκέψης'. Όπως δε φανερώνει το παράδειγμα των δύο συμμαθητών, η απαραίτητη αυτή 'τομή' επιτυγχάνεται δια της καταφυγής στα 'απτά' πράγματα της καθημερινής εμπειρίας ή, ισοδύναμα, στη 'φαρδιά λεωφόρο του κοινού νου'. Για να καταδείξει όμως τα ασαφή όρια μεταξύ 'υποκειμένου' και 'αντικειμένου' και τον μη-μονοσήμαντο επομένως χαρακτήρα της διενεργούμενης 'τομής' (κάτι που εξάλλου θίγεται και από τον πρώτο μαθητή, όταν δηλώνει ότι 'μόλις σταματώ, είναι και πάλι ένα 'Εγώ' εκείνο που σταματά σ' αυτό το σημείο'), ο Bohr αντλούσε από το πεδίο της ψυχολογίας και το εξής παράδειγμα.

¹⁰⁰ Το απόσπασμα αυτό ανήκει στο ημιτελές έργο 'Ιστορία ενός Δανού μαθητή' του Δανού συγγραφέα, ποιητή και φιλοσόφου Poul Martin Moller (1794-1838). Όπως μας πληροφορεί ο Rosenfeld, ο Bohr είχε διαβάσει το συγκεκριμένο αφήγημα κατά τη διάρκεια της πρώιμης εφηβείας του και είχε εντυπωσιαστεί τόσο πολύ από αυτό, ώστε «όποιος ερχόταν σε στενότερη επαφή μαζί του στο Ινστιτούτο και είχε ήδη αποκτήσει επαρκή γνώση της Δανικής γλώσσας, γινόταν οπωσδήποτε γνώστης του μικρού αυτού βιβλίου» (Rosenfeld, 1967, σ. 121).

(B3.22) «Μπορεί κανείς να θυμηθεί μία συχνά αναφερόμενη από τους ψυχολόγους αίσθηση, εκείνη την αίσθηση που όλοι βιώνουμε όταν προσπαθούμε να προσανατολιστούμε μέσα σ' ένα σκοτεινό δωμάτιο με τη βοήθεια ενός μπαστουιού. Όταν κρατάμε χαλαρά το μπαστούνι, η αίσθηση της αφής μας το συλλαμβάνει ως αντικείμενο. Όταν αντίθετα κρατάμε σταθερά το μπαστούνι, χάνουμε την αίσθηση του ξένου σώματος και η αίσθηση της αφής μεταφέρεται σ' εκείνο το σημείο όπου το μπαστούνι ακουμπά το υπό διερεύνηση αντικείμενο» (Bohr, 1929α, *ATDN*, σ. 99).

Το ζήτημα της ολότητας και των επαγόμενων από την 'τομή' της ολότητας επιστημολογικών συνεπειών – όπως το ζήτημα αυτό εμφανιζόταν τόσο στο πεδίο της ψυχολογίας όσο και στο πεδίο της φυσικής – ήταν τόσο βαθιά εγχαραγμένο στη φιλοσοφική σκέψη του Bohr, ώστε έφθασε ν' αποτυπωθεί ακόμη και στην τελευταία του, προς τον Kuhn, συνέντευξη. Πράγματι, στη συνέντευξη αυτή, η μοναδική αναφορά του Bohr σε φιλόσοφο – πέραν βεβαίως του Hoffding – υποκινήθηκε από μία 'ψυχολογική' πτυχή του έργου του James, εκείνη την πτυχή που υποδείκνυε ότι, «όταν εξετάζεις ορισμένα πράγματα, αυτά είναι τόσο στενά συνδεδεμένα μεταξύ τους, ώστε, εάν προσπαθήσεις να τα διαχωρίσεις, η κατάσταση που προκύπτει είναι τελείως διαφορετική από την πραγματική» (Bohr, 1962, σ. 5).¹⁰¹

Όλα τα παραπάνω μας βοηθούν να κατανοήσουμε τις προσωπικές εκείνες αναρωτήσεις που μετατόπιζαν συνεχώς το ενδιαφέρον του Bohr από το πεδίο της οντολογίας στο πεδίο της επιστημολογίας, εκείνες τις αναρωτήσεις που υποκινούσαν τη διαρκή του έγνοια για τα όρια και την ορθή χρήση της γλώσσας, εκείνες τέλος τις αναρωτήσεις που ενέπνεαν τη σταθερή του προσήλωση στη διασφάλιση των όρων αντικειμενικότητας της επιστημονικής γνώσης. Σε αντίστροφη τώρα κατεύθυνση, από τη στιγμή που η διασφάλιση αυτή επιτεύχθηκε στο πεδίο της φυσικής επιστήμης, το μήνυμα του 'επιστημολογικού μαθήματος' της κβαντικής θεωρίας όφειλε να μεταφερθεί και σε άλλα πεδία της ανθρώπινης γνώσης. Ο τρόπος με τον οποίο αντιλαμβανόταν ο Bohr τη συγκεκριμένη μεταφορά συναντά την πλέον αντιπροσωπευτική του έκφραση στο απόσπασμα που ακολουθεί.

(B3.23) «Το κύριο σημείο του μαθήματος που μας προσέφερε η ανάπτυξη της ατομικής φυσικής είναι, ως γνωστό, η αναγνώριση μίας ολιστικής ιδιότητας στις ατομικές διαδικασίες ... Τα άρθρα που ακολουθούν παρουσιάζουν τις ουσιαστικότερες πλευρές της κατάστασης που διαμορφώνεται στην κβαντική μηχανική και υπογραμμίζουν, ταυτόχρονα, τα σημεία ομοιότητας που επιδεικνύει η

¹⁰¹ Όπως μας πληροφορεί ο Rosenfeld, ο Bohr ήλθε για πρώτη φορά σε επαφή με τα κείμενα του James το 1932 – μετά τη διατύπωση της συμπληρωματικότητας – και εντυπωσιάστηκε ιδιαίτερα από αυτά (γράμμα του Rosenfeld προς τον Holton, 28 Φεβρουαρίου 1968, όπως αναφέρεται από τον ίδιο τον Holton, 1973, σ. 122). Όπως δε ο ίδιος ο Bohr διευκρίνισε στη συνέντευξή του προς τον Kuhn, το κείμενο του James που τον είχε εντυπωσιάσει περισσότερο ήταν ο 'Χείμαρρος της Σκέψης' (ένα από τα κεφάλαια του έργου *Οι Αρχές της Ψυχολογίας*, James, 1890).

συγκεκριμένη κατάσταση με τη θέση μας σε άλλα πεδία της γνώσης, σε πεδία που είναι επίσης αδύνατο να προσεγγισθούν μέσω της μηχανιστικής αντίληψης της φύσης. Δεν ασχολούμαστε εδώ με κάποιες λιγότερο ή περισσότερο ασαφείς αναλογίες, αλλά με τη διερεύνηση των συνθηκών ορθής χρήσης των εννοιολογικών μέσων έκφρασης. Η θεώρηση αυτή αποσκοπεί, όχι μόνο να μας εξοικειώσει με τη νέα κατάσταση στη φυσική επιστήμη, αλλά δια της περιγραφής του σχετικώς απλού χαρακτήρα των ατομικών προβλημάτων, να μας βοηθήσει να διαλευκάνουμε τις συνθήκες αντικειμενικής περιγραφής σε ευρύτερα πεδία γνώσης» (Bohr, εισαγωγή στο *APHK II*, 1958, σσ. 1-2, η έμφαση δική μου).

Η εισαγωγή της ιδέας της συμπληρωματικότητας στο πεδίο της ψυχολογίας δεν φαίνεται πλέον περίεργη. Γιατί ο Bohr θεώρησε ότι τα διαρκή του ερωτήματα περί της φύσεως των ψυχικών λειτουργιών συναντούσαν μία εύλογη αρχική απάντηση στο πεδίο της φυσικής επιστήμης. Υπό την οπτική γωνία της συμπληρωματικότητας, μπορούσε, λόγου χάριν, να σκεφθεί κανείς ότι «εκείνη η κατάσταση της συνείδησης που επιτρέπει τη χρήση λέξεων, όπως το ‘θέλω’, είναι συμπληρωματική εκείνης της κατάστασης που επιζητά την ανάλυση των αιτίων των πράξεών μας» (Bohr, 1952, *NBCW10*, σ. [71]) ή, όπως υποδεικνύει και το παράδειγμα των δύο συμμαθητών, ότι «οι λέξεις ‘πλήρωση’ (‘contemplation’) και ‘θέληση’ (‘volition’) οφείλουν να χρησιμοποιούνται με συμπληρωματικό τρόπο (Bohr, 1960α, *APHK III*, σ. 14). Υπό την οπτική γωνία της συμπληρωματικότητας, μπορούσε επίσης να σκεφθεί κανείς ότι «οι λέξεις ‘σκέψεις’ και ‘συναίσθημα’, των οποίων η χρήση είναι εξίσου απαραίτητη για την περιγραφή των διαφορετικών εκφάνσεων της ψυχικής εμπειρίας, αντιστοιχούν σε αμοιβαίως αποκλειόμενες καταστάσεις που προκύπτουν από τη διαφορετική τοποθέτηση της διαχωριστικής γραμμής μεταξύ υποκειμένου και αντικειμένου» (Bohr, 1948, *C&C*, σ. 147). Σε κάθε περίπτωση, η άντληση της μέγιστης δυνατής γνώσης για τα ψυχικά φαινόμενα απαιτούσε, κατ’ αναλογία προς την περίπτωση της κβαντικής θεωρίας, τη ‘διαλεκτική σύνθεση’ πορισμάτων που προέκυπταν από αμοιβαίως αποκλειόμενες ‘αναλυτικές’ διαδικασίες ή, ισοδύναμα, από αμοιβαίως αποκλειόμενες χρήσεις της γλώσσας (στο ίδιο, σ. 147). Εφόσον δε, υπό το συγκεκριμένο καθεστώς, η κάθε επί μέρους ανάλυση μετερχόταν καλώς ορισμένα και, επομένως, ‘ορθώς χρησιμοποιούμενα’ γλωσσικά μέσα, η συγκεκριμένη αντιμετώπιση διασφάλιζε την επιζητούμενη ‘αντικειμενικότητα’ (B1.23).

Το ‘επιστημολογικό μάθημα’ της κβαντικής θεωρίας δεν άργησε να εισαχθεί και σε άλλα πεδία της ανθρώπινης γνώσης: στο πεδίο της βιολογίας – όπου υποδείκνυε τον συμπληρωματικό χαρακτήρα των ‘βιταλιστικών’ (ολιστικών) και ‘μηχανιστικών’ (αιτιακών) μεθόδων ανάλυσης (Bohr, 1937β, 1957, 1960γ, 1962), στο πεδίο της ψυχοφυσιολογίας – όπου υποδείκνυε τον συμπληρωματικό χαρακτήρα των νοητικών

και φυσικο-χημικών λειτουργιών (1932β, 1954, 1960γ) – στο πεδίο, τέλος, της κοινωνιολογίας – όπου υποδείκνυε τον συμπληρωματικό χαρακτήρα των αποδεκτών, σε διαφορετικές κοινωνίες, πολιτισμικών αξιών (Bohr, 1938β, 1954).¹⁰²

Είναι λοιπόν φανερό ότι ο ευρύτερος φιλοσοφικός στοχασμός του Bohr συνέδραμε με καθοριστικό τρόπο το επιστημονικό του έργο. Όπως όμως το σύνολο της εργασίας μας επιχείρησε να δείξει, ο Bohr υπήρξε, κατά κύριο λόγο, ένας επιστήμονας που, όπως ο ίδιος δήλωνε, έθετε ως πρώτιστο στόχο την κατανόηση των ‘βαθύτερων νόμων της φύσης’. Ίσως δε να ήταν ένας ‘πραγματικά μεγάλος’ επιστήμονας, επειδή το επιστημονικό του έργο διαπλεκόταν πάντοτε με μία βαθιά φιλοσοφική διερώτηση. Εάν τώρα καλούμαστε ν’ απαντήσουμε στο αντίστροφο ερώτημα, στο εάν δηλαδή η μεταφορά της συμπληρωματικότητας σε άλλα επιστημονικά πεδία υπήρξε εν τέλει εποικοδομητική, θα είμαστε αναγκασμένοι να επιλέξουμε μία εκ των ακόλουθων, εξίσου εύλογων, απαντήσεων.

Εάν θέταμε ως κριτήριο της επιλογής μας τη σαφήνεια της αποδιδόμενης, στην ίδια την κβαντική θεωρία, ερμηνείας, η απάντησή μας θα όφειλε να είναι αρνητική. Πράγματι, το ρηξικέλευθο, εκ της φύσεώς του, περιεχόμενο της ερμηνευτικής προσέγγισης του Bohr, ο αμιγώς ποιοτικός χαρακτήρας της συμπληρωματικότητας, η ατελής αρχική της παρουσίαση, καθώς και η συγκεχυμένη αρχική ορολογία, καθιστούσαν τους ισχυρισμούς του Bohr σχετικά αδιαφανείς ακόμη και για τους ίδιους τους φυσικούς (§B-1). Η μεταφορά λοιπόν της συμπληρωματικότητας σε άλλα γνωσιακά πεδία – σε πεδία όπου η υποστήριξη του κβαντικού φορμαλισμού εκ των πραγμάτων απουσίαζε – επέτεινε ουσιωδώς τις δημιουργούμενες συγχύσεις. Η

¹⁰² Ο Bohr είχε ιδίαν αντίληψη της σφοδρής φιλοσοφικής σύγκρουσης των τελολογικών ιδεών του ‘βιταλισμού’ με τις ‘μηχανιστικές αντιλήψεις’ της ζωής από την πολύ νεαρή του ηλικία. Γιατί ο πατέρας του Christian Bohr, διακεκριμένος καθηγητής της φυσιολογίας στο πανεπιστήμιο της Κοπεγχάγης, επιδείκνυε εντονότατο ενδιαφέρον για τις φιλοσοφικές πτυχές της επιστήμης του. Από τις περιγραφές του ίδιου του Bohr, γνωρίζουμε ότι, ως νεαρός, μπορούσε να εργάζεται στο εργαστήριο του πατέρα του και να παρακολουθεί τις ατελείωτες συζητήσεις του τελευταίου με τους συναδέλφους του και, κυρίως, με τον Harald Høffding καθηγητή φιλοσοφίας στο πανεπιστήμιο της Κοπεγχάγης (*NBCW10*, σ. xxviii). Όπως δε ο Klein θυμάται, κατά τη διάρκεια ενός περιπάτου το καλοκαίρι του 1918, ο Bohr του ανέφερε «την ιδέα του πατέρα του ότι η τελολογία, όταν επιθυμούμε να περιγράψουμε ζωντανούς οργανισμούς, μπορεί να συνυπάρχει ως οπτική γωνία με την έννοια της αιτιότητας» (Klein, 1967, σ. 76). Μετά από δέκα περίπου χρόνια, ο Bohr όρισε τη συνύπαρξη αυτή με τους όρους της συμπληρωματικότητας. Η σαφέστερη δε έκφραση της συμπληρωματικής αυτής σχέσης είναι η ακόλουθη: «Η βάση του συμπληρωματικού τρόπου περιγραφής στη βιολογία [περιγραφές υπό το πρίσμα της ‘φυσιολογίας’ και της ‘βιοχημείας’ αντίστοιχα] δεν σχετίζεται με τον έλεγχο της αλληλεπίδρασης μεταξύ του αντικειμένου και της μετρητικής συσκευής, ο οποίος έχει ήδη ληφθεί υπόψη από τη χημική κινηματική, αλλά με την πρακτικώς ανεξάντλητη πολυπλοκότητα των οργανισμών» (Bohr, 1960γ, *APHK* III, σ. 21).

απόδοση ‘μυστικιστικών’, ‘ψυχολογιστικών’ ή ‘βιταλιστικών’ τάσεων στην ερμηνευτική προσέγγιση του Bohr, ο ίδιος εν τέλει ο ισχυρισμός της ‘ιδεολογικής επικάλυψης’, τροφοδοτούνται, αλλά και αντλούν την όποια τους ‘αληθοφάνεια’, από τέτοιου είδους ηθελημένες ή αθέλητες συγχύσεις.

Εάν όμως θέταμε ως κριτήριο της επιλογής μας τη συνεισφορά της συμπληρωματικότητας στην ευρύτερη φιλοσοφική σκέψη, η απάντησή μας θα όφειλε να είναι θετική. Κι’ αυτό, για τους εξής λόγους. Ο Bohr, δια της εισαγωγής του ‘επιστημολογικού μαθήματος’ της κβαντικής θεωρίας σε άλλα επιστημονικά πεδία, θέλησε να προσεγγίσει, όχι την ‘ενότητα της επιστήμης’ όπως λόγου χάριν οι λογικοί εμπειριστές επεδίωκαν, αλλά την ‘ενότητα της ανθρώπινης γνώσης’ (Bohr, 1954, 1960). Η διαφοροποίηση αυτή έχει κρίσιμη πράγματι σημασία. Γιατί το τιθέμενο από τον Bohr αίτημα αφορούσε, όχι την κατάκτηση μίας λογικώς ενοποιημένης, και επομένως, κλειστής και αναγωγιστικής επιστημονικής εικόνας του κόσμου, αλλά την αναγνώριση εκείνων των χαρακτηριστικών της ανθρώπινης γνώσης που υπερβαίνουν τις ιδιαιτερότητες των εξειδικευμένων γνωσιακών πεδίων. Έτσι, η συμπληρωματικότητα, φέροντας τα εχέγγυα μίας επιστημονικώς καταξιωμένης έννοιας – και, μάλιστα, σ’ ένα πεδίο με αυστηρούς κανόνες τεκμηρίωσης – εισήγαγε σε ευρύτερα πεδία της ανθρώπινης γνώσης μία πολύτιμη πράγματι αντίληψη: την αντίληψη του *συμμετέχοντος, στο αντικείμενο της γνώσης, υποκειμένου*.

Μία τέτοια βεβαίως αντίληψη, μία αντίληψη που απέρριπτε, εκ λόγων αρχής, την ιδέα του ‘απόστατου υποκειμένου’ (Bohr, 1960α, *APHK* III, σ. 14) ή, ισοδύναμα, την ‘οπτική γωνία του Θεού’ (‘God’s eye view’)¹⁰³ υποδείκνυε, εκ φύσεως, τα όρια και τις δυνατότητες της ανθρώπινης γνώσης, το ανέφικτο των ‘κλειστών’ επιστημονικών εικόνων, τον μη-αναγωγιστικό χαρακτήρα της επιστήμης – και, γενικότερα, της ανθρώπινης γνώσης – την αναγκαιότητα πολύπλευρων, μη αμοιβαίως αναλόγμων προσεγγίσεων στο αντικείμενο της γνώσης, τις συνθήκες, τέλος, και τους όρους αντικειμενικότητας της ανθρώπινης γνώσης. Το σημαντικότερο όμως είναι ότι, παρά την ευκρινώς επιστημολογική τους κατεύθυνση, οι συγκεκριμένες υποδείξεις εδράζονταν σε μία αμιγώς ρεαλιστική – και βεβαίως συνεκτική – φυσική ερμηνεία της πλέον επιτυχούς σύγχρονης φυσικής θεωρίας. Έτσι, πιστεύουμε ότι η ακόλουθη

¹⁰³ Στην τελευταία του προς τον Kuhn συνέντευξη, ο Bohr, αναφερόμενος στις αντιλήψεις του Planck για την κβαντική μηχανική, έκανε το ακόλουθο, χαρακτηριστικό των θέσεών του, σχόλιο: «ο Planck έλεγε ότι ένα μάτι σαν αυτό του Θεού θα μπορούσε σίγουρα να ξέρει την θέση και την ορμή [του ηλεκτρονίου]. ... Και εγώ του είπα: μιλάς για ένα τέτοιο μάτι, το ερώτημα όμως που τίθεται δεν είναι τι μπορεί να δει ένα μάτι, αλλά ποιο είναι το νόημα της λέξης ‘γνωρίζω’» (Bohr, 1962, σ. 7).

ρήση του Bohr εκφράζει με τον αντιπροσωπευτικότερο πράγματι τρόπο το *αδιαχώριστο* της επιστημονικής και φιλοσοφικής του θεώρησης.

«Η φυσική επιστήμη συμβάλλει με ουσιαστικό τρόπο στην ανάπτυξη της φιλοσοφικής σκέψης, όχι μόνο επειδή αποφέρει σταθερά αυξανόμενη γνώση της φύσης, της οποίας και εμείς οι ίδιοι αποτελούμε μέρος, αλλά και επειδή έχει επανειλημμένα προσφέρει νέες δυνατότητες για τη διερεύνηση και εκτέλεση των εννοιολογικών μας εργαλείων» (Bohr, 1958α, *ΑΡΗΚ* II, σ. 2).

Θα ήταν τέλος παράλειψη εάν δεν σημειώναμε ότι ο Bohr, πέραν του επιστημονικού και φιλοσοφικού του έργου, άφησε στην ανθρωπότητα, μία εξίσου σημαντική κληρονομιά: το παράδειγμα ενός σημαντικού επιστήμονα που παραμένει, ταυτόχρονα, ένας απλός, βαθιά προβληματιζόμενος άνθρωπος, το παράδειγμα ενός σημαντικού επιστήμονα που τοποθετεί στο ίδιο βάθρο το επιστημονικό και το διδακτικό του έργο, το παράδειγμα ενός σημαντικού επιστήμονα που αφιερώνει μέρος της ζωής του για την επίτευξη της μέγιστης δυνατής επικοινωνίας των διαφορετικών ρευμάτων της επιστημονικής σκέψης (κάτι που πράγματι συνέβη στο Ινστιτούτο Θεωρητικής Φυσικής της Κοπεγχάγης), το παράδειγμα, τέλος, ενός σημαντικού επιστήμονα που παραμένει και ενεργός πολίτης, ένας πολίτης που αφιερώνει μέρος της ζωής του στην υπόθεση της ειρήνης και της συμφιλίωσης των λαών. Θα ήταν υπερβολή εάν ισχυριζόμαστε ότι οι συγκεκριμένες αρετές διαμορφώνουν το πρότυπο του *ολοκληρωμένου* επιστήμονα;

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Οι πρωτότυπες δημοσιεύσεις και η αλληλογραφία του Bohr αντλήθηκαν από τις ακόλουθες συλλογές:

Τα Άπαντα του Niels Bohr και, κυρίως οι τόμοι, 2, 3, 4, 5, 6 και 10: Rosenfeld, L., & Rüdinger, E., (eds), *Niels Bohr Collected Works, (NBCW)* American Elsevier, Amsterdam, North Holland, 1972 –1985.

The Philosophical Writings of Niels Bohr, Vol. I, *Atomic Theory and the Description of Nature (ATDN)*, Ox bow Press, Woodbridge, Connecticut, 1987.

The Philosophical Writings of Niels Bohr, Vol. II, *Essays on atomic physics and human knowledge (APHK)*, Vol. II, Ox bow Press, Woodbridge, Connecticut, 1987.

The Philosophical Writings of Niels Bohr, Vol. III, *Essays on atomic physics and human knowledge (APHK)*, Vol. III, Ox bow Press, Woodbridge, Connecticut, 1987.

The Philosophical Writings of Niels Bohr, Vol. IV, Jan Faye and Henry Folse (eds), *Causality and Complementarity, (C&C)*, Ox bow Press, Woodbridge, 1998.

Οι εργασίες που περιλαμβάνονται στις συγκεκριμένες συλλογές αναφέρονται λεπτομερώς στη συνέχεια. Για να υποδειχθεί η πηγή των εργασιών αυτών, χρησιμοποιείται η συντόμευση που ακολουθεί τον τίτλο κάθε συλλογής. Στην εργασία μας, όταν αναφερόμαστε σε δημοσιεύσεις που συμπεριλαμβάνονται στα Άπαντα, η ένδειξη των σελίδων υποδεικνύεται μέσα σε αγκύλες [...], όπως ακριβώς συναντάται σε όλους τους τόμους των Απάντων (για να διακρίνεται από την ιδιαίτερη αρίθμηση των σελίδων κάθε δημοσίευσης).

Χρησιμοποιούμε επίσης τις εξής συντομεύσεις:

α) τη συντόμευση (*AHQP*) για να υποδηλώσουμε το ‘Αρχείο για την Ιστορία της Κβαντικής Φυσικής’, (*Archive for the History of Quantum Physics*), το οποίο συμπεριλαμβάνει συνεντεύξεις επιστημόνων που πρωταγωνίστησαν κατά την περίοδο γέννησης της κβαντικής θεωρίας. Οι συνεντεύξεις αυτές οφείλονται, κυρίως, στους T. Kuhn, και J. Heilbron. Η συνέντευξη του Bohr (προς τον T. Kuhn) ολοκληρώθηκε στις 17 Νοεμβρίου 1962, μία ημέρα πριν από τον θάνατό του.

β) τη συντόμευση (*MSS*) για να υποδηλώσουμε τα ‘επιστημονικά χειρόγραφα’ (Niels Bohr ‘Scientific Manuscripts’) που συμπεριλαμβάνονται στο ‘προσωπικό αρχείο του Niels Bohr (‘Niels Bohr Archive’)

Για λειτουργικούς λόγους, η βιβλιογραφία που σχετίζεται με την εκπαιδευτική μας εφαρμογή παρατίθεται, χωριστά, μετά την παρουσίαση της συγκεκριμένης εφαρμογής.

Aerts, D., (1998), ‘The Entity and Modern Physics’ στο E. Castellani (ed), *Interpreting Bodies*, Princeton University Press, New Jersey 1998, 223-257.

Aspect, A., Grainger, P. & Roger, G., (1982) ‘Experimental Test of Bell’s Inequalities, Using Time-Varying Analyzers’, *Physical Review Letters* 49, 1804-1807.

Aspect, A. & Grainger, P., (1988), ‘Fifty Years Later: When Gedanken Experiments Become Real Experiments’ στο H. Feshbach, T. Matsui & A. Oleson (eds), *Niels Bohr:*

- Physics and the World, Proceedings of the Niels Bohr Centennial Symposium*, Harwood Academic Publishers, U.K., 1992, 267-283.
- Bachelard, G., (1934/1998), *Le Nouvel Esprit Scientifique*, Presses Universitaires de France & Quadrige, 1934, απόδοση στα ελληνικά από τον Γ. Φαράκλα, *Το Νέο Επιστημονικό Πνεύμα*, Πανεπιστημιακές εκδόσεις Κρήτης, Ηράκλειο Κρήτης, 1998.
- Baltas, A., (1986), 'Ideological 'Assumptions in Physics: Social Determinations of Internal Structures', *Philosophy of Science Association, (PSA)*, Volume 2, 130-151.
- Baltas, A., (1997α), 'Constraints and Resistance': Stating a Case for Negative Realism', *Poznan Studies in the Philosophy of Science*, Vol. 55, 1997, 74-96.
- Baltas, A., (1997β), 'On Some Grammatical Aspects of Scientific Discovery', εργασία που παρουσιάστηκε στο συνέδριο *The Legacy of Thomas S. Kuhn*, που οργανώθηκε στο Dibner Institute, MIT, Cambridge, Mass., 20-22 Νοεμβρίου 1997.
- Balzer, W., & Moulines, U. (eds), *Structuralistic Theory of Science*, de Gruyter, Berlin, Germany, 1996.
- Beller, M. & Fine, A., (1994), 'Bohr's Response to EPR' στο J. Faye & H. Folse (eds), *Niels Bohr and Contemporary Philosophy*, Boston Studies in the Philosophy of Science, Kluwer Academic Press, Dordrecht, The Netherlands, 1994, 1-31.
- Beller, M., (1999), *Quantum Dialogue, The Making of a Revolution*, The University of Chicago Press, Chicago and London.
- Besnier, J.-M., (1993), *Histoire de la Philosophie Moderne et Contemporaine: Figures et Oeuvres*, Bernart Gresset, Paris, Ελληνική Έκδοση: Μπενιέ, Ζ.-Μ., *Ιστορία της Νεωτερικής και Σύγχρονης Φιλοσοφίας: Φυσιγνωμίες και Έργα*, Εκδόσεις Καστανιώτη, 1996.
- Black, M., (1962), *Models and Metaphors*, Ithaca, New York, USA.
- Bohm, D., (1951), *Quantum Theory*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, England.
- Bothe, W., & Geiger H., (1925), 'Experimentelles zur Theorie von Bohr, Kramers und Slater', *Naturwiss*, 13, 440-441, απόσπασμα από *NBCW5*, σ. [77].
- Bohr, N., (1913α), Η 'τριλογία': 'On the Constitution of Atoms and Molecules', *Philosophical Magazine* 26, 1-25, 476-502, 857-875, αναδημοσιεύτηκε στο *NBCW2*, [161]-[185], [188]-[214], [215]-[233].
- Bohr, N., (1913β), Γράμμα του Bohr προς τον Rutherford, 31 Ιανουαρίου 1913, *NBCW2*, [579]-[580].
- Bohr, N., (1913γ), Γράμμα του Bohr προς τον Rutherford, 6 Μαρτίου 1913, *NBCW2*, [111]-[112].
- Bohr, N., (1913δ), Γράμμα του Bohr προς τον Rutherford, 21 Μαρτίου 1913, *NBCW2*, [113].
- Bohr, N., (1913ε), Γράμμα του Bohr προς τον Moseley, 21 Νοεμβρίου 1913, *NBCW2*, [132]-[133].
- Bohr, N., (1914α), 'On the Spectrum of Hydrogen', *NBCW2*, [281]-[301].
- Bohr, N., (1914β), Γράμμα του Bohr προς τον Oseen, C., 28 Σεπτεμβρίου 1914, *NBCW2*, [560]-[563].
- Bohr, N., (1916), 'On the Application of the Quantum Theory to Periodic Systems', Μη δημοσιευμένη εργασία, προορισμένη να δημοσιευτεί στο *Philosophical Magazine*. τον Απρίλιο του 1916, *NBCW2*, [431]-[461].
- Bohr, N., (1918-1922), Η 'τριλογία': 'On the Quantum Theory of Line Spectra', *NBCW3*, Μέρος I, Απρίλιος 1918, [67] - [102], Μέρος II, Δεκέμβριος 1918, [103]-[166], Μέρος III, Νοέμβριος 1922, [167]-[184] και χειρόγραφα από το 4^ο μέρος, το οποίο δεν δημοσιεύτηκε ποτέ, [185]-[200].
- Bohr, N., (1920α), 'On the Interaction Between Light and Matter', Διάλεξη στη Βασιλική Ακαδημία Γραμμάτων και Επιστημών της Δανίας, 13 February 1920, *NBCW3*, [227]-[240].
- Bohr, N., (1920β), 'On the Series Spectra of Elements', Διάλεξη στην 'German Society' του Βερολίνου, 27 April 1920, *NBCW3*, [242]-[282].
- Bohr, N., (1921α), 'On the Question of the Polarization of Radiation in the Quantum Theory', *NBCW3*, [350]-[356].
- Bohr, N., (1921β), 'On the Application of the Quantum Theory to Atomic Problems', Ανακοίνωση στο 3^ο Συνέδριο του Solvay, Απρίλιος 1921, *NBCW3*, [357]-[380].

- Bohr, N., (1921γ), 'On the Application of the Quantum Theory to Atomic Problems in General', *NBCW3*, [397]-[414].
- Bohr, N., (1922α), 'On the Spectra of Elements of Higher Atomic Number' τρίτο μέρος της τριλογίας 'On the Quantum Theory of Line Spectra', *NBCW3*, [167]-[184].
- Bohr, N., (1922β), 'The Effect of Electric and Magnetic Fields on Spectral Lines', The 7th Guthrie Lecture, *NBCW3*, [419] – [446].
- Bohr, N., (1922γ), Γράμμα του Bohr προς τον Hoffding, απόδοση στην αγγλική γλώσσα από τον Murdoch, στο Murdoch, D., (1987), *Niels Bohr's philosophy of physics*, Cambridge University Press, England, 1987, 76.
- Bohr, Niels, (1922δ), Γράμμα του Bohr προς τον Sommerfeld, 30 Απριλίου 1922, *NBCW3*, [39]-[40].
- Bohr, Niels, (1922ε), 'The Theory of Spectra and Atomic Constitution', *NBCW4*, σσ. [257]-[340].
- Bohr, N., (1922στ), 'On the Selection Principle of the Quantum Theory', *NBCW3*, σσ. [447] – [452].
- Bohr, N., (1923α), 'On the Application of the Quantum Theory to Atomic Structure', *Cambridge Philosophical Society, Proceedings*, 1924, 1 – 42, *NBCW3*, [458]-[499].
- Bohr, N., (1923β), 'Problems of the Atomic Theory', Μετάφραση από χειρόγραφο στη Δανική γλώσσα, *NBCW3*, [569]-[574].
- Bohr, Kramer & Slater, (1924α), 'The Quantum Theory of Radiation', *NBCW5*, [99]-[118].
- Bohr, N., (1924β), Γράμμα του Bohr προς τον Fowler, *NBCW5*, [334]-[335].
- Bohr, N., (1925α), 'Atomic Theory and Mechanics', *Supplement to Nature* No 2937, *NBCW5*, [273]-[280] και στο *ATDN*, 25-51.
- Bohr, N., (1925β), 'Addendum', *NBCW5*, σσ. [204]-[206].
- Bohr, N., (1925γ), Γράμμα του Bohr προς τον Geiger, 21 Απριλίου 1925, *NBCW5*, [79].
- Bohr, N., (1926), Γράμμα του Bohr προς τον Schrödinger, 2 Δεκεμβρίου 1926, *NBCW6*, [14].
- Bohr, N., (1927α), 'The Quantum Postulate and the Recent Development of Atomic Theory', Επιμελημένη εκδοχή της διάλεξης που δόθηκε στο Como στις 16 Σεπτεμβρίου 1927 επ' ευκαιρία της εκατοστής επετείου από τον θάνατο του A. Volta, *Nature* 121, (1928), 580-590, αναδημοσιεύεται στο *NBCW6*, [147]-[158] και στο *ATDN*, 52-91.
- Bohr, N., (1927β), Γράμμα του Bohr προς τον Einstein, 13 Απριλίου 1927, *NBCW6*, [21]-[24].
- Bohr, N., (1927γ), 'Fundamental Problems of the Quantum Theory', μη δημοσιευμένο χειρόγραφο με ημερομηνία 13 Σεπτεμβρίου 1927 από φάκελο που έφερε την ένδειξη Como Lecture II, 1927, *NBCW6*, [73]-[89].
- Bohr, N., (1928α), Γράμμα του Bohr προς τον Schrödinger, 23 Μάιου 1928, *NBCW6*, [48]-[50].
- Bohr, N., (1928β), Γράμμα του Bohr προς τον Oseen, 5 Νοεμβρίου 1928, *NBCW6*, [189].
- Bohr, N., (1929α), 'The Quantum of Action and the Description of Nature', *ATDN*, 92-101.
- Bohr, N., (1929β), 'Introductory Survey', *ATDN*, 1-24.
- Bohr, N., (1929γ), 'The Atomic Theory and the Fundamental Principles Underlying the Description of Nature', *ATDN*, 102-119.
- Bohr, N., (1932α), 'Chemistry and The Quantum Theory of Atomic Constitution', Faraday Lecture, *C&C*, 29-61.
- Bohr, N., (1932β), 'Light and Life', *APHK* II, 3-12.
- Bohr, N., (1935), 'Can Quantum Mechanical Description of Physical Reality Be Considered Complete? ', *C&C*, 73-82.
- Bohr, N., (1936), 'Conservation Laws in Quantum Theory', *NBCW5*, [215]-[216].
- Bohr, N., (1937α), 'Causality and Complementarity', *C&C*, 83-91.
- Bohr, N., (1937β), 'Biology and Atomic Physics', *APHK* II, 13-22.
- Bohr, N., (1938α), 'The Causality Problem in Atomic Physics', *C&C*, 94-121.
- Bohr, N., (1938β), 'Natural Philosophy and Human Cultures', *APHK* II, 23-31.
- Bohr, N., (1948), 'On the Notions of Causality and Complementarity', *C&C*, 141-148.
- Bohr, N., (1949), 'Discussion with Einstein', *APHK* II, 32-66.
- Bohr, N., (1952), 'Medical Research and Natural Philosophy', *NBCW10*, [67]-[571].

- Bohr, N., (1954), 'Unity of Knowledge', *APHK* II, 67-82.
- Bohr, N., (1955α), Γράμμα του Bohr προς τον Pauli, 2 Μαρτίου 1955, *NBCW*10, [567]-[568].
- Bohr, N., (1955β), 'Atoms and Human Knowledge', *APHK* II, 83-93.
- Bohr, N., (1956), 'Physical Science and Man's Position', *C&C*, 170-179.
- Bohr, N., (1957), 'Physical Science and the Problem of Life', *APHK* II, 94-101.
- Bohr, N., (1958α), Εισαγωγή στο *Essays 1933-1957 on Atomic Physics and Human Knowledge*, *APHK* II, 1-2.
- Bohr, N., (1958β), 'Quantum Physics and Philosophy', *APHK* III, 1-7.
- Bohr, N., (1960α), 'The Unity of Human Knowledge', *APHK* III, 8-16.
- Bohr, N., (1960β), 'Quantum Physics and Biology', *C&C*, 180-185.
- Bohr, N., (1960γ), 'The Connection between the Sciences', *APHK* III, 17-22.
- Bohr, N., (1962), 'Light and Life Revisited', *APHK* III, 23-29.
- Born, I., (ed.), (1971), *The Born-Einstein Letters*, Walker, New York, 1971.
- Born, M., (1924), 'Quantum Mechanics', στο B.L. van der Waerden (ed.), *Sources of Quantum Mechanics*, North-Holland Publishing Company, Amsterdam, The Netherlands, 1967, 181-198.
- Born, M., (1926), 'On the Quantum Mechanics of Collisions', στο J. Wheeler & W. Zurek (eds), *Quantum theory and Measurement*, Princeton University Press, 1983, Princeton, USA, 52-55.
- Born, M. & Jordan, P., (1925), 'On Quantum Mechanics', στο B.L. van der Waerden (ed.), *Sources of Quantum Mechanics*, North-Holland Publishing Company, Amsterdam, The Netherlands, 1967, 277-306.
- Born, M., Heisenberg, W. & Jordan, P., (1925), 'On Quantum Mechanics, II', στο B. L. van der Waerden (ed.), *Sources of Quantum Mechanics*, North-Holland Publishing Company, Amsterdam, The Netherlands, 1967, 321-385.
- Born, M., (1976), *My Life*, Taylor and Francis, London.
- Boyd, R., (1979), 'Metaphor and Theory Change', στο A. Ortony (ed), *Metaphor and Thought*, Cambridge University Press, Cambridge, England, 1993, 481-532.
- Boyd, R., (1982), 'On the Current Status of Scientific Realism', στο R. Boyd, P. Gasper & J. Trout (eds), *The Philosophy of Science*, MIT Press, Massachusetts, USA, 1992, 195-222.
- Bub, J., (1979), 'The Measurement Problem of Quantum Mechanics', στο *Problems in the Philosophy of Physics*, (72d Corso), Societa Italiana di Fisica, Bologna.
- Bunge, M., (1955), 'Strife about Complementarity', *British Journal of Philosophy of Science* 6, 1-12, 141-154
- Carnap, R., (1928), 'The Logical Structure of the World', ['Aufbau'], στο Carnap, R., *The Logical Structure of the World and Pseudoproblems in Philosophy*, University of California Press, Berkeley, USA, 1969.
- Carnap, R., (1934), *The Logical System of Language*, Routledge and Kegan Paul, London, England, 1937.
- Carnap, R., (1950), *The Logical Foundations of Probability*, University of Chicago Press, USA.
- Carnap, R., (1956α), 'Empiricism, Semantics and Ontology', στο R. Boyd, P. Gasper and J. Trout (eds), *The Philosophy of Science*, The MIT Press, Massachusetts, USA, 1992, 85-97.
- Carnap, R., (1956β), 'The Methodological Character of Theoretical Concepts', στο Feigl & Scriven (eds), *The Foundations of Science and the Concepts of Psychology and Psychoanalysis*, Minnesota Studies in the Philosophy of Science 1, Minneapolis, USA, 1956, 38-76.
- Cartwright, N., (1983), *How the Laws of Physics Lie*, Clarendon Press, Oxford, England.
- Castellani, E. (ed), *Interpreting Bodies*, Princeton University Press, New Jersey, 1998.
- Chevalley, C., (1994), 'Niels Bohr's Words', στο J. Faye & H. Folse (eds), *Niels Bohr and Contemporary Philosophy*, Boston Studies in the Philosophy of Science, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, 1994, 33-55.
- Cushing, J., (1994) 'A Bohmian Response to Bohr's Complementarity', στο J. Faye & H. Folse (eds), *Niels Bohr and Contemporary Philosophy*, Boston Studies in the Philosophy of Science, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, 1994, 57-75.
- Darrigol, O., (1992), *From c-Numbers to q-Numbers*, University of California Press, USA

- Davies, E.B., (1976), *Quantum Theory and Open Systems*, Academic Press, London.
- Deleuze, G., (1963), *La Philosophie Critique de Kant*, Presses Universitaires de France, Paris, Ελληνική Έκδοση, *Η Κριτική Φιλοσοφία του Kant*, Βιβλιοπωλείο της Εστίας, 2000, Αθήνα.
- D'Espagnat, B., (1995), *Veiled Reality*, Addison-Wesley Publishing Company, Reading, USA.
- Devitt, M., (1997), *Realism and Truth*, Princeton University Press, 2nd Edition, Princeton, New Jersey, USA.
- Dewey, J., (1908), 'Does Reality Possess Practical Character?' από *Essays, Philosophical and Psychological* in Honor of William James, Professor in Harvard University by his Colleagues at Columbia University, Longmans, New York, 53-80, αναδημοσιεύεται στο R. Goodman (ed), *Pragmatism*, Routledge, New York, 1995, 79-91.
- Dirac, P., (1926), 'The Physical Interpretation of the Quantum Dynamics', *Proceedings of the Royal Society of London, (A)*, 113, υποβλήθηκε στις 2 Δεκεμβρίου 1926, 621-646.
- Duhem, P., (1906), *The Aim and Structure of Physical Theory*, Princeton University Press, Princeton, USA, 1954.
- Duhem, P., (1908), *To Save the Phenomena*, Chicago University Press, Chicago, USA, 1969.
- Dummett, M., (1982), 'Realism', *Synthese* 52, 55-112
- Earman, J., (1993), 'Carnap, Kuhn, and the Philosophy of Scientific Methodology', στο P. Horwich (ed), *World Changes*, The MIT Press, 1993, 9-36.
- Ehrenfest, P., (1917), 'Adiabatic Invariants and the Theory of Quanta', στο B.L. van der Waerden, (ed.), *Sources of Quantum Mechanics*, North-Holland Publishing Company, Amsterdam, The Netherlands, 1967, 79-93.
- Ehrenfest, P., (1927), Γράμμα του Ehrenfest προς τους Goudsmit, Uhlenbeck και Dieke, 3 Νοεμβρίου 1927, *NBCW6*, [37]-[41].
- Einstein, A., (1916α), 'Zur Quantentheorie der Strahlung', *Mitteilungen der Physikalischen Geisellschaft, Zurich* 18, 47-62.
- Einstein, A., (1916β), 'Strahlungsemission Und-Absorption nach der Quantentheorie', *Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Geisellschaft* 18, 318-323.
- Einstein, A., (1917), 'Quantentheorie der Strahlung', *Physikalische Zeitschrift* 18, 121-128, αγγλική μετάφραση, 'On the Quantum Theory of Radiation' στο B. L. van der Waerden (ed.), *Sources of Quantum Mechanics*, North-Holland Publishing Company, Amsterdam, The Netherlands, 1967, 63-77.
- Einstein, A., (1920α), Γράμμα του Einstein προς τον Born, 3 Μαρτίου 1920, στο I. Born (ed.), *The Born-Einstein Letters*, Walker, New York, 1971, 25-26.
- Einstein, A., (1920β), Γράμμα του Einstein προς τον Born, 27 Ιανουαρίου 1920, στο I. Born (ed.), *The Born-Einstein Letters*, Walker, New York, 1971, 20-23.
- Einstein, A., (1924), Γράμμα του Einstein προς τον Born, 29 Απριλίου 1924, στο I. Born (ed.), *The Born-Einstein Letters*, Walker, New York, 1971, 82
- Einstein, A., (1926α), Γράμμα του Einstein προς τον Born, 4 Δεκεμβρίου 1926, στο I. Born (ed.), *The Born-Einstein Letters*, Walker, New York, 1971, 90-91
- Einstein, A., (1926β), Γράμμα του Einstein προς τον Schrödinger, 26 Απριλίου 1926, απόσπασμα από Pais, A., (1991), *Niels Bohr Times in Physics, Philosophy, and Polity*, Clarendon Press, Oxford, England, 316.
- Einstein, A., (1928α), 'Review of *La deduction Relativiste*, by E. Meyerson', *Revue Philosophique de la France et de l'Etranger* 105, 161-166, απόσπασμα από Howard, D., (1991), 'Einstein, Kant, and the Origins of Logical Empiricism', 93, στο W. Salmon & G. Wolters (eds), *Logic, Language, and the Structure of Scientific Theories*, University of Pittsburg Press, Universitätsverlag Konstanz, 1991, 45-105.
- Einstein, A., (1928β), Γράμμα του Einstein προς τον Schrödinger, 31 Μαΐου 1928, στο K. Prizibram (ed), *Schrödinger, Planck, Einstein, Lorenz: Letters on Wave Mechanics*, Philosophical Library, New York, 1963, 31.
- Einstein, A., (1931), 'Maxwell's Influence on the Evolution of the Idea of Physical Reality', απόσπασμα από Holton, G., (1973), *Thematic Origins of Scientific Thought*, 3rd Edition, Harvard University Press, Cambridge, England, 3rd Edition, 1994, 259.

- Einstein, A., (1930), Γράμμα του Einstein προς τον Schlick, 28 Νοεμβρίου, 1930, από Holton, G., (1973), *Thematic Origins of Scientific Thought*, 3rd Edition, Harvard University Press, Cambridge, England, 3rd Edition, 1994, 261.
- Einstein, A., (1933), ‘On the Method of Theoretical Physics’, η διάλεξη Herbert Spencer που δόθηκε στις 10 Ιουνίου 1933, στο C. Sellig (ed.), *Ideas and Opinions*, Crown Publisher, New York, 1954, 270-276.
- Einstein, A., Podolsky, B. & Rosen, N., (1935), ‘Can Quantum-Mechanical Description of Reality be Considered Complete?’ στο J. Wheeler & W. Zurek (eds), *Quantum Theory and Measurement*, Princeton University Press, 138-141, 1983.
- Einstein, A., (1944), Γράμμα του Einstein προς τον Born, 7 Σεπτεμβρίου 1944, στο I. Born (ed.), *The Born-Einstein Letters*, Walker, New York, 1971, 148-149.
- Einstein, A., (1947), Γράμμα του Einstein προς τον Born, 3 Μαρτίου 1947, στο I. Born (ed.), *The Born-Einstein Letters*, Walker, New York, 1971, 157-160.
- Einstein, A., (1949α), ‘Autobiographical Notes’, στο A. Schilpp (ed.), *Albert Einstein: Philosopher-Scientist*, The Library of Living Philosophers VII, 3rd ed., USA, 1970, 3-105.
- Einstein, A., (1949β), Μη δημοσιευμένο χειρόγραφο του Einstein, από Holton, 1994, σ. 264.
- Einstein, A., (1949γ), ‘Remarks Concerning the Essays Brought Together in this Cooperative Volume’, στο A. Schilpp, (ed.), *Albert Einstein: Philosopher-Scientist*, The Library of Living Philosophers VII, 3rd ed., USA, 1970, 665-688.
- Faye, J., (1991), *Niels Bohr: His Heritage and Legacy*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands.
- Feigl, H., (1970), ‘The Orthodox View of Theories: Remarks in Defense as well as Critique’, στο M. Radner & S. Winokur (eds), *Analyses of Theories and Methods of Physics and Psychology*, Minnesota Studies in the Philosophy of Science IV, Minneapolis, USA, 1970, 3-16.
- Feshbach, H., Matsui, T. & Oleson, A. (eds) *Niels Bohr: Physics and the World, Proceedings of the Niels Bohr Centennial Symposium*, Harwood Academic Publishers, U.K., 1992.
- Feyerabend, P., (1958), ‘Complementarity’, *Supplementary Proceedings of the Aristotelian Society* 32, 75-104.
- Feyerabend, P., (1962α), ‘Explanation, Reduction and Empiricism’, στο Feyerabend, P., *Realism, Rationalism & Scientific Method*, Philosophical Papers, 1, Cambridge University Press, England, 1981, 44-91
- Feyerabend, P., (1962β), ‘Problems in Microphysics’, στο R. Colodny (ed.), *Frontiers of Science and Philosophy*, Pittsburgh University Press, USA.
- Feyerabend, P., (1975), *Against Method*, Verso Press, London, England.
- Feyerabend, P., (1981α), ‘Consolations for the Specialist’, στο Feyerabend, P., *Problems of Empiricism*, Philosophical Papers 2, Cambridge University Press, England, 1981, 131-167.
- Feyerabend, P., (1981β), ‘Philosophy of Science versus Scientific Practice’, στο Feyerabend, P., *Problems of Empiricism*, Philosophical Papers 2, Cambridge University Press, England, 1981, 80-88.
- Feyerabend, P., (1981γ), ‘Explanation, Reduction and Empiricism’, στο Feyerabend, P., *Problems of Empiricism*, Philosophical Papers 1, Cambridge University Press, England, 1981, 44-96.
- Feyerabend, P., (1981δ), ‘Two Models of Epistemic Change: Mill and Hegel’, στο Feyerabend, P., *Problems of Empiricism*, Philosophical Papers 2, Cambridge University Press, England, 1981, 65-79.
- Feyerabend, P., (1981ε), ‘Niels Bohr’s World View’, στο Feyerabend, P., *Problems of Empiricism*, Philosophical Papers 1, Cambridge University Press, England, 1981, 247-297.
- Fine, A., (1986), *The Shaky Game*, University of Chicago Press, Chicago, USA.
- Folse, H., (1985), *The Philosophy of Niels Bohr*, Elsevier Science Publishers, Amsterdam, The Netherlands.
- Forman, P., (1971), ‘Weimar Culture, Causality, and Quantum Theory: Adaptation by German Physicists and Mathematicians to a Hostile Intellectual Environment’, *Historical Studies in the Physical Sciences*, 3, 1-115.

- Forman, P., (1979), 'The Reception of an A-causal Quantum Mechanics in Germany and Britain', στο S. Mauskop (ed), *The Reception of Unconventional Science*, Westview Press, USA, 11-54.
- Forman, P., (1984), 'How Cultural Values Prescribed the Character and the Lessons Ascribed to Quantum Mechanics', στο N. Stehr & M. Volker (eds) *Society and Knowledge Transaction Books*, U.K., 333-347.
- French, S. & Ladyman, J., (2003), 'Remodeling Structural Realism: Quantum Physics and the Metaphysics of Structure', *Synthese* 136, 31-56.
- Friedman, M., (1974), 'Explanation and Scientific Understanding', *The Journal of Philosophy* 71, 5-19, και στο J. Pitt (ed), *Theories of Explanation*, Oxford University Press, New York, USA, 1988.
- Glaserfeld, von E., (2001), 'The Radical Constructivist View of Science', *Foundations of Science* 6, 31-43.
- Gibbins, P., (1981), 'A Note on Quantum Logic and the Uncertainty Principle', *Philosophy of Science* 48, 122-126.
- Goodman, R., (ed), (1995), *Pragmatism*, Routledge, New York.
- Hacking, I., (1983), *Representing and Intervening, Introductory Topics in the Philosophy of Natural Science*, Cambridge University Press, Cambridge, England.
- Heilbron, J., (1985), 'The Earliest Missionaries of the Copenhagen Spirit', *Revue d' Histoire des Sciences* 38, 194-230.
- Heisenberg, W., (1925), 'Quantum-Theoretical Reinterpretation of Kinematic and Mechanical Relations', στο B. L. van der Waerden (ed.), *Sources of Quantum Mechanics*, North-Holland Publishing Company, Amsterdam, The Netherlands, 1967, 261-276.
- Heisenberg, W., (1926), 'Quantenmechanik', *Die Naturwissenschaften* 45, 989-994.
- Heisenberg, W., (1927α), 'The Physical Content of Quantum Kinematics and Mechanics', αγγλική μετάφραση στο J. Wheeler, J., και W. Zurek (eds), *Quantum theory and Measurement*, Princeton University Press, 1983, 62-84.
- Heisenberg, W., (1927β), Γράμμα του Heisenberg προς τον Pauli, 4 Απριλίου 1927, *NBCW6*, [17].
- Heisenberg, W., (1927γ), Γράμμα του Heisenberg προς τον Dirac, 27 Απριλίου 1927, *NBCW6*, [17]-[18].
- Heisenberg, W., (1958), *Physics and Philosophy*, Hasper and Row, New York. Ελληνική Έκδοση, Χαϊζενμπεργκ, Β., (1958/1971), *Φυσική και Φιλοσοφία*, Διογένης, Αθήνα.
- Heisenberg, W., (1961), *Physics and Beyond*, Harrper & Row, New York..
- Heisenberg, W., (1963), Συνέντευξη του Heisenberg προς τους T. Kuhn και J. Heilbron στις 19 Φεβρουαρίου 1963, *AHQP*, μαγνητοταινία 74α, χειρόγραφο, 2-25.
- Heisenberg, W., (1967α), 'Quantum Theory and its Interpretation', στο S. Rozental (ed.) *Niels Bohr: his Life and Work as Seen by his Friends and Colleagues*, North-Holland, Amsterdam, 1987.
- Heisenberg, W., (1967β), 'The principle of Indeterminacy'. Αναδρομικός σχολιασμός του Heisenberg ως προς την εμπεριέχουσα την Αρχή της Απροσδιοριστίας εργασία του. Στο J. Wheeler & W. Zurek (eds), *Quantum Theory and Measurement*, Princeton University Press, 1983, 56-57.
- Held, C., (1994), 'The Meaning of Complementarity', *Studies in History and Philosophy of Science* 25, 871-893.
- Hempel, C. & Oppenheim, P., (1948), 'Studies in the Logic of Explanation', στο Hempel, C., (1965), *Aspects of Scientific Explanation and Other Essays in the Philosophy of Science*, The Free Press, New York, USA, 245-295.
- Hempel, C., (1950α), 'Empiricist Criteria of Cognitive Significance: Problems and Changes', στο Hempel, C., *Aspects of Scientific Explanation and Other Essays in the Philosophy of Science*, *Revue Internationale de Philosophie*, 1950, 245 – 290, αναδημοσιεύεται στο R. Boyd, P. Gasper, & J. Trout, (eds), *The Philosophy of Science*, The MIT Press, 1992, 71-84.
- Hempel, C., (1950β), 'A Note on Semantic Realism', *Philosophy of Science* 17, 169-173.

- Hempel, C., (1965), 'Aspects of Scientific Explanation', στο *Aspects of Scientific Explanation and Other Essays in the Philosophy of Science*, The Free Press, New York, USA, 1965, 331-496.
- Hempel, C., (1966), *Philosophy of Natural Science*, και, ειδικότερα, το 5^ο Κεφάλαιο 'Laws and their Role in Scientific Explanation', 47-69, το οποίο αναδημοσιεύεται στο R. Boyd, P. Gasper & J. Trout (eds), *The Philosophy of Science*, The MIT Press, USA, 1992, 300-315.
- Hendry, J., (1980), 'Weimar Culture and Quantum Causality', *History of Science*, 155-180.
- Hesse, M., (1970), *Models and Analogies in Science*, University of Notre Dame Press, Paris.
- Holton, G., (1973), *Thematic Origins of Scientific Thought*, 3rd Edition, Harvard University Press, Cambridge, England, 3rd Edition, 1994.
- Honner, J., (1987), *The Description of Nature: Niels Bohr and the Philosophy of Quantum Physics*, Clarendon Press, Oxford.
- Hooker, C., (1972), 'The Nature of Quantum Mechanical Reality', στο R.G. Colodny (ed), *Paradigm and Paradoxes*, Pittsburg Series in the Philosophy of Science 5, Pittsburg, 1972.
- Hooker, C., (1994), 'Bohr and the Crisis of Empirical Intelligibility', στο J. Faye, J. & H. Folse (eds) *Niels Bohr and Contemporary Philosophy*, Boston Studies in the Philosophy of Science, Kluwer Academic Press, Dordrecht, The Netherlands, 1994, 155-199.
- Howard, D., (1991), 'Einstein, Kant, and the Origins of Logical Empiricism', στο W. Salmon & G. Wolters (eds), *Logic, Language, and the Structure of Scientific Theories*, University of Pittsburg Press, Universitätsverlag Konstanz, 1991, 45-105.
- Howard, D., (1994), 'What makes a Classical Concept Classical', στο J. Faye and H. Folse (eds), *Niels Bohr and Contemporary Philosophy*, Boston Studies in the Philosophy of Science, Kluwer Academic Press, Dordrecht, The Netherlands, 1994, 201-229.
- Hughes, R.I.G., (1992), *The Structure and the Interpretation of Quantum Mechanics*, 4th Printing, 1997, Harvard University Press, London, England.
- James, W., (1890), 'The Principles of Psychology' στο H Frederick et al. (eds), *The Works of William James* 8, Harvard University Press, 1981.
- James, W., (1909), 'The meaning of Truth: A Sequel to Pragmatism', στο H Frederick et al. (eds), *The Works of William James* 2, Harvard University Press, 1975.
- Jammer, M., (1974), *The Philosophy of Quantum Mechanics*, John Wiley & Sons, Inc., USA.
- Jammer, M., (1989) *The Conceptual Development of Quantum Mechanics*, Tomash Publishers, American Institute of Physics, USA.
- Jeans, J., (1913), 'Physics at the British Association', *Nature*, 92 (1913), 304-309, ένα απόσπασμα αναδημοσιεύεται στο *NBCW2*, [124].
- Jordan, P., (1927), 'Über eine neue Begründung der Quantenmechanik' υποβλήθηκε στις 18 Δεκεμβρίου 1926, *Zeitschrift für Physik* 40, 809-838.
- Kant, E., (1783), Ελληνική Έκδοση, *Προλεγόμενα σε Κάθε Μελλοντική Μεταφυσική που θα Μπορεί να Παρουσιάζεται ως Επιστήμη*, μετάφραση Γ. Τζαβάρας, Εκδόσεις Δωδώνη, Αθήνα, 1982.
- Καρακώστας Β., (2000), 'Επί του Προβλήματος της Κβαντικής Μέτρησης: Πραγματικότητα, Αντικειμενικότητα και Πιθανοκρατία στη Σύγχρονη Φυσική», *Νέυσις* 9, 95-115.
- Karakostas, V., (2003), 'The Nature of Physical Reality in the Light of Quantum Nonseparability', *Abstracts of the 12th International Congress of Logic, Methodology and Philosophy of Science*, Oviedo, Spain, 329-330.
- Karakostas, V., (2004), 'Forms of Quantum Nonseparability and Related Philosophical Consequences', *Journal for General Philosophy of Science* 35, 285-312.
- Καρακώστας Β., (2005), 'Περί της Φύσεως και Ερμηνείας της Κβαντικής Πραγματικότητας. Το Πρότυπο του Ενεργού Επιστημονικού Ρεαλισμού', *Νέυσις* 14, 48-77.
- Karakostas, V., (2006), 'Nonseparability Potentiality and the Context Dependence of Quantum Objects' υπό δημοσίευση στο *Dialectica*.
- Κιντή, Β., (1995), *Kuhn και Wittgenstein, Φιλοσοφική Έρευνα της Δομής των Επιστημονικών Επαναστάσεων*, Εκδόσεις Σμίλη, Αθήνα.
- Kitcher, P., (1985), 'Two Approaches to Explanation', *Journal of Philosophy*, 82, 251-281.

- Kitcher, P., (1989), 'Explanatory Unification and the Causal Structure of the World' στο P. Kitcher & W. Salmon (eds), *Scientific Explanation*, Minnesota Studies in the Philosophy of Science 13, University of Minnesota Press, Minneapolis, USA, 1989, 410-505.
- Klein, O., (1963), Συνέντευξη του Klein προς τους T. Kuhn και J. Heilbron, στις 15 Ιουλίου 1963, *AHQP*, 3-12, και συνέντευξη του Klein προς τους J. Heilbron και L. Rosenfeld στις 28 Φεβρουαρίου 1963, *AHQP*, 11-23.
- Klein, O., (1967), 'Glimpses of Niels Bohr as Scientist and Thinker', στο S. Rosental (ed), *Niels Bohr: his Life and Work as Seen by his Friends and Colleagues*, North-Holland, Amsterdam, 1987, 74-93.
- Klein, O., (1968), Συνέντευξη του Klein προς τους L. Rosenfeld, και J. Kalckar στις 7 Νοεμβρίου 1968, *NBA*.
- Kragh, H., (1999), *Quantum Generations*, Princeton University Press, Princeton, New Jersey.
- Krajewski, W., (1977), *Correspondence Principle and the Growth of Science*, Reidel Publishing Company, Dordrecht, Holland.
- Kramers, H., (1920), 'Über den Einfluss eines elektrischen Feldes auf die Feinstruktur der Wasserstofflinien', *Zeitschrift für Physik* 3, 199-223.
- Kramers, H., (1924α), 'The Law of Dispersion and Bohr's Theory of Spectra', στο B. L. van der Waerden (ed.), *Sources of Quantum Mechanics*, North-Holland Publishing Company, Amsterdam, The Netherlands, 1967, 177-180.
- Kramers, H., (1924β), 'The Quantum Theory of Dispersion', στο B. L. van der Waerden (ed.), *Sources of Quantum Mechanics*, North-Holland Publishing Company, Amsterdam, The Netherlands, 1967, 199-201.
- Kramers, H., & Holst, H., (1923), *The Atom and the Bohr Theory of its Structure*, Knorpf, New York.
- Kuhn, T., (1962/1970), *The Structure of Scientific Revolutions*, University of Chicago Press, USA. Η Δεύτερη έκδοση (1970) συμπεριλαμβάνει και το Υστερόγραφο. Μετάφραση στα ελληνικά από τους Γ. Γεωργακόπουλο, Β. Κάλφα, *Η Δομή των Επιστημονικών Επαναστάσεων*, Εκδόσεις Σύγχρονα Θέματα, Θεσσαλονίκη, 1981.
- Kuhn, T., (1970), 'Logic of Discovery or Psychology of Research', στο Kuhn, T., *The Essential Tension*, The University of Chicago Press, USA, 1977, 266-292.
- Kuhn, T., (1973), 'Objectivity, Value Judgment, and Theory Choice' στο Kuhn, T., *The Essential Tension*, The University of Chicago Press, USA, 1977, 320 – 339.
- Kuhn, T., (1974), 'Second Thoughts on Paradigms', στο *The Essential Tension*, The University of Chicago Press, USA, 1977, 293- 319.
- Kuhn, T., (1979), 'Metaphor in Science', στο A. Ortony (ed), *Metaphor and Thought*, Cambridge University Press, Cambridge, England, 1993, 533-542.
- Lakatos, I., (1984), 'Methodology of Scientific Research Programmes', στο I. Lakatos & A. Musgrave (eds), *Criticism and the Growth of Knowledge*, Cambridge University Press, England, 1984, 91-196.
- Laudan, L., (1977), *Progress and its Problems*, University of California Press, USA.
- London, F., & Bauer, E., (1939), 'The Theory of Observation in Quantum Mechanics', στο J. Wheeler & W. Zurek, (eds), *Quantum Theory and Measurement*, Princeton Series in Physics, New Jersey, USA, 1983, 217-259.
- Lecourt, D., (1971), *Bachelard Epistemologie, Textes Choisis par D. Lecourt*, Presse Universitaire de France, 2^e édition, 1974.
- MacKinnon, E., (1994), 'Bohr and the Realism Debate', στο J. Faye & H. Folse (eds), *Niels Bohr and Contemporary Philosophy*, Boston Studies in the Philosophy of Science, Kluwer Academic Press, Dordrecht, The Netherlands, 278-302.
- Meyerson, E., (1925), *La Deduction Relativiste*, Payot, Paris, France.
- Miller, A., (ed.) *Sixty-Two Years of Uncertainty, Historical, Philosophical and Physical Inquiries into the Foundations of Quantum Mechanics*, NATO ASI Series, Physics 226, Plenum Press, New York, 1989.
- Moore, W., (1989), *Schrödinger, Life and Thought*, Cambridge University Press, Cambridge, England.

- Moulines, U., (1996), 'Structuralism: The Basic Ideas', στο W. Balzer & U. Moulines (eds), *Structuralistic Theory of Science*, de Gruyter, Berlin, Germany, 1996 1-13.
- Murdoch, D., (1987), *Niels Bohr's Philosophy of Physics*, Cambridge University Press, England.
- Nagel, E., (1961), *The Structure of Science: Problems in the Logic of Scientific Explanation*, Harcourt, Brace & World, New York, USA.
- Neurath, O., (1934), Γράμμα προς τον Carnap, 14 Νοεμβρίου 1934, από Hillman Library, University of Pittsburg, RC-029-10-10, ένα απόσπασμα εμφανίζεται στην εισαγωγή των Faye και Folse στο C&C 8.
- Norton, J., (2000), 'How we Know about Electrons', στο R. Nola & H. Sankey (eds), *After Popper, Kuhn and Feyerabend*, Kluwer Academic Publishers, Great Britain, 67-97.
- Pais, A., (1991), *Niels Bohr Times in Physics, Philosophy, and Polity*, Clarendon Press, Oxford, England.
- Petrucchioli, S., (1993), *Atoms, Metaphors and Paradoxes*, Cambridge University Press, Cambridge, England.
- Plotninsky, A., (1994), *Complementarity*, Duke University Press, Durham and London.
- Popper, K., (1934), 'Zur Kritik der Ungenauigkeitsrelationen', *Die Naturwissenschaften* 22, σσ. 807-808, αγγλική μετάφραση στο *The Logic of Scientific Discovery*, 1959, Basic Books, New York.
- Popper, K., (1953), 'The problem of Induction', στο *A pocket Popper*, Fontana Press, 1983.
- Popper, K., (1959), *The Logic of Scientific Discovery*, Basic Books, New York και επιλογές στο R. Boyd, P. Gasper & J. Trout (eds), *The Philosophy of Science*, The MIT Press, Cambridge, England, 1992, 99-119.
- Popper, K., (1961), 'Evolution and the Tree of Knowledge', στο *Objective Knowledge: an Evolutionary Approach*, Oxford University Press, 1973, 256-284.
- Popper, K., (1963), *Conjectures and Refutations*, Routledge and Kegan Paul, London, England.
- Popper, K., (1966), 'A realist View of Logic, Physics, and History', στο *Objective Knowledge: an Evolutionary Approach*, Oxford University Press, 1973, 285-318.
- Popper, K., (1970), 'Two Faces of Common Sense', στο *Objective Knowledge: an Evolutionary Approach*, Oxford University Press, 1973 2nd ed., 32-105.
- Popper, Karl, (1971), 'Conjectural Knowledge', στο *Objective Knowledge: an Evolutionary Approach*, Oxford University Press, 1973 2nd ed., 1-31.
- Popper, K., (1972), 'The Aim of Science', στο *Objective Knowledge: an Evolutionary Approach*, Oxford University Press, 1973 2nd ed., 191-205.
- Popper, K., (1972), *Objective Knowledge: an Evolutionary Approach*, Oxford University Press, England, 2nd ed., 1973.
- Popper, K., (1976), *Unended Quest*, Fontana Press, London, England.
- Prizibram, K., (ed), *Schrödinger, Planck, Einstein, Lorenz: Letters on Wave Mechanics*, Philosophical Library, New York, 1963.
- Primas, H., (1989) 'Mathematical and Philosophical Questions in the Theory of Open and Macroscopic Quantum Systems', στο A. Miller (ed.) *Sixty-Two Years of Uncertainty, Historical, Philosophical and Physical Inquiries into the Foundations of Quantum Mechanics*, NATO ASI Series, Physics 226, Plenum Press, New York, 1989, 233-257.
- Psillos, S., (1999), *Scientific Realism, How Science Tracks Truth*, Routledge, New York.
- Putnam, H., (1987), *Mathematics, Matter and Method, Philosophical Papers* 1, Cambridge University Press, England.
- Quine, V., (1975), 'On Empirically Equivalent Systems of the World', *Erkenntnis* 9, 313-328.
- Reichenbach, H., (1944), *Philosophic Foundations of Quantum Mechanics*, University of California Press, Berkeley.
- Reichenbach, H., (1951), *The Rise of Scientific Philosophy*, University of California Press, USA.
- Riegler, A., (2001), 'Towards a Radical Constructivist Understanding of Science', *Foundations of Science* 6, σσ. 1-30.

- Röseberg, U., (1994), 'Hidden Historicity: The challenge of Bohr's Philosophical Thought', στο J. Faye & H. Folse, H. (eds), *Niels Bohr and Contemporary Philosophy*, Boston Studies in the Philosophy of Science, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, 1994, 325-343.
- Rosenfeld, L., (1963α), 'Niels Bohr Contribution in Epistemology', *Physics Today* 16(10), 47-54.
- Rosenfeld, L., (1963β), Συνέντευξη του Rosenfeld προς τους T. Kuhn και J. Heilbron την 1^η Ιουλίου 1963, *AHQP*, 13-21.
- Rosenfeld, L., (1967), 'Niels Bohr in the Thirties', στο S. Rosental (ed), *Niels Bohr: his Life and Work as Seen by his Friends and Colleagues*, North-Holland, Amsterdam, 1987, 114-136.
- Rosenfeld, L., (1971), 'The principle of Indeterminacy'. Σχολιασμός του Rosenfeld ως προς την εμπειρέχουσα τις σχέσεις απροσδιοριστίας εργασία του Heisenberg. Στο J. Wheeler & W. Zurek (eds), *Quantum Theory and Measurement*, Princeton University Press, 1983, 57-61.
- Rosenfeld, L., (1971β), 'Men and Ideas in the History of Atomic Radiation in Space and Time', *Archive for History of Exact Sciences* 7.
- Rosental, S. (ed.), *Niels Bohr: his Life and Work as Seen by his Friends and Colleagues*, North-Holland, Amsterdam, 1987.
- Russel, B., (1912), *The Problems of Philosophy*, Oxford University Press, New York, USA, 1959.
- Salmon. W., (1984), *Scientific Explanation and the Causal Structure of the World*, Princeton University Press, Princeton, New Jersey, USA.
- Salmon. W., (1993), 'Causality: Production and Propagation', στο E. Sosa M. & Tooley (eds), *Causation*, Oxford Readings in the Philosophy, Oxford University Press, 1993, 154-171.
- Schilpp, A. (ed.), *Albert Einstein: Philosopher-Scientist*, The Library of Living Philosophers, vol. VII, 3rd ed., USA, 1970.
- Sellig, C. (ed.), *Ideas and Opinions*, Crown Publisher, New York, 1954.
- Scheibe, E., (1973), *The Logical Analysis of Quantum Mechanics*, Pergamon Press, Oxford.
- Schrödinger, E., (1926α), 'Quantisierung als Eigenwertproblem', *Annalen der Physik*, 1^η δημοσίευση στο τεύχος 79, 361-376, 2^η δημοσίευση επίσης στο τεύχος 79, 489-527, 3^η δημοσίευση στο τεύχος 80, 437-490, 4^η δημοσίευση στο τεύχος 81, 109-139.
- Schrödinger, E., (1926β), 'Über das Verhältnis der Heisenberg-Born-Jordanschen Quantenmechanik zu der meinen', *Annalen der Physik*, 79, 734-756.
- Schrödinger, E., (1926γ), Γράμμα του Schrödinger προς τον Bohr, 23 Οκτωβρίου 1926, *NBCW6*, [12]-[13].
- Schrödinger, E., (1928), Γράμμα του Schrödinger προς τον Bohr, 5 Μάιου 1928, *NBCW6*, [46]-[48].
- Schrödinger, E., (1935), 'Discussion of Probability Relations Between Separated Systems', *Proceedings of the Cambridge Philosophical Society* 31, 555-363.
- Shimony, A., (1970), 'Scientific Inference', στο R. Colodny (ed) *The Nature and Function of Scientific Theories*, University of Pittsburgh Press, USA.
- Shimony, A., (1988), 'Physical and Philosophical Issues in the Bohr – Einstein Debate', στο H. Feshbach, T. Matsui & A. Oleson (eds), *Niels Bohr: Physics and the World, Proceedings of the Niels Bohr Centennial Symposium*, Harwood Academic Publishers, 1992, U.K., 286-303.
- Sintonen, M., (1996), 'Structuralism and the Interrogative Model of Inquiry', στο W. Balzer & U. Moulines (eds), *Structuralistic Theory of Science*, de Gruyter, Berlin, Germany, 45-74.
- Sommerfeld, A., (1919, 1921, 1922), 1^η, 2^η και 3^η έκδοση, αντίστοιχα, 'Atombau und Sprktrallinien', *Braunschweig*, αγγλική μετάφραση ως 'Atomic Structure and Spectral Lines', 1923, *Methuen*, London.
- Sommerfeld, A., (1920), Γράμμα του Sommerfeld προς τον Bohr, 11 Νοεμβρίου 1920, *NBCW3*, [23].

- Sosa E. & Tooley, M. (eds), *Causation*, Oxford Readings in the Philosophy, Oxford University Press, 1993.
- Stapp, P., (1993), *Mind, Matter and Quantum Mechanics*, Springer-Verlag, Berlin.
- Staver, J., (1998), 'Constructivism: Sound Theory or Explicating the Practice of Science and of Science Teaching', *Journal of Research in Science Teaching* 35, 501-520.
- Strawson, P., (1966), *The Bounds of Sense: an Essay on Kant's Critique of Pure Reason*, Methuen, London, 1975.
- Strawson, P., (1976), 'Entity and Identity', στο Strawson, P., (1997), *Entity & Identity and other Essays*, Oxford University Press, New York, 21-51.
- Strawson, P., (1987), 'Kant's New Foundations of Metaphysics', στο Strawson, P., (1997), *Entity & Identity and other Essays*, Oxford University Press, New York, 232-243.
- Stroud, B., (1994), 'Kantian Argument, Conceptual Capacities and Invulnerability' στο Stroud, B., (2000), *Understanding Human Knowledge*, Oxford University Press, New York.
- Van der Waerden, B. L. (ed.), *Sources of Quantum Mechanics*, North-Holland Publishing Company, Amsterdam, The Netherlands, 1967.
- Van Fraassen, C., (1978), 'To Save the Phenomena', *Journal of Philosophy* 73, 623-632, αναδημοσιεύεται στο R. Boyd, P. Gasper J. & Trout (eds), *The Philosophy of Science*, The MIT Press, USA, 1992, 188-194.
- Van Fraassen, C., (1980), *The Scientific Image*, Clarendon Press, Oxford, England.
- Von Weizsäcker, (1980), *The Unity of Nature*, Farrar Strauss Giroux, New York.
- Wheeler, J. & Zurek, W. (eds), *Quantum Theory and Measurement*, Princeton Series in Physics, New Jersey, USA, 1983.
- Whitaker, A., (1996), *Einstein, Bohr and the Quantum Dilemma*, Cambridge University Press, Cambridge, England.
- Wise, N., (1987), 'Forman Reformed', Μη δημοσιευμένο αλλά ευρύτατα γνωστό άρθρο του Wise, Department of History, University of California, Los Angeles, από το αρχείο του Μ. Ασημακόπουλου.
- Wise, N., (1993), 'Mediations: Enlightenment Balancing Acts, or the Technologies of Rationalism', στο P. Horwich (ed), *World Changes*, The MIT Press, Massachusetts.
- Worrall, J., (1996), 'Structural Realism: The Best of Both Worlds?', στο D. Papineau (ed), *The Philosophy of Science*, Oxford University Press, Oxford, 139-165.

ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ

**Η ‘ΦΥΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ’
ΩΣ ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΕΡΓΑΛΕΙΟ
ΕΝΝΟΙΟΛΟΓΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ
ΠΡΟΣ ΤΗΝ ΚΒΑΝΤΙΚΗ ΚΟΣΜΟΘΕΩΡΗΣΗ**

**Η ‘ΦΥΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ’ ΩΣ ΔΥΝΑΜΙΚΟ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΕΡΓΑΛΕΙΟ ΕΝΝΟΙΟΛΟΓΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ
ΠΡΟΣ ΤΗΝ ΚΒΑΝΤΙΚΗ ΚΟΣΜΟΘΕΩΡΗΣΗ**

Το αρχικό έναυσμα για την εκπόνηση της παρούσας διατριβής προήλθε από μία πρώτη απόπειρα *θεωρητικής θεμελίωσης* μίας ποιοτικής, κατά βάση, εκπαιδευτικής προσέγγισης στην κβαντική φυσική (Kalkanis, Hadzidaki & Stavrou, 2003). Και, πράγματι, η κατάλληλη εκπαιδευτική ανασυγκρότηση επιλεγμένων θεμάτων της παρούσας διατριβής επέτρεψε τον θεωρητικό σχεδιασμό μίας σειράς διδακτικών παρεμβάσεων που προωθούν σε σημαντικό, κατά τη γνώμη μας, βαθμό τον συγκεκριμένο στόχο. Στη συνέχεια, θα παρουσιάσουμε το εμπειρικό υπόβαθρο, τον περιρρέοντα προβληματισμό, το θεωρητικό πλαίσιο και τις γενικές αρχές ενός ερευνητικού προγράμματος προς τη συγκεκριμένη κατεύθυνση και θ’ αναφερθούμε συνοπτικά σε ορισμένες ιδιαίτερες εφαρμογές του, σ’ εκείνες τις εφαρμογές που αντλήθηκαν, έως τώρα, από το περιεχόμενο της εργασίας μας.

1. Οι θεωρήσεις περί ‘εννοιολογικής αλλαγής’ στο εκπαιδευτικό πλαίσιο

Η εμπειρική έρευνα που σχετίζεται με τη διδασκαλία και τη μάθηση των φυσικών επιστημών καταδεικνύει, επίμονα, ότι οι προ-διδακτικές αντιλήψεις των διδασκομένων έρχονται σε ευθεία, πολλές φορές, αντίθεση με το επιστημονικό περιεχόμενο της προς εκμάθηση ύλης. Έτσι, ο όρος ‘εννοιολογική αλλαγή’ (‘conceptual change’), υπό τον σύγχρονο προσδιορισμό του, εισήχθη στο εκπαιδευτικό πλαίσιο για να υποδηλώσει την αναγκαιότητα υποκίνησης μαθησιακών διαδικασιών που αποκλίνουν ουσιωδώς – ή είναι ριζικώς διαφορετικές – από την απλή ‘γνωσιακή ανάπτυξη’ (‘conceptual growth’): η μάθηση, στη συγκεκριμένη περίπτωση, δεν αναμένεται να προκύψει από τη σωρευτική επέκταση της αρχικής γνώσης των διδασκομένων, αλλά από τη δραστική της εννοιολογική ανασυγκρότηση, μία ανασυγκρότηση που εκλαμβάνεται ως *προ-απαιτούμενη συνθήκη* κάθε γνωσιακού εμπλουτισμού. Η Driver εξέθεσε τη συγκεκριμένη θέση με τον ακόλουθο τρόπο: «Η πλέον πολύπλοκη μάθηση, τόσο στη ζωή μας όσο και στην επιστήμη, απαιτεί, όχι την πρόσθεση νέας πληροφορίας στο ήδη γνωστό, αλλά την αλλαγή του τρόπου σκέψης για την πληροφορία που ήδη διαθέτουμε. Απαιτεί την ανάπτυξη νέων τρόπων θέασης των πραγμάτων» (Driver, 1997, αποδελτίωση από βιντεοκασέτα, Clough, 2005, σ. 3).

Η συγκεκριμένη θεώρηση διατυπώθηκε για πρώτη φορά με συστηματικό τρόπο στις αρχές της δεκαετίας του '80 από μία ομάδα εκπαιδευτών και φιλοσόφων του πανεπιστημίου Cornell (Hewson, 1981, Posner et al, 1982, Strike & Posner, 1985). Η ομάδα αυτή, αναγνωρίζοντας τις μαθησιακές διαδικασίες των μεμονωμένων ατόμων ως ισχυρώς ανάλογες των αντίστοιχων διαδικασιών στο πεδίο της ενεργού επιστήμης, κατόρθωσε να συνταιριάσει δημιουργικά σε μία εκπαιδευτική θεωρία 'ενοιολογικής αλλαγής' τη μαθησιακή θεωρία του Piaget με τις ιδέες του Kuhn για την 'εξελικτική' και την 'επαναστατική' εξέλιξη της επιστημονικής γνώσης. Έτσι, η διάκριση μεταξύ 'εξελικτικής' και 'επαναστατικής' ενοιολογικής αλλαγής (Nussbaum, 1983) ή, ισοδύναμα, μεταξύ 'ασθενούς' και 'ρίζικης' ενοιολογικής ανασυγκρότησης (Carey, 1985) ή, επίσης ισοδύναμα, μεταξύ 'θεωρητικού εμπλουτισμού' και 'θεωρητικής αναθεώρησης' (Vosniadou, 1994) αποτελεί θεμελιακό στοιχείο όλων εκείνων των θεωρήσεων που επιχειρούν να προσδιορίσουν το ακριβές περιεχόμενο και τις συνθήκες πραγμάτωσης της επιδιωκόμενης 'ενοιολογικής αλλαγής'.

Η εμπειρική εφαρμογή προγραμμάτων ενοιολογικής αλλαγής κατέστησε προοδευτικά φανερό ότι η διδακτική επικοινωνία και η μαθησιακή προσέγγιση της επιστημονικής κοσμοθεώρησης δεν επηρεάζεται μόνο από τις προ-διδασκτικές αντιλήψεις των διδασκομένων σε σχέση με το περιεχόμενο των προς εκμάθηση εννοιών. Ως ισχυρώς προσδιοριστικοί παράγοντες της επιχειρούμενης ενοιολογικής αλλαγής εμφανίζονται, επίσης, οι μετα-επιστημονικές ιδέες δασκάλων και διδασκομένων (οι ιδέες τους για το αντικείμενο, τις λειτουργίες και τις εξελικτικές διαδικασίες της ίδιας της επιστήμης, [για μία ευρεία επισκόπηση, βλ. Lederman, 1992]), οι μετα-γνωσιακές τους ιδέες (οι ιδέες τους για τη φύση της διδακτικής και μαθησιακής διαδικασίας, π.χ. Baird & Northfield, 1992), οι οντολογικές τους αντιλήψεις (π.χ. Chi et al, 1994), η προσωπική τους στάση έναντι του κόσμου (ψυχολογικοί παράγοντες, ενδιαφέροντα, κίνητρα μάθησης, π.χ. Pintrich et al., 1993), καθώς και το σχολικό αλλά και το ευρύτερο κοινωνικό πλαίσιο (π.χ. Roth, 1995).

Η πιστοποίηση της ιδιαίτερης πολυπλοκότητας του διδακτικού και μαθησιακού εγχειρήματος εγείρει, όπως πολλοί ερευνητές υπογραμμίζουν, την αναγκαιότητα σχεδιασμού *πολυδιάστατων* εκπαιδευτικών πλαισίων, ικανών να δημιουργήσουν πολύ-κατευθυνόμενες και, κατ' επέκταση, αποδοτικότερες συνθήκες ενοιολογικής αλλαγής προς το επιστημονικώς αποδεκτό σώμα γνώσης (για μία εκτενή επισκόπηση των προτεινόμενων εκπαιδευτικών στρατηγικών, βλ. Duit & Treagust, 2003). Σε αντίστροφη τώρα κατεύθυνση, υποστηρίζεται πρόσφατα με πειστικότητα ότι ένα

μαθησιακό περιβάλλον εννοιολογικής αλλαγής μπορεί ν' αποδειχθεί ιδιαίτερα πρόσφορο για την κατανόηση της ίδιας της 'Φύσης της Επιστήμης'. Κι' αυτό, γιατί οι αντιλήψεις τόσο των δασκάλων όσο και των διδασκομένων σε σχέση με τα προσδιοριστικά χαρακτηριστικά της 'φύσης' αυτής, έχοντας συγκροτηθεί εν πολλοίς αυθόρμητα υπό την επίδραση των συνήθως προβαλλόμενων προτύπων – από τα μέσα μαζικής ενημέρωσης, την παραδοσιακή διδασκαλία, τα σχολικά εγχειρίδια, κλπ – φαίνονται ν' αποκλίνουν ισχυρά από την πραγματική υπόσταση της αυθεντικής επιστήμης (Clough, 2005).

2. Η 'Φύση της Επιστήμης' στο Εκπαιδευτικό Πλαίσιο

Σήμερα, έχει εδραιωθεί σε σημαντικό πλέον βαθμό η πεποίθηση – μία πεποίθηση που αντανακλάται τόσο στα επίσημα εκπαιδευτικά προγράμματα όσο και στην τρέχουσα εκπαιδευτική έρευνα – ότι η ουσιαστική επαφή με τη 'Φύση της Επιστήμης' οφείλει ν' αποτελεί αναπόσπαστη συνιστώσα, όχι μόνο της εκπαίδευσης των νέων επιστημόνων και τεχνικών, αλλά και της 'επιστημονικής καλλιέργειας' ('scientific literacy') κάθε σύγχρονου πολίτη (π.χ. AAAS, 1989, NRC, 1996, McComas & Olson, 1998). Ο όρος 'Φύση της Επιστήμης' (ΦΤΕ), υπό τον ευρύ, γενικώς αποδεκτό προσδιορισμό του, χρησιμοποιείται για να υποδηλώσει, *πρώτον*, τον χαρακτήρα της επιστημονικής γνώσης, *δεύτερον*, τις βασικές πτυχές της επιστημονικής διερεύνησης, σκέψης και δικαιολόγησης, *τρίτον*, τα κύρια χαρακτηριστικά της επιστημονικής μεθόδου, *τέταρτον*, τις κοινωνικές διαστάσεις του επιστημονικού εγχειρήματος και, *τέλος*, τις διαδικασίες και πρακτικές που χαρακτηρίζουν την ιστορική εξέλιξη της επιστημονικής γνώσης (McComas, 1998).

Τόσο στο πλαίσιο της επίσημης εκπαιδευτικής πολιτικής, όσο και στο πλαίσιο της εκπαιδευτικής έρευνας, επικρατούσε έως πρόσφατα η πεποίθηση ότι η εμπλοκή σε προσεκτικά σχεδιασμένες εργαστηριακές δραστηριότητες παρέχει στους διδασκόμενους την ευκαιρία να συλλάβουν, 'έμμεσα', τα βασικά χαρακτηριστικά της ΦΤΕ. Εν τούτοις, τα πορίσματα της εμπειρικής έρευνας θέτουν υπό συνεχή επερώτηση την αρχική αυτή πεποίθηση (π.χ. Abd-El Khalick & Lederman, 2000, Khishfe & Abd-El Khalick, 2002). Η αποτυχία των 'έμμεσων' μεθόδων προσέγγισης της ΦΤΕ ανέδειξε την αναγκαιότητα σχεδιασμού διδακτικών παρεμβάσεων για την 'άμεση' διδασκαλία της και μάθηση. Οι διδακτικές δε παρεμβάσεις που σχεδιάστηκαν για ν' ανταποκριθούν στο συγκεκριμένο αίτημα προβλέπουν, είτε μία γενική, 'μη-εξειδικευμένη' επικοινωνία της ΦΤΕ (π.χ. επίλυση κατάλληλα

επιλεγμένων προβλημάτων: ‘puzzle solving activities’, [Clough, 1997] ή επίδειξη *gestalt* μεταστροφών [Lederman & Abd-El Khalick, 1998], κλπ), είτε μία ‘μετρίως-εξειδικευμένη’ επικοινωνία της ΦΤΕ (ανάδειξη των θεμελιακών της ιδεών μέσω συγκεκριμένων παραδειγμάτων από την ιστορία της επιστήμης [Abd-El Khalick, 1999]), είτε, τέλος, μία ‘ισχυρώς εξειδικευμένη’ επικοινωνία της ΦΤΕ (τα προσδιοριστικά χαρακτηριστικά της ΦΤΕ διαπλέκονται ισχυρά με το υπό μελέτη περιεχόμενο της επιστημονικής γνώσης [Matthews, 1994, Irwin, 2000]). Οι Rudolph και Stewart επιδεικνύουν ένα αντιπροσωπευτικό παράδειγμα της τελευταίας περίπτωσης στο πεδίο της βιολογίας, όταν θεμελιώνουν την εκπαιδευτική τους πρόταση, στον ακόλουθο ισχυρισμό: «Η εννοιολογική κατανόηση της βιολογικής εξέλιξης απαιτεί την εξοικείωση των διδασκομένων με τις μεταφυσικές παραδοχές και τις μεθοδολογικές διαδικασίες που ενστερνίστηκε και εφάρμοσε, αντίστοιχα, ο Δαρβίνος. Έτσι, το θεωρητικό πλαίσιο και η επιστημονική πρακτική, παρουσιάζονται, όχι μόνο ως αλληλοεξαρτώμενες οντότητες, αλλά, πολύ περισσότερο, ως οι δύο όψεις μίας και μοναδικής οντότητας» (Rudolph & Stewart, 1998, σ. 1085).

Οι ‘άμεσες’ μη-εξειδικευμένες ή μετρίως-εξειδικευμένες μέθοδοι προσέγγισης της ΦΤΕ, καθώς υποκινούν την ανάπτυξη *ανάλογων* προς το επιστημονικό πνεύμα τρόπων σκέψης και δικαιολόγησης, παρέχουν το έδαφος για μία *αρχική* εξοικείωση των διδασκομένων με ορισμένα χαρακτηριστικά της ΦΤΕ. Εν τούτοις, οι μέθοδοι που φαίνονται ν’ αποφέρουν ουσιαστική κατανόηση είναι εκείνες που μετέρχονται ‘άμεσους’ και ισχυρώς εξειδικευμένους τρόπους επικοινωνίας της ΦΤΕ (Clough & Olson, 2001, Abd-El Khalick, 2001). Όπως θα δειχθεί στη συνέχεια (ενότητα 4), το εκπαιδευτικό μας πρόγραμμα, καθώς συνενώνει σ’ ένα ενιαίο και αδιάρρηκτο σύνολο το περιεχόμενο της κβαντικής θεωρίας, το επιστημολογικό και οντολογικό του υπόβαθρο και την ιστορική του ανάπτυξη, διαμορφώνει ιδιαίτερα ευνοϊκές συνθήκες για μία ‘άμεση’ και ισχυρώς εξειδικευμένη επικοινωνία της ΦΤΕ.

3. ‘Αντιστάσεις’ στη γνωσιακή προσέγγιση της κβαντικής κοσμοθεώρησης

Καθώς οι κβαντικές έννοιες προσφέρουν την απαραίτητη γνωσιακή υποδομή για την κατανόηση θεμελιακών φαινομένων τόσο της ύλης όσο και της ακτινοβολίας, τα επίσημα εκπαιδευτικά προγράμματα αναγκάζονται να εντάξουν στη διδακτέα ύλη της δευτεροβάθμιας, αλλά ακόμη και της πρωτοβάθμιας εκπαίδευσης, ορισμένα επιλεγμένα θέματα της υποατομικής φυσικής (δομή των ατόμων, περιοδικό σύστημα, φωτοηλεκτρικό φαινόμενο, ακτίνες X, κλπ). Οι εμπειρικές όμως έρευνες δείχνουν

ξεκάθαρα ότι οι εφαρμοζόμενες, για την εισαγωγή των συγκεκριμένων θεμάτων, παραδοσιακές διδακτικές στρατηγικές ενισχύουν την κλασική κοσμοθεώρηση – μία κοσμοθεώρηση που συνταιριάζεται εν γένει αρμονικά με τη βιωματική εμπειρία των διδασκομένων – και ευνοούν, κατ’ αυτόν τον τρόπο, τη συγκρότηση νοητικών δομών που χαρακτηρίζονται από την *αδόκιμη ανάμιξη* των εννοιολογικών πλαισίων της κλασικής και της κβαντικής φυσικής. Έτσι, η μετα-διδασκτική γνώση των διδασκομένων, όσον αφορά τα υποατομικά φαινόμενα, εμφανίζεται να ‘εμπεριέχει στοιχεία τόσο από την κλασική όσο και από την κβαντική φυσική’ (Ireson, 1999, σ. 78) ή, ακόμη περισσότερο, να επιδεικνύει ‘μία κλασική αντίληψη των κβαντικών εννοιών’ (Mashaldi, 1996, σ. 256). Οι διδασκόμενοι έχουν λόγου χάριν την τάση ‘να προσαρτούν μακροσκοπικά χαρακτηριστικά στις υποατομικές οντότητες’ (Seifert & Fischler, 1999, σ. 393) ή ‘να μεταφέρουν άκριτα τον αιτιοκρατικό τρόπο σκέψης και δικαιολόγησης εντός του κβαντικού πλαισίου’ (Kalkanis, Hadzidaki & Stavrou, 2003, σ. 265). Οι εμπειρικές έρευνες καταδεικνύουν, επίσης, ότι οι ούτως διαμορφούμενες νοητικές δομές προβάλλουν στη συνέχεια *ισχυρή αντίσταση* σε οποιαδήποτε περαιτέρω προσπάθεια γνωσιακής εμβάθυνσης στην κβαντική κοσμοθεώρηση. Έτσι, οι σχετιζόμενες με τις κβαντικές έννοιες παρανοήσεις, εμφανιζόμενες ‘ως αντικρουόμενο σημείο αναφοράς κάθε καινούργιας ιδέας’ (Petri & Niedderer, 1998, σ. 1079), διαμορφώνουν κάποιο είδος ‘σταθερής γνώσης’, εφόσον παραμένουν εν πολλοίς αμετάβλητες ακόμη και μετά από ισχυρώς εξειδικευμένα μαθήματα κβαντικής φυσικής (Fischler & Peuchert, 1999).

Οι διαπιστώσεις αυτές εναρμονίζονται πλήρως με τις γενικές θέσεις της γνωσιακής ψυχολογίας σε σχέση με τις πηγές και την ένταση της εκάστοτε προβαλλόμενης ‘αντίστασης’: οι προ-διδασκτικές αντιλήψεις των διδασκομένων φαίνονται να δρουν ιδιαιτέρως ανταγωνιστικά προς το επιστημονικό περιεχόμενο της νέας γνώσης, *πρώτον*, όταν είναι βαθιά ριζωμένες στην καθημερινή εμπειρία και επιβεβαιώνονται διαρκώς από αυτήν (Preece, 1984), *δεύτερον*, όταν υποστηρίζονται από την κοινή, καθημερινή γλώσσα (βλ. σχετικά Duit, 1999), *τρίτον*, όταν αδυνατούν να καταταγούν στις οντολογικές κατηγορίες των προς εκμάθηση εννοιών (οπότε η εννοιολογική αλλαγή προϋποθέτει οντολογική επέκταση ή ανά-κατηγοριοποίηση της αρχικής γνώσης, Chi et al, 1994) και, *τέλος*, όταν είναι εμβαπτισμένες σ’ ένα δίκτυο πεποιθήσεων που υποβάλλει μία συγκεκριμένη οντολογική εικόνα του κόσμου ή μία συγκεκριμένη αντίληψη για τη φύση, τα χαρακτηριστικά και την εξέλιξη της επιστημονικής γνώσης. Στην τελευταία αυτή περίπτωση, οι προ-διδασκτικές

αντιλήψεις των διδασκομένων χαρακτηρίζονται ως ισχυρώς ‘εδραιωμένες πεποιθήσεις’ (‘entrenched beliefs’, Vosniadou & Brewer, 1992).

Μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι η γνωσιακή ψυχολογία, μέσω της ενδελεχούς καταγραφής και ανάλυσης των μαθησιακών μηχανισμών, οδηγείται, εν τέλει, στην ανάδειξη της έννοιας του κατά Bachelard ‘επιστημολογικού εμποδίου’ ή της ‘παραδοχής υποβάθρου’ του Α. Μπαλτά (§Α-6.1), γεγονός που προσδίδει στη συγκεκριμένη έννοια πρόσθετη εγκυρότητα και βαρύτητα. Υπό το φως δε των αναλύσεων της γνωσιακής ψυχολογίας, μπορεί να κατανοήσει κανείς, υπό μία διαφορετική πλέον οπτική γωνία, γιατί τα προσδιοριζόμενα από αυτές μαθησιακά ‘εμπόδια’ επέδειξαν, κατά την περίοδο γέννησης της κβαντικής θεωρίας, και επιδεικνύουν, στο πλαίσιο της εκπαιδευτικής διαδικασίας, ιδιαίτερη ανθεκτικότητα και ισχύ: η προσπάθεια γνωσιακής προσέγγισης της κβαντικής κοσμοθεώρησης αποδείχθηκε και αποδεικνύεται ιδιαίτερα επίπονη, επειδή η κβαντική θεωρία προκάλεσε την ισχυρότερη έως σήμερα ρήξη με την αντιληπτική εμπειρία, τη σημασιολογία της καθημερινής γλώσσας και τις οντολογικές και επιστημολογικές αντιλήψεις που υποθάλπονταν για δύο περίπου αιώνες από την επιστημονική γνώση. Η Nersessian, μετά την παρουσίαση ενός ιδιαίτερα σημαντικού μοντέλου γνωσιακής ανάλυσης της επιστημονικής εξέλιξης, επισημαίνει με τον ακόλουθο τρόπο την κρίσιμη σημασία που αποκτά η διασύνδεση της γνωσιακής ψυχολογίας με την ιστορία και τη φιλοσοφία της επιστήμης στο εκπαιδευτικό πλαίσιο.

(Ε.1) «Καθώς οι ιστορικές διαδικασίες προσφέρουν ένα μοντέλο της ίδιας της μαθησιακής δραστηριότητας, μπορούν να υποβοηθήσουν τους μαθητές να συγκροτήσουν αναπαραστάσεις των επιστημονικών θεωριών. Έτσι, η ιστορία της επιστήμης προσφέρει στο εκπαιδευτικό πεδίο ... στρατηγική γνώση για τους τρόπους συγκρότησης, αλλαγής και επικοινωνίας των επιστημονικών αναπαραστάσεων» (η έμφαση από τη Nersessian, 1992, σ. 40).

Η παραδοχή ότι η αρχική γνώση των διδασκομένων παρεμβάλλει ‘επιστημολογικά εμπόδια’ (υπό την επιστημολογική – φιλοσοφική ή γνωσιακή ανάλυση του συγκεκριμένου όρου) στην εκμάθηση της κβαντικής φυσικής αποτελεί θεμελιακή προκείμενη του εκπαιδευτικού μας προγράμματος. Καθώς δε η συγκεκριμένη παραδοχή εγείρει άμεσα το αίτημα της φιλοσοφικής και επιστημολογικής ανάλυσης της προς μετάδοση γνώσης, η συμβολή της παρούσας διατριβής στην ανάπτυξη του εκπαιδευτικού αυτού προγράμματος γίνεται ιδιαίτερος εμφανής, εάν μεταφέρουμε τον ισχυρισμό της Nersessian στο πλαίσιο της δικής μας εργασίας: η επιστημολογική μελέτη της μετάβασης από την κλασική στην κβαντική θεωρία, καθώς αναδεικνύει εκλεπτυσμένες και καλλιεργημένες εκφάνσεις των *συνήθων* τρόπων μάθησης,

εφοδιάζει την εκπαιδευτική διαδικασία με πολύτιμο υλικό για την αντιμετώπιση των γνωσιακών ‘εμποδίων’ και την προσέγγιση της κβαντικής κοσμοθεώρησης. Όπως όμως ήδη σημειώσαμε, μία εκπαιδευτική διαδικασία που θεμελιώνεται στην ιστορία και φιλοσοφία της επιστήμης – λαμβάνοντας ταυτόχρονα σοβαρά υπόψη της τα πορίσματα της γνωσιακής ψυχολογίας – μπορεί να εκπληρώσει, παράλληλα, και έναν άλλο σημαντικό εκπαιδευτικό στόχο: μπορεί να δημιουργήσει ευνοϊκές μαθησιακές συνθήκες για μία ‘άμεση’ και ισχυρώς εξειδικευμένη διδασκαλία της ‘Φύσης της Επιστήμης’ (ενότητα 2). Έτσι, αυτό που το ερευνητικό μας πρόγραμμα επιχειρεί εν τέλει να επιτύχει είναι η κριτική συνένωση των προβληματισμών, των πορισμάτων και των στοχοθετήσεων των θεωριών περί ‘εννοιολογικής αλλαγής’ και περί ‘Φύσης της Επιστήμης’ σ’ ένα ενιαίο μαθησιακό πλαίσιο, σ’ ένα πλαίσιο ικανό ν’ αποφέρει την ουσιαστική κατανόηση της κβαντικής θεωρίας.

4. Η εννοιολογική αλλαγή προς την κβαντική κοσμοθεώρηση και η ουσιαστική εμπάθυνση στη ‘Φύση της Επιστήμης’ ως παράλληλοι και αδιαχώριστοι εκπαιδευτικοί στόχοι

Οι σύγχρονες εκπαιδευτικές θεωρίες ‘εννοιολογικής αλλαγής’ έχουν εγκαταλείψει τα τελευταία χρόνια την ιδέα της gestalt μεταστροφής. Κι’ αυτό, γιατί δεν υφίσταται ούτε μία εμπειρική έρευνα που να καταδεικνύει ότι ένα μαθησιακό περιβάλλον εννοιολογικής αλλαγής κατόρθωσε να σβήσει ολοσχερώς τις αρχικές αντιλήψεις των διδασκομένων και να τις αντικαταστήσει με νέες ιδέες (πλήρης βιβλιογραφία από τους Pfundt & Duit, 1994). Οι αρχικές αντιλήψεις των διδασκομένων παραμένουν εν γένει ‘ζωντανές’, η αδόκιμη δε σύμμειξή τους με τη νέο-αποκτηθείσα γνώση ευνοεί την ανάδυση ‘υβριδικών’ ιδεών (Duit, 1999) ή, με την ορολογία της γνωσιακής ψυχολογίας, τη συγκρότηση ‘συνθετικών’ νοητικών μοντέλων (Vosniadou, 1994). Όπως ήδη σημειώσαμε, στην εκπαίδευση της κβαντικής φυσικής το φαινόμενο αυτό αποκτά καθολικές σχεδόν διαστάσεις (ενότητα 3). Εάν δε λάβουμε υπόψη μας την υπάρχουσα βιβλιογραφία, οφείλουμε ν’ αναγνωρίσουμε ότι η διόγκωση αυτή οφείλεται, όχι μόνο στην ανθεκτικότητα της αντιληπτικής γνώσης και στον ιδιάζοντα χαρακτήρα των κβαντικών ιδεών, αλλά και στην ολοσχερή πολλές φορές απόκρυψη του χαρακτήρα αυτού από την παραδοσιακή διδασκαλία. Γιατί, όπως οι εμπειρικές έρευνες διαβεβαιώνουν, οι παραδοσιακές διδακτικές μέθοδοι «απαλείφουν εν γένει τις ουσιαστικές διαφορετικές οπτικές γωνίες της κλασικής και της κβαντικής φυσικής» (Fischler & Lifchtfeldt, 1992, σ. 182), γεγονός που καθιστά, λόγου χάριν, τους

διδασκόμενους «ανίκανους ν' αναφέρουν έστω και μία διαφορά μεταξύ της σύγχρονης και της κλασικής φυσικής. ... Η κατάσταση αυτή οδηγεί σε σοβαρές παρανοήσεις» (Gil & Solbes, 1993, σ. 256).

Υπό το φως των συγκεκριμένων διαπιστώσεων, το εκπαιδευτικό μας πρόγραμμα αποσκοπεί να οδηγήσει πρωτίστως τους διδασκόμενους στην αναγνώριση της δομικής, εννοιολογικής και οντολογικής *ασυμβατότητας* της κλασικής και της κβαντικής φυσικής. Για την επίτευξη δε του συγκεκριμένου στόχου, προβλέπει μία καθοδηγούμενη σταδιακή ανασυγκρότηση και επέκταση της αρχικής γνώσης των διδασκομένων στην κατεύθυνση που υποδεικνύει ένα επιστημολογικώς δομημένο σώμα γνώσης, το οποίο ονομάστηκε 'Επίπεδα Πραγματικότητας' (Hadzidaki, Kalkanis & Stavrou, 2000). Τα φυσικά φαινόμενα κατατάσσονται στα διαφορετικά 'Επίπεδα', ανάλογα με τη φυσική θεωρία που επιτυγχάνει την επιτυχή τους πρόβλεψη και ερμηνεία (συναντάμε, λόγου χάριν, το 'Επίπεδο της Κλασικής Φυσικής' και το 'Επίπεδο της Κβαντικής Φυσικής'). Η δομή των 'Επιπέδων', ως κεντρικός άξονας της εκπαιδευτικής διαδικασίας, διασφαλίζει:

A. Μία πλαισιακή – στατική θεώρηση των φυσικών θεωριών. Η ανεξάρτητη μελέτη κάθε 'Επιπέδου' αποσκοπεί στην επικοινωνία του επιστημονικού περιεχομένου της αντίστοιχης φυσικής θεωρίας, στην ανάδειξη των ιδιαίτερων δομικών και εννοιολογικών της χαρακτηριστικών, στην αποκάλυψη του αφανούς εν πολλοίς οντολογικού της υποβάθρου και στον προσδιορισμό των όρων 'αλήθειας' και 'αντικειμενικότητας' που αυτή διαμορφώνει. Έτσι, η ανεξάρτητη μελέτη κάθε 'Επιπέδου' αναμένεται ν' αποφέρει μία πλαισιακή - στατική θεώρηση της επιστημονικής γνώσης, εφόσον οι επιστημονικές θεωρίες αποκόπτονται ολοσχερώς από τις διαδικασίες που οδήγησαν στην 'ανακάλυψή' τους. Παράλληλα, η συγκριτική μελέτη των διαφορετικών 'Επιπέδων' αναμένεται ν' αποφέρει την επιδιωκόμενη σαφή διάκριση των αντίστοιχων θεωριών.

B. Μία συνολική – εξελικτική θεώρηση της επιστημονικής γνώσης. Η συνολική μελέτη των 'Επιπέδων' προσβλέπει στην ανάδειξη της δυναμικής εξέλιξης της επιστημονικής γνώσης, στην πιστοποίηση της επιστημονικής συνέχειας και προόδου, παρά την ασυμμετρία των διαδοχικών θεωριών, και στην καταγραφή των ιστορικών, εννοιολογικών και ερμηνευτικών εκείνων συνδέσμων που συνενώνουν τις διαφορετικές θεωρίες σ' ένα συνεκτικό σώμα γνώσης. Η συνολική θεώρηση των «Επιπέδων» διενεργείται υπό το πρίσμα επιλεγμένων

ιστορικών διαδικασιών – μετά την κατάλληλη εκπαιδευτική τους προσομοίωση – εκείνων των διαδικασιών που οδήγησαν την ίδια την επιστήμη σε αλλαγή θεωρίας. Οι ιστορικές διαδικασίες, εάν θυμηθούμε τον ισχυρισμό της Nersessian (E-1), προσφέρουν στην εκπαιδευτική διαδικασία πολύτιμα *γνωσιακά εργαλεία* για την προώθηση της εννοιολογικής αλλαγής των διδασκομένων, εφόσον οι μαθησιακοί μηχανισμοί στο προσωπικό και επιστημονικό επίπεδο θεωρούνται ισχυρώς ανάλογοι (ενότητα 3). Τα γνωσιακά εργαλεία στα οποία αναφερόμαστε δεν είναι βεβαίως άλλα από τα μεθοδολογικά – ευρετικά εργαλεία, μέσω των οποίων η ενεργός επιστήμη κατόρθωσε να υπερβεί τα ‘εμπόδια’ και να κατακτήσει ριζικώς καινούργια γνώση. Ως τέτοια εξόχως διεισδυτικά εργαλεία μάθησης μπορούμε αναμφίβολα ν’ αναγνωρίσουμε την αναλογική δικαιολόγηση, την απεικονιστική δικαιολόγηση και τα νοητικά πειράματα.

Είναι φανερό ότι το πρώτο μέρος της διδακτορικής μας διατριβής προσφέρει πολύτιμο υλικό για την συνολική – εξελικτική θέαση των ‘Επιπέδων’ της κλασικής και κβαντικής φυσικής, ενώ το δεύτερο μέρος για την πλαισιακή – στατική μελέτη των συγκεκριμένων ‘Επιπέδων’. Όσον αφορά την εφαρμοζόμενη μεθοδολογία, οφείλουμε να σημειώσουμε ότι κάθε ειδική εφαρμογή του εκπαιδευτικού μας προγράμματος συγκροτείται μέσω τεσσάρων ερευνητικών βημάτων: **α)** Εντοπισμός ενός συγκεκριμένου διδακτικού προβλήματος, όπως αυτό αναδεικνύεται από τις εμπειρικές έρευνες που διερευνούν τις σχετιζόμενες με την κβαντική φυσική μαθησιακές δυσκολίες. **β)** Διεξοδική γνωσιακή και επιστημολογική μελέτη του εν λόγω προβλήματος υπό το φως σχετικών μελετών, όπως αυτές αναπτύσσονται στα πεδία της γνωσιακής ψυχολογίας και της φιλοσοφίας της επιστήμης, αντίστοιχα. **γ)** Μελέτη του τρόπου εμφάνισης του υπό διερεύνηση προβλήματος κατά τη διαδικασία ‘γέννησης’ της κβαντικής θεωρίας και ανίχνευση των γνωσιακών δρόμων που ακολούθησε η ενεργός επιστήμη για να το επιλύσει. Και, τέλος, **δ)** σχεδιασμός μίας εκπαιδευτικής παρέμβασης ικανής ν’ αντιμετωπίσει επιτυχώς το συγκεκριμένο πρόβλημα. Με άξονα πάντοτε τη δομή των ‘Επιπέδων’ και ακολουθώντας την περιγραφείσα μεθοδολογία, φθάσαμε στη συγκρότηση των ακόλουθων εφαρμογών.

1. *Διερεύνηση του αναλογικού τρόπου σκέψης και δικαιολόγησης στο πλαίσιο μίας ποιοτικής εκπαιδευτικής προσέγγισης στην κβαντική φυσική.* Τα τελευταία χρόνια, ο αναλογικός τρόπος σκέψης και δικαιολόγησης υπήρξε αντικείμενο διεξοδικής μελέτης στα πεδία της γνωσιακής ψυχολογίας και της τεχνητής νοημοσύνης. Οι

σχετικές μελέτες πιστοποιούν τον κρίσιμο ρόλο που διαδραματίζουν οι αναλογίες στη μαθησιακή διαδικασία, πρωτίστως, επειδή αποδεικνύονται σημαντικά, ίσως τα σημαντικότερα, μέσα μεταφοράς γνώσης από ένα πεδίο σ' ένα άλλο. Οι περισσότερες γνωσιακές θεωρίες εκλαμβάνουν τον αναλογικό τρόπο δικαιολόγησης ως μία 'διαδικασία μοντελοποίησης' που *καθοδηγεί* την ανθρώπινη σκέψη. Κατά τη διαδικασία αυτή, αποκόπτονται σχεσιακές δομές από ένα πεδίο επιλυμένων προβλημάτων (από τη βάση της αναλογίας) και προσαρμόζονται, με τους κατάλληλους περιορισμούς, στο πεδίο των προς επίλυση προβλημάτων (στο στόχο της αναλογίας). Έτσι, οι αναλογίες *καθοδηγούν* τον τρόπο χρήσης της υφιστάμενης γνώσης για την προσέγγιση νέων γνωσιακών πεδίων. Εν τούτοις, οι περισσότερες γνωσιακές θεωρίες ενστερνίζονται επίσης την άποψη ότι οι αναλογίες δεν λειτουργούν ως απλοί οδηγοί της ανθρώπινης σκέψης, αφήνοντας στη λογική την τελική επίλυση των προβλημάτων. Αντίθετα, όπως υπογραμμίζει η Nersessian, «*οι ίδιες οι αναλογίες είναι εκείνες που προωθούν τη συμπερασματική σκέψη και παράγουν την επίλυση του προβλήματος*» (η έμφαση από την Nersessian, 1992, σ. 20).

Στο σημείο αυτό, η γνωσιακή ψυχολογία συναντά ένα ισχυρό ρεύμα της σύγχρονης φιλοσοφικής σκέψης: οι αναλογίες αναγνωρίζονται ως ατελείς, μη-αναλυτικοί τρόποι σκέψης και δικαιολόγησης, ως τρόποι όμως ευρετικοί και δημιουργικοί που υπερβαίνουν τη δυναμική της αυστηρής λογικής και αποδεικνύονται ικανοί ν' αποφέρουν ουσιωδώς καινούργια γνώση (Black, 1962, Hesse, 1970, Boyd, 1979, βλ. §A-3.2). Δεν είναι λοιπόν περίεργο ότι, τόσο στο πεδίο της γνωσιακής ψυχολογίας, όσο και στο πεδίο της φιλοσοφίας της επιστήμης, πολλές από τις θεωρίες που μελετούν την 'εννοιολογική αλλαγή' – και, ιδιαίτερα, εκείνες που απορρίπτουν την έννοια της *gestalt* μεταστροφής – αναλύουν με ιδιαίτερη προσοχή τον ρόλο των αναλογιών στη γνωσιακή ανάπτυξη, τόσο των μεμονωμένων ατόμων όσο και της επιστήμης. Δεν είναι επίσης περίεργο ότι, πολύ γρήγορα, τα πορίσματα και οι προβληματισμοί των θεωριών αυτών μεταφέρθηκαν στο εκπαιδευτικό πλαίσιο, όπου υποβλήθηκαν σε εξαντλητική εμπειρική δοκιμασία.

Η εμπειρική εκπαιδευτική έρευνα επιβεβαίωσε, αλλά μόνο εν μέρει, την αποτελεσματικότητα των αναλογιών στη μάθηση των φυσικών επιστημών. Σε πολλές περιπτώσεις, η χρήση αναλογιών για την υποστήριξη της μαθησιακής διαδικασίας, όχι μόνο δεν απέφερε τα αναμενόμενα αποτελέσματα, αλλά δημιούργησε πρόσθετες παρανοήσεις. Η αποτυχία αυτή αποδόθηκε σε ποικίλα αίτια (εκτενής βιβλιογραφία από Duit & Glynn, 1996, Pfundt & Duit, 2000), η αναλυτική παρουσίαση των οποίων

υπερβαίνει το αντικείμενο της παρούσας εργασίας. Ένα όμως αίτιο που μας ενδιαφέρει ιδιαίτερα, εφόσον σχετίζεται στενά με τη διδασκαλία της κβαντικής φυσικής, είναι το ακόλουθο. Μία αναλογία, λόγω του ατελούς (από αναλυτική και γλωσσική άποψη) χαρακτήρα της δεν διασφαλίζει ποτέ μία ακριβή αντιστοιχία μεταξύ βάσης και στόχου. Υπάρχουν, σχεδόν πάντοτε, σημαντικές – συχνά θεμελιακές – δομικές ή σημασιολογικές ιδιότητες της βάσης που είναι ουσιωδώς διαφορετικές από τις αντίστοιχες του στόχου. Εάν λοιπόν η διδακτική καθοδήγηση δεν είναι επαρκής, οι διδασκόμενοι προχωρούν σε μία άκριτη μεταφορά ιδιοτήτων από τη βάση στον στόχο, σε μία μεταφορά που ευνοεί τη συγκρότηση ‘υβριδικών’ ιδεών ή ‘συνθετικών’ νοητικών μοντέλων, πρόσθετων δηλαδή παρανοήσεων (Duit, 1991). Δεν είναι λοιπόν περίεργο ότι η χρήση μηχανικών αναλογιών ή ημι-κλασικών μοντέλων για την εισαγωγή των υποατομικών φαινομένων στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση οδηγεί με σταθερότητα στην αδόκιμη ανάμιξη των εννοιολογικών πλαισίων της κλασικής και της κβαντικής φυσικής (ενότητα 3).

Η παραπλανητική, πολλές φορές, λειτουργία των αναλογιών στην προσπάθεια προσέγγισης καινούργιας γνώσης δεν θα μπορούσε να μείνει απαρατήρητη στο φιλοσοφικό πεδίο. Ο Bunge, λόγου χάριν, ισχυρίζεται ότι «μία αρνητική ιστορία της επιστήμης, μία ιστορία που, αντί να καταγράφει τις επιστημονικές επιτυχίες, θα κατέγραφε τις επιστημονικές αποτυχίες, θα έδειχνε αναμφίβολα ότι οι αναλογίες είναι το ίδιο συχνά παραπλανητικές όσο και καρποφόρες» (Bunge, 1973, σ. 126).

Όπως όμως διαπιστώσαμε, ο προβληματισμός σε σχέση με τον ρόλο των αναλογιών στην επιστημονική έρευνα απασχολούσε και τον Bohr καθ’ όλη τη διάρκεια εφαρμογής της AAB (A3.4). Η διαρκής του δε έγνοια για *το εύρος και το νόημα που όφειλε ν’ αποδώσει κανείς στα συναγόμενα από τη χρήση της AAB αποτελέσματα* τον οδήγησε στην εφαρμογή μίας μεθοδολογικής στρατηγικής που κατόρθωσε ν’ αποφέρει ριζικώς καινούργια γνώση. Η AAB, έχοντας δομηθεί υπό την υπόνοια ότι η κβαντική θεωρία ήταν δυνατό ‘να εγκαινιάζει μία τεράστια απόκλιση από τις συνηθισμένες ιδέες’ (A4.3), ήταν μία αναλογία που ‘δεν μείωνε σε καμία περίπτωση την αντίθεση μεταξύ της κβαντικής και της κλασικής θεωρίας’ (A4.6): εκ του τρόπου συγκρότησής της, διασφάλιζε *τη σαφή οριοθέτηση των πεδίων εφαρμογής των κλασικών και κβαντικών εννοιών στο πλαίσιο της ατομικής θεωρίας, αποκόπτοντας ταυτόχρονα τις κλασικές έννοιες από το κλασικό τους νόημα* (§A-4.3). Έτσι, όχι μόνο δεν δημιουργούσε αδόκιμες εννοιολογικές συγχύσεις, αλλά, δια της ανάδειξης των ενεχόμενων στην ατομική θεωρία αντιφάσεων, κατόρθωνε να

διανοίγει συνεχώς τον δρόμο για την τελική αναγνώριση της θεμελιακής ασυμβατότητας των κλασικών και κβαντικών ιδεών. Μπορούμε λοιπόν να ισχυριστούμε ότι η AAB, ως ειδικής μορφής αναλογία, υπήρξε στο επιστημονικό πεδίο ένα ιδιαίτερος αποτελεσματικό εργαλείο ριζικής εννοιολογικής αλλαγής.

Βάσει της γενικής θεμελίωσης του εκπαιδευτικού μας προγράμματος, η AAB αναμένεται να προωθήσει με παρόμοιο τρόπο τις μαθησιακές διαδικασίες των διδασκομένων προς την κβαντική κοσμοθεώρηση. Έτσι η εκπαιδευτική ανασυγκρότηση της AAB οδήγησε στον σχεδιασμό μίας διδακτικής παρέμβασης (Hadzidaki & Karakostas, 2001) που συγκεκριμενοποιεί με απτό τρόπο τους γενικούς εκπαιδευτικούς μας στόχους. Αναφέρουμε, εν συντομία, ότι η κατάλληλη εκπαιδευτική οργάνωση, χρήση και προβολή των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών της AAB ως ‘αναλογίας συγκρότησης θεωρίας’ (§A-3.2) ή ως ‘φορέα μίας ριζικής επιστημονικής ανακάλυψης’ (§A-6) αναμένεται να οδηγήσει τους διδασκόμενους στη σαφή διάκριση των ‘Επιπέδων’ της κλασικής και της κβαντικής φυσικής, στη ‘γεφύρωση’ της αρχικής τους γνώσης με τις κβαντικές ιδέες⁹⁹ και στη διαμόρφωση μίας ενιαίας και συνεκτικής επιστημονικής εικόνας για τον φυσικό κόσμο. Επί πλέον, η ενσωμάτωση της AAB στη διδακτέα ύλη καθιστά τη ‘Φύση της Επιστήμης’ ενεργό συνιστώσα της εκπαιδευτικής διαδικασίας, γεγονός που προωθεί ενεργά την ‘άμεση’ ισχυρώς εξειδικευμένη επικοινωνία της ‘φύσης’ αυτής. Η συμβολή όμως των διδακτικών μας προτάσεων στην ουσιαστική προσέγγιση της ΦΤΕ θα εκτιμηθεί συνολικά στο τέλος του παρόντος κεφαλαίου (σημείο 6).

2. *Αντίληψη, γλώσσα και ποιοτική διδακτική προσέγγιση της κβαντικής φυσικής.* Οι πρόσφατες εμπειρικές ενδείξεις στα πεδία της γνωσιακής και αναπτυξιακής ψυχολογίας υποδεικνύουν, επίμονα, ότι ο ρυθμός γνωσιακής ανάπτυξης των ατόμων συνδέεται άμεσα με την επίδραση που ασκεί η άμεση εμπειρία/ βιωματική αντίληψη στη διαδικασία της μάθησης. Έτσι, παρά τις αποκλίσεις που παρουσιάζονται κατά την ερμηνεία των ενδείξεων αυτών, φαίνεται να υπάρχει σχεδόν γενική συναίνεση σε

⁹⁹ Η δημιουργική χρήση των αναλογιών, στις περιπτώσεις των σημαντικών εννοιολογικών αλλαγών στο πεδίο της επιστήμης, εντάσσεται, από γνωσιακής πλευράς, σε ό,τι αποκαλεί η Nersessian ‘εποικοδομητική μοντελοποίηση’ (‘constructive modeling’). Όπως δε ισχυρίζεται με πειστικότητα η ίδια (στην περίπτωση τουλάχιστον της AAB, το πρώτο μέρος της εργασίας μας επιβεβαιώνει πλήρως τον ισχυρισμό της), «η μελέτη της διαδικασίας συγκρότησης τέτοιου είδους αναλογιών μας βοηθά να κατανοήσουμε με ποιο τρόπο η καινούργια γνώση συνδέεται με την παλαιότερη» (Nersessian, 1996, σ. 545). Είναι αυτό ακριβώς που εννοούμε όταν ισχυριζόμαστε ότι η AAB έχει τη δυνατότητα να ‘γεφυρώσει’ την αρχική γνώση των διδασκομένων με τις κβαντικές ιδέες. Στη δομή των ‘Επιπέδων’, η AAB δημιουργεί μία ιστορική, συντακτική, εννοιολογική και ερμηνευτική ‘γέφυρα’ μεταξύ των ‘Επιπέδων’ της κλασικής και της κβαντικής φυσικής, μία σημαντική, δηλαδή, γνωσιακή ‘γέφυρα’.

σχέση με τους δύο διακριτούς δρόμους που αποφέρουν στο άτομο καινούργια γνώση. Οι δύο αυτοί μαθησιακοί δρόμοι περιγράφονται με τον ακόλουθο τρόπο.

A. Ο πρώτος δρόμος διανοίγεται από τις ‘βιολογικώς πρωταρχικές γνωσιακές ικανότητες’ του ατόμου (‘biologically primary cognitive abilities’, Geary, 1995), οι οποίες αποφέρουν συλλογή πληροφοριών λόγω ‘άμεσης ανταπόκρισης στα αισθητηριακά ερεθίσματα’ (Anderson, 1992). Η αποκτώμενη, κατ’ αυτόν τον τρόπο, γνώση οργανώνεται στις αποκαλούμενες ‘έμφυτες τροπικές δομές’ (‘innate modular structures’, Matthews, P., 2000), ή ‘έμφυτα συστήματα πυρήνα’ (‘innate core systems’, Carey & Spelke, 1996), οι οποίες/ τα οποία, καθώς λειτουργούν ανεξάρτητα από την ενσυνείδητη σκέψη, αδυνατούν να μετασχηματιστούν σε συγκροτημένη γλωσσική έκφραση. Έτσι, αυτό που αποκαλείται ‘διαισθητική φυσική’ (‘intuitive physics’) αντιστοιχεί σε πρωταρχικά νοητικά σχήματα που συμπεριλαμβάνουν ένα σύνολο ‘θραυσμάτων’, ένα σύνολο δηλαδή απλών αφαιρέσεων από την κοινή εμπειρία (DiSessa, 1993). Σε σχέση με το αντικείμενο της εργασίας μας, είναι σημαντικό να σημειώσουμε ότι οι ανθρώπινες αντιλήψεις περί της χωρο-χρονικής ένθεσης των φυσικών αντικειμένων, καθώς και περί της πλήρους ανεξαρτησίας της υλικής τους ‘ύπαρξης’ από την υπόσταση και δράση του γνωρίζοντος υποκειμένου, κατατάσσονται στα ‘έμφυτα συστήματα πυρήνα’ (Carey & Spelke, 1996).

B. Ο δεύτερος δρόμος διανοίγεται από τις ‘βιολογικώς δευτερεύουσες γνωσιακές ικανότητες’ του ατόμου (‘biologically secondary cognitive abilities’, Geary, 1995), οι οποίες συντελούν στην πρόσληψη γνώσης μέσω κάποιου είδους εκπαίδευσης. Η γνώση αυτή οργανώνεται σε λιγότερο ή περισσότερο συνεκτικές νοητικές δομές (είναι οι δομές που εκλαμβάνονται ως ατελείς ‘θεωρίες’, Brewer, 1991) και, καθώς συνδέεται με την ενσυνείδητη σκέψη, διακρίνεται για τη δυνατότητα ολοκλήρωσής της σε συγκροτημένη γλωσσική έκφραση.

Κρίσιμο σημείο, για το δικό μας εκπαιδευτικό πρόγραμμα, αποτελεί η διαπίστωση της *μη-οριστικής εξάλειψης* των πρωταρχικών νοητικών σχημάτων κατά τη γνωσιακή ανάπτυξη του ατόμου (Carey & Spelke, 1994 και 1996, Matthews, P., 2000). Πράγματι, φαίνεται ότι, *πρώτον*, τα εν λόγω σχήματα διατηρούνται και δρουν ανταγωνιστικά προς την επιστημονική γνώση που προσλαμβάνεται μέσω της εκπαιδευτικής διαδικασίας και, *δεύτερον*, ότι η ανασταλτική, ως προς την κατάκτηση νέας γνώσης, ισχύς τους συνδέεται άμεσα με την απόσταση που τα χωρίζει από την

εκάστοτε εισαγόμενη επιστημονική γνώση. Όπως επισημαίνουν οι Carey και Spelke, «η αντίληψη *περιορίζει* την ανάπτυξη της γνώσης. Οι συνέπειες δε αυτού του περιορισμού εξαρτώνται από *τη σχέση* μεταξύ των αρχών που διέπουν την αντίληψη και των αρχών που διέπουν τη σκέψη και δικαιολόγηση. Εάν η αντίληψη και η σκέψη διέπονται από διαφορετικές αρχές, η εμπειρία μπορεί ν' ανατρέψει τις αρχές που διέπουν τη δικαιολόγηση» (Carey & Spelke, 1994, σ. 177). Μπορούμε λοιπόν εύλογα να συμπεράνουμε ότι, όσο βαθύτερο είναι το χάσμα μεταξύ άμεσης αντίληψης και νέων τρόπων σκέψης, όπως κατ' εξοχήν συμβαίνει στην περίπτωση της κβαντικής φυσικής, τόσο ισχυρότερη πρέπει να καταστεί, μέσω του κατάλληλου σχεδιασμού, η διδακτική παρέμβαση που αποπειράται την επικοινωνία της καινούργιας γνώσης.

Υπό το φως των θέσεων της γνωσιακής και αναπτυξιακής ψυχολογίας, το ζήτημα της αντίληψης, της καθημερινής γλώσσας και των κλασικών εννοιών, όπως τέθηκε από τον Bohr (§B-1, σημείο 6), μπορεί να διατυπωθεί ως εξής: **α)** Η ανθρώπινη άμεση αντίληψη στηρίζεται στον *αυθόρμητο διαχωρισμό* υποκειμένου - αντικειμένου: το άτομο συμμετέχει στην αποκωδικοποίηση του περιβάλλοντός του και της φύσης γενικότερα, ως 'εξωτερικός παρατηρητής', θεωρώντας τον εαυτό του 'αποκομμένο' από τα φυσικά αντικείμενα. Η αυθόρμητη αυτή τάση του ατόμου εντάσσεται, όπως είδαμε, στις 'πρωταρχικές' γνωσιακές του ικανότητες που οδηγούν σε μια απλή 'δαισθητική' αντίληψη για τη φύση. **β)** Οι πρώτες μορφές ενσυνείδητης σκέψης, εκείνες οι μορφές που αποτυπώνονται στην κοινή, καθημερινή γλώσσα, αντιστοιχούν στην αδρή επεξεργασία της άμεσης αντίληψης υπό την επίδραση της αρχικής κοινωνικής εκπαίδευσης του ατόμου. Κατ' επέκταση, οι έννοιες της καθημερινής γλώσσας, όπως ακριβώς επισήμαινε και ο Bohr, καθώς υπόκεινται στους περιορισμούς που επιβάλλει η ανθρώπινη αντίληψη, έλκουν την καταγωγή τους από τον πλήρη διαχωρισμό υποκειμένου – αντικειμένου. **γ)** Καθώς το εννοιολογικό σύστημα της κλασικής φυσικής θεμελιώνεται στην παραδοχή *της πλήρους ανεξαρτησίας* του υποκειμένου από το παρατηρούμενο αντικείμενο, οι κλασικές έννοιες μπορούν να θεωρηθούν, κατά την έκφραση επίσης του Bohr, ως 'εκλέπτυνση' των εννοιών της καθημερινής γλώσσας. **δ)** Κατ' επέκταση, η άμεση αντίληψη, η συγκρότηση της καθημερινής γλώσσας, καθώς και η συγκρότηση της 'γλώσσας' της κλασικής φυσικής, στηρίζονται στην *ίδια* βασική παραδοχή: στη δυνατότητα της πλήρους 'απομόνωσης' του αντικειμένου από το παρατηρούν υποκείμενο. **ε)** Μπορούμε εύλογα λοιπόν να θεωρήσουμε ότι οι 'δευτερεύουσες γνωσιακές ικανότητες' των διδασκομένων, εκείνες οι ικανότητες που υπό την επίδραση της

παραδοσιακής εκπαιδευτικής διαδικασίας οδηγούν στη συγκρότηση της ‘επιστημονικής γλώσσας’ της κλασικής φυσικής, ενισχύουν, τουλάχιστον ως προς ορισμένες πλευρές, τα πρωταρχικά νοητικά τους σχήματα. Εξ ου, και η αξιοσημείωτη ανθεκτικότητα της κλασικής κοσμοθεώρησης ακόμη και μετά από άκρως εξειδικευμένα μαθήματα κβαντικής φυσικής. Υπό τη γενική γνωσιακή του έκφραση, το συγκεκριμένο ζήτημα τοποθετείται από τις Carey και Spelke ως εξής.

(E.2) «Οι θεωρίες επιδέχονται πάντοτε αναθεώρησης, συμπεριλαμβανόμενης και της ριζικής αναθεώρησης, μίας αναθεώρησης που ενέχει εννοιολογική αλλαγή ή ακόμη και εγκατάλειψη [μίας συγκεκριμένης θεωρίας]. Τα συστήματα πυρήνα, αντίθετα, μπορούν να τύχουν επεξεργασίας αλλά όχι αναθεώρησης: οι δικαιολογήσεις του κοινού νου που πηγάζουν από τα αρχικά συστήματα γνώσης δεν εγκαταλείπονται ποτέ, ούτε από τα πολύ μικρά παιδιά, ούτε από τα μεγαλύτερα, ούτε από τους ενήλικες. ... Τα γνωσιακά συστήματα πυρήνα παραμένουν ενεργά, όχι μόνο όταν παράγουν αληθείς και χρήσιμες πεποιθήσεις, αλλά και όταν συμβαίνει το αντίθετο. Εκείνες, λόγου χάριν, οι αναπαραστάσεις των παιδιών, οι οποίες καταγράφουν τα φυσικά αντικείμενα ως συμπαγείς οντότητες που κινούνται σε συνεχείς χωρο-χρονικές τροχιές και διασυνδέονται μεταξύ τους αιτιακά, εξακολουθούν να υπάρχουν και στους ενήλικες, μη έχοντας υποσκελισθεί από τη μετέπειτα μάθηση, ακόμη και από τη μάθηση των κλασικών και κβαντικών εκείνων θεωριών που έρχονται σε ευθεία αντίθεση με τις αναπαραστάσεις αυτές» (Carey και Spelke, 1996, σ. 520)

Κατ’ αυτόν τον τρόπο, φωτίζεται από γνωσιακής πλευράς, όχι μόνο η δυσκολία που αντιμετώπισε η επιστήμη, και αντιμετωπίζουν οι διδασκόμενοι για την υπέρβαση της ‘κλασικότητας’, αλλά, υπό μία ευρεία έννοια, και η αναγκαιότητα διατήρησης της ‘κλασικότητας’ εντός του κβαντικού πλαισίου. Υπ’ αυτήν λοιπόν την προοπτική, μπορεί να συμπεράνει εύλογα κανείς ότι η διδασκαλία της κβαντικής φυσικής μπορεί να είναι αποτελεσματική, μόνο εάν επιτύχει να διευκρινίσει πλήρως – όπως ακριβώς συνέβη και στην περίπτωση της επιστήμης – *το ακριβές καθεστώς της ‘κλασικότητας’* εντός του κβαντικού πλαισίου (§B-2). Προσβλέποντας σ’ αυτόν ακριβώς τον στόχο, σχεδιάσαμε μία διδακτική παρέμβαση που αποσκοπεί στην αξιοποίηση της ιστορικής διαδικασίας συγκρότησης της ‘γλώσσας’ της κβαντικής φυσικής για την ενίσχυση της εννοιολογικής αλλαγής των διδασκόμενων (Χατζηδάκη & Καρακώστας, 2002, Hadzidaki & Karakostas, 2003). Οφείλουμε δε να σημειώσουμε ότι η δομή των ‘Επιπέδων’ – επί της οποίας θεμελιώθηκε, όπως πάντοτε, η συγκεκριμένη διδακτική παρέμβαση – προσφέρει, στην περίπτωση αυτή, ένα πρόσθετο πλεονέκτημα: λόγω της πλαισιακής της δόμησης, φέρνει την κοσμοθεώρηση του κοινού νού και τη σημασιολογία της καθημερινής γλώσσας στο επίκεντρο της μαθησιακής διαδικασίας – εφόσον αμφοτέρες είναι εμβαπτισμένες στο ‘Επίπεδο’ της κλασικής φυσικής – και τις μελετά διεξοδικά υπό το πρίσμα της κβαντικής κοσμοθεώρησης. Θα λέγαμε ότι,

υπ' αυτήν της τη διάσταση, η δομή των 'Επιπέδων' λειτουργεί όπως ακριβώς η επιφάνεια Riemann στο πλαίσιο της κατά Bohr θεώρησης (§B-3.4.1, σημείο 1γ). Έτσι, οι διδασκόμενοι καλούνται, όχι να εγκαταλείψουν ή ν' αντικαταστήσουν τα πρωταρχικά νοητικά τους σχήματα – κάτι που, σύμφωνα με τη γνωσιακή ψυχολογία, είναι αδύνατο να συμβεί – αλλά ν' αποκτήσουν πλήρη επίγνωση των μαθησιακών περιορισμών και προσχωμάτων που αυτά παρεμβάλλουν.

Σε σχέση με την προτεινόμενη διδακτική παρέμβαση, μπορούμε να προσθέσουμε συνοπτικά τα ακόλουθα. Ο ολιστικός χαρακτήρας της κβαντικής θεωρίας και, ως συνέπεια αυτού, η έννοια της συμπληρωματικότητας εισάγονται ως θεμελιακοί – κεντρικοί εννοιολογικοί κόμβοι του 'Επιπέδου' της κβαντικής φυσικής. Έτσι, κατά τη διαδικασία συγκρότησης της 'γλώσσας' της κβαντικής φυσικής, μία διαδικασία που διενεργείται υπό την καθοδήγηση της *ποιοτικής* κατά βάση ερμηνευτικής προσέγγισης του Bohr: **α)** Αναδεικνύεται ο πλαίσιακός χαρακτήρας της κβαντικής μέτρησης. **β)** Διευκρινίζεται το νόημα που αποκτούν, στο 'Επίπεδο' της κβαντικής φυσικής, η έννοια της 'κατάστασης' ενός φυσικού συστήματος, οι συμπληρωματικές παρατηρησιακές έννοιες της κβαντικής θεωρίας (π.χ. 'θέση' και 'ορμή'), καθώς και οι ισχυρώς αποπροσανατολιστικές στο κβαντικό πλαίσιο έννοιες του 'κύματος' και του 'σωματιδίου'. **γ)** Αποσαφηνίζεται το καθεστώς των χωρο-χρονικών και αυστηρώς αιτιακών περιγραφών εντός του κβαντικού πλαισίου. **δ)** Αποκαλύπτεται το φυσικό περιεχόμενο των σχέσεων απροσδιοριστίας. **ε)** Αναδεικνύεται η ποιοτική διαφοροποίηση της έννοιας της πιθανότητας στα 'Επίπεδα' της κλασικής και της κβαντικής φυσικής. **στ)** Αποκαλύπτεται το ριζικώς διαφορετικό οντολογικό υπόβαθρο των επιστημονικών 'γλωσσών' της κλασικής και της κβαντικής φυσικής.

Μία διδακτική παρέμβαση σ' αυτήν την κατεύθυνση προωθεί βεβαίως ενεργά τους γενικούς εκπαιδευτικούς μας στόχους. Γιατί, εκτός του ότι συμβάλλει στη σαφή εννοιολογική διάκριση της κλασικής και της κβαντικής φυσικής και στη διαμόρφωση μίας συνολικής επιστημονικής εποπτείας για τον φυσικό κόσμο, δημιουργεί, παράλληλα, ένα ευνοϊκό μαθησιακό περιβάλλον για την ουσιαστική εμβάθυνση στη 'Φύση της Επιστήμης': οι γνωσιακές διαδρομές που ακολούθησε η ενεργός επιστήμη για να φθάσει στη συγκρότηση της κβαντικής 'γλώσσας' καθίστανται, μέσω της ενδελεχούς τους παρουσίασης και ανάλυσης, οι κύριοι οδηγοί της μαθησιακής διαδικασίας. Όπως όμως ήδη αναφέραμε, η συμβολή των διδακτικών μας προσεγγίσεων στην ουσιαστική προσέγγιση της ΦΤΕ θα εκτιμηθεί στο τέλος του παρόντος κεφαλαίου (σημείο 6).

3. *Ρεαλισμός και Κατασκευασιοκρατία: η σημασία της διαμάχης στη διδασκαλία και μάθηση της κβαντικής φυσικής.* Ο εμπλουτισμός της εν πολλοίς ασυνείδητης οντολογικής θεώρησης των διδασκομένων με νέες οντολογικές κατηγορίες θεωρείται βασική προϋπόθεση εννοιολογικής αλλαγής. Γιατί, όπως οι γνωσιακές θεωρίες βεβαιώνουν, εάν η προς εκμάθηση έννοια αδυνατούν να προσαρμοσθούν στις οντολογικές κατηγορίες των διδασκομένων, τότε οι τελευταίοι τείνουν να κατατάξουν *αυθόρμητα* τόσο τις συγκεκριμένες έννοιες, όσο και την δομούμενη επί αυτών γνώση, στην πλέον οικεία σε αυτούς οντολογική κατηγορία, στην κατηγορία των εμπειρικών ‘υλικών αντικειμένων’ (π.χ. Chi et al, 1994). Στο πλαίσιο του εκπαιδευτικού μας προγράμματος, η συγκεκριμένη διαπίστωση εγείρει άμεσα το αίτημα μίας *οντολογικώς θεμελιωμένης προσέγγισης* στην κβαντική θεωρία, εφόσον μία συμβατή με την κβαντική θεωρία οντολογική θεώρηση αποκλίνει βεβαίως ισχυρά από την διαμορφούμενη, μέσω της άμεσης εμπειρίας, αντίληψη του κοινού νου.

Ανταποκρινόμενοι στο συγκεκριμένο αίτημα, θεωρήσαμε σκόπιμο να ενσωματώσουμε στην εκπαίδευση της κβαντικής φυσικής τον διάλογο περί ‘φυσικής πραγματικότητας’, όπως αυτός αναπτύσσεται μεταξύ δύο ισχυρών ρευμάτων της φιλοσοφικής σκέψης: της κατασκευασιοκρατικής (κονστρουκτιβιστικής) θεώρησης και του παραδοσιακού επιστημονικού ρεαλισμού. Η επιλογή των συγκεκριμένων ρευμάτων δεν ήταν τυχαία: τα ρεύματα αυτά, υπό διαφορετικές λόγω των εσωτερικών τους αποκλίσεων εκφάνσεις, εκφράζουν σήμερα τις δύο κυρίαρχες φιλοσοφικές και επιστημολογικές τάσεις στον χώρο της εκπαίδευσης. Έτσι, η συγκεκριμένη προσπάθεια απέφερε, εν τέλει, δύο παράλληλους εκπαιδευτικούς καρπούς: μία διδακτική παρέμβαση που, μέσω της βαθύτερης φιλοσοφικής διείσδυσης, επιχειρεί να οδηγήσει τους διδασκόμενους, τόσο στην ουσιαστική κατανόηση του επιστημονικού περιεχομένου της κβαντικής φυσικής, όσο και στη σαφή διάκριση των κοσμοθεωρήσεων της κλασικής και της κβαντικής θεωρίας (Χατζηδάκη & Καρακώστας, 2003) και μία κατά πολύ ευρύτερη φιλοσοφική ανάλυση (Karakostas & Hadzidaki, 2004). Η ανάλυση αυτή διερευνά *τη συμβατότητα* του επιστημονικού περιεχομένου της κβαντικής θεωρίας με τις, επιστημολογικής και οντολογικής φύσεως, αντιλήψεις, τόσο του παραδοσιακού επιστημονικού ρεαλισμού, όσο και του κονστρουκτιβισμού, και αποσκοπεί, μέσω των πορισμάτων της, να συμβάλει θετικά στην αναπτυσσόμενη, μεταξύ των δύο αυτών ρευμάτων, συζήτηση.

Τις δύο τελευταίες δεκαετίες ο χώρος της εκπαίδευσης υπέστη έναν τόσο βαθύ μετασχηματισμό από το ρεύμα του ‘εκπαιδευτικού κονστρουκτιβισμού’, ώστε η

συγκεκριμένη περίοδος έφθασε ν' αποκληθεί 'αλλαγή παραδείγματος'. Η ανάδειξη της καθοριστικής επίδρασης που ασκούν οι προ-διδασκτικές πεποιθήσεις των διδασκομένων στη διαδικασία της μάθησης (ενότητα 3), η εξαντλητική εμπειρική διερεύνηση των πεποιθήσεων αυτών, η υπόδειξη της αναγκαιότητας ενεργού συμμετοχής των ίδιων των διδασκομένων στην ανασυγκρότηση της γνώσης τους (αντί του παραδοσιακού μοντέλου 'μεταφοράς της γνώσης'), καθώς και ο θεωρητικός σχεδιασμός μαθησιακών περιβαλλόντων 'εννοιολογικής αλλαγής' (ενότητα 1), καταγράφουν, μεταξύ άλλων, την πολύτιμη συμβολή του κονστρουκτιβιστικού ρεύματος στην εκπαίδευση. Εν τούτοις, το εν πολλοίς ασαφές επιστημολογικό και φιλοσοφικό υπόβαθρο του εκπαιδευτικού κονστρουκτιβισμού άφησε περιθώρια για επικίνδυνες πολλές φορές προεκτάσεις. Η ιδέα, λόγου χάριν, του 'μαθητή ως επιστήμονα' ('student as a scientist') υποβάλλει την αντίληψη ότι οι μαθητές, δια της εμπλοκής τους σε κατάλληλα οργανωμένες πειραματικές διαδικασίες ('hands on activities'), μπορούν να 'κατασκευάσουν' μόνοι τους την αναγκαία, για την προσωπική και κοινωνική τους επιβίωση, γνώση. Και μία τέτοια βεβαίως αντίληψη υποβαθμίζει, αναπόφευκτα, τη σημασία της εκπαιδευτικής επικοινωνίας της επιστημονικής γνώσης (καταλυτική κριτική από τη Solomon, 1994).

Οι αδόκιμες αυτές προεκτάσεις του εκπαιδευτικού κονστρουκτιβισμού οφείλονται, κατά κύριο λόγο, στην άκριτη μεταφορά των θέσεων του φιλοσοφικού κονστρουκτιβισμού στο εκπαιδευτικό πλαίσιο (οι βασικές θέσεις του φιλοσοφικού ή 'ριζικού', όπως αυτοπροσδιορίζεται, κονστρουκτιβισμού παρουσιάζονται στην §B-3.2, σημείο 1). Οι υποκινούμενες δε από τις θέσεις αυτές εκπαιδευτικές πρακτικές δημιουργούν, πέραν των άλλων, και μία στρεβλή εικόνα για τη 'Φύση της Επιστήμης'. Όπως ορισμένοι από τους κονστρουκτιβιστές παιδαγωγούς παραδέχονται, οι κονστρουκτιβιστικές εκπαιδευτικές στρατηγικές προβάλλουν συχνά έναν «ακραίο σχετικισμό, τόσο στο μεθοδολογικό επίπεδο ('όλα δουλεύουν' η επιστημονική πρακτική δεν ακολουθεί συγκεκριμένες στρατηγικές), όσο και στο εννοιολογικό επίπεδο (δεν υφίσταται αντικειμενική πραγματικότητα που επιτρέπει την επαλήθευση των επιστημονικών κατασκευών: η μόνη βάση της επιστημονικής γνώσης είναι η συναίνεση των ερευνητών)» (Gil-Perez, 2003, σ. 13).

Οι παιδαγωγοί που διερευνούν τους όρους εισαγωγής της ΦΤΕ στην εκπαιδευτική διαδικασία δεν θα μπορούσαν να αγνοήσουν τις προαναφερθείσες στρεβλώσεις (βλ. μία πολύπλευρη κριτική στον τόμο 6 του περιοδικού *Science & Education*). Μπορεί να διακρίνει όμως κανείς ότι η κριτική προς τον εκπαιδευτικό κονστρουκτιβισμό,

καθώς εκπορεύεται συχνά από παιδαγωγούς που ενστερνίζονται την παραδοσιακή ρεαλιστική θεώρηση, τείνει πολλές φορές να υποβαθμίσει ή ακόμη και να διαγράψει τα θετικά του επιτεύγματα. Κι' αυτό, γιατί η ιδέα της 'εννοιολογικής αλλαγής', μία ιδέα που υποθάλλει, εκ της γενέσεώς της, την έννοια της συντακτικής, εννοιολογικής και οντολογικής 'ασυμμετρίας' των διαδοχικών θεωριών, μπορεί δύσκολα να γίνει αποδεκτή στο παραδοσιακό ρεαλιστικό πλαίσιο. Κατ' αυτόν όμως τον τρόπο, η κριτική προς τον κονστρουκτιβισμό διανοίγει το ενδεχόμενο ανεπιθύμητων πισωγυρισμάτων. Πέραν δε αυτού, η κριτική αυτή, καθώς καταλήγει συχνά στην απροκάλυπτη υπεράσπιση των θέσεων του παραδοσιακού επιστημονικού ρεαλισμού, προβάλλει εν τέλει μία οντολογική και επιστημολογική αντίληψη που έρχεται σε ευθεία αντίθεση, τόσο με τη σύγχρονη επιστημονική εικόνα του φυσικού κόσμου, όσο και με τη φύση και τον τρόπο εξέλιξης της επιστημονικής γνώσης.

Σ' αυτήν την κατάσταση πραγμάτων, η εργασία μας επιχειρεί ν' αποσαφηνίσει ορισμένα κρίσιμα επιστημολογικά και οντολογικά ζητήματα δια της αποκωδικοποίησης των μηνυμάτων της σύγχρονης επιστημονικής γνώσης. Συγκεκριμένα: **α)** Στοιχειοθετεί τις βαθιές δομικές διαφοροποιήσεις της κλασικής και της κβαντικής θεωρίας, εκείνες τις διαφοροποιήσεις που υποβάλλουν έναν ριζικώς διαφορετικό τρόπο θέασης του φυσικού κόσμου. **β)** Αναλύει τις βασικές θέσεις του παραδοσιακού επιστημονικού ρεαλισμού – την μεταφυσική, σημασιολογική και επιστημική θέση – και καταδεικνύει, από τη μία πλευρά, τον πλήρη εναρμονισμό τους με την οντολογία του κλασικού κόσμου και, από την άλλη, τη θεμελιακή τους ασυμβατότητα με την κβαντική κοσμοθεώρηση (βλ. και §B-3.1). **γ)** Αναλύει τις κύριες θέσεις της κονστρουκτιβιστικής θεώρησης – όπως αυτές αποτυπώνονται στις έννοιες της 'γνώσης', της 'αλήθειας' και της 'αντικειμενικότητας' – και αποδεικνύει την ανεπάρκεια ή ακαταλληλότητά τους για την κατανόηση του φυσικού περιεχομένου και των επιστημολογικών συνεπειών της κβαντικής θεωρίας (βλ. και §B-3.2, σημείο 1). Και τέλος, **δ)** παρουσιάζει και αναπτύσσει μία έγκυρη ρεαλιστική προσέγγιση στην κβαντική θεωρία (όπως αυτή προτείνεται από το ερμηνευτικό σχήμα του 'Ενεργού Επιστημονικού Ρεαλισμού' του Β. Καρακώστα, 2005), μία προσέγγιση που αποκλίνει, όμως, από το παραδοσιακό ρεαλιστικό πρότυπο.

Όπως ήδη αναφέραμε, η μελέτη αυτή οδήγησε στον σχεδιασμό μίας διδακτικής παρέμβασης, στο πλαίσιο της οποίας το περιεχόμενο της κβαντικής θεωρίας συμπλέκεται άρρηκτα με το οντολογικό και επιστημολογικό του υπόβαθρο. Η παρέμβαση αυτή – όπως εξάλλου και ολόκληρο το εκπαιδευτικό μας πρόγραμμα –

έχει ως κύριο στόχο την εννοιολογική αλλαγή των διδασκομένων και, μάλιστα, υπό τον ‘ριζικό’ της προσδιορισμό, εφόσον οι προ-διδακτικές αντιλήψεις των διδασκομένων αποδεικνύονται εννοιολογικώς και οντολογικώς ασύμβατες με την κβαντική κοσμοθεώρηση (ενότητα 3). Όπως είναι φανερό, ο στόχος αυτός συμπίπτει με την κύρια επιδίωξη του εκπαιδευτικού κονστρουκτιβισμού. Οφείλουμε όμως να διευκρινίσουμε ότι, στο πλαίσιο των προτεινόμενων από το εκπαιδευτικό μας πρόγραμμα παρεμβάσεων, οι διδασκόμενοι αναμένονται να ανασυγκροτήσουν την αρχική τους γνώση υπό τη *στενή καθοδήγηση* του διδάσκοντος, ο οποίος επιχειρεί να επικοινωνήσει *με πιστότητα*, τόσο το επιστημονικό περιεχόμενο της κβαντικής θεωρίας, όσο και τις ουσιώδεις πτυχές της ‘Φύσης της Επιστήμης’. Μία τέτοια εκπαιδευτική στρατηγική βρίσκεται σε πλήρη βεβαίως διάσταση με τις αντιλήψεις του φιλοσοφικού κονστρουκτιβισμού, ενώ συγκλίνει ουσιωδώς προς τις θέσεις των ρεαλιστών παιδαγωγών, στο βαθμό που οι θέσεις αυτές δεν υποκαθορίζονται από τα μεταφυσικά ιδεώδη της παραδοσιακής ρεαλιστικής θεώρησης.

4. *‘Επιστημονική Εξήγηση’ και ‘Κατανόηση’*: η σημασία της διάκρισης στο πλαίσιο μίας ποιοτικής διδακτικής προσέγγισης της κβαντικής φυσικής. Όπως ήδη αναφέραμε, οι εμπειρικές έρευνες καταδεικνύουν με σαφήνεια ότι η δευτεροβάθμια εκπαίδευση αποτυγχάνει εν γένει να οδηγήσει τους διδασκόμενους στην κατανόηση των υποατομικών φαινομένων και στη διαμόρφωση μίας συνεκτικής επιστημονικής εικόνας για τον φυσικό κόσμο. Η μη-συνεκτική όμως εκμάθηση και η επαγόμενη, εξ αυτής, αδυναμία κατανόησης φαίνεται να διατηρούνται υπό διαφορετική μορφή και στο πανεπιστημιακό επίπεδο. Γιατί, σύμφωνα πάντα με τα πορίσματα της εμπειρικής έρευνας, ακόμη και φοιτητές θετικών σχολών με υψηλή επίδοση στον χειρισμό μαθηματικών προβλημάτων, συλλαμβάνουν το περιεχόμενο της κβαντικής θεωρίας μέσω ‘αμιγώς φορμαλιστικών σχημάτων’, γεγονός που οδηγεί σε ‘επιφανειακή’ εκμάθηση που στερείται εσωτερικής συνεκτικότητας (π.χ. Johnston et al, 1998).

Εάν επιχειρήσουμε να συνδέσουμε τις εκπαιδευτικές επεξηγηματικές στρατηγικές με τη φιλοσοφία της επιστήμης, μπορούμε ν’ αναγνωρίσουμε τον πυρήνα των ενοποιητικών - επιστημικών θεωριών επιστημονικής εξήγησης (§A-5.2.1) στις μεθόδους διδασκαλίας της κβαντικής φυσικής στην τριτοβάθμια εκπαίδευση: η πλημμελής, αν όχι ανύπαρκτη, αναφορά στη φυσική σημασία της προσφερόμενης γνώσης και οι μαθηματικές – αναλυτικές εν γένει επεξηγήσεις χαρακτηρίζουν, αναμφίβολα, το πανεπιστημιακό διδακτικό πρότυπο. Όσον αφορά τη δευτεροβάθμια

εκπαίδευση, η προσπάθεια επεξήγησης των υποατομικών φαινομένων μέσω της παρουσίασης μηχανικών ή, γενικότερα, κλασικών αναλόγων τους υποκινείται από μία συγκλίνουσα προς την αιτιακή – οντική θεώρηση αντίληψη (§A-5.3.1): η, κατά το κλασικό πρότυπο, περιγραφή των υποκείμενων στα φυσικά φαινόμενα αυστηρώς αιτιακών χωρο-χρονικών μηχανισμών εκλαμβάνεται ως κύριο χαρακτηριστικό μίας επαρκούς και κατανοητής εξήγησης.

Υπό το φως των συγκεκριμένων διαπιστώσεων, προχωρήσαμε στον σχεδιασμό μίας διδακτικής παρέμβασης (Χατζηδάκη, 2004, Hadzidaki, 2005), η οποία εντάσσει στο ίδιο *το περιεχόμενο* της διδασκαλίας την κριτική σύγκριση του περιεχομένου της κβαντικής φυσικής με τα προαναφερθέντα κανονιστικά μοντέλα επιστημονικής εξήγησης, φωτίζει τα αίτια της αποτυχίας τους στο κβαντικό πλαίσιο (§B-2, σημείο 3β) και εφαρμόζει μία επεξηγηματική στρατηγική που εμπνέεται ισχυρά από το ερμηνευτικό πρότυπο της ενεργού επιστήμης, όταν αυτή έφθασε να κατανοήσει, για πρώτη φορά, το φυσικό περιεχόμενο της κβαντικής θεωρίας (αναλύεται ο ‘διαλεκτικός’ τύπος εξήγησης, όπως αυτός υποδεικνύεται από την έννοια της συμπληρωματικότητας, §B-2, σημείο 3β). Μία τέτοιας φύσεως διδακτική παρέμβαση, θέτοντας και πάλι την ιστορία και φιλοσοφία της επιστήμης στο επίκεντρο της εκπαιδευτικής διαδικασίας, επιτυγχάνει ν’ αναδείξει, τόσο τα προσδιοριστικά χαρακτηριστικά της κβαντικής κοσμοθεώρησης, όσο και την *ερμηνευτικώς ενοποιημένη* εικόνα του φυσικού κόσμου που αναδύεται από τη σύγχρονη επιστημονική γνώση. Κατ’ αυτόν τον τρόπο, προωθεί ενεργά τους γενικούς εκπαιδευτικούς μας στόχους.

5. *Το μικροσκόπιο του Heisenberg ως δυναμικό εκπαιδευτικό εργαλείο εμβάθυνσης στην κβαντική φυσική και στη ‘Φύση της Επιστήμης’.* Στις φυσικές επιστήμες, τα ‘νοητικά πειράματα’ (‘thought experiments’ ή ‘gedankenexperiment’) εκθέτουν φανταστικές πειραματικές διατάξεις – συχνά φυσικώς ή τεχνολογικώς μη πραγματοποιήσιμες – που εντέλλονται να υποστηρίξουν ή να ελέγξουν συγκεκριμένες επιστημονικές θεωρίες ή υποθέσεις. Η κρίσιμη συμβολή των νοητικών πειραμάτων (ΝΠ) στην ανάπτυξη των φυσικών επιστημών χαίρει καθολικής αναγνώρισης. Η γνωσιακή τους όμως εμβέλεια και, κατ’ επέκταση, η επιστημική τους λειτουργικότητα ερμηνεύονται υπό το πρίσμα ενός ευρύτατου φάσματος φιλοσοφικών προοπτικών. Ακραίες εκφάνσεις του φάσματος αυτού αποτελούν ο πλατωνικός ορθολογισμός του Brown – τα ΝΠ εκλαμβάνονται ως εμπνευσμένες

ορθολογικές νοητικές κατασκευές που ενέχουν τη δυνατότητα αποφοράς *a priori* γνώσης για τη φύση (Brown, 1991) – και ο κλασικός εμπειρισμός του Norton – τα ΝΠ εκλαμβάνονται ως ειδικού τύπου επιστημονικά επιχειρήματα που ισχυροποιούν, αποδυναμώνουν ή αποσαφηνίζουν το εννοιολογικό περιεχόμενο των θεωρητικών σχημάτων, αλλά ουδέποτε αποφέρουν καινούργια γνώση για τη φύση (Norton, 1991).

Τα ΝΠ, ως εκ της ιστορικής τους διάστασης και της πολλαπλότητας των στόχων τους, είναι δύσκολο ή μάλλον αδύνατο ν' αντιμετωπισθούν υπό μια ενιαία προοπτική. Εν τούτοις, τα ΝΠ που διατυπώθηκαν κατά την περίοδο 'γέννησης' της ΚΦ συνταιριάζονται κατά τη γνώμη μας αρμονικά με την αντίληψη του Kuhn, μια αντίληψη που γεφυρώνει κατά κάποιο τρόπο τις προαναφερθείσες θεωρήσεις: τα ΝΠ, παρότι στηρίζονται στην υφιστάμενη, και μόνο, γνώση – μια θέση που συνάδει με τη θεώρηση του Norton – ενέχουν ταυτόχρονα τη δυνατότητα ν' αποφέρουν *ριζικά καινούργια* γνώση για τη φυσική πραγματικότητα – μια θέση που, εάν εξαιρεθεί η συνθήκη του *a priori*, συγκλίνει προς τη θεώρηση του Brown.

Η αντίληψη του Kuhn μπορεί ν' αναπτυχθεί ως εξής. Τα ΝΠ, καθώς υποβάλλουν σε ακραίες δοκιμασίες το υπάρχον εννοιολογικό δυναμικό, αποκαλύπτουν, ενίοτε, *εγγενείς αντιφάσεις* ή *συγκρούσεις* στους παραδοσιακούς τρόπους σκέψης, όταν αυτοί χρησιμοποιούνται για την πρόβλεψη ανερμήνευτων ακόμη εμπειρικών δεδομένων (Kuhn, 1964/1977, σ. 261). Η προοδευτική συσσώρευση τέτοιων αδιεξόδων οδηγεί στη σταδιακή επερώτηση των υποκείμενων στις υφιστάμενες θεωρίες παραδοχών, εκείνων των παραδοχών που, υπό το καθεστώς της 'αυτονόητης' ισχύος τους, παρέμεναν έως στιγμής 'άρρητες' και επομένως απυρόβλητες από κάθε κριτική ή αμφισβήτηση (Baltas, 1986). Τα νοητικά συνεπώς πειράματα, καθώς συμβάλλουν στην αποκάλυψη των συγκεκριμένων παραδοχών και στη διάνοιξη του δρόμου για την αναθεώρησή τους, προωθούν ενεργά την εννοιολογική ανασυγκρότηση της επιστημονικής γνώσης. Η αναδυόμενη δε, από τέτοιες διαδικασίες, γνώση προσφέρει ακριβέστερες πληροφορίες για τα χαρακτηριστικά του φυσικού κόσμου. Έτσι, σύμφωνα με τον κεντρικό ισχυρισμό του Kuhn, «τα ΝΠ υποβοηθούν την επιστήμη ν' αντλήσει γνώση, τόσο για τις έννοιές της, όσο και για τον ίδιο τον κόσμο» (στο ίδιο, σ. 253). Η γνώση αυτή δεν απορρέει από τους *a priori* κανόνες της ανθρώπινης νόησης, όπως ισχυρίζεται ο Brown, αλλά από την εξώθηση της υφιστάμενης γνώσης στα ακραία της όρια, μια εξώθηση που αποκαλύπτει τη *μη-προσαρμοστικότητα της φύσης* στους καθιερωμένους τρόπους σκέψης και δικαιολόγησης.

Η θεώρηση του Kuhn υποστηρίζεται ισχυρά από ορισμένες εκ των πλέον έγκριτων μελετών στο πεδίο της γνωσιακής ψυχολογίας. Η Nersessian, λόγω χάριν, αφού εντάσσει τα επιτυχή ΝΠ – όπως ακριβώς και τις επιτυχείς αναλογίες – στη διαδικασία της ‘εποικοδομητικής μοντελοποίησης’, επεξηγεί την αξιοσημείωτη, κατά τις περιόδους αλλαγής θεωρίας, ευρετική τους δυναμική με τον ακόλουθο τρόπο.

(Ε.3) «Η διαδικασία συγκρότησης και επεξεργασίας του μοντέλου είναι εκείνη που προσδίδει στο ΝΠ την εμπειρική του ισχύ. ... Κατά τη νοητική εκτύλιξη του ΝΠ, χρησιμοποιούμε πολυποίκιλους συμπερασματικούς μηχανισμούς, τις ήδη υπάρχουσες αναπαραστάσεις και γενική γνώση για τον κόσμο. Όλα αυτά μας βοηθούν να πραγματοποιούμε ρεαλιστικούς μετασχηματισμούς από μία δυνατή κατάσταση σε μία άλλη. Κατ’ αυτόν τον τρόπο, τα δεδομένα ενός ΝΠ, παρότι συγκροτούνται στον νου, καταλήγουν ν’ αποδώσουν *εμπειρικές* συνέπειες, οι οποίες μάλιστα εντοπίζουν συχνά το σημείο στο οποίο οφείλει να επισυμβεί η αναπαραστασιακή αλλαγή» (Nersessian, 1992, σ. 34).

Η επιστημολογική μελέτη της περιόδου γέννησης της κβαντικής θεωρίας πιστοποιεί με αδιαμφισβήτητο τρόπο την προωθητική δράση των ΝΠ στις διαδικασίες εννοιολογικής αλλαγής. Υπό την καθοδήγηση λοιπόν των φιλοσοφικών και γνωσιακών θεωρήσεων περί ΝΠ και αξιοποιώντας τις αναλύσεις της διδακτορικής μας διατριβής (§Α-5.2.3, σημεία 1-4), προχωρήσαμε στον σχεδιασμό μίας διδακτικής παρέμβασης που επιχειρεί να καταστήσει το ‘μικροσκόπιο’ του Heisenberg δυναμικό εκπαιδευτικό εργαλείο εμβάθυνσης, τόσο στην κβαντική φυσική, όσο και στη ‘Φύση της Επιστήμης’ (Χατζηδάκη, 2005, Hadzidaki, 2006). Πράγματι, η διδακτική αυτή παρέμβαση, εκτός του ότι αποσαφηνίζει κρίσιμα, σε σχέση με τις ανισότητες του Heisenberg, ερμηνευτικά ζητήματα, ζητήματα που αγγίζουν τον πυρήνα της κβαντικής θεωρίας – όπως, λόγω χάριν, τη διάκριση μεταξύ ‘άγνοιας’ και ‘απροσδιοριστίας’ και τις επαγόμενες από τη διάκριση αυτή επιστημολογικές και οντολογικές συνέπειες – αναδεικνύει, παράλληλα, ουσιώδεις πτυχές της ‘Φύσης της Επιστήμης’. Αναφέρουμε ενδεικτικά ότι η αντιπαράθεση της αντίληψης περί ‘κλειστών’ φορμαλιστικών σχημάτων του Heisenberg με την ‘ανοικτή’ επιστημολογία του Bohr παρέχει στους διδασκόμενους την ευκαιρία να διερευνήσουν, όχι μόνο το επιστημολογικό υπόβαθρο των επιστημονικών εγχειρημάτων, αλλά και, σε αντίστροφη κατεύθυνση, τις δυνατές μορφές συγκεκριμενοποίησης των γενικότερων επιστημολογικών πεποιθήσεων του ερευνητή. Είναι πλέον φανερό ότι η εκπαιδευτική αποτελεσματικότητα μίας τέτοιας διδακτικής παρέμβασης, όπως εξάλλου και όλων των προηγούμενων, εξαρτάται άμεσα από τον *προσεκτικά σχεδιασμένο και σταθερά καθοδηγούμενο* μετα-γνωσιακό και μετα-επιστημονικό αναστοχασμό.

6. Ο μετα-γνωσιακός και μετα-επιστημονικός αναστοχασμός ως μοχλός γνωσιακής διείσδυσης στην κβαντική κοσμοθεώρηση και στη ‘Φύση της Επιστήμης’. Στο πλαίσιο του εκπαιδευτικού μας προγράμματος, η διασύνδεση της κβαντικής θεωρίας με τη ‘Φύση της Επιστήμης’ είναι *αντανακλαστική*: η εκπαιδευτική ανασυγκρότηση υλικού που αντλείται από τα πεδία της ιστορίας και της φιλοσοφίας της επιστήμης, καθώς και η επιστημολογική στήριξη της εκπαιδευτικής διαδικασίας, προορίζονται να δημιουργήσουν ευνοϊκές συνθήκες εννοιολογικής αλλαγής προς μία ποιοτική, εν πρώτοις, κατανόηση της κβαντικής φυσικής, ενώ, *παράλληλα*, μία διδασκαλία υπό το συγκεκριμένο πρότυπο αναμένεται ν’ αποφέρει μία ουσιαστική εμβάθυνση στη ‘Φύση της Επιστήμης’ (Hadzidaki, 2003). Η άρρηκτη διασύνδεση των δύο αυτών μαθησιακών αντικειμένων – μία διασύνδεση που αποφέρει μία ‘άμεση’ ισχυρώς εξειδικευμένη επικοινωνία της ΦΤΕ (ενότητα 2) – επιτυγχάνεται μέσω του προσεκτικού σχεδιασμού της προς εκμάθηση ύλης, ενός σχεδιασμού που καθιστά τον μετα-γνωσιακό και μετα-επιστημονικό αναστοχασμό *εγγενές και αναπόσπαστο* στοιχείο των προτεινόμενων διδακτικών παρεμβάσεων. Η μετα-γνωσιακή ανάλυση «καθιστά τους διδασκόμενους ενεργούς και ενσυνείδητους ελεγκτές των μαθησιακών τους διαδικασιών» (Vosniadou, 1996), ενώ η μετα-επιστημονική ανάλυση ενεργοποιεί συστηματικά τον προβληματισμό τους για τη ‘Φύση της Επιστήμης’.

Αναφέρουμε ενδεικτικά ότι, στο πλαίσιο των διδακτικών παρεμβάσεων που περιγράφηκαν προηγουμένως, το ίδιο το προς εκμάθηση αντικείμενο παρέχει την ευκαιρία στους διδασκόμενους να διερευνήσουν: **α)** Τις υποκείμενες στις γνωσιακές τους δομές ‘άρρητες’ οντολογικές παραδοχές, εκείνες τις παραδοχές που, λειτουργώντας ως ‘επιστημολογικά εμπόδια’, παρεμποδίζουν τη μαθησιακή προσέγγιση της κβαντικής θεωρίας (όπως λόγου χάριν τον εκλαμβανόμενο ως ‘αυτονόητο’ πλήρη διαχωρισμό υποκειμένου – αντικειμένου ή την υποβόσκουσα στην αρχική τους γνώση μηχανιστική αντίληψη του όσμου). **β)** Τις υποκείμενες στις γνωσιακές τους δομές επιστημολογικές παραδοχές, όπως λόγου χάριν, τον χαρακτήρα των επεξηγηματικών τους προτύπων. **γ)** Τα προσδιοριστικά χαρακτηριστικά της ανθρώπινης αντίληψης **δ)** Τα προσδιοριστικά χαρακτηριστικά της κοινής καθημερινής γλώσσας και τη στενή εξάρτηση της σημασιολογίας της από τη βιωματική εμπειρία. **ε)** Τις δυνατότητες και τα όρια της ανθρώπινης γνώσης. **στ)** Τη φύση, το επιστημολογικό υπόβαθρο και τη γνωσιακή – ευρετική δυναμική των επιστημονικών εγχειρημάτων και στρατηγικών (αναλογιών, ΝΠ, κλπ). **ζ)** Τον χαρακτήρα της επιστημονικής ‘ανακάλυψης’. **η)** Τη συνέχεια και την πρόοδο της

επιστημονικής γνώσης παρά την ‘ασυμμετρία’ των διαδοχικών θεωριών. **η)** Τη φύση και το οντολογικό υπόβαθρο των επιστημονικών θεωριών. **θ)** Τις συνθήκες ‘αλήθειας’ και ‘αντικειμενικότητας’ της επιστημονικής γνώσης. **ι)** Τις διαφορετικές επιστημολογικές και φιλοσοφικές θεωρήσεις περί ‘επιστημονικής εξήγησης’ και ‘φυσικής πραγματικότητας’, καθώς και τη συμβατότητα των θεμελιακών τους παραδοχών με το περιεχόμενο της σύγχρονης επιστημονικής γνώσης.

Όπως είναι φανερό, οι προτεινόμενες από το εκπαιδευτικό μας πρόγραμμα διδακτικές παρεμβάσεις ακολουθούν μία ριζικώς διαφορετική, σε σχέση με τα καθιερωμένα πρότυπα, εκπαιδευτική στρατηγική, μία στρατηγική που ενέχει κατά τη γνώμη μας τη δυνατότητα να οδηγήσει στην ουσιαστική κατανόηση, τόσο της κβαντικής κοσμοθεώρησης, όσο και των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών της ‘Φύσης της Επιστήμης’. Οι πραγματικές όμως προοπτικές, καθώς και οι ενδεχόμενοι περιορισμοί των παρεμβάσεων αυτών αναμένονται να διαπιστωθούν κατά την εξαντλητική τους εμπειρική δοκιμασία.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Abd-El Khalick, F., (1999), 'Teaching Science with History', *The Science Teacher* 66(9), 18-22.
- Abd-El Khalick, F. & Lederman, N.G., (2000), 'Improving Science Teachers' Conceptions of Nature of Science: A Critical Review of the Literature', *Science Education* 82(4), 417-436.
- Abd-El Khalick, F., (2001), 'Embedding Nature of Science Instruction in Preservice Elementary Science Courses: Abandoning Scientism, but ...', *Journal of Science Teacher Education* 12(3), 215-233.
- AAAS: American Association for the Advancement of Science, (1989), *Project 2061: Science for All Americans*, Washington, DC.
- Anderson, M., (1992), *Intelligence and Development*, Blackwell, Oxford.
- Baird, J.R. & Northfield, J.R., (1992), *Learning from the PEEL Experience*, Monach University Press, Melbourne, Australia.
- Baltas, A., (1986), 'Ideological Assumptions in Physics: Social Determinations of Internal Structures', *Philosophy of Science Association (PSA)*, II, Ox Bow Press, Connecticut, 130-151.
- Brown, R., (1991), *Laboratory of the Mind: Thought Experiments in the Natural Sciences*, Routledge, London.
- Bunge, M., (1973), 'Analogy, Simulation, Representation', στο M. Bunge (ed), *Method, Model and Matter*, Reidel Publishing Company, Dordrecht, The Netherlands, 114-129.
- Carey, S., (1985), *Conceptual Change in Childhood*, MIT Press, Cambridge, England.
- Carey, S. & Spelke, E., (1994), 'Domain Specific Knowledge and Conceptual Change', στο A. Hirschfeld & S.A. Gelman (eds), *Mapping the Mind: Domain Specificity in Cognition and Culture*, Cambridge University Press, Cambridge, 169-200.
- Carey, S. & Spelke, E., (1996), 'Science and Core Knowledge', *Philosophy of Science* 63. 515-533.
- Chi, M.T.H., Slotta, J.D. & de Leeuw, N., (1994), 'From Things to Processes: A Theory of Conceptual Change for Learning Science Concepts', *Learning and Instruction* 4, 27-43.
- Clough, M.P., (1997), 'Strategies and Activities for Initiating and Maintaining Pressure on Students' Naïve Views Concerning the Nature of Science', *Interchange* 28(2-3), 191-204.
- Clough, M.P. & Olson, J.K., (2001), 'Structure of a Course Promoting Contextualized and Decontextualized Nature or Science Instruction', Paper presented at the 6th IHPST Teaching Conference, November 7-11, Denver, CO.
- Clough, M., (2005) 'Learners' Responses to the Demands of Conceptual Change: Considerations for Effective Nature of Science Instruction', accepted for publication in *Science & Education*.
- DiSessa, A., (1993), 'Toward an Epistemology of Physics', *Cognition and Instruction* 10, 105-125.
- Duit, R., (1991), 'On the Role of Analogies and Metaphors in Science Teaching', *Science Education* 75, 649-672.
- Duit, R. & Glynn, S., (1996), 'Mental Modeling', στο G. Welford, J. Osborn & P. Scott (eds), *Research in Science Education in Europe – Current Issues and Themes*, Falmer Press, London, 166-176.
- Duit, R., (1999), 'Conceptual Change Approaches in Science Education', στο W. Schnotz, S. Vosniadou & M. Carretero (eds), *New Perspectives on Conceptual Change*, Pergamon Press, Amsterdam, The Netherlands, 263-282.
- Duit, R. & Treagust, (2003), 'Conceptual Change: A Powerful Framework for Improving Science Teaching and Learning', *International Journal of Science Education* 25(6), 671-688.
- Fischler, H. & Lichtfeldt, M., (1992), 'Modern Physics and Students' Conceptions', *International Journal of Science Education* 14(2), 181-190.
- Fischler, H. & Peuchert, J., (1999), 'Stability of Students' Conceptions Concerning Particle Models', *Proceedings of the 2nd International Conference of the ESERA*, Kiel, Germany, 396-398.

- Geary, D., (1995), 'Reflections of Evolution and Culture in Children's Cognition', *American Psychologist* 50, 24-37.
- Gil, D. & Solbes, J., (1993), 'The Introduction of Modern Physics: Overcoming a Deformed Vision of Science', *International Journal of Science Education* 15(3), 255-260.
- Gil-Perez, D., (2003), 'Constructivism in Science Education: The Need for a Clear Line of Demarcation', στο D. Psillos et al. (eds), *Science Education Research in the Knowledge-Based Society*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, 9-17.
- Hadzidaki, P., Kalkanis G. & Stavrou, D., (2000), 'Quantum Mechanics: A Systemic Component of the Modern Physics' Paradigm', *Physics Education* 15(3), 386-392.
- Hadzidaki, P. & Karakostas, V., (2001), 'Exploring Analogical Reasoning in the Framework of an Instructional Qualitative Approach to Quantum Mechanics', *Proceedings of the 3rd International Conference of ESERA*, Thessaloniki, Greece, 426-428.
- Hadzidaki, P., (2003), 'History and Philosophy of Science: An Instructional Base for Attaining a Qualitative Approach to Quantum Mechanics' Worldview', *Themes in Education* 4, 37-48.
- Hadzidaki, P. & Karakostas, V., (2003), 'The Doctrine of Classical Language and Perception as 'Epistemological Obstacle' towards an Instructional Approach to Quantum Mechanics', *Εργασία που παρουσιάστηκε στην 4th ESERA Conference*, August 19-23, 2003, Noordwijkerhout, The Netherlands.
- Hadzidaki, P., (2005), "'Scientific Explanation' and 'Quantum Mechanics'- An Explanatory Strategy Aiming at Providing 'Understanding'", *Εργασία που παρουσιάστηκε στην 8th IHPST Conference*, 15-18 July, Leeds, England και υποβλήθηκε προς κρίση για δημοσίευση στο *Science & Education*.
- Hadzidaki, P., (2006), 'The Heisenberg Microscope: A Powerful Instructional Tool for Promoting Meta-Cognitive and Meta-Scientific Thinking on Quantum Mechanics and the Nature of Science', υποβλήθηκε προς κρίση για δημοσίευση στο *Science & Education*.
- Hewson, P.W., (1981), 'A Conceptual Change Approach to Learning Science', *European Journal of Science Education* 4, 383-396.
- Ireson, G., (1999), 'On the Quantum Thinking of Physics Undergraduates', *Proceedings of the 2nd International Conference of the ESERA*, Kiel, Germany, 77-79.
- Irwin, A.R., (2000), 'Historical Case Studies: Teaching the Nature of Science in Context', *Science Education* 84(1), 5-26.
- Jonston, D. Crawford, K. & Fletcher, P., (1998), 'Student Difficulties in Learning Quantum Mechanics', *International Journal of Science Education* 20(4), 427-446.
- Kalkanis, G., Hadzidaki, P. & Stavrou, D., (2003), 'An Instructional Model for a Radical Conceptual Change Towards Quantum Mechanics' Concepts', *Science Education* 87, 257-280.
- Karakostas, V. & Hadzidaki, P., (2005), 'Realism vs. Constructivism in Contemporary Physics: The Impact of the Debate on the Understanding of Quantum Theory and its Instructional Process', *Science & Education*, 14 (6), 607-629.
- Karakostas, V., (2004), 'Forms of Quantum Nonseparability and Related Philosophical Consequences', *Journal for General Philosophy of Physics* 35, 283-312.
- Khishfe, R. & Abd-El Khalick, F., (2002), 'Influence of Explicit and Reflective Versus Implicit Inquiry-Oriented Instruction of Sixth Graders' Views of Nature of Science', *Journal of Research in Science Teaching* 39(7), 551-578.
- Kuhn, T., (1964), 'A Function for Thought Experiments', στο Kuhn, T., (1977), *The Essential Tension*, The University of Chicago Press, Chicago, 240-265.
- Lederman, N.G., (1992), 'Students' and Teachers' Conceptions of the Nature of Science: A Review of the Research', *Journal of Research on Science Teaching* 29, 331-359.
- Lederman, N.G. & Abd-El Khalick, F., (1998), 'Avoiding De-Natured Science: Activities that Promote Understandings of the Nature of Science', στο W.F. McComas (ed), *The Nature of Science in Science Education: Rationales and Strategies*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, 1998, 83-126.

- Mashaldi, R., (1996), 'Students' Conceptions of Quantum Physics', στο G. Welford, J. Osborn & P. Scott (eds), *Science Education in Europe: Current Issues and Themes*, Falmer Press, London, 254-266.
- Matthews, M., (1994), 'History and Philosophy in the Classroom: The Case of Pendulum Motion', στο M. Matthews, *Science Teaching: The Role of History and Philosophy of Science*, Routledge, New York, 1994, 109-135.
- Matthews, P., (2000), 'Learning Science: Some Insights from Cognitive Science', *Science & Education* 9(6), 507-535.
- McComas, W.F. & Olson, J.K., (1998), 'The Nature of Science in International Standards Documents', στο W.F. McComas (ed), *The Nature of Science in Science Education: Rationales and Strategies*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, 41-52.
- McComas, W.F. (ed), *The Nature of Science in Science Education: Rationales and Strategies*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, 1998.
- NRC: National Research Council, (1996), *National Science Education Standards*, National Academy Press, Washington, DC.
- Nersessian, N., (1992), 'How Do Scientists Think? Capturing the Dynamics of Conceptual Change in Science', στο R.N. Giere (ed), *Cognitive Models of Science*, University of Minnesota Press, USA, 3-40.
- Nersessian, N., (1996), 'Child's Play', *Philosophy of Science* 63, 542-546.
- Norton, J., (1991), 'Thought Experiments in Einstein's Work', στο T. Horowitz & G. Massey (eds), *Thought Experiments in Science and Philosophy*, Rowman & Littlefield, Savage MD.
- Nussbaum, J., (1983), 'Classroom Conceptual Change: The Lesson to be Learned from the History of Science', στο H. Helm & J. Novak (eds), *Proceedings of the International Seminar 'Misconceptions in Science and Mathematics'*, Cornell University Press, Ithaca, 272-281.
- Petri, J. & Niedderer, H., (1998), 'A Learning Pathway in High School Level Quantum Atomic Physics', *International Journal of Science Education*, 20(9), 1075-1088.
- Pfundt, H. & Duit, R., (1994), *Bibliography: Students' Alternative Frameworks and Science Education*, 4th edition, Institute for Science Education at the University of Kiel, Germany.
- Pintrich, P.R., Marx, R.W. & Boyle, R.A., (1993), 'Beyond Cold Conceptual Change: The Role of Motivational Beliefs and Classroom Contextual Factors in the Process of Conceptual Change', *Review of Educational Research* 6, 167-199.
- Posner, G.J., Strike, K.A., Hewson, P.W. & Gertzog, W.A., (1982), 'Accommodation of a Scientific Conception: Toward a Theory of Conceptual Change', *Science Education* 66, 211-227.
- Preece, P.F., (1984), 'Intuitive Science: Learned or Triggered? ', *European Journal of Science Education* 6, 7-10.
- Roth, W.-M., (1995), *Authentic School Science: Knowing and Learning in Open Inquiry Laboratories*, Kluwer, Dordrecht, The Netherlands.
- Rudolph, J.L. & Stewart, J., (1998), 'Evolution and the Nature of Science: On the Historical Discord and its Implications for Science Education', *Journal of Research in Science Teaching*, 35(10), 1069-1089.
- Seifert, S. & Fischler, H., (1999), 'A Multi-Dimensional Approach for Analyzing and Constructing Teaching and Learning Processes about Particle Models', *Proceedings of the 2nd International Conference of the ESERA*, Kiel, Germany, 393-395.
- Solomon, J., (1994), 'The Rise and Fall of Constructivism', *Studies in Science Education* 23, 1-19.
- Strike, K.A. & Posner, G.J., (1985), 'A Conceptual Change View of Learning and Understanding' στο L. West & L. Pines (eds), *Cognitive Structure and Conceptual Change*, Orlando Academic Press, Orlando, 211-231.
- Vosniadou, S. & Brewer, W.F., (1992), 'Mental Models of the Earth: A Study of Conceptual Change in Childhood', *Cognitive Psychology* 24, 535-585.

- Vosniadou, S., (1994), 'Capturing and Modeling the Process of Conceptual Change', *Learning and Instruction* 4, 45-69.
- Vosniadou, S., (1996), 'Towards a Revised Cognitive Psychology for New Advances in Learning and Instruction', *Learning and Instruction*, 6(2), 95-109.
- Χατζηδάκη, Π. & Καρακώστας, Β., (2002), 'Αντίληψη, Γλώσσα και Ποιοτική Διδακτική Προσέγγιση της Κβαντικής Φυσικής', Εργασία που παρουσιάστηκε και εγκρίθηκε προς δημοσίευση στα *Πρακτικά του 3^{ου} Πανελληνίου Συνεδρίου για τη Διδακτική των Φυσικών Επιστημών και τις Τεχνολογίες στην Εκπαίδευση*, 9-11 Μαΐου 2002, Ρέθυμνο, Κρήτης.
- Χατζηδάκη, Π. & Καρακώστας, Β., (2003), 'Ρεαλισμός και Κατασκευασιοκρατία στην Κβαντική θεωρία. Η Σημασία της Διαμάχης στη Διδασκαλία της Σύγχρονης Φυσικής', *Πρακτικά του 2^{ου} Πανελληνίου Συνεδρίου 'Η Συμβολή της Ιστορίας και Φιλοσοφίας των Φυσικών Επιστημών στη Διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών'*, 8-11 Μαΐου 2003, Αθήνα, 200-206.
- Χατζηδάκη, Π., (2004), 'Επιστημονική Εξήγηση' και 'Κατανόηση': Η Σημασία της Διάκρισης στο Πλαίσιο μίας Ποιοτικής Διδακτικής Προσέγγισης της Κβαντικής Φυσικής', *Πρακτικά του 4^{ου} Πανελληνίου Συνεδρίου για τη Διδακτική των Φυσικών Επιστημών και τις Νέες Τεχνολογίες στην Εκπαίδευση*, 26-28 Νοεμβρίου 2004, Αθήνα, 382-388.
- Χατζηδάκη, Π., (2005), 'Το Μικροσκόπιο του Heisenberg ως Δυναμικό Εργαλείο Εμβάθυνσης στην Κβαντική Φυσική και στη Φύση της Επιστήμης', *Πρακτικά του 3^{ου} Πανελληνίου Συνεδρίου 'Η Συμβολή της Ιστορίας και Φιλοσοφίας των Φυσικών Επιστημών στη Διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών'*, 19-25 Σεπτεμβρίου 2005, Αθήνα, 184-192.