



ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΙΣΤΟΡΙΑΣ ΚΑΙ ΘΕΩΡΙΑΣ ΤΗΣ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ  
Π.Μ.Σ. ΒΑΣΙΚΗΣ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΓΝΩΣΙΑΚΗΣ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

**ΕΝΝΟΙΟΛΟΓΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ  
ΣΤΙΣ ΦΥΣΙΚΕΣ ΕΠΙΣΤΗΜΕΣ**

**ΟΥΡΑΝΙΑ ΓΚΙΚΟΠΟΥΛΟΥ**

**Τριμελής Συμβουλευτική Επιτροπή**

Καθηγήτρια Στέλλα Βοσνιάδου  
Καθηγητής Γεώργιος Θεοφ. Καλκάνης  
Καθηγήτρια Μαρία Γρηγοριάδου

**ΑΘΗΝΑ 2013**

## **Επταμελής Εξεταστική Επιτροπή**

**Στέλλα Βοσνιάδου**, Καθηγήτρια Μεθοδολογίας, Ιστορίας και Θεωρίας της Γνωστικής Ψυχολογίας, *Τμήμα Μεθοδολογίας, Ιστορίας και Θεωρίας της Επιστήμης, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών*

**Γεώργιος Θεοφ. Καλκάνης**, Καθηγητής Φυσικής, *Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών*

**Μαρία Γρηγοριάδου**, Ομ. Καθηγήτρια Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών, *Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών*

**Αθανάσιος Τριλιανός**, Καθηγητής Διδακτικής Μεθοδολογίας, *Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών*

**Γεώργιος Γυφτοδήμος**, Αναπληρωτής Καθηγητής Πληροφορικής, *Τμήμα Μεθοδολογίας, Ιστορίας και Θεωρίας της Επιστήμης, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών*

**Πέτρος Ρούσσο**, Επίκουρος Καθηγητής Γνωστικής Ψυχολογίας, *Τμήμα Φιλοσοφίας, Παιδαγωγικής & Ψυχολογίας της Φιλοσοφικής Σχολής, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών*

**Δημήτριος Πνευματικός**, Αναπληρωτής Καθηγητής Εξελικτικής Ψυχολογίας, *Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης Φλώρινας, Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας*

*Στους γονείς μου Χρήστο και Αικατερίνη,  
δύο ανθρώπους με την πραγματική σημασία της λέξης  
και δύο δασκάλους με την αληθινή έννοια του όρου,  
οι οποίοι μου πρόσφεραν τα πάντα χωρίς να ζητήσουν τίποτα,  
μα δυστυχώς "έφυγαν" νωρίς, πριν προλάβω να τους προσφέρω  
και εγώ όλα όσα θα ήθελα και όλα όσα τους άξιζαν ...*

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το πρόβλημα της εννοιολογικής αλλαγής αποτελεί θεμελιώδες ζήτημα τόσο στον τομέα της γνωστικής ψυχολογίας όσο και στον τομέα της εκπαίδευσης, καθώς έχει σημαντικές επιπτώσεις στις θεωρίες μάθησης.

Η παρούσα εργασία επιχειρεί να διερευνήσει τις ιδέες μαθητών της πρωτοβάθμιας, δευτεροβάθμιας και τριτοβάθμιας εκπαίδευσης για έννοιες και φαινόμενα των φυσικών επιστημών, συμβάλλοντας στην επιστημονική συζήτηση γύρω από τα θέματα αυτά και εξετάζοντας το είδος των εννοιολογικών αλλαγών που λαμβάνουν χώρα κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης και της μάθησης. Αναλυτικότερα, στόχος της παρούσας διδακτορικής διατριβής είναι να ερευνήσει τη σχέση που ενδεχομένως υπάρχει μεταξύ των διαδικασιών κατηγοριοποίησης και επανακατηγοριοποίησης εννοιών και της εννοιολογικής αλλαγής και να διερευνήσει τα είδη των εννοιολογικών αλλαγών που λαμβάνουν χώρα κατά τη διάρκεια της μάθησης, όταν τα παιδιά διδάσκονται αντιδραστικές πληροφορίες για τις φυσικές επιστήμες. Απώτερος στόχος είναι να σχεδιάσει, να εφαρμόσει και να προτείνει μια διδακτική παρέμβαση που μπορεί να προωθήσει τη διαδικασία της εννοιολογικής αλλαγής, να βοηθήσει δηλαδή τους μαθητές να μεταβούν από τις βασιζόμενες στις αισθήσεις έννοιες που χαρακτηρίζουν την αφελή θεωρία τους για την ύλη στις πιο αφηρημένες έννοιες της αντίστοιχης επιστημονικής θεωρίας.

Πληθώρα ερευνών στο χώρο των φυσικών επιστημών έχουν δείξει ότι τα παιδιά αντιμετωπίζουν δυσκολίες στην κατανόηση των επιστημονικών εξηγήσεων για τα φυσικά φαινόμενα (Smith, Carey & Wiser 1985, Nussbaum 1985, Stavy και Stachel 1985, Nakhlem και Samarapungavan 1999, Driver et al. 1994, Snir, Smith & Raz 2003, Lee et al. 1993).

Σύμφωνα με το θεωρητικό μας πλαίσιο, οι δυσκολίες αυτές των μαθητών οφείλονται στο γεγονός ότι έχουν διαμορφώσει, βάσει των καθημερινών εμπειριών τους, αφελείς θεωρίες που κατευθύνουν τον τρόπο που αντιλαμβάνονται τις έννοιες και τα φαινόμενα γύρω τους, οι οποίες όμως διαφέρουν αισθητά από τις επιστημονικά αποδεκτές ερμηνείες και γι' αυτό μπορούν να αποτελέσουν εμπόδιο κατά τη διαδικασία της μάθησης. Σύμφωνα με τη θεωρία πλαισίου που έχει προταθεί από τη Βοσνιάδου και τους συνεργάτες της (Vosniadou & Mason, υπό δημοσίευση) και όπως προκύπτει από σχετικές έρευνες (Vosniadou & Brewer, 1992, 1994, Vosniadou, 2006, Vosniadou & Vamvakousi, 2006, Vosniadou & Verschaffel, 2004, Vosniadou, Vamvakousi & Skopeliti 2008) ορισμένες έννοιες είναι δύσκολο να γίνουν κατανοητές από τα παιδιά γιατί παραβιάζουν πολλές από τις αρχές των αφελών θεωριών τους, οι οποίες είναι καλά εδραιωμένες και δύσκολα τίθενται υπό αμφισβήτηση. Σε αυτές τις περιπτώσεις, η κατανόηση των επιστημονικών εννοιών απαιτεί την αναδιοργάνωση των αφελών θεωριών, που μπορεί να θεωρηθεί ως αλλαγή θεωρίας. Απαιτούνται δηλαδή ριζικές εννοιολογικές αλλαγές που εμπερικλείουν και οντολογικές αλλαγές.

Έρευνες στο χώρο της γνωστικής ανάπτυξης έχουν δείξει ότι τα παιδιά από πολύ νωρίς διαμορφώνουν αφελείς θεωρίες για τον φυσικό κόσμο οι οποίες βασίζονται στις ερμηνείες των εμπειρικών τους παρατηρήσεων και στις πληροφορίες που παίρνουν από το κοινωνικό-πολιτισμικό περιβάλλον. Η αλλαγή αυτών των θεωριών είναι αρκετά δύσκολη γιατί συνιστούν συνεκτικά επεξηγηματικά πλαίσια και γιατί επιβεβαιώνονται από τις καθημερινές εμπειρικές παρατηρήσεις των παιδιών. Οι θεωρίες των παιδιών καθορίζονται από τις επιστημολογικές και τις οντολογικές πεποιθήσεις τους. Οι επιστημολογικές πεποιθήσεις κατευθύνονται από την αρχή ότι «τα πράγματα είναι ακριβώς όπως μας παρουσιάζονται», ενώ μέσω της παρατήρησης του φυσικού κόσμου διαμορφώνονται οι οντολογικές πεποιθήσεις για τις έννοιες του φυσικού κόσμου. Οι πεποιθήσεις αυτές είναι πολύ καλά εδραιωμένες και δύσκολα τίθενται σε αμφισβήτηση.

Στην περίπτωση των υλικών σωμάτων, λόγω της αφελούς θεωρίας που διαμορφώνουν αρχικά τα παιδιά, η κατηγοριοποίηση των υλικών σωμάτων γίνεται βάσει των μακροσκοπικών χαρακτηριστικών τους και κυρίως της φυσικής τους κατάστασης (σε στερεά, υγρά, αέρια). Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να τους αποδίδονται τα χαρακτηριστικά και οι ιδιότητες των αντίστοιχων κατηγοριών. Όταν θεωρούμε ότι μια έννοια ανήκει σε μια κατηγορία, αυτομάτως της αποδίδουμε τα χαρακτηριστικά των μελών που ανήκουν στην ίδια κατηγορία και κάνουμε προβλέψεις κρίνοντας με βάση αυτά. Όταν τα παιδιά διδαχθούν τις επιστημονικές θεωρίες, το επεξηγηματικό πλαίσιο που έχουν διαμορφώσει μέχρι εκείνη τη στιγμή αντικρούεται με αυτές. Οι επιστημονικές θεωρίες παραβιάζουν πολλές από τις αρχές των αφελών θεωριών των παιδιών, με αποτέλεσμα να γίνονται δύσκολα κατανοητές. Έρευνες στο χώρο έχουν δείξει ότι τα παιδιά αρχικά προσπαθούν να προσθέσουν τις επιστημονικές πληροφορίες στο ήδη διαμορφωμένο επεξηγηματικό τους πλαίσιο, χρησιμοποιώντας μηχανισμούς εμπλουτισμού. Αυτό σε αρκετές περιπτώσεις οδηγεί στη διαμόρφωση παρανοήσεων ή συνθετικών μοντέλων, όταν οι επιστημονικές θεωρίες παραβιάζουν πολλές από τις αρχές των αφελών θεωριών. Συνθετικά είναι τα μοντέλα που κατασκευάζουν τα παιδιά προκειμένου να επιλύσουν προβλήματα και να απαντήσουν σε ερωτήματα, τα οποία όμως αναδεικνύουν τις προσπάθειές τους να συνθέσουν τις επιστημονικές πληροφορίες με τις αρχικές απόψεις τους. Επομένως, η διαδικασία της εννοιολογικής αλλαγής δεν είναι μόνο μια διαδικασία εμπλουτισμού των ήδη υπάρχουσών γνωστικών δομών. Πολλές φορές χρειάζεται ριζική αναδιοργάνωση αυτών των αρχικών γνωστικών δομών.

Στην παρούσα διατριβή, αρχικά παρουσιάζεται μια θεωρητική προσέγγιση του ζητήματος της εννοιολογικής αλλαγής, με την αποδελτίωση της ελληνικής και διεθνούς βιβλιογραφίας σχετικά με τις θεωρίες για την απόκτηση των γνώσεων, τις σύγχρονες απόψεις για την αναδιοργάνωση της γνώσης, τις κατηγοριοποιήσεις και την εννοιολογική αλλαγή καθώς και για τα προβλήματα και τις δυσκολίες στη μάθηση στις φυσικές επιστήμες, τη φύση και τη

διαμόρφωση των διαισθητικών ιδεών των και των επεξηγηματικών πλαισίων των μαθητών και το ρόλο τους για τη μάθηση και την κατανόηση των επιστημονικών εννοιών. Ακολουθεί μια περιγραφή της θεωρίας για την ύλη, με αναφορά στις ιστορικές απόψεις για την ύλη, στις σύγχρονες επιστημονικές απόψεις για την ύλη, την ύλη στα σχολικά εγχειρίδια και στις έρευνες για τις αντιλήψεις των παιδιών για την ύλη.

Στη συνέχεια, παρουσιάζεται μία σειρά πειραμάτων που σκοπό έχουν τη διερεύνηση του ερωτήματος αν η διαδικασία της εννοιολογικής αλλαγής συνοδεύεται από επανακατηγοριοποιήσεις εννοιών και πώς μπορούμε να διευκολύνουμε τη διαδικασία της εννοιολογικής αλλαγής. Στα δύο πρώτα πειράματα προσπαθήσαμε να διερευνήσουμε το ερώτημα αν υπάρχουν επανακατηγοριοποιήσεις της έννοιας της ύλης κατά την ανάπτυξη και τη μάθηση, αν δηλαδή τα παιδιά στη διάρκεια της γνωστικής ανάπτυξης επανακατηγοριοποιούν την έννοια της ύλης και εάν αυτή η επανακατηγοριοποίηση σχετίζεται με τις ερμηνείες τους για τα φυσικά φαινόμενα. Στο τρίτο πείραμα γίνεται μία πρόταση παρέμβασης που επιχειρεί να διευκολύνει τη διαδικασία της εννοιολογικής αλλαγής.

Αναλυτικότερα, για το παρόν ερευνητικό έργο διεξήχθησαν τρεις πειραματικές έρευνες που σκοπό είχαν:

- 1) τη διερεύνηση των ιδεών μαθητών για έννοιες και φαινόμενα των φυσικών επιστημών και τον εντοπισμό των δυσκολιών τους,
- 2) τη διερεύνηση του ερωτήματος αν και με ποιο τρόπο η διαδικασία της εννοιολογικής αλλαγής συσχετίζεται με επανακατηγοριοποιήσεις εννοιών,
- 3) την προώθηση της διαδικασίας της εννοιολογικής αλλαγής με τον σχεδιασμό και την εφαρμογή μιας διδακτικής παρέμβασης η οποία λαμβάνει υπόψη της τα αποτελέσματα των προηγούμενων ερευνών.

Στην πρώτη πειραματική έρευνα επιχειρήθηκε η διερεύνηση των ιδεών των μαθητών του Δημοτικού σχολείου και φοιτητών του Πανεπιστημίου για έννοιες και φαινόμενα των Φυσικών Επιστημών που σχετίζονται με τα υλικά σώματα, τη σύστασή τους και τη φυσική τους κατάσταση. Η υπόθεση ότι οι δυσκολίες που έχουν οι μαθητές να κατανοήσουν τις επιστημονικές εξηγήσεις για τα φυσικά φαινόμενα ίσως να οφείλεται στο ότι κατηγοριοποιούν τα υλικά σώματα βάσει της φυσικής τους κατάστασης αντί της σύστασής τους δεν είχε μέχρι τώρα διερευνηθεί πειραματικά. Αυτός ήταν και ο στόχος του πρώτου πειράματος, η πειραματική διερεύνηση αυτής της υπόθεσης.

Τα αποτελέσματα της μελέτης επιβεβαίωσαν τις αρχικές μας υποθέσεις, καθώς έδειξαν ότι πράγματι υπάρχει αλλαγή στις κατηγοριοποιήσεις των συμμετεχόντων, μόνο που η επανακατηγοριοποίηση των υλικών σωμάτων βάσει της χημικής τους σύστασης παρατηρήθηκε μόνο στους φοιτητές του χημικού τμήματος που είχαν εξειδικευμένες γνώσεις. Παρατηρήθηκε,

επίσης, υψηλή συσχέτιση ανάμεσα στις κατηγοριοποιήσεις των σωμάτων από τους συμμετέχοντες και στην ερμηνείες τους για τα φαινόμενα της αλλαγής κατάστασης των σωμάτων, υποστηρίζοντας την υπόθεσή μας ότι η επανακατηγοριοποίηση των υλικών σωμάτων σχετίζεται με την κατανόηση των επιστημονικών εξηγήσεων.

Τα αποτελέσματα αυτής της έρευνας οδήγησαν στην ανάγκη εκτενέστερης έρευνας σε μαθητές Δημοτικού και Γυμνασίου αλλά και σε Φοιτητές του Πανεπιστημίου σχετικά με τις κατηγοριοποιήσεις των υλικών σωμάτων για να ελεγχθεί αν υπάρχουν ενδιάμεσα στάδια στις κατηγοριοποιήσεις των συμμετεχόντων, που να μην απαιτούν τόσο εξειδικευμένες γνώσεις. Επίσης, κρίθηκε σκόπιμο να ελεγχθεί και πάλι η συσχέτιση των κατηγοριοποιήσεων και των ερμηνειών για τις φυσικές μεταβολές της ύλης. Για τους λόγους αυτούς σχεδιάστηκε και πραγματοποιήθηκε η δεύτερη έρευνα με ένα νέο έργο κατηγοριοποίησης και με δύο έργα ερμηνείας φαινομένων, προκειμένου να σχηματίσουμε μια αντιπροσωπευτικότερη εικόνα των ερμηνειών των συμμετεχόντων για τα φαινόμενα αυτά.

Τα αποτελέσματα της έρευνας αυτής υποστηρίζουν, επίσης, την αρχική μας υπόθεση ότι υπάρχουν επανακατηγοριοποιήσεις εννοιών που συσχετίζονται με την διαδικασία της εννοιολογικής αλλαγής. Στην αρχή οι κατηγοριοποιήσεις των μαθητών βασίζονται κυρίως στην ομοιότητα των σωμάτων στο σχήμα, το χρώμα ή τη χρήση κλπ. αλλά στην πορεία, καθώς έρχονται σε επαφή με τις επιστημονικές ιδέες για τα υλικά σώματα χρησιμοποιούν κυρίως τη φυσική κατάσταση των σωμάτων (στερεά, υγρά, αέρια) ως κριτήριο κατηγοριοποίησης, ενώ στη συνέχεια, καθώς αποκτούν περισσότερες γνώσεις για τη δομή της ύλης και τα σωματίδια του μικρόκοσμου επανακατηγοριοποιούν τα σώματα βάσει της μοριακής τους δομής.

Επιπλέον, από την έρευνα προέκυψαν ενδείξεις ισχυρής συσχέτισης ανάμεσα στις κατηγοριοποιήσεις των συμμετεχόντων και τις εξηγήσεις τους για τα φυσικά φαινόμενα. Φαίνεται πως η αλλαγή από την κατηγοριοποίηση βάσει της φυσικής κατάστασης στην κατηγοριοποίηση βάσει τη μοριακής δομής προηγείται της κατανόησης της ερμηνείας των φυσικών φαινομένων και μοιάζει να είναι προαπαιτούμενο για την κατανόηση των επιστημονικών ερμηνειών για τα φαινόμενα της αλλαγής της φυσικής κατάστασης των σωμάτων. Όταν τα παιδιά μπορούν να αναγνωρίσουν την κοινή μοριακή δομή των σωμάτων παραβλέποντας τις μακροσκοπικές διαφορές τους, αντιλαμβάνονται διαφορετικά την έννοια της ύλης και μπορούν να την εντάξουν σε ένα διαφορετικό πλαίσιο, στο οποίο δεν αποδίδουν στα σώματα τους περιορισμούς που απορρέουν από τη φυσική τους κατάσταση.

Στην τρίτη πειραματική έρευνα σχεδιάζεται και εφαρμόζεται σε μαθητές του Δημοτικού Σχολείου μια διδακτική παρέμβαση που σκοπό έχει να προωθήσει τη διαδικασία της εννοιολογικής αλλαγής. Για το σχεδιασμό της διδακτικής παρέμβασης εξετάζονται τα ευρήματα των δύο προηγούμενων ερευνών μας αλλά και άλλων ερευνών από το χώρο της

διδασκαλίας των φυσικών επιστημών και της γνωστικής ψυχολογίας, τα αποτελέσματα προηγούμενων προσπαθειών δημιουργίας αναλυτικών προγραμμάτων για τη διδασκαλία της φυσικής στο δημοτικό σχολείο καθώς και τα προβλεπόμενα από το αναλυτικό πρόγραμμα σπουδών και το διαθεματικό ενιαίο πλαίσιο προγραμμάτων σπουδών για τη φυσική στο δημοτικό σχολείο. Το καινοτομικό στοιχείο αυτής της προσπάθειας σε σχέση με προηγούμενες είναι ότι κατά το σχεδιασμό της παρέμβασης γίνεται προσπάθεια να λάβουμε υπόψη μας όλες τις παραμέτρους που φαίνονται να παίζουν ρόλο κατά τη διαδικασία της μάθησης, προκειμένου να πετύχουμε το βέλτιστο δυνατό μαθησιακό αποτέλεσμα. Οι προηγούμενες προσπάθειες που έχουν γίνει έχουν εστιάσει σε μερικές μόνο από τις παραμέτρους αυτές και είναι η πρώτη έρευνα, στο βαθμό που γνωρίζουμε, η οποία συνδυάζει όλες αυτές τις συνιστώσες. Αναλυτικότερα κατά την παρέμβαση:

- α) Λαμβάνονται υπόψη οι αντιλήψεις των μαθητών για τις φυσικές ποσότητες και την ύλη, η σειρά απόκτησης των εννοιών και τα ενδιάμεσα στάδια κατανόησης στην προσπάθεια των μαθητών να προσεγγίσουν αυτές τις έννοιες.
- β) Λαμβάνονται υπόψη οι επιστημικές πεποιθήσεις των μαθητών και τα εμπόδια που αυτές θέτουν στην κατανόηση των επιστημονικών εννοιών.
- γ) Γίνεται μακροσκοπική προσέγγιση των εννοιών που θεωρούνται βασικές για την κατανόηση των επιστημονικών εννοιών και θεωρούνται προαπαιτούμενες για την επαρκή κατανόηση και των μικροσκοπικών εννοιών. Η μακροσκοπική αυτή προσέγγιση περιλαμβάνει και σημεία αντιδραστικά για τα παιδιά (πχ. διερεύνηση μη εμφανών περιπτώσεων ύλης κτλ.) που συνήθως παραλείπονται κατά την παραδοσιακή διδασκαλία, ενώ περιλαμβάνει και πραγματικό αποδεικτικό πειραματισμό.
- δ) Γίνεται μικροσκοπική προσέγγιση των εννοιών κατά την οποία το μοντέλο του μικρόκοσμου χρησιμοποιείται ως ενοποιητικό στοιχείο για την ερμηνεία των φαινομένων του μακρόκοσμου. Η εισαγωγή του μοντέλου του μικρόκοσμου γίνεται με τρόπο συστηματικό, αλλά χωρίς τη χρήση μαθηματικών και με τη βοήθεια κατάλληλου λογισμικού που σχεδιάστηκε για την παρέμβαση και περιλαμβάνει και δυναμικές προσομοιώσεις και οπτικοποιήσεις προσαρμοσμένες στις νοητικές, αφαιρετικές και συνθετικές δυνατότητες των μαθητών, χωρίς όμως υπεραπλουστευτικές ανακρίβειες οι οποίες, συνήθως, δημιουργούν περισσότερες εσφαλμένες αντιλήψεις.
- ε) Καταβάλλεται, τέλος, προσπάθεια η εισαγωγή του μοντέλου του μικρόκοσμου για την ερμηνεία των μακροσκοπικών εννοιών και φαινομένων να γίνεται πάντα σε συνδυασμό με την μακροσκοπική προσέγγιση και όχι σαν κάτι αποκομμένο και διαφορετικό, προκειμένου να μπορέσουν οι μαθητές να συνδυάσουν τις δύο θεωρήσεις (μακροσκοπική - μικροσκοπική) και να προσεγγίσουν καλύτερα τις μελετώμενες έννοιες και φαινόμενα.



Τα αποτελέσματα της τρίτης έρευνας δείχνουν ότι η διδακτική παρέμβαση προώθησε τη διαδικασία της εννοιολογικής αλλαγής αφού βοήθησε τους μαθητές να μεταβούν από μια αρχική θεωρία για την ύλη που γίνεται αντιληπτή με τις αισθήσεις και που τα υλικά κατηγοριοποιούνται βάσει των μακροσκοπικών τους ιδιοτήτων σε μια θεωρία για την ύλη που προσεγγίζει περισσότερο την επιστημονική ατομική θεωρία για την ύλη, όπου η ύλη είναι στοιχειώδες συστατικό που διατηρείται, έχει βάρος και καταλαμβάνει χώρο, αποτελείται από σωματίδια μη ορατά σε εμάς, τα οποία κινούνται συνεχώς και τα υλικά χαρακτηρίζονται από αντικειμενικές και μετρήσιμες χαρακτηριστικές ιδιότητες και όχι από την επιφανειακή εμφάνιση / μακροσκοπικές αντιληπτές ιδιότητες.

Τα αποτελέσματα μπορούν να θεωρηθούν σημαντικά, γιατί αφενός συμβάλλουν στη διερεύνηση της σχέσης ανάμεσα στον τρόπο κατηγοριοποίησης των εννοιών και στη διαδικασία της εννοιολογικής αλλαγής και αφετέρου βοηθούν στον προσδιορισμό των στοιχείων της αφελούς θεωρίας των μαθητών για την ύλη που θέτουν περιορισμούς στην κατανόηση των αντίστοιχων επιστημονικών θεωριών, προκειμένου να προωθηθεί η διαδικασία της εννοιολογικής αλλαγής, καθώς η κατανόηση των επιστημονικών εννοιών απαιτεί την αναδιοργάνωση των αφελών θεωριών. Φαίνεται, λοιπόν, πως η διαδικασία της εννοιολογικής αλλαγής δεν είναι απλώς μια διαδικασία εμπλουτισμού των ήδη υπάρχουσών γνωστικών δομών, αλλά πολλές φορές χρειάζεται ριζική αναδιοργάνωση των αρχικών γνωστικών δομών, δηλαδή αλλαγή θεωρίας.

Η παρούσα διδακτορική διατριβή αποτελεί πρωτότυπη εργασία στο ερευνητικό πεδίο της Γνωστικής Ψυχολογίας και της Εκπαίδευσης στις Φυσικές Επιστήμες και συνιστά συμβολή στην επιστήμη, δεδομένου ότι σε πρώτο επίπεδο συμβάλει στη διερεύνηση των στοιχείων της αφελούς θεωρίας των μαθητών για την ύλη που θέτουν περιορισμούς στην κατανόηση των αντίστοιχων επιστημονικών θεωριών και σε δεύτερο επίπεδο συμβάλει στην προώθηση της διαδικασίας της εννοιολογικής αλλαγής με τη σχεδίαση και υλοποίηση μιας διδακτικής παρέμβασης και με το σχεδιασμό και την αξιοποίηση αντίστοιχου λογισμικού, που συνεισφέρουν στην αναδιοργάνωση των αφελών θεωριών των μαθητών η οποία είναι απαραίτητη για την κατανόηση των αντίστοιχων επιστημονικών εννοιών. Η παρούσα ερευνητική εργασία ανέδειξε νέες ερευνητικές κατευθύνσεις στην περιοχή της Γνωστικής Ανάπτυξης και της Εννοιολογικής Αλλαγής, αλλά και της Εκπαίδευσης στις Φυσικές Επιστήμες. Τα αποτελέσματά της έχουν δημοσιευθεί σε περιοδικά, σε κεφάλαια βιβλίων και σε πρακτικά διεθνών και ελληνικών συνεδρίων.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περίληψη .....	σ. 4
<b>Α΄ Μέρος – Θεωρητικό</b>	
Εισαγωγή .....	σ. 13
Προσεγγίσεις Εννοιολογικής Αλλαγής .....	σ. 17
Προτεινόμενο Θεωρητικό Πλαίσιο .....	σ. 25
Κατηγοριοποίηση Εννοιών και Εννοιολογική Αλλαγή .....	σ. 30
Θεωρία για την Ύλη .....	σ. 33
Ιστορική Ανασκόπηση των αντιλήψεων για την ύλη .....	σ. 33
Οι Επιστημονικές απόψεις για την ύλη .....	σ. 39
Η ύλη στα σχολικά εγχειρίδια .....	σ. 53
Οι Εμπειρικές έρευνες για την ύλη .....	σ. 55
<b>Β΄ Μέρος – Ερευνητικό</b>	
<b>Η Πρώτη και η Δεύτερη Έρευνα – Κατηγοριοποιήσεις Υλικών Σωμάτων και Φυσικές Μεταβολές της Ύλης</b>	
Εισαγωγή .....	σ. 73
Η Πρώτη Έρευνα .....	σ. 77
Υποθέσεις .....	σ. 79
Μέθοδος .....	σ. 81
Συμμετέχοντες .....	σ. 81
Διαδικασία .....	σ. 82
Υλικά .....	σ. 82
Αποτελέσματα .....	σ. 84
Έργο Κατηγοριοποίησης .....	σ. 84
Έργο Αλλαγής Κατάστασης .....	σ. 91
Συσχετίσεις Κατηγοριοποιήσεων – Εξηγήσεων .....	σ. 98
Συζήτηση.....	σ. 101
Η Δεύτερη Έρευνα .....	σ. 106
Υποθέσεις .....	σ. 106
Μέθοδος .....	σ. 107
Συμμετέχοντες .....	σ. 107
Διαδικασία .....	σ. 107
Υλικά .....	σ. 108
Αποτελέσματα .....	σ. 108
Έργο Κατηγοριοποίησης .....	σ. 109
Έργα Ερμηνείας Φαινομένων .....	σ. 112
Συσχετίσεις Κατηγοριοποιήσεων – Ερμηνείας Φαινομένων .....	σ. 119
Συζήτηση .....	σ. 122

## **Η Τρίτη Έρευνα – Αλλαγές στην Κατηγοριοποίηση της Έννοιας της Ύλης και ο Ρόλος των Επιστημικών Πεποιθήσεων**

Εισαγωγή .....	σ. 127
Η Παρέμβαση .....	σ. 136
Αντιλήψεις των Μαθητών για τις Φυσικές Ποσότητες και την Ύλη .....	σ. 143
Επιστημικές Πεποιθήσεις των μαθητών .....	σ. 147
Μακροσκοπική Προσέγγιση .....	σ. 152
Μικροσκοπική Προσέγγιση .....	σ. 155
Συνδυασμός Μακροσκοπικής και Μικροσκοπικής προσέγγισης .....	σ. 158
Περιγραφή Παρέμβασης .....	σ. 158
Το Λογισμικό .....	σ. 164
Υποθέσεις .....	σ. 175
Μέθοδος .....	σ. 176
Συμμετέχοντες .....	σ. 176
Διαδικασία .....	σ. 177
Υλικά .....	σ. 178
Αποτελέσματα .....	σ. 180
Η Βαθμολόγηση των Έργων .....	σ. 180
Έργο για τον Καθορισμό των Αντιλήψεων των Μαθητών για την Ύλη .....	σ. 180
Έργο για τον Καθορισμό των Επιστημικών Πεποιθήσεων των Μαθητών... ..	σ. 183
Έργο Κατηγοριοποίησης .....	σ. 188
Έργα Ερμηνείας Φαινομένων .....	σ. 189
Αποτελέσματα ανά Έργο .....	σ. 193
Συγκεντρωτικά Αποτελέσματα .....	σ. 203
Παραγοντική Ανάλυση .....	σ. 207
Ανάλυση κατά Συστάδες .....	σ. 208
Συσχετίσεις Έργων .....	σ. 209
Ανάλυση Παλινδρόμησης .....	σ. 216
Ποιοτικά Αποτελέσματα .....	σ. 217
Συζήτηση .....	σ. 220
<b>Συμπεράσματα – Προτάσεις</b> .....	<b>σ. 227</b>
<b>Βιβλιογραφία</b> .....	<b>σ. 243</b>
<b>Παραρτήματα</b>	
<b>Παράρτημα I – Ερωτηματολόγια Ερευνών</b> .....	<b>σ. 258</b>
- Ερωτηματολόγιο Πρώτης Έρευνας .....	σ. 259
- Ερωτηματολόγιο Δεύτερης Έρευνας .....	σ. 260
- Ερωτηματολόγιο Τρίτης Έρευνας .....	σ. 265
<b>Παράρτημα II – Φύλλα Εργασίας</b> .....	<b>σ. 279</b>
<b>Παράρτημα III – Ενδεικτικές Σελίδες του Λογισμικού</b> .....	<b>σ. 309</b>
<b>Παράρτημα IV – Φωτογραφίες από την Εφαρμογή της Παρέμβασης</b> .....	<b>σ. 315</b>

## **Α΄ ΜΕΡΟΣ – ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ**

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η επιστήμη της ψυχολογίας έχει ως σκοπό να περιγράψει και να εξηγήσει τη συμπεριφορά και τις νοητικές διεργασίες των έμβιων όντων και κυρίως του ανθρώπου. Με τον όρο συμπεριφορά θεωρείται η δραστηριότητα ενός οργανισμού που μπορεί να παρατηρηθεί από κάποιον άλλο οργανισμό ή από τα μηχανήματα ενός πειραματιστή (Βοσνιάδου 2001). Για πολλά χρόνια το κυρίαρχο θεωρητικό πλαίσιο στην ψυχολογία ήταν ο συμπεριφορισμός, ο οποίος είχε αποκλείσει τη μελέτη των νοητικών φαινομένων. Παρόλο που οι απόψεις των συμπεριφοριστών έριξαν φως σε ορισμένα φαινόμενα της μάθησης, η αγνόηση των ψυχολογικών διεργασιών και η επικέντρωση μόνο στην παρατηρήσιμη και μετρήσιμη εξωτερική συμπεριφορά του ατόμου, αποτέλεσαν ένα σοβαρό μειονέκτημα.

Η σύγχρονη γνωστική ψυχολογία, όμως, που αναπτύχθηκε σε μεγάλο βαθμό ως αντίδραση στο συμπεριφορισμό, ασχολείται με την περιγραφή και εξήγηση των νοητικών αναπαραστάσεων και διεργασιών που υπόκεινται της παρατηρήσιμης συμπεριφοράς. Η θέση της γνωστικής ψυχολογίας είναι ότι η μελέτη των νοητικών φαινομένων είναι απαραίτητη για την εξήγηση της συμπεριφοράς και ότι είναι δυνατό να διερευνήσουμε τις νοητικές διεργασίες με τρόπους αντικειμενικούς (Βοσνιάδου 2001). Εκεί που οι προηγούμενες θεωρίες έβλεπαν μόνο αδιαφανή "μαύρα κουτιά", οι γνωστικές θεωρίες είδαν γυάλινους κύβους που άφηναν να φαίνονται γρανάτζια και τροχοί κι επισήμαναν μηχανισμούς επεξεργασίας της πληροφορίας (Ganascia 1998).

Η στροφή από το συμπεριφορισμό στη γνωστική ψυχολογία και τη γνωστική επιστήμη ήταν, βέβαια, ένα πολύπλοκο αποτέλεσμα μιας σειράς σημαντικών ανακαλύψεων και εξελίξεων που σημειώθηκαν, κατά τα μεταπολεμικά κυρίως χρόνια, τόσο στην επιστήμη της ψυχολογίας όσο και σε άλλους κλάδους: η αλματώδης πρόοδος στον τομέα των ηλεκτρονικών υπολογιστών πρόσφερε στην ψυχολογία ένα μοντέλο αναπαράστασης των λειτουργικών διαδικασιών της μάθησης, ενώ οι εξελίξεις στη γλωσσολογία άνοιξαν το δρόμο για μια διαφορετική ερμηνεία όχι μόνο της γλωσσικής ικανότητας, αλλά και άλλων νοητικών δραστηριοτήτων, ενώ και στο χώρο της ψυχολογίας παρατηρήθηκαν εξελίξεις που συνέβαλαν στο να θεωρηθεί η γνωστική ανάπτυξη όχι απλώς ως αποτέλεσμα μάθησης νέων συνηθειών και συσώρευσής τους σε αυτές που ήδη υπάρχουν, αλλά ως ανάπτυξη νέων στρατηγικών για την αντιμετώπιση κι επεξεργασία των πληροφοριών (Πόρποδας 1992).

Αποτέλεσμα αυτών των εξελίξεων ήταν η επανατοποθέτηση του ζητήματος της μάθησης σε μια νέα βάση, κατά την οποία το άτομο που μαθαίνει δε θεωρείται ότι είναι παθητικός δέκτης των περιβαλλοντικών ερεθισμάτων, αλλά διαδραματίζει ενεργό ρόλο στην πρόσληψη, επεξεργασία, συγκράτηση και χρησιμοποίηση των πληροφοριών του περιβάλλοντος. Η βασική υπόθεση της γνωστικής ψυχολογίας για τη μάθηση είναι ότι ο άνθρωπος που μαθαίνει

επεξεργάζεται τις πληροφορίες που παίρνει από το περιβάλλον, δηλαδή το άτομο επιλέγει και προσλαμβάνει τα ερεθίσματα (που είναι οι φορείς των πληροφοριών) με τους αισθητηριακούς υποδοχείς, τα μετασχηματίζει σε μια μορφή μηνυμάτων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν από το γνωστικό σύστημα, τα επεξεργάζεται, τα συγκρατεί για λίγο ή πολύ χρόνο και τα χρησιμοποιεί όταν χρειάζεται (Πόρποδας 1992). Η γνωστική μάθηση, επομένως, ερμηνεύεται ως πρόσκτηση, οργάνωση, κωδικοποίηση και επεξεργασία των πληροφοριών, με κύρια χαρακτηριστικά την ενεργητική συμμετοχή του ατόμου που μαθαίνει.

Από τα μέσα της δεκαετίας του '70 κι έπειτα παρατηρείται στο χώρο της διδασκαλίας των φυσικών επιστημών μια έντονη ερευνητική δραστηριότητα σε παγκόσμια κλίμακα, που τείνει να επηρεάσει αποφασιστικά το οικοδόμημα της διδακτικής των φυσικών επιστημών που είχε στηριχτεί στις απόψεις των Piaget, Bruner και λοιπών για τη μάθηση. Σύμφωνα με τη νέα θεώρηση των πραγμάτων, κυρίαρχο ρόλο στη μάθηση παίζουν οι ιδέες που έχουν τα παιδιά για τα φυσικά φαινόμενα, πριν καν τα διδαχτούν στο σχολείο. Τα παιδιά μέσω των μεταξύ τους αλληλεπιδράσεων και μέσα από την κοινωνική επαφή και τη γλώσσα αρχίζουν να οικοδομούν ένα ευρύ φάσμα ιδεών για το πώς λειτουργεί ο κόσμος. Οι ιδέες αυτές χρησιμοποιούνται για να προβλέψουν και να ερμηνεύσουν τα φαινόμενα γύρω τους.

Οι ιδέες αυτές αναπτύσσονται στην προσπάθεια των παιδιών να δώσουν νόημα στον κόσμο μέσα στον οποίο ζουν. Τα παιδιά, όπως οι επιστήμονες, χρησιμοποιούν τις ομοιότητες και τις διαφορές για να οργανώσουν τα φαινόμενα και τα γεγονότα και ψάχνουν για στοιχεία και για σχέσεις μεταξύ τους ώστε να οικοδομήσουν δομές σχέσεων. Προσπαθούν δηλαδή να ερμηνεύσουν το φυσικό περιβάλλον, συγκροτώντας δικά τους ερμηνευτικά πρότυπα τα οποία απέχουν από το επιστημονικό. Μελέτες και έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί στο χώρο αυτό, όπως των Driver, Guesne και Tiberghien (1985) και των Osborne και Freyberg (1985) έφεραν στο φως κάποια βασικά χαρακτηριστικά των ιδεών των παιδιών: η σκέψη τους κυριαρχείται από την αισθητηριακή αντίληψη, η προσοχή τους εστιάζεται περισσότερο σε αλλαγές παρά σε σταθερές καταστάσεις και επικεντρώνεται στα κυρίαρχα και πλέον εμφανή χαρακτηριστικά μιας δεδομένης κατάστασης, οι συλλογισμοί τους ακολουθούν μια γραμμική αιτιακή ακολουθία, συνδέοντας ένα αποτέλεσμα με ένα αίτιο, δεν είναι σε θέση να διαχωρίζουν βασικές έννοιες και χρησιμοποιούν "έννοιες-ομπρέλες" κάτω απ' τις οποίες κρύβεται ένα σύνολο από δευτερεύουσες σημασίες που είναι πιο περιεκτικές από αυτές των επιστημόνων και οι ιδέες τους εξαρτώνται από τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της κατάστασης με την οποία τίθεται το πρόβλημα μάθησης.

Ο Piaget (1973, 1975, 1999), αναμφίβολα, προσέθεσε όσα κανείς άλλος στην κατανόησή μας για τη σκέψη των παιδιών, καθώς έκανε πάρα πολλές παρατηρήσεις σχετικά με τους

τρόπους με τους οποίους σκέφτονται τα παιδιά σε διάφορες ηλικίες. Για πολλούς ψυχολόγους, η μελέτη της ανάπτυξης της σκέψης δεν άρχισε παρά μετά την εμφάνιση του Piaget, ο οποίος θεωρεί το παιδί σαν ενεργό πλάστη της γνώσης του για την πραγματικότητα. Η γνώση προκύπτει από τις πράξεις του παιδιού πάνω στα αντικείμενα του κόσμου που το περιβάλλει. Το παιδί προσπαθεί ανά πάσα στιγμή να καταλάβει τον εαυτό του, τους άλλους και τον φυσικό κόσμο κι έτσι η γνώση που αποκτά με την ενεργητική του συμμετοχή δεν είναι ένα αντίγραφο του εξωτερικού κόσμου, ούτε ένα ξεδίπλωμα έμφυτων ιδεών, αλλά ένα δικό του δημιούργημα, αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης εγγενών και περιβαλλοντικών παραγόντων (Piaget, 1973, 1975). Σύμφωνα με τον Piaget, οι ιδέες των παιδιών αποτελούν ένα γνωστικό σύστημα που έχει μια ορισμένη λογική ενότητα, μια δομή. Οι γνωστικές δομές δεν παραμένουν οι ίδιες, αλλά αλλάζουν καθώς το παιδί προσπαθεί να προσαρμοστεί καλύτερα στο περιβάλλον του. Ο Piaget περιγράφει δυο διαδικασίες μέσα από τις οποίες επιτελείται η αλλαγή της δομής των γνώσεων: η αφομοίωση είναι η διαδικασία με την οποία καινούριες πληροφορίες ενσωματώνονται στις προϋπάρχουσες δομές γνώσεων, ενώ η συμμόρφωση είναι η διαδικασία με την οποία οι δομές των γνώσεων τροποποιούνται για να προσαρμοστούν στις καινούργιες καταστάσεις. Η αφομοίωση και η συμμόρφωση είναι ως ένα βαθμό αντίθετες. Η μία ωθεί προς την αλλαγή (συμμόρφωση), ενώ η άλλη επιδιώκει τη διατήρηση της υπάρχουσας κατάστασης (αφομοίωση). Για να μπορέσει να λειτουργήσει ένα σύστημα, οι δυο αυτές αντίθετες δυνάμεις πρέπει να εξισορροπούνται, γι' αυτό και ο Piaget πρότεινε και τον μηχανισμό της αυτορρύθμισης ή εξισορρόπησης, μια προοδευτική διαδικασία που επιτυγχάνεται με τη συνεχή αντιστάθμιση του υποκειμένου στα εξωτερικά ερεθίσματα που δέχεται και την προσπάθεια για το σχηματισμό ενός γνωστικού συστήματος που χαρακτηρίζεται από εσωτερική συνέπεια και συνάφεια. Ο Piaget ερμηνεύει τη γνωστική ανάπτυξη σαν μια κατεξοχήν χρονική διαδικασία, που καταλήγει σε όλο και πιο πολύπλοκα οργανωμένες δομές γνώσης. Οι περίοδοι ανάπτυξης που ακολουθεί το παιδί είναι οι εξής: 1. αισθησιοκινητική, 2. προεγνοιολογική, 3. περίοδος συγκεκριμένων λογικών ενεργειών και 4. περίοδος τυπικών λογικών ενεργειών. Η διαδοχή των περιόδων παραμένει πάντα σταθερή, το πότε όμως το κάθε παιδί κατακτά μια περίοδο γνωστικής ανάπτυξης μπορεί να ποικίλει από παιδί σε παιδί και από κοινωνία σε κοινωνία.

Ακριβώς όπως ο Piaget είναι ο προπάτορας των θεωριών της ανάπτυξης, έτσι και ο Vygotsky είναι ο προπάτορας των κοινωνικοπολιτισμικών θεωριών, οι οποίες δίνουν έμφαση στη συμβολή του κοινωνικού κόσμου στη σκέψη των παιδιών. Μολονότι ο Piaget και ο Vygotsky ήταν σύγχρονοι, οι θεωρίες τους στρέφονται προς διαφορετικές κατευθύνσεις. Ενώ ο Piaget εξέταζε τα παιδιά ως μικρούς επιστήμονες που προσπαθούν να καταλάβουν σε μεγάλο βαθμό μόνοι τους τον κόσμο, ο Vygotsky τα απεικόνιζε ως άτομα που ζουν ανάμεσα σε

άλλους ανθρώπους πρόθυμους να τα βοηθήσουν, να αποκτήσουν τις δεξιότητες που χρειάζονται για να ζήσουν μέσα στον πολιτισμό τους. Εισηγήαγε μια σειρά βασικές έννοιες για την κατανόηση των τρόπων με τους οποίους ο κοινωνικός κόσμος συμβάλλει στη σκέψη των παιδιών. Τρεις από τις σημαντικότερες είναι η ζώνη της επικείμενης ανάπτυξης, το κοινωνικό πλαίσιο υποστήριξης και τα πολιτισμικά εργαλεία (Siegler 2002). Η έννοια της ζώνης της επικείμενης ανάπτυξης βασίστηκε στη διαπίστωση ότι όταν οι μαθητευόμενοι καθοδηγούνται μερικά από άλλους ανθρώπους σε ένα δύσκολο έργο, τότε συχνά σκέφτονται με πιο προχωρημένους τρόπους απ' ό,τι αν είχαν να κάνουν όλο το έργο μόνοι τους. Για κάθε παιδί, η ζώνη αυτή προσδιορίζεται ως η απόσταση ανάμεσα σ' αυτό που μπορεί να κάνει το παιδί κατά την ανεξάρτητη επίλυση ενός προβλήματος και σ' αυτό που μπορεί να κάνει, όταν του δίνεται μια ουσιαστική βοήθεια. Η κοινωνικοπολιτισμική προσέγγιση εστιάζει στους τρόπους με τους οποίους οι άλλοι άνθρωποι καθοδηγούν και υποστηρίζουν τα παιδιά κατά την επίλυση προβλημάτων. Ένας από τους τύπους βοήθειας που παρέχουν είναι το κοινωνικό πλαίσιο υποστήριξης, που περιλαμβάνει τη βοήθεια προς τα παιδιά για να σκεφτούν με τον κατάλληλο τρόπο σχετικά με το έργο, τη μοντελοποίηση τρόπων επίλυσης προβλημάτων και τους υπαινιγμούς που καθοδηγούν τα παιδιά προς χρήσιμες κατευθύνσεις. Ο κοινωνικός κόσμος δεν επηρεάζει τη γνωστική ανάπτυξη μόνο με άμεσες αλληλεπιδράσεις με άλλους ανθρώπους και με την παροχή κοινωνικών εργαλείων, αλλά και επιτρέποντας στα παιδιά να συμμετέχουν σε δραστηριότητες που χαίρουν εκτίμησης στον πολιτισμό τους. Μερικές απ' αυτές τις δραστηριότητες, όπως το σχολείο ή τα μαθήματα μουσικής, είναι ειδικά σχεδιασμένες για να διδάξουν στα παιδιά συγκεκριμένες δεξιότητες και γνώση.

Κατά τη διάρκεια των τελευταίων ετών έχουν πληθύνει οι έρευνες για το πώς τα παιδιά αποκτούν γνώσεις για τον φυσικό κόσμο και, πιο συγκεκριμένα, πώς τελικά κατανοούν τις επιστημονικές εξηγήσεις που είναι σήμερα αποδεκτές για έννοιες όπως η ύλη, το βάρος, η πυκνότητα, η θερμότητα, η θερμοκρασία, η δύναμη κτλ. Οι έρευνες αυτές συμφωνούν μεταξύ τους τουλάχιστον σ'ένα θεμελιώδες ζήτημα: τα παιδιά δεν είναι ένας «άγραφος χάρτης» όταν για πρώτη φορά έρχονται σ'επαφή με τις πολιτισμικά αποδεκτές επιστημονικές απόψεις. Αντίθετα, έρχονται εφοδιασμένα με αρχικές γνώσεις για τον φυσικό κόσμο, οι οποίες γνώσεις βασίζονται σε ερμηνείες της καθημερινής τους εμπειρίας (Βοσνιάδου 1998). Οι γνωστικές δομές και οι στρατηγικές επεξεργασίας που έχουν σε κάθε συγκεκριμένο σημείο της ανάπτυξής τους τα οδηγούν να επιλέγουν από τα εισερχόμενα δεδομένα ό,τι έχει νόημα για τα ίδια και να αναπαριστούν και να μετασχηματίζουν τα όσα έχουν επιλέξει σύμφωνα με τις γνωστικές τους δομές.



## Προσεγγίσεις Εννοιολογικής Αλλαγής

Το πρόβλημα της εννοιολογικής αλλαγής αποτέλεσε θεμελιώδες ζήτημα στο χώρο της γνωστικής ψυχολογίας με σημαντικές επιπτώσεις και στο χώρο της εκπαίδευσης. Ο όρος εισήχθη στις αρχές του '60 από τον Feyerabend και τον Kuhn για να περιγράψει τις αλλαγές που υφίστανται οι όροι των φυσικών επιστημών και οι έννοιες που εμπερικλείονται σε μία θεωρία όταν η θεωρία αυτή αλλάξει. Οι δύο φιλόσοφοι εισήγαγαν την έννοια της ασυμβατότητας νοήματος και υποστήριξαν ότι όταν ένα θεωρητικό πλαίσιο έχει αλλάξει, οι έννοιες που εντάσσονται στο αρχικό επεξηγηματικό πλαίσιο είναι ασύμβατες με το νέο επεξηγηματικό πλαίσιο. Για να εναρμονιστούν οι όροι με το νέο επεξηγηματικό πλαίσιο, απαιτείται η αναδόμησή του, απορρίπτοντας κάποιους από τους προηγούμενους όρους και εντοπίζοντας νέες σχέσεις μεταξύ άλλων όρων.

Μέχρι τα τέλη της δεκαετίας του '70 είχε γίνει εμφανές σε πολλούς εκπαιδευτικούς των φυσικών επιστημών ότι οι μαθητές διαθέτουν εναλλακτικά πλαίσια, μερικά από τα οποία είναι ισχυρά και δύσκολο να εξαλειφθούν με τη διδασκαλία (Driver & Easley 1978, Viennot 1979, White & Gunstone 2008). Σε μερικές περιπτώσεις αυτά τα εναλλακτικά πλαίσια είναι παρόμοια με προγενέστερες θεωρίες στην ιστορία των επιστημών. Αν κι έχουν χρησιμοποιηθεί διαφορετικοί όροι όταν γίνεται αναφορά σ' αυτό το είδος γνώσης –όπως προέννοιες (Ausubel 1968), παρανοήσεις (Novak 1987), εναλλακτικές ιδέες (Driver & Easley 1978), νοητικά μοντέλα (Collins & Gentner 1987, White & Frederiksen 1986, 1998), παραδοσιακές θεωρίες (Kempton 1987) και διαισθητικές θεωρίες (McCloskey & Kargon 1988)– υπάρχει γενική συμφωνία ότι αυτή η διαισθητική γνώση παρέχει εξηγήσεις των φυσικών φαινομένων, οι οποίες συχνά διαφέρουν από τις επιστημονικές εξηγήσεις που είναι σήμερα αποδεκτές κι έχουν την τάση να μην αλλάζουν εύκολα (Βοσνιάδου 1998).

Δυστυχώς, όταν πρόκειται για την εκμάθηση επιστημονικών εννοιών, οι προϋπάρχουσες γνώσεις που ενεργοποιούν οι μαθητές δεν είναι πάντα συμβατές με τις νέες πληροφορίες που πρέπει να αποκτηθούν. Σύμφωνα με τους Posner et al. (1982) οι μαθητές πρέπει να υποστούν μια ριζική εννοιολογική αλλαγή όταν διδάσκονται επιστημονικές έννοιες όπως η δύναμη, η θερμότητα και η ενέργεια, αντικαθιστώντας τα εναλλακτικά πλαίσια με τα επιστημονικά. Υποστηρίζουν για να επιτευχθεί μια τέτοια αντικατάσταση στη μάθηση των επιστημών πρέπει να ικανοποιούνται τέσσερις βασικές συνθήκες, δηλαδή πρέπει: α) να υπάρχει δυσaráεσκεια για τις υπάρχουσες έννοιες, β) να υπάρχει μια νέα έννοια που να είναι κατανοητή από τους μαθητές, γ) η νέα έννοια να φαίνεται εφαρμόσιμη και δ) η νέα έννοια να παρέχει την πιθανότητα ενός παραγωγικού προγράμματος.

Όπως αναφέρουν οι Vosniadou & Mason (2012), αυτό το θεωρητικό πλαίσιο, γνωστό ως η κλασική άποψη, έγινε το κυρίαρχο παράδειγμα που καθοδήγησε τις έρευνες και τις εκπαιδευτικές πρακτικές στις φυσικές επιστήμες για πολλά χρόνια. Στην κλασική άποψη η εννοιολογική αλλαγή θεωρείται ως το αποτέλεσμα μιας λογικής διαδικασίας αντικατάστασης θεωρίας. Σύμφωνα με αυτή την προσέγγιση, το βασικό πρόβλημα στην εννοιολογική αλλαγή είναι να αντιληφθούν οι μαθητές τις θεμελιώδεις παραδοχές και επιστημολογικές δεσμεύσεις και ανεπάρκειές τους, έναντι αυτών που υπονοούνται στην επιστημονική θεωρία. Ως βασική διδακτική στρατηγική για την επίτευξη αυτής της δυσαρέσκειας των μαθητών θεωρήθηκε η πρόκληση της γνωστικής σύγκρουσης.

Με τα χρόνια, μερικά από τα βασικά δόγματα της κλασικής προσέγγισης δέχθηκαν σοβαρή κριτική. Μερικοί ερευνητές υποστήριξαν ότι η εννοιολογική αλλαγή είναι αργή και σταδιακή και όχι η απότομη αλλαγή από μια θεωρία σε μια άλλη (Vosniadou, 1994). Άλλοι άσκησαν κριτική στην γνωστική σύγκρουση, υποστηρίζοντας ότι η διδασκαλία που αντιμετωπίζει τις παρανοήσεις με σκοπό την αντικατάστασή τους είναι εσφαλμένη και απίθανο να επιτύχει (Smith, diSessa & Roschelle 1993). Πολλοί αμφισβήτησαν την ιδέα ότι οι μαθητές μοιάζουν με τους επιστήμονες, δείχνοντας ότι οι μαθητές δεν κατανοούν το ρόλο των ιδεών για την καθοδήγηση της διαδικασίας του ελέγχου των υποθέσεων και συγχέουν τη θεωρία με τα αποδεικτικά στοιχεία (Kuhn, Amsel & O'Loughlin 1988, Smith, Maclin, Houghton & Hennessey 2000). Θεωρητικοί των κινήτρων υποστήριξαν ότι η κλασική προσέγγιση αγνοεί το σημαντικό ρόλο που παίζουν οι συναισθηματικοί παράγοντες και τα κίνητρα στην εννοιολογική αλλαγή (Pintrich, Marx & Boyle 1993, Sinatra & Pintrich 2003). Τέλος, ερευνητές των κοινωνικοπολιτισμικών προσεγγίσεων άσκησαν κριτική για την έλλειψη προσοχής στις κοινωνικές επιδράσεις και πολιτισμικές πρακτικές (Hatano & Inagaki 2003).

Οι θεωρητικές και μεθοδολογικές συζητήσεις που έγιναν κατά τη διαδικασία του επαναπροσδιορισμού της κλασικής άποψης ήταν από τις πιο ενδιαφέρουσες στον τομέα της μάθησης και της διδασκαλίας, θέτοντας σημαντικά ερωτήματα σχετικά με τη φύση της γνώσης, την οργάνωση και την αναθεώρησή της (Vosniadou & Mason 2012). Ένα σημαντικό ζήτημα αφορά στη συνεκτικότητα έναντι της αποσπασματικότητας της γνώσης των μαθητών. Η προσέγγιση της κατακερματισμένης γνώσης που προτάθηκε από τον diSessa (1993, 2008) υποστηρίζει την αποσπασματικότητα ενώ η προσέγγιση θεωρία-θεωρία /theory-theory (Carey 1985, Gopnik & Meltzoff 1997) υποστηρίζει τη συνεκτικότητα. Μια παραλλαγή της τελευταίας προσέγγισης είναι η προσέγγιση της θεωρίας πλαισίου που υποστηρίζεται από τη Βοσνιάδου και τους συνεργάτες της (Vosniadou 1994, Vosniadou, Vamvakoussi & Skopeliti 2008).

Σύμφωνα με τον diSessa (1993) το σύστημα γνώσεων των αρχαρίων αποτελείται από μια μη δομημένη συλλογή πολλών απλών υπο-εννοιολογικών στοιχείων που είναι γνωστά ως φαινομενολογικά αρχέτυπα (p-prims) και προέρχονται από επιφανειακές ερμηνείες της φυσικής πραγματικότητας. Έχουν συγκεκριμένα εκφραστικά όρια και ενεργοποιούνται μέσω ενός μηχανισμού αναγνώρισης που εξαρτάται από το περιεχόμενο και τις συνδέσεις που έχουν με τα άλλα στοιχεία του συστήματος. Σύμφωνα με αυτή την άποψη, η διαδικασία μάθησης στις φυσικές επιστήμες συνίσταται στη συλλογή και συστηματοποίηση των κομματιών σε μεγαλύτερα σύνολα. Αυτό συμβαίνει καθώς τα p-prims αλλάζουν τη λειτουργία τους και από σχετικά απομονωμένα, αυτονόητα στοιχεία διαισθητικής γνώσης γίνονται κομμάτια ενός μεγαλύτερου συστήματος σύνθετων δομών γνώσης, όπως οι νόμοι της φυσικής.

Αντίθετα με την προηγούμενη προσέγγιση που προκύπτει κυρίως από την έρευνα στη διδακτική των φυσικών επιστημών, η προσέγγιση theory-theory αντιπροσωπεύει τη δουλειά των γνωστικών αναπτυξιακών ψυχολόγων που υποστηρίζουν ότι τα παιδιά οργανώνουν τις καθημερινές εμπειρίες τους σε αφελείς θεωρίες που υπόκεινται σε σημαντική αναδιοργάνωση κατά τη διαδικασία της διδασκαλίας και της ανάπτυξης (Carey 1985, 2009, Gopnik & Meltzoff 1997). Σύμφωνα με αυτή την άποψη, οι έννοιες ενσωματώνονται σε μεγαλύτερες θεωρητικές δομές που τις περιορίζουν και η εννοιολογική αλλαγή συμβαίνει όταν μια έννοια επανερμηνεύεται στο πλαίσιο μιας νέας θεωρίας. Οι περισσότεροι ερευνητές που υποστηρίζουν αυτό το θεωρητικό πλαίσιο συμφωνούν ότι η διαδικασία της γνωστικής ανάπτυξης στα παιδιά έχει σημαντικές ομοιότητες με τη διαδικασία της αλλαγής θεωρίας στους επιστήμονες, ότι υπάρχουν ασυνέχειες στη γνωστική ανάπτυξη ανάλογες με τις αλλαγές θεωρίας στην ιστορία των επιστημών και ότι οι μηχανισμοί εμπλουτισμού δεν επαρκούν για την ριζοσπαστική εννοιολογική αλλαγή (Vosniadou & Mason 2012)..

Η θεωρία πλαισίου που περιγράφεται από τη Βοσνιάδου και τους συνεργάτες της (Vosniadou 1994, Vosniadou et al. 2008) επικεντρώνεται σε ένα υποσύνολο θεωριών γνωστές ως θεωρίες πλαισίου (Keil 1989, Wellman & Gelman 1992). Οι θεωρίες πλαισίου είναι βασικές δομές που στηρίζουν τις βαθιές οντολογικές δεσμεύσεις των ατόμων και σχηματίζουν τα μέσα με τα οποία κατανοούν τον κόσμο. Παρότι είναι πολύ διαφορετικές από τις επιστημονικές θεωρίες (δεν είναι κοινωνικά κοινές και δε διαθέτουν την ερμηνευτική δύναμη και την εσωτερική συνέπεια των επιστημονικών θεωριών) καλούνται θεωρίες για να τονιστεί το γεγονός ότι αντιπροσωπεύουν ένα σχετικά συνεκτικό σώμα γνώσης που χαρακτηρίζεται από μια διακριτή οντολογία και αιτιότητα που μπορούν να παρέχουν προβλέψεις και ερμηνείες. Η προσέγγιση αυτή θεωρεί την εννοιολογική αλλαγή μια αργή και σταδιακή διαδικασία αναθεώρησης της γνώσης και όχι την ξαφνική αλλαγή από μια συνεκτική θεωρία

σε μια άλλη. Σύμφωνα με τις Vosniadou & Mason (2012), το ιδιαίτερα δυνατό σημείο της προσέγγισης της θεωρίας πλαισίου είναι ότι παρέχει εξήγηση για τη δημιουργία των παρανοήσεων. Πιο συγκεκριμένα, υποστηρίζει ότι τα παιδιά συγκροτούν αρχικές ερμηνείες για τα φυσικά φαινόμενα, βάσει των καθημερινών εμπειριών τους, στο πλαίσιο μιας αφελούς φυσικής, προτού εκτεθούν σε συστηματική διδασκαλία. Αυτές οι αρχικές ερμηνείες διαφέρουν αισθητά στο περιεχόμενο και στη δομή από την αποδεκτή επιστήμη. Όταν εκτίθενται στις επιστημονικές εξηγήσεις, οι μαθητές χρησιμοποιούν τους συνήθεις μηχανισμούς εμπλουτισμού για να ενσωματώσουν τις νέες μη-συμβατές πληροφορίες στο γνωστικό τους υπόβαθρο. Όμως, λόγω της ασυμβατότητας των υπάρχουσών γνωστικών δομών και των νέων προς απόκτηση πληροφοριών, μια τέτοια διαδικασία μπορεί να οδηγήσει είτε σε εσωτερική ασυνέπεια (άρα και σε αποσπασματικότητα) είτε στη δημιουργία παρανοήσεων. Η θεωρία πλαισίου κάνει μια σημαντική διάκριση ανάμεσα στις προαντιλήψεις και τις παρανοήσεις. Οι προαντιλήψεις θεωρούνται ότι είναι οι αφελείς πεποιθήσεις των παιδιών πριν τη διδασκαλία και οι παρανοήσεις θεωρούνται ότι είναι οι εσφαλμένες ερμηνείες των επιστημονικών πληροφοριών. Πολλές παρανοήσεις μπορούν να θεωρηθούν ως «συνθετικές» έννοιες επειδή ενσωματώνουν τις επιστημονικές πληροφορίες στο αταίριαστο γνωστικό υπόβαθρο.

Οι Vosniadou & Mason (2012) υποστηρίζουν ότι η θεωρία πλαισίου δεν είναι ασύμβατη με πλευρές της προσέγγισης της κατακερματισμένης γνώσης και κυρίως με την άποψη ότι οι ερευνητές πρέπει να εστιάζουν σε πλούσια γνωστικά συστήματα που αποτελούνται από πολλά συστατικά στοιχεία, ένα εκ των οποίων είναι τα p-prims. Η διαδικασία μάθησης στις φυσικές επιστήμες θεωρείται όχι μόνο μια διαδικασία οργάνωσης των μη δομημένων p-prims σε φυσικούς νόμους –μια διαδικασία ολοκλήρωσης της γνώσης– αλλά και μια διαδικασία σημαντικής αναθεώρησης της γνώσης. Αυτή η διαδικασία αναθεώρησης της γνώσης επιτυγχάνεται σταδιακά, καθώς οι νέες ιδέες προστίθενται ή αντικαθιστούν τις υπάρχουσες, κατακερματίζοντας μερικές φορές τις υπάρχουσες δομές τις οποίες οδηγούν σε εσωτερική ασυνέπεια και δημιουργώντας μερικές φορές παρανοήσεις ή συνθετικές αντιλήψεις.

Μια άλλη προσέγγιση της εννοιολογικής αλλαγής έχει προταθεί από την Chi και τους συνεργάτες της (Chi 2008, Chi, Slotta & de Leeuw 1994). Η Chi (2008) όρισε την εννοιολογική αλλαγή ως το είδος της μάθησης που απαιτείται όταν η νέα πληροφορία που πρόκειται να διδαχθεί έρχεται σε σύγκρουση με την υπάρχουσα γνώση και γι' αυτό απαιτεί την αλλαγή της πρότερης εσφαλμένης γνώσης. Η μεγαλύτερη δυσκολία για την αλλαγή της εσφαλμένης γνώσης σύμφωνα με την Chi περιλαμβάνει την τοποθέτηση μιας έννοιας σε λανθασμένη οντολογική κατηγορία. Για παράδειγμα, η αναταξινόμηση της έννοιας «φάλαινα» από την κατηγορία «ψάρι» στην κατηγορία «θηλαστικό», αλλάζει το θεμελιώδες νόημα ή την

οντολογία της έννοιας «φάλαινα». Μερικά είδη εννοιολογικής αλλαγής είναι πιο δύσκολο να επιτευχθούν απ'ό,τι κάποια άλλα. Οι οντότητες του κόσμου ανήκουν σε διαφορετικές κατηγορίες, όπως η είναι η κατηγορία της ύλης (πράγματα) και η κατηγορία των διαδικασιών (Chi et al. 1994). Οι μαθητές συχνά κατηγοριοποιούν έννοιες όπως η δύναμη, θερμότητα, το φως και ο ηλεκτρισμός σαν οντότητες αντί ως διαδικασίες (Chi et al. 1994, Reiner, Slotta, Chi & Resnick 2000). Η δυσκολία της μάθησης καθορίζεται από την οντολογική κατάσταση των αρχικών και των επιστημονικών. Αν οι δύο αντιλήψεις είναι οντολογικά συμβατές, τότε η εννοιολογική αλλαγή είναι εύκολο να πραγματοποιηθεί. Αν, όμως, οι δύο αντιλήψεις είναι οντολογικά διαφορετικές, τότε υπάρχει δυσκολία στη μάθηση. Σύμφωνα με την Chi (2008) η διόρθωση τέτοιων παρανοήσεων απαιτεί να αποκτήσει ο μαθητής επίγνωση ότι χρειάζεται μια οντολογική αλλαγή και να αντιληφθεί τη σωστή κατηγορία στην οποία η έννοια πράγματι ανήκει. Για πολλές ισχυρές παρανοήσεις στις φυσικές επιστήμες η νέα κατηγορία στην οποία πρέπει να επανατοποθετηθούν οι παρανοήσεις δεν υπάρχει στη γνωστική βάση των μαθητών, επομένως με τη διδασκαλία πρέπει να δημιουργηθεί μια νέα κατηγορία.

Η Carey (1985) αναφέρει αρκετά είδη εννοιολογικής αλλαγής που μπορούν να θεωρηθούν ριζοσπαστική και παρείχε αποδείξεις που υποστηρίζουν την άποψη ότι αυτά τα είδη εννοιολογικής αλλαγής συμβαίνουν κατά τη διάρκεια της αυθόρμητης γνωστικής ανάπτυξης. Μερικές εννοιολογικές αλλαγές απαιτούν την επανατοποθέτηση μιας έννοιας σε μια διαφορετική οντολογική κατηγορία ή τη δημιουργία νέων οντολογικών κατηγοριών, όπως όταν η έννοια της γης εντάσσεται στην κατηγορία των αστρονομικών αντικειμένων σε αντίθεση με τα φυσικά αντικείμενα (Vosniadou & Skopeliti 2005, Chi 2008) και άλλες απαιτούν τη διαφοροποίηση ή τη συνένωση εννοιών, όπως η διαφοροποίηση των εννοιών θερμότητα - θερμοκρασία ή βάρος - πυκνότητα (Carey 1985, Carey & Spelke 1994, Wisner & Carey 1983). Ειδικότερα, κατά την Carey (1985) το νόημα κάθε μιας έννοιας σε μία θεωρία καθορίζεται από τις σχέσεις της με όλες τις άλλες έννοιες της θεωρίας. Σύμφωνα με αυτή την άποψη, κάθε αλλαγή θεωρίας περιλαμβάνει απαραίτητως εννοιολογική αλλαγή. Οι διαδοχικές θεωρίες διαφέρουν σε τρία σημεία: στο πεδίο των φαινομένων που εξετάζουν, στο είδος των εξηγήσεων που αποδέχονται και στις ξεχωριστές κεντρικές έννοιες του κάθε συστήματος. Διαφορές σε αυτά τα τρία σημεία έχουν συχνά ως αποτέλεσμα να μην μπορούν να μεταφραστούν κάποιοι όροι από τη μια θεωρία στην άλλη. Στις διαδοχικές θεωρίες της μηχανικής, για παράδειγμα, κάθε μια από τις βασικές έννοιες όπως δύναμη, ταχύτητα, χρόνος και μάζα, έχει ριζικά διαφορετικό νόημα στην μεταγενέστερη θεωρία σε σύγκριση με τις προγενέστερες.

Η Carey τονίζει ότι είναι σημαντικό να διαχωρίσουμε την απόκτηση γνώσης που περιλαμβάνει εμπλουτισμό της υπάρχουσας εννοιολογικής βάσης από την απόκτηση νέων εννοιών που προκαλούν αναδιοργάνωση της γνώσης (Carey & Spelke 1996). Οι εννοιολογικές αλλαγές στην ιστορία της επιστήμης και στη γνωστική ανάπτυξη εμφανίζονται με διάφορες μορφές. Ίσως, η πιο συνηθισμένη μορφή είναι αυτή της διαφοροποίησης, κατά την οποία η μη-διαφοροποιημένη αρχική έννοια της παλιάς θεωρίας δεν έχει πια κανέναν ρόλο στην καινούρια θεωρία. Παραδείγματα τέτοια είναι η διαφοροποίηση του Γαλιλαίου των όρων *μέση* και *στιγμαία ταχύτητα*, η διαφοροποίηση από τον Black των εννοιών *θερμότητα* και *θερμοκρασία* και η διαφοροποίηση από τα παιδιά των όρων *βάρος* και *πυκνότητα*. Μια άλλη συνηθισμένη μορφή εννοιολογικής αλλαγής είναι η συνένωση στην καινούρια θεωρία εννοιών που θεωρούνταν τελείως διαφορετικού είδους στην αρχική θεωρία. Παραδείγματα τέτοια είναι η εγκατάλειψη από τον Γαλιλαίο της Αριστοτελικής διάκρισης ανάμεσα σε *φυσική* και *τεχνητή κίνηση* και η συνένωση από τα παιδιά των εννοιών *ζώο* και *φυτό* στην νέα έννοια *ζωντανοί οργανισμοί*. Άλλη μορφή εννοιολογικής αλλαγής είναι η αναθεώρηση της βασικής δομής μιας έννοιας, όπως π.χ. η αναθεώρηση του Νεύτωνα για το *βάρος*, σαν μια σχέση ανάμεσα σε αντικείμενα, παρά σαν μια ιδιότητα των αντικειμένων.

Η Carey (1985) κάνει τη διάκριση δύο μορφών αναδιοργάνωσης της γνώσης. Το πρώτο είδος, η ασθενής αναδιοργάνωση, είναι αυτό που υποστηρίζουν οι Chi, Glaser και Rees, ότι δηλαδή με την ειδίκευση αναπαριστώνται νέες σχέσεις μεταξύ των εννοιών και εμφανίζονται νέα σχήματα που επιτρέπουν τη λύση των καινούριων προβλημάτων και την αλλαγή των λύσεων σε παλιά προβλήματα. Η σημασία μιας έννοιας καθορίζεται από την κατηγορία στην οποία αυτή η έννοια είναι προσαρμοσμένη και η εννοιολογική αλλαγή συμβαίνει όταν, κατά τη διαδικασία της μάθησης, η έννοια αυτή προσαρμοστεί σε μια νέα κατηγορία (Chi et al. 1994). Η ασθενής αναδιοργάνωση αναφέρεται στη διαδικασία κατά την οποία η απόκτηση καινούριας γνώσης προκαλεί επιμέρους αλλαγές στις διασυνδέσεις του σημασιολογικού δικτύου των εννοιών που αφορούν ένα επιστημονικό πεδίο, *χωρίς όμως να αλλάζει η συνολική δομή του δικτύου*. Το δεύτερο είδος, η ριζοσπαστική αναδιοργάνωση, περιλαμβάνει εκτός από αυτές τις αλλαγές και αλλαγές στις βασικές έννοιες των διαδοχικών θεωριών. Στοχεύει σε μια *συνολική αναδόμηση* του σημασιολογικού δικτύου των ατόμων που αναφέρεται σε ένα συγκεκριμένο επιστημονικό πεδίο. Η σημασία κάθε έννοιας αλλάζει στο πλαίσιο της νέας θεωρίας και προκύπτει ένας νέος τρόπος θέασης και ερμηνείας των φαινομένων. Η ανάγκη για αλλαγή θεωρίας προκύπτει από τη διαπίστωση μιας "κρίσης" κατά την εκπαιδευτική διαδικασία, δηλαδή αδυναμία της υπάρχουσας γνώσης για την επίλυση μιας σειράς προβλημάτων. Μια ανταγωνιστική θεωρία για να γίνει αποδεκτή θα πρέπει, καταρχήν, να

φαίνεται ότι διαθέτει τη δυνατότητα επίλυσης των προβλημάτων αυτών. Η ανάλυση της εννοιολογικής αλλαγής είναι εξαιρετικά δύσκολη. Η Carey υποστηρίζει ότι τα παιδιά αρχίζουν με δυο θεωρίες (μια διαισθητική φυσική, που ενσωματώνει τη φυσική αιτιότητα και μια διαισθητική ψυχολογία, που ενσωματώνει τη σκόπιμη αιτιότητα), από τις οποίες αναδύονται καινούριες θεωρίες, κατά τρόπο ανάλογο με τη ριζοσπαστική αλλαγή θεωρίας που περιγράφεται στην ιστορία της επιστήμης (Βοσνιάδου & Brewer 1998).

Τέλος, σύμφωνα με την κοινωνικοπολιτισμική προσέγγιση, η γνώση δεν είναι κάτι που μπορεί να αποκτηθεί, να αναπτυχθεί ή να αλλάξει αλλά μια διαδικασία, μια δραστηριότητα που συμβαίνει μεταξύ των υποκειμένων, των εργαλείων και των κατασκευών που χρησιμοποιούν καθώς και των κοινωνιών και των πρακτικών στις οποίες συμμετέχουν (Greeno et al. 1996). Σε αυτή την ακραία μορφή, η προσέγγιση αυτή αρνείται τη χρησιμότητα των νοητικών αναπαραστάσεων και των γνωστικών πλαισίων και εξετάζει μόνο το πώς τα άτομα μιλούν και πώς αλλάζει ο τρόπος που μιλούν (Roth, Lee, & Hwang 2008). Σύμφωνα με αυτή τη θέση, το μόνο που πρέπει να κάνουν οι εκπαιδευτικοί για να προωθήσουν την εννοιολογική αλλαγή είναι να βοηθήσουν τους μαθητές να αναπτύξουν τρόπους ομιλίας που να είναι εκφραστικά κατάλληλοι. Σε λιγότερο ακραίες μορφές, η κοινωνικοπολιτισμική προσέγγιση δεν αρνείται τη χρησιμότητα των νοητικών αναπαραστάσεων και των γνωστικών διαδικασιών. Μάλιστα, πολλοί ερευνητές της εννοιολογικής αλλαγής γνωστικά προσανατολισμένοι συμφωνούν ότι οι κοινωνικοπολιτισμικοί παράγοντες είναι πολύ σημαντικοί για τη μάθηση και υποστηρίζουν το συνδυασμό πτυχών της γνωστικής και της κοινωνικοπολιτισμικής προσέγγισης (Hatano & Inagaki 2003, Vosniadou 2007). Οι Hatano and Inagaki (2003), για παράδειγμα, υποστηρίζουν ότι η εννοιολογική αλλαγή περιλαμβάνει την αναθεώρηση πεποιθήσεων, που είναι γνωστική και συμβαίνει στο νου των ατόμων, αλλά και ότι η διαδικασία της αναθεώρησης είναι κοινωνικοπολιτισμική και μπορεί να προκληθεί μέσω δραστηριοτήτων κατανόησης που υποστηρίζονται από τον εκπαιδευτικό και τους συμμαθητές σε κοινωνικά πλαίσια. Γι' αυτό, δεν αρκεί ο δάσκαλος να παρέχει στους μαθητές εμπειρίες που να δείχνουν την ανεπάρκεια την εννοιολογικής γνώσης τους για να δημιουργήσει εννοιολογική αλλαγή. Όταν έρχονται αντιμέτωποι με προβληματικά δεδομένα οι μαθητές συχνά δεν νιώθουν την αναμενόμενη δυσαρέσκεια ή ασχολούνται μόνο με τοπικές διορθώσεις αντί για ριζικές αναδιοργανώσεις της προηγούμενης γνώσης τους (Chinn & Brewer 1993). Για να εμπλακούν οι μαθητές σε μια διαρκή δραστηριότητα κατανόησης που απαιτεί χρόνο και προσπάθεια, πρέπει να βρίσκονται σε πολιτισμικά πλαίσια στα οποία η κατανόηση αποτιμάται από τα μέλη της ομάδας αναφοράς. Γι' αυτούς τους λόγους προτείνεται στους εκπαιδευτικούς να

δημιουργούν και να διατηρούν ένα κοινωνικοπολιτισμικό περιβάλλον που υποστηρίζει τη δραστηριότητα κατανόησης των μαθητών και ενισχύει την κινητοποίηση.

Συνοψίζοντας τα βασικά στοιχεία αυτών των διαφορετικών θεωρητικών προσεγγίσεων, οι Vosniadou & Mason (2012) αναφέρουν ότι:

Σύμφωνα με την κλασική προσέγγιση, η βασική διδακτική στρατηγική για την αντικατάσταση των ιδεών των μαθητών από την επιστημονική άποψη είναι η γνωστική σύγκρουση. Η γνωστική σύγκρουση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για δημιουργήσει μια επίγνωση και δυσαρέσκεια με τις υπάρχουσες αντιλήψεις, τις παραδοχές και τις επιστημολογικές δεσμεύσεις των μαθητών. Αυτή η δυσαρέσκεια θεωρείται ότι είναι απαραίτητη προϋπόθεση προκειμένου να εμπλακούν οι μαθητές σε ενέργειες που θα οδηγήσουν σε αντικατάσταση των εναλλακτικών τους αντιλήψεων με το επιστημονικά αποδεκτό πλαίσιο.

Η προσέγγιση της κατακερματισμένης γνώσης που προτάθηκε από τον diSessa και τους συνεργάτες του (diSessa 1988, 2008, Linn 2008) δίνει έμφαση στη χρήση εποικοδομητικών μηχανισμών για τη σταδιακή ολοκλήρωση της γνώσης που οικοδομείται πάνω στις υπάρχουσες δομές των μαθητών αντί να τις αντικαθιστά.

Οπαδοί της προσέγγισης theory-theory υποστηρίζουν ότι οι μηχανισμοί εμπλουτισμού δεν μπορούν να επιτύχουν την εννοιολογική αλλαγή, καθώς δεν μπορούν να δημιουργήσουν νέες αναπαραστάσεις που να είναι ποιοτικά διαφορετικές από αυτές από τις οποίες δομούνται.

Σύμφωνα με τη θεωρία πλαισίου, οι μηχανισμοί εμπλουτισμού μπορούν να προκαλέσουν σταδιακή αναθεώρηση της γνώσης που μπορεί να οδηγήσει σε προκαλούμενη από τη διδασκαλία εννοιολογική αλλαγή. Χρειάζεται όμως προσοχή με τη χρήση αυτών των μηχανισμών, γιατί μπορούν να οδηγήσουν επίσης σε κατακερματισμό της γνώσης και παρανοήσεις, όταν η νέα πληροφορία που πρόκειται να διδαχθεί είναι μη συμβατή με την προηγούμενη γνώση. Για το λόγο αυτό οι Vosniadou, Ioannides, Dimitrakopoulou and Papdemitriou (2001) υποστηρίζουν τον προσεκτικό σχεδιασμό των ερευνητικών προγραμμάτων που ταυτοποιούν τις περιοχές που είναι πιθανό να δυσκολεύονται οι μαθητές να κατανοήσουν και παρέχουν σαφείς ερμηνείες και άμεση διδασκαλία. Προτείνουν επίσης τη χρήση πειραμάτων, επιδείξεων, εκπαιδευτικών αναλογιών και εξωτερικών κατασκευών καθώς και τη μοντελοποίηση και μέτρηση, για να βοηθήσουν τους μαθητές στην κατανόηση των επιστημονικών απόψεων.

Τέλος, οι ριζικές κοινωνικοπολιτισμικές θεωρίες (Roth et al. 2008, Saljo 1996, 1999) θεωρούν ως τον βασικό μηχανισμό για την εννοιολογική αλλαγή τη συμμετοχή σε δραστηριότητες που έχουν νόημα και περιλαμβάνουν σχετικές πολιτισμικές κατασκευές.



Υποστηρίζουν επίσης τη σπουδαιότητα της συζήτησης και την ανάγκη των μαθητών να αναπτύξουν τρόπους ομιλίας που να είναι πολιτισμικά και εκφραστικά κατάλληλοι.

Οι Vosniadou & Mason (2012) επισημαίνουν ότι, παρά τις σημαντικές διαφορές ανάμεσα στις διάφορες αυτές προσεγγίσεις για την εννοιολογική αλλαγή, φαίνεται να υπάρχει μια γενική συμφωνία ότι η εννοιολογική αλλαγή απαιτεί τη σταδιακή επεξεργασία και αναθεώρηση των σύνθετων συστημάτων γνώσης που αποτελούνται από πολλά αλληλοσυσχετιζόμενα στοιχεία. Οι ερευνητές συμφωνούν επίσης ότι η εννοιολογική αλλαγή είναι δύσκολη, χρονοβόρα και σταδιακή διαδικασία που θέλει χρόνια για να επιτευχθεί. Εξαιτίας της πολύπλοκης φύσης της, δεν μπορεί να επιτευχθεί χρησιμοποιώντας μόνο μία καλά προσδιορισμένη διδακτική στρατηγική. Αντίθετα, πολλαπλές διδακτικές στρατηγικές και προοπτικές μπορεί να χρειαστούν για να προωθήσουν την αλλαγή. Επιπλέον, απαιτεί αλλαγές όχι μόνο στη νόηση των μαθητών, αλλά και στη μεταγνώση τους, στις επιστημικές πεποιθήσεις τους, στις πεποιθήσεις τους για τη μάθηση και για τον εαυτό τους ως μαθητή, στις στάσεις τους και στον προσανατολισμό των στόχων τους (Dole & Sinatra 1994). Γι' αυτό το λόγο πρόσφατες προσεγγίσεις πάνε πέρα από την «ψυχρή» εννοιολογική αλλαγή και ερευνούν το ρόλο των συναισθημάτων, των ενδιαφερόντων και των κινήτρων στην εννοιολογική αλλαγή και οι συναισθηματικές προοπτικές θεωρούνται πια εξίσου σημαντικές με τις γνωστικές (Zembylas 2005).

### **Προτεινόμενο Θεωρητικό Πλαίσιο**

Τα τελευταία χρόνια η Βοσνιάδου έχει διατυπώσει ένα θεωρητικό πλαίσιο για την εννοιολογική αλλαγή. Οι γνώσεις είναι οργανωμένες κατά πεδίο και έχουν τη δομή θεωριών και η μάθηση χαρακτηρίζεται από αλλαγή αυτών των θεωριών (Vosniadou 2007a, 2007b). Προτείνει την ιδέα της θεωρίας πλαισίου, που αποτελείται από βασικές προϋποθέσεις για τον τρόπο με τον οποίο λειτουργεί ο κόσμος. Αυτές οι θεωρίες πλαισίου καθοδηγούν τις ερμηνείες των παιδιών για τα φαινόμενα και τους επιτρέπουν να δημιουργούν επιστημονικές ερμηνείες και προβλέψεις με έναν λογικά συνεπή τρόπο, ενώ συνεχώς εμπλουτίζονται, διαφοροποιούνται και επανεξετάζονται καθώς τα παιδιά δέχονται νέες πληροφορίες. Όμως, όταν οι θεωρίες πλαισίου έρχονται σε επαφή με την τυπική επιστημονική διδασκαλία, τότε συχνά προκύπτει κατακερματισμός της γνώσης, ασυνέχειες και παρανοήσεις. Η αλλαγή μιας θεωρίας πλαισίου είναι πολύ δύσκολη, γιατί οι προϋποθέσεις της αναπαριστούν σχετικά συνεπή ερμηνευτικά συστήματα, βασισμένα στην καθημερινή εμπειρία και συνδεδεμένα με χρόνια επιβεβαίωσης. Τα παιδιά δρουν κάτω από τους περιορισμούς ορισμένων επιστημολογικών προϋποθέσεων, ενώ περιορίζονται και από ορισμένες οντολογικές προϋποθέσεις σχετικά με τη φύση των

φυσικών αντικειμένων. Οι εδραιωμένες αυτές προϋποθέσεις αποτελούν την υποδομή βάσει της οποίας ερμηνεύουν τις παρατηρήσεις τους. Αυτές οι οντολογικές και επιστημολογικές προϋποθέσεις σχηματίζουν τα θεμέλια της γνώσης και η αναθεώρησή τους είναι πιθανό να έχει σοβαρές επιπτώσεις για όλες τις επακόλουθες γνωστικές δομές που έχουν οικοδομηθεί σ' αυτές (Βοσνιάδου 1994).

Γενικά, θα μπορούσαμε να πούμε ότι υπάρχουν τρεις διαφορετικές περιπτώσεις επίτευξης της διαδικασίας της μάθησης αναφορικά με την προϋπάρχουσα γνώση: Στην πρώτη περίπτωση, ο μαθητής μπορεί να διαθέτει κάποιες προϋπάρχουσες γνώσεις που μόνο να σχετίζονται με κάποιο τρόπο με το θέμα που πρόκειται να διδαχθεί. Σε αυτή την περίπτωση η προϋπάρχουσα γνώση θεωρείται κατά κάποιο τρόπο απύσχα και η μάθηση επιτυγχάνεται με την προσθήκη των νέων πληροφοριών στα όσα ήδη γνωρίζει ο μαθητής. Στη δεύτερη περίπτωση, ο μαθητής μπορεί να έχει γνώσεις που είναι συμβατές με αυτό που πρόκειται να διδαχθεί, αλλά αυτές οι γνώσεις να είναι ελλιπείς. Σε αυτή την περίπτωση η προϋπάρχουσα γνώση είναι μερική και η μάθηση επιτυγχάνεται με την κάλυψη των κενών. Και στις δύο αυτές περιπτώσεις η προϋπάρχουσα γνώση δεν έρχεται σε σύγκρουση με τις νέες πληροφορίες. Στην τρίτη περίπτωση, όμως, η προϋπάρχουσα γνώση του μαθητή μπορεί να έρχεται σε σύγκρουση με το επιστημονικό πλαίσιο που περιλαμβάνει τις πληροφορίες που πρόκειται να διδαχθεί. Τα δύο επεξηγηματικά πλαίσια μπορεί να συγκρούονται ως προς τη δομή τους, ως προς τις έννοιες που εμπερικλείουν και ως προς τις σχέσεις μεταξύ των εννοιών. Η μάθηση σε αυτή την περίπτωση αναφέρεται ως εννοιολογική αλλαγή.

Σε αυτή την τελευταία περίπτωση η μάθηση δεν επιτυγχάνεται ούτε με την προσθήκη των νέων πληροφοριών ούτε με την κάλυψη των κενών. Σε τέτοιες περιπτώσεις, οι νέες πληροφορίες που προστίθενται στις υπάρχουσες γνωστικές δομές οδηγούν στη δημιουργία παρανοήσεων. Οι παρανοήσεις ή τα συνθετικά μοντέλα είναι το αποτέλεσμα της σύνθεσης των επιστημονικών πληροφοριών με τα όσα ήδη γνωρίζουμε. Για την αποφυγή της δημιουργίας των συνθετικών μοντέλων απαιτείται αλλαγή των υπάρχουσών επεξηγηματικών δομών, χρειάζεται δηλαδή ένα είδος αναδιοργάνωσης των προϋπαρχουσών θεωριών (Vosniadou 2004, Vosniadou & Verschaffel 2004). Σύμφωνα με αυτό το θεωρητικό πλαίσιο, αυτό που πρέπει να αλλάξει ουσιαστικά προκειμένου να επιτευχθεί η μάθηση, δεν είναι οι παρανοήσεις που δημιουργούνται όταν οι νέες πληροφορίες έρχονται σε σύγκρουση με την προϋπάρχουσα γνώση, πρέπει να αλλάξουν οι κατά πεδίο, αρχικές, αφελείς, θεωρίες των παιδιών οι οποίες διαμορφώνονται βάσει των καθημερινών εμπειριών και παρατηρήσεων στο πλαίσιο του κοινωνικοπολιτισμικού τους περιβάλλοντος (Carey 1985, Inagaki & Hatano 2002).

## Αφελείς Θεωρίες

Έρευνες στο χώρο της γνωστικής ανάπτυξης έχουν δείξει ότι τα παιδιά, ακόμα και από τη βρεφική ηλικία, οργανώνουν τις εμπειρικές πληροφορίες που λαμβάνουν από τις αισθήσεις τους σε στενά αλλά σχετικά συνεκτικά επεξηγηματικά πλαίσια που τους δίνουν τη δυνατότητα να παρέχουν εξηγήσεις και να κάνουν προβλέψεις (Carey 1985, Gelman & Wellman 1991, Keil 1989). Αυτά τα επεξηγηματικά πλαίσια εμπεριέχουν αιτιακούς μηχανισμούς και κατευθύνονται από οντολογικούς και επιστημολογικούς περιορισμούς. Τα επεξηγηματικά αυτά πλαίσια των μικρών παιδιών αναφέρονται ως «αφελείς θεωρίες» (Carey 1985, Spelke 1991). Ο όρος θεωρία χρησιμοποιείται για να δηλώσει μια συνεπή επεξηγηματική δομή και όχι μια καλά δομημένη και κοινωνικά αποδεκτή επιστημονική θεωρία. Αυτές οι αφελείς θεωρίες βασίζονται στην καθημερινή εμπειρία και στις πληροφορίες που έρχονται από το κοινωνικό περιβάλλον και είναι πολύ διαφορετικές ως προς τη δομή, τα φαινόμενα που εξηγούν και τις έννοιες που τις απαρτίζουν, από τις επιστημονικές θεωρίες στις οποίες εκτίθενται τα παιδιά στο σχολείο.

Παρά τις προφανείς διαφορές που υπάρχουν μεταξύ τους, οι αφελείς θεωρίες των παιδιών διαθέτουν ορισμένα από τα ουσιώδη χαρακτηριστικά των επιστημονικών θεωριών (Thagard 1992). Και στις δύο περιπτώσεις οι θεωρίες παρέχουν αιτιακούς μηχανισμούς και έχουν τη δυνατότητα να προβλέπουν καταστάσεις για ιδιαίτερος πολύπλοκα φαινόμενα στα οποία δεν υπάρχει οπτική πρόσβαση και δυνατότητα για άμεση παρατήρηση (π.χ. εξήγηση του φαινομένου εναλλαγής μέρας/νύχτας, εποχών κτλ). Παρόλα αυτά, υπάρχουν και σημαντικές διαφορές. Ένα βασικό σημείο στο οποίο διαφέρουν οι δύο θεωρίες εντοπίζεται στις μεταγνωστικές ικανότητες των μαθητών έναντι των επιστημόνων. Τα παιδιά σε αντίθεση με τους επιστήμονες δεν έχουν επίγνωση των γνώσεών τους και των αλλαγών που συντελούνται, αλλά και των διαφορών που υπάρχουν μεταξύ των αρχικών τους πεποιθήσεων και των επιστημονικών ιδεών (Vosniadou 2003). Επιπλέον, οι θεωρίες των παιδιών δεν εμπεριέχουν μαθηματικές λεπτομέρειες και μαθηματική ακρίβεια, όπως οι επιστημονικές θεωρίες, για τις οποίες είναι απαιτούμενο χαρακτηριστικό ώστε να μπορούν να αποδείξουν την εγκυρότητά τους. Οι θεωρίες των παιδιών παρέχουν κυρίως ποιοτικές και όχι ποσοτικές πληροφορίες σε αντίθεση με τις επιστημονικές θεωρίες.

Οι αφελείς αυτές θεωρίες μπορούν παρεμποδίσουν την μάθηση και στο χώρο των φυσικών επιστημών, αλλά και γενικότερα (Vosniadou & Brewer 1992, 1994, Samarapungavan, Vosniadou & Brewer 1996, Diakidoy, Vosniadou & Hawks 1997, Blown & Bryce 2006, Κυριακοπούλου & Βοσνιάδου 2004, Carey 1991, Spelke 1991, Wiser & Carey 1983, Vosniadou 1999, 2002, Βοσνιάδου, Αρχοντίδου, Καλογιαννίδου & Ιωαννίδης 1996,

Πνευματικός, Μακρής 2011). Αυτό συμβαίνει διότι οι επιστημονικές εξηγήσεις των φυσικών φαινομένων συχνά παραβιάζουν θεμελιώδεις αρχές της αφελούς φυσικής, οι οποίες όμως επιβεβαιώνονται από την καθημερινή εμπειρία. Οι τελικά αποδεκτές επιστημονικές εξηγήσεις είναι το προϊόν μιας μακράς ιστορικής ανάπτυξης της επιστήμης, που χαρακτηρίζεται από επαναστατικές αλλαγές θεωρίας οι οποίες έχουν αναδομήσει τις αναπαραστάσεις μας για το φυσικό κόσμο. Η κατανόηση των επιστημονικών εννοιών απαιτεί την αναδόμηση των αφελών θεωριών, μια αναδόμηση που μπορεί να θεωρηθεί ως αλλαγή θεωρίας (Carey 1985, 1991, Inagaki & Hatano 2002, Vosniadou, 2003).

Όπως περιγράφει η Βοσνιάδου τα τελευταία χρόνια στο θεωρητικό πλαίσιο που έχει αναπτύξει, η διαδικασία της εννοιολογικής αλλαγής μπορεί να επιτευχθεί και με μηχανισμούς εμπλουτισμού. Παραδείγματα μηχανισμών εμπλουτισμού θα μπορούσαν να θεωρηθούν οι μηχανισμοί της συμμόρφωσης και της αφομοίωσης του Piaget ή ο μηχανισμός της εσωτερίκευσης του Vygotsky (Βοσνιάδου, 2001). Οι μηχανισμοί εμπλουτισμού αναφέρονται στην προσθήκη εννοιών σε μία υπάρχουσα εννοιολογική δομή. Οι νέες γνώσεις που αποκτούμε, ή ένα μέρος αυτών των γνώσεων, εμπλουτίζει τη γνώση που ήδη έχουμε. Στις περιπτώσεις, όμως, που τα παιδιά έχουν να κατανοήσουν δύσκολες έννοιες και ιδιαίτερα όταν οι επιστημονικές ιδέες εντάσσονται σε ένα θεωρητικό επεξηγηματικό πλαίσιο που έρχεται σε αντίθεση με το αφελές επεξηγηματικό πλαίσιο των παιδιών, τότε οι μηχανισμοί εμπλουτισμού δεν είναι αποτελεσματικοί στη διαδικασία της μάθησης, γιατί η διαδικασία της μάθησης απαιτεί πολύ περισσότερο χρόνο και περνάει μέσα από τη δημιουργία παρανοήσεων ή συνθετικών μοντέλων. Σε αυτές τις περιπτώσεις απαιτείται η αντικατάσταση των προηγούμενων γνώσεων και η αλλαγή των γνωστικών σχημάτων, δηλαδή μία αναδιοργάνωση των προηγούμενων γνώσεων, προκειμένου να επιτευχθεί πιο άμεσα η διαδικασία της εννοιολογικής αλλαγής και η μάθηση. Αυτό που χρειάζεται σε αυτή την περίπτωση είναι μία ριζική αναδιοργάνωση των επεξηγηματικών πλαισίων. Για την επίτευξη της ριζικής αναδιοργάνωσης χρειάζονται ενσυνείδητοι, προθετικοί, μηχανισμοί μάθησης, όπως είναι για παράδειγμα η χρήση αναλογιών και η μαθηματικοποίηση των φυσικών νόμων (Vosniadou, Vamvakoussi, Skopeliti 2008).

Σύμφωνα με τη Βοσνιάδου (1998), δύο φαινόμενα που σχετίζονται με την αποτυχία της σχολικής μάθησης φαίνεται πως είναι ιδιαίτερα σημαντικά: η *αδρανής γνώση* και οι *παρανοήσεις*. Ο όρος αδρανής γνώση χρησιμοποιήθηκε από τους Bereiter (1984) και Bransford et al. (1989) για να περιγράψει τις καταστάσεις εκείνες όπου αποτυγχάνουμε να

χρησιμοποιήσουμε αυτά που ξέρουμε όταν είναι σχετικά. Αδρανής θεωρείται ότι είναι η γνώση που είναι προσιτή μόνο σε περιορισμένες περιστάσεις, αν και δυνητικά θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί σε πολύ περισσότερες. Συχνά, αδρανής γνώση είναι η γνώση που αποκτιέται στο σχολείο, αλλά που δεν χρησιμοποιείται σε περιστάσεις της καθημερινής ζωής εκτός του σχολείου. Για παράδειγμα, πολλοί μαθητές που ξέρουν να λύνουν προβλήματα Φυσικής στο σχολείο αποτυγχάνουν να εφαρμόσουν τις γνώσεις τους αυτές για να εξηγήσουν τα καθημερινά φυσικά φαινόμενα. Το δεύτερο φαινόμενο είναι αυτό των παρανοήσεων. Ερευνητές στο Harvard, το MIT και το John Hopkins έχουν αποδείξει ότι ακόμη και οι φοιτητές αυτών των κορυφαίων Πανεπιστημίων έχουν παρανοήσεις που δείχνουν ότι δεν έχουν κατανοήσει βασικούς νόμους της φυσικής. Αν η αδρανής γνώση είναι ένα φαινόμενο που προκύπτει από αδυναμία μεταφοράς των γνώσεων, οι παρανοήσεις φαίνεται ότι προκαλούνται από την αρνητική μεταφορά των γνώσεων. Έρευνες έχουν δείξει ότι πολλές παρανοήσεις προκαλούνται όταν δίνονται στους μαθητές επιστημονικές εξηγήσεις φαινομένων που έρχονται σε αντίθεση με τις διαισθητικές εξηγήσεις που έχουν σχηματίσει με βάση τις καθημερινές τους εμπειρίες. Εκείνο που συμβαίνει συχνά σ' αυτές τις περιπτώσεις είναι ότι οι νέες, ασύμβατες πληροφορίες αφομοιώνονται στις υπάρχουσες δομές γνώσεων, δημιουργώντας ένα συνθετικό νοητικό μοντέλο (Βοσνιάδου 1998).

Κατά την άποψη της Βοσνιάδου (1998), η διαδικασία απόκτησης γνώσεων περιλαμβάνει τη συνεχή αναδιοργάνωση των υπάρχουσών εννοιολογικών δομών. Αυτό συμβαίνει κυρίως στον τομέα των γνώσεων που αναφέρονται στο φυσικό κόσμο, στον οποίο οι τρέχουσες, πολιτισμικά αποδεκτές, επιστημονικές εξηγήσεις των φαινομένων είναι πολύ διαφορετικές από τις αρχικές εξηγήσεις που επινοούν τα παιδιά με βάση τις καθημερινές τους παρατηρήσεις. Οι αναπαραστάσεις που σχηματίζουν τα άτομα για το φυσικό κόσμο έχουν τη μορφή νοητικών μοντέλων. Ένα νοητικό μοντέλο είναι μια νοητική αναπαράσταση που σχηματίζεται επιτόπου για να αντεπεξέλθει το άτομο στις υπονοούμενες απαιτήσεις και προσδοκίες συγκεκριμένων καταστάσεων. Η Βοσνιάδου υποστηρίζει ότι είναι πιθανόν το νοητικό μοντέλο ως μια μορφή μεταβατικής αναπαράστασης να παίρνει μια πιο μόνιμη μορφή εννοιολογικής δομής στη μακρόχρονη μνήμη, όταν οι συνθήκες της καθημερινής ζωής απαιτούν τη συχνή χρήση του. Τα νοητικά μοντέλα, επομένως, δημιουργούνται με σκοπό να απαντηθούν ερωτήματα, να λυθούν προβλήματα ή να γίνει δυνατός ο χειρισμός καταστάσεων. Οι Βοσνιάδου και Brewer (1992, 1994) διακρίνουν τρία είδη νοητικών μοντέλων: τα διαισθητικά, τα συνθετικά και τα επιστημονικά. Αναλυτικότερα, τα διαισθητικά μοντέλα είναι αυτά που παρουσιάζουν τη μικρότερη δυνατή απόκλιση από το φυσικό κόσμο, όπως αυτός γίνεται φαινομενικά αντιληπτός, χωρίς να διαφαίνεται σε αυτά η επίδραση των επιστημονικών απόψεων.

*Επιστημονικά* είναι τα νοητικά μοντέλα που είναι σύμφωνα με τις επιστημονικές απόψεις. Τα *συνθετικά* μοντέλα είναι αποτέλεσμα της προσπάθειας των ατόμων να αφομοιώσουν τις επιστημονικές απόψεις στις υπάρχουσες νοητικές δομές τους. Από έρευνές τους έχει προκύψει ότι καθώς αυξάνεται η ηλικία των παιδιών παρατηρείται μια εξέλιξη των νοητικών μοντέλων από τα διαισθητικά προς τα συνθετικά. Η ύπαρξη των συνθετικών νοητικών μοντέλων επιβεβαιώνει την άποψη ότι ορισμένες προϋποθέσεις των παιδιών περιορίζουν την πορεία της εννοιολογικής αλλαγής, ακριβώς διότι οι νέες πληροφορίες είναι ασύμβατες με τις βαθιά εμπειρωμένες αυτές προϋποθέσεις. Οι προϋποθέσεις είναι διαμορφωμένες με βάση την καθημερινή εμπειρία, την οποία τα παιδιά δεν είναι διατεθειμένα να θέσουν υπό αμφισβήτηση. Προσπαθούν επομένως να αφομοιώσουν τις πληροφορίες από το πολιτισμικό τους περιβάλλον, διατηρώντας όσο το δυνατόν περισσότερες από τις προϋποθέσεις τους. Για να το πετύχουν αυτό παραλλάσσουν τις πληροφορίες σχηματίζοντας έτσι τα συνθετικά μοντέλα. Η διαδικασία αλλαγής, δηλαδή η μετάβαση από το αρχικό μοντέλο στο επιστημονικό γίνεται με την κατασκευή ενδιάμεσων συνθετικών μοντέλων. Αυτή η πορεία προϋποθέτει την αναστολή ή την αναθεώρηση εδραιωμένων προϋποθέσεων. Τα νοητικά μοντέλα είναι σημαντικά γιατί είναι το σημείο όπου οι καινούριες πληροφορίες ενσωματώνονται στο γνωστικό σύστημα και συνεπώς αντιπροσωπεύουν μια σημαντική πηγή γνωστικής αλλαγής στις υπάρχουσες δομές γνώσεων. Μπορούν να αλλάξουν με διάφορους τρόπους ως αποτέλεσμα της μάθησης.

### **Κατηγοριοποίηση Εννοιών και Εννοιολογική Αλλαγή**

Η απόκτηση γνώσεων είναι απαραίτητη για να μπορούμε να λειτουργούμε μέσα στον κόσμο, όμως δεν αρκεί η απόκτηση και η αποθήκευση πληροφοριών. Είναι απαραίτητη και η οργάνωσή τους με τέτοιο τρόπο ώστε και πολύ χώρο να μην καταλαμβάνουν και να δίνουν όσο το δυνατόν περισσότερα στοιχεία (Eysenk & Keane, 1995). Αν δεν οργανώσουμε τις γνώσεις μας σε κατηγορίες θα πρέπει να θυμόμαστε, για παράδειγμα, κάθε είδος σκύλου και από όλες τις οπτικές γωνίες που τον έχουμε δει. Κατασκευάζοντας όμως κατηγορίες εννοιών, όπως αυτή του σκύλου, το μόνο που χρειάζεται είναι να αναγνωρίσουμε τις κατηγορίες, ικανοποιώντας έτσι τις ανάγκες της γνωστικής οικονομίας. Για να επιτύχουμε τη γνωστική οικονομία πρέπει να χωρίσουμε τον κόσμο σε ομάδες πραγμάτων, ώστε να μειώσουμε το πλήθος των πληροφοριών που πρέπει να μάθουμε, να αποθηκεύσουμε και να αναγνωρίσουμε. Συνεπώς, ως κατηγοριοποίηση ορίζεται η διαδικασία μέσω της οποίας δύο ξεχωριστές οντότητες μπορούν να αντιμετωπιστούν με τον ίδιο τρόπο και να γενικευτούν συμπεράσματα και προβλέψεις για τα μέλη της ίδιας κατηγορίας. (Medin & Aguilar 1999).

Η κατηγοριοποίηση θεωρείται δε μια από τις πιο σημαντικές γνωστικές διαδικασίες γιατί με αυτό τον τρόπο μπορούμε να βγάζουμε συμπεράσματα για καινούργιες έννοιες χρησιμοποιώντας τις γνώσεις μας για την κατηγορία στην οποία εντάξαμε την καινούργια έννοια (Medin & Rips 2005). Από τη στιγμή που μία έννοια εντάσσεται σε μία κατηγορία, «κληρονομεί» τα χαρακτηριστικά και τις ιδιότητες των μελών της κατηγορίας αυτής. Αποτελέσματα από έργα κατηγοριοποίησης έδειξαν ότι τα μικρά παιδιά μπορούν να εντάξουν σε κατηγορίες καινούργια αντικείμενα που δεν τα έχουν ξαναδεί σε γνωστές τους κατηγορίες και να εξάγουν συμπεράσματα για τις ιδιότητές τους (Carey 1985, Gelman & Markman 1986).

Οι σχέσεις μεταξύ των κατηγοριών μπορούν να διακριθούν σε ιεραρχικές και σε παράλληλες. Ένα παράδειγμα ιεραρχικών σχέσεων είναι αυτό της κατηγορίας των ζωντανών οργανισμών και των ζώων, όπου η δεύτερη κατηγορία είναι υποκατηγορία της πρώτης. Ωστόσο, η κατηγορία των ζώων, ενώ μπορεί να ενταχθεί στην κατηγορία των ζωντανών οργανισμών, δεν μπορεί να ενταχθεί στην κατηγορία των εργαλείων. Συνεπώς, μπορούμε να θεωρήσουμε την κατηγορία των ζωντανών οργανισμών και αυτή των εργαλείων σαν παράλληλες κατηγορίες με διαφορετικά μέλη και διαφορετικές υποκατηγορίες. Για τα μέλη αυτών των δύο παράλληλων κατηγοριών θα πρέπει να βγαίνουν διαφορετικά συμπεράσματα όσον αφορά στις ιδιότητές τους. Σε αυτό το σημείο εντοπίζεται και το πρόβλημα που μπορεί να προκληθεί από την κατηγοριοποίηση μιας έννοιας σε μία (παράλληλη) κατηγορία και που μπορεί να οδηγήσει στην εξαγωγή λανθασμένων συμπερασμάτων και στην απόδοση ιδιοτήτων που μπορούν να εμποδίσουν την μάθηση. Όπως υποστηρίζει η M.T. Chi (1993, 2008) οι περισσότερες από τις παρανοήσεις των μαθητών οφείλονται σε τέτοιου είδους κατηγοριοποιήσεις. Για παράδειγμα, αν ένα παιδί δει μια φάλαινα και την εντάξει στην κατηγορία των ψαριών, θα οδηγηθεί στο λανθασμένο συμπέρασμα ότι οι φάλαινες όπως και όλα τα άλλα ψάρια έχει βράγχια για να αναπνέει κάτω από το νερό.

Πολλές έρευνες έχουν γίνει για τη διαδικασία της κατηγοριοποίησης εννοιών, τις δομές των κατηγοριών και τα κριτήρια που ικανοποιούνται προκειμένου να διαμορφωθούν οι κατηγορίες των εννοιών και έχουν διατυπωθεί διάφορες απόψεις (Markman, 1989). Οι θεωρίες για τις κατηγοριοποιήσεις εστιάζουν σε δύο κομβικές αλλαγές. Η πρώτη εντοπίζεται στην αλλαγή από την κλασική θεωρία, που υποστήριζε ότι οι έννοιες έχουν κάποια καθοριστικά γνωρίσματα βάσει των οποίων εντάσσονται σε κατηγορίες, στη θεωρία της οικογενειακής ομοιότητας, που υποστήριζε ότι η κατηγοριοποίηση των εννοιών βασίζεται στις ιδιότητες ενός χαρακτηριστικού παραδείγματος μιας κατηγορίας στο οποίο πρέπει να μοιάζουν τα υπόλοιπα μέλη της κατηγορίας. Η δεύτερη κομβική αλλαγή προέκυψε όταν η ιδέα της ομοιότητας δεν θεωρήθηκε επαρκής για να εξηγήσει τη συνεκτική δομή των κατηγοριών από κάποιους

κριτικούς της και προέκυψε ένα ρεύμα που υποστηρίζει ότι οι έννοιες είναι οργανωμένες σε κατηγορίες βάσει θεωριών και όχι βάσει εξωτερικής ομοιότητας (Carey 1985, Murphy & Medin 1985, Gelman & Markman 1986, Goldstone 1994). Υπάρχουν επομένως δύο κύρια ρεύματα που αναφέρονται στην ανάπτυξη των κατηγοριοποιήσεων. Το ένα ρεύμα βασίζεται σε αρχές ομοιότητας (Fisher & Sloutsky 2004, Sloutsky & Fisher 2004), ενώ το άλλο σε αρχές θεωρίας (Carey 1985, Murphy & Medin 1985, Gelman & Markman 1986, Goldstone 1994) και τα δύο όμως προϋποθέτουν ότι η γνώση κατευθύνεται από τα αισθητηριακά δεδομένα, ξεκινώντας από την απλή επεξεργασία των αισθητηριακών δεδομένων και καταλήγοντας στην κατασκευή πολύπλοκων αναπαραστάσεων και αφηρημένων σκέψεων.

Κύριος στόχος της έρευνάς μας ήταν να δούμε πώς η κατηγοριοποίηση εννοιών συνδέεται με τη δημιουργία παρανοήσεων καθώς και τη σχέση που υπάρχει ανάμεσα στην κατηγοριοποίηση και την επανακατηγοριοποίηση των εννοιών και στο πρόβλημα της εννοιολογικής αλλαγής. Και τα δύο ρεύματα υποστηρίζουν ότι κάποια στιγμή τα παιδιά διαμορφώνουν κατηγορίες βασιζόμενα σε αρχές ομοιότητας, επομένως, ξεκινάμε θεωρώντας ότι τα παιδιά σε κάποια ηλικία κατασκευάζουν ένα γνωστικό πλαίσιο το οποίο βασίζεται σε μια θεωρία ειδικού πλαισίου, το οποίο και κατευθύνει τις κατηγοριοποιήσεις τους. Στόχος μας είναι να δούμε αν αναπτυξιακά επανακατηγοριοποιείται η έννοια των υλικών σωμάτων και πώς συνδέεται αυτή η επανακατηγοριοποίηση με τις ιδέες των παιδιών για τις φυσικές μεταβολές της ύλης. Υποθέτουμε ότι υπάρχει μια γνωστική δομή πίσω από τις έννοιες η οποία κατευθύνεται από μία θεωρία πλαισίου. Η διαδικασία της κατηγοριοποίησης καθορίζεται από άδηλες θεωρίες που έχουν οι άνθρωποι για τον κόσμο γύρω τους (Carey 1985, Murphy & Medin 1985). Έρευνες των Gelman και Markam (1986) σε μικρά παιδιά έχουν δείξει ότι η οργάνωση των εννοιών βασίζεται στη γνώση και κατευθύνεται από τις γνώσεις μας για τον κόσμο. Η Carey (1985) σε μια σειρά ερευνών για την ανάπτυξη των βιολογικών εννοιών στα παιδιά, είδε ότι ακόμα και τα μικρά παιδιά δεν κατηγοριοποιούσαν τα αντικείμενα με βάση την εξωτερική ομοιότητα των αντικειμένων. Για παράδειγμα, παρουσίασε σε παιδιά μια μηχανική μαϊμού και ζήτησε να της πουν τι κοινά χαρακτηριστικά έχει αυτή με μια ζωντανή μαϊμού. Μόνο τα παιδιά 4 ετών απέδωσαν ιδιότητες ζωντανής μαϊμούς στη μηχανική. Τα μεγαλύτερα παιδιά δεν ξεγελάστηκαν από την επιφανειακή ομοιότητα της μηχανικής μαϊμούς με τη ζωντανή και απάντησαν βασιζόμενα στον διαχωρισμό ανάμεσα σε ζωντανούς και μη-ζωντανούς οργανισμούς.

Από τις έρευνες που έχουν γίνει στο χώρο φαίνεται πως τα παιδιά ακόμα και από μικρή ηλικία διαμορφώνουν μια αφελή θεωρία η οποία κατευθύνει τον τρόπο που αντιλαμβάνονται τις έννοιες του κόσμου γύρω τους. Επιπλέον, εντάσσουν αυτόματα τις έννοιες σε κατηγορίες



αποδίδοντάς τους τα αντίστοιχα χαρακτηριστικά που ορίζει η αφελής θεωρία που έχουν διαμορφώσει. Με γνώμονα αυτή τη θεωρία, κατασκευάζουν μοντέλα στα οποία βασίζονται, ώστε να κάνουν υποθέσεις και να προβλέψουν καταστάσεις. Αν μία έννοια αλλάξει κατηγορία, αν επανακατηγοριοποιηθεί, αυτό σημαίνει αυτομάτως ότι νέα χαρακτηριστικά και ιδιότητες αποδίδονται στην έννοια (Medin & Rips 2005). Σε ένα τέτοιο πλαίσιο, η διαδικασία της εννοιολογικής αλλαγής μπορεί να θεωρηθεί μια διαδικασία κατά την οποία οι έννοιες επαναξιολογούνται και οι κατηγορίες στις οποίες εντάσσονται ανανεώνονται. Όταν μια έννοια ενταχθεί σε μία νέα κατηγορία, αυτό σημαίνει πως οι νόμοι και οι αρχές που ισχύουν για τη νέα κατηγορία, τώρα εφαρμόζονται σε αυτή την έννοια.

Για παράδειγμα, στην περίπτωση των υλικών σωμάτων, αν τα παιδιά κατηγοριοποιήσουν τα υλικά σώματα βάσει της φυσικής τους κατάστασης (σε στερεά, υγρά, αέρια) τους αποδίδουν τις ιδιότητες των αντίστοιχων κατηγοριών, τις οποίες θεωρούν διαφορετικές μεταξύ τους, και αυτές οι ιδιότητες και χαρακτηριστικά μπορούν να σταθούν εμπόδιο στη διαδικασία της μάθησης των επιστημονικών ιδεών για την ύλη. Επομένως, για να μπορέσουν τα παιδιά να ξεπεράσουν αυτά τα εμπόδια, φαίνεται απαραίτητο να επανακατηγοριοποιήσουν την έννοια των υλικών σωμάτων, βάσει της σύστασής τους. Ο τρόπος που κατηγοριοποιούν τα παιδιά τα υλικά σώματα και η σχέση μεταξύ των κατηγοριοποιήσεων και των ιδεών τους για τις αλλαγές της κατάστασης της ύλης δεν έχει διερευνηθεί πειραματικά και αυτός είναι και ο ένας στόχος της παρούσας διατριβής, που θα μας απασχολήσει στα δύο πρώτα πειράματα. Στο τρίτο πείραμα μας απασχολεί η διερεύνηση του τρόπου προώθησης της εννοιολογικής αλλαγής για την ύλη.

Πριν την αναλυτική παρουσίαση των πειραματικών μελετών μας, θα παρουσιάσουμε τα βασικά στοιχεία της θεωρίας για την ύλη, ξεκινώντας με μια ιστορική ανασκόπηση των αντιλήψεων για την ύλη, αναφέροντας στην συνέχεια τις τρέχουσες επιστημονικές απόψεις για την ύλη και, τέλος, τα ευρήματα προηγούμενων ερευνών για την ύλη και τις δυσκολίες κατανόησής της από τους μαθητές.

## **Θεωρία για την ύλη**

### **Ιστορική ανασκόπηση των αντιλήψεων για την ύλη**

Από τη χαρραγή της ιστορίας του ο άνθρωπος γοητεύτηκε από τον ουρανό και τα σχετικά με το σύμπαν είχαν μια ιδιαίτερη βαρύτητα γι' αυτόν. Οι τρόποι άλλωστε που ο άνθρωπος αντιλαμβάνεται τη δομή και τη λειτουργία του κόσμου ανακλώνται σε κάθε μεγάλο πολιτισμό ή σε κάθε θρησκεία και σφραγίζουν τη φιλοσοφία, τους μύθους και τις ποικίλες μορφές τέχνης. Επίσης, η σχέση που υπάρχει ανάμεσα στην ύλη και τις ιδιότητές της ήταν ένα από τα

ερωτήματα που απασχόλησε πολλούς διανοητές από την αρχαιότητα μέχρι την εποχή μας. Σ' όλους σχεδόν τους λαούς συναντάμε μυθολογίες περισσότερο ή λιγότερο σύνθετες για τη δημιουργία του κόσμου, που συνδέονται και με τη θρησκεία τους. Πολλές από αυτές θεωρούσαν ότι το σύμπαν προήλθε από το αρχικό χάος, ενώ άλλες ότι εκκολάφθηκε από ένα «κοσμικό αβγό». Ο Γραμματικάκης (1996) αναφέρει ότι οι Βαβυλώνιοι και οι Αιγύπτιοι θεωρούσαν το σύμπαν ως ένα όστρακο που επέπλεε στην απέραντη θάλασσα, η γη και ο ουρανός ήταν, απλώς, τα κελύφη του οστράκου, ενώ τα αστέρια χόρευαν σε θεϊκούς ρυθμούς, διάφορους από τους ανθρώπινους. Με την ελληνική σκέψη, η αντίληψη για τον κόσμο υφίσταται μια ριζική και αιφνίδια μετατροπή. Οι Έλληνες διανοητές –ο Πυθαγόρας, ο Αναξίμανδρος, ο Αριστοτέλης, ο Πλάτων– δέχονται πρώτοι ότι το σύμπαν δεν δημιουργήθηκε και ούτε υπήρχε αποκλειστικά για τον άνθρωπο, ενώ ο μύθος ή η φαντασία για την κατανόηση των παρατηρούμενων φαινομένων δίδουν τη θέση τους στη λογική και στα πρώτα στοιχεία επιστήμης. Στην κοσμοαντίληψη των αρχαίων Ελλήνων το νερό κατέχει κεντρική θέση. Ο Θαλής, ο πρώτος Ίωνας φιλόσοφος, χρησιμοποίησε καθαρά φυσικούς όρους για να εξηγήσει τον κόσμο και τις μεταβολές που συμβαίνουν σε αυτόν, σε αντίθεση με τους μύθους των Βαβυλωνίων. Πίστευε ότι η προέλευση του κόσμου είναι υλική και απέδιδε στο νερό τη δημιουργία και την αρχή όλων των πραγμάτων (Κουκά 2000). Η γέννηση της ιδέας των ατόμων αποδίδεται από διάφορους συγγραφείς είτε στο Δημόκριτο είτε στον Dalton, ενώ άλλοι αποδίδουν στον πρώτο τη γέννηση της ιδέας και στον δεύτερο την αξιοποίησή της στη θεμελίωση της σύγχρονης χημείας (Landau & Kitagorotsky 1980).

Το πέρασμα από τις μεταφυσικές κοσμολογικές αντιλήψεις στις υλοζωιστικές αντιλήψεις των Ιώνων φιλοσόφων έγινε με το έργο του Θαλή του Μιλήσιου (640-546 π.Χ.) που θεωρούσε ως πηγή προέλευσης του κόσμου το νερό και ως αιτία των αλλαγών την αντίθεσή του με τη γη, την οποία θεωρούσε ως στερεό. *(Αυτό αποκτά ιδιαίτερη σημασία, αν αναλογιστούμε ότι η διάκριση ανάμεσα σε ευμετάβλητα και σταθερά υλικά αποτελεί ένα από τα κριτήρια με τα οποία τα παιδιά κατηγοριοποιούν τα υλικά, εντάσσοντας στα μεν πρώτα τα υγρά και στα δεύτερα τα στερεά).* Ο Αναξίμενης (588-526 π.Χ.) θεώρησε ως πρωταρχική ύλη τον αέρα, ο οποίος έχει τη δυνατότητα της συμπύκνωσης και της αραιώσης, ενώ οι μεταβολές αυτές προκαλούνται από υπαρκτές αιτίες, όπως η φωτιά και το ψύχος. Με τη συμπύκνωση ο αέρας μπορούσε να πάρει τη μορφή του υγρού ή του στερεού. Ο Αναξίμενης θεωρούσε την αρχική ύλη όχι μόνο άπειρη, αλλά και άφθαρτη (Περιστεράκης 1969). Ο Ηράκλειτος υποστηρίζει ότι όλα έχουν προέλθει από τη φωτιά και βρίσκονται σε διαρκή αλλαγή. Η αέναη μεταβολή συσχετίζεται με την αέναη κίνηση, κάτι που πολύ αργότερα τεκμηριώθηκε με την κινητική θεωρία της ύλης. Ο Παρμενίδης (540-470 π.Χ.) υποστήριξε, αντίθετα με τον Ηράκλειτο, τη σταθερότητα στην

ύπαρξη και το αδύνατο των μεταβολών. Ο Αναξαγόρας (500-428 π.Χ.) επιχείρησε να συμβιβάσει τη διαρκή μεταβολή του Ηράκλειτου με τη σταθερότητα του Παρμενίδη, προτείνοντας την ιδέα της κίνησης, της διαρκούς ανάμιξης και του διαρκούς διαχωρισμού άπειρων στο πλήθος και πολύ μικρών ως προς το μέγεθος σωματιδίων, τα οποία αποκάλεσε «ομοιομερή» (Περιστεράκης 1969). *(Η άποψη των ομοιομερών θυμίζει τις ιδέες των μαθητών που αποδίδουν στα σωματίδια μακροσκοπικές ιδιότητες των σωμάτων και που θεωρούν ότι οι ιδιότητες του «όλου» ταυτίζονται με τις ιδιότητες των «μερών» που το αποτελούν.)* Ο Εμπεδοκλής (495-435 π.Χ.) τοποθέτησε στην ίδια θέση τον αέρα, το νερό και τη γη και διαφοροποίησε τη φωτιά από τον αέρα. Η φωτιά είναι μια αιθέρια ουσία που με την ελαφρότητά της μπορούσε να συσχετιστεί με τα ουράνια σώματα.

Ο Λεύκιππος και ο μαθητής του Δημόκριτος (428-348 π.Χ.) εισαγάγουν το μοντέλο των ατμήτων (α-τόμων) σωματιδίων. Το σύμπαν αποτελείται μόνο από κενό και άτμητα σωματίδια τα οποία είναι άπειρα στον αριθμό, αγέννητα και άφθαρτα και ενώνονται για να σχηματίσουν την ύλη ή διαχωρίζονται για να σχηματίσουν νέες μορφές της. Τα άτομα του Δημόκριτου είναι χωρίς δομή, συμπαγή, βρίσκονται σε αέναη κίνηση μέσα στο κενό, συγκρούονται, ενώνονται ή διαχωρίζονται. Ο Πλάτωνας, σε αντίθεση με τους Λεύκιππο και Δημόκριτο που υποστηρίζουν ότι τα άτομα έχουν άπειρα σχήματα, θεωρεί ότι έχουν περιορισμένο αριθμό γεωμετρικών προτύπων, ενώ δε δέχεται το κενό (Περιστεράκης 1969). Ο Αριστοτέλης (389-322 π.Χ.) πίστευε ότι η ύλη είναι συνεχής, ότι δηλαδή θα μπορούσαμε να διαιρέσουμε ένα κομμάτι ύλης σε όλο και πιο μικρά κομμάτια χωρίς κανένα όριο. Πρόσθεσε στα τέσσερα στοιχεία του Εμπεδοκλή ένα πέμπτο, τον αιθέρα και διαφοροποιήθηκε από τον Πλάτωνα θεωρώντας τα στοιχεία ως αμετάβλητα και ως φορείς ιδιοτήτων. Τα τέσσερα αυτά στοιχεία, λοιπόν, αναμιγνύονται μεταξύ τους σε διαφορετικές αναλογίες και δημιουργούν τις ουσίες που είναι αντιληπτές από τις αισθήσεις μας.

Αρκετά χρόνια αργότερα, ο Bacon (1561-1626), εισηγητής της επαγωγικής μεθόδου, υποστηρίζει μια σωματιδιακή θεωρία στην οποία απορρίπτει την ιδέα του άτμητου για τα σωματίδια ενώ δέχεται την κίνησή τους και τη σύνθεση της ύλης από αυτά. Ο Galileo Galilei (1564-1642) προσδίδει στα άτομα κίνηση, την οποία θεωρεί εξίσου σπουδαία με το σχήμα και το μέγεθος για τη διαμόρφωση των ιδιοτήτων των σωμάτων, ενώ επαναφέρει την έννοια του κενού. Ο Descartes (1569-1650) θεωρούσε τα άτομα ως επ'άπειρον διαιρετά και απέρριπτε το κενό. Θεωρούσε ότι τα αρχικά σωματίδια με τη δική τους κίνηση, μέσω της τριβής, μετατρέπονται σε άλλα μεγαλύτερα, διαφορετικά, με μεταβλητό σχήμα, ενώ μεταξύ τους παρεμβάλλεται ο αιθέρας. Αποδεχόταν τη διάκριση σε πρωτεύουσες και δευτερεύουσες ιδιότητες και πίστευε ότι ο φυσικός κόσμος δεν είναι οπωσδήποτε όμοιος με αυτόν που μας

παρουσιάζουν οι αισθήσεις μας (Westfall 1993). Σύμφωνα με το σωματιδιακό του μοντέλο Boyle (1627-1691), τα σωματίδια είναι μικρά στερεά σωματίδια αδιαίρετα με φυσικό τρόπο, τα οποία συνδέονται και σχηματίζουν μεγαλύτερες ομάδες που συχνά δρουν σε ορισμένα χημικά φαινόμενα. Το σχήμα και το μέγεθος των δομικών μονάδων δίνει τις φυσικές ιδιότητες στα σώματα. Ο Newton (1642-1727) επηρεάστηκε από τη σωματιδιακή θεωρία του Boyle στην οποία πρόσθεσε τους μηχανισμούς έλξης και άπωσης ανάμεσα στις ουσίες. Είχε θεοκρατική άποψη για την προέλευση των ιδιοτήτων των σωματιδίων, τα οποία θεωρούσε συμπαγή, σκληρά και άφθαρτα, ιδιότητες που τους έδωσε ο δημιουργός του κόσμου, προκειμένου να επιτελέσουν το σκοπό για τον οποίο τα έφτιαξε (Μπιτσάκης 1974). Ο Stahl (1660-1734) ανέπτυξε τη θεωρία του για το φλογιστό, που αποτελεί την πρώτη ενοποιητική αρχή στη χημεία. Θεωρούσε το φλογιστό ως χημικό στοιχείο, πιθανόν αβαρές, του οποίου η είσοδος ή έξοδος από τα σώματα που το περιέχουν εξηγούσε με ενιαίο τρόπο πολλά φαινόμενα. Οι ασυνέπειες της θεωρίας του σχετιζόνταν κυρίως με την αδυναμία του να εξηγήσει τις φυσικές μεταβολές. Το έργο του Lavoisier (1743-1794) κατέρριψε τη θεωρία του φλογιστού και έβαλε σε τάξη το μεγάλο πλήθος των χημικών πληροφοριών που ήταν ήδη γνωστές. Κατέρριψε τη μακρά παράδοση σύμφωνα με την οποία το νερό είναι στοιχείο από το οποίο σχηματίζονται όλες οι ουσίες, άποψη δηλαδή που κυριαρχούσε από την εποχή των Ιώνων Φιλοσόφων. Η σύνθεση του νερού από οξυγόνο και υδρογόνο αποτέλεσε το τελευταίο βήμα για την ολοκλήρωση της θεωρίας του Lavoisier.

Ο Dalton (1766-1844), παρότι τα κύρια ενδιαφέροντά του βρίσκονταν στο πεδίο της μετεωρολογίας, στράφηκε στη χημεία της εποχής του, προκειμένου να υπολογίσει τα μεγέθη και τα βάρη των ατομικών σωματιδίων. Στην ατομική θεωρία που ανέπτυξε ο Dalton το άτομο έχασε τη φιλοσοφική του διάσταση, απέκτησε χημική έννοια και λειτούργησε πια σε ένα επιστημονικό μικροσκοπικό μοντέλο. Το ατομικό μοντέλο του Dalton θεωρεί ότι τα άτομα περιβάλλονται από καλορικό υγρό. Το 1803 ο Dalton προσπάθησε να εξηγήσει το γεγονός ότι τα χημικά στοιχεία ενώνονται από άτομα που συμπλέκονται μεταξύ τους και διαμορφώνουν πιο σύνθετες συγκεντρώσεις ύλης (τα μόρια). Πρότεινε, μάλιστα, σύμβολα για να αναπαραστήσει τα «απλά άτομα» και το συνδυασμό τους, τα «σύνθετα άτομα», που σήμερα αναγνωρίζουμε ως μόρια (Hawking 1997). Ο Avogadro πρότεινε το 1811 την ιδέα του μορίου, το οποίο μπορεί να αποτελείται από ίδια άτομα, δηλαδή άτομα του ίδιου στοιχείου, η άποψη όμως αυτή χρειάστηκε να περιμένει πενήντα χρόνια για να γίνει αποδεκτή στο πρώτο διεθνές συνέδριο χημείας το 1860.

Μια σειρά από θεωρίες και ανακαλύψεις που ακολούθησαν οδήγησαν στην εξέλιξη της ιδέας για τα άτομα και στην ανακάλυψη της δομής τους. Ενδεικτικά αναφέρουμε την

ανακάλυψη του ηλεκτρικού στοιχείου από τον Volta το 1880 και τις αποδομητικές δυνατότητες της ηλεκτρόλυσης που διατύπωσε ο Davy το 1807, καθώς και το έργο του Faraday (1822-1823) για τους νόμους της ηλεκτρόλυσης, τις έννοιες των ιόντων και την επιπόνηση του σωματιδίου-φορτίου που δίνεται και λαμβάνεται από τα ιόντα στα ηλεκτρόδια (Dampier 1929). Με πειραματικούς υπολογισμούς προσδιορίστηκε το σωματίδιο αυτό, που είναι το γνωστό σε μας ηλεκτρόνιο. Η πειραματική και θεωρητική έρευνα για την ηλεκτρική αγωγιμότητα των στερεών (Ohm), των υγρών (Van't Hoff, Arrhenius) και των αερίων (Faraday, Geisser, Crooks), η σχέση του ηλεκτρισμού με τη θερμότητα (νόμος του Joule), η συσχέτιση με την κινητική θεωρία της θερμότητας κ.ά. συγκρότησαν ένα ευρύ επιστημονικό πεδίο.

Το φαινόμενο των ακτίνων Roetgen (1895) αργότερα σημαδεύει το πέρασμα στη νεότερη Φυσική και ο πειραματισμός με τις ακτίνες X επεκτάθηκε σε πολλά πεδία. Η εντατική έρευνα πέτυχε σύντομα τον προσδιορισμό των χαρακτηριστικών του ηλεκτρονίου, το οποίο βρέθηκε ότι είναι πολύ ελαφρύτερο από τη μάζα οποιουδήποτε ατόμου χημικού στοιχείου. Ο Thomson πρότεινε να θεωρηθούν τα ηλεκτρόνια ενταγμένα σε μια σφαίρα θετικού φορτίου, όπως περίπου οι σταφίδες στο σταφιδόψωμο. Το μοντέλο αυτό τροποποιήθηκε από τους Geiger & Marsden (1911), που πρότειναν έναν θετικό πυρήνα γύρω από τον οποίο περιφέρονταν τα ηλεκτρόνια. Στη συνέχεια, ο Rutherford μετά από πειράματα δύο ετών (1909-1911) πρότεινε το μοντέλο του ατόμου με έναν θετικό πυρήνα και τα ηλεκτρόνια να περιφέρονται σε κυκλικές τροχιές, όπως οι πλανήτες γύρω από τον ήλιο. Αργότερα προσδιορίστηκαν το πρωτόνιο και το νετρόνιο, που συνθέτουν τον πυρήνα, αλλά η σημαντικότερη αλλαγή στο μοντέλο του Rutherford προήλθε από το χώρο της φασματοσκοπίας, που σχετίζεται και με την ανάδειξη της κβαντικής φυσικής. Ο κλάδος αυτός συνέβαλε καθοριστικά στη μελέτη της αλληλεπίδρασης της ύλης με την ακτινοβολία. Το πρόβλημα του «μέλανος σώματος» στις αρχές του 20<sup>ου</sup> αιώνα, η ερμηνεία του φωτοηλεκτρικού φαινομένου από τον Einstein (1905) και η ερμηνεία του φαινομένου Compton (1923) επιβεβαίωσαν την έννοια του κβάντου ενέργειας της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Ο N. Bohr κατάφερε το 1913 να εξηγήσει τη σταθερότητα των τροχιών των ηλεκτρονίων, εισάγοντας την κβάντωση της στροφορμής των ηλεκτρονίων που περιστρέφονται γύρω από τον πυρήνα. Το μοντέλο του Bohr εξελίχθηκε μέσα από την έννοια της ιδιοστροφορμής του ηλεκτρονίου (spin) και την απαγορευτική αρχή του Pauli το 1925 κι έτσι καθορίστηκε ένα σύνολο κανόνων με τους οποίους τα ηλεκτρόνια κατανέμονται στις διάφορες ενεργειακές στάθμες.

Αναλυτικότερα, θα μπορούσαμε να πούμε ότι ο Αϊνστάιν επέστησε την προσοχή σε μια πολύ σημαντική φυσική ένδειξη για την ύπαρξη των ατόμων: σε μια εργασία του το 1905, λίγες μόνο εβδομάδες πριν από τη δημοσίευση της διάσημης εργασίας του για τη σχετικότητα, έδειξε ότι

το φαινόμενο που ονομάζεται κίνηση Brown (η ακανόνιστη, τυχαία κίνηση των μικροσκοπικών σωματιδίων της σκόνης σ' ένα υγρό) μπορεί να εξηγηθεί από τη σύγκρουση των ατόμων του υγρού με τα σωματίδια της σκόνης. Εκείνη την εποχή υπήρχαν ήδη υποψίες ότι αυτά τα άτομα δεν είναι τελικά αδιαίρετα. Στην αρχή οι επιστήμονες νόμιζαν ότι ο πυρήνας του ατόμου αποτελείται από ηλεκτρόνια και πρωτόνια: τα πρωτόνια είναι σωματίδια με θετικό ηλεκτρικό φορτίο που τα ονόμασαν έτσι από την ελληνική λέξη «πρώτο», επειδή πίστευαν ότι αποτελούν τις θεμελιώδεις μονάδες της ύλης. Το 1932 όμως ένας συνεργάτης του Rutherford στο Κέμπριτζ, ο James Chadwick, ανακάλυψε ότι ο πυρήνας περιέχει και ένα άλλο είδος σωματιδίων, τα νετρόνια, που έχουν περίπου την ίδια μάζα με τα πρωτόνια αλλά δεν έχουν ηλεκτρικό φορτίο. Μέχρι πριν από 40 χρόνια θεωρούσαμε ότι τα συστατικά του πυρήνα, τα πρωτόνια και τα νετρόνια, είναι «στοιχειώδη» σωματίδια, δεν αποτελούνται δηλαδή από άλλα μικρότερα σωματίδια (Γραμματικάκης 1996). Η ειδυλλιακή αυτή εικόνα για τον μικρό αριθμό των στοιχειωδών συστατικών της ύλης δεν έμελλε, ωστόσο, να διατηρηθεί για πολύ. Πρώτα στις κοσμικές ακτίνες που φθάνουν στη γη από το διάστημα και, στη συνέχεια, με την κατασκευή μεγάλων επιταχυντών, ανιχνεύθηκαν αρκετές εκατοντάδες καινούργια σωματίδια. Προς τιμήν μάλιστα της αρχαίας ελληνικής επιστήμης, στα περισσότερα απ' αυτά δόθηκαν γράμματα ή ονόματα ελληνικά. Τα σωματίδια αυτά είχαν ποικίλες μάζες και ιδιότητες. Τα βαρύτερα αλληλεπιδρούσαν ισχυρά και ονομάστηκαν –από την αρχαία ελληνική λέξη «αδρός»– αδρόνια. Μια άλλη κατηγορία, τα λεπτόνια, είχαν μάζες πολύ μικρότερες, ήταν λίγα στον αριθμό και υπέκειντο στην ασθενή αλληλεπίδραση. Η φυσική είχε βρεθεί αναπάντεχα μπροστά σ' ένα χάος σωματιδίων, το οποίο μάλιστα έμελλε να διπλασιαστεί από μια σπουδαία θεωρητική πρόβλεψη, ότι δηλαδή στο κάθε σωματίδιο αντιστοιχούσε ένα αντι-σωματίδιο, ίδιο και απαράλλακτο ως προς τη μάζα, αλλά με ηλεκτρικό φορτίο αντίθετο, η οποία πρόβλεψη και επιβεβαιώθηκε από τα πειράματα. Το πρωτόνιο είχε ως εικόνα κατοπτρική το αντιπρωτόνιο, το ποζιτρόνιο ήταν το αντισωματίδιο του ηλεκτρονίου, στο Λ–σωματίδιο αντιστοιχούσε ένα αντι-λάμδα. Εξάιρεση δεν υπήρχε για κανένα από τα εκατοντάδες σωματίδια. Στην ύλη, με λίγα λόγια, αντιστοιχούσε η αντιύλη.

Όμως, επίμονες θεωρητικές αναζητήσεις και πειράματα των Φυσικών αποκατέστησαν την απλότητα στη δομή της ύλης: Το πρωτόνιο και το νετρόνιο, καθώς και τα εκατοντάδες άλλα αδρόνια που παράγονταν στους επιταχυντές, αποδείχθηκε ότι δεν ήταν θεμελιώδη, ήταν και αυτά σύνθετα σωματίδια. Πράγματι θεμελιώδη, «άτμητα» και πάλι, ήταν μόνο έξι σωματίδια: αυτή τη φορά από ένα μυθιστόρημα του James Joyce, τα θεμελιώδη αυτά σωματίδια ονομάστηκαν κουάρκ (quarks: up, down, top, bottom, charm, strange), λέξη παράξενη και χωρίς ιδιαίτερο νόημα. Από συνδυασμούς τριών κουάρκ συνθέτονται τα αδρόνια, με παρόμοιο τρόπο, όπως από συνδυασμούς ατόμων δημιουργούνται τα μόρια. Η

συνηθισμένη μάλιστα ύλη χρησιμοποιεί μόνο δύο από τα έξι «είδη» κουάρκ (u, d). Μια τριάδα κουάρκ (τα δύο ταυτόσημα) αρκεί για να συνθέσει το πρωτόνιο, μια άλλη τριάδα συνθέτει το νετρόνιο. Η ύπαρξη κουάρκ που δεν φαίνονται να παίρνουν μέρος στη σύσταση της συνήθους ύλης αποτελεί ακόμη και σήμερα ένα βαθύ αίνιγμα, ίσως να είναι απλώς υπολείμματα της κοσμογονίας (Γραμματικάκης 1996). Όσον αφορά στη δομή των λεπτονίων, τα πράγματα αποδείχτηκαν απλούστερα: απ' όσα μέχρι στιγμής βεβαιώνουν τα πειράματα, τα λεπτόνια είναι πράγματι θεμελιώδη σωματίδια. Και υπάρχουν πάλι έξι λεπτόνια (e,  $\mu$ ,  $\tau$ ,  $\nu_e$ ,  $\nu_\mu$ ,  $\nu_\tau$ ), σε απόλυτη και συμμετρική αντιστοιχία με τα κουάρκ. Το ηλεκτρόνιο (e) είναι το μόνο που συμμετέχει στην ατομική δομή. Το νεutrίνο, σωματίδιο με μηδενική ή σχεδόν μηδενική μάζα, καταδικασμένο επομένως να ταξιδεύει πάντα με την ταχύτητα του φωτός, και χωρίς ηλεκτρικό φορτίο, είναι και αυτό λεπτόνιο. Πρέπει να αφθονεί στο σύμπαν και να έπαιξε σπουδαίο ρόλο στην εξέλιξή του, όμως, λόγω της πολύ ασθενικής του αλληλεπίδρασης με την ύλη, είναι εξαιρετικά δύσκολο να ανιχνευθεί.

Τα θεμελιώδη λοιπόν, συστατικά της ύλης είναι τελικά λίγα στον αριθμό: έξι κουάρκ και έξι λεπτόνια. Και ακόμη λιγότερα -δύο από τα κουάρκ και το ηλεκτρόνιο- αυτά που η συνηθισμένη ύλη χρησιμοποιεί για τη συγκρότησή της. Εφ' όσον οι αλληλεπιδράσεις ανάμεσα στα σωματίδια είναι διακριτές και μόνο τέσσερις, η εικόνα, προς το παρόν τουλάχιστον, αρχίζει πάλι να γίνεται απλή και συμμετρική. Αυτό που απομένει για την κατανόηση του σύμπαντος είναι ο τρόπος που τα σωματίδια αυτά της ύλης επενεργούν μεταξύ τους. Όπως πιστεύουμε σήμερα, αυτό γίνεται μέσω των λεγόμενων φορέων, \_ ενδιάμεσων δηλαδή των αλληλεπιδράσεων, που είναι και αυτά σωματίδια ύλης ή ενέργειας. Σε κάθε αλληλεπίδραση αντιστοιχεί ένας φορέας. Το γνωστό φωτόνιο είναι ο φορέας της ηλεκτρομαγνητικής αλληλεπίδρασης. Την ασθενή δύναμη μεταβιβάζει το σωματίδιο W, που η πειραματική του επιβεβαίωση έγινε σχετικά πρόσφατα. Το γλοϊόνιο είναι ο φορέας της ισχυρής αλληλεπίδρασης. Η βαρύτητα, τέλος, έχει ως φορέα το βαρυτόνιο. Το βαρυτόνιο είναι πολύ δύσκολο να ανιχνευθεί πειραματικά, αφού η βαρυτική αλληλεπίδραση είναι τόσο ασθενική. Οι περισσότεροι φυσικοί ελπίζουν ότι θα ανακαλυφθεί κάποτε μια ενιαία θεωρία που θα εξηγήσει και τις τέσσερις κατηγορίες αλληλεπιδράσεων ως διαφορετικές εκδηλώσεις μιας και μοναδικής αλληλεπίδρασης.

### **Επιστημονικές απόψεις για την ύλη**

Η σύγχρονη θεωρία για την ύλη είναι αρκετά πολύπλοκη. Ύλη είναι καθετί που καταλαμβάνει χώρο και έχει μάζα. Η ύλη είναι άφθαρτη, αλλάζει μορφές, αλλά ούτε

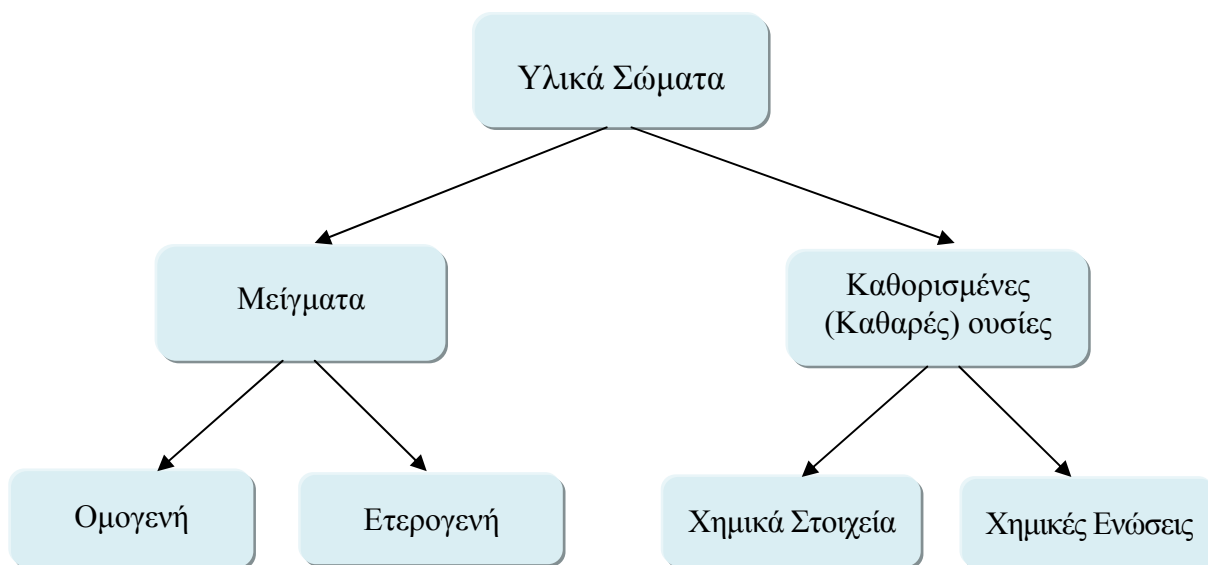
καταστρέφεται ούτε δημιουργείται. Η συνολική ποσότητά της στο σύμπαν παραμένει σταθερή. Η ύλη είναι το ένα από τα δύο συστατικά του σύμπαντος, το δεύτερο είναι η ενέργεια. Μάλιστα, το 1905 ο Einstein απέδειξε ότι πολύ μικρές ποσότητες ύλης μπορούν να μετατρέπονται σε τεράστιες ποσότητες ενέργειας. Όμως, για τη μελέτη και την περιγραφή των απλών φυσικών και χημικών φαινομένων δεχόμαστε ότι η συνολική ποσότητα της ύλης παραμένει αμετάβλητη.

Όπως επισημαίνεται και στα σχολικά βιβλία (Γεωργιάδου κά. 2002, Μαυρόπουλος κά. 1989, Αποστολάκης κά. 2002), η ύλη εμφανίζεται σε τρεις διαφορετικές καταστάσεις: στερεή, υγρή και αέρια, (υπάρχει και η κατάσταση του πλάσματος, η οποία αναφέρεται στη συνέχεια) ως αποτέλεσμα δυναμικής ισορροπίας ανάμεσα στα σώματα και το περιβάλλον και χαρακτηρίζεται από ιδιότητες. Η ταυτότητα των σωμάτων προσδιορίζεται από το σύνολο των φυσικών και χημικών ιδιοτήτων τους. Οι φυσικές ιδιότητες μιας ουσίας (όπως το μοριακό βάρος, το σημείο βρασμού, η πυκνότητα, το φάσμα απορρόφησης κά.) έχουν μετρηθεί και αντιστοιχούν πια σε αριθμητικές τιμές. Οι φυσικές αυτές σταθερές χρησιμοποιούνται ως το κριτήριο καθαρότητας μιας χημικής ουσίας και σταθερές μέθοδοι ανάλυσης βασισμένες στις φυσικές σταθερές χρησιμοποιούνται για τη διάκριση μιας χημικής ουσίας από μια άλλη. Το νερό αποτελεί τη χημική ένωση που βράζει στους 100° C και πήζει στους 0° C (στις κανονικές συνθήκες) και του οποίου η πυκνότητα είναι 1g/cm<sup>3</sup>. Αντίθετα, οι άμεσα παρατηρήσιμες ιδιότητες (όπως χρώμα, οσμή, υγρή κατάσταση κά.) αποτελούν ένα μικρό μέρος των φυσικών ιδιοτήτων που δίνουν ελάχιστα στοιχεία για την ταυτότητα μιας χημικής ένωσης. Οι χημικές ιδιότητες ορίζονται από τη συμπεριφορά μιας ουσίας στη βάση της αλληλεπίδρασης με τις άλλες χημικές ουσίες, όπως είναι τα οξέα, οι βάσεις, το νερό, οι διαλύτες. Η έννοια της χημικής ένωσης παραπέμπει στην έννοια της χημικής αντίδρασης (τη διαδικασία κατά την οποία χημικές ενώσεις μετατρέπονται σε άλλες χημικές ενώσεις). Κατά τις χημικές αντιδράσεις η ταυτότητα των χημικών ενώσεων δεν διατηρείται και αυτό τις διακρίνει από τα φυσικά φαινόμενα.

Τις μεταβολές των υλικών σωμάτων τις ονομάζουμε φαινόμενα και μπορούμε να τα κατατάξουμε σε δύο κατηγορίες. Φυσικά φαινόμενα: είναι οι παροδικές συνήθως μεταβολές των σωμάτων, κατά τις οποίες δε μεταβάλλεται ριζικά η ύλη τους (πχ. η κίνηση των σωμάτων, το λιώσιμο του πάγου, ο βρασμός του νερού κά.), δηλαδή τα μόρια των σωμάτων παραμένουν αμετάβλητα. Χημικά φαινόμενα: είναι οι ριζικές και συνήθως μόνιμες μεταβολές των σωμάτων, κατά τις οποίες αλλάζει η σύσταση της ύλης (πχ. το σκούριασμα του σιδήρου, η καύση του χαρτιού και του ξύλου κά.), δηλαδή τα μόρια των σωμάτων που αντιδρούν μεταβάλλονται και σχηματίζονται νέα σώματα. (Τα άτομα όμως παραμένουν ίδια σε είδος και αριθμό).



Η ύλη, τα εκατομμύρια δηλαδή ουσιών που μας περιβάλλουν, μπορεί να ταξινομηθεί ως εξής (Λιοδάκης κά 2011, Μαυρόπουλος κά. 1989):



Κατ' αρχάς οι ουσίες μπορούν να διακριθούν σε καθαρές ουσίες και μείγματα: Καθαρές ή καθορισμένες ουσίες είναι εκείνες που ανεξάρτητα από τον τρόπο παρασκευής τους έχουν καθορισμένη σύσταση και ιδιότητες. Το νερό ( $H_2O$ ), η ζάχαρη ( $C_{12}H_{22}O_{11}$ ), το οξυγόνο ( $O_2$ ), ο σίδηρος (Fe) κά. είναι καθαρές ουσίες (το νερό για παράδειγμα έχει καθορισμένη σύσταση, δηλαδή αποτελείται από υδρογόνο και οξυγόνο με αναλογία μαζών 1:8). Τα μείγματα έχουν μεταβλητή σύσταση ανάλογα με τον τρόπο παρασκευής και την προέλευσή τους. Οι περισσότερες από τις ουσίες που συναντάμε είναι μείγματα, των οποίων η σύσταση ποικίλλει π.χ. το γάλα, το λάδι, το θαλασσίνο νερό, ο ατμοσφαιρικός αέρας

Οι καθαρές ουσίες διακρίνονται στα χημικά στοιχεία και στις χημικές ενώσεις: Στοιχείο ή χημικό στοιχείο ονομάζεται η καθαρή ουσία που δε διασπάται σε απλούστερη και αποτελείται από ένα είδος ατόμων (άτομα με τον ίδιο ατομικό αριθμό). Σήμερα είναι γνωστά 112 στοιχεία. Απ' αυτά τα 88 υπάρχουν στη φύση, ενώ τα υπόλοιπα είναι τεχνητά. Το χαρακτηριστικό γνώρισμα των στοιχείων είναι ότι τα μόριά τους αποτελούνται από άτομα του ίδιου είδους. Τα στοιχεία συνδυαζόμενα δίνουν εκατομμύρια χημικές ενώσεις (πχ. ο άνθρακας καίγεται με το οξυγόνο και παράγεται διοξείδιο του άνθρακα). Οι χημικές ενώσεις έχουν το χαρακτηριστικό ότι μπορούν να διασπαστούν σε άλλες απλούστερες, ενώ τα μόριά τους αποτελούνται από διαφορετικά είδη ατόμων. Επομένως, οι χημικές ενώσεις είναι καθαρές ουσίες που μπορούν να διασπαστούν σε άλλες απλούστερες και αποτελούνται από δύο τουλάχιστον είδη ατόμων (άτομα με διαφορετικό ατομικό αριθμό).

Όσον αφορά στα μείγματα, χωρίζονται σε ομογενή και ετερογενή: Τα ομογενή μίγματα (διαλύματα) είναι ομοιόμορφα μείγματα, έχουν δηλαδή την ίδια σύσταση και τις ίδιες ιδιότητες σ' όλη την έκτασή τους. Χαρακτηριστικό τους είναι πως δεν μπορούμε να διακρίνουμε τα συστατικά τους. Για παράδειγμα, στο νερό της θάλασσας δεν μπορούμε να διακρίνουμε το αλάτι. Τα ετερογενή μείγματα είναι ανομοιόμορφα, δηλαδή δεν έχουν την ίδια σύσταση σ' όλη την έκτασή τους. Στα μείγματα αυτά διακρίνουμε αρκετές φορές τα συστατικά τους και τις διαφορετικές τους ιδιότητες, π.χ. λάδι με νερό. Τα διαλύματα είναι ομογενή μίγματα δύο ή περισσότερων ουσιών, οι οποίες αποτελούν τα συστατικά του διαλύματος. Από τα συστατικά αυτά, εκείνο που έχει την ίδια φυσική κατάσταση μ' αυτή του διαλύματος και βρίσκεται συνήθως σε περίσσεια, ονομάζεται διαλύτης. Τα υπόλοιπα συστατικά του διαλύματος ονομάζονται διαλυμένες ουσίες. Τα διαλύματα διακρίνονται σε αέρια (π.χ. ατμοσφαιρικός αέρας), υγρά (π.χ. θαλασσινό νερό) και στερεά (π.χ. μεταλλικά νομίσματα). Τα μείγματα μπορούν να διαχωριστούν στα συστατικά τους και με φυσικές διεργασίες (διήθηση, μαγνήτιση, απλή απόσταξη, κλασματική απόσταξη, φυγοκέντρωση, εκχύλιση, χρωματογραφία κ.ά.), ενώ οι χημικές ενώσεις μπορούν να διαχωριστούν στα συστατικά τους μόνο με χημικές διεργασίες. Πολλοί μαθητές αντιμετωπίζουν σημαντικές δυσκολίες στη διάκριση των καθαρών ουσιών από τα μείγματα. Οι μαθητές θεωρούν συνήθως ότι καθαρές ουσίες είναι αυτές οι οποίες δεν είναι «βρόμικες». Έτσι, ταξινομούν τα περισσότερα ομογενή μείγματα στην κατηγορία των καθαρών ουσιών. (Αποστολάκης κ.ά. 2002).

### Οι Καταστάσεις της Ύλης

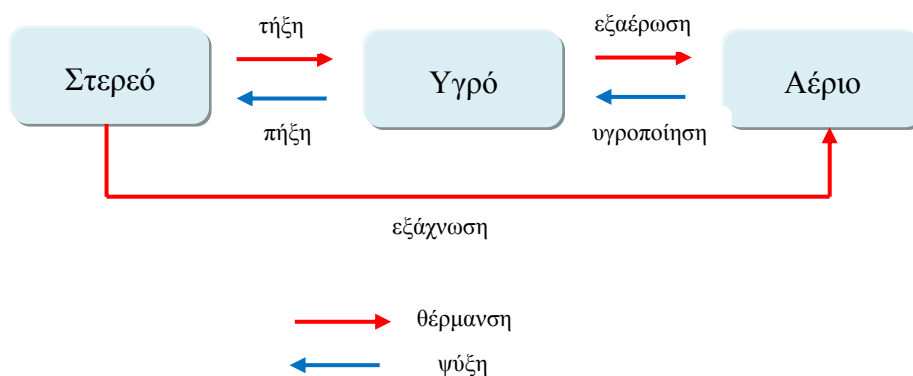
Μία από τις βασικές ιδιότητες των σωμάτων είναι η φυσική τους κατάσταση. Η ύλη εμφανίζεται στο σύμπαν σε τέσσερις φυσικές καταστάσεις: στη στερεή, στην υγρή, στην αέρια και στην κατάσταση του πλάσματος. Η φυσική κατάσταση ενός σώματος εξαρτάται από τις συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας στις οποίες αυτό βρίσκεται. Εάν οι συνθήκες αυτές μεταβληθούν, είναι δυνατόν ένα στερεό σώμα να γίνει υγρό και αντίστροφα ή ένα υγρό να γίνει αέριο και αντίστροφα. Μέσα στο πλαίσιο αυτό, η υγρή κατάσταση μιας ουσίας, για παράδειγμα, δεν αποτελεί ιδιότητά της. Το ότι το νερό είναι υγρό δε σημαίνει ότι είναι πράγματι υγρό, επομένως δεν μπορεί η υγρή κατάσταση να αποτελεί κριτήριο αναγνώρισης του νερού. Επίσης, σύμφωνα με την επιστημονική άποψη, η αέρια ή στερεή κατάσταση δεν χαρακτηρίζει αποκλειστικά ορισμένα σώματα, δηλαδή δεν είναι αέριο μόνο ο αέρας, αλλά όλα τα υλικά σώματα κάτω από ορισμένες συνθήκες. Διατηρώντας, για παράδειγμα, σταθερή την πίεση και προσφέροντας διαρκώς θερμότητα σε ένα σώμα που αρχικά βρίσκεται σε στερεή κατάσταση, το σώμα αυτό μετά από κάποιο χρονικό διάστημα θα γίνει υγρό. Αν η προσφορά

θερμότητας συνεχιστεί για αρκετό ακόμη χρονικό διάστημα, το σώμα θα γίνει τελικά αέριο. Όλες οι ουσίες μπορούν να μεταβούν από τη μια φυσική κατάσταση στην άλλη και αντίστροφα. Αν η προσφορά ενέργειας σε ένα σώμα συνεχιστεί σε θερμοκρασίες που ξεπερνούν τους 2000 °C, τότε τα άτομα που το αποτελούν «σπάνε», δημιουργώντας ένα «μείγμα» ηλεκτρονίων και θετικά φορτισμένων ιόντων, ατόμων δηλαδή που έχουν χάσει ένα ή περισσότερα ηλεκτρόνια. Το σώμα τότε βρίσκεται σε κατάσταση πλάσματος (τα αέρια πχ. στους λαμπτήρες φθορισμού -νέον- όταν φωτοβολούν βρίσκονται σε κατάσταση πλάσματος. Σε σχηματισμό πλάσματος οφείλεται και το βόρειο σέλας). Λόγω των εξαιρετικά ακραίων συνθηκών που απαιτούνται για να βρεθεί ένα σώμα στην κατάσταση πλάσματος, καταλαβαίνουμε γιατί δεν υπάρχουν σώματα σε αυτήν τη φυσική κατάσταση στις συνθήκες που επικρατούν στην επιφάνεια της γης. Στο σύμπαν, όμως, αυτή η φυσική κατάσταση κυριαρχεί, καθώς η ύλη στον ήλιο και στα άλλα άστρα, δηλαδή στις κύριες πηγές ενέργειας του σύμπαντος, βρίσκεται σε αυτήν τη φυσική κατάσταση (Αποστολάκης κά. 2002).

Κατά την αλλαγή της φυσικής κατάστασης ενός σώματος μεταβάλλεται η εσωτερική του ενέργεια. Αυτό μπορεί να γίνει με τη μεταβολή της πίεσης που ασκείται στο σώμα ή με ροή θερμότητας από ή προς το σώμα. Όσο διαρκεί η μετατροπή της φυσικής κατάστασης και παρά τη ροή θερμότητας από ή προς το σώμα, η θερμοκρασία παραμένει σταθερή. Η ροή θερμότητας στην περίπτωση αυτή έχει ως αποτέλεσμα την αλλαγή της φυσικής κατάστασης μέρους του σώματος. Η ενέργεια, δηλαδή, που του προσφέρουμε δεν αυξάνει την κινητική ενέργεια των σωματιδίων που το συγκροτούν, αλλά τη δυναμική τους ενέργεια, ώστε να απομακρυνθούν το ένα από το άλλο και να κινηθούν πιο ελεύθερα. Όταν αποδεσμευτούν όλα από τις θέσεις ισοδυναμίας, τότε η θερμοκρασία του σώματος αυξάνεται, δηλαδή η ενέργεια που προσφέρουμε αυξάνει την κινητική ενέργεια των σωματιδίων του (Αποστολάκης κά. 2002). Αν για παράδειγμα αρχίσουμε να θερμαίνουμε ένα δοχείο με νερό, η ροή θερμότητας προς το νερό έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας του. Σε κάποια χαρακτηριστική θερμοκρασία το νερό αρχίζει να βράζει. Σταδιακά, μέρος του νερού μετατρέπεται από υγρό σε αέριο. Όση ώρα διαρκεί ο βρασμός και παρά τη ροή θερμότητας προς αυτό, η θερμοκρασία παραμένει σταθερή. Η ροή θερμότητας έχει ως αποτέλεσμα τη μεταβολή της φυσικής κατάστασης μέρους του νερού από υγρή σε αέρια. Όταν όλη η ποσότητα του νερού γίνει αέρια και εφόσον συνεχίζεται η ροή θερμότητας προς αυτό, η θερμοκρασία του αέριου πια νερού (η θερμοκρασία δηλαδή των υδρατμών) θα αρχίσει να αυξάνεται. Εφόσον ολοκληρωθεί η μετατροπή της φυσικής κατάστασης, η ροή θερμότητας έχει πάλι ως αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας. Η ροή λοιπόν θερμότητας από ή προς

ένα σώμα μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα τη μεταβολή της θερμοκρασίας του ή την αλλαγή της φυσικής του κατάστασης.

### Οι τρεις φυσικές καταστάσεις της ύλης



Όταν ένα στερεό σώμα απορροφά ενέργεια, η θερμοκρασία του αυξάνεται. Σε κάποια συγκεκριμένη θερμοκρασία το στερεό αρχίζει σταδιακά να αλλάζει φυσική κατάσταση και γίνεται υγρό. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται τήξη (η μετατροπή της φυσικής κατάστασης από στερεή σε υγρή). Όση ώρα διαρκεί η τήξη και μέχρι όλη η ποσότητα του στερεού να γίνει υγρή, η θερμοκρασία δε μεταβάλλεται, παρά την απορρόφηση ενέργειας. Όταν ένα υγρό αποβάλλει ενέργεια, η θερμοκρασία του μειώνεται. Σε κάποια συγκεκριμένη θερμοκρασία το υγρό αρχίζει να αλλάζει σταδιακά φυσική κατάσταση και γίνεται στερεό. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται πήξη (η μετατροπή της φυσικής κατάστασης από υγρή σε στερεή). Όση ώρα διαρκεί η πήξη και μέχρι όλη η ποσότητα του υγρού να στερεοποιηθεί, η θερμοκρασία δε μεταβάλλεται, παρά την αποβολή ενέργειας. Η θερμοκρασία πήξης των καθαρών ουσιών είναι ίση με τη θερμοκρασία τήξης τους και χαρακτηριστική για κάθε ουσία. Η θερμοκρασία τήξης-πήξης για παράδειγμα του αποσταγμένου νερού σε συνθήκες ατμοσφαιρικής πίεσης μιας ατμόσφαιρας είναι  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Ανεξάρτητα από τη θερμοκρασία που επικρατεί, ένα μέρος των υγρών απορροφά ενέργεια και αλλάζει τη φυσική του κατάσταση από υγρή σε αέρια. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται εξάτμιση. Η εξάτμιση πραγματοποιείται μόνο από την ελεύθερη επιφάνεια του υγρού. Η ποσότητα του υγρού που εξατμίζεται σε ένα δεδομένο χρονικό διάστημα, ο ρυθμός δηλαδή της εξάτμισης, εξαρτάται από τη θερμοκρασία, από την ταχύτητα του ανέμου, από το μέγεθος της ελεύθερης επιφάνειας του υγρού και από το είδος του υγρού. Όταν ένα υγρό θερμαίνεται, η θερμοκρασία του αυξάνεται. Με την αύξηση της θερμοκρασίας αυξάνεται και ο ρυθμός της εξάτμισης, δηλαδή ο ρυθμός της αλλαγής φυσικής κατάστασης από υγρή σε αέρια στην ελεύθερη επιφάνεια του υγρού. Σε κάποια συγκεκριμένη θερμοκρασία η αλλαγή

φυσικής κατάστασης από υγρή σε αέρια αρχίζει να γίνεται σε όλο το υγρό και όχι μόνο στην ελεύθερη επιφάνειά του. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται βρασμός (το φαινόμενο κατά το οποίο ατμός παράγεται και στο εσωτερικό του υγρού με μορφή φυσαλίδων). Όση ώρα διαρκεί ο βρασμός και μέχρι όλη η ποσότητα του υγρού να γίνει αέρια, η θερμοκρασία δε μεταβάλλεται, παρά την απορρόφηση ενέργειας. Η θερμοκρασία βρασμού των καθαρών ουσιών είναι σταθερή και χαρακτηριστική για κάθε ουσία. Η θερμοκρασία βρασμού για παράδειγμα του καθαρού νερού σε συνθήκες ατμοσφαιρικής πίεσης μιας ατμόσφαιρας είναι 100 °C. Η μετάβαση από την υγρή κατάσταση στην αέρια (εξάτμιση-βρασμός) ονομάζεται εξαέρωση. Η αλλαγή φυσικής κατάστασης από αέρια σε υγρή ονομάζεται συμπύκνωση ή υγροποίηση. Κατά την υγροποίηση το αέριο αποβάλλει ενέργεια. Η απευθείας μετάβαση από τη στερεή φυσική κατάσταση στην αέρια, χωρίς δηλαδή να μεσολαβήσει η υγρή κατάσταση, ονομάζεται εξάχνωση. Εξάχνωση παρουσιάζεται στο ιώδια, τη ναφθαλίνη, τον πάγο, το στερεό διοξείδιο του άνθρακα (ξηρός πάγος) κ.ά.

Καθώς το εύρος μεταβολής της θερμοκρασίας και της ατμοσφαιρικής πίεσης στη φύση είναι σχετικά μικρό, οι περισσότερες ουσίες στη φύση συναντώνται σε μία φυσική κατάσταση. Μια από τις εξαιρέσεις αποτελεί το νερό, του οποίου η θερμοκρασία τήξης-πήξης βρίσκεται μέσα στο εύρος της μεταβολής της θερμοκρασίας στη φύση. Το νερό συναντάται στη φύση και στις τρεις φυσικές καταστάσεις, αφού στις θάλασσες, τα ποτάμια και τις λίμνες βρίσκεται σε υγρή φυσική κατάσταση, στην ατμόσφαιρα βρίσκεται σε αέρια φυσική κατάσταση, ενώ όταν η θερμοκρασία είναι χαμηλότερη από τους 0 °C το νερό βρίσκεται στη στερεή φυσική κατάσταση. Μάλιστα, στον «κύκλο του νερού» στη φύση, δηλαδή στη διαρκή εξάτμιση και συμπύκνωσή του σε διάφορα μέρη, οφείλονται πολλά από τα καιρικά φαινόμενα (ομίχλη, βροχή, χαλάζι, χιόνι κ.ά.). Τα σύννεφα σχηματίζονται καθώς το νερό που εξατμίζεται από τη θάλασσα, τις λίμνες και τα ποτάμια συμπυκνώνεται στα πιο ψυχρά στρώματα της ατμόσφαιρας. Όταν η συμπύκνωση γίνεται κοντά στην επιφάνεια της γης σχηματίζεται ομίχλη. Καθώς τα σύννεφα παρασύρονται από τους ανέμους, μεταφέρονται μεγάλες ποσότητες νερού. Το νερό «πέφτει» πάλι στην επιφάνεια της γης, ανάλογα με τις συνθήκες που επικρατούν, με τη μορφή βροχής, χιονιού ή χαλαζιού. Το νερό ρέει στο έδαφος και «επιστρέφει» μέσω των ποταμών στις λίμνες και στη θάλασσα. Οι ποσότητες του νερού που απορροφούνται από το έδαφος σχηματίζουν τα αποθέματα των υπόγειων νερών. Τα υπόγεια νερά, όταν βρουν διέξοδο, αναβλύζουν από το έδαφος σχηματίζοντας πηγές. Το νερό που αναβλύζει από τις πηγές ρέει στο έδαφος, καταλήγοντας πάλι στα ποτάμια, στις λίμνες και στη θάλασσα (Αποστολάκης κ.ά. 2002).

Καθώς οι περισσότερες ουσίες στη φύση συναντώνται σε μία φυσική κατάσταση, πολλοί μαθητές δυσκολεύονται να κατανοήσουν ότι όλα τα σώματα μπορούν να υπάρξουν και στις τρεις φυσικές καταστάσεις, ανάλογα με τις συνθήκες που επικρατούν. Δυσκολεύονται να κατανοήσουν ότι ακόμη και το ατσάλι, για παράδειγμα, μπορεί να βρίσκεται σε αέρια φυσική κατάσταση, αν η θερμοκρασία είναι πάρα πολύ υψηλή.

### Η Σύσταση της Ύλης

Η σύγχρονη ατομική θεωρία περιγράφει τα υλικά σώματα και τους μετασχηματισμούς τους στο μικροσκοπικό επίπεδο με τη βοήθεια ατόμων και μορίων. Η ονοματολογία που χρησιμοποιείται σήμερα είναι βασισμένη στη μοριακή δομή των σωμάτων. Οι τρεις φυσικές καταστάσεις περιγράφονται με τη βοήθεια των μορίων και οι διαφορές μεταξύ τους στηρίζονται στη διαφορά των ελκτικών δυνάμεων ανάμεσα στα μόρια. Οι επιστήμονες καταβάλουν μεγάλη προσπάθεια για τη σύνδεση των δύο προσεγγίσεων της ύλης (μακροσκοπική – μικροσκοπική), αφού ο συνδυασμός αυτός μπορεί να προσφέρει μια ολοκληρωμένη εικόνα για την εξήγηση της ύλης και των μεταβολών της.

Το μόριο είναι το μικρότερο σωματίδιο της ύλης ενός στοιχείου ή μιας χημικής ένωσης που μπορεί να υπάρχει σε ελεύθερη κατάσταση και το οποίο διατηρεί τις ιδιότητες του σώματος. Τα μόρια των στοιχείων αποτελούνται από όμοια άτομα (πχ. υδρογόνο  $H_2$ , οξυγόνο  $O_2$  κτλ.), ενώ τα μόρια των χημικών ενώσεων αποτελούνται από διαφορετικά άτομα (πχ. νερό  $H_2O$ , θειικό οξύ  $H_2SO_4$  κτλ.). Το άτομο είναι το μικρότερο σωματίδιο της ύλης ενός στοιχείου που μπορεί να πάρει μέρος στο σχηματισμό χημικών ενώσεων και το οποίο παραμένει αναλλοίωτο κατά τις χημικές αντιδράσεις (πχ. νάτριο Na, ασβέστιο Ca, ήλιο He κτλ.).

Ο αριθμός των ατόμων που αποτελούν το μόριο ενός στοιχείου λέγεται ατομικότητα του στοιχείου. Τα γνωστά μέχρι σήμερα χημικά στοιχεία είναι 118. Από αυτά τα 88 βρέθηκαν στη φύση και τα υπόλοιπα είναι τεχνητά. Σήμερα γνωρίζουμε ότι τα άτομα αποτελούνται από μικρότερα σωματίδια, τα πρωτόνια, τα νετρόνια και τα ηλεκτρόνια. Τα πρωτόνια και τα νετρόνια αποτελούν τον πυρήνα του ατόμου –μια θετικά φορτισμένη, πολύ μικρή, περιοχή στην οποία περιέχεται σχεδόν ολόκληρη η μάζα του ατόμου– ενώ τα ηλεκτρόνια κινούνται γύρω από αυτόν σε διάφορες περιοχές και σε πολύ μεγάλες σχετικά αποστάσεις. Τα πρωτόνια φέρουν το στοιχειώδες θετικό φορτίο (+1). Τα νετρόνια έχουν την ίδια περίπου μάζα με τα πρωτόνια, αλλά δεν έχουν ηλεκτρικό φορτίο (ουδέτερα σωματίδια). Τα ηλεκτρόνια φέρουν το στοιχειώδες αρνητικό φορτίο (-1) και η μάζα τους είναι 1836 φορές μικρότερη από τη μάζα του πρωτονίου (Φρασσαρη κά. 1994). Ο Rutherford για να δικαιολογήσει την ηλεκτρική ουδετερότητα του ατόμου υποστήριξε ότι το αρνητικό φορτίο των περιφερόμενων

ηλεκτρονίων είναι ίσο σε απόλυτη τιμή με το θετικό φορτίο του πυρήνα (δηλαδή ο αριθμός των πρωτονίων είναι ίσος με τον αριθμό των ηλεκτρονίων). Η σύγχρονη άποψη για τη δομή του ατόμου δέχεται ότι το ηλεκτρόνιο έχει διπλή υπόσταση: είναι υλικό σωματίδιο αλλά και σωματίδιο με κυματικό χαρακτήρα. Σύμφωνα με την αρχή της απροσδιοριστίας του Heisenberg είναι αδύνατο να προσδιορίσουμε με ακρίβεια ταυτόχρονα τη θέση και την ταχύτητα ενός ηλεκτρονίου. Μπορούμε να υπολογίσουμε μόνο την πιθανότητα της παρουσίας του σε δοσμένο σημείο του χώρου του ατόμου (ατομικό τροχιακό).

Τα άτομα και τα μόρια είναι τόσο μικρά που δεν είναι δυνατόν να τα δούμε ούτε με γυμνό μάτι, αλλά ούτε και με τα συνηθισμένα μικροσκόπια. Μόλις στις αρχές της δεκαετίας του 1970 μπορέσαμε με τη βοήθεια της ηλεκτρονικής μικροσκοπίας σάρωσης (scanning electron microscopy) να φωτογραφίσουμε τα πρώτα άτομα. Σήμερα, με μια νέα σειρά μικροσκοπιών τύπου STM (scanning tunneling microscope – σαρωτικό μικροσκόπιο σήραγγας), μπορούμε να έχουμε κάποιες εικόνες ατόμων και μορίων (Γεωργιάδου κά 2002).

Η σύγχρονη επιστήμη αποδίδει την "αρχή" και την "κίνηση των πάντων" στην ενέργεια, θεωρεί δε (έως σήμερα) ως πρωταρχικές και άτμητες / αδιαίρετες μικροσκοπικές / στοιχειώδεις δομές 12 "στοιχειώδη σωματίδια", υποθέτει, όμως, ως στοιχειώδη δομή ένα μοναδικό ά-τομο σωματίδιο, την "υπερχορδή". Οι πρωταρχικές δομές, τα 12 στοιχειώδη σωματίδια της σύγχρονης επιστήμης είναι 6 λεπτόνια ( $e, \mu, \tau, \nu_e, \nu_\mu, \nu_\tau$ ) και 6 quarks ( $u, d, c, s, t, b$ ). Τα σωματίδια αυτά αποτέλεσαν το υλικό σύμπαν τις πρώτες στιγμές της δημιουργίας από το μετασχηματισμό μιας ασύλληπτης ποσότητας ενέργειας σε μάζα. Όλα τα σωματίδια του μικρόκοσμου που συγκροτούν τα διάφορα σώματα αλληλεπιδρούν μεταξύ τους, ασκούν ελκτικές και απωστικές δυνάμεις το ένα στο άλλο και αυτές οι δυνάμεις τα «δεσμεύουν» μεταξύ τους, ώστε να σχηματίζουν μεγαλύτερες ομάδες σωματιδίων και, τελικά, τα διάφορα σώματα (Καλκάνης 2007). Στη φύση έχουν εντοπισθεί τέσσερις θεμελιώδεις δυνάμεις: οι βαρυτικές, που ασκούνται μεταξύ σωμάτων που έχουν μάζα και είναι πάντοτε ελκτικές, οι ηλεκτρομαγνητικές, που ασκούνται μεταξύ σωμάτων που έχουν ηλεκτρικά φορτία και είναι άλλοτε ελκτικές και άλλοτε απωστικές, οι ασθενείς και οι ισχυρές. Οι δύο τελευταίες δυνάμεις επικρατούν των άλλων σε πολύ μικρές αποστάσεις, στο εσωτερικό των πυρήνων (γι' αυτό ονομάζονται και πυρηνικές δυνάμεις), ενώ είναι αμελητέες σε μεγαλύτερες αποστάσεις. Οι ηλεκτρομαγνητικές δυνάμεις εμφανίζονται με δύο εκφάνσεις, ως ηλεκτρικές και ως μαγνητικές, έχουν όμως και οι δύο κοινή «πηγή» το ηλεκτρικό φορτίο. Σύμφωνα με τις Θεωρίες Μεγάλης Ενοποίησης της σύγχρονης φυσικής, οι τέσσερις δυνάμεις είναι εκφάνσεις της μίας και μοναδικής, ενοποιημένης δύναμης των πρώτων στιγμών της δημιουργίας του κόσμου μας, μετά τη Μεγάλη Έκρηξη.

Τα μόρια των σωμάτων βρίσκονται πάντα σε απόσταση μεταξύ τους. Στον μικρόκοσμο δεν έχει έννοια ο όρος «επαφή». Επίσης, όλα τα σωματίδια του μικρόκοσμου κινούνται συνεχώς. Τα quarks, τα πρωτόνια, και νετρόνια, οι πυρήνες και τα ηλεκτρόνια, τα άτομα και τα μόρια κινούνται συνεχώς και με μεγάλες ταχύτητες, συγκροτώντας μεγαλύτερους σχηματισμούς. Η κίνηση αυτή των σωματιδίων οφείλεται στην κινητική ενέργεια που έχουν από τη μεγάλη έκρηξη, τη στιγμή δηλαδή της δημιουργίας του σύμπαντος, όταν ένα μέρος μιας τρομακτικά μεγάλης ποσότητας ενέργειας μεταμορφώθηκε σε μάζα, ενώ η υπόλοιπη ενέργεια κινεί έως σήμερα το σύμπαν. Σύμφωνα με την αρχή της διατήρησης της ενέργειας, η ενέργεια μεταμορφώνεται ή/και μετακινείται συνεχώς, χωρίς να δημιουργείται ή να εξαφανίζεται, δηλαδή διατηρείται. Η κίνηση των σωματιδίων χαρακτηρίζεται ως άτακτη, αφού γίνεται ισοπίθανα προς όλες τις κατευθύνσεις. Ειδικά οι συνεχείς και άτακτες κινήσεις των σωματιδίων χαρακτηρίζονται ως θερμικές κινήσεις, αφού μακροσκοπικά αποδίδονται στο φυσικό μέγεθος θερμοκρασία. (Τη θερμοκρασία των σωμάτων διαμορφώνουν κυρίως οι θερμικές κινήσεις των μορίων). Αν αρχίσουμε να μειώνουμε τη θερμοκρασία ενός σώματος, στην πραγματικότητα μειώνουμε την κινητική ενέργεια των σωματιδίων που το συγκροτούν. Επειδή αυτή εξαρτάται από την ταχύτητά τους, αυτό σημαίνει ότι μειώνουμε την ταχύτητά τους (Αποστολάκης κά 2002).

Υπό την επίδραση των ισχυρών αλληλεπιδράσεων, u και d quarks συνθέτουν πρωτόνια και νετρόνια, αλλά και υπό την επίδραση επίσης των ισχυρών αλληλεπιδράσεων, πρωτόνια και νετρόνια συνθέτουν συγκροτήματα σωματιδίων που καλούμε πυρήνες. Η διασύνδεση των πρωτονίων και νετρονίων για τη συγκρότηση πυρήνων δικαιολογείται ενεργειακά από το γεγονός ότι το άθροισμα των ενεργειών των επιμέρους πρωτονίων και νετρονίων είναι μεγαλύτερο από την ενέργεια του αντίστοιχου πυρήνα. Όσον αφορά στο λόγο ύπαρξης νετρονίων στο εσωτερικό των πυρήνων, μπορούμε να πούμε πως όταν αυξάνεται πολύ ο αριθμός των θετικών πρωτονίων στο εσωτερικό ενός πυρήνα (άρα και ο όγκος του), οι ηλεκτρομαγνητικές απωστικές δυνάμεις είναι δυνατόν να υπερνικήσουν τις ελκτικές ισχυρές (έχοντας μεγαλύτερη εμβέλεια), πράγμα που αποφεύγεται αν συγχρόνως αυξηθεί και ο αριθμός των ουδέτερων νετρονίων, που παρεμβαλλόμενα μεταξύ των θετικών πρωτονίων συμβάλλουν στην ενίσχυση των ελκτικών ισχυρών δυνάμεων αλλά όχι και των απωστικών ηλεκτρομαγνητικών (Καλκάνης 2007). Δεν πρέπει να ξεχνάμε ότι τόσο τα quarks όσο και τα πρωτόνια και νετρόνια, αλλά και οι πυρήνες δε σταματούν ούτε στιγμή την αέναη κίνησή τους, την οποία θα μπορούσαμε να φανταστούμε ως ένα στροβιλισμό στο εσωτερικό των συνθετότερων σχηματισμών. Γι'αυτό το λόγο, αλλά και γιατί ούτως ή άλλως δε μπορούμε, βάσει της αρχής της απροσδιοριστίας του Heisenberg, να προσδιορίσουμε με ακρίβεια κάθε



χρονική στιγμή τη θέση των ταχύτατα κινούμενων αυτών σωματιδίων, δε σχεδιάζουμε τα ίδια τα σωματίδια, αλλά τις πιθανές στροβιλώδεις τροχιές τους ή γραμμοσκιάζουμε εν είδη νέφους τις περιοχές όπου έχουν τη μεγαλύτερη πιθανότητα να βρίσκονται κάθε στιγμή. Επιπλέον, δεν υπάρχει κάποιο υλικό εν είδη «μεμβράνης», που να οριοθετεί τα σύνθετα σωματίδια, όπως εσφαλμένα δημιουργείται η εντύπωση από την -καλλιτεχνική- σχεδίαση ή παράσταση των σύνθετων σωματιδίων και πυρήνων ως σφαιριδίων (Καλκάνης 2007).

Το άτομο συγκροτείται από τον πυρήνα και ένα ή περισσότερα ηλεκτρόνια. Τα ηλεκτρόνια «στροβιλίζονται» συνήθως γύρω από τους (πολύ μεγαλύτερους και βαρύτερους) πυρήνες των ατόμων. Οι θετικά φορτισμένοι (λόγω πρωτονίων) πυρήνες έλκουν υπό την επίδραση των ηλεκτρομαγνητικών δυνάμεων τα (πάντοτε κινούμενα) αρνητικά φορτισμένα ηλεκτρόνια. Ισάριθμα με τα πρωτόνια των πυρήνων ηλεκτρόνια (τα ηλεκτρικά φορτία των πρωτονίων και ηλεκτρονίων είναι κατά μέτρο ίσα) δεσμεύονται σε τροχιές περιφοράς περί τους πυρήνες και συνθέτουν τα άτομα. Δύο άτομα που πλησιάζουν μεταξύ τους αλληλεπιδρούν ηλεκτρομαγνητικά, τόσο με ελκτικές δυνάμεις όσο και με απωστικές. (Πράγματι, οι ισχυρές και ασθενείς αλληλεπιδράσεις δεν έχουν εμβέλεια πέρα από το εσωτερικό του πυρήνα και οι βαρυτικές αλληλεπιδράσεις είναι αμελητέες στο μικρόκοσμο, επομένως οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των ατόμων δε μπορεί παρά να είναι ηλεκτρομαγνητικές, ελκτικές και απωστικές). *Ελκτικές* είναι οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ ετερόσημων φορτίων. Οι θετικοί πυρήνες κάθε ατόμου έλκουν τα αρνητικά ηλεκτρόνια που περιστρέφονται γύρω τους αλλά και τα αρνητικά ηλεκτρόνια άλλων ατόμων. Τα αρνητικά ηλεκτρόνια κάθε ατόμου έλκουν τους πυρήνες γύρω από τους οποίους περιστρέφονται, αλλά και τους πυρήνες άλλων ατόμων. *Απωστικές* είναι οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ ομόσημων φορτίων. Οι πυρήνες των ατόμων απωθούνται μεταξύ τους, όπως και τα ηλεκτρόνια των ατόμων. Όταν δύο άτομα κινούμενα «τυχαία» βρεθούν στην περιοχή δράσης των –μεταξύ τους– ηλεκτρομαγνητικών δυνάμεων, τότε υποθέτουμε ότι υφίστανται αμοιβαία ελκτικές και απωστικές δυνάμεις. Έτσι ερμηνεύεται το γεγονός ότι στις περισσότερες περιπτώσεις τα άτομα προσεγγίζουν το ένα το άλλο και «ισορροπούν» αλληλοπαγιδευόμενα σε κάποια απόσταση (όπου βέβαια θα πρέπει να έχουμε αλληλοαναίρεση, άρα και ισότητα κατά μέτρο, των μεταξύ τους ελκτικών και απωστικών δυνάμεων). Συγκροτείται έτσι ένα μόριο. Η συγκρότηση των μορίων δικαιολογείται και ενεργειακά, αφού στη θέση ισορροπίας των ατόμων η δυναμική ενέργειά τους, δηλαδή η ενέργεια του μορίου, είναι μικρότερη του αθροίσματος της ενέργειας των δύο ατόμων χωριστά. Η τάση των σωματιδίων της ύλης για διασύνδεση σε συνθετότερους σχηματισμούς δε σταματά στη συγκρότηση των ατόμων από quarks και λεπτόνια και στο σχηματισμό μορίων από άτομα. Και τα άτομα και τα μόρια διασυνδέονται μεταξύ τους και

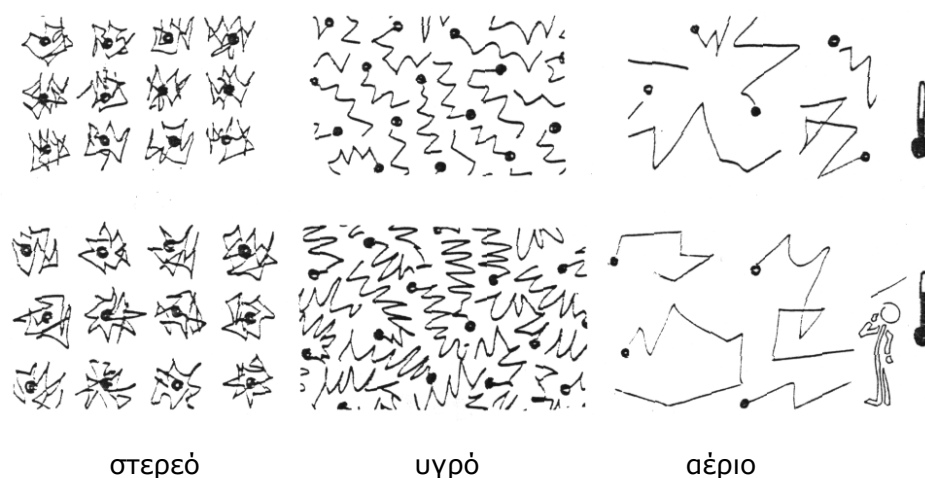
σχηματίζουν τα υλικά σώματα του μακρόκοσμου, τα οποία διακρίνουμε σε στερεά, υγρά και αέρια (Καλκάνης 2007).

Στερεά σώματα: Τα μόρια συγκροτούν στερεά σώματα όταν αυτοδεσμεύονται, «παγιδεύονται» σε σταθερές ή μόνιμες μεταξύ τους θέσεις. Τις θέσεις αυτές τις χαρακτηρίζουμε σταθερές αν και τα μόρια δεν παραμένουν ακίνητα σε αυτές λόγω της κινητικής τους ενέργειας, που τα υποχρεώνει στις γνωστές μας άτακτες (ή θερμικές) μικροκινήσεις τους. Παρόλες όμως τις μικροκινήσεις τους, οι ελκτικές και απωστικές ηλεκτρομαγνητικές δυνάμεις με τις οποίες τα δεσμευμένα μόρια αλληλεπιδρούν δεν τους επιτρέπουν να εγκαταλείψουν αυτές τις θέσεις. Σε αυτές τις θέσεις οι μεταξύ τους ελκτικές και απωστικές δυνάμεις από απόσταση είναι ίσες (θέσεις ισοδυναμίας). Κάθε απομάκρυνσή τους από αυτές (λόγω των θερμικών τους κινήσεων) καθιστά τις ελκτικές και απωστικές δυνάμεις άνισες. Η συνισταμένη τους τείνει τότε να επαναφέρει τα μόρια στις θέσεις ισοδυναμίας. Κινούνται, επομένως, συνεχώς σε καθορισμένες περιοχές, γύρω από τις θέσεις ισοδυναμίας. Έτσι συγκροτούνται τα σώματα που ονομάζουμε στερεά σώματα, σώματα δηλαδή με σταθερό όγκο και σχήμα.

Υγρά σώματα: Τα μόρια των σωμάτων που ονομάζουμε υγρά κινούνται το ένα κοντά στο άλλο, αλλά όχι σε καθορισμένες περιοχές. Δεν παγιδεύονται σε θέσεις όπου οι μεταξύ τους ελκτικές και απωστικές δυνάμεις είναι ίσες. Μετακινούνται το ένα ως προς το άλλο. Δεν απομακρύνονται όμως, αν δεν αναγκασθούν (με μικρές δυνάμεις που θα ασκήσουμε ή με θέρμανση). Παραμένουν συγκεντρωμένα σε κοιλότητες ή δοχεία (λόγω του βάρους τους) ή ρέουν (αν δεν εμποδιστούν) σε χαμηλότερες κοιλότητες ή δοχεία. Το κύριο μακροσκοπικό χαρακτηριστικό των υγρών είναι η αυθόρμητη ροή και συγκέντρωση τους στα κοντινότερα προς τη γη σημεία του βαρυτικού πεδίου της (ή των άλλων πλανητών) λόγω του βάρους τους. Άλλα μακροσκοπικά χαρακτηριστικά τους είναι ο σχεδόν σταθερός όγκος τους αλλά και το ευμετάβλητο του σχήματός τους, αφού έχουν τη δυνατότητα να ρέουν, άλλα ευκολότερα και άλλα δυσκολότερα.

Αέρια σώματα: Τα μόρια των σωμάτων που ονομάζουμε αέρια, κινούνται ελεύθερα, χωρίς και αυτά να παγιδεύονται σε θέσεις όπου οι μεταξύ τους ελκτικές και απωστικές δυνάμεις είναι ίσες, ούτε συγκεντρώνονται σε κοιλότητες ή δοχεία. Μετακινούνται το ένα ως προς το άλλο και διασκορπίζονται (αν δεν τα εμποδίσουμε, βάζοντάς τα σε κάποιο δοχείο) προς όλες τις κατευθύνσεις, αυθόρμητα χωρίς τη δική μας παρέμβαση. Κινούνται δηλαδή τυχαία προς όλες τις κατευθύνσεις έως ότου βρεθούν κοντά σε άλλα μόρια του αερίου (ή κάποιου άλλου σώματος) με τα οποία θα αλληλεπιδράσουν (ή θα «συγκρουστούν») και θα αλλάξουν κατεύθυνση. Τα κύρια μακροσκοπικά χαρακτηριστικά τους είναι ο μη σταθερός

όγκος τους και το ευμετάβλητο του σχήματος τους. Μάλιστα, αν αφεθούν σε απεριόριστο χώρο απομακρύνονται αυθόρμητα και διασκορπίζονται προς όλες τις κατευθύνσεις.



Οι κύριες παράμετροι που καθορίζουν τη μακροσκοπική κατάσταση των σωμάτων, άρα και τον τρόπο των μικροκινήσεων των μορίων σε κάθε περίπτωση, είναι τρεις: η θερμοκρασία των σωμάτων, το βαρυτικό πεδίο και η εξωτερική πίεση. Η κυριότερη παράμετρος είναι η θερμοκρασία. Μικροκινήσεις των μορίων με μεγάλες ταχύτητες (δηλαδή μεγάλες κινητικές ενέργειες, μεγάλη θερμοκρασία) είναι δυνατό να αποδεσμεύσουν τα μόρια ενός στερεού σώματος από τις σταθερές θέσεις ισοδυναμίας τους. Τότε το στερεό σώμα μετατρέπεται σε ρευστό (υγρό ή αέριο). Σε ποια από τις δύο καταστάσεις (την υγρή ή την αέρια) θα μετατραπεί το στερεό σώμα (στη δεδομένη θερμοκρασία) το καθορίζουν πλέον το βαρυτικό πεδίο και η εξωτερική πίεση. Το βάρος, δηλαδή η βαρυτική δύναμη που ασκεί η γη σε κάθε μόριο, υποχρεώνει τα μόρια να παραμείνουν συγκεντρωμένα κοντά στη γη, σε κοιλότητες ως υγρό, αν έχουν μεγάλη μάζα (επομένως ασκείται σε αυτά μεγάλη βαρυτική δύναμη) και αν οι ταχύτητές τους (δηλαδή η θερμοκρασία του σώματος) δεν είναι αρκετά μεγάλες ώστε να κινηθούν προς όλες τις κατευθύνσεις. Γι' αυτό το λόγο τα υγρά «ρέουν», ώστε να πλησιάζουν όσο το δυνατόν περισσότερο στη γη. Αντίθετα, τα μόρια με μικρότερη μάζα (επομένως και μικρότερο βάρος) και τις ίδιες ταχύτητες (θερμοκρασία) είναι δυνατό να ξεφύγουν και να κινηθούν προς όλες τις κατευθύνσεις ως αέριο. Εξωτερική πίεση είναι δυνατό να είναι η ατμοσφαιρική πίεση αν το σώμα είναι σε επαφή με την ατμόσφαιρα ή μια τεχνητή πίεση που δημιουργούμε σε κλειστό δοχείο με αέρα όπου έχουμε τοποθετήσει το σώμα. Μεγάλη πίεση εξωτερικά σημαίνει πολλά μόρια του αέρα και πολλές συγκρούσεις με τα μόρια του σώματος, όταν επιχειρούν να απομακρυνθούν από τα υπόλοιπα μόρια του σώματος. Όταν η εξωτερική πίεση είναι μεγάλη, είναι δυνατό (ακόμα και όταν η θερμοκρασία του σώματος είναι μεγάλη)

τα μόριά του να εμποδίζονται από τα μόρια του αέρα να κινηθούν προς όλες τις κατευθύνσεις και να παραμείνουν συγκεντρωμένα ως υγρό. Αντίθετα, όταν η εξωτερική πίεση είναι μικρή, τα μόρια του σώματος είναι δυνατό να κινηθούν ευκολότερα προς όλες τις κατευθύνσεις ως αέριο.

Είναι φανερό, λοιπόν, ότι η εμφάνιση ενός σώματος σε μία από τις τρεις φυσικές καταστάσεις (τη στερεή, την υγρή ή την αέρια) είναι συγκυριακή. Εξαρτάται από τη θερμοκρασία (κυρίως), αλλά και από τη βαρύτητα και την εξωτερική πίεση (για την υγρή και την αέρια κατάσταση κυρίως). Στο εργαστήριο μπορούμε να έχουμε ένα σώμα σε οποιαδήποτε από τις τρεις καταστάσεις, συνδυάζοντας κατάλληλα τις τρεις αυτές παραμέτρους. Για παράδειγμα, ακόμα και σε χαμηλές θερμοκρασίες ένα σώμα είναι δυνατό να είναι σε αέρια κατάσταση, αν έχουμε δημιουργήσει μικρό βαρυτικό πεδίο και μικρή εξωτερική πίεση. Αντίθετα ένα σώμα είναι δυνατό να είναι σε στερεή κατάσταση ακόμα και σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες, αν η εξωτερική πίεση είναι πολύ μεγάλη. Στην καθημερινή ζωή η κατάσταση ενός σώματος είναι σε συνάρτηση με τις κρατούσες κατά περιοχή και εποχή θερμοκρασίες (κυρίως), αλλά και από το βαρυτικό πεδίο και την ατμοσφαιρική πίεση στον πλανήτη μας. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι ότι οι κάτοικοι των τροπικών και εύκρατων περιοχών έχουν συνδέσει το νερό με την υγρή (κυρίως) κατάσταση, ενώ αντίθετα οι κάτοικοι των πολικών περιοχών με τη στερεή (κυρίως) κατάστασή του. Επίσης, είναι χαρακτηριστικό ότι το νερό μετατρέπεται σε υδρατμούς στη θερμοκρασία των 100 °C στο επίπεδο της θάλασσας, ενώ σε μεγάλα υψόμετρα, όπου η βαρύτητα και η ατμοσφαιρική πίεση είναι γενικά μικρότερες, το νερό μετατρέπεται σε αέριο σε χαμηλότερη θερμοκρασία. Στη σελήνη, όπου η βαρύτητα είναι πολύ μικρότερη από αυτή της γης, το νερό θα μετατρέποταν σε υδρατμούς σε πολύ χαμηλότερες θερμοκρασίες. Στο δεδομένο γήινο καθημερινό μας περιβάλλον, λοιπόν, τα σώματα που μας περιβάλλουν βρίσκονται ευκαιριακά και μόνο στην κατάσταση που βρίσκονται.

Ως θερμοκρασία ενός σώματος ορίζουμε το φυσικό μέγεθος που συνδέει τη μακροσκοπική αντίληψή μας περί ζεστού και κρύου με την κινητική ενέργεια των σωματιδίων που το συγκροτούν, ιδιαίτερα των μορίων, τα οποία κινούνται συνεχώς και άτακτα. Ως θερμική ενέργεια ενός σώματος ορίζουμε το άθροισμα της κινητικής ενέργειας όλων των σωματιδίων που το συγκροτούν. Αυτή η κινητική ενέργεια συντηρεί τη θερμική κίνηση των σωματιδίων. Ως θερμότητα ορίζουμε την ενέργεια που ρέει από ένα σώμα (ή σημείο σώματος) υψηλότερης θερμοκρασίας σε ένα άλλο σώμα (ή άλλο σημείο του ίδιου σώματος) με χαμηλότερη θερμοκρασία. Δηλαδή από εκεί όπου οι ταχύτητες των μορίων είναι μεγαλύτερες,

εκεί όπου οι ταχύτητες των μορίων είναι μικρότερες. Η ενέργεια αυτή ονομάζεται θερμότητα μόνο κατά τη διάρκεια της ροής (Αποστολάκης κά 2002).

### **Η Ύλη στα Σχολικά Εγχειρίδια**

Κατά τη διάρκεια της διδακτορικής διατριβής άλλαξαν με απόφαση του Υπουργείου Παιδείας τα περισσότερα βιβλία του δημοτικού και γυμνασίου, γι' αυτό και γίνεται αναφορά και στα παλαιότερα και στα νεότερα βιβλία του δημοτικού και της Α γυμνασίου, καθώς το δείγμα της έρευνας ήταν από αυτούς τους πληθυσμούς, εκτός από φοιτητές Πανεπιστημίου. Στο βιβλίο παλιό βιβλίο "Εμείς και ο κόσμος", Μελέτη του Περιβάλλοντος, της Α' Τάξης του Δημοτικού Σχολείου οι μαθητές διδάσκονται λίγες πληροφορίες για τον κύκλο του νερού στη φύση. Στη Γ' Δημοτικού, πάλι στο αντίστοιχο βιβλίο "Εμείς και ο κόσμος", Μελέτη του Περιβάλλοντος, διδάσκονται πάλι τον κύκλο του νερού στη φύση, καθώς και το πώς αλλάζει το νερό με τη θερμοκρασία. Στο βιβλίο "Εμείς και ο κόσμος", Μελέτη του Περιβάλλοντος της Δ' Δημοτικού υπάρχουν οι ενότητες ερευνούμε τα υλικά σώματα, πώς ξεχωρίζουμε τα υλικά σώματα, τα υλικά σώματα κινούνται, γιατί και πώς κινούνται τα υλικά σώματα και πώς φτάνει το νερό σπίτι μας (Γεωργοκόστας κά 1997, Καζάζη κά 1999, Γεωργόκωστας κά 2000).

Στο καινούριο βιβλίο «Μελέτη του Περιβάλλοντος», της Α' τάξης του Δημοτικού Σχολείου οι μαθητές διδάσκονται λίγες πληροφορίες για τα αντικείμενα από το περιβάλλον τους (από τι είναι φτιαγμένα και πόσα είδη υλικών υπάρχουν γύρω μας). Στη Β' τάξη διδάσκονται λίγες πληροφορίες για το νερό, τον κύκλο του νερού και το νερό στην καθημερινή ζωή, καθώς και για τους οργανισμούς και τα υλικά σώματα. Στην Δ' τάξη γίνεται μια συνοπτική αναφορά στα μείγματα και το διαχωρισμό τους, στον αέρα, στο νερό, στις τρεις καταστάσεις του και τις μετατροπές του (Πλακίτση κά 2011, Δημοπούλου κά, 2011, Κόκκοτας κά 2011).

Στο παλιότερο βιβλίο της Φυσικής για την Ε' Τάξη, "Ερευνώ και Ανακαλύπτω" (Αποστολάκης κά 2002), γίνεται αναφορά στον αέρα (πού υπάρχει αέρας, ιδιότητες του αέρα, από τι αποτελείται ο αέρας, ατμοσφαιρική ρύπανση) και το νερό (το νερό στη γη, πού χρησιμοποιούμε το νερό, πώς καθαρίζουμε το νερό, ρύπανση του νερού). Εκτενέστερη αναφορά στα σχετικά θέματα γίνεται στο βιβλίο της Στ' Δημοτικού, τόσο στο παλιό όσο και στο καινούριο. Στο παλιότερο βιβλίο "Ερευνώ και Ανακαλύπτω" για τη Στ' Τάξη (Αποστολάκης κά 2002), εξετάζονται οι έννοιες: θερμοκρασία-θερμότητα (ενέργεια, θερμότητα - θερμοκρασία, το θερμόμετρο, διάδοση θερμότητας με αγωγή, ρεύματα και ακτινοβολία, θερμαίνοντας και ψύχοντας το στερεά, θερμαίνοντας και ψύχοντας τα υγρά, μία εξαίρεση με μεγάλη σημασία για τη ζωή-το νερό, θερμαίνοντας και ψύχοντας τα αέρια),

στερεά–υγρά–αέρια (η φυσική κατάσταση των σωμάτων, τήξη και πήξη, εξάτμιση και υγροποίηση, βρασμός, ο κύκλος του νερού) και μείγματα (καθαρές ουσίες και μείγματα, διαλύματα, διαχωρίζουμε τα συστατικά των μειγμάτων).

Μια από τις κύριες διαφοροποιήσεις των νέων βιβλίων του Δημοτικού «ΦΥΣΙΚΑ – Ερευνώ και Ανακαλύπτω» (Αποστολάκης κά 2006) σε σχέση με τα παλαιότερα αφορά στην εισαγωγή και αξιοποίηση του μοντέλου του μικρόκοσμου για την ερμηνεία των φαινομένων του μακρόκοσμου. Επιχειρείται δηλαδή η μικροσκοπική προσέγγιση των φυσικών φαινομένων με απλές και σύντομες αναφορές στο πρότυπο του μικρόκοσμου (χωρίς τη χρήση μαθηματικών) ώστε να επιτευχθεί η –βέλτιστη δυνατή– ενοποίηση των θεματικών ενοτήτων και η ερμηνεία των μακροσκοπικών φαινομένων από τους μαθητές. Σύμφωνα με τα βιβλία αυτά, στην Ε΄ τάξη μελετώνται τα υλικά σώματα και οι ιδιότητές τους (μάζα, όγκος, πυκνότητα), τα μίγματα και τα διαλύματα, η θερμότητα και η θερμοκρασία και οι αλλαγές κατάστασης των σωμάτων (τήξη, πήξη, εξάτμιση, συμπύκνωση, βρασμός) καθώς και η διαστολή και συστολή στερεών, υγρών και αερίων σωμάτων. Στην Στ΄ τάξη μελετώνται οι τρόποι μετάδοσης της θερμότητας, τα έμβια-άβια και τα οξέα, βάσεις, άλατα.

Στην Α΄ Γυμνασίου, στο βιβλίο Χημείας, (Γεωργιάδου κά 2000), διδάσκονται οι ενότητες: τι είναι η Χημεία (φυσικό και ανθρωπογενές περιβάλλον, φυσικά φαινόμενα, χημικά φαινόμενα), η ύλη και οι καταστάσεις της (τι είναι ύλη, καταστάσεις της ύλης, μετατροπές καταστάσεων της ύλης), ιδιότητες της ύλης (χαρακτηριστικές ιδιότητες των υλικών, η μέτρηση των μεγεθών που χαρακτηρίζουν τις ιδιότητες της ύλης), χημικά στοιχεία, τα άτομα (μέγεθος ατόμων, υποατομικά σωματίδια, ηλεκτρόνια, πρωτόνια, νετρόνια, ηλεκτρικό φορτίο, ατομικός και μαζικός αριθμός, τα σύμβολα των χημικών στοιχείων, ιόντα), οι χημικές ενώσεις – καθαρότητα των χημικών ουσιών, τα μόρια – μοριακοί χημικοί τύποι, μείγματα (ομογενή-ετερογενή μείγματα, ιδιότητες μειγμάτων), διαλύματα (διάλυμα, διαλύτης, διαλυμένη ουσία, αραιά και πυκνά διαλύματα, τρόποι έκφρασης της περιεκτικότητας), διαχωρισμός μειγμάτων (κοσκίνισμα, εξάτμιση, μαγνητικός διαχωρισμός, διήθηση, φυγοκέντρηση, απόχυση, απόσταξη, κλασματική απόσταξη, χρωματογραφία), το νερό (ο κύκλος του νερού στη φύση, ιδιότητες του νερού, η διαλυτότητα των ουσιών στο νερό, βιομηχανική και καθημερινή χρήση του νερού, ο καθαρισμός του νερού, η ρύπανση των νερών). Όσον αφορά στη φυσική της Α΄ Γυμνασίου, μέχρι πρόσφατα δεν υπήρχε αυτό το μάθημα σε αυτή την τάξη και μόλις φέτος (2013) προστέθηκε μία ώρα φυσικής στην Α΄ Γυμνασίου, Η «Φυσική με Πειράματα» (Καλκάνης κά 2013) όπου προβλέπεται, μεταξύ άλλων, η μελέτη των εννοιών της θερμότητας, θερμοκρασίας και θερμικής ισορροπίας, των αλλαγών κατάστασης του νερού και της ανώμαλης διαστολής – συστολής του νερού.

## Εμπειρικές έρευνες για την ύλη

Οι απόψεις των μαθητών για την ύλη και τη δομή της έχουν αποτελέσει ένα από τα πρώτα θέματα στα οποία στράφηκε η επιστημονική έρευνα. Ο Piaget (1974) χρησιμοποίησε μια συσκευή απόσταξης για να ανιχνεύσει τις απόψεις των παιδιών για την εξάτμιση. Ζητήθηκε από τα παιδιά να εξηγήσουν το πέρασμα του υγρού από τη μια μεριά της συσκευής στην άλλη κατά τη διάρκεια της εξάτμισης και συμπύκνωσης. Ο Piaget βρήκε ότι τα παιδιά 5 ετών αρνήθηκαν ότι συνέβη οποιαδήποτε μεταφορά ύλης. Τα παιδιά 7-8 ετών παραδέχτηκαν ότι έγινε μεταφορά, χωρίς όμως να έχουν καμιά ιδέα για την εξάτμιση και τη συμπύκνωση. Τα παιδιά 9-10 ετών απάντησαν ότι υγρό πέρασε μέσα και έξω από τα μέρη της συσκευής, χωρίς να χρησιμοποιήσουν εξηγήσεις σχετικές με αλλαγή κατάστασης, κάτι που παρατηρήθηκε στην ηλικία των 11 ετών. Ο Piaget υποστήριξε ότι η καθυστέρηση σχηματισμού της σωματιδιακής θεωρίας είναι που καθιστά δύσκολη την κατανόηση της εξάτμισης (Κουκά 2000).

Επιπλέον, υπάρχει ένας σημαντικός αριθμός ερευνών που δείχνουν ότι οι μαθητές αντιμετωπίζουν ιδιαίτερες δυσκολίες στην κατανόηση του φαινομένου του βρασμού και της μεταβολής του νερού από την υγρή στην αέρια κατάσταση. Οι μαθητές συγχέουν τον υδρατμό με αέρα ή τα συστατικά του, οξυγόνο και υδρογόνο. Οι Osborne & Cosgrove (1983) έδειξαν ότι ακόμη και στην ηλικία των 17 ετών οι μαθητές δυσκολεύονται να κατανοήσουν ότι οι φυσαλίδες μέσα στο νερό που βράζει περιέχουν νερό σε αέρια κατάσταση. Ειδικότερα, μερικοί από τους μαθητές της έρευνάς τους πίστευαν ότι οι φυσαλίδες περιέχουν ζέστη, πολλοί ότι περιέχουν αέρα και οι περισσότεροι ότι περιέχουν είτε υδρογόνο και οξυγόνο είτε υδρατμό. Στην περίπτωση της εξάτμισης αρκετοί από τους μαθητές εξήγησαν τη μείωση του νερού με τη μετατροπή του σε υδρογόνο και οξυγόνο, ενώ η πλειοψηφία εξήγησε ότι μετατράπηκε σε κομματάκια νερού στον αέρα.

Ιδιαίτερα δύσκολη είναι η κατανόηση του νερού στην αέρια κατάσταση. Σε προ-έρευνα που διεξήγαγε ο Beveridge (1985) σε Άγγλους μαθητές 5, 7 και 9 ετών η εξήγηση που κυριάρχησε για τη μείωση του νερού που βράζει ήταν ότι το νερό μπήκε μέσα στην κατσαρόλα που το περιείχε. Μετά από διδακτική παρέμβαση, όπου έγινε προσπάθεια να δουν οι μαθητές ότι η κατσαρόλα δεν είναι διαπερατή και ότι υπάρχει νερό σε αέρια κατάσταση, ακολούθησε έρευνα όπου φάνηκε πως τα μαθήματα απέτυχαν να πείσουν τους μαθητές ότι η εξάτμιση του νερού και η μετατροπή του σε υδρατμό είναι η εξήγηση της μείωσης του νερού κατά το βρασμό.

Σχετικά με τις ιδέες των παιδιών για την ύλη έρευνες των Smith, Carey & Wiser (1985) έχουν δείξει ότι οι μαθητές στην ηλικία των 10 ετών πιστεύουν ότι η ύλη είναι ομογενής και συνεχής. Οι σωματιδιακές ιδέες εμφανίζονται σε μεγαλύτερους μαθητές, αλλά ακόμη και στις

περιπτώσεις που η ύλη εξηγείται με τη βοήθεια σωματιδίων, συχνά οι σωματιδιακές ιδέες των μαθητών δεν είναι σύμφωνες με τις επιστημονικές.

Η Bar (1989) ερευνήσε τις απόψεις 300 μαθητών (από το νηπιαγωγείο μέχρι το γυμνάσιο) για τον κύκλο του νερού και εξέτασε το κατά πόσο οι κατανοήσεις των εννοιών αυτών συσχετίζεται με την ηλικία και την έννοια της διατήρησης της ύλης. Κατέληξε στο συμπέρασμα ότι οι εξηγήσεις των παιδιών κατηγοριοποιούνται σε στάδια που εξαρτώνται από το επίπεδο κατανόησης της έννοιας της διατήρησης του νερού και του αέρα, καθώς και των εννοιών που σχετίζονται με την αλλαγή φάσης του νερού. Για την εξάτμιση του νερού, για παράδειγμα, ανίχνευσε τέσσερις απόψεις στις απαντήσεις των παιδιών: το νερό εξαφανίζεται, το νερό μπαίνει μέσα στο πάτωμα, το νερό εξατμίζεται μέσα σε κάποιο δοχείο και το νερό εξατμίζεται και σκορπίζεται στον αέρα.

Ο Dickenson (1987) προσπάθησε να διερευνήσει την προϋπάρχουσα γνώση των παιδιών και την ανάπτυξη της έννοιας του στερεού και του υγρού. Βρήκε ότι το νερό αποτελεί για τα παιδιά ηλικίας 4-9 ετών ένα πρότυπο υγρό που χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό των υγρών.

Οι Stavy και Stachel (1985) διερεύνησαν την εξέλιξη των ιδεών των παιδιών ηλικίας 5-12 ετών για τις έννοιες «υγρό» και «στερεό». Ζήτησαν από τα παιδιά να ορίσουν τι είναι στερεά και υγρά σώματα, να κατηγοριοποιήσουν ορισμένα σώματα σε στερεά και υγρά και να περιγράψουν τις ιδιότητες στερεών και υγρών. Τα παιδιά χρησιμοποίησαν διαφορετικά κριτήρια για την αναγνώριση των υγρών και των στερεών. Μπόρεσαν με επιτυχία να διακρίνουν τα υγρά σώματα και να τα χαρακτηρίσουν ως υγρά από πολύ νωρίς, εξαιτίας του νερού που λειτουργούσε ως πρότυπο και της ιδέας «όλα τα υγρά είναι φτιαγμένα από το νερό». Αντίθετα, για τα στερεά δεν υπήρχε τέτοιο παράδειγμα, με αποτέλεσμα τα παιδιά όλων των ηλικιών να κατατάσσουν σωστά τα σκληρά στερεά και κατά 50% τα μη σκληρά. Το υπόλοιπο 50% των παιδιών θεωρούσαν τα μη σκληρά στερεά ως ξεχωριστή κατηγορία. Τέλος, τις σκόνες τις κατέτασσαν λάθος τα παιδιά όλων των ηλικιών (είτε στα υγρά είτε σε μια ξεχωριστή ομάδα), ενώ ως ιδιότητες των υγρών ανέφεραν το ότι «χύνονται» και «μοιάζουν με το νερό». Οι ίδιοι ερευνητές (Stavy & Stachel 1985) παρατήρησαν ότι αν και η πλειοψηφία (80-96%) των παιδιών του δημοτικού σχολείου είπε ότι ένα λιωμένο κερί ήταν ακόμα κερί, το ποσοστό των παιδιών που θεωρούσε ότι το λιωμένο κερί είναι ακόμη εύφλεκτο ήταν πολύ χαμηλότερο. Πολλοί μαθητές είπαν ότι δεν ήταν εύφλεκτο επειδή τώρα ήταν νερό. Έτσι, αναρωτιέται κανείς τι σημαίνει για αυτά τα παιδιά το ότι "εξακολουθεί να είναι κερί" και γενικότερα η έννοια που έχουν για την ύλη. Επιπλέον, ένα ευρύ φάσμα των μελετών δείχνουν ότι η πλειοψηφία των μαθητών δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης δεν καταλαβαίνουν τη διατήρηση



της ταυτότητας της ύλης κατά την εξάτμιση, τη συμπύκνωση ή το βρασμό. Μια πιο πρόσφατη έρευνα των Johnson, Tymms & Roberts (2008) σε πάνω από 5000 μαθητές ηλικίας 11-14 ετών στην Αγγλία βρήκε μια πολύ υψηλή επικράτηση της άποψης ότι τα στερεά, υγρά και αέρια είναι τρεις τύποι της ύλης, παρά την κατανόηση ότι η ίδια ουσία μπορεί να είναι σε τρεις διαφορετικές μορφές Έτσι, οι αλλαγές φάσης του νερού μπορούν να θεωρηθούν ως μια αινιγματική εξαίρεση, και όχι ένας γενικός κανόνας.

Οι Bar και Travis (1991), ερεύνησαν επίσης τις απόψεις παιδιών για τη μεταβολή της κατάστασης των σωμάτων (βρασμός, εξάτμιση, υγροποίηση) και διαπίστωσαν ότι πολλά παιδιά έχουν απόψεις για τα παραπάνω φαινόμενα που διαφέρουν από τις επιστημονικές. Μια πιθανή αιτία, κατά τους παραπάνω ερευνητές, είναι η τάση των παιδιών να δίνουν συγκεκριμένες εξηγήσεις στα φαινόμενα που τους παρουσιάζονται, δηλαδή να χρησιμοποιούν συγκεκριμένες και όχι αφηρημένες έννοιες στις απαντήσεις τους, π.χ. "το νερό εισχωρεί στα στερεά". Άλλη πιθανή αιτία για τις λανθασμένες απαντήσεις των μαθητών στο ερωτηματολόγιο των πολλαπλών απαντήσεων που τους δόθηκε, είναι ότι μερικές λέξεις που χρησιμοποιούνται σ' αυτές φαίνονται περισσότερο επιστημονικές. Για το λόγο αυτό ένα μεγάλο ποσοστό παιδιών επιλέγει την απάντηση για την υγροποίηση "το κρύο προκάλεσε τη μεταβολή του υδρογόνου και του οξυγόνου σε νερό", ή για την εξάτμιση "το νερό μεταβλήθηκε σε οξυγόνο και υδρογόνο". Μία άλλη αιτία παρανόησης είναι και το γεγονός ότι η ενέργεια θεωρείται ότι έχει υλική υπόσταση. Έτσι "θερμότητα" υπάρχει μέσα στις φυσαλίδες κατά τον βρασμό ή το "κρύο" μπορεί να μεταβληθεί σε νερό. Οι μαθητές όταν χρησιμοποιούν τη σωματιδιακή φύση των σωμάτων, έχουν την τάση να θεωρούν τα σωματίδια αυτά όχι σαν αμετάβλητα, στις διάφορες μεταβολές που παθαίνει το σώμα μακροσκοπικά, αλλά τους προσδίνουν ιδιότητες ανάλογες με τις ιδιότητες του σώματος. Έτσι για παράδειγμα ακούγεται από μαθητές ότι "τα μόρια συστέλλονται ή διαστέλλονται.

Έρευνες των Nakhlem και Samarapungavan (1999) για τις σωματιδιακές ιδέες μαθητών ηλικίας 7-10 ετών σχετικά με τις ιδιότητες της ύλης στις 3 φυσικές καταστάσεις καθώς και τις μεταβολές της ύλης, έδειξαν ότι οι ιδέες των μαθητών μπορούν να ταξινομηθούν σε συνεχείς-μακροσκοπικές, μακροσκοπικές με σωματιδιακές απόψεις και μικροσωματιδιακές. Ακόμη και οι μαθητές με μικροσωματιδιακές ιδέες αδυνατούσαν να γενικεύσουν τις σωματιδιακές τους απόψεις στις 3 καταστάσεις της ύλης.

Σχετικά με την κατηγοριοποίηση των υλικών στις τρεις καταστάσεις (στερεή, υγρή, αέρια) οι έρευνες των Stavy (1988), Sere (1985) κ.α. συμπληρώθηκαν και επεκτάθηκαν από άλλες και όπως προκύπτει από την ανασκόπηση που παρατίθεται από τους Driver et al. (1994), είναι πια ευρύτερα αποδεκτό ότι οι μαθητές δυσκολεύονται να ταξινομήσουν σώματα σε

στερεά, υγρά και αέρια γιατί οι ιδέες τους για την ύλη διαθέτουν ορισμένα χαρακτηριστικά που τους δημιουργούν εμπόδια:

- Οι μαθητές θεωρούν ως "στερεά" τα σώματα εκείνα που είναι σκληρά, δεν αλλάζουν εύκολα σχήμα, δε σπάζουν εύκολα και γενικότερα είναι ανθεκτικά. Τα εύπλαστα ή εύθραυστα υλικά δεν εντάσσονται στα στερεά.
- Οι σκόνες και οι πούδρες, λόγω του χαρακτηριστικού τους να μεταφέρονται από δοχείο σε δοχείο "σαν να είναι υγρά", δεν εντάσσονται στα στερεά.
- Για τα υγρά το πρότυπο αναφοράς είναι το νερό και ειδικότερα η ρευστότητά του. Παχύρρευστα υγρά, όπως το μέλι, προβληματίζουν τους μαθητές όπως επίσης και οι σκόνες και οι πούδρες.
- Οι μαθητές διαφοροποιούν τις έννοιες "αέρας" και "αέριο", συσχετίζοντας την πρώτη με την ατμόσφαιρα και τη χρησιμότητα στη ζωή ή την καύση και τη δεύτερη με χημικά προϊόντα ή κινδύνους για τον άνθρωπο και το περιβάλλον. Επίσης, μαθητές μικρής ηλικίας θεωρούν ότι ο αέρας δεν είναι υλικό σώμα και ότι δεν έχει βάρος.
- Γενικός κανόνας των παιδιών είναι να θεωρούν τα υγρά ελαφρότερα από τα στερεά και τα αέρια ελαφρότερα από τα υγρά.

Επίσης, από έρευνες προέκυψε ότι οι μαθητές μπορούν με επιτυχία να διακρίνουν τα υγρά σώματα και να τα χαρακτηρίσουν ως υγρά από πολύ νωρίς εξ αιτίας του νερού που λειτουργεί ως παράδειγμα και της ιδέας που συνήθως χρησιμοποιούν ως κριτήριο ότι: "όλα τα υγρά είναι φτιαγμένα από το νερό". Αντίθετα, για τα στερεά σώματα δεν υπάρχει τέτοιο παράδειγμα, με αποτέλεσμα τα παιδιά να κατατάσσουν συνήθως σωστά τα σκληρά στερεά, ενώ υπάρχουν δυσκολίες στην κατάταξη των μη σκληρών στερεών, τα οποία πολλά παιδιά τοποθετούν σε ξεχωριστή κατηγορία.

Οι μαθητές αντιλαμβάνονται την ύλη συνεχή και χωρίς σωματίδια. Ακόμη και όταν αναφέρουν σωματίδια, αυτά έχουν περισσότερο χαρακτηριστικά και ιδιότητες του μακρόκοσμου, παρά του μικρόκοσμου. Στην ηλικία των 10-11 ετών έχουν διαμορφώσει την άποψη ότι η ταυτότητα των υλικών σωμάτων προσδιορίζεται από λίγες ιδιότητες και συχνά από τη φυσική τους κατάσταση.

Ειδικότερα για τις ιδέες των παιδιών για τη σωματιδιακή δομή της ύλης οι έρευνες φαίνεται να ξεκινούν με τους Novick and Nussbaum (1978, 1981). Στην αρχική τους έρευνα το 1978 χρησιμοποίησαν συνεντεύξεις τύπου Piaget για να μελετήσουν πώς αντιλαμβάνονται τη σωματιδιακή δομή της ύλης μαθητές της Β γυμνασίου. Η υπόθεσή τους βασίστηκε στο ότι για να εσωτερικεύσουν οι μαθητές το σωματιδιακό μοντέλο, πρέπει να υπερβούν τις άμεσες παρατηρήσεις τους που τους οδηγούν σε μια στατική και συνεχή μορφή της ύλης. Πρέπει

δηλαδή να τροποποιήσουν την προηγούμενη αφελή θεώρησή τους για τον φυσικό κόσμο ώστε να περιλαμβάνει τις επιστημονικές απόψεις. Η έρευνά τους έδειξε ότι το 70% των μαθητών θεωρούσαν ότι το αέριο αποτελείται από σωματίδια και ένα πολύ μικρότερο ποσοστό δεχόταν την ιδέα του κενού μεταξύ των σωματιδίων ή τη συνεχή κίνηση των σωματιδίων του αερίου. Αυτά τα αποτελέσματα έδειξαν ότι τα σημεία του σωματιδιακού μοντέλου που έρχονται περισσότερο σε σύγκρουση με την άμεση παρατήρηση είναι αυτά που παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη γνωστική δυσκολία και εσωτερικεύονται λιγότερο.

Το ερώτημα που απασχόλησε τους ερευνητές ήταν αν οι αντιλήψεις των μαθητών αλλάζουν καθώς διδάσκονται περισσότερο για το σωματιδιακό μοντέλο σε μεγαλύτερες τάξεις και αυτό οδήγησε σε μια νέα έρευνα το 1981, όπου επιχείρησαν να μελετήσουν τις αντιλήψεις των μαθητών για τη σωματιδιακή φύση της ύλης στην αέρια κατάσταση. Στόχος τους ήταν ένα ευρύτερο δείγμα μαθητών και για αυτό έφτιαξαν ένα γραπτό τεστ βασισμένο σε φαινόμενα, ένα απλό πείραμα ή μια κατάσταση όπου οι μαθητές καλούνταν να σχεδιάσουν, να γράψουν εξηγήσεις ή να διαλέξουν ανάμεσα σε δοσμένα σχέδια ή εξηγήσεις. Το δείγμα τους αποτέλεσαν 576 μαθητές δημοτικού, γυμνασίου, λυκείου και φοιτητές χωρίς ειδικευση στις φυσικές επιστήμες. Τα αποτελέσματα έδειξαν μια επιμονή των μαθητών στη θεώρηση της ύλης ως συνεχούς, παρότι τα έργα περιελάμβαναν σωματίδια και παρά τη διδασκαλία του μοντέλου της κινητικής θεωρία αερίων στο σχολείο. Σχετικά με την υδροποίηση του αερίου, το 70% των μαθητών γυμνασίου ανέφερε ότι τα σωματίδια πλησιάζουν μεταξύ τους στον πάτο ή στα τοιχώματα του δοχείου. Ένα μικρό ποσοστό (περίπου 10%) σε όλες τις βαθμίδες έφτιαξε συνεχή σχέδια του υγρού, παρότι τους δόθηκε σωματιδιακό σχέδιο για το αέριο πριν ψυχθεί. Ίσως γιατί μερικοί από αυτούς να θεωρούν ότι το σωματιδιακό μοντέλο ισχύει για τα αέρια μόνο και όχι για τα υγρά και τα στερεά, όπου η ύλη είναι συνεχής. Η έρευνα επίσης έδειξε ότι οι μαθητές δεν αποδέχονται το κενό ανάμεσα στα σωματίδια του αερίου. Το γεγονός ότι περισσότεροι από 60% των μεγαλύτερων μαθητών δεν δέχονται το κενό φανερώνει μια επίμονη και διαδεδομένη αντίληψη της ύλης ως συνεχούς μέσου.

Μεταγενέστερες έρευνες του Nussbaum (1985) σε μαθητές 15 ετών έδειξαν και πάλι ότι οι μαθητές δυσκολεύονται να κατανοήσουν τη σωματιδιακή κατάσταση της ύλης και πιστεύουν ότι η ύλη είναι συνεχής και στατική. Μεγάλη δυσκολία συνάντησαν οι μαθητές στην κατανόηση της έννοιας του κενού, της αένας κίνησης των σωμάτων και της αλληλεπίδρασης μεταξύ των σωματιδίων.

Οι Renstrom et al. (1990) σε έρευνά τους σε 20 μαθητές Γυμνασίου βρήκαν ότι οι ίδιοι συμμετέχοντες υιοθετούσαν διαφορετικές αντιλήψεις για την ύλη για διαφορετικά υλικά,

προβλήματα και καταστάσεις. Η κατανόησή τους για τη σωματιδιακή θεωρία ήταν πιο χαμηλή με τα σώματα στην αέρια κατάσταση.

Οι Griffiths και Preston (1992) σε έρευνά τους σε 30 μαθητές της Γ Λυκείου από 10 διαφορετικά σχολεία βρήκαν αρκετές παρανοήσεις, οι περισσότερες από τις οποίες σχετίζονται με την απόδοση μακροσκοπικών ιδιοτήτων στην ύλη και στα άτομα και μόρια της, όπως: τα άτομα στην αέρια κατάσταση είναι πιο ελαφριά από τα άτομα στη στερεή κατάσταση, η θέρμανση προκαλεί τη διαστολή των μορίων, τα μόρια είναι συμπαγείς σφαίρες. Άλλες παρανοήσεις που βρήκαν ήταν ότι τα άτομα είναι ζωντανά, τα άτομα έχουν το ίδιο βάρος, μεταξύ των ατόμων υπάρχει ύλη.

Ο Johnson (1998) σε μια τριετή έρευνα μελέτησε την ανάπτυξη της ιδέας 147 μαθητών ηλικίας 11 έως 14 ετών για τα υλικά σώματα. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι για τους περισσότερους μαθητές οι σωματιδιακές ιδέες παρέχουν το μέσο για να ξεκινήσουν να αποδέχονται ότι οι φυσαλίδες στο νερό που βράζει είναι νερό που έχει αλλάξει σε αέρια κατάσταση και υποστηρίζουν ότι το σωματιδιακό μοντέλο θα πρέπει να θεωρηθεί ως ένα μέσο για την αρχική καθιέρωση της δυνατότητας μιας ουσίας να βρίσκεται στην αέρια κατάσταση.

Οι Margel et al. σε έρευνά τους το 2001 σε 1300 μαθητές Γυμνασίου βρήκαν 3 βασικές ιδέες για τη δομή της ύλης: τα υλικά είναι συνεχή, τα υλικά αποτελούνται από σωματίδια και τα υλικά αποτελούνται από διάφορα μόρια. Παρατήρησαν μια μετάβαση από το συνεχές μοντέλο της ύλης στο μοριακό καθώς προχωρούν σε μεγαλύτερη τάξη.

Οι Williamson et al. (2004) σε έρευνά τους σε 1066 φοιτητές πανεπιστημίου με αντικείμενο μελέτης τις φυσικές επιστήμες βρήκαν ότι οι φοιτητές είχαν την τάση να χρησιμοποιούν την καθημερινή γλώσσα για την ερμηνεία χημικών φαινομένων, αντί να χρησιμοποιούν όρους όπως άτομα, μόρια και ιόντα και περίπου τα 2/5 των απαντήσεων των φοιτητών δεν περιελάμβαναν καθόλου όρους της σωματιδιακής θεωρίας, άσχετα από τον τύπο της ερώτησης.

Οι Nakhleh et al. (2005) μελέτησαν την ανάπτυξη της κατανόησης μαθητών γυμνασίου για της φύση της ύλης και τη σύγκριναν με την αντίστοιχη των μαθητών δημοτικού που είχαν βρει σε προηγούμενη έρευνά τους το 1999). Μέσω ημιδομημένης συνέντευξης μελέτησαν την κατανόησή τους για τη σύσταση και τη σωματιδιακή δομή μιας ποικιλίας υλικών, τη σχέση ανάμεσα στη σωματιδιακή δομή και μακροσκοπικές ιδιότητες όπως η ρευστότητα ή η ελατότητα, καθώς και διαδικασιών όπως η αλλαγή κατάστασης και η διάλυση. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι περισσότεροι μαθητές γυμνασίου που έδωσαν συνέντευξη γνώριζαν ότι η ύλη αποτελείται από άτομα και μόρια και μερικοί ήταν σε θέση να χρησιμοποιήσουν αυτή τη γνώση για να εξηγήσουν μερικές διαδικασίες όπως η αλλαγή

κατάστασης του νερού, σε αντίθεση με τους μαθητές του δημοτικού. Παρόλα αυτά, οι μαθητές του γυμνασίου δεν μπορούσαν να εξηγήσουν με συνέπεια τις ιδιότητες των υλικών ή διαδικασίες βάσει των γνώσεών τους για τη δομή της ύλης και παρουσίαζαν ιδέες κατακερματισμένες. Αυτός ο κατακερματισμός της γνώσης για την ύλη, μάλλον αντανακλά τη δυσκολία ενσωμάτωσης των επιστημονικών μικροσκοπικών γνώσεων που αποκτήθηκαν με την τυπική διδασκαλία στα μακροσκοπικά πλαίσια γνώσης των μαθητών.

Οι Cokelz, A., & Dumon, A. (2005) σε έρευνά τους σε 930 μαθητές των τριών τάξεων του Λυκείου βρήκαν ότι η πλειονότητα των μαθητών της Α τάξης και πολλοί της Β και Γ τάξης είχαν την αναπαράσταση του ατόμου ως απλής σφαίρας. Η χρήση του μοντέλου του ηλιακού συστήματος για το άτομο αυξήθηκε από την Α τάξη στη Γ, ενώ παρατηρήθηκε σύγχυση των όρων άτομο και μόριο, πρωτόνια, νετρόνια και ηλεκτρόνια, και ηλεκτρόνια και ιόντα.

Οι Liu & Lesniak (2006) σε έρευνά τους σε 54 μαθητές Δημοτικού, Γυμνασίου και Λυκείου βρήκαν ότι γενικά οι ιδέες των μαθητών πηγάζουν προοδευτικά από τις μακροσκοπικές στις σωματιδιακές. Όμως, ακόμη και οι μαθητές του Λυκείου δυσκολεύονται να διαφοροποιήσουν τα άτομα, τα μόρια και τα σωματίδια. Επίσης, οι αντιλήψεις των μαθητών για την ύλη ακολουθούν διαφορετική πορεία προόδου. Οι μαθητές ξεκινούν να συνειδητοποιούν ότι το νερό αποτελείται από μόρια στην Ε' τάξη, αλλά αυτή η πορεία εμφανίζεται μέχρι τη Β Γυμνασίου για το ξίδι ή τη σόδα.

Ο Boz (2006) μελέτησε 300 μαθητές ηλικίας από 12 έως 18 ετών σχετικά με την κατανόηση των αλλαγών κατάστασης στο σωματιδιακό επίπεδο. Χρησιμοποίησε ερωτηματολόγιο με ερωτήσεις για τη θέση και τις κινήσεις των σωματιδίων στα στερεά, υγρά και αέρια και με εφαρμογή των σωματιδιακών ιδεών για την ερμηνεία της αλλαγής κατάστασης. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι πολλοί μαθητές, ακόμα και οι μεγαλύτεροι, είχαν δυσκολίες να εφαρμόσουν τη σωματιδιακή θεωρία για να εξηγήσουν τις αλλαγές φάσης, παρά τη σχετική διδασκαλία.

Η Chiu (2007) σε μια έρευνα που έκανε σε 7000 μαθητές γυμνασίου και 3000 μαθητές λυκείου βρήκε ότι το 20% από αυτούς πίστευαν ότι τα σωματίδια υδρογόνου κατανέμονται στο πάνω μέρος του δοχείου, ενώ τα σωματίδια οξυγόνου βυθίζονται στον πάτο του δοχείου, λόγω διαφορετικού βάρους. Οι Liang et al. (2011) βρήκαν παρόμοια αποτελέσματα όταν οι περισσότεροι μαθητές γυμνασίου ανέφεραν ότι το βάρος των μορίων είναι ο βασικός παράγοντας που επηρεάζει την κατανομή των σωματιδίων του αερίου.

Οι Lofgren και Hellden (2009) πραγματοποίησαν μια δεκαετή διαχρονική έρευνα κατά την οποία μελέτησαν πώς εξελίσσεται η κατανόηση μαθητών (από την ηλικία των 7 μέχρι των

16 ετών) για τρεις καταστάσεις της ύλης. Η εισαγωγή της ιδέας της σωματιδιακής δομής της ύλης έγινε όταν οι μαθητές ήταν 7 ετών και μέσω συνεντεύξεων οι μαθητές καλούνταν να εξηγήσουν τη μεταμόρφωση της ύλης στα φύλλα που αφήνονται να πεθάνουν στο έδαφος, στο κάψιμο κεριών και σε ένα ποτήρι νερό με καπάκι. Στην ηλικία των 16 ετών λιγότεροι από το 1/5 των μαθητών χρησιμοποίησαν τις μοριακές ιδέες με επιστημονικά αποδεκτό τρόπο. Το γενικό συμπέρασμα της έρευνας ήταν ότι οι περισσότεροι μαθητές δε συνδέουν τη γνώση που αποκτούν στο σχολείο για τη σωματιδιακή δομή της ύλης με τις καθημερινές καταστάσεις. Αντιθέτως, φαίνονται ικανοί να χρησιμοποιούν ένα απλό σωματιδιακό μοντέλο και το μοντέλο μπορεί να τους βοηθήσει να κατανοήσουν τη μη ορατή αέρια κατάσταση.

Οι Adbo και Taber (2009) βρήκαν ότι το διδασκόμενο (στη Σουηδία) από τους δασκάλους και τα σχολικά βιβλία μοντέλο του ατόμου που προέρχεται από το μοντέλο του Bohr δίνει στους μαθητές μια εικόνα ενός δυσανάλογα μεγάλου και ακίνητου πυρήνα, δίνει έμφαση σε ένα πλανητικό μοντέλο του ατόμου και οδηγεί στις ιδέες της ακινησίας στη στερεή κατάσταση και του μοριακού σπασίματος κατά τις αλλαγές φάσης.

Οι Karatas et al. (2013), υποστηρίζουν ότι οι μαθητές αντιμετωπίζουν προβλήματα στην κατανόηση της έννοιας του κενού, όπως και της έννοιας της ρευστότητας, της ακαμψίας, της κίνησης των σωματιδίων και του σχηματισμού μειγμάτων. Επίσης, υποστηρίζουν ότι τα σημεία της σωματιδιακής θεωρίας για την ύλη που είναι λιγότερο κατανοητά είναι αυτά που είναι περισσότερο ασυνεπή με τις εμπειρικές παρατηρήσεις των μαθητών από τον κόσμο γύρω τους.

Οι μαθητές αντιμετωπίζουν δυσκολίες να κατανοήσουν την πληροφορία ότι τα υλικά σώματα, όπως για παράδειγμα το νερό, είναι χημικές ενώσεις και εκτός από τη μια κατάσταση (πχ. την υγρή) μπορούν να βρεθούν και στις άλλες (αέρια, στερεή). Η ιδέα ότι κάτω από ορισμένες συνθήκες το νερό βρίσκεται στην αέρια ή τη στερεή κατάσταση δεν είναι διαισθητική και δε συμφωνεί με την καθημερινή εμπειρία των μαθητών και για τα παιδιά είναι πιο δύσκολο να κατανοήσουν τον υδρατμό, ενώ αντίθετα η άποψη ότι το νερό είναι υγρό είναι προϊόν καθημερινής παρατήρησης.

Σύμφωνα με την έννοια που οι χημικοί αποδίδουν στον όρο το νερό είναι μια χημική ένωση που ορίζεται από το σύνολο των ιδιοτήτων του και του οποίου η φυσική κατάσταση εξαρτάται από τις συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας. Τα παιδιά όμως, χρησιμοποιώντας τις διαισθητικές απόψεις τους θεωρούν ότι το νερό είναι το φυσικό σώμα που βρίσκεται μόνο σε υγρή κατάσταση και δεν υπάρχει σε αέρια ή στερεή. Επομένως, ο απλοϊκός τρόπος με τον οποίο τα παιδιά αντιλαμβάνονται το νερό και γενικότερα τις χημικές ενώσεις έρχεται σε σύγκρουση με τον επιστημονικό και η αποδοχή από τη μεριά των μαθητών της επιστημονικής θεωρίας σημαίνει αλλαγές στις βασικές πεποιθήσεις τους (Κουκά 2000).

Όπως προκύπτει από τα παραπάνω, τα παιδιά διαθέτουν απόψεις για τα υλικά σώματα, οι οποίες είναι πολύ διαφορετικές από τις επιστημονικές. Σύμφωνα με την επιστημονική θεωρία, τα υλικά σώματα ορίζονται με τη βοήθεια της μάζας και του όγκου. Αυτός ο ορισμός των υλικών σωμάτων όμως δυσκολεύει τα παιδιά, αφού η έννοια της μάζας που διαθέτουν είναι συγκεχυμένη και δεν μπορεί να αποτελέσει ασφαλές κριτήριο για τον ορισμό της ύλης. Η στερεή-υγρή-αέρια κατάσταση της ύλης, οι ιδιότητές της ύλης και ο προσδιορισμός της ταυτότητας της ύλης μέσω αυτών δυσκολεύει επίσης τους μαθητές, καθώς συχνά πιστεύουν ότι οι ουσίες μπορούν να αλλάζουν ιδιότητες ενώ διατηρούν την ταυτότητά τους. Οι μαθητές για να ορίσουν τις ιδιότητες των ουσιών χρησιμοποιούν κριτήρια που βασίζονται στην εμπειρία τους, σε αντίθεση με τις επιστημονικές έννοιες, που είναι διανοητικές κατασκευές βασισμένες σε υποθέσεις πέρα από την άμεση εμπειρία (Κουκά 2000).

Οι Andersson B. (1990), Driver (1985) και Driver et al. (1994) υποστηρίζουν ότι οι απαντήσεις των μαθητών σε ερωτήσεις που αναφέρονται στις μεταβολές της ύλης συγκροτούν τις ακόλουθες κατηγορίες: *Ταυτολογίες*: Οι μαθητές δεν προβληματίζονται για το φαινόμενο στο οποίο αναφέρεται η ερώτηση και θεωρούν ότι «έτσι πάντα συμβαίνει». *Εξαφάνιση υλικού*: Όταν το υλικό παύει να είναι αισθητηριακά αντιληπτό (πχ. εξάτμιση), οι μαθητές απαντούν ότι το υλικό ή ένα μέρος του έχει εξαφανιστεί. *Μετάθεση υλικού*: Στην περίπτωση αυτή οι μαθητές εξηγούν την εμφάνιση μιας νέας ουσίας θεωρώντας ότι προέρχεται από το εσωτερικό κάποιας άλλης ουσίας από εκείνες που συμμετέχουν στην αντίδραση. Επίσης, σε περιπτώσεις όπως η εμφάνιση σταγόνων στο εξωτερικό ενός ποτηριού με κρύο νερό οι μαθητές θεωρούν ότι το νερό από το ποτήρι βγήκε στο εξωτερικό του ή ότι στην περίπτωση της εξάτμισης το υγρό μετατοπίστηκε (απορροφήθηκε) στο εσωτερικό της επιφάνειας του υλικού στην οποία είχε αρχικά τοποθετηθεί. *Τροποποίηση υλικού*: Οι μαθητές θεωρούν ότι το σώμα διατηρεί την ταυτότητά του (δηλαδή τα αισθητηριακά αντιληπτά χαρακτηριστικά με τα οποία το προσδιορίζουν και το διαφοροποιούν από άλλα) ενώ το φαινόμενο συνίσταται στην μετατροπή του σε άλλο σώμα. Για παράδειγμα, ο πάγος ή οι υδρατμοί κατά το βρασμό θεωρούνται ως τροποποιημένο νερό και όχι νερό στη στερεή ή αέρια κατάσταση. *Μεταλλαγή*: Η κατηγορία αυτή είναι περισσότερο συνηθισμένη στα χημικά φαινόμενα και με τον όρο δηλώνεται μια αλλαγή η οποία είναι ασύμβατη ή απαγορευμένη για τη Φυσική ή τη Χημεία. Για παράδειγμα, οι μαθητές πιστεύουν ότι κατά το βρασμό οι ατμοί περιέχουν οξυγόνο και υδρογόνο. *Φυσικό ή χημικό φαινόμενο*: Η διάκριση μεταξύ των δύο αυτών βασικών μεταβολών στην ύλη δεν είναι εύκολη για τους μαθητές, οι οποίοι χρησιμοποιούν για τη μεταξύ τους διάκριση διάφορα κριτήρια με ποικίλο βαθμό αποτελεσματικότητας.

Οι Σταυρίδου και Σολωμονίδου (1989) προσδιόρισαν ότι οι Έλληνες μαθητές που χρησιμοποιούν το κριτήριο της αντιστρεψιμότητας διαχωρίζουν με μεγαλύτερη επιτυχία τις δυο κατηγορίες φαινομένων απ'ό,τι εκείνοι που χρησιμοποιούν διάφορα άλλα κριτήρια.

Επιπλέον, η Χατζηνικήτα (1995) υποστηρίζει ότι οι μεταβολές που αναγνωρίζουν οι Έλληνες μαθητές ηλικίας 11-12 ετών σε μια ομάδα από κατάλληλα επιλεγμένα φυσικά και χημικά φαινόμενα είναι οι εξής. *Μεταβολές στη μορφή:* Οι αλλαγές που παρατηρούν οι μαθητές αναφέρονται σε αισθητηριακά αντιληπτά χαρακτηριστικά, όπως γεύση, χρώμα ή στη δυνατότητα να δουν την ουσία. Ακόμα και στην περίπτωση όπου οι μαθητές δεν βλέπουν την ουσία, είναι σίγουροι ότι αυτή υπάρχει. Οι μαθητές, ενώ θεωρούν ότι αλλάζουν ορισμένες ιδιότητες της ουσίας, πιστεύουν ότι η ύπαρξή της και η φύση της διατηρούνται αναλλοίωτες. *Μεταβολές στη θέση:* Οι μαθητές χρησιμοποιώντας ρήματα και λέξεις με τις οποίες προσδιορίζεται η κίνηση και η αλλαγή της θέσης περιγράφουν τις μεταβολές των θέσεων των ουσιών, το διασκορπισμό, τη βύθιση κ.ά. *Μεταβολές στη διάταξη:* Στην περίπτωση αυτή αλλάζει η διάταξη των ουσιών που συγκροτούν το σύστημα, ενώ η φύση των ουσιών ως ένα επίπεδο διατηρείται αναλλοίωτη. Οι μαθητές με λέξεις όπως «ενώθηκαν», «αναμείχθηκαν», «έγιναν ένα» περιγράφουν τις αλλαγές που εντάσσονται σε αυτή την κατηγορία. *Μεταβολές στη συγκρότηση:* Στο πλαίσιο αυτής της κατηγορίας μεταβολών αλλάζει η συγκρότηση της ουσίας σε ένα σύνολο μικροσκοπικών σωματιδίων, ενώ η ύπαρξή της και η φύση της διατηρούνται αναλλοίωτες. Έτσι, στην περίπτωση, για παράδειγμα, της διάλυσης του αλατιού οι μαθητές θεωρούν ότι τα στερεά υλικά διασπάρθηκαν ή διασκορπίστηκαν σε σκόνη ή πάρα πολύ μικρά κομματάκια που δεν μπορούν να δουν. Από την έρευνα της Χατζηνικήτα (1995), αλλά και από άλλες ανάλογες έρευνες προκύπτει ότι για τους μαθητές, «κατά τη μετάβαση των εξεταζόμενων συστημάτων από την αρχική στην τελική τους κατάσταση μπορεί να μεταβάλλεται η μορφή, η διάταξη, η θέση και η συγκρότηση των συστατικών τους, όχι όμως η ύπαρξη και η φύση τους, που διατηρούνται αναλλοίωτες».

Ο Brosnan (1990) υποστηρίζει ότι οι αιτίες που δρουν σε μια μεταβολή μπορούν να ταξινομηθούν ως εξής: *Αιτιώδεις παράγοντες:* οι αλλαγές που συνθέτουν μια μεταβολή γίνονται από τη δράση κάποιου παράγοντα πάνω σε κάποιον άλλο, όπως πχ. όταν οι μαθητές εξηγούν τη διάλυση μιας ουσίας στο νερό ως αποτέλεσμα της δράσης του νερού πάνω σ'αυτήν. Οι ουσίες που συγκροτούν το σύστημα διακρίνονται σε δραστικές και παθητικές και οι πρώτες προσδιορίζουν και την κατεύθυνση της μεταβολής. Συμπληρωματική προς αυτή την άμεση δράση μιας ουσίας πάνω σε μια άλλη είναι εκείνη στην οποία η ουσία δρα έμμεσα διευκολύνοντας τη συντέλεση της μεταβολής. *Μη Αιτιώδεις παράγοντες:* στις περιπτώσεις αυτές οι μαθητές θεωρούν ότι οι αιτίες δεν είναι εξωτερικές αλλά εγγενείς στις ουσίες που



εμπλέκονται στο φαινόμενο και ότι οι μεταβολές είναι απλά εκδήλωση αυτών των εγγενών ιδιοτήτων. Οι απόψεις αυτές παραπέμπουν στις αντίστοιχες του Αριστοτέλη, που υποστήριζε ότι οι αλλαγές και τα φαινόμενα γίνονται με τέτοιο τρόπο ώστε οι οντότητες που συγκροτούν τον κόσμο να βρεθούν στη φυσική γι'αυτές θέση ή κατάσταση. *Τελεολογία και ανιμισμός*: οι μαθητές θεωρούν ότι οι μεταβολές γίνονται για κάποιο σκοπό, όπως πχ. χρησιμότητα στον άνθρωπο ή ότι τα σώματα συμπεριφέρονται σαν να έχουν θέληση ή αντιδρούν στη δράση άλλων σωμάτων. Κυρίως οι μικρότεροι μαθητές χρησιμοποιούν φράσεις όπως «τα σώματα προσπαθούν να....., θέλουν να....., δε θέλουν να .....», ενώ οι μεγαλύτεροι αναγνωρίζουν ότι κάνουν μεταφορική χρήση των όρων αυτών.

Ο Βλάχος Ι. (1999) συνοψίζοντας τα ευρήματα αρκετών ερευνών για τον τρόπο με τον οποίο οι μαθητές αντιλαμβάνονται, περιγράφουν και ερμηνεύουν την ύλη, τις αλλαγές και τη δομή της, αναφέρει ότι για τους μαθητές κάτω των 14 ετών:

- Η ύλη είναι παθητική, συνεχής, με αισθητηριακά αντιληπτές ιδιότητες. Αυτές οι ιδιότητες συγκροτούν την «ταυτότητα» του σώματος, που σχετίζεται με την ύπαρξή του και τη συνέχεια της ύπαρξής του στις διάφορες αλλαγές.
- Οι αλλαγές ακολουθούν το σχήμα αίτιο → υποκείμενο → αποτέλεσμα. Ως αίτια αναζητούνται υλικά σώματα ή θεωρείται ότι αυτά ενυπάρχουν «φυσιολογικά» στα σώματα.
- Οι αλλαγές περιγράφονται ως μεταβολές θέσης, μορφής, διάταξης, συγκρότησης, αισθητηριακού ερεθίσματος.
- Η συνέχεια της ύπαρξης της ύλης στις μεταβολές εξασφαλίζεται με ερμηνευτικούς μηχανισμούς που μπορεί να αντιτίθενται στην επιστημονική άποψη.
- Η γλώσσα που χρησιμοποιείται για το μακρόκοσμο και οι μηχανισμοί δράσης του μακρόκοσμου αναφέρονται στο μικρόκοσμο αποδίδοντας μακρο-ιδιότητες στα σωματίδια.
- Τα αρχικά μοντέλα της ύλης είναι μακροσκοπικά, ενώ με την αύξηση της ηλικίας ή με τη διδασκαλία εξελίσσονται σε συνθετικά, όπου τα σωματίδια έχουν μακροσκοπικές ιδιότητες και συμπεριφορά ή είναι ενταγμένα σε ένα συνεχές από ύλη.
- Τα αρχικά εννοιολογικά πλαίσια των μαθητών δύσκολα τίθενται σε δοκιμασία, ιδιαίτερα για τα σωματίδια που δεν μπορούν να γίνουν αντικείμενα άμεσης παρατήρησης. Η αυθόρμητη αντίδραση των μαθητών στην επιστημονική άποψη είναι ο σχηματισμός μιας μεγάλης ποικιλίας συνθετικών μοντέλων και τέλος, το επιστημονικό μοντέλο δύσκολα γίνεται κτήμα των μαθητών.

Τέλος, από έρευνες έχει προκύψει ότι θέματα όπως η συνέχεια της ύλης, η διατήρηση της μάζας, η έννοια της ταυτότητας των υλικών, η εννοιολογική σύλληψη των σωματιδίων της ύλης ως μακροσκοπικών οντοτήτων σε πολύ μικρές διαστάσεις οντοτήτων που έχουν την ταυτότητα του σώματος από το οποίο προέρχονται, σχετίζονται με τις σημαντικότερες αλλαγές στην αρχική γνώση των παιδιών ή ότι αποτελούν τα σημαντικότερα εμπόδια για την ανάπτυξη της επιθυμητής γνώσης.

Η Κουκά (2000) ερεύνησε την ανάπτυξη της έννοιας του νερού ως χημικής ένωσης σε μαθητές Δημοτικού, Γυμνασίου και Λυκείου, από τους οποίους ζήτησε να ταυτοποιήσουν άχρωμο και διαυγή υγρά, να απαντήσουν αν διάφορα υγρά και στερεά σώματα περιέχουν υγρό, να ερμηνεύσουν το βρασμό και να εξηγήσουν τη σύσταση του νερού και του υδρατμού. Η έρευνα έδειξε ότι οι μικρότεροι μαθητές θεωρούν πως το νερό είναι αποκλειστικά υγρό και ότι δεν υπάρχει νερό σε αέρια κατάσταση. Αντιλαμβάνονται μακροσκοπικά το νερό σαν πρότυπο υγρό με ιδιότητες ότι είναι άχρωμο, διαυγές, άοσμο ή ότι «χύνεται». Οι μεγαλύτεροι μαθητές φαίνεται ότι κατανοούν το νερό επίσης ως υγρό, αλλά προσπαθούν να εξηγήσουν πως το περιεχόμενο του ατμού είναι επίσης νερό. Οι απαντήσεις των μαθητών που ήταν πλησιέστερες στην έννοια του νερού ως χημικής ένωσης είναι εκείνες κατά τις οποίες το νερό υφίσταται ως υγρό και ως αέριο και η σωματιδιακή σύσταση της ύλης προσφέρει το μηχανισμό της μετατροπής του νερού από υγρό σε αέριο.

Τα αποτελέσματα της έρευνας της Κουκά, από τα οποία αφορμάται και η πρώτη έρευνα της παρούσας διατριβής, υποστηρίζουν την άποψη ότι τα παιδιά σχηματίζουν ένα αρχικό επεξηγηματικό πλαίσιο για το νερό σύμφωνα με το οποίο το νερό είναι υγρό, η ταυτότητά του προσδιορίζεται από κάποιες φυσικές ιδιότητες και αυτή η ταυτότητα δεν αλλάζει. Αυτό το αρχικό επεξηγηματικό πλαίσιο μεταβάλλεται σταδιακά, μέσω της δημιουργίας συνθετικών μοντέλων, μέχρι να υιοθετηθεί το επιστημονικό μοντέλο. Η μελέτη των συνθετικών μοντέλων των μαθητών δείχνει ότι υπάρχει μια ακολουθία στην κατανόηση ορισμένων εννοιών που σχετίζονται με το νερό ως χημική ένωση. Για παράδειγμα, φαίνεται ότι οι μαθητές μαθαίνουν αρχικά ότι το νερό είναι ένα σώμα του οποίου η ταυτότητα μπορεί να προσδιοριστεί από το σύνολο των μακροσκοπικών του ιδιοτήτων και όχι επειδή είναι άχρωμο και διαυγές υγρό και στη συνέχεια κατανοούν ότι ο υδρατμός είναι επίσης νερό, σε αέρια όμως κατάσταση. Η εξήγηση του βρασμού ως διαδικασία μετατροπής του υγρού σε αέριο φαίνεται ότι εξαρτάται από την κατανόηση των δύο πρώτων. Για την τελική κατηγοριοποίηση των απαντήσεων των μαθητών τα βασικά κριτήρια που χρησιμοποιήθηκαν ήταν: ο μηχανισμός μετατροπής του νερού από υγρό σε αέριο και το μοντέλο περιγραφής της ύλης, δηλαδή μακροσκοπικό ή

μικροσκοπικό με τη βοήθεια σωματιδίων. Οι τελικές κατηγορίες απαντήσεων των μαθητών στις οποίες κατέληξε η Κουκά (2000) είναι:

- Το νερό / υγρό: Οι μαθητές αυτής της κατηγορίας πιστεύουν ότι νερό είναι όλα τα άχρωμα, διαυγή και άοσμα υγρά και πως υπάρχει νερό μόνο στα σώματα που είναι υγρά. Οι απόψεις που διατύπωσαν για την ύλη ήταν απλοϊκές. Για τις φυσαλίδες που υπάρχουν μέσα στο νερό που βράζει απάντησαν ότι περιέχουν ζέστη, αέρα ή κενό και θεωρούν ότι το νερό δεν μεταβάλλεται κατά το βρασμό.
- Το νερό / υγρό και σταγόνες νερού με αέρα: Και αυτοί οι μαθητές πιστεύουν ότι τα άχρωμα, διαυγή και άοσμα υγρά είναι νερό και πως υπάρχει νερό μόνο στα σώματα που είναι υγρά. Τοποθετούν «αέρα και λίγες σταγόνες νερού» μέσα στη φυσαλίδα και πιστεύουν ότι το νερό μεταβάλλεται κατά το βρασμό και μετατρέπεται σε ατμό, ο οποίος περιέχει αέρα και σταγόνες νερού. Δυσκολεύονται να εξηγήσουν τον τρόπο σχηματισμού των φυσαλίδων. Η άποψη των μαθητών αυτών για το νερό (ότι είναι μόνο υγρό) έρχεται σε αντίφαση με τη γνώση τους ότι ο ατμός περιέχει νερό και γι' αυτό, συνδυάζοντας τις δύο αυτές απόψεις, αναπτύσσουν έναν μηχανιστικό τρόπο δημιουργίας του ατμού με την κατάτμηση του νερού σε σταγόνες, οι οποίες, με τη βοήθεια του αέρα, σχηματίζουν τον ατμό.
- Το νερό / υγρό και κρυμμένο αέριο: Και αυτοί οι μαθητές πιστεύουν ότι τα άχρωμα, διαυγή και άοσμα υγρά είναι νερό και πως υπάρχει νερό μόνο στα σώματα που είναι υγρά. Δυσκολεύονται να κατανοήσουν τη σύσταση του νερού στις φυσαλίδες, αφού δέχονται ότι στις φυσαλίδες υπάρχει (κάτι σαν) νερό, όμως δε θεωρούν ότι το περιεχόμενο τους είναι ακριβώς ίδιο με το νερό. Τους λείπουν τα εννοιολογικά εκείνα εργαλεία που θα έκαναν δυνατή την κατανόηση της αέριας κατάστασης του νερού. Βασικό τους εμπόδιο παραμένει η άποψή τους ότι το νερό είναι υγρό και δεν υπάρχει νερό σε αέρια κατάσταση, καθώς και ο μακροσκοπικός τρόπος που αντιλαμβάνονται το νερό. Ξεπερνούν αυτά τα εμπόδια με τη λύση του κρυμμένου αερίου μέσα στο νερό. Με το βρασμό, απελευθερώνεται κάτι εν δυνάμει αέριο που βρίσκεται μέσα στο νερό, η αέρια φύση του νερού που βρίσκεται κρυμμένη μέσα στο υγρό, κι έτσι σχηματίζεται ο ατμός.
- Το διπλό νερό: Οι μαθητές αυτοί προσδιορίζουν την ταυτότητα του νερού με λίγες μακροσκοπικές ιδιότητες και πιστεύουν ότι νερό υπάρχει στα υγρά σώματα, ενώ μερικοί μαθητές δέχονται ότι υπάρχει και στα στερεά. Τοποθετούν νερό στον ατμό, αλλά δυσκολεύονται να περιγράψουν τη σύστασή του (μερικοί τοποθετούν νερό και αέρα, άλλοι «εξατμισμένο νερό» και άλλοι τα συστατικά του νερού δηλαδή υδρογόνο και οξυγόνο). Δε συσχετίζουν τις φυσαλίδες με τη δημιουργία του ατμού και μοιάζουν μπερδεμένοι σχετικά με το περιεχόμενο των φυσαλίδων, στις οποίες τοποθετούν κενό, ζέστη ή αέρα και δεν θεωρούν

ότι οι φυσαλίδες αποτελούν τον ενδιάμεσο κρίκο ανάμεσα στο νερό και τον ατμό. Για αυτούς τους μαθητές φαίνεται να υπάρχουν δύο είδη νερού, το υγρό και το «εξατμισμένο», χωρίς να αποτελεί ο βρασμός η διαδικασία μετατροπής του πρώτου στο δεύτερο.

- Το νερό ως οξυγόνο και υδρογόνο: Η κατηγορία αυτή υιοθετήθηκε από τους μεγαλύτερους μαθητές, οι οποίοι χρησιμοποιούν τα συστατικά του νερού για να εξηγήσουν τη σύσταση του νερού και του ατμού, καθώς και τη μετατροπή του νερού σε ατμό. Σε αυτή την κατηγορία εμφανίζονται περισσότερες χημικές πληροφορίες, οι οποίες όμως δεν είναι πάντοτε σύμφωνες με τις επιστημονικές. Δυσκολεύονται να κατανοήσουν το μηχανισμό δημιουργίας των φυσαλίδων από το νερό που βράζει και ατμού από τις φυσαλίδες. Οι περισσότεροι πιστεύουν ότι οι φυσαλίδες περιέχουν οξυγόνο και ο ατμός υδρογόνο και οξυγόνο, όπως το νερό.
- Το νερό / υδρατμός: Για τους μαθητές αυτούς η σωματιδιακή σύσταση του νερού αποτελεί το μηχανισμό μετάβασης του νερού από την υγρή στην αέρια κατάσταση. Εξηγούν δηλαδή τη σύσταση του νερού και του υδρατμού με τη βοήθεια μορίων του νερού, τα οποία αποτελούνται από δύο άτομα υδρογόνου και ένα άτομο οξυγόνου.

Οι μαθητές του Δημοτικού σχολείου εντάσσονται κυρίως στις τρεις πρώτες κατηγορίες του νερού, που είναι και οι πιο απλοϊκές, ενώ οι μαθητές του Γυμνασίου και του Λυκείου στις τρεις τελευταίες.

Τα αποτελέσματα της έρευνας της Κουκά (2000) συμφωνούν με τα αποτελέσματα προηγούμενων ερευνών και υποστηρίζουν ότι προς τα μέσα του δημοτικού σχολείου οι μαθητές έχουν σχηματίσει την πεποίθηση ότι το νερό είναι αποκλειστικά υγρό και ότι δεν υπάρχει νερό σε αέρια κατάσταση. Η έρευνα αυτή έδειξε ότι η διαδικασία της εννοιολογικής ανάπτυξης προχωράει μέσω συνθετικών μοντέλων στη σταδιακή διαμόρφωση μιας συνεχώς αναδιοργανωμένης έννοιας του νερού που είναι πιο κοντά στην επιστημονική. Οι συνθετικές κατηγορίες είναι αυτές όπου το νερό συνεχίζει μεν να γίνεται αντιληπτό αποκλειστικά ως υγρό, αλλά καταβάλλεται προσπάθεια από τους μαθητές να εξηγήσουν ότι και το περιεχόμενο του ατμού είναι με κάποιο τρόπο νερό. Η κατηγορία που πλησιάζει περισσότερο την επιστημονική άποψη είναι η κατηγορία του νερού / υδρατμού.

Η Κουκά (2000) υποστηρίζει ότι οι μικροί μαθητές, βάσει των παρατηρήσεών τους, διαχωρίζουν τα φυσικά σώματα σε κατηγορίες ανάλογα αν είναι στερεά, υγρά ή αέρια και νομίζουν ότι δεν υπάρχει δυνατότητα μετάβασης από τη μια κατηγορία στην άλλη, μάλιστα πιστεύουν ότι η φυσική κατάσταση των σωμάτων, την οποία και θεωρούν σταθερή, αποτελεί την ταυτότητα των σωμάτων και υποθέτει ότι η πεποίθησή τους αυτή επηρεάζει την αντίληψή τους ότι το νερό, το οποίο θεωρείται ο εκπρόσωπος των υγρών, είναι πάντοτε υγρό και δεν μπορεί να είναι αέριο. Υποστηρίζει επίσης ότι οι μικροί μαθητές διαμορφώνουν την πεποίθηση

ότι η ύλη είναι συνεχής και τα υλικά σώματα συνεχή, χωρίς σωματίδια τα οποία δε μεταβάλλονται και γι' αυτό υποθέτει ότι η πεποίθησή τους αυτή μπορεί να επηρεάζει την αντίληψή τους ότι το νερό είναι ένα σώμα συνεχές, το οποίο δε μεταβάλλεται.

Οι μαθητές διδάσκονται (από τις πρώτες τάξεις του δημοτικού και κυρίως στην Ε' και Στ' τάξη) ότι το νερό βρίσκεται στην υγρή, την αέρια και τη στερεή φυσική κατάσταση. Επίσης διδάσκονται τα φαινόμενα μετατροπής της μιας φυσικής κατάστασης στην άλλη, όπως για παράδειγμα το βρασμό. Αυτές οι πληροφορίες έρχονται σε αντίθεση με τις αρχικές ιδέες των μαθητών ότι η ταυτότητα των φυσικών σωμάτων δε μεταβάλλεται και οι μαθητές στην προσπάθειά τους να συμβιβάσουν την αρχική τους αντίληψη για το νερό μόνο ως υγρό με τις επιστημονικές απόψεις για το νερό ως χημική ένωση σχηματίζουν συνθετικά μοντέλα. Μια πιθανή λύση για την εξήγηση της δημιουργίας του ατμού είναι η κατάτμηση του νερού σε επιμέρους στοιχεία (σταγόνες), η οποία και αποτελεί μια πολύ σημαντική ιδέα προς την κατεύθυνση της υιοθέτησης σωματιδιακών. Μια άλλη πιθανή λύση για τη δημιουργία του ατμού είναι η ιδέα της απελευθέρωσης ενός ή περισσότερων αερίων από το νερό. Στην κατηγορία «νερό / υγρό και ατμός που αποτελείται από κρυμμένο αέριο», οι μαθητές διατηρούν την ιδέα ότι το νερό είναι αποκλειστικά υγρό, αλλά αλλάζουν την αρχική τους αντίληψη για τη σταθερότητα του νερού. Φαντάζονται ότι το νερό συνεχίζει μεν να μην αλλάζει, αλλά κατά το βρασμό γίνεται απελευθέρωση κρυμμένου στο υγρό αερίου. Στην κατηγορία «διπλό νερό» οι μαθητές αλλάζουν μόνο την αντίληψη για το νερό αποκλειστικά υγρό, αφού παραδέχονται ότι ο ατμός περιέχει ένα είδος νερού και διατηρούν την άποψή τους ότι το νερό δεν αλλάζει κατά το βρασμό, αλλά υφίσταται σε δυο μορφές, το υγρό και το «εξατμισμένο». Τέλος, στην κατηγορία «νερό ως οξυγόνο και υδρογόνο» οι μαθητές διατηρούν την αντίληψή τους περί νερού αποκλειστικά υγρού, εξηγούν όμως τη σύστασή του με τα συστατικά αέρια, όπως και τον ατμό, αλλάζοντας άποψη για τη σταθερότητα του νερού, αφού απαντούν ότι κατά το βρασμό παράγεται ο ατμός.

Μελετώντας την ιστορική εξέλιξη της επιστημονικής γνώσης για την ύλη και τη σύστασή της συνειδητοποιούμε ότι απαιτήθηκε πάρα πολύς χρόνος για να απορριφθεί η ιδέα ότι το νερό είναι συστατικό στοιχείο όλων των σωμάτων και να γίνει αποδεκτή η ιδέα πως το νερό είναι μια χημική ένωση. Επιπλέον, στη σύγχρονη επιστημονική θεωρία για την ύλη, οι έννοιες όπως χημική ένωση, ταυτότητα και ιδιότητες μιας χημικής ένωσης συνδέονται στενά μεταξύ τους με ένα εννοιολογικό πλέγμα, το οποίο δεν είναι μόνο πολύπλοκο, αλλά και απομακρυσμένο από την καθημερινή πραγματικότητα. Αλλά και μέσα από τη σωματιδιακή προσέγγιση της ύλης φαίνεται ότι η κατανόηση του νερού ως χημικής ένωσης είναι δύσκολη υπόθεση. Ακόμη και τα απλούστερα από τα ατομικά μοντέλα είναι απομακρυσμένα από την άμεση εμπειρία και οικοδομούνται από

πολύπλοκες και αφηρημένες έννοιες. Μάλιστα, ορισμένα θεμελιώδη χαρακτηριστικά τους, όπως η έννοια του κενού, έρχονται σε αντίθεση με τον τρόπο που σκέφτονται τα παιδιά (ή και οι ενήλικες). Μια ματιά στην ιστορία των επιστημών αρκεί για να αποδείξει ότι μόλις στις αρχές του 20<sup>ου</sup> αιώνα οι αντίπαλοι των ατομιστών πείστηκαν για την ορθότητα της σωματιδιακής προσέγγισης.

Οι δυσκολίες για την κατανόηση των εννοιών που σχετίζονται με το νερό ως χημική ένωση, μέσα στα πλαίσια της σύγχρονης επιστημονικής θεωρίας για την ύλη, είναι εξαιρετικά μεγάλες. Επομένως, οι μαθητές είναι δυνατόν να διαμορφώσουν αντιλήψεις για το νερό ως χημική ένωση που να απέχουν πολύ από τις αποδεκτές επιστημονικές και η μετάβαση από τις αρχικές αντιλήψεις στην επιστημονική άποψη είναι δύσκολη, καθώς έχει τα χαρακτηριστικά μιας εννοιολογικής αλλαγής.

## **Β΄ ΜΕΡΟΣ – ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟ**

**Η ΠΡΩΤΗ ΚΑΙ Η ΔΕΥΤΕΡΗ ΕΡΕΥΝΑ**

**ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΥΛΙΚΩΝ ΣΩΜΑΤΩΝ  
ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΕΣ ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΤΗΣ ΥΛΗΣ**



## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Όπως ήδη αναφέρθηκε, πλήθος ερευνών στο χώρο της διδακτικής των φυσικών επιστημών έχει δείξει ότι τα παιδιά αντιμετωπίζουν σημαντικές δυσκολίες στην κατανόηση των επιστημονικών εξηγήσεων για τα φυσικά φαινόμενα. Από έρευνες των Smith, Carey και Wisner (1985) διαπιστώθηκε ότι οι μαθητές στην ηλικία των 10 ετών πιστεύουν ότι η ύλη είναι ομογενής και συνεχής. Οι σωματιδιακές ιδέες εμφανίζονται σε μεγαλύτερους μαθητές, αλλά ακόμη και στις περιπτώσεις όπου η ύλη εξηγείται με τη βοήθεια σωματιδίων, συχνά οι σωματιδιακές ιδέες των μαθητών δεν είναι σύμφωνες με τις επιστημονικές. Έρευνες του Nussbaum (1985) έδειξαν ότι ακόμη και μαθητές ηλικίας 15 ετών δυσκολεύονται να κατανοήσουν τη σωματιδιακή κατάσταση της ύλης και πιστεύουν ότι η ύλη είναι συνεχής και στατική, ενώ μεγάλη δυσκολία συναντούν επίσης στην κατανόηση της έννοιας του κενού, της αένας κίνησης των σωμάτων και της αλληλεπίδρασης μεταξύ των σωματιδίων.

Πολλοί μαθητές δεν αντιλαμβάνονται ότι οι μακροσκοπικές ιδιότητες των σωμάτων προκύπτουν από τη δομή τους, πχ. η ρευστότητα σχετίζεται με την ατομική δομή και τους δεσμούς των μορίων και δεν είναι τα ίδια τα άτομα ρευστά. Βλέπουν τα άτομα/μόρια σαν μικρά ομοιογενή κομμάτια των μακροσκοπικών αντικειμένων, στα οποία αποδίδουν μακροσκοπικές ιδιότητες (πχ. θερμότητα, σκληρότητα, στατικότητα,...). Αυτή η αδυναμία των μαθητών να διακρίνουν τις ιδιότητες των σωματιδίων από τις μακροσκοπικές ιδιότητες των σωμάτων επηρεάζει σε σημαντικό βαθμό την κατανόησή τους για τις φυσικές μεταμορφώσεις της ύλης. Αν τα άτομα και τα μόρια έχουν όλες τις ιδιότητες της μακροσκοπικής ύλης, τότε και τα ίδια αλλάζουν κατά τις αλλαγές κατάστασης της ύλης. Για παράδειγμα, πολλοί μαθητές υποστηρίζουν ότι τα μόρια αλλάζουν μέγεθος και βάρος όταν θερμαίνονται ή κατά την αλλαγή κατάστασης, υγροποιούνται κατά την τήξη και εξαφανίζονται όταν τα υγρά βράζουν (Griffiths & Preston 1992, Lee et al 1993).

Από τις έρευνες των Stavy και Stachel (1985) προέκυψε ότι τα παιδιά ετών μπορούν σχετικά νωρίς να διακρίνουν τα υγρά σώματα εξαιτίας του νερού που λειτουργεί ως πρότυπο, ενώ αντίθετα για τα στερεά, για τα οποία δεν υπάρχει τέτοιο πρότυπο, τα παιδιά να δυσκολεύονται να κατατάξουν σώματα που δεν είναι σκληρά ή σκόνες. Οι έρευνες των Nakhlem και Samarapungavan (1999) για τις σωματιδιακές ιδέες μαθητών ηλικίας 7-10 ετών σχετικά με τις ιδιότητες της ύλης στις τρεις φυσικές καταστάσεις καθώς και τις μεταβολές της έδειξαν ότι ακόμη και οι μαθητές που είχαν μικροσωματιδιακές ιδέες αδυνατούσαν να γενικεύσουν τις σωματιδιακές τους απόψεις στις τρεις καταστάσεις της ύλης.

Σύμφωνα με τους Driver και συνεργάτες (1994), οι μαθητές δυσκολεύονται να ταξινομήσουν τα σώματα σε στερεά, υγρά και αέρια γιατί οι ιδέες τους για την ύλη διαθέτουν ορισμένα χαρακτηριστικά που τους δημιουργούν εμπόδια: θεωρούν «στερεά» εκείνα τα σώματα που είναι σκληρά, δεν αλλάζουν εύκολα σχήμα, δεν σπάνε εύκολα και γενικότερα είναι ανθεκτικά, γι' αυτό και τα εύπλαστα ή εύθραυστα υλικά δεν εντάσσονται στα στερεά, ενώ το ίδιο ισχύει για τις σκόνες και τις πούδρες, εξαιτίας του χαρακτηριστικού τους να μεταφέρονται από δοχείο σε δοχείο «σαν να είναι υγρά». Για τα υγρά, το πρότυπο αναφοράς είναι το νερό και ειδικότερα η ρευστότητά του, οπότε παχύρρευστα υγρά, όπως το μέλι, προβληματίζουν τους μαθητές. Τέλος, μαθητές μικρής ηλικίας θεωρούν ότι ο αέρας δεν είναι υλικό σώμα και ότι δεν έχει βάρος.

Άλλες έρευνες υποστηρίζουν ότι υπάρχει σχέση ανάμεσα στην ύπαρξη εναλλακτικών αντιλήψεων στο μακροσκοπικό επίπεδο και στις δυσκολίες κατανόησης της σωματιδιακής θεωρίας ως ερμηνευτικού μοντέλου. Οι Snir, Smith και Raz (2003) έδειξαν ότι οι μαθητές που κατανόησαν πώς τα σωματίδια ερμηνεύουν μερικά μακροσκοπικά φαινόμενα είχαν επίσης κατανοήσει σωστά μακροσκοπικά την ύλη, το βάρος, τον όγκο και την πυκνότητα, ενώ οι Lee και συνεργάτες (1993) έδειξαν ότι μακροσκοπικές και μικροσκοπικές παρανοήσεις συνυπάρχουν εξίσου στην 6η τάξη σε πολλά θέματα, όπως η αέρια φυσική κατάσταση, η αλλαγή κατάστασης, η διάλυση κ.λπ.

Η Κουκά (2000) διερεύνησε την ανάπτυξη της έννοιας του νερού ως χημικής ένωσης και τα αποτελέσματα της έρευνάς της υποστηρίζουν την άποψη ότι τα παιδιά σχηματίζουν ένα αρχικό επεξηγηματικό πλαίσιο για το νερό, σύμφωνα με το οποίο το νερό είναι υγρό και η ταυτότητά του προσδιορίζεται από κάποιες φυσικές ιδιότητες και δεν αλλάζει. Αυτό το αρχικό επεξηγηματικό πλαίσιο μεταβάλλεται σταδιακά μέσω της δημιουργίας συνθετικών μοντέλων, μέχρι να υιοθετηθεί το επιστημονικό μοντέλο. Η μελέτη των συνθετικών μοντέλων των μαθητών δείχνει ότι υπάρχει μια ακολουθία στην κατανόηση ορισμένων εννοιών που σχετίζονται με το νερό ως χημική ένωση. Φαίνεται δηλαδή ότι οι μαθητές πρώτα μαθαίνουν ότι η ταυτότητα του νερού προσδιορίζεται από το σύνολο των μακροσκοπικών του ιδιοτήτων και στη συνέχεια κατανοούν ότι ο υδρατμός είναι επίσης νερό σε αέρια κατάσταση. Η εξήγηση του βρασμού ως διαδικασία μετατροπής του υγρού σε αέριο φαίνεται ότι εξαρτάται από την κατανόηση των δύο πρώτων. Η έρευνα αυτή της Κουκά (2000) έδειξε ότι η διαδικασία της εννοιολογικής ανάπτυξης προχωρά μέσω συνθετικών μοντέλων στη σταδιακή διαμόρφωση μιας συνεχώς αναδιοργανούμενης έννοιας του νερού που είναι πιο κοντά στην επιστημονική. Η ιδέα ότι κάτω από ορισμένες συνθήκες το νερό βρίσκεται στην αέρια ή τη στερεή κατάσταση δεν συμφωνεί με την καθημερινή εμπειρία των μαθητών, γι' αυτό και

δυσκολεύονται να κατανοήσουν τον υδρατμό, ενώ αντίθετα η άποψη ότι το νερό είναι υγρό αποτελεί προϊόν καθημερινής παρατήρησης. Στις συνθετικές κατηγορίες το νερό συνεχίζει να γίνεται αντιληπτό αποκλειστικά ως υγρό, αλλά οι μαθητές καταβάλλουν προσπάθεια να εξηγήσουν ότι και το περιεχόμενο του ατμού είναι κατά κάποιον τρόπο νερό.

Σύμφωνα με την Κουκά (2000), τα παιδιά από πολύ νωρίς έρχονται σε επαφή με τις χημικές έννοιες του νερού, μέσα από την παρακολούθηση του κύκλου του νερού στη φύση (πχ. εξάτμιση, υγροποίηση), καθώς και από τις διάφορες δραστηριότητες της καθημερινής ζωής (πχ. πλύσιμο, φαγητό). Αυτές οι δυο πηγές προσφέρουν ερεθίσματα για το νερό ως χημική ένωση, με αποτέλεσμα τα παιδιά να έχουν διαμορφωμένη άποψη για αυτά, πριν ακόμη διδαχτούν στο σχολείο τα σχετικά θέματα. Το νερό αποτελεί την πιο κοινή χημική ένωση που συναντάμε στο περιβάλλον και στις τρεις φυσικές καταστάσεις. Για να γίνει κατανοητό το νερό ως υγρή και αέρια χημική ένωση, πρέπει να γίνει κατανοητή παράλληλα με την υγρή κατάσταση του νερού και η αέρια, η οποία φαίνεται ότι είναι δύσκολη. Η αναδρομή στην ιστορία της χημείας έδειξε ότι το κυριότερο επιστημολογικό εμπόδιο για την ανάπτυξη της χημείας ως σύγχρονης επιστήμης αποτέλεσε η δισδιάστατη θεώρηση της ύλης. Με την ανακάλυψη κατάλληλων οργάνων και την ανάπτυξη ειδικών τεχνικών έγινε δυνατή η μελέτη της αέριας κατάστασης και άνοιξε ο δρόμος για τα πειράματα του Lavoisier και τη χημική επανάσταση. Μεγάλο εμπόδιο, λοιπόν, για την κατανόηση του νερού ως χημικής ένωσης αποτελεί η δυσκολία της έννοιας του αερίου και κατ' επέκταση και του υδρατμού. Για την κατανόηση του βρασμού κύριο εμπόδιο πρέπει να αποτελεί η μη κατανόηση της έννοιας του υδρατμού, ως νερού σε αέρια κατάσταση, αλλά και η ίδια η έννοια του βρασμού του νερού, δηλαδή το πέρασμα από την υγρή στην αέρια κατάσταση. Ο βρασμός είναι ένα πολύπλοκο φαινόμενο και ο μηχανισμός του απαιτεί την ύπαρξη σωματιδιακών ιδεών για την υγρή και αέρια κατάσταση, δηλαδή την κατανόηση του ότι μεταξύ των σωματιδίων του υγρού ασκούνται ελκτικές δυνάμεις που περιορίζουν την κίνησή τους, ενώ δε συμβαίνει το ίδιο με τα σωματίδια των αερίων που κινούνται ελεύθερα προς όλες τις κατευθύνσεις. Σημαντικό εμπόδιο αποτελεί επίσης η δυσκολία διάκρισης του τι διατηρείται (η ταυτότητα των μορίων του νερού) και τι αλλάζει (η κινητική κατάσταση των μορίων του νερού) κατά τη μετάβαση από την υγρή στην αέρια κατάσταση.

Θεωρούμε ότι οι δυσκολίες των μαθητών οφείλονται στο γεγονός ότι έχουν διαμορφώσει αρχικά επεξηγηματικά πλαίσια για την ύλη και τις ιδιότητές της βάσει των καθημερινών εμπειριών τους, οι οποίες ερμηνείες διαφέρουν από τις επιστημονικές. Έρευνες στο χώρο της γνωστικής ανάπτυξης έχουν δείξει ότι τα παιδιά από μικρή ηλικία διαμορφώνουν αρχικά επεξηγηματικά πλαίσια τα οποία βασίζονται στην παρατήρηση του φυσικού κόσμου και

γενικότερα στην καθημερινή εμπειρία. Τα αρχικά αυτά επεξηγηματικά πλαίσια κατευθύνουν τον τρόπο με τον οποίο αντιλαμβάνονται τις έννοιες και τα φαινόμενα γύρω τους και βάζουν περιορισμούς στην κατανόηση των επιστημονικών εννοιών, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται παρανοήσεις, οι οποίες σε μεγάλο βαθμό είναι συνθετικά μοντέλα (Βοσνιάδου, Βαμβακούση & Σκοπελίτη 2008, Carey 1985).

Σύμφωνα με τη θεωρία πλαισίου που έχει προταθεί από τη Βοσνιάδου και τους συνεργάτες της (Vosniadou & Mason 2007) και όπως προκύπτει από σχετικές έρευνες (Vosniadou & Brewer 1992, 1994, Vosniadou 2006, Vosniadou & Vamvakousi 2006, Vosniadou & Verschaffel 2004, Vosniadou, Vamvakousi & Skopeliti 2008), συχνά οι μαθητές δυσκολεύονται να κατανοήσουν μερικές έννοιες που διδάσκονται γιατί παραβιάζονται πολλές από τις αρχές των αφελών θεωριών τους, οι οποίες είναι καλά εδραιωμένες και τίθενται δύσκολα υπό αμφισβήτηση. Όταν οι μαθητές εκτίθενται στις επιστημονικές εξηγήσεις, προσπαθούν να ενσωματώσουν τις νέες μη συμβατές πληροφορίες στο υπάρχον επεξηγηματικό τους πλαίσιο, όμως αυτή η ασυμβατότητα μπορεί να οδηγήσει είτε σε εσωτερική ασυνέπεια (άρα και σε αποσπασματικότητα) είτε στη δημιουργία παρανοήσεων. Σε τέτοιες περιπτώσεις, η κατανόηση των επιστημονικών εννοιών απαιτεί την αναδιοργάνωση των αφελών θεωριών, που μπορεί να θεωρηθεί ως αλλαγή θεωρίας. Η μάθηση, δηλαδή, σε αυτή την περίπτωση δεν επιτυγχάνεται μόνο με την προσθήκη νέων πληροφοριών ή με την κάλυψη των κενών, αλλά απαιτεί ριζικές εννοιολογικές αλλαγές που εμπερικλείουν και οντολογικές αλλαγές.

Η κατηγοριοποίηση θεωρείται μια σημαντική γνωστική διαδικασία και τα έργα κατηγοριοποίησης μας δίνουν την ευκαιρία να ανιχνεύσουμε αν υπάρχει εννοιολογική αλλαγή. Όπως υποστηρίζει η M.T. Chi (1993, 2008) οι περισσότερες από τις παρανοήσεις των μαθητών οφείλονται σε λανθασμένες κατηγοριοποιήσεις των εννοιών. Τα παιδιά εντάσσουν αυτόματα τις έννοιες σε κατηγορίες αποδίδοντάς τους τα αντίστοιχα χαρακτηριστικά που ορίζει η αφελής θεωρία που έχουν διαμορφώσει. Με γνώμονα αυτή τη θεωρία, κατασκευάζουν μοντέλα στα οποία για να κάνουν υποθέσεις και να προβλέπουν καταστάσεις ή την εξέλιξη φαινομένων. Αν μία έννοια αλλάξει κατηγορία, τότε αυτομάτως αποδίδονται σε αυτήν νέα χαρακτηριστικά και ιδιότητες, αυτά της νέας κατηγορίας (Medin & Rips 2005). Σε ένα τέτοιο πλαίσιο, η διαδικασία της εννοιολογικής αλλαγής μπορεί να θεωρηθεί μια διαδικασία κατά την οποία οι έννοιες επαναξιολογούνται και οι κατηγορίες στις οποίες εντάσσονται ανανεώνονται. Όταν μια έννοια ενταχθεί σε μία νέα κατηγορία, αυτό σημαίνει πως οι νόμοι και οι αρχές που ισχύουν για τη νέα κατηγορία, τώρα εφαρμόζονται σε αυτή την έννοια.

Για παράδειγμα, στην περίπτωση των υλικών σωμάτων, όταν τα παιδιά τα κατηγοριοποιούν βάσει της φυσικής τους κατάστασης (σε στερεά, υγρά, αέρια) τους αποδίδουν τις ιδιότητες αυτών των κατηγοριών, τις οποίες θεωρούν διαφορετικές μεταξύ τους. Αυτές οι ιδιότητες και τα χαρακτηριστικά μπορούν να σταθούν εμπόδιο στη διαδικασία της μάθησης των επιστημονικών ιδεών για την ύλη και τις φυσικές μεταβολές της. Επομένως, για να μπορέσουν τα παιδιά να ξεπεράσουν αυτά τα εμπόδια, χρειάζεται να επανακατηγοριοποιήσουν την έννοια των υλικών σωμάτων, βάσει της σύστασής τους. Ο τρόπος που κατηγοριοποιούν τα παιδιά τα υλικά σώματα και η σχέση μεταξύ των κατηγοριοποιήσεων και των ιδεών τους για τις αλλαγές της κατάστασης της ύλης δεν έχει διερευνηθεί πειραματικά και αυτός είναι ο στόχος της παρούσας διατριβής που μας απασχολεί στα δύο πρώτα πειράματα.

## **Η ΠΡΩΤΗ ΕΡΕΥΝΑ**

Στην πρώτη πειραματική έρευνα επιχειρείται η διερεύνηση των ιδεών των μαθητών του δημοτικού σχολείου και φοιτητών του πανεπιστημίου για έννοιες και φαινόμενα των φυσικών επιστημών. Ειδικότερα, επιχειρείται η διερεύνηση και ανάδειξη των ιδεών των μαθητών για τα υλικά σώματα, την κατηγοριοποίησή τους, τις τρεις φυσικές καταστάσεις της ύλης και τη μετάβαση από τη μία κατάσταση στην άλλη, καθώς και η σύγκριση των ιδεών αυτών με τις αντίστοιχες ιδέες των επιστημόνων. Επίσης, επιχειρείται να ερευνηθεί κατά πόσο αυτά τα επεξηγηματικά πλαίσια των μαθητών εμποδίζουν την κατανόηση των επιστημονικών εννοιών, αλλά και να διερευνηθεί πώς οι διαισθητικές γνώσεις των παιδιών αλλάζουν μέσα από τη διαδικασία της μάθησης.

Επομένως, σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να εξετάσει την εξέλιξη της εννοιολογικής γνώσης των παιδιών σχετικά με τα υλικά σώματα, δηλαδή να διερευνήσει τη φύση της αρχικής γνώσης που έχουν τα παιδιά για τα υλικά σώματα και το πώς αυτή η γνώση αλλάζει κατά τη διάρκεια των σπουδών τους, όπου τα παιδιά έρχονται σε επαφή με τις επιστημονικά αποδεκτές απόψεις για τα θέματα αυτά. Είναι λοιπόν μια προσπάθεια ανίχνευσης των διαισθητικών απόψεων των παιδιών που δεν έχουν διδαχθεί τα σχετικά θέματα αλλά και των συνθετικών μοντέλων που σχηματίζουν τα παιδιά στην προσπάθειά τους να αφομοιώσουν τις επιστημονικές απόψεις στις υπάρχουσες νοητικές δομές τους.

Έρευνες στο χώρο της αστρονομίας (Vosniadou & Skopeliti 2005, Σκοπελίτη, 2008) έχουν δείξει ότι τα παιδιά αντιμετωπίζουν δυσκολίες στην κατανόηση του σφαιρικού σχήματος

της Γης και αυτό αποδίδεται στο γεγονός ότι κατηγοριοποιούν τη Γη ως φυσικό σώμα αντί για ουράνιο, αποδίδοντάς της τις ιδιότητες των φυσικών σωμάτων (σταθερότητα, βαρύτητα από πάνω προς τα κάτω). Από τις έρευνες αυτές φάνηκε ότι για να μπορέσουν τα παιδιά να κατανοήσουν ότι η Γη έχει σφαιρικό σχήμα και βρίσκεται στο διάστημα χωρίς κάποιο στήριγμα, κάνοντας περιστροφική κίνηση γύρω από τον εαυτό της και ταυτόχρονα περιφέρεται γύρω από τον Ήλιο, είναι σημαντικό να έχουν κατανοήσει ότι η Γη είναι ένα ουράνιο σώμα που φέρει τις ιδιότητες των ουράνιων σωμάτων (και όχι των φυσικών). Τα αποτελέσματα των ερευνών αυτών επομένως (Vosniadou & Skopeliti 2005, Σκοπελίτη 2008) υποστηρίζουν την άποψη ότι η επανακατηγοριοποίηση της έννοιας της Γης μοιάζει να είναι απαραίτητη για την πλήρη κατανόηση των επιστημονικών απόψεων για το σχήμα της.

Αντίστοιχα, όπως ήδη αναφέρθηκε, έρευνες στο χώρο των φυσικών επιστημών έχουν δείξει ότι τα παιδιά αντιμετωπίζουν δυσκολίες στην κατανόηση των επιστημονικών εξηγήσεων για τα φυσικά φαινόμενα (Driver et al. 1994, Lee et al. 1993, Nakhlem & Samarapungavan 1999, Nussbaum 1985, Smith, Carey & Wisner 1985, Snir, Smith, & Raz 2003, Stavy & Stachel 1985), καθώς συγκροτούν δικά τους επεξηγηματικά πλαίσια για την ύλη και τις μεταβολές της τα οποία διαφέρουν σημαντικά από τα αντίστοιχα επιστημονικά.

Η παρούσα έρευνα αφορμάται από τα αποτελέσματα της έρευνας της Κουκά (2000), που υποστηρίζουν ότι τα παιδιά σχηματίζουν ένα αρχικό επεξηγηματικό πλαίσιο για το νερό, σύμφωνα με το οποίο το νερό είναι αποκλειστικά υγρό και η ταυτότητά του δεν αλλάζει. Μέχρι την υιοθέτηση του επιστημονικού μοντέλου, αυτό το αρχικό επεξηγηματικό πλαίσιο μεταβάλλεται σταδιακά μέσω της δημιουργίας συνθετικών μοντέλων. Η μελέτη αυτών των συνθετικών μοντέλων δείχνει ότι υπάρχει μια ακολουθία στην κατανόηση ορισμένων εννοιών που σχετίζονται με το νερό ως χημική ένωση. Η κατανόηση του ότι η ταυτότητα του νερού προσδιορίζεται από το σύνολο των μακροσκοπικών του ιδιοτήτων, και όχι επειδή είναι άχρωμο και διαυγές υγρό, προηγείται της κατανόησης του υδρατμού ως νερού σε αέρια κατάσταση, που με τη σειρά της προηγείται την κατανόησης του βρασμού, κατά τον οποίο το υγρό νερό μετατρέπεται σε αέριο υδρατμό. Η ιδέα ότι το νερό μπορεί να βρεθεί και στις τρεις καταστάσεις, ανάλογα με τις συνθήκες (θερμοκρασίας και πίεσης) που επικρατούν έρχεται σε αντίθεση με την εμπειρία των μαθητών από την καθημερινή παρατήρηση, όπου το νερό είναι υγρό, και γι' αυτό προκύπτουν δυσκολίες κατανόησης των σχετικών εννοιών. Στις συνθετικές κατηγορίες φαίνεται η προσπάθεια των μαθητών να συγκεράσουν την άποψή τους ότι το νερό είναι υγρό με την άποψη ότι και το περιεχόμενο του ατμού είναι ένα είδος νερού. Η διαδικασία της εννοιολογικής ανάπτυξης προχωράει μέσω συνθετικών μοντέλων στη σταδιακή διαμόρφωση μιας συνεχώς αναδιοργανωμένης έννοιας του νερού που είναι πιο κοντά στην

επιστημονική. Η Κουκά (2000) υποθέτει ότι οι μικροί μαθητές, βάσει των παρατηρήσεών τους, διαχωρίζουν τα φυσικά σώματα σε κατηγορίες ανάλογα αν είναι στερεά, υγρά ή αέρια και νομίζουν ότι δεν υπάρχει δυνατότητα μετάβασης από τη μια κατηγορία στην άλλη. Πιστεύουν δηλαδή ότι η φυσική κατάσταση των σωμάτων, την οποία και θεωρούν σταθερή, αποτελεί την ταυτότητα των σωμάτων. Η Κουκά προσπαθεί να δείξει ότι η πεποίθησή τους αυτή επηρεάζει την αντίληψή τους ότι το νερό, το οποίο θεωρείται ο εκπρόσωπος των υγρών, είναι πάντοτε υγρό και δεν μπορεί να είναι αέριο. Υποθέτει επίσης ότι οι μικροί μαθητές διαμορφώνουν την πεποίθηση ότι η ύλη είναι συνεχής και τα υλικά σώματα συνεχή, χωρίς σωματίδια, και δεν μεταβάλλονται και επιχειρεί να δείξει ότι η πεποίθησή τους αυτή μπορεί να επηρεάζει την αντίληψή τους ότι το νερό είναι ένα σώμα συνεχές, το οποίο δε μεταβάλλεται.

Ο τρόπος που κατηγοριοποιούν τα παιδιά τα υλικά σώματα και η σχέση μεταξύ των κατηγοριοποιήσεων και των ιδεών τους για τις αλλαγές της κατάστασης της ύλης δεν έχει διερευνηθεί πειραματικά και αυτός είναι ο στόχος της παρούσας έρευνας. Ειδικότερα, η παρούσα έρευνα έχει ως στόχο:

- \* Να εξετάσει το επεξηγηματικό πλαίσιο των μαθητών για την ύλη, να καταγράψει δηλαδή τις διαισθητικές απόψεις των παιδιών για τα υλικά σώματα μελετώντας την κατηγοριοποίησή τους και τις τρεις φυσικές καταστάσεις της ύλης, καθώς και τις απόψεις τους για την ταυτοποίηση του νερού, τη σύστασή νερού στην στερεή, την υγρή και την αέρια κατάσταση και τη μετάβαση του νερού από τη στερεή στην υγρή και από την υγρή στην αέρια κατάσταση.
- \* Να διαπιστώσει πώς οι διαισθητικές γνώσεις των παιδιών θέτουν περιορισμούς στην κατανόηση των αντίστοιχων επιστημονικών εννοιών, αλλά και πώς αλλάζουν μέσα από τη διαδικασία της μάθησης, δηλαδή πώς αυτό το επεξηγηματικό πλαίσιο μεταβάλλεται σταδιακά μέσω της δημιουργίας συνθετικών μοντέλων, μέχρι να υιοθετηθεί το επιστημονικό μοντέλο. Συνεπώς, επιχειρεί να διερευνήσει τις δυσκολίες που συναντούν οι μαθητές κατά την εξήγηση φαινομένων που σχετίζονται με τις προαναφερθείσες έννοιες (τήξη πάγου, βρασμός νερού), καθώς και τα νοητικά μοντέλα που υιοθετούν στην προσπάθειά τους αυτή.

## ΥΠΟΘΕΣΕΙΣ

Στην παρούσα έρευνα προσπαθούμε να διερευνήσουμε αν υπάρχουν αλλαγές στην κατηγοριοποίηση της έννοιας της ύλης από τους μαθητές και αν αυτή η επανακατηγοριοποίηση σχετίζεται με τη διαδικασία της μάθησης και κατανόησης των επιστημονικών απόψεων για τις αλλαγές της φυσικής κατάστασης των σωμάτων. Υποθέτουμε

ότι οι δυσκολίες των μαθητών να κατανοήσουν τις επιστημονικές εξηγήσεις για τα φυσικά φαινόμενα οφείλονται στο γεγονός ότι κατηγοριοποιούν τα σώματα βάσει της φυσικής τους κατάστασης (στερεά, υγρά, αέρια) αντί της χημικής τους σύστασης (καθαρές ουσίες, μείγματα), αποδίδοντας σε αυτά τις ιδιότητες της αντίστοιχης κατηγορίας (π.χ. τα στερεά είναι σκληρά, τα υγρά χύνονται, τα αέρια φεύγουν στον ουρανό κτλ.), οι οποίες δρουν ως περιορισμοί στην προσπάθειά τους να κατανοήσουν τις επιστημονικές απόψεις.

Το ερώτημα που προκύπτει είναι πώς συσχετίζεται η διαδικασία κατανόησης των επιστημονικών εξηγήσεων για τα φυσικά φαινόμενα με τη διαδικασία επανακατηγοριοποίησης των υλικών σωμάτων, από την κατηγοριοποίηση βάσει της φυσικής κατάστασης στην κατηγοριοποίηση βάσει της χημικής σύστασης. Πιο συγκεκριμένα, μας ενδιαφέρει να διαπιστώσουμε με ποιον τρόπο κατηγοριοποιούν οι μαθητές τα υλικά σώματα, αν κάνουν λάθη και τι κριτήρια χρησιμοποιούν, αν στην πορεία επανακατηγοριοποιούν τα υλικά σώματα και αν αυτή η επανακατηγοριοποίηση σχετίζεται με τη διαδικασία της μάθησης και κατανόησης των επιστημονικών απόψεων για τις αλλαγές της φυσικής κατάστασης των σωμάτων.

Υποθέτουμε ότι υπάρχουν διαφορές στις κατηγοριοποιήσεις των συμμετεχόντων: αναμένουμε ότι οι μικρότεροι συμμετέχοντες κατηγοριοποιούν τα υλικά σώματα βάσει της φυσικής τους κατάστασης (σε στερεά, υγρά και αέρια), ενώ για τους χημικούς η ταυτοποίηση των υλικών γίνεται από το σύνολο των ιδιοτήτων τους και βασίζεται στη χημική τους σύσταση. Περιμένουμε, λοιπόν, επανα-κατηγοριοποίηση των υλικών σωμάτων.

Υποθέτουμε, επίσης, ότι οι συμμετέχοντες που κατηγοριοποιούν τα υλικά σώματα βάσει της φυσικής τους κατάστασης θεωρούν ότι αυτές οι κατηγορίες (στερεά, υγρά, αέρια) είναι διαφορετικές μεταξύ τους και δεν υπάρχει μετάβαση από τη μία στην άλλη, αφού τα φυσικά σώματα δεν αλλάζουν ταυτότητα. Αυτές οι ιδέες θέτουν περιορισμούς στην κατανόηση των αντίστοιχων επιστημονικών εννοιών, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται συνθετικά μοντέλα. Για το λόγο αυτό υποθέτουμε ότι θα υπάρχει ισχυρή συσχέτιση ανάμεσα στον τρόπο που κατηγοριοποιούν οι συμμετέχοντες τα υλικά σώματα και στις εξηγήσεις τους για τις φυσικές μεταβολές της ύλης. Περιμένουμε, δηλαδή, ότι οι συμμετέχοντες που κατηγοριοποιούν τα υλικά σώματα βάσει της φυσικής τους κατάστασης αντιμετωπίζουν μεγαλύτερες δυσκολίες στην εξήγηση των φυσικών φαινομένων σε σχέση με τους συμμετέχοντες που τα κατηγοριοποιούν βάσει της χημικής τους σύστασης.

Στη συνέχεια παρατίθεται συνοπτικά το υποθετικό επεξηγηματικό πλαίσιο των μαθητών για την ύλη σε αντιδιαστολή με το αντίστοιχο επιστημονικό:



Επεξηγηματικό Πλαίσιο των μαθητών για την ύλη	Επιστημονικό Επεξηγηματικό Πλαίσιο για την ύλη
Τα φυσικά σώματα είναι συνεχή	Τα φυσικά σώματα αποτελούνται από σωματίδια
Η ταυτότητα των φυσικών σωμάτων προσδιορίζεται από τη φυσική τους κατάσταση (στερεή, υγρή, αέρια)	Η ταυτότητα των χημικών ουσιών βασίζεται στη μοριακή τους δομή
Η φυσική κατάσταση των σωμάτων προσδιορίζεται από λίγες ιδιότητες. <i>Στερεά: σώματα που είναι σκληρά, ανθεκτικά</i> <i>Υγρά: σώματα που χύνονται και μοιάζουν με το νερό</i> <i>Αέρια: κάτι που υπάρχει στα αναπνευστικά</i>	Οι φυσικές καταστάσεις περιγράφονται με τη βοήθεια των μορίων και η μετάβαση από τη μία φυσική κατάσταση στην άλλη εξηγείται με την αλλαγή των ελκτικών δυνάμεων ανάμεσα στα μόρια
Τα φυσικά σώματα δεν αλλάζουν ταυτότητα	Τα φυσικά σώματα είναι δυνατόν να αλλάζουν ταυτότητα

Επομένως, σύμφωνα με το επεξηγηματικό πλαίσιο των μαθητών για την ύλη (Κουκά 2000), τα σώματα είναι συνεχή, η ταυτότητά τους προσδιορίζεται από τη φυσική τους κατάσταση, η φυσική κατάσταση των σωμάτων προσδιορίζεται από λίγες (μακροσκοπικές) ιδιότητες και τα σώματα δεν αλλάζουν ταυτότητα, ενώ βάσει του επιστημονικού επεξηγηματικού πλαισίου για την ύλη (Καλκάνης 2007, Κουκά 2000), τα φυσικά σώματα αποτελούνται από σωματίδια που βρίσκονται σε συνεχή κίνηση, η ταυτότητα των χημικών ουσιών βασίζεται στη μοριακή τους δομή, τα φυσικά σώματα είναι δυνατόν να αλλάζουν ταυτότητα και οι φυσικές καταστάσεις της ύλης περιγράφονται με τη βοήθεια των μορίων, η δε μετάβαση από τη μία φυσική κατάσταση στην άλλη εξηγείται με την αλλαγή των ελκτικών δυνάμεων ανάμεσα στα μόρια.

## ΜΕΘΟΔΟΣ

### Συμμετέχοντες

Η έρευνα πραγματοποιήθηκε κατά το σχολικό έτος 2005-2006 στο 7ο Δημοτικό Σχολείο Αργυρούπολης, στο Τμήμα Μεθοδολογίας, Ιστορίας και Θεωρίας της Επιστήμης (Μ.Ι.Θ.Ε.) του Πανεπιστημίου Αθηνών και στο Χημικό Τμήμα του Πανεπιστημίου Αθηνών. Το δείγμα αποτέλεσαν 120 μαθητές/φοιτητές. Αναλυτικότερα, πρόκειται για 42 μαθητές της Β' Δημοτικού (7-8 ετών), 42 μαθητές της Στ' Δημοτικού (11-12 ετών), 16 πρωτοετείς φοιτητές του Τμήματος Μ.Ι.Θ.Ε. και 20 τριτοετείς φοιτητές του Χημικού Τμήματος.

Επιλέχθηκαν αυτές οι τάξεις του Δημοτικού Σχολείου γιατί οι μαθητές της Β' Τάξης δεν έχουν ακόμη διδαχθεί θέματα σχετικά με τα υλικά σώματα κι επομένως διατηρούν τη διαισθητική γνώση, ενώ οι μαθητές της Στ' Τάξης έχουν επί 2 χρόνια διδαχθεί το μάθημα των Φυσικών Επιστημών "Ερευνώ το Φυσικό Κόσμο" και έχουν έρθει σε επαφή με τις σχετικές έννοιες. Όσον αφορά στους φοιτητές, οι φοιτητές του Τμήματος Μ.Ι.Θ.Ε. δεν έχουν ειδικές

γνώσεις φυσικών επιστημών, καθώς δεν είναι το βασικό αντικείμενο σπουδών τους, ενώ οι φοιτητές του Χημικού Τμήματος θεωρούνται ότι έχουν διδαχθεί τις σχετικές έννοιες για αρκετά χρόνια και έχουν ειδικές γνώσεις.

Μαθητές Δημοτικού		Φοιτητές Πανεπιστημίου	
Β΄ Δημοτικού	ΣΤ΄ Δημοτικού	Τμήμα Χημικό	Τμήμα ΜΙΘΕ
42	42	20	16

### Διαδικασία

Οι συμμετέχοντες εξετάστηκαν ατομικά με τη μέθοδο της συνέντευξης. Οι συνεντεύξεις διαρκούσαν περίπου 35 λεπτά και πραγματοποιήθηκαν σε αίθουσα του Σχολείου ή του Πανεπιστημίου, χωρίς την παρουσία άλλων προσώπων. Οι ερωτήσεις που υποβλήθηκαν ήταν ίδιες για όλους τους συμμετέχοντες και η σειρά τους ακολουθήθηκε πιστά. Οι συμμετέχοντες κατέγραφαν τις απαντήσεις τους σε ειδικό έντυπο που τους δόθηκε, ενώ κρατούνταν και σημειώσεις από την ερευνήτρια σε ειδικό ένθετο με τις ερωτήσεις.

### Υλικά

Οι συμμετέχοντες κλήθηκαν να απαντήσουν συνολικά σε 16 ερωτήσεις και τις αντίστοιχες αιτιολογήσεις τους, οι οποίες αφορούσαν σε ένα έργο κατηγοριοποίησης και ένα έργο αλλαγής κατάστασης. Τα δύο αυτά έργα τα σχεδιάσαμε ειδικά για αυτή την έρευνα και παγιώθηκαν μετά από πιλοτική εφαρμογή τους σε μικρό αριθμό μαθητών.

Έργο Κατηγοριοποίησης: περιελάμβανε 8 ερωτήσεις, όπου οι συμμετέχοντες καλούνταν να κατηγοριοποιήσουν μερικά αντικείμενα σε ομάδες. Χρησιμοποιήθηκαν 12 καρτέλες πάνω στις οποίες ήταν γραμμένα τα ονόματα των εξής αντικειμένων: ΠΑΓΟΣ, ΟΙΝΟΠΝΕΥΜΑ, ΟΞΥΓΟΝΟ, ΥΔΡΑΤΜΟΣ, ΑΛΟΥΜΙΝΟΧΑΡΤΟ, ΝΕΡΟ, ΕΙΚΟΣΑΡΙΚΟ, ΑΛΑΤΟΝΕΡΟ, ΑΕΡΑΣ, ΒΟΤΣΑΛΟ, ΚΑΦΕΣ, ΚΑΥΣΑΕΡΙΟ και ζητήθηκε από τους συμμετέχοντες να τα χωρίσουν σε ομάδες και να αιτιολογήσουν τις κατηγοριοποιήσεις τους. Η ερευνήτρια αρχικά διάβαζε μαζί με τον κάθε συμμετέχοντα τις κάρτες και φρόντιζε να βεβαιωθεί ότι γνώριζε τη σημασία των λέξεων. Από τα αντικείμενα αυτά τέσσερα είναι στερεά (πάγος, εικοσάριο, αλουμινόχαρτο, βότσαλο), τέσσερα είναι υγρά (νερό, οινόπνευμα, αλατόνερο, καφές) και τέσσερα είναι αέρια (αέρας, οξυγόνο, υδρατμός, καυσαέριο). Από κάθε κατηγορία τα δύο αντικείμενα είναι καθαρές ουσίες (πάγος - αλουμινόχαρτο, νερό - οινόπνευμα, οξυγόνο - υδρατμός) και τα δύο είναι μείγματα (εικοσάριο - βότσαλο, αλατόνερο - καφές, αέρας -

καυσαέριο). Τα αντικείμενα αυτά επιλέχθηκαν από ένα πλήθος αντικειμένων που είχαν αρχικά προταθεί, λόγω του ότι είναι αρκετά οικεία στους μαθητές από την καθημερινή τους εμπειρία.

		Χημική Σύσταση			
		Καθαρές ουσίες		Μείγματα	
Φυσική κατάσταση	Στερεά	Πάγος	Αλουμινόχαρτο	Εικοσάρικο	Βότσαλο
	Υγρά	Οινόπνευμα	Νερό	Αλατόνερο	Καφές
	Αέρια	Υδρατμός	Οξυγόνο	Αέρας	Καυσαέριο

Έργο Αλλαγής Κατάστασης: περιελάμβανε 8 ερωτήσεις, όπου οι συμμετέχοντες καλούνταν να απαντήσουν αν μπορεί ένα αντικείμενο να πάει από μια κατηγορία σε μια άλλη, δηλαδή ο πάγος ή ο υδρατμός να πάει στην κατηγορία του υγρού, αν το νερό είναι ίδιο με τον υδρατμό ή τον πάγο και ποια είναι η σύσταση του νερού, του πάγου και του υδρατμού.

Οι ερωτήσεις του ερωτηματολογίου που χρησιμοποιήθηκε (και παρατίθεται στο Παράρτημα) μπορούν να χωριστούν σε τρεις ενότητες.

Η πρώτη ενότητα (έργο κατηγοριοποίησης) αφορούσε στην κατηγοριοποίηση των υλικών σωμάτων σε στερεά, υγρά και αέρια. Σκοπός των 4 ερωτήσεων αυτών είναι να αναδείξει τις ιδέες των μαθητών για τα υλικά σώματα και τις ιδιότητές τους και να ελέγξει τα κριτήρια με βάση τα οποία κατηγοριοποιούν τα υλικά σώματα. Στην αρχή παρουσιάστηκαν στους μαθητές τα 9 από τα 12 αντικείμενα (εικοσάρικο, βότσαλο, αλουμινόχαρτο, νερό, οινόπνευμα, αλατόνερο, αέρας, υδρατμός, καυσαέριο) και με τις ερωτήσεις 1 και 2 τους ζητήθηκε να τα χωρίσουν σε ομάδες και να αιτιολογήσουν τις επιλογές τους. Αν ο μαθητής χώριζε κατευθείαν τα αντικείμενα σε στερεά, υγρά, αέρια προχωρούσαμε κατευθείαν στην ερώτηση 4, όπου δίνονταν τρία ακόμη αντικείμενα (πάγος, καφές, οξυγόνο) για να τα εντάξουν στις κατηγορίες αυτές, διαφορετικά προηγούνταν η ερώτηση 3, όπου τους ζητούσαμε να τα χωρίσουν σε στερεά, υγρά, αέρια, προκειμένου να βοηθηθούν οι μαθητές για την κατηγοριοποίηση.

Η δεύτερη ενότητα (έργο αλλαγής κατάστασης) περιελάμβανε 8 ερωτήσεις σχετικά με τη μετάβαση ενός σώματος από τη μια κατάσταση σε άλλη (από τη στερεή στην υγρή ή από την αέρια στην υγρή) και στόχος της να ελέγξει αν οι μαθητές θεωρούν πως αυτές οι κατηγορίες είναι διαφορετικές και δεν υπάρχει μετάβαση από τη μία στην άλλη, γι' αυτό κλήθηκαν να απαντήσουν αν ένα αντικείμενο μπορεί να αλλάξει κατηγορία, δηλαδή αν μπορεί ο πάγος ή ο υδρατμός να πάει στην κατηγορία του νερού και σε ποια κατηγορία θα πάει το νερό από το παγάκι που λιώνει ή τον υδρατμό που υγροποιείται (ερωτήσεις 5α, 5β, 6α, 6β). Επίσης, έγινε προσπάθεια να διερευνηθεί κατά πόσο θεωρούν ότι η σύσταση του νερού στην υγρή κατάσταση είναι ίδια ή διαφορετική ή γενικά πόσο μοιάζει με τη σύστασή του στη στερεή και στην αέρια κατάσταση, γι' αυτό κλήθηκαν να απαντήσουν αν είναι διαφορετικά από το νερό, ο

πάγος και ο υδρατμός (ερώτηση 7α, 7β) και να περιγράψουν από τι αποτελείται το νερό, ο πάγος και ο υδρατμός (ερώτηση 8α, 8β).

Η τρίτη ενότητα (έργο κατηγοριοποίησης) περιελάμβανε 4 ερωτήσεις σχετικά με την κατηγοριοποίηση των σωμάτων σε καθαρές ουσίες και μείγματα. Οι μαθητές καλούνταν να χωρίσουν τα ίδια 12 αντικείμενα σε καθαρές ουσίες και μείγματα και να αιτιολογήσουν την άποψή τους (ερωτήσεις 9 και 10), προκειμένου να ελεγχθεί κατά πόσο οι κατηγοριοποιήσεις των μαθητών συμφωνούν με αυτές των επιστημόνων, ενώ με τις ερωτήσεις 11 και 12 γίνεται προσπάθεια να διερευνηθεί το πώς αντιλαμβάνονται οι μαθητές τις έννοιες "καθαρή ουσία" και "μείγμα" και να συγκριθούν οι απόψεις τους με αυτές των επιστημόνων, δηλαδή κατά πόσο οι μαθητές κατανοούν τους όρους αυτούς σύμφωνα με την έννοια που οι επιστήμη αποδίδει στους όρους.

## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Αρχικά, παρουσιάζονται οι απαντήσεις και οι επιδόσεις των μαθητών στο έργο κατηγοριοποίησης, προκειμένου να ελεγχθεί η πρώτη υπόθεση της έρευνας για την αλλαγή στις κατηγοριοποιήσεις των συμμετεχόντων. Στη συνέχεια, εξετάζονται οι απαντήσεις και οι επιδόσεις των συμμετεχόντων στο έργο αλλαγής κατάστασης, προκειμένου να σχηματιστεί μια γενική εικόνα για τις εξηγήσεις τους σχετικά με τις φυσικές μεταβολές της ύλης. Κατόπιν επιχειρείται η σύγκριση της επίδοσής τους στα δύο είδη έργων (κατηγοριοποίησης – αλλαγής κατάστασης) με στόχο τον έλεγχο της δεύτερης υπόθεσής μας για τη συσχέτιση των κατηγοριοποιήσεών τους με τις εξηγήσεις τους για τα φυσικά φαινόμενα.

### Έργο Κατηγοριοποίησης

Οι απαντήσεις των συμμετεχόντων στις δύο πρώτες ερωτήσεις κατηγοριοποίησης χωρίστηκαν σε τέσσερις βασικές κατηγορίες: 1. χωρίζουν σε καθαρές ουσίες και μείγματα, 2. χωρίζουν σε στερεά, υγρά, αέρια, 3. χρησιμοποιούν άλλες κατηγορίες (με βάση την ομοιότητα, χρήση κτλ) και 4. δεν απαντούν. Στην τρίτη ερώτηση κατηγοριοποίησης οι απαντήσεις χωρίστηκαν σε δύο κατηγορίες: 1. χωρίζουν σε στερεά, υγρά, αέρια και 2. δε χωρίζουν σε στερεά, υγρά, αέρια. Στην τέταρτη ερώτηση ελέγχουμε κατά πόσο οι μαθητές εντάσσουν σωστά τα τρία νέα σώματα στις κατηγορίες που έχουν χωρίσει και προκύπτει η νέα κατηγοριοποίηση σε στερεά, υγρά και αέρια, πάλι με τις απαντήσεις χωρισμένες σε δύο κατηγορίες: 1. χωρίζουν σε στερεά, υγρά, αέρια και 2. δε χωρίζουν σε στερεά, υγρά, αέρια. Στην τελευταία ερώτηση κατηγοριοποίησης, την ερώτηση 9, οι απαντήσεις χωρίστηκαν σε δύο κατηγορίες: 1. χωρίζουν σε καθαρές ουσίες και μείγματα και 2. δε χωρίζουν σε καθαρές ουσίες και μείγματα.

Πίνακας 1.1: Ποσοστά Απαντήσεων στις Ερωτήσεις Κατηγοριοποίησης (ερ. 1, 2, 3, 4, 9)

Ερώτηση	Τύπος Απάντησης	Β΄ Δημοτ. N=42	Στ΄ Δημοτ. N=42	Φοιτητές ΜΙΘΕ N=16	Φοιτητές Χημικού N=20
1. Θέλω να βάλεις μαζί αυτά τα πράγματα που ανήκουν στην ίδια κατηγορία. Θέλω να βάλεις μαζί αυτά που πάνε μαζί.	1. Χωρίζουν καθαρές ουσίες-μείγματα (3)	-	-	-	25 %
	2. Χωρίζουν στερεά, υγρά, αέρια (2)	26 %	69 %	56%	70 %
	3. Χρησιμοποιούν άλλες κατηγορίες (1)	71 %	31 %	44%	5 %
	4. Δεν απαντούν (0)	3 %	-		-
2. Υπάρχει άλλος τρόπος που μπορείς να τα βάλεις μαζί;	1. Χωρίζουν καθαρές ουσίες-μείγματα (3)	-	-	-	75 %
	2. Χωρίζουν στερεά, υγρά, αέρια (2)	33%	76%	31%	20 %
	3. Χρησιμοποιούν άλλες κατηγορίες (1)	67%	24%	69%	5%
3. Μπορείς να τα χωρίσεις σε στερεά, υγρά και αέρια;	1. Χωρίζουν στερεά, υγρά, αέρια (2)	55%	88%	100 %	100 %
	2. Δε χωρίζουν στερεά, υγρά, αέρια (1)	45%	12%	-	-
4. Κατηγοριοποίηση σε στερεά, υγρά, αέρια με ένταξη πάγου, καφέ οξυγόνου	1. Χωρίζουν στερεά, υγρά και αέρια (2)	45%	88%	100 %	100 %
	2. Δε χωρίζουν στερεά, υγρά, αέρια (1)	55%	12%	-	-
9. Θέλω να χωρίσεις τα αντικείμενα σε καθαρά και μείγματα	1. Χωρίζουν καθαρές ουσίες-μείγματα (3)	-	-	19%	90%
	2. Δε χωρίζουν καθαρές ουσίες-μείγματα (1)	100%	100%	81%	10%

Η βαθμολόγηση και η ομαδοποίηση των απαντήσεων φαίνεται στον Πίνακα 1.1, μαζί με τα ποσοστά που συγκέντρωσε το κάθε είδος απάντησης. Παρατηρούμε ότι στην πρώτη ερώτηση μόνο ένα μικρό ποσοστό από τους φοιτητές του χημικού κατηγοριοποιεί τα σώματα σε καθαρές ουσίες και μείγματα. Η πλειοψηφία των μικρότερων μαθητών χρησιμοποιεί ως κριτήριο κατηγοριοποίησης την ομοιότητα των αντικειμένων στο σχήμα ή τη χρήση, ενώ η πλειοψηφία των μεγαλύτερων μαθητών κατηγοριοποιεί με βάση τη φυσική κατάσταση των σωμάτων. Στη συνέχεια, καθώς οι ερωτήσεις γίνονται πιο συγκεκριμένες, ανεβαίνει το ποσοστό των μαθητών που κατηγοριοποιούν τα σώματα βάσει της φυσικής τους κατάστασης και μόνο στη Β΄ Δημοτικού παραμένει ένα μεγάλο ποσοστό 45% που δεν μπορεί να κάνει τη διάκριση. Το ποσοστό αυτό μεγαλώνει ακόμη (55%) μετά την τέταρτη ερώτηση κατηγοριοποίησης όπου καλούνται να εντάξουν 3 ακόμη αντικείμενα στις κατηγορίες που έχουν ήδη χωρίσει. Διαπιστώνουμε ότι αρκετοί μικρότεροι μαθητές δυσκολεύονται να εντάξουν στις κατηγορίες κυρίως τον πάγο, τον οποίο εντάσσουν στα υγρά. Αντίθετα, οι περισσότεροι μαθητές της Στ΄ τάξης (88%) και όλοι οι φοιτητές χωρίζουν τα αντικείμενα σε στερεά, υγρά και αέρια. Στην τελευταία ερώτηση παρατηρούμε ότι μόνο οι φοιτητές καταφέρνουν να κατηγοριοποιήσουν τα σώματα σε καθαρές ουσίες και μείγματα, όπου και πάλι παρατηρούμε διαφορές καθώς το ποσοστό αυτό είναι 19% για τους φοιτητές του Μ.Ι.Θ.Ε. και 90% για τους φοιτητές του Χημικού.

Διαπιστώνουμε, επομένως, ότι αρχικά οι μαθητές χρησιμοποιούν ως κριτήριο κατηγοριοποίησης των σωμάτων την ομοιότητα (στο σχήμα ή τη χρήση), αλλά μέχρι το τέλος του Δημοτικού είναι σε θέση να κατηγοριοποιούν τα σώματα βάσει της φυσικής τους κατάστασης. Δυσκολεύονται, όμως, να τα κατηγοριοποιήσουν βάσει της χημικής τους σύστασης, ακόμη και όταν τους ζητηθεί. Αυτό αρχίζει να αλλάζει στους φοιτητές, αλλά και πάλι μόνο ένα μικρό ποσοστό των φοιτητών που δεν έχουν ειδικές γνώσεις στη χημεία κατηγοριοποιούν σε καθαρές ουσίες και μείγματα, ενώ στους φοιτητές του χημικού το ποσοστό αυξάνεται σημαντικά. Τα αποτελέσματα αυτά δείχνουν να επιβεβαιώνουν την πρώτη υπόθεσή μας σχετικά με την επανακατηγοριοποίηση των υλικών σωμάτων με την ηλικία, μόνο που η αλλαγή αυτή παρατηρείται στους συμμετέχοντες με ειδικές γνώσεις για το θέμα.

Οι απαντήσεις των συμμετεχόντων στις δύο πρώτες ερωτήσεις βαθμολογούνται με (3) όταν κατηγοριοποιούν τα αντικείμενα σε καθαρές ουσίες και μείγματα, δηλαδή τα κατηγοριοποιούν με βάση τη χημική τους σύσταση, με (2) όταν τα χωρίζουν σε στερεά, υγρά και αέρια, δηλαδή τα κατηγοριοποιούν με βάση τη φυσική τους κατάσταση, με (1) όταν χρησιμοποιούν άλλες κατηγορίες, δηλαδή τα κατηγοριοποιούν με βάση την ομοιότητα στο σχήμα, στο υλικό, ή τη χρήση και με (0) όταν δεν απαντούν στην ερώτηση. Στην τρίτη και τέταρτη ερώτηση οι απαντήσεις βαθμολογούνται με (2) όταν χωρίζουν σε στερεά, υγρά και αέρια και με (1) όταν δεν χωρίζουν σε στερεά, υγρά και αέρια. Στην τέταρτη ερώτηση οι απαντήσεις βαθμολογούνται με (3) όταν χωρίζουν σε καθαρές ουσίες και μείγματα και (1) όταν δεν τα χωρίζουν.

Υπολογίστηκε το συνολικό σκορ των συμμετεχόντων και πραγματοποιήθηκε Ανάλυση Διακύμανσης Μονής Κατεύθυνσης (με εξαρτημένη μεταβλητή την επίδοση των συμμετεχόντων στις κατηγοριοποιήσεις και ανεξάρτητη μεταβλητή την ηλικία τους) που έδειξε στατιστικά σημαντική διαφορά ως προς την ηλικία:  $F(3)=76,311$ ,  $p<.001$  Από τους μέσους όρους των επιδόσεων των μαθητών φάνηκε ότι οι μεγαλύτεροι μαθητές έδωσαν περισσότερες επιστημονικές απαντήσεις στις ερωτήσεις κατηγοριοποίησης (Β' Δημοτικού: μ.ο.=6,62/13 τ.α.=1,39, Στ' Δημοτικού: μ.ο.=8,17/13 τ.α.=1,24, Φοιτητές Μ.Ι.Θ.Ε.: μ.ο.=8,31/13 τ.α.=0,87, Φοιτητές Χημικού: μ.ο.=11,75/13 τ.α.=1,16).

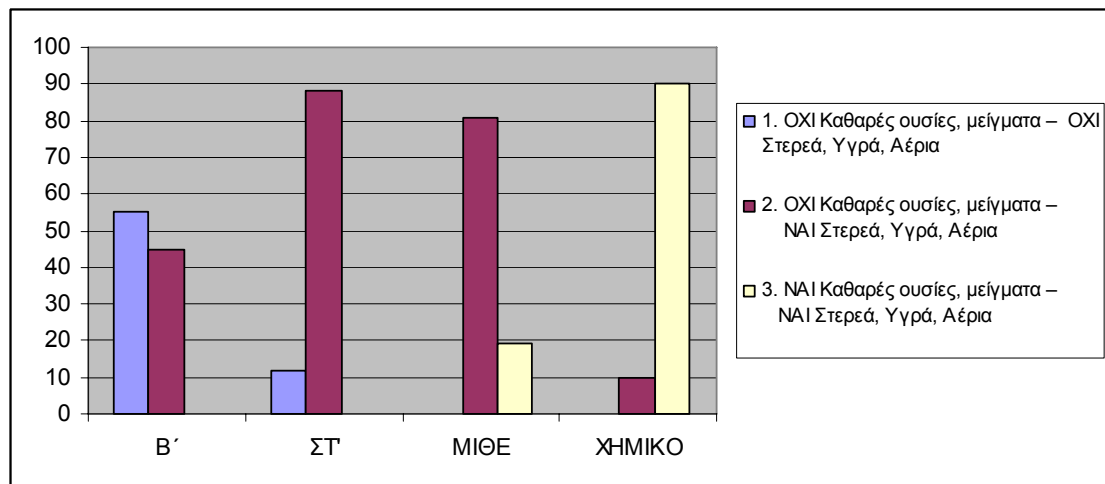
Πραγματοποιήθηκε, επίσης, σύγκριση των απαντήσεων των συμμετεχόντων σε κάθε ερώτηση και η ανάλυση του στατιστικού κριτηρίου chi-square έδειξε στατιστικά σημαντικές διαφορές ως προς την ηλικία και για τις 5 ερωτήσεις: Ερώτηση 1:  $\chi^2(9)=80,268$ ,  $p<.001$ , Ερώτηση 2:  $\chi^2(6)=107,235$ ,  $p<.001$ , Ερώτηση 3:  $\chi^2(3)=27,440$ ,  $p<.001$ , Ερώτηση 4:  $\chi^2(3)=37,214$ ,  $p<.001$ , Ερώτηση 9:  $\chi^2(3)=90,649$ ,  $p<.001$ .

Στη συνέχεια, θελήσαμε να εξετάσουμε λεπτομερέστερα τις απαντήσεις των συμμετεχόντων στις δύο τελευταίες ερωτήσεις κατηγοριοποίησης συνδυαστικά. Θελήσαμε να ελέγξουμε αν οι συμμετέχοντες οι οποίοι κατηγοριοποιούν τα αντικείμενα βάσει της φυσικής τους κατάστασης (στερεά, υγρά, αέρια) μπορούν να τα κατηγοριοποιήσουν και βάσει της χημικής τους σύστασης ή όχι (καθαρές ουσίες – μείγματα). Έτσι, έγινε ένας συνδυασμός των διαφορετικών απαντήσεών τους στις δύο αυτές ερωτήσεις και προέκυψαν τρεις διαφορετικοί τύποι απαντήσεων, οι οποίοι φαίνονται στον Πίνακα 1.2: 1. οι συμμετέχοντες δε χωρίζουν τα αντικείμενα σε καθαρές ουσίες και μείγματα ούτε και σε στερεά, υγρά, αέρια, 2. οι συμμετέχοντες δε χωρίζουν τα αντικείμενα σε καθαρές ουσίες και μείγματα αλλά τα χωρίζουν σε στερεά, υγρά, αέρια και 3. οι συμμετέχοντες χωρίζουν τα αντικείμενα σε καθαρές ουσίες και μείγματα και τα χωρίζουν και σε στερεά, υγρά, αέρια.

Πίνακας 1.2: Απαντήσεις Συμμετεχόντων και στις 2 Ερωτήσεις Κατηγοριοποίησης

<b>Κατηγορίες απαντήσεων</b>	<b>Β' Δημοτ. N=42</b>	<b>Στ' Δημοτ. N=42</b>	<b>Φοιτητές ΜΙΘΕ N=16</b>	<b>Φοιτητές Χημικού N=20</b>
1. ΟΧΙ Καθαρές ουσίες, μείγματα ΟΧΙ Στερεά, Υγρά, Αέρια (1)	23 (55%)	5 (12%)	-	-
2. ΟΧΙ Καθαρές ουσίες, μείγματα ΝΑΙ Στερεά, Υγρά, Αέρια (2)	19 (45%)	37 (88%)	13 (81%)	2 (10%)
3. ΝΑΙ Καθαρές ουσίες, μείγματα ΝΑΙ Στερεά, Υγρά, Αέρια (3)	-	-	3 (19%)	18 (90%)

Πραγματοποιήθηκε σύγκριση των απαντήσεων των συμμετεχόντων και η ανάλυση του στατιστικού κριτηρίου chi-square έδειξε στατιστικά σημαντικές διαφορές ως προς την ηλικία:  $\chi^2(6)=120,124$ ,  $p<.001$ . Επίσης, υπολογίστηκε η επίδοση των συμμετεχόντων στις δύο αυτές ερωτήσεις κατηγοριοποίησης και πραγματοποιήθηκε Ανάλυση Διακύμανσης Μονής Κατεύθυνσης / One-way ANOVA (με εξαρτημένη μεταβλητή την επίδοση των συμμετεχόντων στις κατηγοριοποιήσεις και ανεξάρτητη μεταβλητή την ηλικία τους), που έδειξε στατιστικά σημαντική επίδραση της ηλικίας:  $F(3)=59,977$ ,  $p<0,001$  υπέρ των μεγαλύτερων μαθητών. Από τους μέσους όρους των επιδόσεων των μαθητών φάνηκε ότι οι μεγαλύτεροι μαθητές έδωσαν περισσότερες επιστημονικές απαντήσεις στις δύο αυτές ερωτήσεις κατηγοριοποίησης (Β' Δημοτικού:  $\mu.o.=1,45/3$   $\tau.a.=0,50$ , Στ' Δημοτικού:  $\mu.o.=1,88/3$   $\tau.a.=0,32$ , Φοιτητές Μ.Ι.Θ.Ε.:  $\mu.o.=2,19/3$   $\tau.a.=0,40$ , Φοιτητές Χημικού:  $\mu.o.=2,90/3$   $\tau.a.=0,30$ ). Οι διαφορές των απαντήσεων των συμμετεχόντων φαίνονται πιο καθαρά στο γράφημα 1.1.



Γράφημα 1.1: Απαντήσεις Συμμετεχόντων στις 2 τελευταίες Ερωτήσεις Κατηγοριοποίησης (ποσοστά)

Πριν περάσουμε στο έργο ερμηνείας φαινομένων, θα αναφερθούμε σε δεδομένα που προκύπτουν από τις ερωτήσεις αιτιολόγησης που ακολουθούσαν κάθε ερώτηση κατηγοριοποίησης, και αφορούν στα κριτήρια που χρησιμοποίησαν οι μαθητές για τις κατηγοριοποιήσεις τους, τα χαρακτηριστικά που αποδίδουν στα στερεά, υγρά και αέρια καθώς και κατά πόσο κατανοούν τους όρους «καθαρή ουσία» και «μείγμα».

Αναλυτικότερα, όσον αφορά στα κριτήρια που χρησιμοποιούν –κυρίως οι μικρότεροι– συμμετέχοντες για τις κατηγοριοποιήσεις τους (αιτιολογήσεις ερ. 1 και 2) είναι τα παρακάτω:

Πίνακας 1.3: Κριτήρια Κατηγοριοποιήσεων Υλικών Σωμάτων

Κριτήρια κατηγοριοποιήσεων
Χημική σύσταση (καθαρές ουσίες, μείγματα)
Φυσική κατάσταση (στερεά, υγρά, αέρια)
Τα χρησιμοποιούμε σε κάτι, προκαλούν κάτι
Μοιάζουν, έχουν ίδιο σχήμα, ίδιο υλικό
Έχουν ίδιες ιδιότητες (πχ. είναι σκληρά, στέκονται κτλ)
Βρίσκονται στον ίδιο χώρο (πχ. βρίσκονται στον αέρα)
Φτιάχνονται από, περιέχουν
Διαφέρουν από τα άλλα
Χωρίς αιτιολόγηση

Παρατηρούμε ότι εκτός από τη χημική σύσταση και τη φυσική κατάσταση που χρησιμοποιήθηκαν ως κριτήρια κυρίως από τους φοιτητές, οι μαθητές του δημοτικού χρησιμοποίησαν και κριτήρια ανθρωποκεντρικά, αφού ως σημείο αναφοράς χρησιμοποιείται ο άνθρωπος ο οποίος χρησιμοποιεί τα διάφορα υλικά σε ποικίλες δραστηριότητες ή ανιμιστικά αφού τα αντικείμενα θεωρούνται οντότητες ενεργητικές που επιδρούν σε άλλες και τους προκαλούν κάτι. Άλλα κριτήρια ήταν η ομοιότητα των αντικειμένων (στην εμφάνιση, στο σχήμα



ή στο υλικό από το οποίο είναι φτιαγμένα) και οι κοινές ιδιότητες των αντικειμένων, όπως για παράδειγμα το ότι είναι ελαφριά, σκληρά, κινούνται ή στέκονται. Και στις δύο αυτές κατηγορίες οι μαθητές βασίστηκαν σε λίγες μακροσκοπικές ιδιότητες των σωμάτων. Άλλα κριτήρια αποτελούν ο χώρος στον οποίο συναντάμε τα αντικείμενα (όπως το καυσαέριο και ο αέρας που βρίσκονται στον ουρανό, ή το βότσαλο και το αλατόνερο που βρίσκονται στη θάλασσα) ή η προέλευση ενός σώματος από ένα άλλο (πχ. "το αλατόνερο φτιάχνεται από αλάτι και νερό" ή "το καυσαέριο περιέχει αέρα"). Τέλος, δεν έλειψαν και οι περιπτώσεις όπου κάποια αντικείμενα τοποθετήθηκαν μαζί γιατί δεν μπορούσαν να ενταχθούν στις άλλες κατηγορίες και διέφεραν από τα υπόλοιπα ή δεν δόθηκε αιτιολόγηση για την κατηγοριοποίησή τους.

Από την επεξεργασία των δεδομένων των ερωτήσεων 3 και 4 προέκυψε ότι οι μαθητές δεν δυσκολεύονται να εντάξουν το οξυγόνο και τον καφέ στην κατηγορία των αερίων και των υγρών, αντίστοιχα. Το ίδιο ισχύει και για πολλά από τα αντικείμενα που καλούνται να εντάξουν στις τρεις κατηγορίες, όπως είναι το νερό, η πέτρα, το εικοσάρικο, το αλατόνερο, το οινόπνευμα, ο αέρας και το καυσαέριο. Το αποτέλεσμα αυτό συμφωνεί με τη σχετική βιβλιογραφία, δείχνοντας ότι υλικά όπως το οξυγόνο, ο αέρας, το νερό κτλ. αποτελούν πρότυπα τα οποία αντιστοιχούν στις έννοιες του στερεού, του υγρού και του αερίου, ενώ υλικά όπως το αλουμινόχαρτο, ο υδρατμός κτλ βρίσκονται μακριά από τα πρότυπα και οι μαθητές δυσκολεύονται να τα εντάξουν στις κατάλληλες κατηγορίες. Ειδικότερα, για τον πάγο παρατηρούμε ότι η πλειοψηφία των μαθητών της Στ' τάξης τον εντάσσει στα στερεά, ενώ στη Β' τάξη πολλοί μαθητές τον εντάσσουν στα υγρά.

Όσον αφορά στις ιδιότητες που οι μαθητές του δημοτικού αποδίδουν στα στερεά, τα υγρά και τα αέρια, όπως προκύπτουν από τις αιτιολογήσεις των ερωτήσεων 3 και 4, συνοψίζονται στις εξής:

Πίνακας 1.4: Ιδιότητες Στερεών, Υγρών και Αερίων Σωμάτων

<b>Στερεά</b>	<b>Υγρά</b>	<b>Αέρια</b>
Είναι υλικά σώματα, μπορούμε να τα δούμε, να τα πιάσουμε	Είναι / περιέχουν / γίνονται από νερό	Δεν τα βλέπουμε, δεν τα πιάνουμε, τα μυρίζουμε
Έχουν συγκεκριμένα σχήματα	Κινούνται	Έχουν / είναι αέρας
Στέκονται, στερεώνονται	Χύνονται, παίρνουν το σχήμα του δοχείου που βρίσκονται	Κυκλοφορούν στον αέρα, στον ουρανό
Είναι σκληρά, στεγνά	Τα χρησιμοποιούμε σε κάτι, τα πίνουμε	Βγάζουν ατμό, είναι καπνός, φυσάνε
Δεν αλλάζουν μορφή, δε μετακινούνται μόνα τους	Δεν κρατιούνται / δεν πιάνονται	Εξατμίζονται
Έχουν όγκο και βάρος	Τα βλέπουμε, μυρίζουν	Δεν έχουν όγκο και βάρος
Λυγίζουν, σπάνε, τα τυλίγουμε	Έχουν πιο μαλακά άτομα	Τα άτομά τους δεν είναι τόσο δεμένα
Δεν είναι ούτε υγρά ούτε αέρια		

Παρατηρούμε ότι οι ιδιότητες των υλικών σωμάτων προσδιορίζονται με αναφορά στις αισθήσεις (πχ. όραση, αφή) ή χαρακτηριστικά όπως το σχήμα, ο όγκος, το βάρος. Μερικές απαντήσεις έχουν ως σημείο αναφοράς τον άνθρωπο, ο οποίος χρησιμοποιεί τα διάφορα υλικά σε ποικίλες δραστηριότητες, ενώ σε άλλες απαντήσεις τα ίδια τα υλικά σώματα "κάνουν κάτι από μόνα τους" ή επιδρούν σε κάποια άλλη οντότητα. Οι διάφορες οντότητες δηλαδή θεωρούνται ενεργητικές και όχι παθητικές, ιδιότητες που εκδηλώνονται είτε αυτόματα, είτε σε σχέση με κάποιο άλλο σώμα, για παράδειγμα "στερεό είναι το σώμα που στέκεται", τα υγρά κινούνται" κτλ.

Τέλος, από τις ερωτήσεις 9, 10, 11 και 12 προκύπτουν τα κριτήρια με τα οποία οι μαθητές κατηγοριοποιούν τα υλικά σώματα σε καθαρές ουσίες και μείγματα ή αλλιώς οι ιδιότητες που τα παιδιά αποδίδουν στις καθαρές ουσίες και τα μείγματα. Οι απαντήσεις τους μπορούν να ομαδοποιηθούν σε τρεις βασικές κατηγορίες: ένα κριτήριο που χρησιμοποιούν οι μαθητές για να διακρίνουν μια καθαρή ουσία από ένα μείγμα είναι η χρήση του αντικειμένου και αν μας κάνει καλό ή κακό. Στην πρώτη περίπτωση θεωρούν ότι το σώμα είναι καθαρή ουσία, ενώ στη δεύτερη μείγμα. Θεωρούν μείγμα κάτι που είναι βρόμικο, έχει μικρόβια, μυρίζει άσχημα, δεν τρώγεται, δεν πίνεται, είναι επικίνδυνο κτλ. και καθαρή ουσία αυτή που δεν είναι βρόμικη, δεν έχει μικρόβια, μας βοηθάει σε κάτι, κ.ο.κ. Ένα δεύτερο κριτήριο που χρησιμοποιούν οι μαθητές είναι το αν το προς εξέταση αντικείμενο είναι φυσικό ή τεχνητό, δηλαδή αν δημιουργείται μόνο του στη φύση (καθαρή ουσία) ή το κατασκευάζει ο άνθρωπος (μείγμα). Το τρίτο κριτήριο που χρησιμοποιούν, κυρίως οι φοιτητές, είναι εκείνο που προσεγγίζει το επιστημονικό πρότυπο, καθώς θεωρούν καθαρές ουσίες εκείνες που αποτελούνται από ένα συστατικό και μείγματα αυτές που περιλαμβάνουν περισσότερα.

Πίνακας 1.5: Ιδιότητες Καθαρών Ουσιών – Μειγμάτων

Καθαρή ουσία	Μείγμα	Κριτήριο
Δεν είναι βρόμικο, δεν έχει μικρόβια	Είναι βρόμικο, έχει μικρόβια, σκουπίδια, βλαβερές ουσίες	<b>καλό - κακό</b>
Δεν είναι κακό, μας βοηθάει	Είναι κακό, μας κάνει κακό	
Μυρίζει ωραία, τρώγεται, πίνεται, το αναπνέουμε	Μυρίζει άσχημα, δεν τρώγεται, δεν πίνεται	
Έχει σχέση με το νερό	Το χρησιμοποιούμε	
Δημιουργείται μόνο του στη φύση, δεν το φτιάχνουμε εμείς	Δεν μπορεί να φτιαχτεί από μόνο του, το φτιάχνουμε εμείς	<b>φυσικό - τεχνητό</b>
Αποτελείται από ένα συστατικό	Αποτελείται από 2 ή περισσότερα συστατικά / ουσίες	<b>καθαρή ουσία - μείγμα</b>

## Έργο Αλλαγής Κατάστασης

Η ενότητα αυτή περιελάμβανε τέσσερις ερωτήσεις σχετικά με τη μετάβαση ενός σώματος από τη στερεή στην υγρή και από την υγρή στην αέρια κατάσταση και έγινε προσπάθεια να διερευνηθεί κατά πόσο τα παιδιά θεωρούν ότι η σύσταση του νερού στην υγρή κατάσταση είναι ίδια ή διαφορετική ή γενικά πόσο μοιάζει με τη σύστασή του στη στερεή και την αέρια κατάσταση. Τα ποσοστά των απαντήσεων των συμμετεχόντων σε κάθε ερώτηση φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 1.6: Ποσοστά Απαντήσεων στις Ερωτήσεις Αλλαγής Κατάστασης (ερωτήσεις 5, 6, 7, 8)

Ερώτηση	Τύπος Απάντησης	Β΄ Δημοτ. N=42	Στ΄ Δημοτ. N=42	Φοιτητές ΜΙΘΕ N=16	Φοιτητές Χημικού N=20
5) Μπορεί ένα πράγμα να πάει από μια κατηγορία σε μια άλλη; Δηλαδή μπορεί ο πάγος / ο υδρατμός να πάει στην κατηγορία του υγρού;	Ναι	26%	79%	69%	100%
	Όχι	48%	19%	31%	-
	Δεν απαντούν	26%	2%	-	-
6α) Αν το παγάκι το αφήσουμε έξω θα λιώσει και θα γίνει νερό. Σε ποια κατηγορία θα το βάλεις το νερό;	Στερεό	29%	7%	-	-
	Υγρό	54%	81%	100%	100%
	Δεν απαντούν	17%	11%	-	-
6β) Άμα βάλουμε ένα πιάτο, χέρι, καπάκι πάνω από το νερό που βράζει, ο υδρατμός θα γίνει νερό. Σε ποια κατηγορία θα το βάλεις το νερό;	Υγρό	52%	83%	100%	100%
	Αέριο	31%	5%	-	-
	Δεν απαντούν	17%	12%	-	-
7α) Το νερό αυτό είναι το ίδιο πράγμα με τον πάγο;	Ναι	26%	71%	70%	100%
	Όχι	74%	29%	30%	-
7β) Το νερό αυτό είναι το ίδιο πράγμα με τον υδρατμό;	Ναι	26%	71%	70%	100%
	Όχι	74%	29%	30%	-
8α) Από τι αποτελείται το νερό;	Από τίποτα, είναι σκέτο / υπάρχει έτσι στη φύση / είναι από τα ποτάμια	18%	-	-	-
	Από πάγο, λιωμένο πάγο	12%	-	-	-
	Από υδρατμούς	5%	2%	-	-
	Από νερό	50%	29%	31%	-
	Από οξυγόνο, υδρογόνο και άλατα	-	2%	-	-
	Από οξυγόνο και υδρογόνο	-	48%	25%	10%
8β) Από τι αποτελείται ο πάγος;	Από H <sub>2</sub> O, είναι χημική ένωση	-	19%	44%	90%
	Από κρύο, παγωμένο νερό	65%	5%	19%	-
	Από νερό	35%	10%	12%	-
	Από οξυγόνο και υδρογόνο παγωμένα	-	40%	19%	-
	Από οξυγόνο και υδρογόνο	-	20%	6%	10%
	Από H <sub>2</sub> O παγωμένο	-	15%	19%	-
8γ) Από τι αποτελείται ο υδρατμός;	Από H <sub>2</sub> O	-	10%	25%	90%
	Από αέρα, καπνό	54	10	-	-
	Από νερό και ατμό, αέρα, από νερό διαλυμένο σε αέρα, από νερό, αέρα και καπνό	14	13%	19%	-
	Από νερό	32%	23%	12%	-
	Από οξυγόνο και υδρογόνο	-	23%	6%	10%
	Από οξυγόνο και υδρογόνο και CO <sub>2</sub> , αέρα	-	18%	19%	-
	Από μόρια νερού που έχουν βράσει	-	14%	19%	-
Από H <sub>2</sub> O	-	-	25%	90%	

Πραγματοποιήθηκε σύγκριση των απαντήσεων των συμμετεχόντων σε κάθε ερώτηση και η ανάλυση του στατιστικού κριτηρίου chi-square έδειξε στατιστικά σημαντικές διαφορές ως προς την ηλικία για όλες τις ερωτήσεις: Ερώτηση 5:  $\chi^2(6)=45,098$ ,  $p<.001$ , Ερώτηση 6α:  $\chi^2(6)=24,98$ ,  $p<.001$ , Ερώτηση 6β:  $\chi^2(6)=29,52$ ,  $p<.001$ , Ερώτηση 7:  $\chi^2(3)=35,333$ ,  $p<.001$ , Ερώτηση 8α:  $\chi^2(21)=115,905$ ,  $p<.001$ , Ερώτηση 8β:  $\chi^2(15)=90,007$ ,  $p<.001$ , Ερώτηση 8γ:  $\chi^2(27)=107,183$ ,  $p<.001$ .

Στη συνέχεια, με βάση τις απαντήσεις τους στις ερωτήσεις αλλαγής κατάστασης, οι συμμετέχοντες κατηγοριοποιήθηκαν σε 4 κατηγορίες εξηγήσεων για κάθε περίπτωση (σύσταση νερού-πάγου και σύσταση νερού-υδρατμού), οι οποίες φαίνονται αναλυτικά στους Πίνακες 1.7 και 1.9. Τα κριτήρια που χρησιμοποιήσαμε για την κατηγοριοποίηση των εξηγήσεων των συμμετεχόντων είναι αν πιστεύουν ότι ένα σώμα μπορεί να αλλάξει κατηγορία ή όχι, αν θεωρούν το νερό και τον πάγο ή τον υδρατμό ως τελείως διαφορετικά σώματα ή πιστεύουν ότι έχουν κάτι κοινό και πώς περιγράφουν τη σύσταση του νερού στις τρεις καταστάσεις. Με βάση αυτά τα κριτήρια διακρίναμε τους παρακάτω 4 τύπους εξηγήσεων. Στον Πίνακα 1.7 φαίνεται το πρότυπο των αναμενόμενων απαντήσεων για την αλλαγή κατάστασης από στερεό σε υγρό και τη σύσταση νερού και πάγου δηλαδή το είδος των απαντήσεων που έπρεπε να δώσουν οι συμμετέχοντες σε κάθε ερώτηση προκειμένου να ενταχθούν σε έναν από τους 4 τύπους εξηγήσεων.

Πίνακας 1.7: Πρότυπο Αναμενόμενων Απαντήσεων για Σύσταση Νερού και Πάγου

Κατηγορίες	Ερώτηση 5 Μπορεί ένα πράγμα να πάει από μια κατηγορία σε άλλη; Δηλαδή μπορεί ο πάγος να πάει στην κατηγορία του υγρού;	Ερώτηση 6α Αν το παγάκι το αφήσουμε έξω θα λιώσει και θα γίνει νερό. Σε ποια κατηγορία θα το βάλεις το νερό;	Ερώτηση 7α Το νερό αυτό είναι το ίδιο πράγμα με τον πάγο;	Ερώτηση 8α Από τι αποτελείται το νερό;	Ερώτηση 8β Από τι αποτελείται ο πάγος;
<b>Κατηγορία 1 (αρχική)</b> Το νερό υπάρχει μόνο ως υγρό και ο πάγος δεν είναι νερό	Όχι	Στερεό Υγρό Αέριο	Όχι	Από τίποτα, είναι σκέτο, είναι έτσι από τη φύση, από τα ποτάμια	Οτιδήποτε δεν είναι νερό
<b>Κατηγορία 2 (εναλλακτική)</b> Το νερό υπάρχει ως υγρό και ο πάγος περιέχει ένα είδος νερού, έχουν κάποια κοινά στοιχεία, αλλά δεν είναι ίδια	Όχι Ναι	Στερεό Υγρό Αέριο	Όχι	Από τίποτα, είναι σκέτο, από νερό, από οξυγόνο και υδρογόνο, από οξυγόνο, υδρογόνο και άλατα, από λιωμένο πάγο	Από κρύο νερό, παγωμένο νερό, οξυγόνο και υδρογόνο και παγωμένα, μόρια παγωμένα

<b>Κατηγορία 3</b> (επιστημονική μακροσκοπική) Και το νερό και ο πάγος αποτελούνται από τα ίδια συστατικά	Ναι	Υγρό	Ναι	Από νερό, από οξυγόνο και υδρογόνο	Από νερό, από οξυγόνο και υδρογόνο
<b>Κατηγορία 4</b> (επιστημονική μικροσκοπική) Το νερό και ο πάγος αποτελούνται από μόρια νερού	Ναι	Υγρό	Ναι	Από H <sub>2</sub> O, είναι χημική ένωση, από μόρια νερού	Από H <sub>2</sub> O, από μόρια νερού

Στην κατηγορία 1 (αρχική), δηλαδή του νερού μόνο στην υγρή κατάσταση, οι μαθητές θεωρούν ότι ο πάγος δεν είναι νερό και πως το νερό υπάρχει αποκλειστικά στην υγρή κατάσταση. Δεν δέχονται τη μετάβαση του σώματος από τη μία κατάσταση στην άλλη και εξηγούν τη σύσταση του νερού με απλοϊκό τρόπο χρησιμοποιώντας κυρίως μοντέλο συνεχές για την ύλη, χωρίς αναφορές σε σωματίδια, γεγονός που εξηγεί τις δυσκολίες τους να ερμηνεύσουν τη σύσταση του νερού στη στερεή και την αέρα κατάσταση. Για τη σύσταση του νερού απαντούν επίσης ότι αποτελείται από «τίποτα», «είναι σκέτο», «είναι έτσι από τη φύση, από τα ποτάμια». Ο πάγος είναι κάτι διαφορετικό από το νερό και έχει διαφορετική σύσταση.

Στην κατηγορία 2 (εναλλακτική), δηλαδή του νερού ως υγρού και του πάγου ως ενός είδους νερού, τα δύο σώματα έχουν κάποια κοινά στοιχεία, αλλά δεν είναι ίδια. Ο πάγος θεωρείται ως είναι είδος νερού ή κάτι σαν το νερό, έχουν κάποια κοινά αλλά δεν είναι το ίδιο. Οι μαθητές δείχνουν να δυσκολεύονται να δεχτούν ότι πρόκειται για το ίδιο σώμα και επιμένουν στη διαφορετική σύσταση των δύο σωμάτων. Στην προσπάθειά τους να εξηγήσουν τη σύσταση του πάγου (ως διαφορετική από του νερού) διατυπώνουν λάθη και παρανοήσεις και μεταφέρουν μακροσκοπικές ιδιότητες της ύλης στο μικρόκοσμο γεγονός που φανερώνει σύγχυση ανάμεσα στο μακροσκοπικό και το μικροσκοπικό επίπεδο (πχ. κρύα μόρια, οξυγόνο και υδρογόνο παγωμένα κτλ.).

Στην κατηγορία 3 (επιστημονική μακροσκοπική), δηλαδή του νερού και του πάγου ως αποτελούμενων από τα ίδια συστατικά, οι μαθητές δέχονται ότι και το νερό και ο πάγος αποτελούνται από τα ίδια συστατικά. Πολλοί από αυτούς περιγράφουν τη σύσταση του πάγου με τη βοήθεια των συστατικών του νερού, οξυγόνου και υδρογόνου, οι απαντήσεις τους όμως παραμένουν σε μακροσκοπικό επίπεδο και δεν γίνεται αναφορά σε μόρια ή τις κινήσεις τους, παρότι αποδέχονται τη δυνατότητα μετάβασης από τη μία φυσική κατάσταση στην άλλη.

Στην κατηγορία 4 (επιστημονική μικροσκοπική), δηλαδή της σύστασης και του νερού και του πάγου από μόρια νερού, οι μαθητές χρησιμοποιούν σωματιδιακές ιδέες και χημικές πληροφορίες που συμφωνούν με τις επιστημονικές. Περιγράφουν τη σύσταση του πάγου με τη βοήθεια μορίων που αποτελούνται από δύο άτομα υδρογόνου και ένα άτομο οξυγόνου και δεν

δυσκολεύονται να απαντήσουν ότι νερό και πάγος αποτελούνται από τα ίδια μόρια (ή τα ίδια συστατικά σε διαφορετική φυσική κατάσταση).

Στον Πίνακα 1.8 φαίνονται τα ποσοστά των συμμετεχόντων που τοποθετήθηκαν σε κάθε τύπο εξήγησης για την τήξη του πάγου. Παρατηρούμε ότι το 43% των μαθητών της Β΄ Δημοτικού δίνει αρχικές εξηγήσεις και οι υπόλοιποι εναλλακτικές, ενώ στην Στ΄ Δημοτικού η πλειοψηφία δίνει εναλλακτικές εξηγήσεις και ένα ποσοστό 26% δίνει επιστημονικές μακροσκοπικές. Το ποσοστό αυτό είναι μεγαλύτερο για τους φοιτητές του Μ.Ι.Θ.Ε. (31%) από τους οποίους το 13% δίνει επιστημονικές μικροσκοπικές εξηγήσεις. Τέλος, όλοι οι φοιτητές του Χημικού δίνουν σωστές επιστημονικές εξηγήσεις με το 80% από αυτές να είναι μικροσκοπικές.

Πίνακας 1.8: Ποσοστά Συμμετεχόντων ανά τύπο Εξήγησης για τη Σύσταση Νερού – Πάγου

Σύσταση νερού – πάγου	Β΄ Δημοτ. N=42	Στ΄ Δημοτ. N=42	Φοιτητές ΜΙΘΕ N=16	Φοιτητές Χημικού N=20
Κατηγορία 1 (αρχική)	43%	7%	-	-
Κατηγορία 2 (εναλλακτική)	50%	67%	56%	-
Κατηγορία 3 (επιστημονική μακροσκοπική)	7%	26%	31%	20%
Κατηγορία 4 (επιστημονική μικροσκοπική)	-	-	13%	80%

Η ανάλυση του στατιστικού κριτηρίου chi-square έδειξε στατιστικά σημαντικές ηλικιακές διαφορές  $\chi^2(9)=111,600$ ,  $p \leq .001$ . Οι εξηγήσεις των συμμετεχόντων βαθμολογήθηκαν με 1 όταν έδιναν αρχική ερμηνεία, με 2 όταν έδιναν εναλλακτική ερμηνεία, με 3 όταν έδιναν επιστημονική ερμηνεία μακροσκοπική και με 4 όταν έδιναν επιστημονική ερμηνεία μικροσκοπική. Υπολογίστηκε το σκορ των συμμετεχόντων και πραγματοποιήθηκε σύγκριση της επίδοσής τους με Ανάλυση Διακύμανσης Μονής Κατεύθυνσης (με εξαρτημένη μεταβλητή τις εξηγήσεις των συμμετεχόντων και ανεξάρτητη μεταβλητή την ηλικία τους) που έδειξε στατιστικά σημαντική επίδραση της ηλικίας:  $F(3)=63,738$ ,  $p < 0,001$  υπέρ των μεγαλύτερων μαθητών. Από τους μέσους όρους των επιδόσεων των μαθητών φάνηκε ότι οι μεγαλύτεροι μαθητές έδωσαν περισσότερες επιστημονικές ερμηνείες (Β΄ Δημοτικού:  $\mu.o.=1,64/4$   $\tau.a.=0,61$ , Στ΄ Δημοτικού:  $\mu.o.=2,19/4$   $\tau.a.=0,55$ , Φοιτητές Μ.Ι.Θ.Ε.:  $\mu.o.=2,56/4$   $\tau.a.=0,72$ , Φοιτητές Χημικού:  $\mu.o.=3,80/4$   $\tau.a.=0,41$ ).

Αντίστοιχα, στον Πίνακα 1.9 φαίνεται το πρότυπο των αναμενόμενων απαντήσεων για την αλλαγή κατάστασης από αέριο σε υγρό και τη σύσταση νερού και υδρατμού, δηλαδή το είδος των απαντήσεων που έπρεπε να δώσουν οι συμμετέχοντες σε κάθε ερώτηση προκειμένου να ενταχθούν σε έναν από τους 4 τύπους εξηγήσεων.

Πίνακας 1.9: Πρότυπο Αναμενόμενων Απαντήσεων για Σύσταση Νερού και Υδρατμού

Κατηγορίες	Ερώτηση 5 Μπορεί ένα πράγμα να πάει από μια κατηγορία σε άλλη; Δηλαδή μπορεί ο υδρατμός να πάει στην κατηγορία του υγρού;	Ερώτηση 6β Άμα βάλουμε ένα πιάτο /χέρι /καπάκι πάνω από το νερό που βράζει, ο υδρατμός θα γίνει νερό. Σε ποια κατηγορία θα το βάλεις το νερό;	Ερώτηση 7β Το νερό αυτό είναι το ίδιο πράγμα με τον υδρατμό;	Ερώτηση 8α Από τι αποτελείται το νερό;	Ερώτηση 8γ Από τι αποτελείται ο υδρατμός;
<b>Κατηγορία 1 (αρχική)</b> Το νερό υπάρχει μόνο ως υγρό και ο υδρατμός δεν είναι νερό	Όχι	Στερεό Υγρό Αέριο	Όχι	Από τίποτα, είναι σκέτο, είναι έτσι από τη φύση, από τα ποτάμια	Από αέρα/ από καπνό / ατμό
<b>Κατηγορία 2 (εναλλακτική)</b> Το νερό υπάρχει ως υγρό και ο υδρατμός περιέχει ένα είδος νερού, έχουν κάποια κοινά αλλά δεν είναι ίδια	Όχι Ναι	Στερεό Υγρό Αέριο	Όχι	Από τίποτα, είναι σκέτο, είναι έτσι από τη φύση, από νερό, από υδρατμούς, από οξυγόνο, υδρογόνο και άλατα	Από νερό και καπνό, ατμό, από νερό και αέρα, από νερό διαλυμένο σε αέρα από νερό, αέρα και καπνό, από οξυγόνο, υδρογόνο και CO <sub>2</sub> , από μόρια νερού που έχουν βράσει
<b>Κατηγορία 3 (επιστημονική μακροσκοπική)</b> Και το νερό και ο υδρατμός αποτελούνται από τα ίδια συστατικά	Ναι	Υγρό	Ναι	Από νερό / Από οξυγόνο και υδρογόνο	Από νερό, από οξυγόνο και υδρογόνο
<b>Κατηγορία 4 (επιστημονική μικροσκοπική)</b> Το νερό και ο υδρατμός αποτελούνται από μόρια νερού	Ναι	Υγρό	Ναι	Από H <sub>2</sub> O, είναι χημική ένωση / από μόρια νερού	Από H <sub>2</sub> O, από μόρια νερού

Στην κατηγορία 1 (αρχική), δηλαδή του νερού μόνο στην υγρή κατάσταση, οι μαθητές θεωρούν ότι ο υδρατμός δεν είναι νερό και πως το νερό υπάρχει αποκλειστικά στην υγρή κατάσταση. Δεν δέχονται τη μετάβαση του σώματος από τη μία κατάσταση στην άλλη και εξηγούν τη σύσταση του νερού με απλοϊκό τρόπο χρησιμοποιώντας κυρίως μοντέλο συνεχές για την ύλη, χωρίς αναφορές σε σωματίδια, γεγονός που εξηγεί τις δυσκολίες τους να ερμηνεύσουν τη σύσταση του νερού στη στερεή και την αέρια κατάσταση. Για τη σύσταση του νερού απαντούν επίσης ότι αποτελείται από «τίποτα», «είναι σκέτο», «είναι έτσι από τη φύση, από τα ποτάμια». Ο υδρατμός είναι κάτι διαφορετικό από το νερό και έχει διαφορετική σύσταση αφού αποτελείται από «καπνό», «ατμό», «αέρα» κτλ.

Στην κατηγορία 2 (εναλλακτική), δηλαδή του νερού ως υγρού και του υδρατμού ως ενός είδους νερού, τα δύο σώματα έχουν κάποια κοινά στοιχεία, αλλά δεν είναι ίδια. Ο υδρατμός θεωρείται ως είναι είδος νερού ή κάτι σαν το νερό, ένα είδος «εξατμισμένου νερού», «νερό με αέρα», «νερό διαλυμένο σε αέρα», «νερό με αέρα και καπνό», επομένως έχουν κάποια κοινά στοιχεία αλλά δεν είναι το ίδιο. Οι μαθητές δείχνουν να δυσκολεύονται να απαντήσουν στην ερώτηση για τη σχέση του υδρατμού με το νερό και να δεχτούν ότι πρόκειται για το ίδιο σώμα, επιμένοντας στη διαφορετική σύσταση των δύο σωμάτων. Μερικοί μαθητές, στην προσπάθειά τους να εξηγήσουν τη σύσταση του υδρατμού (ως διαφορετική από του νερού) διατυπώνουν λάθη και παρανοήσεις και μεταφέρουν μακροσκοπικές ιδιότητες της ύλης στο μικρόκοσμο γεγονός που φανερώνει σύγχυση ανάμεσα στο μακροσκοπικό και το μικροσκοπικό επίπεδο (πχ. ζεστά μόρια, μόρια που έχουν βράσει κτλ.).

Στην κατηγορία 3 (επιστημονική μακροσκοπική), δηλαδή του νερού και του υδρατμού ως αποτελούμενων από τα ίδια συστατικά, οι μαθητές δέχονται ότι και το νερό και ο υδρατμός αποτελούνται από τα ίδια συστατικά. Πολλοί από αυτούς περιγράφουν τη σύσταση του υδρατμού με τη βοήθεια των συστατικών του νερού, οξυγόνου και υδρογόνου, οι απαντήσεις τους όμως παραμένουν σε μακροσκοπικό επίπεδο και δεν γίνεται αναφορά σε μόρια ή τις κινήσεις τους, παρότι αποδέχονται τη δυνατότητα μετάβασης από τη μία φυσική κατάσταση στην άλλη.

Στην κατηγορία 4 (επιστημονική μικροσκοπική), δηλαδή της σύστασης και του νερού και του υδρατμού από μόρια νερού, οι μαθητές χρησιμοποιούν σωματιδιακές ιδέες και χημικές πληροφορίες που συμφωνούν με τις επιστημονικές. Περιγράφουν τη σύσταση του υδρατμού με τη βοήθεια μορίων που αποτελούνται από δύο άτομα υδρογόνου και ένα άτομο οξυγόνου και δεν δυσκολεύονται να απαντήσουν ότι νερό και υδρατμός αποτελούνται από τα ίδια μόρια (ή τα ίδια συστατικά σε διαφορετική φυσική κατάσταση).

Στον Πίνακα 1.10 φαίνονται τα ποσοστά των συμμετεχόντων που τοποθετήθηκαν σε κάθε τύπο εξήγησης. Παρατηρούμε η πλειοψηφία (60%) των μαθητών της Β΄ Δημοτικού δίνει αρχικές εξηγήσεις και οι υπόλοιποι εναλλακτικές, ενώ στην Στ΄ Δημοτικού η πλειοψηφία (74%) δίνει εναλλακτικές εξηγήσεις και ένα ποσοστό 12% δίνει επιστημονικές μακροσκοπικές. Το ποσοστό αυτό είναι μεγαλύτερο για τους φοιτητές του Μ.Ι.Θ.Ε. (31%) από τους οποίους το 13% δίνει επιστημονικές μικροσκοπικές εξηγήσεις. Τέλος, όλοι οι φοιτητές του Χημικού δίνουν σωστές επιστημονικές εξηγήσεις με το 80% από αυτές να είναι μικροσκοπικές.



Πίνακας 1.10: Ποσοστά Συμμετεχόντων ανά τύπο Εξήγησης για τη Σύσταση Νερού – Υδρατμού

Σύσταση νερού – υδρατμού	<b>Β΄ Δημοτ. N=42</b>	<b>Στ΄ Δημοτ. N=42</b>	<b>Φοιτητές ΜΙΘΕ N=16</b>	<b>Φοιτητές Χημικού N=20</b>
Κατηγορία 1 (αρχική)	60%	14%	-	-
Κατηγορία 2 (εναλλακτική)	40%	74%	56%	-
Κατηγορία 3 (επιστημονική μακροσκοπική)	-	12%	31%	20%
Κατηγορία 4 (επιστημονική μικροσκοπική)	-	-	13%	80%

Η ανάλυση του στατιστικού κριτηρίου chi-square έδειξε στατιστικά σημαντικές ηλικιακές διαφορές  $\chi^2(9)=126,588$ ,  $p \leq .001$ . Οι εξηγήσεις των συμμετεχόντων βαθμολογήθηκαν με 1 όταν έδιναν αρχική ερμηνεία, με 2 όταν έδιναν εναλλακτική ερμηνεία, με 3 όταν έδιναν επιστημονική ερμηνεία μακροσκοπική και με 4 όταν έδιναν επιστημονική ερμηνεία μικροσκοπική. Υπολογίστηκε το σκορ των συμμετεχόντων και πραγματοποιήθηκε σύγκριση της επίδοσής τους με Ανάλυση Διακύμανσης Μονής Κατεύθυνσης (με εξαρτημένη μεταβλητή τις εξηγήσεις των συμμετεχόντων και ανεξάρτητη μεταβλητή την ηλικία τους) που έδειξε στατιστικά σημαντική επίδραση της ηλικίας:  $F(3)=98,079$ ,  $p < 0,001$  υπέρ των μεγαλύτερων μαθητών. Από τους μέσους όρους των επιδόσεων των μαθητών φάνηκε ότι οι μεγαλύτεροι μαθητές έδωσαν περισσότερες επιστημονικές ερμηνείες (Β΄ Δημοτικού:  $\mu.o.=1,04/4$   $\tau.a.=0,49$ , Στ΄ Δημοτικού:  $\mu.o.=1,98/4$   $\tau.a.=0,51$ , Φοιτητές Μ.Ι.Θ.Ε.:  $\mu.o.=2,56/4$   $\tau.a.=0,72$ , Φοιτητές Χημικού:  $\mu.o.=3,80/4$   $\tau.a.=0,41$ ).

Στη συνέχεια, εξετάστηκαν οι απαντήσεις των συμμετεχόντων συνδυαστικά και για τα δύο φαινόμενα, την τήξη του πάγου και το βρασμό του νερού. Οι συμμετέχοντες κατηγοριοποιήθηκαν σε 4 κατηγορίες απαντήσεων: 1) Αρχικές, όταν δίνουν αρχική εξήγηση και για τα δύο φαινόμενα, 2) Εναλλακτικές, όταν δίνουν εναλλακτική εξήγηση και για τα δύο φαινόμενα ή εναλλακτική για το ένα φαινόμενο και αρχική για το άλλο, 3) Επιστημονικές Μακροσκοπικές, όταν δίνουν επιστημονική μακροσκοπική εξήγηση και για τα δύο φαινόμενα και 4) Επιστημονικές Μικροσκοπικές, όταν δίνουν επιστημονική μικροσκοπική εξήγηση και για τα δύο φαινόμενα.

Στον πίνακα 11 φαίνεται η κατανομή των συμμετεχόντων βάσει των εξηγήσεων που έδωσαν και για τα δύο φαινόμενα καθώς και η βαθμολογία κάθε είδους εξήγησης. Και σε αυτή την περίπτωση η Ανάλυση Διακύμανσης Μονής Κατεύθυνσης (εξήγηση x ηλικία) έδειξε στατιστικά σημαντική επίδραση της ηλικίας:  $F(3)=96,760$ ,  $p < 0,001$  υπέρ των μεγαλύτερων μαθητών. Από τους μέσους όρους των επιδόσεων των μαθητών φάνηκε ότι οι μεγαλύτεροι μαθητές έδωσαν περισσότερες επιστημονικές ερμηνείες (Β΄ Δημοτικού:  $\mu.o.=1,57/4$   $\tau.a.=,501$ ,

Στ' Δημοτικού: μ.ο.=2,02/4 τ.α.=0,411, Φοιτητές Μ.Ι.Θ.Ε.: μ.ο.=2,56/4 τ.α.=0,727, Φοιτητές Χημικού: μ.ο.=3,80/4 τ.α.=0,410).

Πίνακας 1.11: Ποσοστά Συμμετεχόντων ανά τύπο Εξήγησης για τη Σύσταση Νερού-Πάγου-Υδρατμού

Σύσταση νερού – πάγου – υδρατμού	Β' Δημοτ. N=42	Στ' Δημοτ. N=42	Φοιτητές ΜΙΘΕ N=16	Φοιτητές Χημικού N=20
Κατηγορίες Αρχικές (1)	43%	7%	-	-
Κατηγορίες Εναλλακτικές (2)	57%	83%	56%	-
Κατηγορίες Επιστημονικές Μακροσκοπικές (3)	-	10%	31%	20%
Κατηγορίες Επιστημονικές Μικροσκοπικές (4)	-	-	13%	80%

### Συσχετίσεις Κατηγοριοποιήσεων – Εξηγήσεων

Στη συνέχεια, προκειμένου να ελέγξουμε τη δεύτερη υπόθεσή μας, μελετήσαμε τη συσχέτιση των κατηγοριοποιήσεων των μαθητών με τις εξηγήσεις τους για τη σύσταση του νερού, του πάγου και του υδρατμού. Σύμφωνα με το θεωρητικό μας πλαίσιο, οι δυσκολίες των μαθητών στην ερμηνεία φαινομένων που σχετίζονται με τις φυσικές μεταβολές της ύλης οφείλονται στο γεγονός ότι συγκροτούν αρχικά επεξηγηματικά πλαίσια τα οποία δρουν ως περιορισμοί στην προσπάθειά τους να κατανοήσουν τις επιστημονικές θεωρίες. Σύμφωνα με την υπόθεσή μας λοιπόν, περιμένουμε οι συμμετέχοντες που κατηγοριοποιούν τα υλικά σώματα βάσει της φυσικής τους κατάστασης να αντιμετωπίζουν μεγαλύτερες δυσκολίες στην ερμηνεία των φυσικών φαινομένων σε σχέση με τους συμμετέχοντες που κατηγοριοποιούν τα υλικά σώματα βάσει της χημικής τους σύστασης. Επιλέξαμε τη συνδυαστική ερώτηση κατηγοριοποίησης και ελέγξαμε τις απαντήσεις των συμμετεχόντων σε αυτή σε σχέση με τις εξηγήσεις που έδωσαν για την τήξη του πάγου και το βρασμό του νερού. Τα αποτελέσματα φαίνονται στους παρακάτω πίνακες. Οι δείκτες συσχέτισης Pearson  $r$ , που υπολογίστηκαν για τις κατηγοριοποιήσεις και για κάθε φαινόμενο χωριστά αλλά και για τα δύο μαζί, δείχνουν ότι η υπόθεσή μας επαληθεύεται.

Στον Πίνακα 1.12 μπορούμε να δούμε πώς τοποθετήθηκαν οι συμμετέχοντες σε αρχικές, εναλλακτικές, επιστημονικές μακροσκοπικές και επιστημονικές μικροσκοπικές εξηγήσεις για την τήξη του πάγου σε συνδυασμό με τις κατηγοριοποιήσεις τους.

Πίνακας 12: Συσχέτιση Κατηγοριοποιήσεων και Εξηγήσεων για Σύσταση Νερού - Πάγου

Κατηγοριοποιήσεις	Σύσταση νερού-πάγου			
	αρχική	εναλλακτική	επιστημονική μακροσκοπική	επιστημονική μικροσκοπική
1. ΟΧΙ Καθαρές ουσίες, μείγματα ΟΧΙ Στερεά, Υγρά, Αέρια	18 (86%)	10 (17%)	-	-
2. ΟΧΙ Καθαρές ουσίες, μείγματα ΝΑΙ Στερεά, Υγρά, Αέρια	3 (14%)	48 (83%)	20 (87%)	-
3. ΝΑΙ Καθαρές ουσίες, μείγματα ΝΑΙ Στερεά, Υγρά, Αέρια	-	-	3 (13%)	18 (100%)
ΣΥΝΟΛΟ	21	58	23	18

Από τον πίνακα 1.12 προκύπτει ότι όλοι οι μαθητές που έδωσαν επιστημονική μικροσκοπική εξήγηση μπορούν και κατηγοριοποιούν τα σώματα και βάσει της χημικής τους σύστασης (σε καθαρές ουσίες και μείγματα) και βάσει της φυσικής τους κατάστασης (σε στερεά, υγρά και αέρια). Το ίδιο ισχύει και για το 13 % των συμμετεχόντων που έδωσε επιστημονική μακροσκοπική εξήγηση (ακόμη και οι μικρότεροι μαθητές), ενώ το 87% ανήκει στην ενδιάμεση κατηγορία όπου κατηγοριοποιούν βάσει της φυσικής κατάστασης αλλά όχι βάσει της χημικής σύστασης. Αντίθετα, όλοι οι συμμετέχοντες οι οποίοι δίνουν αρχική εξήγηση δεν κατηγοριοποιούν τα σώματα βάσει της χημικής τους σύστασης και οι περισσότεροι από αυτούς (86%) δεν κατηγοριοποιούν ούτε σε στερεά, υγρά και αέρια. Τέλος, στην ενδιάμεση εναλλακτική εξήγηση η πλειοψηφία (83%) κατηγοριοποιεί βάσει της φυσικής κατάστασης αλλά όχι βάση της χημικής σύστασης. Με βάση τον δείκτη συσχέτισης Pearson R που υπολογίστηκε (κατηγοριοποίηση \* εξήγηση) υπάρχει στατιστική σημαντικότητα ανάμεσα στις κατηγοριοποιήσεις των συμμετεχόντων και τις εξηγήσεις τους:  $r(6)=0,855$ ;  $p<.001$ .

Αντίστοιχα, στον Πίνακα 1.13 μπορούμε να δούμε πώς τοποθετήθηκαν οι συμμετέχοντες σε αρχικές, εναλλακτικές, επιστημονικές μακροσκοπικές και επιστημονικές μικροσκοπικές εξηγήσεις για το βρασμό του νερού σε συνδυασμό με τις κατηγοριοποιήσεις τους.

Πίνακας 1.13: Συσχέτιση Κατηγοριοποιήσεων και Εξηγήσεων για Σύσταση Νερού - Υδρατμού

Κατηγοριοποιήσεις	Σύσταση νερού-υδρατμού			
	αρχική	εναλλακτική	επιστημονική μακροσκοπική	επιστημονική μικροσκοπική
1. ΟΧΙ Καθαρές ουσίες, μείγματα ΟΧΙ Στερεά, Υγρά, Αέρια	24 (77%)	4 (7%)	-	-
2. ΟΧΙ Καθαρές ουσίες, μείγματα ΝΑΙ Στερεά, Υγρά, Αέρια	7 (23%)	53 (93%)	11 (79%)	-
3. ΝΑΙ Καθαρές ουσίες, μείγματα ΝΑΙ Στερεά, Υγρά, Αέρια	-	-	3 (21%)	18 (100%)
ΣΥΝΟΛΟ	31	57	14	18

Από τον πίνακα 1.13 προκύπτει ότι όλοι οι μαθητές που έδωσαν επιστημονική μικροσκοπική εξήγηση μπορούν και κατηγοριοποιούν τα σώματα και βάσει της χημικής τους σύστασης (σε καθαρές ουσίες και μείγματα) και βάσει της φυσικής τους κατάστασης (σε στερεά, υγρά και αέρια). Το ίδιο ισχύει και για το 21 % των συμμετεχόντων που έδωσαν επιστημονική μακροσκοπική εξήγηση, ενώ το 79% από αυτούς ανήκει στην ενδιάμεση κατηγορία όπου κατηγοριοποιούν βάσει της φυσικής κατάστασης αλλά όχι βάσει της χημικής σύστασης. Αντίθετα, όλοι οι συμμετέχοντες οι οποίοι δίνουν αρχική εξήγηση δεν κατηγοριοποιούν τα σώματα βάσει της χημικής τους σύστασης και οι περισσότεροι από αυτούς (77%) δεν κατηγοριοποιούν ούτε σε στερεά, υγρά και αέρια. Τέλος, στην ενδιάμεση εναλλακτική εξήγηση η πλειοψηφία (93%) κατηγοριοποιεί βάσει της φυσικής κατάστασης αλλά όχι βάση της χημικής σύστασης. Με βάση τον δείκτη συσχέτισης Pearson R που υπολογίστηκε (κατηγοριοποίηση \* εξήγηση) υπάρχει στατιστική σημαντικότητα ανάμεσα στις κατηγοριοποιήσεις των συμμετεχόντων και τις εξηγήσεις τους:  $r(6)=0,890$ ;  $p<.001$ .

Στη συνέχεια ελέγξαμε τη συσχέτιση των κατηγοριοποιήσεων των συμμετεχόντων με τις εξηγήσεις που έδωσαν και για τα δύο φαινόμενα, την τήξη του πάγου και το βρασμό του νερού. Με βάση τον δείκτη συσχέτισης Pearson R (κατηγοριοποίηση\*εξηγήσεις) υπάρχει στατιστικά σημαντική συσχέτιση ανάμεσα στις κατηγοριοποιήσεις των συμμετεχόντων και στις εξηγήσεις τους για τα δύο φαινόμενα  $r(10)=0,885$ ;  $p<.001$ . Από τον πίνακα 1.14 προκύπτει ότι όλοι οι μαθητές που έδωσαν επιστημονικές μικροσκοπικές εξηγήσεις και για τα δύο φαινόμενα κατηγοριοποιούν τα σώματα και βάσει της χημικής τους σύστασης (σε καθαρές ουσίες και μείγματα) και βάσει της φυσικής τους κατάστασης (σε στερεά, υγρά και αέρια). Το ίδιο ισχύει και για το 23 % των συμμετεχόντων που έδωσαν επιστημονική μακροσκοπική εξήγηση, ενώ το 77% από αυτούς ανήκει στην ενδιάμεση κατηγορία όπου κατηγοριοποιούν βάσει της φυσικής κατάστασης αλλά όχι βάσει της χημικής σύστασης. Αντίθετα, όλοι οι συμμετέχοντες οι οποίοι δίνουν αρχική εξήγηση και για τα δύο φαινόμενα δεν κατηγοριοποιούν τα σώματα βάσει της χημικής τους σύστασης και οι περισσότεροι από αυτούς (86%) δεν κατηγοριοποιούν ούτε σε στερεά, υγρά και αέρια. Οι περισσότεροι συμμετέχοντες που δίνουν εναλλακτικές εξηγήσεις και για τα δύο φαινόμενα κατηγοριοποιούν τα σώματα βάσει της φυσικής τους κατάστασης αλλά όχι βάσει της χημικής τους σύστασης.

Πίνακας 14: Συσχέτιση Κατηγοριοποιήσεων και Εξηγήσεων για Σύσταση Νερού – Πάγου – Υδρατμού

Κατηγοριοποιήσεις (ερωτ. 3-4 και 9)	Σύσταση νερού-υδρατμού			
	αρχική	εναλλακτική	επιστημονική μακροσκοπική	επιστημονική μικροσκοπική
1. ΟΧΙ Καθαρές ουσίες, μείγματα ΟΧΙ Στερεά, Υγρά, Αέρια	18 (86%)	10 (15%)	-	-
2. ΟΧΙ Καθαρές ουσίες, μείγματα ΝΑΙ Στερεά, Υγρά, Αέρια	3 (14%)	58 (85%)	10 (77%)	-
3. ΝΑΙ Καθαρές ουσίες, μείγματα ΝΑΙ Στερεά, Υγρά, Αέρια	-	-	3 (23%)	18 (100%)
ΣΥΝΟΛΟ	21	68	13	18

Παρά το γεγονός ότι ο δείκτης συνδιακύμανσης προβλέπει μια συσχέτιση για το 20% των περιπτώσεων του δείγματος, μπορούμε να μιλάμε για κάποιες ενδείξεις ισχυρής συσχέτισης ανάμεσα στον τρόπο κατηγοριοποίησης και τις εξηγήσεις για την τήξη του πάγου και το βρασμό του νερού. Φαίνεται πως η αλλαγή από την κατηγοριοποίηση βάσει της φυσικής κατάστασης στην κατηγοριοποίηση βάσει τη χημικής σύστασης προηγείται της κατανόησης της ερμηνείας των φαινομένων και μοιάζει να είναι απαραίτητη προϋπόθεση για την κατανόηση των επιστημονικών ερμηνειών για τα φυσικά φαινόμενα της τήξης του πάγου και του βρασμού του νερού.

## ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Οι ηλικιακές διαφορές στις κατηγοριοποιήσεις των συμμετεχόντων και ιδιαίτερα στις δύο τελευταίες ερωτήσεις κατηγοριοποίησης, όπου ζητάμε ξεκάθαρα από τους συμμετέχοντες να κατηγοριοποιήσουν τα αντικείμενα βάσει της φυσικής τους κατάστασης και βάσει της χημικής τους σύστασης, υποστηρίζουν την αρχική μας υπόθεση ότι υπάρχει αναπτυξιακή αλλαγή στις κατηγοριοποιήσεις των συμμετεχόντων που συντελείται κατά τη μάθηση. Στην αρχή οι κατηγοριοποιήσεις των μαθητών βασίζονται κυρίως στην ομοιότητα των σωμάτων στο σχήμα, το χρώμα ή τη χρήση κλπ.. Στην πορεία, καθώς έρχονται σε επαφή με τις επιστημονικές ιδέες για τα υλικά σώματα χρησιμοποιούν κυρίως τη φυσική κατάσταση των σωμάτων (στερεά, υγρά, αέρια) ως κριτήριο κατηγοριοποίησης, ενώ στη συνέχεια, καθώς αποκτούν περισσότερες ειδικές γνώσεις για τη δομή της ύλης και τα σωματίδια του μικρόκοσμου επανακατηγοριοποιούν τα σώματα βάσει της χημικής τους σύστασης.

Αναλυτικότερα, από την έρευνα προέκυψε ότι η πλειοψηφία των μικρότερων μαθητών (Β΄ Δημοτικού) χρησιμοποιεί ως κριτήριο κατηγοριοποίησης των σωμάτων την ομοιότητα στο σχήμα, το χρώμα ή τη χρήση και ακόμη και όταν τους ζητηθεί να χωρίσουν τα αντικείμενα σε στερεά, υγρά και αέρια (φυσική κατάσταση) ένα ποσοστό 55% δεν τα καταφέρνει, ενώ,

αντίθετα, η πλειοψηφία των μαθητών της Στ' Δημοτικού (88%) κατηγοριοποιούν τα σώματα βάσει της φυσικής τους κατάστασης. Και στις δύο αυτές τάξεις οι μαθητές αντιμετώπισαν δυσκολίες στην κατανόηση της ερμηνείας των φαινομένων της αλλαγής κατάστασης των σωμάτων. Οι φοιτητές του Μ.Ι.Θ.Ε. κατηγοριοποίησαν, επίσης, τα αντικείμενα βάσει της φυσικής τους κατάστασης και αντιμετώπισαν, επίσης, δυσκολίες στο έργο ερμηνείας των φαινομένων της αλλαγής κατάστασης των σωμάτων. Μόνο ένα μικρό ποσοστό τους (19%) κατηγοριοποίησαν τα σώματα βάσει της χημικής τους σύστασης και αυτοί οι φοιτητές κατάφεραν να ερμηνεύσουν και τα φαινόμενα της αλλαγής κατάστασης των σωμάτων. Τέλος, σχεδόν όλοι οι φοιτητές του Χημικού Τμήματος κατηγοριοποίησαν τα αντικείμενα και βάσει της φυσικής τους κατάστασης και βάσει της χημικής τους σύστασης και μπόρεσαν να δώσουν επαρκείς επιστημονικές εξηγήσεις για τα φαινόμενα της αλλαγής της κατάστασης των σωμάτων.

Τα αποτελέσματα αυτά επιβεβαιώνουν προηγούμενα επιχειρήματα που μιλούν για αλλαγή θεωρίας στις εννοιολογικές γνώσεις των παιδιών (Carey 1985, Chi 1992, Vosniadou, 1999) και δείχνουν να επιβεβαιώνουν πειραματικά ότι η διαδικασία της εννοιολογικής αλλαγής απαιτεί οντολογικές αλλαγές, υπόθεση που έχει μελετηθεί από αρκετούς ερευνητές (Carey 1991, Inagaki & Hatano 2002). Ενισχύουν έτσι και το θεωρητικό μας πλαίσιο για τη σχέση της εννοιολογικής αλλαγής και της διαδικασίας των κατηγοριοποιήσεων. Θεωρούμε ότι τα παιδιά από μικρή ηλικία διαμορφώνουν μια αφελή θεωρία φυσικής (Vosniadou & Mason 2007) και βάσει αυτής οι έννοιες εντάσσονται αυτόματα σε κατηγορίες, αποκτώντας τις ιδιότητες των κατηγοριών αυτών (Carey 1985, Murphy & Medin 1985). Πολλές από τις παρανοήσεις των μαθητών οφείλονται σε τέτοιου είδους λανθασμένες κατηγοριοποιήσεις (Chi 2008). Στην πορεία, αν το επεξηγηματικό πλαίσιο εμπλουτιστεί και αναδομηθεί, αυτομάτως επηρεάζεται και ο τρόπος κατηγοριοποίησης των εννοιών.

Επιπλέον, από την έρευνα προέκυψαν ενδείξεις ισχυρής συσχέτισης ανάμεσα στον τρόπο με τον οποίο κατηγοριοποιούν τα υλικά σώματα οι συμμετέχοντες και τις εξηγήσεις που δίνουν για την αλλαγή κατάστασης των σωμάτων. Φαίνεται πως η αλλαγή θεωρίας από την κατηγοριοποίηση βάσει της φυσικής κατάστασης στην κατηγοριοποίηση βάσει της χημικής σύστασης προηγείται της πλήρους κατανόησης της ερμηνείας των φυσικών φαινομένων και μοιάζει να είναι απαραίτητη προϋπόθεση για την κατανόηση των επιστημονικών ερμηνειών για τα φαινόμενα της αλλαγής της φυσικής κατάστασης των σωμάτων. Συνεπώς, τα αποτελέσματα της έρευνας υποστηρίζουν την υπόθεση ότι οι δυσκολίες των μαθητών να κατανοήσουν τις επιστημονικές εξηγήσεις για τα φυσικά φαινόμενα οφείλονται στην τάση των μαθητών να κατηγοριοποιούν τα σώματα βάσει της φυσικής τους κατάστασης και κατ' επέκταση να τους αποδίδουν τις ιδιότητες της αντίστοιχης κατηγορίας.

Όταν οι μαθητές έχουν να κατανοήσουν δύσκολες έννοιες, και ιδιαίτερα όταν οι επιστημονικές ιδέες εντάσσονται σε ένα επεξηγηματικό πλαίσιο που έρχεται σε αντίθεση με το αφελές επεξηγηματικό πλαίσιο των μαθητών, φαίνεται ότι οι μηχανισμοί εμπλουτισμού δεν είναι αποτελεσματικοί και απαιτείται μια ριζική αναδιοργάνωση των αρχικών γνωστικών δομών προκειμένου να επιτευχθεί πιο άμεσα η διαδικασία της εννοιολογικής αλλαγής (Vosniadou, Vamvakoussi & Skopeliti 2008, Vosniadou & Mason 2007), η οποία περιλαμβάνει τον επαναπροσδιορισμό των εννοιών και την επανένταξή τους σε άλλες οντολογικές κατηγορίες ή τη δημιουργία νέων (Carey 1991). Σύμφωνα με την Carey (1985), η εννοιολογική αλλαγή σε πολλές περιπτώσεις απαιτεί την επανατοποθέτηση μιας έννοιας σε μια διαφορετική οντολογική κατηγορία ή τη δημιουργία νέων οντολογικών κατηγοριών –όπως όταν η έννοια της Γης εντάσσεται στην κατηγορία των αστρονομικών αντικειμένων αντί των φυσικών αντικειμένων (Chi 2008, Vosniadou & Skopeliti 2005)–, ενώ άλλες φορές απαιτεί τη διαφοροποίηση ή τη συνένωση εννοιών (Carey 1985, Carey & Spelke 1994, Wiser & Carey 1983). Όταν μια έννοια ενταχθεί σε μια νέα κατηγορία, αυτό σημαίνει ότι οι νόμοι και οι αρχές της νέας κατηγορίας εφαρμόζονται τώρα σε αυτή την έννοια, δηλαδή αποδίδονται στην έννοια νέα χαρακτηριστικά και ιδιότητες (Medin & Rips 2005). Σε αυτό το πλαίσιο η διαδικασία της εννοιολογικής αλλαγής μπορεί να θεωρηθεί μια διαδικασία κατά την οποία οι έννοιες επαναξιολογούνται και οι κατηγορίες στις οποίες εντάσσονται ανανεώνονται.

Η παρούσα έρευνα έδειξε ότι πράγματι οι κατηγορίες που χρησιμοποιούν οι μαθητές χαρακτηρίζονται από βασικές ιδιότητες και όταν ένα υλικό εντάσσεται σε μια κατηγορία θεωρείται ότι φέρει τις ιδιότητες της κατηγορίας αυτής. Αναλυτικότερα, οι ιδιότητες των υλικών σωμάτων προσδιορίζονται από τους μαθητές με αναφορά κυρίως στις αισθήσεις (πχ. η όραση, η αφή) ή μακροσκοπικά χαρακτηριστικά όπως το σχήμα, ο όγκος, το βάρος. Η πλειοψηφία των μαθητών του δημοτικού σχολείου επικεντρώνεται σε λίγες μακροσκοπικές ιδιότητες για τα στερεά (είναι σκληρά, στεγνά, ελαφριά, στέκονται, έχουν συγκεκριμένα σχήματα, είναι ορατά, τα πιάνουμε), για τα υγρά απαντά ότι είναι νερό ή περιέχουν νερό, ενώ για τα αέρια απαντά ότι είναι αέρας και ότι βρίσκονται στον αέρα. Τα αποτελέσματα αυτά συμφωνούν με τη σχετική βιβλιογραφία, αφού είναι ευρύτερα αποδεκτό ότι οι μαθητές θεωρούν ως "στερεά" τα σώματα εκείνα που είναι σκληρά, δεν αλλάζουν εύκολα σχήμα, δε σπάζουν εύκολα και γενικότερα είναι ανθεκτικά, ενώ τα εύπλαστα ή εύθραυστα υλικά συνήθως δεν εντάσσονται στα στερεά. Επιπλέον, για τα υγρά το πρότυπο αναφοράς είναι το νερό και ειδικότερα η ρευστότητά του. Γι' αυτό και οι μαθητές μπορούν με επιτυχία να διακρίνουν τα υγρά σώματα και να τα χαρακτηρίσουν ως υγρά από πολύ νωρίς εξ αιτίας του νερού που λειτουργεί ως παράδειγμα και της ιδέας που συνήθως χρησιμοποιούν ως κριτήριο

ότι: "όλα τα υγρά είναι φτιαγμένα από το νερό". Αντίθετα, για τα στερεά σώματα δεν υπάρχει τέτοιο παράδειγμα, με αποτέλεσμα τα παιδιά να κατατάσσουν συνήθως σωστά τα σκληρά στερεά, ενώ δυσκολεύονται στην κατάταξη των μη σκληρών στερεών, τα οποία πολλά παιδιά τοποθετούν σε ξεχωριστή κατηγορία.

Σχετικές έρευνες έχουν δείξει ότι οι μαθητές αντιμετωπίζουν δυσκολίες να κατανοήσουν την πληροφορία ότι τα υλικά σώματα, όπως για παράδειγμα το νερό, είναι χημικές ενώσεις και εκτός από τη μια κατάσταση (πχ. την υγρή) μπορούν να βρεθούν και στις άλλες (αέρια, στερεή). Η ιδέα ότι κάτω από ορισμένες συνθήκες το νερό βρίσκεται στην αέρια ή τη στερεή κατάσταση δεν είναι διαισθητική και δε συμφωνεί με την καθημερινή εμπειρία των μαθητών, ενώ αντίθετα η άποψη ότι το νερό είναι υγρό είναι προϊόν καθημερινής παρατήρησης. Επομένως, ο απλοϊκός τρόπος με τον οποίο τα παιδιά αντιλαμβάνονται το νερό και γενικότερα τις χημικές ενώσεις έρχεται σε αντίθεση με τον επιστημονικό και η αποδοχή από τη μεριά των μαθητών της επιστημονικής θεωρίας σημαίνει αλλαγές στις βασικές πεποιθήσεις τους. Παρατηρούμε, συνεπώς, ότι το μοντέλο των μαθητών της Β' τάξης είναι διαισθητικό, ενώ σε μεγαλύτερη ηλικία οι μαθητές έχουν διαμορφώσει ένα μοντέλο συνθετικό, καθώς προσπαθούν να ενσωματώσουν τις επιστημονικές πληροφορίες που διδάσκονται στα υπάρχοντα επεξηγηματικά τους πλαίσια. Περιγράφουν λοιπόν τη σύσταση του νερού, του πάγου και του υδρατμού με τη βοήθεια των συστατικών αερίων οξυγόνου και υδρογόνου, όμως δεν λείπουν και απαντήσεις όπως ότι ο πάγος αποτελείται "από οξυγόνο και υδρογόνο παγωμένα" ή "από  $H_2O$  παγωμένο", ή ότι ο υδρατμός αποτελείται από "μόρια νερού που έχουν βράσει" (δηλαδή αποδίδουν μακροσκοπικές ιδιότητες στο μικρόκοσμο) γεγονός που φανερώνει ότι οι μαθητές δεν αγνοούν τις επιστημονικές απόψεις που έχουν διδαχθεί, αλλά τις παραποιούν με τέτοιο τρόπο ώστε να διατηρούν και τις διαισθητικές τους αντιλήψεις.

Συμπερασματικά, θα μπορούσαμε να πούμε ότι παρατηρήθηκε αλλαγή στις κατηγοριοποιήσεις των συμμετεχόντων, η οποία συσχετίζεται με την κατανόηση των επιστημονικών εξηγήσεων για τις φυσικές μεταβολές της ύλης, μόνο που η κατηγοριοποίηση των υλικών σωμάτων βάσει της χημικής τους σύστασης παρατηρείται μόνο στους φοιτητές του Χημικού Τμήματος, οι οποίοι έχουν εξειδικευμένες γνώσεις.

Πράγματι, όσον αφορά στην κατηγοριοποίηση των σωμάτων σε καθαρές ουσίες και μείγματα, η παρούσα έρευνα έδειξε ότι σημαντικό ρόλο παίζει η ηλικία των μαθητών, αφού οι μικρότεροι μαθητές (Β' τάξης) δεν έχουν τις ειδικές γνώσεις που απαιτούνται για τη διάκρισή τους και θεωρούν ως καθαρή ουσία κάτι που «δεν είναι βρόμικο, δεν έχει μικρόβια», «δεν είναι κακό», «κάτι που μπορούμε να φάμε, να πιούμε και δεν παθαίνουμε τίποτα» ή «κάτι που υπάρχει ή δημιουργείται από μόνο του στη φύση και δεν το φτιάχνουμε εμείς». Τα ίδια



κριτήρια εμφανίζονται και στους μαθητές της Στ' τάξης, όπου λίγοι αρχίζουν να αναφέρουν ως κριτήριο το να είναι κάτι «σκέτο, δηλαδή να αποτελείται από ένα συστατικό». Το ίδιο παρατηρείται και στους φοιτητές του Μ.Ι.Θ.Ε. που, επίσης, δεν έχουν ειδικές γνώσεις. Όμως, ακόμη και οι φοιτητές του Μ.Ι.Θ.Ε. που αναφέρουν σαν κανόνα ή ορισμό για τις καθαρές ουσίες ότι αποτελούνται από ένα συστατικό, δυσκολεύονται να εφαρμόσουν αυτό το κριτήριο κατά την κατηγοριοποίηση των σωμάτων, αφού μόνο ένα 19% τα καταφέρνει. Μόνο οι φοιτητές του Χημικού Τμήματος που έχουν ειδικές γνώσεις καταφέρνουν να εφαρμόσουν σωστά το κριτήριο και να επανα-κατηγοριοποιήσουν σωστά τα σώματα βάσει της χημικής τους σύστασης σε καθαρές ουσίες και μείγματα. Τα αποτελέσματα αυτά είναι σε συμφωνία και με άλλες έρευνες που υποστηρίζουν ότι οι μαθητές τείνουν να χαρτογραφούν την "καθαρή ουσία» και το «μείγμα» σε κατηγορίες εντελώς ξένες προς χημεία (Wiser & Smith 2012, Johnson 2002). Οι μαθητές στηρίζονται στην εμφάνιση και θεωρούν τις ουσίες που μοιάζουν ομοιογενείς ως «καθαρές ουσίες» και τις μη ομογενείς ως μείγματα ή την ιστορία του μετασχηματισμού, οπότε «καθαρές ουσίες» είναι αυτές που βρίσκονται έτσι στη φύση, ενώ τα μείγματα παράγονται από "ανάμιξη" ουσιών.

Μετά τα αποτελέσματα αυτής της έρευνας, κρίθηκε σκόπιμο να γίνει εκτενέστερη έρευνα σχετικά με τις κατηγοριοποιήσεις των υλικών σωμάτων για να ελεγχθεί αν υπάρχουν ενδιάμεσα στάδια στις κατηγοριοποιήσεις των συμμετεχόντων που να μην απαιτούν τόσο εξειδικευμένες γνώσεις. Επίσης, κρίθηκε σκόπιμο να ελεγχθεί και πάλι η συσχέτιση των κατηγοριοποιήσεων και των ερμηνειών για τις φυσικές μεταβολές της ύλης. Για τους λόγους αυτούς σχεδιάστηκε και πραγματοποιήθηκε η δεύτερη έρευνα με ένα νέο έργο κατηγοριοποίησης και με δύο έργα ερμηνείας φαινομένων, πάλι για την τήξη του πάγου και το βρασμό του νερού, αλλά με περισσότερες ερωτήσεις που ζητούν από τους μαθητές να περιγράψουν και να εξηγήσουν τα φαινόμενα με λόγια αλλά και με σχέδια, προκειμένου να σχηματίσουμε μια αντιπροσωπευτικότερη εικόνα των ερμηνειών των συμμετεχόντων για τα φαινόμενα αυτά.

## Η ΔΕΥΤΕΡΗ ΕΡΕΥΝΑ

Μετά τα αποτελέσματα της προηγούμενης έρευνας που έδειξαν ότι υπάρχει αλλαγή στις κατηγοριοποιήσεις των συμμετεχόντων, από την κατηγοριοποίηση βάσει της φυσικής κατάστασης των σωμάτων στην κατηγοριοποίηση βάσει της χημικής τους σύστασης, όμως η αλλαγή αυτή παρατηρείται μόνο στους συμμετέχοντες που έχουν εξειδικευμένες γνώσεις για το θέμα, θελήσαμε να διερευνήσουμε αν υπάρχουν ενδιάμεσες αλλαγές στην κατηγοριοποίηση της έννοιας της ύλης, βάσει της μοριακής δομής των σωμάτων, και αν αυτές οι επανακατηγοριοποιήσεις σχετίζονται με τη διαδικασία της μάθησης και κατανόησης των επιστημονικών απόψεων για τις αλλαγές της φυσικής κατάστασης των σωμάτων. Θεωρούμε ότι οι δυσκολίες των μαθητών να κατανοήσουν τις επιστημονικές εξηγήσεις για τα φυσικά φαινόμενα οφείλονται στο γεγονός ότι κατηγοριοποιούν τα σώματα βάσει της φυσικής τους κατάστασης (στερεά, υγρά, αέρια) αντί της μοριακής τους δομής, αποδίδοντας σε αυτά τις ιδιότητες της αντίστοιχης κατηγορίας, οι οποίες δρουν ως περιορισμοί στην προσπάθειά τους να κατανοήσουν τις επιστημονικές απόψεις. Το ερώτημα που προκύπτει είναι πώς συσχετίζεται η διαδικασία κατανόησης των επιστημονικών εξηγήσεων για τα φυσικά φαινόμενα με τη διαδικασία επανακατηγοριοποίησης των υλικών σωμάτων, από την κατηγοριοποίηση βάσει της φυσικής κατάστασης στην κατηγοριοποίηση βάσει της μοριακής δομής. Πιο συγκεκριμένα, μας ενδιαφέρει να διαπιστώσουμε με ποιον τρόπο οι μαθητές κατηγοριοποιούν τα υλικά σώματα, αν στην πορεία επανακατηγοριοποιούν τα υλικά σώματα και αν αυτή η επανακατηγοριοποίηση, η αλλαγή δηλαδή της οντολογικής κατηγορίας της ύλης, σχετίζεται με τη διαδικασία της μάθησης και κατανόησης των επιστημονικών απόψεων για τις αλλαγές της φυσικής κατάστασης των σωμάτων.

## ΥΠΟΘΕΣΕΙΣ

Η παρούσα έρευνα εξετάζει τον τρόπο με τον οποίο μαθητές και φοιτητές κατηγοριοποιούν τα υλικά σώματα σε συνδυασμό με τις εξηγήσεις τους για τις φυσικές μεταβολές της ύλης. Στόχος της μελέτης είναι να διαπιστωθεί αν υπάρχει επανακατηγοριοποίηση της έννοιας της ύλης και κυρίως να εξεταστεί η συσχέτιση ανάμεσα στις κατηγοριοποιήσεις των συμμετεχόντων και στις εξηγήσεις τους για τα φυσικά φαινόμενα.

Υποθέτουμε ότι οι μικρότεροι μαθητές θα κατηγοριοποιήσουν τα υλικά σώματα βάσει της φυσικής τους κατάστασης, ενώ οι μεγαλύτεροι συμμετέχοντες θα είναι σε θέση να παραβλέψουν τις επιφανειακές ομοιότητες της φυσικής κατάστασης των σωμάτων και να τα κατηγοριοποιήσουν βάσει της μοριακής τους δομής. Περιμένουμε λοιπόν αλλαγές στην κατηγοριοποίηση των υλικών σωμάτων ανάλογα με την ηλικία.

Υποθέτουμε επίσης ότι θα υπάρχει ισχυρή συσχέτιση ανάμεσα στον τρόπο με τον οποίο οι συμμετέχοντες κατηγοριοποιούν τα υλικά σώματα και στις εξηγήσεις τους για τις φυσικές μεταβολές της ύλης. Περιμένουμε δηλαδή ότι οι συμμετέχοντες που θα κατηγοριοποιήσουν τα υλικά σώματα βάσει της φυσικής τους κατάστασης θα αντιμετωπίσουν μεγαλύτερες δυσκολίες στην ερμηνεία των φυσικών φαινομένων από ό,τι οι συμμετέχοντες που θα κατηγοριοποιήσουν τα υλικά σώματα βάσει της μοριακής τους δομής. Σύμφωνα με το θεωρητικό μας πλαίσιο, η μετάβαση από την κατηγοριοποίηση των σωμάτων βάσει της φυσικής τους κατάστασης στην κατηγοριοποίησή τους βάσει της μοριακής τους δομής φαίνεται να αποτελεί προϋπόθεση για την κατανόηση των επιστημονικών ερμηνειών σχετικά με τις φυσικές μεταβολές της ύλης. Για να μπορέσουν δηλαδή οι μαθητές να κατανοήσουν πλήρως τις επιστημονικές εξηγήσεις για τα φυσικά φαινόμενα, φαίνεται να είναι απαραίτητη η επανακατηγοριοποίηση της ύλης σε μια νέα οντολογική κατηγορία, προκειμένου να της αποδοθούν νέες ιδιότητες και να αρθούν οι αρχικές πεποιθήσεις των μαθητών που φαίνεται να εμποδίζουν τη μάθηση (Medin & Rips 2005, Vosniadou, Vamvakoussi & Skopeliti 2008).

Για να ελέγξουμε τις παραπάνω υποθέσεις, πραγματοποιήσαμε μια εμπειρική μελέτη με μαθητές δημοτικού σχολείου, γυμνασίου και φοιτητές πανεπιστημίου, όπου χρησιμοποιήθηκαν ένα έργο κατηγοριοποίησης και δύο έργα ερμηνείας φαινομένων τα οποία σχεδιάσαμε για την έρευνα αυτή, αφού πρώτα τα δοκιμάσαμε πιλοτικά.

## ΜΕΘΟΔΟΣ

### Συμμετέχοντες

Η έρευνα πραγματοποιήθηκε σε δημοτικά σχολεία της Αργυρούπολης, σε γυμνάσιο της Αργυρούπολης και στο Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης του Πανεπιστημίου Αθηνών. Το δείγμα αποτέλεσαν 40 μαθητές της Δ' Δημοτικού (9-10 ετών), 40 μαθητές της Στ' Δημοτικού (11-12 ετών), 35 μαθητές της Γ' Γυμνασίου (14-15 ετών) και 30 τριτοετείς φοιτητές του Παιδαγωγικού Τμήματος Δημοτικής Εκπαίδευσης του Πανεπιστημίου Αθηνών (21-25 ετών).

### Διαδικασία

Οι συμμετέχοντες εξετάστηκαν ατομικά με τη μέθοδο της συνέντευξης. Οι συνεντεύξεις διαρκούσαν περίπου 50 λεπτά και πραγματοποιήθηκαν σε αίθουσα του σχολείου ή του πανεπιστημίου, χωρίς την παρουσία άλλων προσώπων. Οι ερωτήσεις που υποβλήθηκαν ήταν ίδιες για όλους τους συμμετέχοντες και η σειρά τους ακολουθήθηκε πιστά. Οι συμμετέχοντες κατέγραφαν τις απαντήσεις τους και έφτιαχναν τα σχέδιά τους σε ειδικό έντυπο που τους δόθηκε, ενώ και η ερευνήτρια κρατούσε σημειώσεις σε ειδικό ένθετο με τις ερωτήσεις. Αρχικά

δόθηκε στους συμμετέχοντες το έργο κατηγοριοποίησης και στη συνέχεια τα δύο έργα ερμηνείας (φυσικών) φαινομένων.

### Υλικά

Για το Έργο Κατηγοριοποίησης χρησιμοποιήθηκαν 8 καρτέλες πάνω στις οποίες ήταν γραμμένα τα ονόματα των εξής αντικειμένων: ΠΑΓΟΣ, ΝΕΡΟ, ΒΡΟΧΗ, ΟΜΙΧΛΗ, ΥΔΡΑΤΜΟΣ, ΣΥΝΝΕΦΟ, ΧΑΛΑΖΙ, ΧΙΟΝΙ, τα οποία οι συμμετέχοντες καλούνταν να χωρίσουν σε ομάδες. Πρόκειται για αντικείμενα τα οποία μπορούσαν να κατηγοριοποιηθούν είτε με βάση τη φυσική τους κατάσταση (στερεά, υγρά, αέρια) είτε με βάση την (κοινή) μοριακή τους δομή (H<sub>2</sub>O).

		<i>Μοριακή Δομή (H<sub>2</sub>O)</i>
<i>Φυσική κατάσταση</i>	<b>Στερεά</b>	πάγος χιόνι χαλάζι
	<b>Υγρά</b>	νερό βροχή
	<b>Αέρια</b>	υδρατμός σύννεφο ομίχλη

Οι συμμετέχοντες καλούνταν να απαντήσουν σε 4 ερωτήσεις για την κατηγοριοποίηση των υλικών σωμάτων και να αιτιολογήσουν κάθε φορά την απάντησή τους, αφού η κάθε ερώτηση συνοδευόταν και από μία ερώτηση αιτιολόγησης («Γιατί έβαλες μαζί αυτά τα αντικείμενα;»). Οι ερωτήσεις κατηγοριοποίησης παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.1.

Στα δύο Έργα Ερμηνείας (Φυσικών) Φαινομένων οι συμμετέχοντες καλούνταν να εξηγήσουν δύο φυσικά φαινόμενα: (α) την Τήξη του Πάγου και (β) το Βρασμό του Νερού, απαντώντας σε 7 και 8 ερωτήσεις, αντίστοιχα, περιγράφοντας και εξηγώντας τα φαινόμενα, προσδιορίζοντας τη σύσταση του νερού, του πάγου και του υδρατμού, και σχεδιάζοντας το εσωτερικό τους. Οι ερωτήσεις ερμηνείας των φαινομένων καταγράφονται στους Πίνακες 2.4 και 2.6.

### ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Αρχικά, παρουσιάζονται οι απαντήσεις και οι επιδόσεις των μαθητών στο έργο κατηγοριοποίησης, προκειμένου να ελεγχθεί η πρώτη υπόθεση της έρευνας για την αλλαγή στις κατηγοριοποιήσεις των συμμετεχόντων. Στη συνέχεια, εξετάζονται οι απαντήσεις και οι επιδόσεις των συμμετεχόντων στα έργα ερμηνείας φαινομένων, προκειμένου να σχηματιστεί μια πιο γενική εικόνα για τις εξηγήσεις τους σχετικά με τις φυσικές μεταβολές της ύλης και οι δυσκολίες που αντιμετωπίζουν. Κατόπιν επιχειρείται η σύγκριση της επίδοσης των συμμετεχόντων στα δύο είδη έργων (κατηγοριοποίησης - ερμηνείας φαινομένων) με στόχο τον έλεγχο της δεύτερης υπόθεσής μας για τη συσχέτιση των κατηγοριοποιήσεών τους με τις εξηγήσεις τους για τα φυσικά φαινόμενα.

## Έργο Κατηγοριοποίησης

Προκειμένου να ελέγξουμε την πρώτη υπόθεση της έρευνάς μας, εξετάσαμε τις κατηγοριοποιήσεις των συμμετεχόντων. Οι απαντήσεις τους στις δύο πρώτες ερωτήσεις κατηγοριοποίησης χωρίστηκαν σε τρεις βασικές κατηγορίες: 1. Τοποθετούν όλα τα αντικείμενα σε μία κατηγορία ( $H_2O$ ). 2. Χωρίζουν στερεά, υγρά, αέρια. 3. Χρησιμοποιούν άλλες κατηγορίες (με βάση την ομοιότητα, τη χρήση κ.λπ.). Στην τρίτη ερώτηση διακρίθηκαν στις κατηγορίες: 1. Χωρίζουν στερεά, υγρά, αέρια. 2. Δεν χωρίζουν στερεά, υγρά, αέρια. Στην τελευταία ερώτηση ομαδοποιήσαμε τις απαντήσεις σε πέντε κατηγορίες: 1. Ναι, θα μπορούσαν να μπου σε μία κατηγορία γιατί είναι η ίδια χημική ένωση ( $H_2O$ ). 2. Ναι, θα μπορούσαν να μπου σε μία κατηγορία γιατί είναι νερό σε διαφορετική φυσική κατάσταση. 3. Ναι, θα μπορούσαν να μπου σε μία κατηγορία τα στερεά και τα υγρά, αλλά όχι τα αέρια. 4. Όχι, δεν θα μπορούσαν να μπου σε μία κατηγορία γιατί δεν ταιριάζουν, δεν είναι ίδια. 5. Όχι, δεν θα μπορούσαν να μπου σε μία κατηγορία γιατί δεν πάνε μαζί στερεά, υγρά και αέρια. Η ομαδοποίηση των απαντήσεων στις ερωτήσεις κατηγοριοποίησης φαίνεται στον Πίνακα 2.1.

Πίνακας 2.1: Απαντήσεις Συμμετεχόντων στις τέσσερις Ερωτήσεις Κατηγοριοποίησης

Ερωτήσεις	Απαντήσεις	Δ' Δημοτ. N=40	Στ' Δημοτ. N=40	Γ' Γυμνασ. N=35	Φοιτητ. ΠΤΔΕ N=30
1. Θέλω να βάλεις μαζί αυτά τα πράγματα που ανήκουν στην ίδια κατηγορία στην ίδια ομάδα. Θέλω να βάλεις μαζί αυτά που πάνε μαζί.	1. Τα βάζουν σε μία κατηγορία $H_2O$	-	-	3%	7%
	2. Χωρίζουν στερεά, υγρά, αέρια	25%	25%	40%	70%
	3. Χρησιμοποιούν άλλες κατηγορίες (με βάση την ομοιότητα, χρήση)	75%	75%	57%	23%
2. Υπάρχει άλλος τρόπος που μπορείς να τα βάλεις μαζί;	1. Τα βάζουν σε μία κατηγορία $H_2O$	3%	8%	20%	27%
	2. Χωρίζουν στερεά, υγρά, αέρια	15%	25%	26%	20%
	3. Χρησιμοποιούν άλλες κατηγορίες (με βάση την ομοιότητα, χρήση)	40%	40%	23%	47%
	4. Δεν απαντούν	42%	27%	31%	6%
3. Μπορείς να χωρίσεις τα αντικείμενα σε στερεά, υγρά και αέρια;	1. Χωρίζουν στερεά, υγρά, αέρια	53%	86%	94%	100%
	2. Δε χωρίζουν στερεά, υγρά, αέρια	47%	14%	6%	-
4. Θα μπορούσαν να μπου όλα τα αντικείμενα σε μία κατηγορία; Γιατί; Γιατί όχι;	1. ΝΑΙ, είναι η ίδια χημική ένωση $H_2O$	-	-	26%	73%
	2. ΝΑΙ, είναι νερό σε διαφορετική φυσική κατάσταση	12%	40%	37%	27%
	3. ΝΑΙ τα στερεά και τα υγρά, αλλά ΟΧΙ τα αέρια	5%	12%	11%	-
	4. ΟΧΙ δεν ταιριάζουν / δεν είναι ίδια	58%	30%	15%	-
	5. ΟΧΙ, γιατί δεν πάνε μαζί στερεά, υγρά και αέρια	25%	18%	11%	-

Η σύγκριση των απαντήσεων των συμμετεχόντων σε κάθε ερώτηση και η ανάλυση του στατιστικού κριτηρίου chi-square ( $\chi^2$ ) έδειξε στατιστικά σημαντικές διαφορές ως προς την ηλικία και για τις τέσσερις ερωτήσεις: Ερώτηση 1:  $\chi^2(6)=26,295$ ,  $p<0,001$ , Ερώτηση 2:

$\chi^2(9)=21,077$ ,  $p=0,012$ , Ερώτηση 3:  $\chi^2(3)=25,445$ ,  $p<0,001$ , Ερώτηση 4:  $\chi^2(12)=97,615$ ,  $p<0,001$ . Διαπιστώνουμε, επομένως, ότι αρχικά οι μαθητές χρησιμοποιούν ως κριτήριο κατηγοριοποίησης την ομοιότητα (στο σχήμα ή τη χρήση), αλλά μέχρι το τέλος του Δημοτικού είναι σε θέση να κατηγοριοποιούν τα σώματα βάσει της φυσικής τους κατάστασης και αρκετοί από αυτούς μπορούν να τα κατηγοριοποιούν και βάσει της μοριακής τους δομής, όταν τους ζητηθεί, ενώ το ποσοστό αυτό αυξάνεται στο Γυμνάσιο και κυρίως στο Πανεπιστήμιο. Τα αποτελέσματα αυτά δείχνουν να επιβεβαιώνουν την πρώτη υπόθεσή μας σχετικά με την επανακατηγοριοποίηση των υλικών σωμάτων με την ηλικία.

Προκειμένου να ελέγξουμε καλύτερα την υπόθεση αυτή, εξετάσαμε λεπτομερέστερα τις απαντήσεις των συμμετεχόντων στις δύο τελευταίες ερωτήσεις κατηγοριοποίησης συνδυαστικά. Θελήσαμε να ελέγξουμε αν οι συμμετέχοντες οι οποίοι κατηγοριοποιούν τα αντικείμενα βάσει της φυσικής τους κατάστασης (στερεά, υγρά, αέρια) μπορούν να τα κατηγοριοποιήσουν και βάσει της μοριακής τους δομής ή όχι. Έτσι, έγινε ένας συνδυασμός των διαφορετικών απαντήσεών τους στις δύο αυτές ερωτήσεις και προέκυψαν πέντε διαφορετικοί τύποι απαντήσεων, οι οποίοι φαίνονται στον Πίνακα 2.2: 1. Στερεά + Υγρά + Αέρια + Επιστημονική Εξήγηση Μικροσκοπική (οι συμμετέχοντες χωρίζουν τα αντικείμενα σε στερεά, υγρά και αέρια, και τα τοποθετούν και σε μία κατηγορία, αιτιολογώντας σωστά την επιλογή τους μικροσκοπικά, απαντούν δηλαδή ότι τα αντικείμενα μπορούν να μπουν σε μία κατηγορία γιατί είναι όλα η ίδια χημική ένωση  $H_2O$ ). Αυτός ο τύπος απάντησης βαθμολογήθηκε με 5. 2. Στερεά + Υγρά + Αέρια + Επιστημονική Εξήγηση Μακροσκοπική (οι συμμετέχοντες χωρίζουν τα αντικείμενα σε στερεά, υγρά και αέρια, και τα τοποθετούν και σε μία κατηγορία, αιτιολογώντας σωστά την επιλογή τους μακροσκοπικά, απαντούν δηλαδή ότι τα αντικείμενα μπορούν να μπουν σε μία κατηγορία γιατί είναι όλα νερό σε διαφορετική φυσική κατάσταση, είναι η στερεή, υγρή και αέρια μορφή του νερού κ.λπ.). Αυτός ο τύπος απάντησης βαθμολογήθηκε με 4. 3. Στερεά + Υγρά – Αέρια (οι συμμετέχοντες χωρίζουν τα αντικείμενα σε στερεά, υγρά και αέρια, και τοποθετούν σε μία κατηγορία μόνο τα στερεά και τα υγρά, απαντώντας ότι τα αέρια δεν ταιριάζουν). Αυτός ο τύπος απάντησης βαθμολογήθηκε με 3. 4. Στερεά – Υγρά – Αέρια (οι συμμετέχοντες χωρίζουν τα αντικείμενα σε στερεά, υγρά και αέρια, και δεν τα τοποθετούν σε μία κατηγορία, απαντώντας ότι δεν ταιριάζουν ή ότι τα στερεά, τα υγρά και τα αέρια δεν μπορούν να μπουν μαζί). Αυτός ο τύπος απάντησης βαθμολογήθηκε με 2. 5. ΟΧΙ Στερεά, Υγρά, Αέρια (οι συμμετέχοντες δεν χωρίζουν τα αντικείμενα σε στερεά, υγρά και αέρια, και δεν τα τοποθετούν σε μία κατηγορία, απαντώντας ότι δεν μπορούν να μπουν μαζί). Αυτός ο τύπος απάντησης βαθμολογήθηκε με 1.

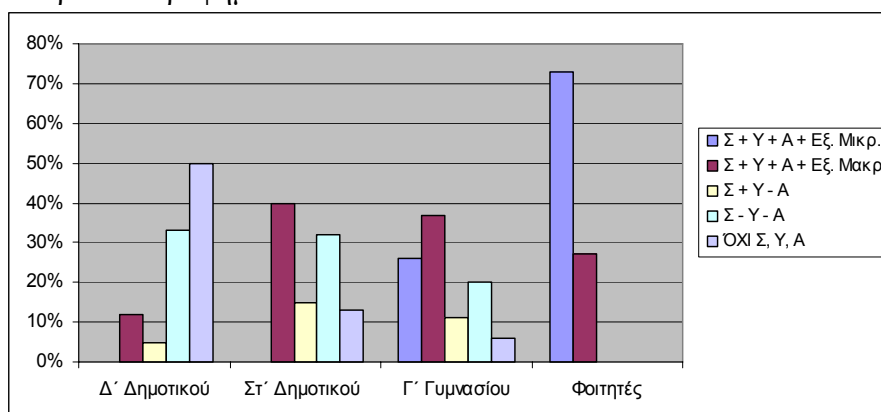
Πίνακας 2.2: Απαντήσεις συμμετεχόντων στις δύο τελευταίες ερωτήσεις κατηγοριοποίησης

Ερωτήσεις	Απαντήσεις	Δ' Δημοτ. N=40	Στ' Δημοτ. N=40	Γ' Γυμνασ. N=35	Φοιτητ. ΠΤΔΕ N=30
Ερωτήσεις 3 + 4	1. Στερεά + Υγρά + Αέρια + Επιστ. Εξήγηση Μικροσκοπική (5)	-	-	26%	73%
	2. Στερεά + Υγρά + Αέρια + Επιστ. Εξήγηση Μακροσκοπική (4)	12%	40%	37%	27%
	3. Στερεά + Υγρά - Αέρια (3)	5%	15%	11%	-
	4. Στερεά - Υγρά - Αέρια (2)	33%	32%	20%	-
	5. ΟΧΙ Στερεά, Υγρά, Αέρια (1)	50%	13%	6%	-

Η σύγκριση των απαντήσεων των συμμετεχόντων με το στατιστικό κριτήριο chi-square ( $\chi^2$ ) έδειξε στατιστικά σημαντικές διαφορές ως προς την ηλικία:  $\chi^2(12)=108,137$ ,  $p<0,001$ . Επίσης υπολογίστηκε η επίδοση των συμμετεχόντων στις δύο αυτές ερωτήσεις κατηγοριοποίησης και πραγματοποιήθηκε Ανάλυση Διακύμανσης μονής κατεύθυνσης / One-way ANOVA (με εξαρτημένη μεταβλητή τις κατηγοριοποιήσεις των συμμετεχόντων και ανεξάρτητη μεταβλητή την ηλικία τους), που έδειξε στατιστικά σημαντική επίδραση της ηλικίας:  $F(3)=49,473$ ,  $p<0,001$  υπέρ των μεγαλύτερων μαθητών. Από τους μέσους όρους των επιδόσεων των μαθητών φάνηκε ότι οι μεγαλύτεροι μαθητές έδωσαν περισσότερες επιστημονικές απαντήσεις στις δύο αυτές ερωτήσεις κατηγοριοποίησης:

Τάξη	N	M.O.	T.A.
Δ' Δημοτικού	40	1,80/5	1,018
Στ' Δημοτικού	40	2,85/5	1,145
Γ' Γυμνασίου	35	3,57/5	1,243
Φοιτητές ΠΤΔΕ	30	4,73/5	0,450

Η κατανομή των απαντήσεων των συμμετεχόντων στις ερωτήσεις κατηγοριοποίησης 3 + 4 φαίνονται καλύτερα στο Γράφημα 2.1.



Γράφημα 2.1: Απαντήσεις συμμετεχόντων στις δύο τελευταίες ερωτήσεις κατηγοριοποίησης


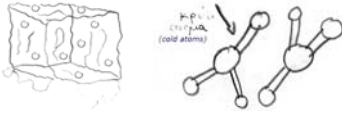


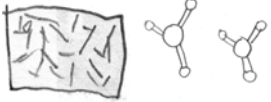


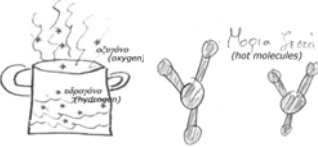
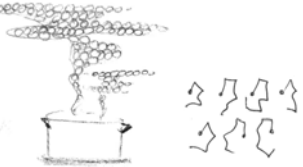
Τα αποτελέσματα αυτά επιβεβαιώνουν την υπόθεσή μας για επανακατηγοριοποίηση των υλικών σωμάτων με την ηλικία, καθώς βρίσκουμε ότι οι μικρότεροι μαθητές κατηγοριοποιούν τα υλικά σώματα βάσει της φυσικής τους κατάστασης, ενώ οι μεγαλύτεροι συμμετέχοντες

μπορούν και παραβλέπουν τις επιφανειακές ομοιότητες της φυσικής τους κατάστασης και τα κατηγοριοποιούν βάσει της μοριακής τους δομής.

### Έργα Ερμηνείας (Φυσικών) Φαινομένων – Τήξη Πάγου – Βρασμός Νερού

Στη συνέχεια, προκειμένου να έχουμε μια γενική εικόνα για τις εξηγήσεις των συμμετεχόντων σχετικά με τις φυσικές μεταβολές της ύλης, εξετάσαμε τις επιδόσεις τους στα δύο έργα ερμηνείας φαινομένων. Το δύο έργα ερμηνείας φαινομένων αφορούσαν την τήξη του πάγου και τον βρασμό του νερού, και αποτελούνταν από 7 και 8 ερωτήσεις, αντίστοιχα. Οι ερωτήσεις καθώς και οι κατηγορίες απαντήσεων των συμμετεχόντων φαίνονται στους Πίνακες 2.4 και 2.6, ενώ χαρακτηριστικά παραδείγματα απαντήσεων ανά κατηγορία απάντησης παρουσιάζονται στους Πίνακες 2.5 και 2.7. Με βάση τις απαντήσεις τους σε όλες τις ερωτήσεις κάθε έργου, οι συμμετέχοντες κατηγοριοποιήθηκαν σε τέσσερις κατηγορίες εξηγήσεων. Τα κριτήρια που χρησιμοποιήσαμε για την κατηγοριοποίηση των εξηγήσεων των συμμετεχόντων στις ερωτήσεις αυτές είναι: 1) Αν περιγράφουν απλώς το φαινόμενο ή δίνουν και κάποια εξήγηση, αν η εξήγηση που δίνουν είναι σωστή ή περιέχει λάθη και παρανοήσεις, και αν η ερμηνεία τους είναι μακροσκοπική ή μικροσκοπική. 2) Τι αναφέρουν για τη σύσταση του πάγου και του νερού ή του νερού και του υδρατμού, και κυρίως αν δέχονται ότι το νερό και ο πάγος ή το νερό και ο υδρατμός αποτελούνται από τα ίδια συστατικά ή όχι. 3) Τα σχέδιά τους για το νερό και τον πάγο ή το νερό και τον υδρατμό, αν είναι σωματιδιακά ή συνεχή, αν αποδίδονται μακροσκοπικές ιδιότητες στα σωματίδια του μικρόκοσμου και κυρίως αν τα σχεδιάζουν ίδια ή διαφορετικά. Μερικά χαρακτηριστικά παραδείγματα των σχεδίων των συμμετεχόντων για κάθε σώμα (πάγος, νερό, υδρατμός) φαίνονται στον παρακάτω πίνακα 2.3, ταξινομημένα σε αρχικά, εναλλακτικά και επιστημονικά σχέδια.

Πίνακας 2.3: Σχέδια Συμμετεχόντων για το Νερό, τον Πάγο και τον Υδρατμό

	Αρχικά σχέδια (συνεχή)	Εναλλακτικά σχέδια (συνεχή ή σωματιδιακά)	Επιστημονικά σχέδια (σωματιδιακά)
πάγος			
νερό			
υδρατμός			











Με βάση τα παραπάνω κριτήρια διακρίναμε τέσσερις τύπους εξηγήσεων για κάθε φαινόμενο. Στον Πίνακα 2.4 παρουσιάζεται το πρότυπο των αναμενόμενων απαντήσεων για την τήξη του πάγου, δηλαδή το είδος των απαντήσεων που οι συμμετέχοντες έπρεπε να δώσουν σε κάθε ερώτηση προκειμένου να ενταχθούν σε έναν από αυτούς τους τέσσερις τύπους εξηγήσεων.

Πίνακας 2.4: Πρότυπο αναμενόμενων απαντήσεων για την τήξη του πάγου

Εξήγηση		Ερώτηση 1 Εδώ βλέπεις ένα παγάκι που λιώνει. Πώς γίνεται αυτό;	Ερώτηση 2 Τι παθαίνει ο πάγος; Γιατί λιγοστεύει;	Ερώτ. 3 Από τι αποτελείται ο πάγος;	Ερώτ. 4 Από τι αποτελείται το νερό;	Ερώτηση 5 Το νερό είναι το ίδιο πράγμα με τον πάγο; Έχουν τίποτα κοινό;	Ερώτ. 6 Σχεδιάσ ε πώς είναι μέσα το παγάκι.	Ερώτ. 7 Σχεδιάσε πώς είναι μέσα το νερό.
Αρχική	<b>Εξήγηση 1</b> Χρονική ακολουθία σε επίπεδο φαινομενικό. Ο πάγος είναι κάτι διαφορετικό από το νερό ή ένα είδος νερού.	Το νερό γίνεται πάγος, ο πάγος γίνεται νερό Περιγραφή και όχι εξήγηση του φαινομένου Εξήγηση σε φαινομενικό επίπεδο.	νερό, κρύο νερό, παγωμένο νερό	νερό, σύννεφα, βροχή	Όχι ή Ναι (αλλά περι- γράφει χρονική σχέση πάγου- νερού)	Αρχικό (συνεχές)	Αρχικό (συνεχές)	
			Δεν καταλαβαίνει την έννοια του «αποτελείται από»					Τα ζωγραφίζει διαφορετικά
Εναλλακτική	<b>Εξήγηση 2</b> Το νερό έχει κάποια κοινά με τον πάγο, αλλά δεν είναι ίδιο.	Κάποιου είδους εξήγηση (σε μακροσκοπικό ή μικροσκοπικό επίπεδο) + λάθη / παρανοήσεις Διαφορετική σύσταση των δύο σωμάτων, μεταφορά μακροσκοπικών ιδιοτήτων της ύλης στο μικρόκοσμο (κρύα μόρια...).	οξυγόνο ή υδρογόνο, οξυγ+υδρογ + κάτι άλλο, κρύα μόρια νερού, ακίνητα μόρια νερού	οξυγόνο + υδρογόνο  μόρια νερού	Όχι Ναι	Εναλλα- κτικό (συνεχές ή σωματι- διακό	Εναλλα- κτικό. (συνεχές ή σωματι- διακό	
			Τα ζωγραφίζει διαφορετικά					
Επιστημονική 1	<b>Εξήγηση 3</b> Και το νερό και ο πάγος αποτελούνται από τα ίδια συστατικά.	Λιώνει λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας (περιβάλλον, ...) και μετατρέπεται από στερεό σε υγρό. Δεν ελαττώνεται, αλλάζει κατάσταση (κυρίως μακροσκοπική ερμηνεία).	νερό, υδρογόνο + οξυγόνο	νερό, υδρογόνο + οξυγόνο	Ναι (είναι τα ίδια συστατικά σε άλλη μορφή / κατάσταση)	Εναλλακ/ επιστημ (συνεχές ή σωματι- διακό	Εναλλακ/ επιστημ (συνεχές ή σωματι- διακό	
			Τα ζωγραφίζει ίδια					
Επιστημονική 2	<b>Εξήγηση 4</b> Και το νερό και ο πάγος αποτελούνται από <b>μόρια νερού</b> (H <sub>2</sub> O)	Λιώνει λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας και μετατρέπεται από στερεό σε υγρό. Αυξάνεται η κινητική ενέργεια των μορίων του πάγου (+οι αποστάσεις τους). Δεν ελαττώνεται, αλλάζει κατάσταση (μικροσκοπική ερμηνεία).	H <sub>2</sub> O, μόρια H <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> O, μόρια H <sub>2</sub> O	Ναι (είναι η ίδια χημική ένωση H <sub>2</sub> O, αλλάζουν οι αποστάσεις και οι κινήσεις των μορίων)	Επιστη- μονικό (σωματι- διακό)	Επιστη- μονικό (σωματι- διακό)	
			Τα ζωγραφίζει ίδια					

Στον Πίνακα 2.5 παρουσιάζεται ένα παράδειγμα απαντήσεων των μαθητών για κάθε τύπο εξήγησης για την τήξη του πάγου.

Πίνακας 2.5: Παραδείγματα απαντήσεων μαθητών ανά τύπο εξήγησης για την τήξη του πάγου

Εξήγηση	Ερ.1 Βλέπεις το παγάκι που λιώνει. Πώς γίνεται αυτό;	Ερ. 2 Γιατί λιγοστεύει ο πάγος;	Ερ. 3 Από τι αποτελείται ο πάγος;	Ερ. 4 Από τι αποτελείται το νερό;	Ερ. 5 Το νερό είναι το ίδιο με τον πάγο; Έχουν τίποτα κοινό;	Ερ. 6 Σχέδιο πάγου	Ερ. 7 Σχέδιο νερού
<b>Εξήγηση 1 (αρχική)</b> Υποκείμενο 29	Όταν το βγάζουμε από την κατάψυξη το παγάκι λιώνει		Από κρύο νερό	Από κάποιες ουσίες	Ναι, το νερό παγώνει και ο πάγος λιώνει		
<b>Εξήγηση 2 (εναλλακτική)</b> Υποκείμενο 67	Τα παγωμένα από το κρύο άτομα ξεσπώνονται και αρχίζουν να κουνιούνται από τη ζέση		Από παγωμένα μόρια νερού	Από μόρια νερού, δηλαδή οξυγόνο + υδρογόνο	Είναι φτιαγμένα από μόρια νερού, ο πάγος από παγωμένα μόρια		
<b>Εξήγηση 3 (επιστημονική μακροσκοπική)</b> Υποκείμενο 128	Το νερό από τη στερεή του μορφή μετατρέπεται σε υγρή. Αυτό γίνεται με την επίδραση της θερμοκρασίας. Πραγματοποιείται το φαινόμενο της τήξης		Από οξυγόνο + υδρογόνο	Από οξυγόνο + υδρογόνο	Ναι, έχουν ίδια σύσταση, ο πάγος είναι η στερεή μορφή του νερού		
<b>Εξήγηση 4 (επιστημονική μικροσκοπική)</b> Υποκείμενο 136	Λόγω της εξωτερικής θερμοκρασίας ο πάγος λιώνει, μετατρέπεται σε υγρό, δηλαδή αυξάνεται η κίνηση των μορίων του, τα οποία έρχονται σε πιο μακρινές αποστάσεις. Η ποσότητα H <sub>2</sub> O παραμένει ίδια		Από μόρια H <sub>2</sub> O	Από μόρια H <sub>2</sub> O	Ναι, έχουν την ίδια σύσταση H <sub>2</sub> O, αλλάζουν μόνο οι αποστάσεις των μορίων		









Αντίστοιχα, για το βρασμό του νερού, στον Πίνακα 2.6 παρουσιάζεται το πρότυπο των αναμενόμενων απαντήσεων, δηλαδή το είδος των απαντήσεων που οι συμμετέχοντες έπρεπε να δώσουν σε κάθε ερώτηση προκειμένου να ενταχθούν σε έναν από τους τέσσερις τύπους εξηγήσεων.

Πίνακας 2.6: Πρότυπο αναμενόμενων απαντήσεων για το βρασμό του νερού

Εξήγηση		Ερώτηση 1 Εδώ βλέπεις το νερό που βράζει μέσα στο δοχείο. Πώς γίνεται αυτό;	Ερώτ. 2 Πού πάει το νερό; Γιατί ελαττώνεται;	Ερώτ. 3 Αυτό που βγαίνει πάνω από το νερό τι είναι;	Ερώτ. 4 Από τι αποτελείται το νερό;	Ερώτ. 5 Από τι αποτελείται ο υδρατμός;	Ερώτηση 6 Το νερό είναι το ίδιο πράγμα με τον υδρατμό; Έχουν τίποτα κοινό;	Ερώτ. 7 Σχεδιάσε πώς είναι μέσα το νερό.	Ερώτ. 8 Σχεδιάσε πώς είναι μέσα ο υδρατμός.
Αρχική	Εξήγηση 1 Χρονική ακολουθία σε επίπεδο φαινομενικό. Ο υδρατμός είναι κάτι διαφορετικό από το νερό ή ένα είδος νερού.	Το νερό γίνεται υδρατμός, ο υδρατμός γίνεται νερό Περιγραφή και όχι εξήγηση του φαινομένου Εξήγηση σε φαινομενικό επίπεδο.	Ατμός, Καπνός, Αέρας, ...	Νερό, σύννεφα, βροχή, ...	νερό, αέρα, νερό+αέρα, βραστό / εξατμισμένο νερό...	Όχι ή Ναι (αλλά περιγράφει χρονική σχέση πάγου-νερού)	Αρχικό (συνεχές)	Αρχικό (συνεχές)	
									Δεν καταλαβαίνει την έννοια του "αποτελείται από"
Εναλλακτική	Εξήγηση 2 Το νερό έχει κάποια κοινά με τον υδρατμό, αλλά δεν είναι ίδιο.	Κάποιον είδους εξήγηση (σε μακροσκοπικό ή μικροσκοπικό επίπεδο) + λάθη / παρανοήσεις Διαφορετική σύσταση των δύο σωμάτων, μεταφορά μακροσκοπικών ιδιοτήτων της ύλης στο μικρόκοσμο (π.χ. ζεστά μόρια...).	αέρας, καπνός, οξυγόνο, ...	οξυγόνο + υδρογόνο  μόρια νερού ...	οξυγόνο ή υδρογόνο, οξυγ+υδρογ+ κάτι άλλο (αέρα, καπνό), ζεστά / βραστά / εξατμισμένα μόρια νερού	Όχι Ναι	Εναλλακτικό (συνεχές ή σωματιδιακό)	Εναλλακτικό (συνεχές ή σωματιδιακό)	
Επιστημονική 1	Εξήγηση 3 Και το νερό και ο υδρατμός αποτελούνται από τα ίδια συστατικά.	Βράζει λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας και μετατρέπεται από υγρό σε αέριο. Δεν ελαττώνεται, αλλάζει κατάσταση (κυρίως μακροσκοπική ερμηνεία).	υδρατμός δηλαδή νερό, υδρογ+οξυγ, νερό σε αέρια κατάσταση	νερό, υδρογ+οξυγ	νερό, υδρογ+οξυγ	Ναι (ίδια συστατικά σε άλλη μορφή / κατάσταση)	Εναλλακ/επιστημ (συνεχές ή σωματιδιακό)	Εναλλακ /επιστημ (συνεχές ή σωματιδιακό)	
									Τα ζωγραφίζει ίδια
Επιστημονική 2	Εξήγηση 4 Και το νερό και ο υδρατμός αποτελούνται από μόρια νερού (H <sub>2</sub> O)	Βράζει λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας (στους 100ο) και μετατρέπεται από υγρό σε αέριο. Αυξάνεται η κινητική ενέργεια των μορίων του νερού (+οι αποστάσεις τους) Δεν ελαττώνεται, αλλάζει κατάσταση (μικροσκοπική ερμηνεία).	Υδρατμός δηλαδή νερό σε αέρια κατάσταση H <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> O, μόρια νερού	H <sub>2</sub> O, μόρια νερού	Ναι (είναι η ίδια χημική ένωση H <sub>2</sub> O αλλάζουν οι αποστάσεις και οι κινήσεις των μορίων)	Επιστημονικό (σωματιδιακό)	Επιστημονικό (σωματιδιακό)	
							Τα ζωγραφίζει ίδια		

Στον παρακάτω Πίνακα 2.7 παρουσιάζονται παραδείγματα των απαντήσεων των μαθητών για κάθε τύπο εξήγησης.

Πίνακας 2.7: Παραδείγματα απαντήσεων μαθητών ανά τύπο εξήγησης για το βρασμό του νερού

Εξήγηση	Ερ.1 Βλέπεις το νερό που βράζει. Πώς γίνεται αυτό;	Ερ. 2 Γιατί λιγότευι το νερό;	Ερ. 4 Από τι αποτελείται το νερό;	Ερ. 5 Από τι αποτελείται ο υδρατμός;	Ερ. 6 Το νερό είναι το ίδιο με τον υδρατμό; Έχουν τίποτα κοινό;	Ερ. 7 Σχέδιο νερού	Ερ. 8 Σχέδιο υδρατμού
<b>Εξήγηση 1 (αρχική)</b> Υποκείμενο 28	<i>Όταν βάζουμε την κατσαρόλα στη φωτιά, η φωτιά σπρώχνει το νερό προς τα πάνω. Το νερό ελαττώνεται γιατί απλώνεται</i>		<i>Από διάφορες ουσίες</i>	<i>Από νερό βραστό</i>	<i>Ναι, το νερό της θάλασσας το τραβάει ο ήλιος και πάει στα σύννεφα και πέφτει βροχή</i>	<i>συνεχές</i> 	<i>συνεχές</i> 
<b>Εξήγηση 2 (εναλλακτική)</b> Υποκείμενο 94	<i>Τα ζεστά μόρια του νερού απομακρύνονται και η κίνησή τους είναι πιο χαλαρή λόγω της αντίδρασής τους με τη θερμότητα</i>		<i>Από οξυγόνο + υδρογόνο</i>	<i>Από ζεστά μόρια νερού</i>	<i>Το ένα είναι υγρό και τα άλλο αέριο, αλλά έχουν ίδια σύσταση</i>	<i>σωματιδ</i> 	<i>σωματιδ</i> 
<b>Εξήγηση 3 (επιστημονική μακροσκοπική)</b> Υποκείμενο 128	<i>Το νερό στους 100οC μετατρέπεται σε υδρατμούς, που είναι η αέρια μορφή του. Πραγματοποιείται το φαινόμενο του βρασμού</i>		<i>Από οξυγόνο + υδρογόνο</i>	<i>Από οξυγόνο + υδρογόνο</i>	<i>Ναι, έχουν ίδια σύσταση, ο υδρατμός είναι η αέρια μορφή του νερού</i>	<i>σωματιδ</i> 	<i>Σωματιδ</i> 
<b>Εξήγηση 4 (επιστημονική μικροσκοπική)</b> Υποκείμενο 136	<i>Λόγω της αυξημένης θερμοκρασίας τα μόρια του H2O απομακρύνονται μεταξύ τους. Το υγρό μετατρέπεται σε αέριο</i>		<i>Από μόρια H2O</i>	<i>Από μόρια H2O</i>	<i>Ναι, έχουν την ίδια σύσταση H2O, αλλά στον υδρατμό απέχουν πιο πολύ μεταξύ τους</i>	<i>σωματιδ</i> 	<i>σωματιδ</i> 

Και στις δύο περιπτώσεις φαινομένων στην εξήγηση 1 (αρχική), οι συμμετέχοντες περιγράφουν απλώς το φαινόμενο χωρίς να το εξηγούν, ή δίνουν μια εξήγηση σε εντελώς φαινομενικό επίπεδο, βασιζόμενη στη χρονική ακολουθία. Ο πάγος ή ο υδρατμός είναι κάτι διαφορετικό από το νερό ή αποτελεί ένα είδος νερού. Συχνά αναφέρουν ότι ο πάγος γίνεται νερό / το νερό γίνεται πάγος ή ότι ο υδρατμός γίνεται νερό / το νερό γίνεται υδρατμός, χωρίς να εξηγούν το πώς ή το γιατί, και χωρίς να θεωρούν καν απαραίτητο να δώσουν μια ερμηνεία. Δεν δείχνουν να αντιλαμβάνονται την έννοια του «αποτελείται από», αφού ακόμη και όταν απαντούν ότι ο πάγος ή ο υδρατμός αποτελείται από νερό, στα σχέδιά τους τον ζωγραφίζουν με διαφορετικό τρόπο από το νερό.

Στην εξήγηση 2 (εναλλακτική), οι συμμετέχοντες δίνουν κάποιου είδους εξήγηση (σε μακροσκοπικό ή μικροσκοπικό επίπεδο), η οποία όμως περιέχει λάθη και παρανοήσεις. Θεωρούν ότι το νερό ή ο υδρατμός έχει κάποια κοινά με τον πάγο, αλλά δεν είναι ίδιο. Στην προσπάθειά τους να ερμηνεύσουν τα φαινόμενα αναφέρονται σε διαφορετική σύσταση των δύο σωμάτων (πχ. το νερό έχει οξυγόνο και υδρογόνο, ενώ ο πάγος νερό και υδρογόνο, και ο υδρατμός μόνο οξυγόνο ή μόνο υδρογόνο) ή μεταφέρουν μακροσκοπικές ιδιότητες της ύλης στο μικρόκοσμο (π.χ. ο πάγος αποτελείται από παγωμένα μόρια, ο υδρατμός αποτελείται από ζεστά μόρια κ.λπ.). Στα σχέδιά τους (συνεχή ή σωματιδιακά) απεικονίζουν με διαφορετικό τρόπο το νερό από τον πάγο και τον υδρατμό.

Στην εξήγηση 3 (επιστημονική μακροσκοπική), οι συμμετέχοντες δίνουν σωστή επιστημονικά εξήγηση για τα φαινόμενα, η οποία όμως είναι κυρίως μακροσκοπική. Αναφέρουν δηλαδή ότι, λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας, ο πάγος μετατρέπεται από στερεό σε υγρό ή το νερό μετατρέπεται από υγρό σε αέριο, και ότι δεν ελαττώνεται αλλά αλλάζει κατάσταση. Απαντούν ότι και το νερό και ο πάγος ή και το νερό και ο υδρατμός αποτελούνται από τα ίδια συστατικά και στα σχέδιά τους τα απεικονίζουν με τον ίδιο τρόπο.

Στην εξήγηση 4 (επιστημονική μικροσκοπική), οι συμμετέχοντες δίνουν και πάλι σωστή επιστημονικά εξήγηση για τα φαινόμενα, η ερμηνεία τους όμως είναι κυρίως μικροσκοπική. Ερμηνεύουν τα φαινόμενα με αναφορά στο μικρόκοσμο και τις κινήσεις και τις αποστάσεις των σωματιδίων του, οι οποίες αυξάνονται με την αύξηση της θερμοκρασίας του σώματος, κάτι που απεικονίζουν και στα σχέδιά τους.

Τα ποσοστά των συμμετεχόντων που τοποθετήθηκαν σε κάθε τύπο εξήγησης για την τήξη του πάγου φαίνονται στον Πίνακα 2.8 και για το βρασμό του νερού στον Πίνακα 2.9.

Πίνακας 2.8: Ποσοστά Συμμετεχόντων ανά Τύπο Εξήγησης για την Τήξη του Πάγου

Εξήγηση Τήξης	Δ' Δημοτ. N=40	Στ' Δημοτ. N=40	Γ' Γυμν. N=35	ΠΤΔΕ Φοιτητ. N=30
<b>Εξήγηση 1</b> (αρχική) <i>Ο πάγος είναι κάτι διαφορετικό από το νερό ή ένα είδος νερού</i> (1)	85%	48%	17%	-
<b>Εξήγηση 2</b> (εναλλακτική) <i>Το νερό έχει κάποια κοινά με τον πάγο, αλλά δεν είναι ίδιο</i> (2)	5%	42%	29%	3%
<b>Εξήγηση 3</b> (επιστημονική μακροσκοπική) <i>Και το νερό και ο πάγος αποτελούνται από τα ίδια συστατικά (κυρίως μακροσκοπική ερμηνεία)</i> (3)	10%	10%	40%	40%
<b>Εξήγηση 4</b> (επιστημονική μικροσκοπική) <i>Και το νερό και ο πάγος αποτελούνται από <b>μόρια νερού</b>, H<sub>2</sub>O (μικροσκοπική ερμηνεία)</i> (4)	-	-	14%	57%

Πίνακας 2.9: Ποσοστά Συμμετεχόντων ανά Τύπο Εξήγησης για το Βρασμό του Νερού

Εξήγηση Βρασμού	Δ΄ Δημοτ. N=40	Στ΄ Δημοτ. N=40	Γ΄ Γυμν. N=35	ΠΤΔΕ Φοιτητ. N=30
<b>Εξήγηση 1</b> (αρχική) <i>Ο υδρατμός είναι κάτι διαφορετικό από το νερό ή ένα είδος νερού</i> (1)	85%	55%	17%	-
<b>Εξήγηση 2</b> (εναλλακτική) <i>Το νερό έχει κάποια κοινά με τον υδρατμό, αλλά δεν είναι ίδιο</i> (2)	7,5%	35%	34%	3%
<b>Εξήγηση 3</b> (επιστημονική μακροσκοπική) <i>Και το νερό και ο υδρατμός αποτελούνται από τα ίδια συστατικά</i> (3)	7,5%	10%	35%	40%
<b>Εξήγηση 4</b> (επιστημονική μικροσκοπική) <i>Και το νερό και ο υδρατμός αποτελούνται από μόρια νερού, H<sub>2</sub>O</i> (4)	-	-	14%	57%

Η ανάλυση του στατιστικού κριτηρίου chi-square ( $\chi^2$ ) έδειξε στατιστικά σημαντικές ηλικιακές διαφορές και για τα δύο φαινόμενα, τήξη πάγου:  $\chi^2(9)=111,073$ ,  $p<0,001$  και βρασμός νερού:  $\chi^2(9)=110,930$ ,  $p<0,001$ .

Οι εξηγήσεις των συμμετεχόντων βαθμολογήθηκαν με 1 όταν έδιναν αρχική ερμηνεία του φαινομένου, με 2 όταν έδιναν εναλλακτική ερμηνεία του φαινομένου, με 3 όταν έδιναν επιστημονική ερμηνεία μακροσκοπική και με 4 όταν έδιναν επιστημονική ερμηνεία μικροσκοπική (με αναφορά στις κινήσεις και τις αποστάσεις των σωματιδίων του μικρόκοσμου).

Υπολογίστηκε η συνολική βαθμολογία των συμμετεχόντων και πραγματοποιήθηκε Ανάλυση Διακύμανσης μονής κατεύθυνσης / One-way ANOVA (με εξαρτημένη μεταβλητή τις ερμηνείες των συμμετεχόντων και ανεξάρτητη μεταβλητή την ηλικία τους), που έδειξε ότι υπάρχει στατιστικά σημαντική επίδραση της ηλικίας και στα δύο φαινόμενα, τήξη πάγου:  $F(3)=67,798$ ,  $p<0,001$  και βρασμός νερού:  $F(3)=71,999$ ,  $p<0,001$ . Οι μεγαλύτεροι συμμετέχοντες έδωσαν περισσότερες επιστημονικές –και κυρίως μικροσκοπικές– ερμηνείες για τα φαινόμενα σε σχέση με τους μικρότερους:

Τάξη	N	Τήξη Πάγου		Βρασμός Νερού	
		M.O.	T.A.	M.O.	T.A.
Δ΄ Δημοτικού	40	1,25/4	0,630	1,23/4	0,577
Στ΄ Δημοτικού	40	1,63/4	0,667	1,55/4	0,677
Γ΄ Γυμνασίου	35	2,51/4	0,951	2,46/4	0,950
Φοιτητές ΠΤΔΕ	30	3,53/4	0,571	3,53/4	0,571

Τέλος, στον Πίνακα 2.10 φαίνεται η κατανομή των συμμετεχόντων βάσει των εξηγήσεων που έδωσαν και για τα δύο φαινόμενα μαζί (τήξη πάγου και βρασμό νερού) καθώς και η βαθμολογία κάθε είδους εξήγησης. Οι απαντήσεις τους βαθμολογήθηκαν με 1 όταν έδιναν αρχική εξήγηση και για τα δύο φαινόμενα, με 2 όταν έδιναν εναλλακτικές εξηγήσεις και για τα δύο φαινόμενα (ή αρχική για το ένα και εναλλακτική για το άλλο), με 3 όταν έδιναν επιστημονική μακροσκοπική εξήγηση και για τα δύο φαινόμενα και με 4 όταν έδιναν επιστημονική μικροσκοπική εξήγηση και για τα δύο φαινόμενα.

Πίνακας 2.10: Ποσοστά Συμμετεχόντων ανά Τύπο Εξήγησης και για τα Δύο Φαινόμενα

Εξηγήσεις Τήξης + Βρασμού	Δ' Δημοτ. N=40	Στ' Δημοτ. N=40	Γ' Γυμν. N=35	ΠΤΔΕ Φοιτητ. N=30
<b>Αρχικές</b> (αρχική εξήγηση και για τα δύο φαινόμενα) (1)	85%	48%	17%	-
<b>Εναλλακτικές</b> (εναλλακτική εξήγηση και για τα δύο φαινόμενα ή αρχική για το ένα και εναλλακτική για το άλλο) (2)	7,5%	42%	34%	3%
<b>Επιστημονικές Μακροσκοπικές</b> (επιστημονική μακροσκοπική εξήγηση και για τα δύο φαινόμενα) (3)	7,5%	10%	43%	40%
<b>Επιστημονικές Μικροσκοπικές</b> (επιστημονική μικροσκοπική εξήγηση και για τα δύο φαινόμενα) (4)	-	-	6%	57%

Και σε αυτή την περίπτωση η Ανάλυση Διακύμανσης μονής κατεύθυνσης / One-way ANOVA (με εξαρτημένη μεταβλητή τις ερμηνείες των συμμετεχόντων και για τα δύο φαινόμενα και ανεξάρτητη μεταβλητή την ηλικία τους) έδειξε στατιστικά σημαντική ηλικιακή διαφορά:  $F(3)=76,276$ ,  $p<0,001$  υπέρ των μεγαλύτερων μαθητών.

Τάξη	N	M.O.	T.A.
Δ' Δημοτικού	40	1,23/4	0,577
Στ' Δημοτικού	40	1,63/4	0,667
Γ' Γυμνασίου	35	2,37/4	0,843
Φοιτητές ΠΤΔΕ	30	3,53/4	0,571

### Συσχετίσεις Κατηγοριοποιήσεων - Ερμηνείας Φαινομένων

Για τον έλεγχο της δεύτερης υπόθεσής μας εξετάσαμε αν οι κατηγοριοποιήσεις των συμμετεχόντων συσχετίζονται με τις εξηγήσεις που δίνουν για τα φυσικά φαινόμενα. Σύμφωνα με τη δεύτερη υπόθεσή μας, περιμένουμε ότι οι συμμετέχοντες που κατηγοριοποιούν τα υλικά σώματα βάσει της φυσικής τους κατάστασης να αντιμετωπίζουν μεγαλύτερες δυσκολίες στην

ερμηνεία των φυσικών φαινομένων σε σχέση με τους συμμετέχοντες που κατηγοριοποιούν τα υλικά σώματα βάσει της μοριακής τους δομής. Επιλέξαμε τη συνδυαστική ερώτηση κατηγοριοποίησης 3+4 και ελέγξαμε τις απαντήσεις των συμμετεχόντων σε αυτή σε σχέση με τις εξηγήσεις που έδωσαν για την τήξη του πάγου και το βρασμό του νερού. Οι δείκτες συσχέτισης Spearman rho, που υπολογίστηκαν για τις κατηγοριοποιήσεις και για κάθε φαινόμενο χωριστά αλλά και για τα δύο μαζί, δείχνουν ότι η υπόθεσή μας επαληθεύεται.

Αναλυτικότερα, ο δείκτης συσχέτισης Spearman rho (κατηγοριοποίηση \* εξήγηση για τήξη πάγου) έδειξε στατιστικά σημαντική συσχέτιση ανάμεσα στις κατηγοριοποιήσεις των συμμετεχόντων και στις εξηγήσεις που έδωσαν για την τήξη του πάγου ( $r_s=0,909$ ,  $p<0,001$ ). Όπως φαίνεται και στον Πίνακα 2.11, όλοι οι μαθητές που έδωσαν επιστημονική εξήγηση μικροσκοπική (4) για την τήξη του πάγου μπορούν και κατηγοριοποιούν τα σώματα και βάσει της μοριακής τους δομής και βάσει της φυσικής τους κατάστασης. Το ίδιο ισχύει και για το 94% των συμμετεχόντων που έδωσαν επιστημονική εξήγηση μακροσκοπική (3) (ακόμη και οι μικρότεροι μαθητές). Υπήρξαν μόνο δύο μαθητές που έδωσαν επιστημονική εξήγηση μακροσκοπική για την τήξη του πάγου οι οποίοι έβαλαν σε μία κατηγορία τα στερεά και τα υγρά, αλλά όχι τα αέρια. Όλοι οι συμμετέχοντες οι οποίοι δίνουν την αρχική εξήγηση (1) για την τήξη του πάγου δεν κατηγοριοποιούν τα σώματα βάσει της μοριακής τους δομής, είτε τα χωρίζουν σε στερεά, υγρά και αέρια είτε όχι. Υπήρξαν μόνο τρεις μαθητές οι οποίοι έβαλαν σε μία κατηγορία τα στερεά και τα υγρά, αλλά όχι τα αέρια. Τέλος, στην ενδιάμεση εναλλακτική εξήγηση (2) τα ποσοστά είναι μοιρασμένα.

Πίνακας 2.11: Συσχέτιση Κατηγοριοποιήσεων και Εξηγήσεων για την Τήξη του Πάγου

Ερώτ. Κατηγοριοποίησης 3+4	Εξήγηση για Τήξη Πάγου			
	εξήγηση 1 (αρχική)	εξήγηση 2 (εναλλακτ.)	εξήγηση 3 (επιστημ. μακρ.)	εξήγηση 4 (επιστημ. μικρ.)
ΟΧΙ Στερεά, Υγρά, Αέρια	26 (44%)	1 (3%)	-	-
Στερεά – Υγρά – Αέρια	30 (51%)	3 (10%)	-	-
Στερεά + Υγρά – Αέρια	3 (5%)	7 (23%)	2 (6%)	-
Στερεά + Υγρά + Αέρια + Επιστ. Εξήγηση Μακροσκοπική	-	19 (64%)	23 (67%)	-
Στερεά + Υγρά + Αέρια + Επιστ. Εξήγηση Μικροσκοπική	-	-	9 (27%)	22 (100%)
Σύνολο	59	30	34	22

Αντίστοιχα, ο δείκτης συσχέτισης Spearman rho (κατηγοριοποίηση \* εξήγηση για βρασμό νερού) έδειξε στατιστικά σημαντική συσχέτιση και ανάμεσα στις κατηγοριοποιήσεις των συμμετεχόντων και στις εξηγήσεις τους για το βρασμό του νερού ( $r_s=0,909$ ,  $p<0,001$ ).



Πίνακας 2.12: Συσχέτιση Κατηγοριοποιήσεων και Εξηγήσεων για το Βρασμό του Νερού

Ερώτ. Κατηγοριοποίησης 3+4	Εξήγηση για Βρασμό Νερού			
	εξήγηση 1 (αρχική)	εξήγηση 2 (εναλλακτ.)	εξήγηση 3 (επιστημ. μακρ.)	εξήγηση 4 (επιστημ. μικρ.)
ΟΧΙ Στερεά, Υγρά, Αέρια	26 (42%)	1 (3%)	-	-
Στερεά – Υγρά – Αέρια	30 (48%)	3 (10%)	-	-
Στερεά + Υγρά – Αέρια	6 (10%)	6 (20%)	-	-
Στερεά + Υγρά + Αέρια + Επιστ. Εξήγηση Μακροσκοπική	-	20 (67%)	22 (71%)	-
Στερεά + Υγρά + Αέρια + Επιστ. Εξήγηση Μικροσκοπική	-	-	9 (29%)	22 (100%)
Σύνολο	62	30	31	22

Τέλος, ελέγξαμε τη συσχέτιση των κατηγοριοποιήσεων των συμμετεχόντων με τις εξηγήσεις που έδωσαν και για τα δύο φυσικά φαινόμενα και ο δείκτης συσχέτισης Spearman rho (κατηγοριοποίηση \* εξήγηση για τήξη πάγου και βρασμό νερού) έδειξε και πάλι ότι υπάρχει στατιστικά σημαντική συσχέτιση ανάμεσα στις κατηγοριοποιήσεις των συμμετεχόντων και στις εξηγήσεις τους για τα δύο φαινόμενα ( $r_s=0,912$ ,  $p<0,001$ ).

Πίνακας 2.13: Συσχέτιση Κατηγοριοποιήσεων και Εξηγήσεων και για τα Δύο Φαινόμενα

Ερώτηση Κατηγοριοποίησης 3+4	Εξήγηση τήξης πάγου και βρασμό νερού			
	αρχικές	εναλλακτικές	επιστημονικές μακροσκοπικές	επιστημονικές μικροσκοπικές
ΟΧΙ Στερεά, Υγρά, Αέρια	26 (44%)	1 (3%)	-	-
Στερεά – Υγρά – Αέρια	30 (51%)	3 (9%)	-	-
Στερεά + Υγρά – Αέρια	3 (5%)	9 (27%)	-	-
Στερεά + Υγρά + Αέρια + Επιστ. Εξήγηση Μακροσκ.	-	20 (61%)	22 (65%)	-
Στερεά + Υγρά + Αέρια + Επιστ. Εξήγηση Μικροσκ.	-	-	12 (35%)	19 (100%)
Σύνολο	59	33	34	19

Από τον Πίνακα 2.13 προκύπτει ότι όλοι οι μαθητές που έδωσαν επιστημονική εξήγηση μικροσκοπική και για τα δύο φαινόμενα μπορούν και κατηγοριοποιούν τα σώματα και βάσει της φυσικής τους κατάστασης και βάσει της μοριακής τους δομής (δίνοντας μάλιστα εξήγηση επιστημονική μικροσκοπική). Το ίδιο ισχύει και για όλους τους συμμετέχοντες που έδωσαν επιστημονική εξήγηση μακροσκοπική και για τα δύο φαινόμενα (με το 35% από αυτούς να κατηγοριοποιούν τα σώματα βάσει της μοριακής τους δομής δίνοντας εξήγηση επιστημονική μικροσκοπική). Όλοι οι συμμετέχοντες οι οποίοι δίνουν την αρχική εξήγηση για τα φαινόμενα δεν κατηγοριοποιούν τα σώματα βάσει της μοριακής τους δομής, είτε τα χωρίζουν σε στερεά, υγρά και αέρια (51%) είτε όχι (44%), και μόνο ένα ποσοστό 5% τοποθετεί μαζί τα στερεά και

τα υγρά, αλλά όχι τα αέρια. Τέλος, στην ενδιάμεση εναλλακτική εξήγηση τα ποσοστά είναι μοιρασμένα.

Παρά το γεγονός ότι ο δείκτης συνδιακύμανσης προβλέπει μια συσχέτιση για το 20% των περιπτώσεων του δείγματος, μπορούμε να μιλάμε για κάποιες ενδείξεις ισχυρής συσχέτισης ανάμεσα στον τρόπο κατηγοριοποίησης και στις εξηγήσεις για την τήξη του πάγου και το βρασμό του νερού. Προκειμένου να μελετήσουμε περαιτέρω τη σχέση ανάμεσα στις κατηγοριοποιήσεις των συμμετεχόντων και στις ερμηνείες τους για τα φαινόμενα, πραγματοποιήσαμε ανάλυση παλινδρόμησης. Η ανάλυση παλινδρόμησης (με την ερμηνεία των φαινομένων ως εξαρτημένη μεταβλητή και τις κατηγοριοποιήσεις στις ερωτήσεις 3+4 ως προβλεπτικό παράγοντα) υπήρξε στατιστικά σημαντική  $F(1,143)=575,082$ ,  $p<0,001$ ,  $R^2=0,80$ . Οι κατηγοριοποιήσεις των υλικών σωμάτων φαίνεται να αποτελούν σημαντικό προβλεπτικό παράγοντα για την ερμηνεία των φυσικών φαινομένων ( $Beta=-0,895$ ,  $p<0,001$ ). Φαίνεται ότι αν γνωρίζουμε τις κατηγοριοποιήσεις των συμμετεχόντων στις ερωτήσεις 3+4, μπορούμε να προβλέψουμε κατά 80% τις ερμηνείες τους για τα φυσικά φαινόμενα.

Επομένως, φαίνεται ότι η αλλαγή θεωρίας από την κατηγοριοποίηση βάσει της φυσικής κατάστασης των σωμάτων στην κατηγοριοποίηση βάσει της μοριακής δομής τους προηγείται της πλήρους κατανόησης της ερμηνείας των φυσικών μεταβολών της ύλης και μοιάζει να είναι απαραίτητη (καθώς η μεγάλη πλειονότητα των συμμετεχόντων που έδωσαν επιστημονική εξήγηση, και κυρίως μικροσκοπική, για την τήξη του πάγου και το βρασμό του νερού είχε κατηγοριοποιήσει τα σώματα βάσει της μοριακής τους δομής), αλλά όχι και επαρκής (δεδομένου ότι ένα ποσοστό συμμετεχόντων που κατηγοριοποίησε τα σώματα βάσει της μοριακής τους δομής έδωσε εναλλακτική εξήγηση) προϋπόθεση για την κατανόηση των επιστημονικών ερμηνειών αναφορικά με τα φυσικά φαινόμενα της τήξης του πάγου και του βρασμού του νερού.

## ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Οι ηλικιακές διαφορές στις κατηγοριοποιήσεις των συμμετεχόντων και ιδιαίτερα στις δύο τελευταίες ερωτήσεις κατηγοριοποίησης, όπου ζητάμε ξεκάθαρα από τους συμμετέχοντες να κατηγοριοποιήσουν τα αντικείμενα βάσει της φυσικής τους κατάστασης (ερώτηση 3) και βάσει της μοριακής τους δομής (ερώτηση 4), υποστηρίζουν την αρχική μας υπόθεση ότι υπάρχει επανακατηγοριοποίηση των υλικών σωμάτων από τους συμμετέχοντες που συντελείται κατά τη μάθηση. Στην αρχή οι κατηγοριοποιήσεις των μαθητών βασίζονται κυρίως στην ομοιότητα των σωμάτων στο σχήμα, το χρώμα ή τη χρήση κ.λπ. Στην πορεία, καθώς έρχονται σε επαφή με τις επιστημονικές ιδέες για τα υλικά σώματα, χρησιμοποιούν τη φυσική κατάσταση των

σωμάτων (στερεά, υγρά, αέρια) ως κριτήριο κατηγοριοποίησης. Ακολουθεί μια κατηγοριοποίηση όπου τα στερεά και τα υγρά μπορούν να ενταχθούν σε μία κατηγορία, τα αέρια όμως εξακολουθούν να δημιουργούν πρόβλημα και να μην μπορούν να ενσωματωθούν στην κατηγορία αυτή. Τέλος, καθώς οι μαθητές αποκτούν περισσότερες γνώσεις για τη δομή της ύλης και τα σωματίδια του μικρόκοσμου, επανακατηγοριοποιούν τα σώματα βάσει της μοριακής τους δομής. Η διαδικασία, δηλαδή, της εννοιολογικής ανάπτυξης προχωράει μέσω συνθετικών μοντέλων στη σταδιακή διαμόρφωση μιας συνεχώς αναδιοργανωμένης έννοιας για τα υλικά σώματα που είναι πιο κοντά στην επιστημονική. Οι ενδιάμεσες κατηγορίες είναι αυτές όπου καταβάλλεται προσπάθεια από τους μαθητές να συνδυάσουν τις νέες πληροφορίες που διδάσκονται με το υπάρχον επεξηγηματικό τους πλαίσιο.

Αναλυτικότερα, η πλειονότητα των μικρότερων μαθητών (Δ΄ Δημοτικού) χρησιμοποιεί ως κριτήριο κατηγοριοποίησης των σωμάτων την ομοιότητα στο σχήμα, το χρώμα ή τη χρήση, και ακόμη και όταν τους ζητηθεί να χωρίσουν τα αντικείμενα σε στερεά, υγρά και αέρια (φυσική κατάσταση), ένα ποσοστό 45% δεν τα καταφέρνει. Αντίθετα, η πλειονότητα των μαθητών της Στ΄ Δημοτικού (88%), σχεδόν όλοι οι μαθητές της Γ΄ Γυμνασίου (94%) και όλοι οι φοιτητές (100%) κατηγοριοποιούν τα σώματα βάσει της φυσικής τους κατάστασης.

Παρατηρούμε επίσης (στην τελευταία ερώτηση κατηγοριοποίησης) μια σταδιακή αύξηση του ποσοστού των μαθητών που κατηγοριοποιούν τα σώματα βάσει της κοινής μοριακής τους δομής, το οποίο ξεκινά από το 18% στην Δ΄ Δημοτικού, γίνεται 47% στην Στ΄ Δημοτικού, 66% στην Γ΄ Γυμνασίου και φτάνει το 100% στους φοιτητές. Διαπιστώνουμε επομένως ότι μέχρι το τέλος του Δημοτικού οι μαθητές είναι σε θέση να κατηγοριοποιούν τα σώματα βάσει της φυσικής τους κατάστασης, ενώ αρκετοί από αυτούς μπορούν να τα κατηγοριοποιούν και βάσει της μοριακής τους δομής, όταν τους ζητηθεί. Το ποσοστό αυτό αυξάνεται στο Γυμνάσιο και κυρίως στο Πανεπιστήμιο.

Τα αποτελέσματα αυτά επιβεβαιώνουν προηγούμενα επιχειρήματα που μιλούν για αλλαγή θεωρίας στις εννοιολογικές γνώσεις των παιδιών (Carey 1985, Chi 1992, Vosniadou 1999) και δείχνουν να επιβεβαιώνουν πειραματικά ότι η διαδικασία της εννοιολογικής αλλαγής απαιτεί οντολογικές αλλαγές, υπόθεση που έχει μελετηθεί από αρκετούς ερευνητές (Carey 1991, Inagaki & Hatano 2002). Ενισχύουν έτσι και το θεωρητικό μας πλαίσιο για τη σχέση της εννοιολογικής αλλαγής και της διαδικασίας των κατηγοριοποιήσεων. Θεωρούμε ότι τα παιδιά από μικρή ηλικία διαμορφώνουν μια αφελή θεωρία φυσικής (Vosniadou & Mason 2007) και βάσει αυτής οι έννοιες εντάσσονται αυτόματα σε κατηγορίες, αποκτώντας τις ιδιότητες των κατηγοριών αυτών (Carey 1985, Murphy & Medin 1985). Οι περισσότερες από τις παρανοήσεις των μαθητών οφείλονται σε τέτοιου είδους λανθασμένες κατηγοριοποιήσεις (Chi

2008). Στην πορεία, αν το επεξηγηματικό πλαίσιο εμπλουτιστεί και αναδομηθεί, αυτομάτως επηρεάζεται και ο τρόπος κατηγοριοποίησης των εννοιών. Όταν μια έννοια επανακατηγοριοποιείται, της αποδίδονται νέα χαρακτηριστικά και ιδιότητες, καθώς οι νόμοι και οι αρχές που ισχύουν για τη νέα κατηγορία τώρα εφαρμόζονται σε αυτή την έννοια (Medin & Rips 2005). Σε αυτό το πλαίσιο η διαδικασία της εννοιολογικής αλλαγής μπορεί να θεωρηθεί μια επαναξιολόγηση των εννοιών και ανανέωση των κατηγοριών (Vosniadou & Mason 2007).

Επιπλέον, από την έρευνα προέκυψαν ενδείξεις συσχέτισης ανάμεσα στον τρόπο με τον οποίο οι συμμετέχοντες κατηγοριοποιούν τα υλικά σώματα και στις εξηγήσεις που δίνουν για τα φυσικά φαινόμενα. Φαίνεται ότι η αλλαγή θεωρίας από την κατηγοριοποίηση βάσει της φυσικής κατάστασης στην κατηγοριοποίηση βάσει της μοριακής δομής προηγείται της πλήρους κατανόησης της ερμηνείας των φυσικών φαινομένων και μοιάζει να είναι απαραίτητη προϋπόθεση για την κατανόηση των επιστημονικών ερμηνειών σχετικά με τα φαινόμενα της αλλαγής της φυσικής κατάστασης των σωμάτων.

Τα αποτελέσματα αυτά συμφωνούν με τις παρατηρήσεις και προτάσεις και άλλων ερευνητών (Wiser & Smith 2008), που υποστηρίζουν ότι προκειμένου οι μαθητές της πρωτοβάθμιας εκπαίδευσης να προσεγγίσουν τη σωματιδιακή θεωρία για την ύλη, πρέπει να προηγηθεί η κατανόηση μερικών μακροσκοπικών εννοιών, ενώ η προσέγγιση των σωματιδιακών ιδεών για την ύλη σε αυτή την ηλικία είναι απαραίτητη, γιατί τους βοηθά να παγιώσουν την κατανόηση για την ύλη αλλά και να προσεγγίσουν καλύτερα άλλες μακροσκοπικές έννοιες που χωρίς τη σωματιδιακή θεωρία δεν είναι εύκολο να ερμηνευτούν (π.χ. αλλαγή κατάστασης).

Συνεπώς, τα αποτελέσματα της έρευνας υποστηρίζουν την υπόθεση ότι οι δυσκολίες των μαθητών να κατανοήσουν τις επιστημονικές εξηγήσεις για τα φυσικά φαινόμενα οφείλονται στην τάση τους να κατηγοριοποιούν τα σώματα βάσει της φυσικής τους κατάστασης (αντί της μοριακής τους δομής) και κατ' επέκταση να τους αποδίδουν τις ιδιότητες της αντίστοιχης κατηγορίας, και ότι η επανακατηγοριοποίηση της έννοιας της ύλης σε μια νέα οντολογική κατηγορία μοιάζει να είναι απαραίτητη για την πλήρη κατανόηση των επιστημονικών εξηγήσεων για τα φυσικά φαινόμενα.

Γενικότερα, σε περιπτώσεις όπου οι μαθητές έχουν να κατανοήσουν δύσκολες έννοιες, και ιδιαίτερα όταν οι επιστημονικές ιδέες εντάσσονται σε ένα επεξηγηματικό πλαίσιο που έρχεται σε αντίθεση με το αφελές επεξηγηματικό πλαίσιο των μαθητών, φαίνεται ότι οι μηχανισμοί εμπλουτισμού δεν είναι αποτελεσματικοί και απαιτείται μια ριζική αναδιοργάνωση των αρχικών γνωστικών δομών προκειμένου να επιτευχθεί πιο άμεσα η διαδικασία της

εννοιολογικής αλλαγής (Vosniadou, Vamvakoussi & Skopeliti 2008, Vosniadou & Mason 2007), η οποία περιλαμβάνει τον επαναπροσδιορισμό των εννοιών και την επανένταξή τους σε άλλες οντολογικές κατηγορίες ή τη δημιουργία νέων (Carey 1991). Όταν μια έννοια ενταχθεί σε μια νέα κατηγορία, αυτό σημαίνει ότι οι νόμοι και οι αρχές που ισχύουν για τη νέα κατηγορία τώρα πλέον εφαρμόζονται σε αυτή την έννοια, δηλαδή αποδίδονται πια στην έννοια νέα χαρακτηριστικά και ιδιότητες (Medin & Rips 2005).

Η δυσκολία πολλών μαθητών να κατανοήσουν τις έννοιες των φυσικών επιστημών οφείλεται συχνά στο ότι το ζήτημα της εννοιολογικής αλλαγής δεν λαμβάνεται υπόψη κατά τη διδασκαλία, καθώς πολλοί εκπαιδευτικοί θεωρούν ότι οι νέες πληροφορίες που παρέχουν μπορούν να ενσωματωθούν εύκολα στις υπάρχουσες γνώσεις των μαθητών, και δεν συνειδητοποιούν ότι μερικές φορές η προϋπάρχουσα γνώση μπορεί να σταθεί εμπόδιο στην περαιτέρω μάθηση, όταν οι νέες πληροφορίες που διδάσκονται είναι μη συμβατές με τις υπάρχουσες (Βοσνιάδου, Βαμβακούση & Σκοπελίτη 2008).

## **Η ΤΡΙΤΗ ΕΡΕΥΝΑ**

**ΑΛΛΑΓΗ ΣΤΗΝ ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΕΝΝΟΙΑΣ ΤΗΣ ΥΛΗΣ  
ΚΑΙ Ο ΡΟΛΟΣ ΤΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΙΚΩΝ ΠΕΠΟΙΘΗΣΕΩΝ**

## Η ΤΡΙΤΗ ΕΡΕΥΝΑ

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, πληθώρα ερευνών στο χώρο των φυσικών επιστημών έχουν δείξει ότι τα παιδιά αντιμετωπίζουν δυσκολίες στην κατανόηση των επιστημονικών εξηγήσεων για τα φυσικά φαινόμενα (Smith, Carey & Wisner 1985, Nussbaum 1985, Stavy και Stachel 1985, Nakhlem και Samarapungavan 1999, Driver et al. 1994, Snir, Smith & Raz 2003, Lee et al. 1993) καθώς συγκροτούν δικά τους επεξηγηματικά πλαίσια για την ύλη και τις μεταβολές της τα οποία διαφέρουν σημαντικά από τα επιστημονικά. Αναλυτικότερα, σύμφωνα με το επεξηγηματικό πλαίσιο των μαθητών για την ύλη (Κουκά 2000) τα σώματα είναι συνεχή, η ταυτότητά τους προσδιορίζεται από τη φυσική τους κατάσταση, η οποία προσδιορίζεται από λίγες ιδιότητες, και τα σώματα δεν αλλάζουν ταυτότητα, ενώ βάσει του επιστημονικού επεξηγηματικού πλαισίου για την ύλη (Κουκά 2000, Καλκάνης 2007) τα φυσικά σώματα αποτελούνται από σωματίδια που βρίσκονται σε συνεχή κίνηση, η ταυτότητά τους βασίζεται στη μοριακή τους δομή, τα φυσικά σώματα είναι δυνατόν να αλλάζουν ταυτότητα και οι φυσικές καταστάσεις της ύλης περιγράφονται με τη βοήθεια των μορίων και η μετάβαση από τη μία φυσική κατάσταση στην άλλη εξηγείται με την αλλαγή των ελκτικών δυνάμεων ανάμεσα στα μόρια. Επιπλέον, οι προηγούμενες έρευνές μας (Gikoroulou & Vosniadou 2006, 2012) έδειξαν ότι η κατανόηση των επιστημονικών εξηγήσεων για τα φυσικά φαινόμενα σχετίζεται με τη διαδικασία της κατηγοριοποίησης των υλικών σωμάτων. Θεωρούμε ότι οι μαθητές κατηγοριοποιούν τα φυσικά σώματα βάσει της φυσικής τους κατάστασης αντί της μοριακής τους δομής και αποδίδουν σε αυτά τις ιδιότητες της αντίστοιχης κατηγορίας, οι οποίες λειτουργούν ως περιορισμοί στην προσπάθειά τους να κατανοήσουν τις επιστημονικές εξηγήσεις. Τα αποτελέσματα των ερευνών αυτών επιβεβαίωσαν την επανακατηγοριοποίηση της έννοιας των υλικών σωμάτων, ενώ διαπιστώθηκε συσχέτιση μεταξύ των κατηγοριοποιήσεων και των εξηγήσεων των μαθητών για τις φυσικές μεταβολές της ύλης.

Θεωρούμε ότι οι δυσκολίες αυτές των μαθητών οφείλονται στο γεγονός ότι έχουν διαμορφώσει αρχικές ερμηνείες για την ύλη και τις ιδιότητές της, βάσει των καθημερινών εμπειριών και παρατηρήσεών τους, οι οποίες διαφέρουν αισθητά από τις αντίστοιχες επιστημονικές. Έρευνες στο χώρο της γνωστικής ανάπτυξης έχουν δείξει ότι τα παιδιά ακόμη και από τη βρεφική ηλικία οργανώνουν τις εμπειρικές πληροφορίες που λαμβάνουν από τις αισθήσεις τους σε στενά αλλά συνεκτικά επεξηγηματικά, διαμορφώνουν δηλαδή αφελείς θεωρίες οι οποίες κατευθύνουν τον τρόπο που αντιλαμβάνονται τις έννοιες και τα φαινόμενα γύρω τους (Βοσνιάδου, Βαμβακούση & Σκοπελίτη 2008, Carey 1985). Αυτές οι αφελείς θεωρίες δεν είναι αποσπασματικές, διαθέτουν εσωτερική συνοχή και παρέχουν στα παιδιά τη

δυνατότητα να κάνουν προβλέψεις και να δίνουν εξηγήσεις, διαφέρουν όμως αισθητά από τις αντίστοιχες επιστημονικές και είναι δύσκολο να αλλάξουν, γι' αυτό και μπορούν να αποτελέσουν εμπόδιο κατά τη διαδικασία της μάθησης (και) στο χώρο των φυσικών επιστημών (Βοσνιάδου, Βαμβακούση & Σκοπελίτη 2008). Αυτά τα επεξηγηματικά πλαίσια εμπεριέχουν αιτιακούς μηχανισμούς και κατευθύνονται από οντολογικούς και επιστημολογικούς περιορισμούς.

Σύμφωνα με τη θεωρία πλαισίου που έχει προταθεί από τη Βοσνιάδου και τους συνεργάτες της (Vosniadou & Mason 2012) και όπως προκύπτει από σχετικές έρευνες (Vosniadou & Brewer 1992, 1994, Vosniadou 2006, Vosniadou & Vamvakousi 2006, Vosniadou & Verschaffel 2004, Vosniadou, Vamvakousi & Skopeliti 2008) ορισμένες έννοιες είναι δύσκολο να γίνουν κατανοητές από τα παιδιά γιατί παραβιάζουν πολλές από τις αρχές των αφελών θεωριών τους, οι οποίες είναι καλά εδραιωμένες και δύσκολα τίθενται υπό αμφισβήτηση. Όταν οι μαθητές εκτίθενται στις επιστημονικές εξηγήσεις προσπαθούν να ενσωματώσουν τις νέες μη συμβατές πληροφορίες στο υπάρχον επεξηγηματικό τους πλαίσιο, όμως αυτή η ασυμβατότητα μπορεί να οδηγήσει είτε σε εσωτερική ασυνέπεια (άρα και σε αποσπασματικότητα) είτε στη δημιουργία παρανοήσεων. Σε αυτές τις περιπτώσεις, η κατανόηση των επιστημονικών εννοιών απαιτεί την αναδιοργάνωση των αφελών θεωριών, που μπορεί να θεωρηθεί ως αλλαγή θεωρίας. Η μάθηση σε αυτή την περίπτωση, δηλαδή, δεν επιτυγχάνεται μόνο με την προσθήκη νέων πληροφοριών ή με την κάλυψη των κενών αλλά απαιτεί ριζικές εννοιολογικές αλλαγές που εμπερικλείουν και οντολογικές αλλαγές.

Σύμφωνα με την Carey (1985) η εννοιολογική αλλαγή σε πολλές περιπτώσεις απαιτεί την επανατοποθέτηση μιας έννοιας σε μια διαφορετική οντολογική κατηγορία ή τη δημιουργία νέων οντολογικών κατηγοριών, ενώ άλλες φορές απαιτεί τη διαφοροποίηση ή τη συνένωση εννοιών, όπως τη διαφοροποίηση των εννοιών θερμότητα και θερμοκρασία ή βάρος και πυκνότητα (Carey 1985, Carey & Spelke 1994, Wiser & Carey 1983). Η Chi (2008) αναφέρεται, επίσης, στη σημασία της αλλαγής κατηγορίας για την εννοιολογική αλλαγή και υποστηρίζει ότι μεγαλύτερη δυσκολία για την αλλαγή της εσφαλμένης γνώσης παρατηρείται όταν μια έννοια εντάσσεται σε λανθασμένη οντολογική κατηγορία, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει στην εξαγωγή λανθασμένων συμπερασμάτων και στην απόδοση ιδιοτήτων που μπορούν να εμποδίσουν την μάθηση. Για τη διόρθωση τέτοιων παρανοήσεων είναι απαραίτητο να κατανοήσει ο μαθητής ότι χρειάζεται μια οντολογική αλλαγή και να αντιληφθεί τη σωστή κατηγορία στην οποία η έννοια πράγματι ανήκει. Για πολλές ισχυρές παρανοήσεις στις φυσικές επιστήμες η νέα κατηγορία στην οποία πρέπει να επανατοποθετηθούν οι έννοιες δεν



υπάρχει στη γνωστική βάση των μαθητών, επομένως η διδασκαλία πρέπει να φτιάξει μια νέα κατηγορία (Chi 2008). Όταν μια έννοια ενταχθεί σε μία νέα κατηγορία, αυτό σημαίνει πως τώρα στην έννοια αυτή αποδίδονται νέα χαρακτηριστικά και ιδιότητες (Medin & Rips, 2005).

Από προηγούμενες έρευνες στο χώρο προκύπτει ότι τα παιδιά αρχικά προσπαθούν να προσθέσουν τις επιστημονικές πληροφορίες που τους παρέχονται στο ήδη διαμορφωμένο επεξηγηματικό τους πλαίσιο, χρησιμοποιώντας μηχανισμούς εμπλουτισμού. Αυτή η διαδικασία μπορεί να είναι αποτελεσματική στις περιπτώσεις που η προϋπάρχουσα γνώση είναι συμβατή με τις νέες πληροφορίες. Στις περισσότερες περιπτώσεις, όμως, το θεωρητικό πλαίσιο στο οποίο εντάσσεται η προϋπάρχουσα γνώση του μαθητή έρχεται σε σύγκρουση με το επιστημονικό θεωρητικό πλαίσιο που εμπερικλείει τις πληροφορίες που πρόκειται να διδαχθεί. Πιο αναλυτικά, τα δύο επεξηγηματικά πλαίσια μπορεί να συγκρούονται ως προς τη δομή τους, ως προς τις έννοιες που εμπερικλείουν και ως προς τις σχέσεις των εννοιών. Η μάθηση σε αυτή την περίπτωση αναφέρεται ως εννοιολογική αλλαγή και δεν επιτυγχάνεται ούτε με την προσθήκη νέων πληροφοριών ούτε με την κάλυψη των κενών. Σε τέτοιες περιπτώσεις, οι νέες μη-συμβατές πληροφορίες που προστίθενται στις υπάρχουσες γνωστικές δομές μπορούν να οδηγήσουν σε αποσπασματικότητα ή σε παρανοήσεις (Vosniadou & Mason 2012). Οι παρανοήσεις, ή τα συνθετικά μοντέλα όπως ονομάζονται, είναι το αποτέλεσμα της σύνθεσης των επιστημονικών πληροφοριών με όσα οι μαθητές ήδη γνωρίζουν. Για την αποφυγή της δημιουργίας των παρανοήσεων απαιτείται αλλαγή των υπαρχουσών επεξηγηματικών δομών, χρειάζεται δηλαδή ένα είδος ριζικής αναδιοργάνωσης των αρχικών γνωστικών δομών.

Σύμφωνα με αυτό το θεωρητικό πλαίσιο, αυτό που πρέπει να αλλάξει ουσιαστικά προκειμένου να επιτευχθεί η μάθηση δεν είναι οι παρανοήσεις που δημιουργούνται όταν οι νέες πληροφορίες έρχονται σε σύγκρουση με την προϋπάρχουσα γνώση. Πρέπει να αλλάξουν οι κατά πεδίο, αρχικές αφελείς θεωρίες των παιδιών οι οποίες διαμορφώνονται βασιζόμενες στις καθημερινές εμπειρίες και παρατηρήσεις στο πλαίσιο του κοινωνικο-πολιτισμικού τους περιβάλλοντος (Carey, 1985).

Ειδικότερα για την έννοια της ύλης, στον παρακάτω πίνακα 3.1. συνοψίζονται οι βασικές έννοιες της αρχικής/διαισθητικής και της εναλλακτικής/συνθετικής έννοιας των μαθητών έναντι της επιστημονικής έννοιας για την ύλη, τα υλικά σώματα, τις φυσικές ποσότητες και τα επιστημονικά μοντέλα, προκειμένου να προσδιοριστούν ακριβέστερα οι αλλαγές που χρειάζονται για την εννοιολογική αναδιοργάνωση.

Πίνακας 3.1: Βασικές Αρχές της Έννοιας της Ύλης (Αρχική, Συνθετική, Επιστημονική)

Αρχική Έννοια για την Ύλη	Συνθετική Έννοια για την Ύλη	Επιστημονική Έννοια για την Ύλη
<p>Βασιζόμενη στις αισθήσεις κατανόηση της ύλης σαν κάτι που μπορούμε να δούμε, ακουμπήσουμε, νιώσουμε. Τα πολύ μικρά και τα μη ορατά αντικείμενα δεν έχουν βάρος, όγκο ή μάζα / δεν είναι ύλη</p> <p>- μια οντότητα είναι ύλη αν μπορούμε να τη δούμε, ακουμπήσουμε</p> <p>- αν αποτελείται από ομογενή κομμάτια, είναι επίσης κομμάτια που μπορούμε να δούμε, ακουμπήσουμε</p>	<p>Βασιζόμενη στις αισθήσεις κατανόηση της ύλης σαν κάτι που μπορούμε να δούμε, ακουμπήσουμε, νιώσουμε.</p> <p>Τα ορατά αντικείμενα –ακόμη και τα πολύ μικρά– έχουν βάρος, όγκο, μάζα/ είναι ύλη, αλλά τα μη ορατά δεν είναι</p>	<p>Η ύλη είναι βασικό συστατικό που έχει βάρος και καταλαμβάνει χώρο. Όλα τα αντικείμενα, ακόμη και τα πολύ μικρά και μη ορατά έχουν βάρος, όγκο, μάζα / είναι ύλη</p>
<p>Η ύλη παύει να υπάρχει όταν δε φαίνεται. Ορατά και απτά υλικά φτιαγμένα από ορατά και απτά κομμάτια</p>	<p>Στις μηχανικές μετατροπές (πχ αλλαγή σχήματος) τα κομμάτια αναδιατάσσονται, δεν προστίθεται ούτε αφαιρείται ύλη</p> <p>Σε άλλες μεταβολές η ύλη εξαφανίζεται (πχ βρασμός, καύση), ενώ στην τήξη και πήξη (όπου έχουμε αλλαγή σχήματος και συμπεριφοράς) η ύλη μεταμορφώνεται</p>	<p>Η ύλη είναι στοιχειώδες συστατικό που διατηρείται (δεν δημιουργείται / δεν καταστρέφεται)</p> <p>Η ύλη εξακολουθεί να υπάρχει καθώς διαιρείται σε μικρά κομμάτια και καθένα από αυτά έχει βάρος και καταλαμβάνει χώρο ακόμη κι όταν δεν είναι ορατό με τις αισθήσεις μας</p>
<p>Η ύλη είναι στατική και συνεχής. Η έννοια του κενού δεν υπάρχει.</p>	<p>Τα σωματίδια θεωρούνται σαν κάτι μέσα στην ύλη ή μακροσκοπικές ιδιότητες αποδίδονται σε αυτά.</p>	<p>Η ύλη αποτελείται από σωματίδια μη ορατά σε εμάς, τα οποία κινούνται συνεχώς. Μεταξύ των σωματιδίων υπάρχει κενό.</p>
<p>Τα υλικά ταυτοποιούνται με τις αισθήσεις, με βάση την εμφάνιση και τη συμπεριφορά τους (πχ. το γυαλί είναι διαφανές και σπάει). Η ύλη υπάρχει ως διαφορετικά υλικά που έχουν χαρακτηριστικά αντιληπτά με τις αισθήσεις (χρώμα, σχέδιο, μυρωδιά ...) και εγγενείς ιδιότητες που εξηγούν τις συμπεριφορές τους όταν δρουν (σπάνε, λυγίζουν)</p>	<p>Τα υλικά ταυτοποιούνται με τις αισθήσεις, με βάση την εμφάνιση και τη συμπεριφορά τους</p>	<p>Τα υλικά είναι βασικά συστατικά που διατηρούν την ταυτότητά τους στην αλλαγή κατάστασης και χαρακτηρίζονται από αντικειμενικές και μετρήσιμες χαρακτηριστικές ιδιότητες (όπως η πυκνότητα και το σημείο βρασμού) και όχι από την επιφανειακή εμφάνιση / μακροσκοπικές αντιληπτές ιδιότητες</p>
<p>Κατηγοριοποίηση υλικών βάσει των μακροσκοπικών τους ιδιοτήτων, βάσει της ομοιότητας</p>	<p>Κατηγοριοποίηση υλικών βάσει των μακροσκοπικών τους ιδιοτήτων, βάσει της φυσικής τους κατάστασης</p>	<p>Κατηγοριοποίηση υλικών βάσει της μοριακής τους δομής</p>
<p>Μη διαφοροποιημένες και βασιζόμενες στις αισθήσεις έννοιες της μάζας, του βάρους, του όγκου, της πυκνότητας και αδυναμία μέτρησής τους</p>	<p>Προσπάθεια διαφοροποίησης των εννοιών της μάζας, του βάρους, του όγκου, της πυκνότητας, αλλά σύγχυση των όρων και δυσκολίες στη μέτρησή τους.</p>	<p>Διαφοροποιημένες και βασιζόμενες σε αντικειμενικές ιδιότητες έννοιες της μάζας, του βάρους, του όγκου, της πυκνότητας. Σημασία μετρήσεων έναντι εκτιμήσεων. Κατανόηση της διατήρησης της μάζας (και του βάρους) σε μια σειρά μεταβολών, ενώ ο όγκος και η πυκνότητα μπορούν να αλλάζουν</p>
<p>Βασιζόμενη στην ομοιότητα κατανόηση των μοντέλων σαν μικρών εικόνων ή μικρογραφιών αυτών που αναπαριστούν</p>	<p>Βασιζόμενη στην ομοιότητα κατανόηση των μοντέλων σαν μικρών εικόνων ή μικρογραφιών αυτών που αναπαριστούν</p>	<p>Πιο αφηρημένη κατανόηση των ερμηνευτικών μοντέλων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν εργαλεία συλλογισμού και να αποδώσουν σημαντικές σχέσεις. Τα στοιχεία τους είναι διαφορετικά από τις οντότητες που παρουσιάζουν, αναπαριστούν υποθέσεις και μπορούν να αναθεωρηθούν.</p>

Η εννοιολογική αλλαγή, βέβαια, είναι μια σύνθετη διαδικασία που απαιτεί, εκτός των οντολογικών αλλαγών, και αλλαγές στις αναπαραστάσεις των εννοιών. Στον πίνακα 3.2 παρουσιάζονται μερικές βασικές αρχικές και συνθετικές αναπαραστάσεις της ύλης (στις τρεις καταστάσεις της) των μαθητών έναντι των αντίστοιχων επιστημονικών. Στις αρχικές αναπαραστάσεις η ύλη απεικονίζεται συνεχής και στατική, ενώ στις επιστημονικές αναπαραστάσεις η ύλη απεικονίζεται ως αποτελούμενη από σωματίδια που κινούνται συνεχώς. Στις συνθετικές αναπαραστάσεις η ύλη απεικονίζεται είτε ως συνεχής αλλά με κάτι μέσα στην ύλη είτε με σωματίδια τα οποία φέρουν μακροσκοπικές ιδιότητες (πχ. κρύα ή ζεστά μόρια).

Πίνακας 3.2: Βασικές Αναπαραστάσεις της Ύλης (Αρχική, Συνθετική, Επιστημονική)

	Αρχικές Αναπαραστάσεις	Συνθετικές Αναπαραστάσεις	Επιστημονικές Αναπαραστάσεις
ΠΑΓΟΣ			
ΝΕΡΟ			
ΥΔΡΑΤΜΟΣ			

Η Βοσνιάδου (2013) επισημαίνει ότι η εννοιολογική αλλαγή είναι μια αργή και σταδιακή διαδικασία που απαιτεί όχι μόνο οντολογικές και αναπαραστασιακές αλλαγές, αλλά και επιστημολογικές αλλαγές. Αυτό σημαίνει ότι ένας άλλος παράγοντας που επιδρά στη

διαδικασία της μάθησης είναι οι επιστημικές πεποιθήσεις των μαθητών, δηλαδή οι πεποιθήσεις τους για τη γνώση και το γινώσκειν, για τον προσδιορισμό της γνώσης, για το πώς κατασκευάζεται και αξιολογείται η γνώση, για το πού εντοπίζεται η γνώση και για το πώς συμβαίνει η διαδικασία του γινώσκειν. Τα αποτελέσματα αρκετών ερευνών έδειξαν ότι οι πεποιθήσεις για τη φύση της γνώσης στη φυσική και τη διαδικασία του γινώσκειν σχετίζονται με την εννοιολογική αλλαγή στη φυσική (Stathopoulou & Vosniadou 2007), καθώς μόνο οι μαθητές με υψηλού επιπέδου επιστημικές πεποιθήσεις κατάφεραν μια βαθιά κατανόηση των εννοιών της φυσικής. Για παράδειγμα, μαθητές που πιστεύουν ότι πρέπει να βασιστούν στην αυθεντία του δασκάλου για να τους πει ποια είναι η σωστή απάντηση αντιμετωπίζουν δυσκολία στην επίλυση ασυνεπειών και διαφωνιών μεταξύ τους με επιχειρηματολογία, καθώς οι επιστημικές πεποιθήσεις τους τους εμποδίζουν να βασίζονται στον εαυτό τους και να αναπτύσσουν μια πιο στοχαστική προσέγγιση απαραίτητη για την επίλυση διαφωνιών σχετικά με τη γνώση της φυσικής.

Σύμφωνα με το θεωρητικό μας πλαίσιο (Stathopoulou & Vosniadou 2007), οι επιστημικές πεποιθήσεις που σχετίζονται με τη φυσική μπορούν να επηρεάσουν τη διαδικασία απόκτησης γνώσης, όπως και οι οντολογικές προϋποθέσεις (και άλλες πεποιθήσεις συναισθηματικού χαρακτήρα ή κινήτρων). Μπορούν να επηρεάσουν τόσο το είδος της νέας πληροφορίας που προσλαμβάνεται από το φυσικό και πολιτισμικό πλαίσιο όσο και τον τρόπο με τον οποίο αυτή η πληροφορία ερμηνεύεται. Οι επιστημικές πεποιθήσεις δηλαδή μπορούν είτε να διευκολύνουν είτε να εμποδίσουν τη διαδικασία απόκτησης γνώσης τόσο άμεσα (εστιάζοντας την προσοχή σε συγκεκριμένες πληροφορίες αλλά και επηρεάζοντας τις προθέσεις σχετικά με την οικοδόμηση και αναθεώρηση της γνώσης) όσο και έμμεσα (με τη μεσολάβηση παραγόντων γνωστικών, μεταγνωστικών ή/και κινήτρων, όπως ο προσανατολισμός των στόχων και οι στρατηγικές μελέτης). Για παράδειγμα, η πεποίθηση στην απλή και βέβαιη γνώση μπορεί να επηρεάσει τη διαδικασία μάθησης άμεσα με την επικέντρωση της προσοχής των μαθητών σε δηλωτική πληροφορία και στην επιλογή στρατηγικών επανάληψης για την ενδυνάμωση της απομνημόνευσης και της ανάκλησης των αποσπασματικών δηλωτικών πληροφοριών, ενώ η πεποίθηση στη σύνθετη και εξελισσόμενη γνώση μπορεί να οδηγήσει τους μαθητές να επικεντρωθούν περισσότερο σε σχέδια σχέσεων και την αλλαγή τους με το χρόνο.

Στον παρακάτω πίνακα 3.3 συνοψίζονται μερικά βασικά σημεία των αρχικών και εναλλακτικών επιστημικών πεποιθήσεων των μαθητών έναντι των πιο προηγμένων.

Πίνακας 3.3: Επιστημικές Πεποιθήσεις Μαθητών (Αρχικές, Εναλλακτικές, Προηγμένες)

Αρχικές Επιστημικές Πεποιθήσεις	Εναλλακτικές Επιστημικές Πεποιθήσεις	Προηγμένες Επιστημικές Πεποιθήσεις
Πίστη στην αυθεντία και τη μοναδική αλήθεια. Η γνώση απεικονίζει την πραγματικότητα, είναι ένα πιστό αντίγραφο του κόσμου. Αποκτάται μέσω της παρατήρησης ή μεταδίδεται μέσω της αυθεντίας.	Πίστη στην επίτευξη της απόλυτης γνώσης.	Αναγνώριση του αβέβαιου και εξελισσόμενου χαρακτήρα της γνώσης. Η επιστημονική γνώση αποτελείται από καλά ελεγμένες θεωρίες. Η θεωρία είναι ένα συνεκτικό ερμηνευτικό πλαίσιο που αποτελείται από υποθετικές θεωρητικές οντότητες που χρησιμοποιούνται για την ερμηνεία των δεδομένων.
Μη διάκριση ανάμεσα στις ιδέες ενός επιστήμονα και τις δραστηριότητές του ή τα πειράματα. Μη διάκριση θεωρίας, υποθέσεων και αποδείξεων. Μια υπόθεση είναι μια ιδέα ή μια μαντεγιά.	Διάκριση ανάμεσα στις ιδέες ενός επιστήμονα και τα πειράματά του. Μια υπόθεση είναι, επίσης, μια ιδέα ή μαντεγιά, αλλά σχετίζεται με ένα πείραμα ή φαινόμενο και μπορεί να ελεγχθεί.	Ξεκάθαρη διάκριση ανάμεσα στις ιδέες του επιστήμονα και τα πειράματά του. Ξεκάθαρη διάκριση θεωρίας, υπόθεσης και αποδείξεων. Η υπόθεση δεν συνδέεται απλώς με ένα πείραμα, αλλά βοηθά και στην ερμηνεία των αποτελεσμάτων του και αξιολογείται από αυτά.
Ο επιστήμονας δοκιμάζει κάτι για να δει αν λειτουργεί. Το κίνητρό του για μια δραστηριότητα είναι η ίδια η δραστηριότητα, παρά η σύνθεση ιδεών.	Ο επιστήμονας κάνει πειράματα για να ελέγξει ή να δει αν η ιδέα του είναι σωστή. Το κίνητρό του για τον πειραματισμό είναι ο έλεγχος μιας ιδέας για να δει αν είναι σωστή.	Το κίνητρο του πειραματισμού είναι η επιβεβαίωση ή η διερεύνηση. Οι θεωρίες πρέπει να επιβεβαιώνονται ή μπορούν να διαψευστούν.
Ο επιστήμονας ανακαλύπτει γεγονότα και απαντήσεις που υπάρχουν «εκεί έξω» και δεν είναι κατανοητό ότι τα γεγονότα και οι απαντήσεις είναι ιδέες που έχουν δομηθεί για τα φυσικά φαινόμενα. Οι θεωρίες δεν μπορούν να αλλάξουν.	Κατανόηση του ότι τα αποτελέσματα ενός πειράματος μπορούν να οδηγήσουν στην εγκατάλειψη ή αναθεώρηση μιας ιδέας. Δεν είναι, όμως, ακόμη κατανοητό ότι η αναθεωρημένη ιδέα πρέπει τώρα να ενσωματώσει όλα τα δεδομένα (τα νέα και τα παλιά)	Κατανόηση της σχέσης μεταξύ των αποτελεσμάτων ενός πειράματος (ιδίως των μη αναμενόμενων) και της ιδέας που ελέγχεται. Τα αποτελέσματα βοηθούν στην αξιολόγηση της ιδέας και οι ιδέες μπορούν να αλλάξουν ως αποτέλεσμα της δουλειάς που κάνει ο επιστήμονας.
Σκοπός της επιστήμης είναι να ανακαλύπτει γεγονότα και απαντήσεις για τον κόσμο και να επινοεί πράγματα.	Σκοπός της επιστήμης είναι η κατανόηση των φυσικών φαινομένων, πώς λειτουργούν τα πράγματα στον κόσμο.	Σκοπός της επιστήμης είναι η σύνθεση όλο και βαθύτερων ερμηνειών του φυσικού κόσμου.

Ειδικότερα για την ύλη με την οποία ασχολούμαστε σε αυτή την έρευνα, οι δυσκολίες των μαθητών πηγάζουν τόσο από τις αρχικές ιδέες τους όσο και από τις αφελείς επιστημολογικές πεποιθήσεις τους. Η επιστημονική σωματιδιακή θεωρία για την ύλη είναι μία από τις πιο σημαντικές σύγχρονες θεωρίες, καθώς οι βασικές αρχές της είναι λίγες και απλές, ενώ προσφέρει ακριβείς και κομψές εξηγήσεις για την ύλη, τα υλικά και τα φυσικά και χημικά φαινόμενα. Ωστόσο, όπως επισημαίνουν και οι Wisser & Smith (2007b), ακόμη και οι μαθητές του Λυκείου έχουν μεγάλες παρανοήσεις σχετικά με τη φύση, τη συμπεριφορά, και τη διάταξη των ατόμων, καθώς και για την ατομική - μοριακή προσέγγιση των μακροσκοπικών ιδιοτήτων και των φαινομένων (π.χ., πυκνότητα, αλλαγές κατάστασης, χημικές αντιδράσεις). Η μετάβαση από τις αρχικές απόψεις στις επιστημονικές δεν είναι εύκολη υπόθεση μιας και η

επιστημολογική γνώση που απαιτείται για να έχει νόημα η σωματιδιακή θεωρία περιλαμβάνει όχι μόνο τη φύση των επιστημονικών μοντέλων και τη σχέση τους με τα παρατηρούμενα αντικείμενα και γεγονότα, αλλά και την κατανόηση ότι πολλές μακροσκοπικές ιδιότητες της ύλης εξαρτώνται από τη δομή μιας αρκετά μεγάλης ομάδας ατόμων. Οι μαθητές επίσης χρειάζονται αντικειμενικές (και όχι αντιληπτές με τις αισθήσεις) έννοιες της ύλης, του βάρους, του όγκου και της πυκνότητας για να έχει νόημα η θεωρία. Δυστυχώς, λίγοι μαθητές έχουν τη μακροσκοπική αντίληψη της ύλης που είναι απαραίτητη για να υποστηρίξει μια γερή κατανόηση της σωματιδιακής, ένα πρόβλημα που δεν είναι ευρέως αναγνωρισμένο και που επιδεινώνεται από τον τρόπο που παραδοσιακά διδάσκεται η σωματιδιακή θεωρία.

Το αποτέλεσμα των παραπάνω είναι πολλοί μαθητές να μην αντιλαμβάνονται τα άτομα ως τα βασικά συστατικά της ύλης αλλά ως κάτι μέσα στην ύλη, τα βλέπουν, δηλαδή, ως ενσωματωμένα σε ένα υλικό υπόστρωμα (Andersson 1990, Lee, Eichinger, Anderson, Berkheimer & Blakeslee 1993, Nussbaum 1985), σαν να μην είναι από μόνα τους επαρκή για να είναι το υλικό από το οποίο είναι φτιαγμένα τα πράγματα. Αυτή είναι μια εξαιρετικά ισχυρή παρανόηση που επιβιώνει ακόμη και μετά την πανεπιστημιακή διδασκαλία χημείας (Pozo & Crespo 2005). Ένας λόγος που ευθύνεται για την ισχυροποίησή της είναι ο αφελής ρεαλισμός των μαθητών και η έλλειψη εξειδίκευσης στο συλλογισμό βάσει μοντέλων με αποτέλεσμα να υποθέτουν ότι τα πράγματα είναι έτσι όπως φαίνονται. Η ύλη φαίνεται συνεχής γι' αυτό είναι συνεχής (Harrison & Treagust 2002, Nakhleh, Samarapungavan & Saglam 2005). Το μοντέλο των μορίων μέσα στην ύλη είναι ένα συνθετικό μοντέλο, δηλαδή δημιουργείται για να ενσωματώσει τις πληροφορίες του σχολείου στην προϋπάρχουσα διαισθητική ιδέα των μαθητών ότι η ύλη είναι συνεχής. Οι εικονογραφήσεις των εγχειριδίων συμβάλουν επίσης σε αυτό το μοντέλο, καθώς συχνά ένα κομμάτι της ύλης απεικονίζεται ως ένας χρωματιστός κύβος με μαύρα όρια και μικρές μαύρες σφαίρες μέσα σε αυτό. Το ίδιο κάνει και η γλώσσα με εκφράσεις όπως "τα μόρια είναι λιγότερο ελεύθερα να κινούνται μέσα στον πάγο από ό, τι στο νερό" και "μόρια δραπετεύουν από το νερό στον αέρα, όταν βράζει" κτλ.

Μια άλλη δυσκολία έγκειται στο ότι για πολλούς μαθητές, τα στερεά και τα υγρά, τα οποία είναι ορατά και απτά, αποτελούν την οντολογική κατηγορία της ύλης, ενώ τα αέρια είναι κάτι άλλο, συνήθως πιο στενά συνδεδεμένα με τη θερμότητα και τον ηλεκτρισμό απ'ό,τι με την ύλη (Carey, 1991). Αυτή η οντολογική δέσμευση στο μακροσκοπικό επίπεδο, σε συνδυασμό με την επιλεκτική προσοχή των μαθητών σε πληροφορίες που τους παρουσιάζονται για τα άτομα, οδηγεί σε παρανοήσεις σχετικά με τη φύση των ατόμων. Για παράδειγμα, αν οι μαθητές επικεντρώσουν στο ότι "η ύλη αποτελείται από άτομα" θα

μπορούσαν να συμπεράνουν ότι τα άτομα βρίσκονται μόνο σε στερεά και υγρά, τα οποία αποτελούν το πεδίο της έννοιας της ύλης.

Οι Wisner & Smith (2007b) επισημαίνουν ότι οι μακροσκοπικές έννοιες των μαθητών για το βάρος και τον όγκο επηρεάζουν επίσης τις πεποιθήσεις τους για το τι είναι τα σωματίδια και πού βρίσκονται. Για πολλούς μαθητές ακόμη και του γυμνασίου, το βάρος και ο όγκος παραμένουν ιδιότητες μόνο των αντικειμένων που μπορούν να γίνουν αισθητά, να τα σηκώσουμε ή να τα δούμε, έτσι ώστε τα πολύ μικρά κομμάτια της ύλης δεν ζυγίζουν τίποτα ή δεν καταλαμβάνουν χώρο. Αν λοιπόν τα άτομα δεν ζυγίζουν τίποτα, δεν γίνονται «αισθητά» και δεν καταλαμβάνουν χώρο επειδή είναι πολύ μικρά, τότε δεν μπορούν να είναι συστατικό στοιχείο της ύλης, την οποία μπορεί κανείς να αγγίξει και να δει. Πολλοί μαθητές κάνουν κάποια πρόοδο ως προς τη θεώρηση των σωματιδίων ως μικρών κομματιών της ύλης που έχουν βάρος και που σχετίζονται με ορισμένες ιδιότητες των υλικών (Wisner, O'Connor & Higgins 1995), όμως, σκέφτονται τα σωματίδια ως ομοιογενή κομμάτια των μακροσκοπικών αντικειμένων στα οποία αποδίδουν μακροσκοπικές ιδιότητες (π.χ., είναι ζεστά, ζουπιούνται, είναι στερεά ή υγρά). Η αποτυχία να διαφοροποιήσουν τις ιδιότητες των σωματιδίων από τις μακροσκοπικές ιδιότητες των υλικών επηρεάζει την κατανόηση των μαθητών για τους φυσικούς μετασχηματισμούς της ύλης. Αν τα σωματίδια έχουν όλες τις ιδιότητες της μακροσκοπικής ύλης, τότε αλλάζουν και αυτά κατά την αλλαγή φάσης, δηλαδή υδροποιούνται κατά την τήξη και τη διάλυση και εξαφανίζονται όταν τα υγρά βράζουν (Griffiths & Preston 1992, Lee et al, 1993).

Συνοψίζοντας τα όσα αναφέρθηκαν παραπάνω, θα μπορούσαμε να πούμε ότι ένα μεγάλο πλήθος ερευνών στο χώρο της διδακτικής των φυσικών επιστημών αποδεικνύει ότι τα παιδιά αντιμετωπίζουν σημαντικές δυσκολίες στην κατανόηση των επιστημονικών εξηγήσεων για τα φυσικά φαινόμενα. Θεωρούμε ότι οι δυσκολίες αυτές οφείλονται στο γεγονός ότι οι μαθητές έχουν διαμορφώσει μια αφελή θεωρία για την ύλη η οποία κατευθύνει τον τρόπο που αντιλαμβάνονται τις έννοιες και τα φαινόμενα του κόσμου γύρω τους και η οποία διαφέρει από την αντίστοιχη επιστημονική θεωρία, ενώ σημαντικό ρόλο φαίνεται να παίζουν και οι επιστημικές πεποιθήσεις των μαθητών, οι πεποιθήσεις τους για τη φύση της γνώσης και τη διαδικασία απόκτησής της. Οι μαθητές, στηριζόμενοι στην θεωρία που έχουν διαμορφώσει για την ύλη και επηρεαζόμενοι από τις επιστημικές τους πεποιθήσεις κατηγοριοποιούν τα σώματα βάσει των μακροσκοπικών τους ιδιοτήτων (φυσική κατάσταση) αντί της μοριακής τους δομής, αποδίδοντας σε αυτά τις ιδιότητες της αντίστοιχης κατηγορίας (π.χ. τα στερεά είναι σκληρά, τα υγρά χύνονται, τα αέρια φεύγουν στον ουρανό κτλ.), οι οποίες δρουν ως περιορισμοί στην

προσπάθειά τους να κατανοήσουν τις επιστημονικές απόψεις. Το ερώτημα που προκύπτει από αυτά είναι πώς συσχετίζεται η διαδικασία κατανόησης των επιστημονικών εξηγήσεων για τα φυσικά φαινόμενα με την αφελή θεωρία των μαθητών για την ύλη και τις επιστημικές πεποιθήσεις τους καθώς και με ποιον τρόπο μπορεί αυτή η κατανόηση να διευκολυνθεί.

Στην παρούσα έρευνα αρχικά επιχειρούμε να διερευνήσουμε τη **σχέση** ανάμεσα στις **επιστημικές πεποιθήσεις** των μαθητών και την **κατανόησή** τους για τις επιστημονικές εξηγήσεις για τις φυσικές μεταβολές της ύλης και στη συνέχεια επιχειρούμε να **σχεδιάσουμε** και να **εφαρμόσουμε μια διδακτική παρέμβαση** που σκοπό έχει να **προωθήσει τη διαδικασία της εννοιολογικής αλλαγής** να βοηθήσει δηλαδή τους μαθητές να μεταβούν από τις βασιζόμενες στις αισθήσεις έννοιες που χαρακτηρίζουν την αφελή θεωρία τους για την ύλη στις πιο αφηρημένες (και ποσοτικοποιημένες) έννοιες που χαρακτηρίζουν την επιστημονική σωματιδιακή θεωρία για την ύλη, λαμβάνοντας, βέβαια, υπόψη και τις επιστημικές τους πεποιθήσεις και στη συνέχεια να μελετήσουμε την επίδραση αυτής της παρέμβασης στη θεωρία των μαθητών για την ύλη και στην κατανόηση των επιστημονικών εξηγήσεων για τα φυσικά φαινόμενα από τους μαθητές, αλλά και στις επιστημικές πεποιθήσεις τους.

## **Η Παρέμβαση**

Για το σχεδιασμό της διδακτικής παρέμβασης λαμβάνονται υπόψη τα ευρήματα προηγούμενων ερευνών από το χώρο της διδακτικής των φυσικών επιστημών και της γνωστικής ψυχολογίας, τα αποτελέσματα των δύο προηγούμενων ερευνών μας σχετικά με τις κατηγοριοποιήσεις υλικών σωμάτων σε σχέση με τις φυσικές μεταβολές της ύλης, τα αποτελέσματα προηγούμενων προσπαθειών δημιουργίας αναλυτικών προγραμμάτων για τη διδασκαλία της φυσικής στο δημοτικό σχολείο καθώς και τα προβλεπόμενα από το αναλυτικό πρόγραμμα σπουδών και το διαθεματικό ενιαίο πλαίσιο προγραμμάτων σπουδών για τη Φυσική στο Δημοτικό Σχολείο.

Το διαφορετικό στοιχείο αυτής της προσπάθειας σε σχέση με προηγούμενες είναι ότι για το σχεδιασμό της παρέμβασης λαμβάνονται υπόψη τόσο η **διαισθητική θεωρία** των μαθητών αυτής της ηλικίας (10-12 ετών) **για την ύλη** όσο και **οι επιστημικές τους πεποιθήσεις** καθώς και η προτεινόμενη σειρά απόκτησης των **μακροσκοπικών εννοιών** που απαιτούνται για την ομαλή εισαγωγή της **σωματιδιακής θεωρίας**, η οποία γίνεται με τη βοήθεια όχι μόνο στατικών στιγμιότυπων αλλά και δυναμικών **προσομοιώσεων** και **οπτικοποιήσεων του μοντέλου του μικρόκοσμου**. Οι προηγούμενες προσπάθειες που έχουν γίνει έχουν εστιάσει σε μερικές μόνο από τις παραμέτρους αυτές και είναι η πρώτη έρευνα, στο βαθμό που



γνωρίζουμε, η οποία συνδυάζει όλες αυτές τις συνιστώσες προκειμένου να επιτευχθεί το βέλτιστο δυνατό αποτέλεσμα.

Έχουν, δηλαδή, γίνει προσπάθειες μέχρι τώρα να σχεδιασθούν παρεμβάσεις που στοχεύουν στην προώθηση της διαδικασίας της μάθησης, όμως αυτές οι προσπάθειες είτε εστιάζουν στις μακροσκοπικές έννοιες που θεωρούνται δύσκολες για τους μαθητές χωρίς να γίνεται αναφορά στο μικρόκοσμο είτε προσπαθούν να εισαγάγουν το μοντέλο του μικρόκοσμου χωρίς αντίστοιχη προσπάθεια προσέγγισης των μακροσκοπικών εννοιών. Άλλες προσπάθειες λαμβάνουν υπόψη τους τις διαισθητικές γνώσεις των παιδιών για την ύλη αφήνοντας στην άκρη τις επιστημικές πεποιθήσεις τους και άλλες εστιάζουν στις επιστημικές πεποιθήσεις χωρίς όμως προσπάθεια προσέγγισης των μακροσκοπικών και μικροσκοπικών εννοιών που δυσκολεύουν τους μαθητές.

Αναλυτικότερα, η Smith (2007) στην εργασία της, βασιζόμενη στην ανάλυση του πώς οι έννοιες στην αρχική θεωρία των μαθητών για την ύλη (MT1) μπορεί να διαφέρουν από τις έννοιες της θεωρίας για την ύλη που διδάσκεται στο σχολείο (MT2), προτείνει τρόπους με τους οποίους αυτές οι νέες ιδέες μπορούν να αποκτηθούν και σχεδιάζει και εφαρμόζει μια διδακτική παρέμβαση που αξιοποιεί αυτούς τους μηχανισμούς μάθησης. Λαμβάνει έτσι υπόψη της και αξιοποιεί τη θεωρία των μαθητών για την ύλη και κάποιες επιστημολογικές και οντολογικές δεσμεύσεις τους, αλλά η παρέμβασή της αφορά στις μακροσκοπικές έννοιες της ύλης, της μάζας και του όγκου που πρέπει να αναπτυχθούν προκειμένου να διευκολυνθεί η κατανόηση της σωματιδιακής θεωρίας για την ύλη, χωρίς να γίνεται άμεση αναφορά στη σωματιδιακή θεωρία και τον τρόπο εισαγωγής της ή τη διαδικασία μοντελοποίησης.

Το ίδιο παρατηρείται και σε πρόσφατη έρευνα των Wiser et al. (2013) σε μαθητές νηπιαγωγείου, όπου επικέντρωσαν στις βασικές έννοιες του υλικού και της ποσότητας του υλικού με στόχο να ελέγξουν αν η παρέμβασή τους (που ξεκινούσε με την εννοιολογική ανάλυση των πηγών δυσκολίας που αντιμετωπίζουν οι μαθητές κατά την εκμάθηση της επιστημονικής θεωρίας από τα παραδοσιακά προγράμματα και πρότεινε μια εναλλακτική υποθετική διαδρομή για τη μάθηση επιδιώκοντας μια σειρά από εννοιολογικές αλλαγές) μπορούσε να οδηγήσει τα παιδιά να αναθεωρήσουν τις έννοιές τους ώστε να γίνουν πιο συμβατές με τις επιστημονικές. Στην έρευνα αυτή 33 μαθητές νηπιαγωγείου έδωσαν συνεντεύξεις 6 ενοτήτων των 20-30 λεπτών σε μια περίοδο 2 εβδομάδων. Οι πρώτες 3 ενότητες εστίασαν στο υλικό και οι τελευταίες 3 στην ποσοτικοποίηση του υλικού. Η έρευνα αυτή έδειξε ότι η διδακτική παρέμβαση μπορεί να βελτιώσει τις ιδέες των μαθητών για τη

διατήρηση της ποσότητας του υλικού και την ικανότητά τους να εφαρμόζουν την έννοια του υλικού σε στερεά αντικείμενα σε μια πολύ μικρή περίοδο 2 εβδομάδων.

Ο Βλάχος (1999) στη διδακτορική διατριβή του διερευνά την εφαρμοσιμότητα και την αποτελεσματικότητα ενός αναλυτικού προγράμματος για τη διδασκαλία σημαντικών εννοιών των φυσικών επιστημών το οποίο δομήθηκε σε δύο διακριτά επίπεδα το μακροσκοπικό και το σωματιδιακό, όμως δεν περιλαμβάνει τις επιστημικές πεποιθήσεις των μαθητών, ούτε και ασχολείται με τις μακροσκοπικές έννοιες της μάζας, του βάρους, του όγκου και τις πυκνότητας που θεωρούνται σημαντικές για την καλύτερη κατανόηση της σωματιδιακής θεωρίας.

Στη διδακτορική διατριβή της Ιμβριώτη (2006) περιγράφεται μια πρόταση εφαρμογής του μοντέλου του μικρόκοσμου για την περιγραφή και ερμηνεία φαινομένων του μακρόκοσμου μέσω ενός αναλυτικού προγράμματος όπου κυρίαρχο ρόλο κατέχει η διαδικασία μοντελοποίησης και όπου απαραίτητη υποστήριξη παρέχει το συνοδευτικό λογισμικό. Καταβλήθηκε προσπάθεια ώστε να αναχθεί το μοντέλο του μικρόκοσμου σε μια ενοποιητική παράμετρο διαφορετικών «κεφαλαίων» της φυσικής και να αναδειχθεί με αυτόν τον τρόπο ο ενοποιημένος χαρακτήρας του φυσικού κόσμου και της επιστήμης που τον περιγράφει και τον ερμηνεύει, όμως δεν γίνεται αναφορά στην αρχική θεωρία των μαθητών για την ύλη ούτε λαμβάνονται υπόψη οι επιστημικές πεποιθήσεις τους.

Ο Τζελέπης (2004) διερευνά τις επιστημικές πεποιθήσεις των μαθητών του δημοτικού για τη φύση της Επιστήμης, για τη φύση και τον σκοπό των πειραμάτων και για το πώς οι επιστήμονες ελέγχουν τις ιδέες τους, χωρίς όμως να γίνεται αναφορά στη σωματιδιακή θεωρία ή τη διαδικασία μοντελοποίησης, ενώ η Κυριακοπούλου (2012) ασχολείται επίσης με τη μελέτη των επιστημικών πεποιθήσεων μαθητών του δημοτικού σχολείου και εξετάζει αν η ικανότητα των παιδιών να αποδίδουν πεποιθήσεις στους άλλους συνδέεται με τις επιστημικές πεποιθήσεις τους για τη φύση της γνώσης και τη διαδικασία του γινώσκειν.

Ενδεικτικά, αναφέρονται μερικές ακόμη προσπάθειες και προτάσεις διδακτικών παρεμβάσεων: Οι Paik et al. (2004) μελέτησαν τις απόψεις μαθητών νηπιαγωγείου, δημοτικού και γυμνασίου για τις αλλαγές της κατάστασης και τις συνθήκες για τις αλλαγές αυτές. Επέλεξαν και εφάρμοσαν στους μαθητές μερικές από τις δραστηριότητες των βιβλίων τους σχετικά με τις αλλαγές στην κατάσταση του νερού, που περιελάμβαναν την υγροποίηση, την τήξη και το βρασμό. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι περισσότεροι μικρότεροι μαθητές δεν ήταν σε θέση να εκφράσουν ιδέες σχετικές με την αλλαγή κατάστασης και τις συνθήκες της, ενώ οι μεγαλύτεροι μαθητές είχαν κάποια αντίληψη για τη μη ορατή αέρια κατάσταση και οι περισσότεροι από αυτούς είχαν ιδέες για την αλλαγή της κατάστασης του νερού από την υγρή

στην αέρια κατάσταση μέσω του βρασμού, όμως λίγοι είχαν ιδέες για την υγροποίηση. Οι περισσότεροι κατανοούσαν την θερμότητα και τη θερμοκρασία ως συνθήκες για την αλλαγή κατάστασης, αλλά εφαρμόζαν τη θερμότητα μόνο σε καταστάσεις αύξησης της θερμοκρασίας. Στις περιπτώσεις ψύξης χρησιμοποίησαν την έννοια της θερμοκρασίας. Οι μικρότεροι μαθητές κατανόησαν την έννοια της θερμότητας χωρίς να κατανοούν την έννοια της θερμοκρασίας.

Οι Papageorgiou και Johnson P. (2005) εξέτασαν το ερώτημα αν οι σωματιδιακές ιδέες βοηθούν ή εμποδίζουν την κατανόηση των μαθητών για τις αλλαγές της κατάστασης και τη διάλυση. Το δείγμα τους ήταν 39 μαθητές Ε τάξης χωρισμένοι σε δύο ομάδες, οι οποίες διδάχθηκαν τις ίδιες έννοιες και φαινόμενα (ιδιότητες των υλικών και των σωμάτων, ταυτοποίηση ουσιών, ύλη στις τρεις καταστάσεις και μίξη ουσιών), αλλά στη μία ομάδα ενσωματώθηκαν και σωματιδιακές ιδέες. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η κατανόηση των μαθητών βελτιώθηκε με την εισαγωγή των σωματιδιακών ιδεών.

Οι Ardac και Akaygun (2005) μελέτησαν της επίδραση μιας διδασκαλίας που ενισχύεται με οπτικοποιήσεις των μοριακών αναπαραστάσεων σε 52 μαθητές Β γυμνασίου. Τα αποτελέσματα έδειξαν σημαντικά υψηλότερη επίδοση για τους μαθητές που χρησιμοποίησαν δυναμικές οπτικοποιήσεις σε σχέση με αυτούς που χρησιμοποίησαν στατικές. Επίσης, οι μαθητές που χρησιμοποίησαν τις δυναμικές οπτικοποιήσεις σε ατομική βάση ήταν πιο συνεπείς στη χρήση των μοριακών αναπαραστάσεων σε σχέση με τους μαθητές που τις χρησιμοποίησαν σε επίπεδο όλης της τάξης. Οι Yeziarski, E. J., & Birk, J. P. (2006) χρησιμοποίησαν ένα ερωτηματολόγιο πολλαπλών απαντήσεων για να αξιολογήσουν την επίδραση μιας διδακτικής παρέμβασης με κινούμενες εικόνες στις ιδέες των μαθητών λυκείου για τη σωματιδιακή δομή της ύλης. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι κινούμενες εικόνες βοήθησαν τους μαθητές να βελτιώσουν την επίδοσή τους και την κατανόηση της σωματιδιακής δομής της ύλης.

Οι Margel et al. (2008) πραγματοποίησαν μια διαχρονική μελέτη σε μαθητές γυμνασίου που διδάχθηκαν μια νέα διδακτική προσέγγιση που ασχολούνταν με τα «υλικά», εξετάζοντας τις ιδέες τους για τη δομή της ύλης. Οι μαθητές της Α τάξης συμμετείχαν σε μια ενότητα που αναπτύχθηκε από τον Nussbaum και εισήγαγε τους μαθητές σε ένα σωματιδιακό μοντέλο, ενώ ερευνούσε τις ιδιότητες του αέρα, συζητούσε για την ύπαρξη του κενού και αν η ύλη είναι συνεχής ή σωματιδιακή. Στη Β τάξη οι μαθητές συμμετείχαν σε μια ενότητα η οποία εισήγαγε τις διαφορές μεταξύ των ατόμων και των μορίων και μεταξύ των ενώσεων και των στοιχείων, και πώς η ατομική-μοριακή θεωρία εξηγεί τις ιδιότητες των υλικών. Στη Γ τάξη οι μαθητές ξαναδιδάχθηκαν την ατομική-μοριακή θεωρία και τις εξηγήσεις της για τις ιδιότητες των

υλικών, ενώ εξέταζαν την μοριακή δομή των πολυμερών και τη σχέση μεταξύ της δομής και των ιδιοτήτων τους. Πάνω από 1000 μαθητές συμπλήρωσαν ερωτηματολόγια 5 φορές μεταξύ των τάξεων Α και Γ. Τα αποτελέσματα δείχνουν μια πρόοδο από τη μακροσκοπική στην μικροσκοπική αντίληψη των υλικών από τους μαθητές. Προς το τέλος της διδασκαλίας το 85% των μαθητών χρησιμοποιούσε το σωματιδιακό μοντέλο και περίπου το 83% των μαθητών διατήρησε αυτό το μοντέλο. Η μελέτη αυτή υποστηρίζει ότι μια μακροπρόθεσμη ανάπτυξη του σωματιδιακού μοντέλου απαιτεί τη δόμηση μιας γερής βάσης γνώσης για τη μικροσκοπική δομή των υλικών και σπειροειδή διδασκαλία.

Οι Papageorgiou et al. (2008) χρησιμοποίησαν ένα λογισμικό για να διευκολύνουν την κατανόηση μαθητών για τις σωματιδιακές ερμηνείες της τήξης και της εξάτμισης. Το λογισμικό περιελάμβανε προσομοιώσεις για τις καταστάσεις της ύλης και τις αλλαγές που συμβαίνουν κατά την τήξη και την εξάτμιση. Το δείγμα τους ήταν 35 μαθητές της Στ τάξης χωρισμένοι σε δύο τμήματα, στους οποίους εφαρμόστηκε η διδακτική παρέμβαση για 6 ώρες, για τα ίδια φαινόμενα με σωματιδιακές ιδέες, στο ένα τμήμα χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό και στο άλλο όχι. Η παρέμβαση περιελάμβανε την αρχική διάκριση ανάμεσα στις ιδιότητες που εξαρτώνται μόνο από το υλικό και αυτές που εξαρτώνται και από το αντικείμενο (ποσότητα του υλικού και μορφή), την αξιοποίηση της τήξης για τον προσδιορισμό της ουσίας, τη χρήση του σωματιδιακού μοντέλου για την ερμηνεία του γιατί μια ουσία μπορεί να υπάρχει τόσο στη στερεή όσο και στην υγρή κατάσταση και γιατί διαφορετικές ουσίες έχουν διαφορετικά σημεία τήξης. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι και τα δύο τμήματα παρουσίασαν βελτίωση της επίδοσής τους, αλλά υπήρχαν ενδείξεις ότι το λογισμικό βοήθησε και κυρίως στην εξάτμιση. Ειδικότερα, πριν την παρέμβαση η κατανόηση των σωματιδιακών ιδεών και στα δύο τμήματα σχεδόν δεν υπήρχε. Μετά από 6 μόνο ώρες παρέμβασης παρατηρήθηκε πρόοδος, καθώς οι μισοί περίπου μαθητές από κάθε τμήμα μπορούσαν να εφαρμόζουν το μοντέλο έως ένα σημείο για την ερμηνεία είτε της τήξης είτε της εξάτμισης είτε και των δύο, ενώ ένα 25% μετακινήθηκε σε μια σωματιδιακή προσέγγιση, η οποία όμως διατηρούσε μακροσκοπικές ιδιότητες. Σχετικά με το λογισμικό, οι διαφορές που παρατηρήθηκαν μεταξύ των δύο τμημάτων ήταν σχετικά μικρές, όμως μπορούμε να πούμε ότι σίγουρα δεν εμπόδισε τη διαδικασία, αντίθετα υπάρχουν ενδείξεις ότι βοήθησε, ιδίως στην περίπτωση της εξάτμισης.

Σε μεταγενέστερη έρευνά τους οι Papageorgiou et al. (2009) μελέτησαν τις ιδέες 162 δασκάλων της πρωτοβάθμιας εκπαίδευσης για τη σωματιδιακή δομή της ύλης και τα φυσικά φαινόμενα. Η παρέμβαση περιελάμβανε τις ιδιότητες της ύλης, τη διάκριση υλικών, την ταυτοποίηση μιας ουσίας, ένα απλό σωματιδιακό μοντέλο (με βασικά σημεία ότι τα σωματίδια

συγκρατούν το ένα το άλλο, κινούνται συνεχώς και τα σωματίδια μιας συγκεκριμένης ουσίας παραμένουν ίδια και στην αλλαγή της κατάστασής της), καταστάσεις της ύλης, ερμηνεία των φαινομένων της τήξης, του βρασμού, της εξάτμισης και της υγροποίησης. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι πριν την παρέμβαση οι δάσκαλοι είχαν παρανοήσεις παρόμοιες με αυτές των μαθητών και επίσης, φάνηκε να υπάρχει κάποια σχέση ανάμεσα στις σωματιδιακές ιδέες τους και τις εξηγήσεις τους για τα φαινόμενα. Πολύ λίγοι είχαν μια πλήρη σωματιδιακή ιδέα για τις ουσίες στη στερεή, υγρή και αέρια κατάσταση, επίσης υπήρχε δυσκολία με την έννοια του κενού μεταξύ των σωματιδίων. Μετά την παρέμβαση οι περιγραφές και οι ερμηνείες τους παρουσίασαν στατιστικά σημαντική βελτίωση. Μεγαλύτερη πρόοδο παρουσίασαν στην τήξη και το βρασμό. Οι συγγραφείς προτείνουν συνεχή επιμορφωτικά προγράμματα για τους εν ενεργεία δασκάλους, τα οποία θα πρέπει να ξεκινούν αμέσως μόλις μπαίνουν στην τάξη, καθώς δε φαίνεται να είναι προς όφελός τους το να αποκτούν εμπειρία διδασκαλίας στην τάξη.

Οι Treagust et al. (2011) αξιολόγησαν την επίδραση μιας παρέμβασης που σχεδιάστηκε για να διδάξει τις έννοιες της σωματιδιακής θεωρίας σε μαθητές γυμνασίου και φοιτητές. Η παρέμβαση περιελάμβανε χρήση μοντέλων, παρακολούθηση βίντεο με την κίνηση σωματιδίων καπνού, σύγκριση της συμπίεστότητας του αέρα και ενός υγρού, θέρμανση σωμάτων και καταγραφή της θερμοκρασίας τους, μέτρηση του όγκου υγρών, επίδειξη μοριακών μοντέλων με το σπάσιμο των van der Waals δεσμών. Το πρόγραμμα αποδείχθηκε αποτελεσματικό καθώς βελτίωσε σημαντικά την επίδοση των μαθητών.

Οι Merritt και Krajcik (2013) μελέτησαν πώς η κατανόηση των μαθητών της Στ τάξης αλλάζει μετά την παρακολούθηση μιας παρέμβασης που στοχεύει στην ανάπτυξη ενός σωματιδιακού μοντέλου της ύλης. Η παρέμβαση διήρκεσε περίπου 8-10 εβδομάδες. Τα 5 πρώτα μαθήματα στόχευαν να βοηθήσουν τους μαθητές να κατανοήσουν τι είναι ύλη και οι μαθητές ερεύνησαν την τήξη και την πήξη για να κατανοήσουν ότι η ύλη μπορεί να υπάρχει και σε άλλη κατάσταση, επίσης, μελέτησαν τις ιδιότητες του αέρα. Τα επόμενα 4 μαθήματα ασχολούνταν με την ταυτοποίηση και την ερμηνεία των ιδιοτήτων των υλικών και οι μαθητές μελέτησαν τις ιδιότητες των στοιχείων για να κατανοήσουν ότι οι διαφορετικές ουσίες έχουν διαφορετικές ιδιότητες και χρησιμοποίησαν τις σωματιδιακές ιδέες για να εξηγήσουν ότι αυτές οι διαφορές οφείλονται στο ότι τα στοιχεία αποτελούνται από διαφορετικά σωματίδια. Στα τελευταία 6 μαθήματα οι μαθητές χρησιμοποίησαν τα σωματιδιακά τους μοντέλα για να εξηγήσουν την αλλαγή κατάστασης. Στο τέλος αυτής της ενότητας οι μαθητές αναθεώρησαν τα αρχικά τους μοντέλα βάσει όσων διδάχθηκαν. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι μαθητές

βελτίωσαν την επίδοσή τους και ήταν σε θέση να αναπτύξουν ένα σωματιδιακό μοντέλο για την ύλη μέχρι το τέλος της παρέμβασης.

Παρατηρούμε και πάλι ότι σε όλες τις παραπάνω προτάσεις παρεμβάσεων η εστίαση της προσοχής γίνεται σε μερικούς μόνο παράγοντες και κυρίως στην εισαγωγή της σωματιδιακής θεωρίας ή και στην αξιοποίηση σχετικού λογισμικού ή οπτικοποιήσεων, αφήνοντας στην άκρη άλλους σημαντικούς παράγοντες, όπως είναι οι διαισθητικές γνώσεις των παιδιών για την ύλη, οι μακροσκοπικές έννοιες που δυσκολεύουν τους μαθητές και κυρίως οι επιστημικές τους πεποιθήσεις.

Στην παρούσα έρευνα γίνεται προσπάθεια να λάβουμε υπόψη μας όλες τις παραμέτρους που φαίνονται να παίζουν σημαντικό ρόλο κατά τη διαδικασία της μάθησης, προκειμένου να πετύχουμε το βέλτιστο δυνατό μαθησιακό αποτέλεσμα. Τα **καινοτομικά στοιχεία** της παρούσας έρευνας, όπως ήδη αναφέρθηκε, είναι ότι κατά το σχεδιασμό της παρέμβασης:

- α) Λαμβάνει υπόψη τις αντιλήψεις των μαθητών για τις φυσικές ποσότητες και την ύλη, τη σειρά απόκτησης των εννοιών και τα ενδιάμεσα στάδια κατανόησης στην προσπάθεια των μαθητών να προσεγγίσουν αυτές τις έννοιες.
- β) Λαμβάνει υπόψη τις επιστημικές πεποιθήσεις των μαθητών και τα εμπόδια που αυτές θέτουν στην κατανόηση των επιστημονικών εννοιών.
- γ) Γίνεται μακροσκοπική προσέγγιση των εννοιών που θεωρούνται βασικές για την κατανόηση των επιστημονικών εννοιών και θεωρούνται προαπαιτούμενες για την επαρκή κατανόηση και των μικροσκοπικών εννοιών. Η μακροσκοπική αυτή προσέγγιση περιλαμβάνει και σημεία αντιδιαισθητικά για τα παιδιά (πχ. διερεύνηση μη εμφανών περιπτώσεων ύλης κτλ.) που συνήθως παραλείπονται κατά την παραδοσιακή διδασκαλία, ενώ περιλαμβάνει και πραγματικό αποδεικτικό πειραματισμό.
- δ) Γίνεται μικροσκοπική προσέγγιση των εννοιών κατά την οποία το μοντέλο του μικρόκοσμου χρησιμοποιείται ως ενοποιητικό στοιχείο για την ερμηνεία των φαινομένων του μακρόκοσμου. Η εισαγωγή του μοντέλου του μικρόκοσμου γίνεται με τρόπο συστηματικό, αλλά χωρίς τη χρήση μαθηματικών και με τη βοήθεια κατάλληλου λογισμικού με δυναμικές προσομοιώσεις και οπτικοποιήσεις προσαρμοσμένες στις νοητικές, αφαιρετικές και συνθετικές δυνατότητες των μαθητών, χωρίς όμως υπεραπλουστευτικές ανακρίβειες οι οποίες συνήθως δημιουργούν περισσότερες εσφαλμένες αντιλήψεις.
- ε) Καταβάλλεται, τέλος, προσπάθεια η εισαγωγή του μοντέλου του μικρόκοσμου για την ερμηνεία των μακροσκοπικών εννοιών και φαινομένων να γίνεται πάντα σε συνδυασμό

με την μακροσκοπική προσέγγιση και όχι σαν κάτι αποκομμένο και διαφορετικό, προκειμένου να μπορέσουν οι μαθητές να συνδυάσουν τις δύο θεωρήσεις (μακροσκοπική - μικροσκοπική) και να προσεγγίσουν καλύτερα τις μελετώμενες έννοιες και φαινόμενα.

Θεωρούμε ότι μια τέτοια παρέμβαση θα μπορέσει να βοηθήσει τους μαθητές να μεταβούν από τις βασιζόμενες στις αισθήσεις έννοιες που χαρακτηρίζουν την αφελή θεωρία τους για την ύλη στις πιο αφηρημένες και ποσοτικοποιημένες έννοιες της επιστημονικής θεωρίας για την ύλη, θα προωθήσει δηλαδή τη διαδικασία της εννοιολογικής αλλαγής. Η πεποίθηση αυτή προκύπτει από τα αποτελέσματα προηγούμενων ερευνών που έχουν μελετήσει μερικές από τις προαναφερθείσες παραμέτρους αλλά και της προ-έρευνας που πραγματοποιήθηκε πριν το σχεδιασμό της παρούσας έρευνας, τα οποία παρουσιάζονται και αναλύονται στη συνέχεια.

#### **α) Αντιλήψεις των Μαθητών για τις Φυσικές Ποσότητες και την Ύλη**

Από την ανασκόπηση της βιβλιογραφίας (Smith, Carey & Wisner 1985, Nussbaum 1985, Stavy & Stachel 1985, Spelke 1991, Griffiths & Preston 1992, Lee et al. 1993, Driver et al. 1994, Βλάχος 1999, Carey & Solimando 2002, Wisner & Smith 2008) προκύπτει ότι υπάρχει μια εξέλιξη στην ανάπτυξη της έννοιας για τα φυσικά αντικείμενα και την ύλη στους μαθητές κατά τη διάρκεια των προσχολικών και σχολικών χρόνων. Στα προσχολικά χρόνια τα παιδιά αναπτύσσουν μια γερή έννοια για τα φυσικά αντικείμενα, τα οποία κατανοούν ως καθορισμένες οντότητες που είναι στερεά, μόνιμα και ανθεκτικά και έχουν χαρακτηριστικές ιδιότητες και λειτουργίες. Ήδη από την ηλικία των 8 μηνών ξεχωρίζουν τα διακριτά αντικείμενα που είναι μετρήσιμα, από τις συνεχείς οντότητες όπως τα υγρά και τα μείγματα, που δεν είναι. Στην περίοδο των 3-7 ετών αναπτύσσουν τις έννοιες συγκεκριμένων υλικών και μια πιο γενική έννοια της ύλης, μαθαίνουν τα ονόματα πολλών ειδών αντικειμένων (πχ. βάρκα, καράβι, μήλο ...) αλλά και συγκεκριμένων ειδών υλικών (νερό, χυμός, πλαστικό, ξύλο, ...). Ακόμη και στην προσχολική ηλικία τα παιδιά μπορούν να κάνουν την οντολογική διάκριση μεταξύ φυσικών και νοητικών οντοτήτων. Αργότερα, κατά τη διάρκεια του δημοτικού σχολείου, τα παιδιά θεωρούν ότι η ύλη υπάρχει ως διαφορετικά υλικά που έχουν χαρακτηριστικά αντιληπτά με τις αισθήσεις (χρώμα, σχήδιο, μυρωδιά, ...) και εγγενείς ιδιότητες που εξηγούν τις συμπεριφορές τους όταν δρουν (σπάνε, λυγίζουν, ...).

Οι Krnel, Glazar και Watson (2003) ερεύνησαν την ηλικία κατά την οποία το υλικό ήταν η βάση για την κατηγοριοποίηση αντικειμένων, ζητώντας από παιδιά 3 - 13 ετών να

ταξινομήσουν σε ομάδες αντικείμενα, κομμάτια και τρίμματα από διαφορετικών χρωμάτων ξύλο, μέταλλο, πλαστικό και ύφασμα. Λίγα παιδιά των πέντε ετών ταξινόμησαν μαζί αντικείμενα με κομμάτια κατασκευασμένα από το ίδιο υλικό (και όχι από το σχήμα ή το χρώμα), αλλά δεν το εφάρμοσαν με συνέπεια σε όλα τα υλικά. Στην ηλικία των εννέα ετών τα παιδιά αρχίζουν να ομαδοποιούν τα τρίμματα με τα στερεά αντικείμενα και τα κομμάτια, αλλά όχι με συστηματικό τρόπο για όλα τα υλικά. Η ταξινόμηση βάσει του υλικού αυξάνεται με την ηλικία, αλλά ακόμη και μερικά 13χρονα παιδιά δεν κατάφεραν να το εφαρμόσουν συστηματικά σε όλα τα υλικά. Επιπλέον, οι αιτιολογήσεις των παιδιών για την ταξινόμηση των κομματιών υλικού με τα τρίμματα βασίζονταν κυρίως στο χρώμα, εκτός από των 13χρονων που έδωσαν κυρίως αιτιολογήσεις βάσει του υλικού.

Ο Stavy (1991) ζήτησε από μαθητές Δημοτικού και Α Γυμνασίου να εξηγήσουν τι είναι ύλη, και να κρίνουν ποια από μια σειρά αντικειμένων ήταν ύλη. Τα παιδιά συνήθως εξήγησαν τι είναι ύλη με παραδείγματα, με τη λειτουργία ή με τη δομή (κάτι που αποτελείται από συστατικά), αλλά κανένα από τα παιδιά του δημοτικού και μόνο το 10% των μαθητών της Α Γυμνασίου είπαν ότι το βάρος και ο όγκος είναι ιδιότητες της ύλης. Μέχρι την Ε' τάξη, τα παιδιά θεωρούν τα στερεά ως ύλη κατά 75%, τα υγρά μόνο κατά 50% και τα αέρια μόνο 10%. Οι μαθητές της Α Γυμνασίου θεώρησαν τα αέρια ως ύλη κατά 50%, αλλά συχνά ταξινόμησαν λανθασμένα ως ύλη και φαινόμενα που σχετίζονται με την ύλη (π.χ., ηλεκτρική ενέργεια και οσμή). Έτσι, ακόμη και στο γυμνάσιο, οι περισσότεροι φοιτητές δεν έχουν μια σαφή ιδέα για την ύλη.

Η Carey (1991) και οι Smith et al. (2010) ζήτησαν από παιδιά να ταξινομήσουν αντικείμενα ως ύλη και μη ύλη και να αιτιολογήσουν τις κατηγοριοποιήσεις τους και διαπίστωσαν κάποια βελτίωση με την ηλικία: τα μεγαλύτερα παιδιά είχαν περισσότερες πιθανότητες να συμπεριλάβουν τα υγρά και τα ζώα με τα στερεά ως ύλη, αλλά όχι τα αέρια, παρέχοντας συνήθως αιτιολογήσεις που βασίζονταν στην αντίληψη. Μόνο το 54% των μαθητών της Ε' τάξης ταξινόμησαν όλα τα στερεά, τις σκόνες και τα υγρά μαζί ως μορφές ύλης. Αυτοί οι μαθητές κατά κανόνα επικεντρώνονταν στις αντιληπτές με τις αισθήσεις ιδιότητες. Μόνο το 9% ανέφερε ότι καταλαμβάνουν χώρο ή έχουν βάρος. Επιπλέον, μόνο το 29% συμπεριέλαβε όλα τα στερεά, τα υγρά, και τουλάχιστον ορισμένα από τα αέρια, και μόνο το 9% συμπεριέλαβε τα αέρια, ενώ εξαίρεσε τη θερμότητα ή το φως.

Δεδομένου ότι τα παιδιά σε αυτή την ηλικία έχουν ρητά διδαχθεί ότι ο αέρας είναι ύλη, οι παραπάνω διαπιστώσεις δείχνουν ότι αυτό που διδάσκονται απλά δεν έχει νόημα: γι' αυτούς, ύλη είναι ό,τι μπορούν να δουν, να αισθανθούν και να αγγίξουν και γι' αυτό τα αέρια δεν είναι ύλη. Το να δεχτούν ότι τα αέρια είναι ύλη με την ίδια έννοια που είναι τα στερεά και τα υγρά



και ότι και τα τρία είναι οντολογικά διαφορετικά από άλλες μη υλικές οντότητες, απαιτεί μια οντολογική αλλαγή. Τα παιδιά πρέπει πρώτα να αναπροσδιορίσουν τα στερεά και τα υγρά, όσον αφορά τις ιδιότητες που μοιράζονται με τα αέρια, δηλαδή, ότι έχουν βάρος και πίνουν χώρο και αυτή η οντολογική ανασηματοδότηση των στερεών και των υγρών δεν μπορεί να επιτευχθεί χωρίς εκτεταμένη και ριζική εννοιολογικής αναδιάρθρωση του βάρους, του υλικού και του όγκου. Οι Wisser et al. (2007a) επισημαίνουν ότι τα παραδοσιακά προγράμματα σπουδών αποτυγχάνουν να παρέχουν τα μέσα για την αναθεώρηση της αντίληψης των παιδιών για την ύλη με τρόπο που να υποστηρίζει την ιδέα ότι τα αέρια είναι ύλη, διότι δεν προωθούν την ιδέα ότι κάθε κομμάτι της ύλης έχει βάρος και καταλαμβάνει χώρο.

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι μέχρι το τέλος του δημοτικού σχολείου (Ε΄ και Στ΄ τάξη) οι μαθητές έχουν διαμορφώσει μια διαισθητική θεωρία για την ύλη η οποία διαφέρει σημαντικά από την αντίστοιχη επιστημονική, καθώς χαρακτηρίζεται από τον κυρίαρχο ρόλο των αισθήσεων για τον καθορισμό της ύλης και των ιδιοτήτων της, έναντι των περισσότερο αφηρημένων εννοιών της επιστημονικής θεωρίας.

Αναλυτικότερα, σύμφωνα με τη **διαισθητική θεωρία** που έχουν αναπτύξει **οι μαθητές των τελευταίων τάξεων του δημοτικού σχολείου για την ύλη:**

- Η ύλη γίνεται αντιληπτή σαν ένα αντικειμενικό υλικό που είναι προσιτό με τις αισθήσεις, δηλαδή κάτι που μπορούμε να το δούμε, να το αγγίξουμε, να το δοκιμάσουμε, να το μυρίσουμε και να το νιώσουμε. Μια οντότητα είναι ύλη αν μπορούμε να την αντιληφθούμε με τις αισθήσεις μας. Αν αποτελείται από κομμάτια, είναι επίσης κομμάτια που μπορούμε να αντιληφθούμε με τις αισθήσεις μας. Βάσει αυτού, για πολλούς μαθητές τα στερεά και τα υγρά είναι ύλη, ενώ τα αέρια (και τα μικρά αντικείμενα) δεν είναι ύλη αλλά κάτι άλλο, που συνήθως σχετίζεται περισσότερο με τη θερμότητα και τον ηλεκτρισμό παρά με την ύλη.
- Η ύλη παύει να υπάρχει όταν δε φαίνεται (πχ. μετά από συνεχείς διαιρέσεις, στη διάλυση κτλ). Στις μηχανικές μετατροπές της ύλης (πχ αλλαγή σχήματος) τα κομμάτια της ύλης αναδιατάσσονται, δεν προστίθεται ούτε αφαιρείται ύλη, σε μεταβολές όπου έχουμε αλλαγή σχήματος και συμπεριφοράς (πχ. τήξη, πήξη) η ύλη μεταμορφώνεται, ενώ σε άλλες μεταβολές (πχ. διάλυση ζάχαρης σε νερό, βρασμός, καύση) η ύλη εξαφανίζεται.
- Πολλοί μαθητές δεν αντιλαμβάνονται τα άτομα ως βασικά συστατικά της ύλης, αλλά σαν κάτι μέσα στην ύλη. Θεωρούν ότι τα άτομα είναι ενσωματωμένα σε ένα υλικό υπόστρωμα, σαν να μην είναι από μόνα τους αρκετά για να αποτελούν το υλικό από το οποίο είναι φτιαγμένα τα σώματα. Αυτό συμβαίνει γιατί οι μαθητές υποθέτουν ότι τα πράγματα είναι

έτσι όπως φαίνονται. Η ύλη φαίνεται στατική και συνεχής, άρα η ύλη είναι από τη φύση της στατική και συνεχής.

- Οι σωματιδιακές ιδέες εμφανίζονται αργότερα, αλλά ακόμη και στις περιπτώσεις που η ύλη εξηγείται με τη βοήθεια σωματιδίων συχνά οι σωματιδιακές ιδέες των μαθητών δεν είναι σύμφωνες με τις επιστημονικές και συχνά αποδίδουν ιδιότητες του μακρόκοσμου στα σωματίδια του μικρόκοσμου. Αυτή η αδυναμία των μαθητών να διακρίνουν τις ιδιότητες των ατόμων από τις μακροσκοπικές ιδιότητες των σωμάτων επηρεάζει σε σημαντικό βαθμό την κατανόησή τους για τις φυσικές μεταμορφώσεις της ύλης. Αν τα άτομα και τα μόρια έχουν όλες τις ιδιότητες της μακροσκοπικής ύλης, τότε και τα ίδια αλλάζουν κατά τις αλλαγές κατάστασης της ύλης (για παράδειγμα οι μαθητές υποστηρίζουν ότι τα μόρια αλλάζουν μέγεθος και βάρος όταν θερμαίνονται ή κατά την αλλαγή κατάστασης, υγροποιούνται κατά την τήξη και εξαφανίζονται όταν τα υγρά βράζουν). Μεγάλη δυσκολία συναντούν, επίσης, οι μαθητές στην κατανόηση της έννοιας του κενού, της αένας κίνησης των σωμάτων και της αλληλεπίδρασης μεταξύ των σωματιδίων.
- Τα υλικά ταυτοποιούνται με τις αισθήσεις, με βάση την εμφάνιση και τη συμπεριφορά τους (πχ το γυαλί είναι διαφανές και σπάει) παρά βάσει υποκείμενων ιδιοτήτων τους (όπως η πυκνότητα), συνεπώς κατηγοριοποιούνται βάσει των βασικών μακροσκοπικών τους ιδιοτήτων (πχ φυσική κατάσταση) αντί της μοριακής τους δομής. Οι μαθητές θεωρούν ως "στερεά" τα σώματα εκείνα που είναι σκληρά, δεν αλλάζουν εύκολα σχήμα, δε σπάζουν εύκολα και γενικότερα είναι ανθεκτικά. Τα εύπλαστα ή εύθραυστα υλικά δεν εντάσσονται στα στερεά. Οι σκόνες και οι πούδρες, λόγω του χαρακτηριστικού τους να μεταφέρονται από δοχείο σε δοχείο "σαν να είναι υγρά", συχνά δεν εντάσσονται στα στερεά. Για τα υγρά το πρότυπο αναφοράς είναι το νερό και ειδικότερα η ρευστότητά του.
- Το βάρος, η μάζα και ο όγκος δεν θεωρούνται βασικές ιδιότητες της ύλης και γίνονται αντιληπτά με τις αισθήσεις (το βάρος που αισθανόμαστε, ο όγκος που βλέπουμε), ενώ δε γίνεται διαφοροποίηση των εννοιών βάρος-μάζα-πυκνότητα και μήκος-επιφάνεια-όγκος.

Μία διδακτική παρέμβαση που στοχεύει να προωθήσει την εννοιολογική αλλαγή θα πρέπει να λαμβάνει υπόψη τις τις αντιλήψεις των μαθητών για τις φυσικές ποσότητες και την ύλη. Πολλοί εκπαιδευτικοί θεωρούν ότι τα παιδιά έχουν καθόλου ή ελάχιστες γνώσεις για τα διδασκόμενα θέματα και γι' αυτό πιστεύουν ότι οι νέες γνώσεις μπορούν να δομηθούν πάνω στις προϋπάρχουσες μέσω μηχανισμών εμπλουτισμού, καθώς αδυνατούν να αντιληφθούν ότι η προϋπάρχουσα γνώση μπορεί να σταθεί εμπόδιο στη μάθηση. Η μάθηση όμως είναι μια

κατασκευαστική διαδικασία και η εννοιολογική αλλαγή είναι σύνθετη και απαιτεί πολλαπλές αλλαγές στον τρόπο σκέψης των μαθητών, χρειάζεται δηλαδή μια αναδιοργάνωση των αρχικών γνωστικών δομών τους.

Στην παρούσα παρέμβαση λαμβάνονται υπόψη οι αντιλήψεις των μαθητών για τις φυσικές ποσότητες, την ύλη και τις ιδιότητές της και μελετώνται ιδιαίτερα τα σημεία στα οποία διαφοροποιούνται από τις αντίστοιχες επιστημονικές. Αναλύονται τα βασικά σημεία των απόψεων των μαθητών για την ύλη που τους δυσκολεύουν να προσεγγίσουν τις αντίστοιχες επιστημονικές απόψεις (πχ. *μια οντότητα είναι ύλη αν μπορούμε να την αντιληφθούμε με τις αισθήσεις μας, επομένως τα στερεά και τα υγρά είναι ύλη, ενώ τα αέρια και τα μικρά σώματα δεν είναι ύλη, η ύλη παύει να υπάρχει όταν δεν φαίνεται, το βάρος, η μάζα και ο όγκος δεν θεωρούνται βασικές ιδιότητες της ύλης, η ύλη είναι στατική και συνεχής κτλ*) και εντοπίζονται (βάσει των αποτελεσμάτων της προ-έρευνάς μας) οι ενδιάμεσες αλλαγές που συντελούνται κατά την προσπάθεια των μαθητών να προσεγγίσουν αυτές τις έννοιες, (πχ. *η συνειδητοποίηση του ότι σώματα με αισθητό βάρος ή όγκο είναι ύλη φαίνεται να προηγείται της αποδοχής του ότι σώματα που είναι ορατά και ας μην έχουν αισθητό βάρος ή όγκο αποτελούν επίσης ύλη, η οποία αντίληψη με τη σειρά της προηγείται της αποδοχής του ότι και μη ορατά σε εμάς σώματα είναι ύλη*). Βάσει αυτών, σχεδιάζονται έργα που θα βοηθήσουν τους μαθητές να αντιμετωπίσουν τις δυσκολίες τους και θα προωθήσουν τη μαθησιακή διαδικασία, οδηγώντας τους μαθητές σε μια θεωρία για την ύλη που θα προσεγγίζει περισσότερο την επιστημονική. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιούνται έργα που σχετίζονται με λιγότερο εμφανείς περιπτώσεις της ύλης (πχ. μη ορατά αντικείμενα), άλλους τρόπους αντίληψης της ύλης, σύγκριση αντικειμένων ίδιου όγκου και διαφορετικής μάζας, διαφοροποίηση των εννοιών μάζα – βάρος – όγκος – πυκνότητα, αναλογίες που εισάγουν την ιδέα της ύλης ως αποτελούμενης από σωματίδια κτλ.

## **β) Επιστημικές Πεποιθήσεις των μαθητών**

Προηγούμενες μελέτες και έρευνες (Carey et al. 1989, Carey & Smith 1993, Carpendale & Chandler 1996, Smith, Maclin, Houghton & Hennessey 2000, Kuhn, Cheney & Weinstock 2000, Smith & Wenk 2006, Τζελέπης 2004, Kyriakopoulou 2012) έχουν δείξει ότι οι περισσότεροι μαθητές αυτής της ηλικίας (10-12 ετών) βρίσκονται σε ένα αρχικό ή ενδιάμεσο επίπεδο επιστημικών πεποιθήσεων. Στο αρχικό επίπεδο η γνώση θεωρείται αληθής και βέβαιη και γίνεται αντιληπτή ως συλλογή αληθινών πεποιθήσεων για συγκεκριμένες διαδικασίες ή βασικών γεγονότων, ενώ δεν υπάρχει ξεκάθαρη διάκριση ανάμεσα στις ιδέες των επιστημόνων και στις δραστηριότητές τους ή ανάμεσα στις ιδέες και στα πειραματικά τους δεδομένα. Στο

ενδιάμεσο επίπεδο εισάγεται η έννοια της εξήγησης και του ελέγχου υποθέσεων, καθώς οι επιστήμονες προσπαθούν να κατανοήσουν πώς δουλεύουν τα πράγματα ή γιατί συμβαίνουν, κάνουν πειράματα για να ελέγξουν τις ιδέες τους ή τις αναθεωρούν όταν αποδεικνύονται λανθασμένες και οι μαθητές αρχίζουν να κάνουν μια διάκριση ανάμεσα στις επιστημονικές ιδέες, στις δραστηριότητες και στα πειραματικά δεδομένα, όμως, θεωρούν ακόμη ότι μπορεί να αποκτηθεί η απόλυτη γνώση. Ελάχιστοι μαθητές βρίσκονται σε ένα ανώτερο επίπεδο όπου η θεωρία είναι ένα συνεκτικό επεξηγηματικό πλαίσιο το οποίο αποτελείται από υποθετικές θεωρητικές οντότητες που χρησιμοποιούνται για την εξήγηση δεδομένων και γίνεται ρητή διάκριση ανάμεσα στις θεωρίες των επιστημόνων και σε πιο συγκεκριμένες υποθέσεις, τα πειραματικά δεδομένα στηρίζουν ή διαψεύδουν όχι μόνο τις υποθέσεις αλλά και τις θεωρίες και η γνώση της πραγματικότητας είναι αβέβαιη και ασύλληπτη.

Η προσωπική επιστημολογία σχηματίζει αρχικά ένα στενό αλλά συνεκτικό σύνολο πεποιθήσεων για τη φύση της γνώσης και τη διαδικασία του γινώσκειν που βασίζεται στις αρχικές περιορισμένες εμπειρίες των παιδιών και σταδιακά το σύνολο των πεποιθήσεων διαφοροποιείται με τη συσσώρευση εμπειριών ή/και πολιτισμικών πληροφοριών, αλλάζοντας σταδιακά μερικές πεποιθήσεις, αλλά όχι όλες, και συνδέοντάς τες με διαφορετικά πλαίσια χρήσης (Stathopoulou & Vosniadou 2007).

Τα αποτελέσματα αρκετών ερευνών έδειξαν ότι οι πεποιθήσεις για τη φύση της γνώσης στη φυσική και τη διαδικασία του γινώσκειν σχετίζονται με την εννοιολογική αλλαγή στη φυσική, καθώς μόνο οι μαθητές με υψηλό επιστημολογικό επίπεδο πέτυχαν βαθιά εννοιολογική κατανόηση εννοιών της φυσικής (Σταθοπούλου & Βοσνιάδου 2007). Σε έρευνα των Songer και Linn (1990) οι μαθητές που θεωρούσαν την επιστήμη ως μια δυναμική διαδικασία ανάπτυξης και αλλαγής ιδεών και θεωρούσαν επίσης την ερμηνεία και την ενοποίηση των ιδεών ως στρατηγικές που διευκολύνουν την μάθηση ήταν πιο πιθανό να κατανοήσουν έννοιες της θερμοδυναμικής και να τις ενοποιήσουν με επιστημονικές αρχές, σε σχέση με τους μαθητές που θεωρούσαν την επιστήμη ως συσσώρευση αληθινών και αμετάβλητων δεδομένων. Οι Qian & Alverman (1995) υποστηρίζουν ότι οι μαθητές που πιστεύουν στην απλή και βέβαιη γνώση και στη γρήγορη μάθηση ήταν λιγότερο πιθανό να αλλάξουν τις απόψεις τους για την πλάγια βολή μετά την ανάγνωση ενός εξηγηματικού ανατρεπτικού κειμένου, σε σχέση με τους μαθητές που θεωρούν τη γνώση σύνθετη και εξελισσόμενη και τη μάθηση ως διαδικασία που απαιτεί χρόνο.

Όπως ήδη αναφέρθηκε, σύμφωνα με το θεωρητικό πλαίσιο της Βοσνιάδου και των συνεργατών της (Stathopoulou & Vosniadou 2007), οι επιστημικές πεποιθήσεις που

σχετίζονται με τη φυσική μπορούν να επηρεάσουν τη διαδικασία απόκτησης γνώσης άμεσα και έμμεσα, όπως κάνουν και οι οντολογικές προϋποθέσεις, καθώς μπορούν να επηρεάσουν τόσο το είδος της νέας πληροφορίας που προσλαμβάνεται από το φυσικό και πολιτισμικό πλαίσιο και τον τρόπο με τον οποίο αυτή η πληροφορία ερμηνεύεται. Για παράδειγμα, η πεποίθηση στην απλή ή/και βέβαιη γνώση μπορεί να επηρεάσει τη διαδικασία μάθησης άμεσα με την επικέντρωση της προσοχής των μαθητών σε δηλωτική πληροφορία ενώ η πεποίθηση στη σύνθετη ή/και εξελισσόμενη γνώση μπορεί να οδηγήσει τους μαθητές να επικεντρωθούν περισσότερο σε σχέδια σχέσεων και την αλλαγή τους με το χρόνο. Η πεποίθηση των μαθητών ότι η γνώση είναι αποσπασματική συλλογή δηλωτικών πληροφοριών (και όχι ένα σύνθετο σύστημα αλληλοσυσχετιζόμενων εννοιών) μπορεί να οδηγήσει στον «πρόωρο αποκλεισμό» της κριτικής τους σκέψης στη διαδικασία της μάθησης, στην επιφανειακή επεξεργασία των πληροφοριών και στη χρήση επιφανειακών στρατηγικών (πχ απομνημόνευση δεδομένων και τύπων) αντί εξελιγμένων στρατηγικών (πχ. οργάνωση και ενοποίηση βάσει αρχών). Όσον αφορά στο μεταγνωστικό επίπεδο, αναμένεται ότι οι μαθητές αυτοί δεν θα έχουν επίγνωση για την ανάγκη διαχείρισης της πληροφορίας και αξιολόγησης των αποτελεσμάτων της μάθησης.

Οι Schommer et al. (1992) υποστηρίζουν επίσης ότι η πίστη στην απλή έναντι της σύνθετης γνώσης μπορεί να επηρεάσει τόσο την επιλογή των γνωστικών στρατηγικών από τους μαθητές κατά τη διαδικασία της μάθησης όσο και τα κριτήριά τους για την εκτίμηση των μαθησιακών αποτελεσμάτων. Η πεποίθηση των μαθητών για την αμετάβλητη γνώση της φυσικής σχετίζεται με την επιφανειακή κατανόηση της φυσικής, καθώς μια τέτοια πεποίθηση μπορεί να περιορίσει την αξιολόγηση και την ερμηνεία αντιφατικών πληροφοριών που δεν συνάδουν με την υπάρχουσα γνώση. Οι μαθητές που πιστεύουν ότι η γνώση της φυσικής δεν αλλάζει μπορεί να προτιμήσουν να αποφύγουν τις «απειλητικές» νέες πληροφορίες παρά να εξετάσουν και να αλλάξουν τις υπάρχουσες αντιλήψεις τους.

Οι επιστημικές πεποιθήσεις, εξάλλου, μπορούν να είναι καλύτεροι προβλεπτικοί παράγοντες της εννοιολογικής αλλαγής απ' ότι οι βαθμοί στη φυσική, καθώς οι υψηλοί βαθμοί μπορεί να προκύψουν όχι μόνο από την σε βάθος κατανόηση της φυσικής αλλά και από παράγοντες όπως η αποτελεσματική χρήση κανόνων, φορμαλιστική και αλγοριθμική προσέγγιση στην επίλυση προβλημάτων, υιοθέτηση των τεχνικών προτίμησης του δασκάλου, παπαγαλία ή αυτό που θα μπορούσε να ονομαστεί «στρατηγική προσέγγιση» της μάθησης και μελέτης. Γι' αυτό μοιάζει λογικό ένα μαθητής με βαθιά εννοιολογική κατανόηση στη φυσική να έχει υψηλούς βαθμούς στη σχολική φυσική αλλά το αντίστροφο δεν συμβαίνει απαραίτητα (Stathopoulou & Vosniadou 2007).

Η αναγνώριση του ότι η γνώση είναι κατασκευάσιμη (προϊόν της ανθρώπινης σκέψης) και όχι καθορισμένη από μια εξωτερική πραγματικότητα και ότι οι αναπαραστάσεις καταστάσεων στον κόσμο αποτελούν θεωρητικές οντότητες, υποθέσεις που μπορούν να ελεγχθούν, να αποδειχθούν λανθασμένες και να αντικατασταθούν από άλλες αποτελεί ένα σημαντικό πρώτο βήμα στην ανάπτυξη της επιστημολογικής σκέψης, ενώ η αλλαγή θεώρησης των επιστημονικών μοντέλων από μικρές εικόνες ή μικρογραφίες της πραγματικότητας σε μια πιο αφηρημένη κατανόηση τους ως εργαλείων συλλογισμού που μπορούν να αποδώσουν σημαντικές σχέσεις αλλά τα στοιχεία τους είναι διαφορετικά από τις οντότητες που παρουσιάζουν, μπορούν να διευκολύνουν την κατανόηση φαινομένων του φυσικού κόσμου.

Σε μια πρωτοποριακή έρευνα οι Grosslight, Unger, Jay & Smyth (1991) διακρίνουν τρία επίπεδα κατανόησης της φύσης του επιστημονικού μοντέλου για τους μαθητές: στο πρώτο επίπεδο τα μοντέλα θεωρούνται ως παιχνίδια ή ως αντίγραφα της πραγματικότητας, στο δεύτερο επίπεδο τα μοντέλα θεωρούνται ότι έχουν δημιουργηθεί με κάποιο σκοπό, με έμφαση σε ορισμένα συστατικά που εναλλάσσονται, αλλά και πάλι με την πραγματικότητα να κυριαρχεί και στο τρίτο επίπεδο γίνεται αποδεκτό ότι το μοντέλο δημιουργείται για να ελέγξει ιδέες (όχι ως αντίγραφο της πραγματικότητας), ένα μοντέλο μπορεί να ελεγχθεί και να μεταβληθεί ώστε να ακολουθεί την εξέλιξη των ιδεών και ότι ο κατασκευαστής του μοντέλου έχει ενεργό ρόλο στη διαμόρφωσή του, που έγινε αρχικά για έναν συγκεκριμένο σκοπό. Ο Millar (1999) αναφέρει ότι ο τρόπος με τον οποίο παρουσιάζονται τα μοντέλα για τα σωματίδια και τα ατομικά μοντέλα στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση στο γνωστικό αντικείμενο της Χημείας, λόγω του ότι είναι μη συστηματικός, αφήνει τους μαθητές να πιστεύουν ότι τα διάφορα μοντέλα είναι «σωστά» παρά ότι είναι «κατάλληλα» κάθε φορά για το αντίστοιχο πλαίσιο.

Μία διδακτική παρέμβαση που στοχεύει να προωθήσει την εννοιολογική αλλαγή θα πρέπει να λαμβάνει υπόψη της τις επιστημικές πεποιθήσεις των μαθητών αυτής της ηλικίας, αφού αυτές δυσχεραίνουν την προσπάθειά τους να προσεγγίσουν τις επιστημονικές απόψεις. Στην παρούσα παρέμβαση λαμβάνουμε υπόψη ότι οι περισσότεροι μαθητές δεν διαθέτουν την επιστημολογική γνώση που είναι απαραίτητη για να συνδυάσουν την καθημερινή αισθητηριακή εμπειρία των υλικών αντικειμένων (*τα στερεά και τα υγρά φαίνονται συνεχή, τα υλικά διαφέρουν στο χρώμα, τη σκληρότητα ...*) με μερικές από τις αρχές της σωματιδιακής θεωρίας (*η ύλη αποτελείται από σωματίδια, τα άτομα βρίσκονται στο κενό, τα άτομα δεν είναι σκληρά ή μαλακά ούτε έχουν χρώμα*) και αυτό θέτει εμπόδια στην προσπάθειά τους να κατανοήσουν τις επιστημονικές ερμηνείες για την ύλη, τις ιδιότητές της και τις αλλαγές της.

Ειδικότερα, το χαμηλό επιστημολογικό επίπεδο των μαθητών μπορεί να αποτελέσει εμπόδιο κατά τη διαδικασία της εννοιολογικής αλλαγής, καθώς η πίστη στην αυθεντία και στη μοναδική αλήθεια οδηγεί τους μαθητές στην αντίληψη ότι τα πράγματα είναι έτσι όπως φαίνονται και τα φαινόμενα δε χρειάζονται ερμηνείες, η μη διάκριση της θεωρίας από τις υποθέσεις και τις αποδείξεις συνεπάγεται δυσκολία κατανόησης της αναγκαιότητας σχεδιασμού και εκτέλεσης πειραμάτων και η πεποίθηση ότι οι θεωρίες δεν αλλάζουν οδηγεί σε επιφανειακή κατανόηση και σε δυσκολία διαχείρισης των μη συμβατών πληροφοριών. Αντίθετα, το υψηλό επιστημολογικό επίπεδο μπορεί να διευκολύνει την εννοιολογική αλλαγή, αφού η αναγνώριση του αβέβαιου και κατασκευάσιμου χαρακτήρα της γνώσης οδηγεί σε καλύτερη κατανόηση των φαινομένων του φυσικού κόσμου και σε ανάπτυξη της κριτικής ικανότητας, η κατανόηση του ότι οι εξηγήσεις υπόκεινται σε αξιολόγηση και ότι τα τεκμήρια είναι διακριτά από τη θεωρία οδηγεί στην αποδοχή της αναγκαιότητας του πειραματισμού, στην αναζήτηση ερμηνειών και αιτιακών μηχανισμών και στην αποδοχή της ύπαρξης αλληλοσυγκρουόμενων όψεων της πραγματικότητας.

Φαίνεται, λοιπόν, ότι οι επιστημικές πεποιθήσεις επηρεάζουν την εννοιολογική αλλαγή με διάφορους τρόπους. Η σύγκρουση ανάμεσα σε αυτό που είναι ήδη γνωστό και στην πληροφορία που πρόκειται να αποκτηθεί δημιουργεί μια μαθησιακή κατάσταση στην οποία μεταβλητές συναισθηματικές και κινήτρων μπορούν να παίξουν σημαντικό ρόλο. Η σχέση επιστημικών πεποιθήσεων και εννοιολογικής αλλαγής είναι δυνατό να είναι σε κάποιον βαθμό αμοιβαία. Εφόσον οι προσωπικές πεποιθήσεις για τη γνώση και τη διαδικασία του γινώσκουν (στη φυσική) υπόκεινται σε αλλαγές είναι λογικό να υποστηρίξουμε ότι η βαθύτερη κατανόηση στη φυσική μπορεί να παράσχει ανατροφοδότηση που επηρεάζει με τη σειρά της τις επιστημικές πεποιθήσεις (Stathoroulou & Vosniadou 2007).

Βάσει αυτών των παρατηρήσεων, στην παρούσα παρέμβαση σχεδιάζονται έργα που θα βοηθήσουν τους μαθητές να ξεπεράσουν τα επιστημολογικά εμπόδια και θα προωθήσουν τη μαθησιακή διαδικασία. Αναλυτικότερα, καταβάλλεται προσπάθεια να υπερβούν οι μαθητές την εδραιωμένη πεποίθησή τους ότι «τα πράγματα είναι όπως φαίνονται» και να μετακινηθούν από την βασιζόμενη στις αισθήσεις κατανόηση της ύλης σαν κάτι που μπορούμε να δούμε, αισθανθούμε και ακουμπήσουμε (που περιλαμβάνει τα στερεά και υγρά, αλλά αποκλείει τα μικρά αντικείμενα και τα αέρια) στην κατανόηση της ύλης ως βασικού συστατικού που έχει βάρος και όγκο (που τώρα περιλαμβάνει στερεά, υγρά και αέρια ως μορφές της ύλης, άρα και του ίδιου οντολογικού είδους) και στην κατανόηση των υλικών ως βασικών συστατικών που διατηρούν την ταυτότητά τους κατά την αλλαγή κατάστασης και που έχουν αντικειμενικές και

μετρήσιμες χαρακτηριστικές ιδιότητες, ενώ παράλληλα επιχειρείται η ανάπτυξη μιας γερής επιστημολογικής κατανόησης για τη σημασία των μετρήσιμων ποσοτήτων στην επιστήμη αντί των εκτιμήσεων. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιούνται έργα που σχετίζονται με την εμφάνιση έναντι της πραγματικότητας, τη μέτρηση έναντι της εκτίμησης με τις αισθήσεις, την υπόθεση έναντι της θεωρίας, την αναγκαιότητα του πειραματισμού και του ελέγχου των υποθέσεων, την αβεβαιότητα της γνώσης, των μοντέλων έναντι της πραγματικότητας.

Επιπλέον, στην παρούσα παρέμβαση αξιοποιούνται στοιχεία από την ιστορία των επιστημών, όπως παραδείγματα αλλαγής θεωρίας μετά από νέες έρευνες και πειραματικά δεδομένα, ενώ προκαλείται με κατάλληλες ερωτήσεις συζήτηση σχετικά με τον τρόπο που δουλεύουν οι επιστήμονες, τη σημασία των αποδείξεων, της παρατήρησης και του πειραματισμού, τη διάκριση παρατήρησης - συμπεράσματος ή υπόθεσης - θεωρίας και την ανάγκη αποδεικτικών διαδικασιών για την ανάδειξη μιας υπόθεσης σε θεωρία, αλλά και την περίπτωση κατά την οποία οι επιστήμονες μπορούν να αναθεωρήσουν τις απόψεις τους ή να αλλάξουν τις θεωρίες τους. Αυτά τα στοιχεία δεν αποτελούν ξεχωριστή ενότητα, αλλά ενσωματώνονται με κατάλληλες αναφορές, σχόλια, αποσπάσματα και εναύσματα προβληματισμού στα φύλλα εργασίας που χρησιμοποιούνται για τη διδασκαλία των επιλεγμένων εννοιών, για να μην θεωρήσουν οι μαθητές ότι αποτελούν μια διαφορετική και αποκομμένη από τις φυσικές επιστήμες ενότητα.

### **γ) Μακροσκοπική Προσέγγιση**

Σύμφωνα με την Carol Smith (2007) η εννοιολογική αλλαγή δεν περιλαμβάνει απλώς την αναθεώρηση μιας λανθασμένης αντίληψης ή την εκμάθηση μιας νέας διαδικασίας, αλλά αλλαγές στις υποκείμενες έννοιες που χρησιμοποιούνται για την αναπαράσταση αυτών των αντιλήψεων ή την κατανόηση αυτών των διαδικασιών. Εξάλλου, έρευνες που έχουν γίνει υποστηρίζουν ότι υπάρχει σχέση ανάμεσα στην ύπαρξη εναλλακτικών αντιλήψεων στο μακροσκοπικό επίπεδο και στις δυσκολίες κατανόησης της ατομικής/μοριακής θεωρίας σαν ερμηνευτικό μοντέλο. Η κατάκτηση της ατομικής/μοριακής θεωρίας για την ύλη απαιτεί μια σειρά επιστημολογικών και οντολογικών αναδιοργανώσεων καθώς και περισσότερες πληροφορίες απ'ό,τι προσφέρονται αρχικά: είναι απαραίτητη η επέκταση και αναδιοργάνωση των μακροσκοπικών εννοιών των μαθητών για το βάρος, τον όγκο, το υλικό και την ύλη ώστε να είναι αλληλοσυσχετιζόμενες, να βασίζονται σε αντικειμενικές (μετρήσιμες) ιδιότητες και να υποστηρίζουν την κατανόηση της διατήρησης της μάζας και του υλικού σε μια σειρά μεταμορφώσεων. Χρειάζεται, επίσης, η αλλαγή των οντολογικών τους δεσμεύσεων με την



συνένωση στερεών, υγρών και αερίων ως μορφών της ύλης και τη διάκριση των αντικειμενικών από τις βασιζόμενες στις αισθήσεις ιδιότητες. Πολλοί εκπαιδευτικοί, αν και γνωρίζουν τις τεράστιες εννοιολογικές προκλήσεις που θέτει η ατομική/μοριακή θεωρία για την ύλη (πχ. προκλήσεις στη βασική υπόθεση ότι η ύλη είναι συνεχής και στατική), δεν έχουν φανταστεί ότι υπάρχουν μεγάλες εννοιολογικές προκλήσεις για την κατανόηση της ύλης και σε μακροσκοπικό επίπεδο και συχνά αυτές οι βασικές ιδέες για την ύλη θεωρούνται ότι υπάρχουν ή παρουσιάζονται στους μαθητές σαν μη-προβληματικές βασικές αρχές, γεγονός που δυσχεραίνει την προσπάθεια των μαθητών να κατανοήσουν την ατομική θεωρία.

Αναλυτικότερα, όσον αφορά στο βάρος, για τα μικρά παιδιά δεν συσχετίζεται με την ποσότητα του υλικού, καθώς μικρά πράγματα δε ζυγίζουν τίποτα αλλά ούτε και μεγάλα κομμάτια υλικών όπως το φελιζόλ (Smith et al. 1985). Αν ένα αντικείμενο κρίνεται βαρύτερο από ένα άλλο σηκώνοντάς το, τότε αναμένεται να γείρει το ζυγό (Metz 1993) και αφού το βάρος είναι υποκειμενικό, το αν ένα αντικείμενο είναι βαρύ ή όχι εξαρτάται από το ποιος το σηκώνει, για παράδειγμα, κάτι μπορεί να είναι ελαφρύ για έναν ενήλικα, αλλά βαρύ για ένα παιδί (Smith et al. 1985). Οι Wisner & Smith (2007a) υποστηρίζουν ότι η έννοια του βάρους ως αντικειμενικής ιδιότητας των αντικειμένων, που μετράται με μια ζυγαριά και είναι ανάλογη με την ποσότητα και το είδος του υλικού από το οποίο τα αντικείμενα είναι φτιαγμένα, φαίνεται να αναπτύσσεται πρώτα στο μακροσκοπικό επίπεδο και αργότερα τα παιδιά επιτυγχάνουν μια βαθύτερη θεωρητική κατανόηση του βάρους, ότι δηλαδή ακόμα και η παραμικρή ποσότητα της ύλης έχει βάρος και ότι η πυκνότητα (και όχι το βάρος) είναι αυτό που χαρακτηρίζει τα υλικά. Έρευνες εξάλλου υποστηρίζουν ότι τα παιδιά συνήθως κατανοούν ότι το βάρος δεν αλλάζει όταν τα αντικείμενα χωρίζονται σε μικρότερα κομμάτια ή να αναδιατάσσονται περίπου στην ηλικία των 9-10 ετών (Piaget & Inhelder, 1974).

Όσον αφορά στον όγκο, τα παιδιά έχουν μια ιδέα για το μέγεθος που συγχωνεύει το μήκος, το εμβαδό και τον όγκο και δεν είναι ποσοτικοποιημένη. Γνωρίζουν (από τη βρεφική ηλικία ακόμη) ότι δύο αντικείμενα δεν μπορούν να καταλάβουν την ίδια θέση στην ίδια στιγμή (Baillargeon 2002, Smith et al. 1985), ωστόσο οι κρίσεις τους είναι ποιοτικές και βασίζονται στην άμεση αντίληψη και δράση στα αντικείμενα, κάτι που είναι πολύ διαφορετικό από την έννοια ότι τα αντικείμενα καταλαμβάνουν ένα τμήμα του τρισδιάστατου χώρου που μπορεί να ποσοτικοποιηθεί (Smith et al. 2010).

Οι Wisner et al. (2013) τονίζουν ότι για τα παιδιά οι έννοιες της ύλης / μάζας, του βάρους, του όγκου βασίζονται στις αισθήσεις και είναι συνεπείς με την επιστημολογική στάση τους ότι οι αισθήσεις μας λένε την αλήθεια και ότι ο κόσμος είναι όπως φαίνεται να είναι. Από αυτές τις

έννοιες, επίσης, λείπουν στοιχεία που είναι βασικά για τις αντίστοιχες επιστημονικές έννοιες: το βάρος δεν ποσοτικοποιείται ούτε σχετίζεται με την ποσότητα, τα υγρά και τα αέρια είναι οντολογικά διαφορετικά, το να είναι κάτι υλικό  $X$  δε σημαίνει ότι αποτελείται από το υλικό  $X$ . Οι διαφορές ανάμεσα σε αυτές τις ιδέες και τις επιστημονικές είναι προφανείς και δύσκολο να ξεπεραστούν, ακόμη και σε μεγαλύτερες τάξεις. Για παράδειγμα, παρότι οι μαθητές του γυμνασίου απαντούν σωστά στο έργο του Piaget με την μπάλα και την τηγανίτα, χρησιμοποιούν το ζυγό ισορροπίας σωστά, γνωρίζουν ότι ο πάγος είναι νερό παγωμένο, υπολογίζουν τον όγκο ενός κύβου και αναφέρουν πολλά υλικά, η εννοιολογική τους κατανόηση για την ύλη, τα υγρά, τα στερεά, το βάρος, το υλικό και τον όγκο συχνά δεν είναι ριζικά διαφορετική από εκείνη των παιδιών των νηπιαγωγείων. Για παράδειγμα, σε μελέτες των Smith et al. (1997) η πλειοψηφία των μαθητών υποστηρίζει ότι αν ένα κομμάτι από πηλό κόβεται συνεχώς στο μισό, τα κομμάτια στο τέλος δεν θα ζυγίζουν τίποτα και παύουν να υπάρχουν.

Επομένως, κατά τον σχεδιασμό της παρέμβασης θα πρέπει να ληφθούν υπόψη εκτός από την επιστημολογία των μαθητών και οι μακροσκοπικές ιδέες τους, καθώς λίγοι είναι οι μαθητές που διαθέτουν τις μακροσκοπικές έννοιες της μάζας, του βάρους, του όγκου και της πυκνότητας που χρειάζονται για να υποστηρίξουν μια σωστή κατανόηση της ατομικής/μοριακής θεωρίας. Αν οι μαθητές κατανοήσουν ότι η ύλη έχει βάρος και καταλαμβάνει χώρο και αντιληφθούν αυτά ως αντικειμενικές, μετρήσιμες ιδιότητες, τότε θα έχουν αποκτήσει τη βάση για να τις συνδυάσουν στην έννοια της πυκνότητας, για να καθορίσουν ότι τα αέρια είναι ύλη και για να μελετήσουν τη διατήρηση της ύλης κατά τις διάφορες μεταβολές της. Μπορούν τότε να αντιληφθούν ότι τα άτομα καταλαμβάνουν χώρο και έχουν βάρος και είναι σε θέση να ασχοληθούν με φαινόμενα όπου η μάζα διατηρείται αλλά ο όγκος αλλάζει (πχ. αλλαγή κατάστασης) που μπορεί να προωθήσει την ιδέα ότι η ύλη αποτελείται από σωματίδια που χωρίζονται από κενό χώρο. Αν αναπτύξουν γερή μακροσκοπική κατανόηση, τότε μπορούν να ασχοληθούν με φαινόμενα που σχετίζονται με χημική αλλαγή.

Οι σχετικές ενότητες που προβλέπονται από το αναλυτικό πρόγραμμα σπουδών και περιλαμβάνονται στα σχολικά βιβλία είναι οι εξής: Υλικά σώματα και δομή της ύλης, Ιδιότητες των υλικών σωμάτων: Μάζα, Όγκος, Πυκνότητα, όπου επιδιώκεται οι μαθητές να αναγνωρίζουν τη μάζα και τον όγκο ως κοινές ιδιότητες των σωμάτων, να μετρούν τη μάζα στερεών σωμάτων καθώς και τη μάζα και τον όγκο υγρών σωμάτων, να εκφράζουν τις μετρήσεις τους χρησιμοποιώντας τις κατάλληλες μονάδες και να συσχετίζουν ποιοτικά την πυκνότητα με τη μάζα και τον όγκο ενός σώματος και να την αναγνωρίζουν ως

χαρακτηριστικό των υλικών. Δε γίνεται αναφορά στο βάρος ούτε στη διάκρισή του από τη μάζα σε αυτές τις ενότητες, παρά μόνο μια αναφορά στο βιβλίο μαθητή στην ενότητα όμως της Μηχανικής. Επιπλέον, δεν αναφέρονται μη εμφανείς περιπτώσεις ύλης, όπως για παράδειγμα μη ορατών, πολύ μικρών ή ελαφριών σωμάτων, τα οποία δυσκολεύουν τους μαθητές.

Στην παρούσα παρέμβαση καταβάλλεται προσπάθεια να προσεγγίσουν οι μαθητές τις έννοιες αυτές που θεωρούνται βασικές για την κατανόηση των επιστημονικών θεωριών και θεωρούνται προαπαιτούμενες για την επαρκή κατανόηση και των μικροσκοπικών εννοιών, με τρόπους που συνήθως παραλείπονται κατά την παραδοσιακή διδασκαλία. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται έργα που σκοπό έχουν να βοηθήσουν τους μαθητές να διερευνήσουν αρχικά τις ιδιότητες εμφανών περιπτώσεων ύλης (μεγάλου μεγέθους στερεά, υγρά) και στη συνέχεια λιγότερο εμφανών περιπτώσεων ύλης (μικρού μεγέθους στερεά, υγρά και αέρια). Επίσης, οι μαθητές παρακινούνται να ξεπεράσουν τις εκτιμήσεις που βασίζονται στις αισθήσεις και να εξασκηθούν στον τρόπο μέτρησης της μάζας, του βάρους και του όγκου προκειμένου να διευκολυνθούν στη διάκριση των εννοιών και στην κατανόηση των βασικών ιδιοτήτων της ύλης αλλά και να αξιοποιηθούν οι ικανότητές τους για να υποθέσουν τη μάζα και τον όγκο πολύ μικρών ποσοτήτων ύλης μετά από διαίρεση. Οι μαθητές καλούνται να προτείνουν διάφορες πιθανές ιδιότητες της ύλης, να σκεφτούν παραδείγματα ύλης που να μην μπορούμε να δούμε ή να ακουμπήσουμε και να επιχειρηματολογήσουν για το αν ο αέρας, ο καπνός, η θερμότητα, το φως και άλλες αινιγματικές περιπτώσεις είναι ύλη ή όχι.

#### **δ) Μικροσκοπική Προσέγγιση**

Όπως ήδη τονίστηκε, μια παρέμβαση που βοηθάει τους μαθητές να αναπτύξουν μια γερή βάση μακροσκοπικής και επιστημολογικής κατανόησης (πχ. την κατανόηση ότι η ύλη έχει βάρος και καταλαμβάνει χώρο, την κατανόηση του βάρους, του όγκου και της πυκνότητας σαν μετρήσιμων φυσικών ποσοτήτων, την κατανόηση του ρόλου της μέτρησης και της κατασκευής μοντέλων στην επιστήμη) παρέχει στους μαθητές σημαντικά εφόδια προκειμένου να κατανοήσουν την ατομική/μοριακή θεωρία, ενώ η κατανόηση της ατομικής/μοριακής θεωρίας βοηθά τους μαθητές να παγιώσουν την αρχική τους κατανόηση για την ύλη (πχ. την αέρια φυσική κατάσταση, τη διατήρηση της ύλης μετά από συνεχείς διαιρέσεις, τη διάλυση και την τήξη, τη διαφορά βάρους - πυκνότητας) και τους παρέχει μια σημαντική βάση για την κατανόηση άλλων σημαντικών μακροσκοπικών εννοιών που δεν μπορούν να αναπτυχθούν εύκολα χωρίς αυτήν (πχ. την εξάτμιση και τη συμπύκνωση, τη διαφορά χημικής / φυσικής αλλαγής, τα μοντέλα διάδοσης θερμότητα και τη διαφορά θερμότητας / θερμοκρασίας).

Σύμφωνα με το αναλυτικό πρόγραμμα σπουδών (2003) για το μάθημα "Ερευνώ το Φυσικό Κόσμο" και το διαθεματικό ενιαίο πλαίσιο προγραμμάτων σπουδών Φυσικής και Χημείας (2003) για το Δημοτικό επιδιώκεται η συστηματική εισαγωγή του μαθητή στις έννοιες και στον τρόπο προσέγγισης και μελέτης των φυσικών επιστημών και επιχειρείται η εισαγωγή του μοντέλου του μικρόκοσμου για την ερμηνεία των μακροσκοπικών φαινομένων. Μια από τις κύριες διαφοροποιήσεις των νέων βιβλίων του Δημοτικού «Φυσικά – Ερευνώ και Ανακαλύπτω» (2006) σε σχέση με τα παλαιότερα αφορά στην εισαγωγή και αξιοποίηση του μοντέλου του μικρόκοσμου για την ερμηνεία των φαινομένων του μακρόκοσμου. Επιχειρείται δηλαδή η μικροσκοπική προσέγγιση των φυσικών φαινομένων με απλές και σύντομες αναφορές στο επιστημονικό / εκπαιδευτικό πρότυπο του μικρόκοσμου (χωρίς τη χρήση μαθηματικών) ώστε να επιτευχθεί η –βέλτιστη δυνατή– ενοποίηση των θεματικών ενοτήτων και η ερμηνεία των μακροσκοπικών φαινομένων από τους μαθητές. Αυτονόητη, βέβαια, προϋπόθεση είναι ότι το –σήμερα αποδεκτό– επιστημονικό / εκπαιδευτικό πρότυπο του μικρόκοσμου (κλασικό ή μετακλασικό) να παρουσιάζεται στην απλούστερη δυνατή εκπαιδευτική προσέγγισή του, χωρίς όμως την υποκατάστασή του από υπεραπλουστευτικές ανακρίβειες οι οποίες συνήθως δημιουργούν εσφαλμένες αντιλήψεις, συχνά μη αναστρέψιμες στις μετέπειτα σπουδές.

Παρά τις προθέσεις των βιβλίων, όμως, και τις προβλέψεις των αναλυτικών προγραμμάτων, στην πράξη έχει αποδειχθεί ότι η αξιοποίηση του μοντέλου του μικρόκοσμου στη διδασκαλία των φυσικών επιστημών δεν γίνεται επαρκώς στην τάξη, καθώς δεν χρησιμοποιούνται οι πληροφορίες και τα μοντέλα που παρέχονται στα σχολικά εγχειρίδια ή άλλες πηγές. Η αναφορά στο μοντέλο του μικρόκοσμου είτε γίνεται πολύ επιφανειακά και μη συστηματικά είτε παραλείπεται τελείως, καθώς οι εκπαιδευτικοί θεωρούν ότι ίσως δυσκολέψει τους μαθητές. Μάλιστα, πρόσφατες οδηγίες από το Παιδαγωγικό Ινστιτούτο (2011) και το Υπουργείο Παιδείας προτείνουν να μην αξιοποιούνται καθόλου οι αναφορές στον μικρόκοσμο από το βιβλίο μαθητή κατά τη διδασκαλία των εννοιών των φυσικών επιστημών, χωρίς όμως αιτιολόγηση αυτής της υπόδειξης ή αναφορά σε σχετική έρευνα.

Όμως, από προηγούμενες προσπάθειες αξιοποίησης του σωματιδιακού μοντέλου στη διδασκαλία της φυσικής (Hwang 2000, Βλάχος 2004, Ιμβριώτη 2006, Paik et al. 2004, Papageorgiou & Johnson 2005, Ardac & Akaygun 2005, Yezierski & Birk 2006, Papageorgiou et al. 2008, 2009, Treagust et al. 2011, Merritt & Krajcik 2013) η έννοια της σωματιδιακής δομής της ύλης αναδεικνύεται σε θεμελιώδη έννοια για τη φυσική, ενώ αποδεικνύεται ότι οι μαθητές και του δημοτικού σχολείου είναι σε θέση να διδαχθούν το μοντέλο του μικρόκοσμου,

αφού μετά τη διδακτική παρέμβαση φτάνουν στο επίπεδο να χειρίζονται έννοιες του μοντέλου του μικρόκοσμου με σωστό τρόπο σε ικανοποιητικό βαθμό. Το γεγονός ότι έχουν εναλλακτικές απόψεις για τη σωματιδιακή δομή της ύλης δεν αντιμετωπίζεται με την άρνηση της διδασκαλίας της, αλλά πολύ περισσότερο με τη συστηματική διδασκαλία εννοιών και διαδικασιών που θα βοηθήσουν τους μαθητές να μετακινηθούν προς το επιστημονικά αποδεκτό μοντέλο σταδιακά και σε βάθος χρόνου. Όπως υποστηρίζουν και οι Merritt & Krajcik (2013) η σωματιδιακή δομή της ύλης αποτελεί τη βάση για την κατανόηση των καταστάσεων της ύλης, της αλλαγής κατάστασης και των ιδιοτήτων των ουσιών. Οι Wisser & Smith (2007a, 2007b) υποστηρίζουν ότι η σωματιδιακή θεωρία για την ύλη είναι μία από τις πιο σημαντικές σύγχρονες επιστημονικές θεωρίες, καθώς αποτελείται από λίγες και απλές βασικές αρχές και προσφέρει ακριβείς και κομψές εξηγήσεις για το τι κάνει διαφορετικό το ένα υλικό από το άλλο, γιατί και πώς αλλάζουν φάση και γιατί και πώς συμβαίνουν οι χημικές αντιδράσεις. Τονίζουν, επίσης, ότι η δυσκολία κατανόησής της δεν είναι αναπόφευκτη και δεν αποτελεί λόγο για να καθυστερεί η διδασκαλία της μέχρι το γυμνάσιο.

Στην παρούσα παρέμβαση επιχειρείται η μικροσκοπική προσέγγιση των εννοιών με τη βοήθεια του μοντέλου του μικρόκοσμου ως ενοποιητικού στοιχείου για την ερμηνεία των φαινομένων του μακρόκοσμου. Σημαντικό ρόλο όμως για την επιτυχή ή όχι αξιοποίηση του μοντέλου του μικρόκοσμου κατά τη μαθησιακή διαδικασία παίζει ο τρόπος με τον οποίο εισάγεται η σωματιδιακή θεωρία, καθώς θα πρέπει να παρουσιάζονται επαρκείς πληροφορίες στους μαθητές, αλλά με τέτοιο τρόπο που να μην είναι παραπλανητικές και να μη δημιουργούν περισσότερες παρανοήσεις, όπως έχει παρατηρηθεί ότι συχνά συμβαίνει (π.χ. ένα κομμάτι υλικού παρουσιάζεται σαν ένας χρωματιστός κύβος ή σφαίρα με μαύρο περίγραμμα με μικρές μαύρες σφαίρες μέσα του, τα μόρια του νερού απεικονίζονται να "κολυμπάνε" μέσα σε ένα γαλάζιο υγρό κτλ.).

Κατά την παρούσα παρέμβαση η εισαγωγή του μοντέλου του μικρόκοσμου γίνεται χωρίς τη χρήση μαθηματικών και με τρόπο προσαρμοσμένο στις νοητικές, αφαιρετικές και συνθετικές δυνατότητες των μαθητών. Η εισαγωγή της σωματιδιακής θεωρίας επιχειρείται με τη βοήθεια δυναμικών προσομοιώσεων και οπτικοποιήσεων, που δημιουργήθηκαν και δοκιμάστηκαν επί σειρά ετών στο Εργαστήριο Φυσικών Επιστημών, Τεχνολογίας και Περιβάλλοντος του Παιδαγωγικού Τμήματος Δημοτικής Εκπαίδευσης του Πανεπιστημίου Αθηνών (Kalkanis 2013). Κατά το σχεδιασμό των προσομοιώσεων έχουν ληφθεί υπόψη οι εναλλακτικές απόψεις των μαθητών για τη σωματιδιακή δομή της ύλης που έχουν καταγραφεί από τη βιβλιογραφία προκειμένου να αποφευχθεί η ενίσχυσή τους:

- Η κίνηση των σωματιδίων εκτιμάται ελάχιστα από τους μαθητές, γι' αυτό στις οπτικοποιήσεις δεν εμφανίζονται τα μοντέλα του μικρόκοσμου ακίνητα.
- Η ιδέα του κενού μεταξύ των σωματιδίων, ειδικά στην αέρια κατάσταση, παρουσιάζει δυσκολίες για τα παιδιά και πολλά προτιμούν να σκέφτονται «κάτι» (συνήθως αέρα) μεταξύ των σωματιδίων, γι' αυτό οι μοντελοποιήσεις των σωματιδίων παρουσιάζονται σε μαύρο φόντο, ώστε να μη δίνεται η εντύπωση ότι υπάρχει κάτι μεταξύ των σωματιδίων.
- Πολλά παιδιά προσάπτουν τις μακροσκοπικές ιδιότητες του υλικού στα σωματίδια του μικρόκοσμου και σε περιπτώσεις όπως η διαστολή ή η εξάτμιση αναφέρουν ότι τα σωματίδια διαστέλλονται ή εξαφανίζονται, γι' αυτό είναι σημαντικό να μην μεταβάλλεται καμία ιδιότητα των μοντέλων των σωματιδίων (πχ. χρώμα, μέγεθος) παρά μόνο η κίνησή τους όταν το σώμα που συγκροτούν διαστέλλεται ή μεταβαίνει σε άλλη φυσική κατάσταση.

### **ε) Συνδυασμός Μακροσκοπικής και Μικροσκοπικής προσέγγισης**

Τέλος, στην παρούσα παρέμβαση καταβάλλεται προσπάθεια η εισαγωγή του μοντέλου του μικρόκοσμου για την ερμηνεία των μακροσκοπικών εννοιών και φαινομένων να γίνεται πάντα σε συνδυασμό με την μακροσκοπική προσέγγιση και όχι σαν κάτι αποκομμένο και διαφορετικό, προκειμένου να μπορέσουν οι μαθητές να συνδυάσουν τις δύο θεωρήσεις (μακροσκοπική - μικροσκοπική) και να προσεγγίσουν καλύτερα τις μελετώμενες έννοιες και φαινόμενα. Έχει παρατηρηθεί ότι, όταν κατά τη μαθησιακή διαδικασία η μικροσκοπική προσέγγιση παρουσιάζεται ξεχωριστά από τη μακροσκοπική, οι μαθητές δυσκολεύονται να μεταφέρουν τη γνώση αυτή στο μακροσκοπικό πλαίσιο και να συνειδητοποιήσουν ότι πρόκειται για τις ίδιες έννοιες που θεωρούνται από διαφορετική πλευρά κάθε φορά. Θεωρούν ότι αυτά που μαθαίνουν για τον μικρόκοσμο είναι κάτι διαφορετικό από τα υλικά σώματα γύρω μας, ένας διαφορετικός κόσμος που δεν φαίνεται να σχετίζεται με αυτόν στον οποίο ζούμε και στον οποίο υπάρχουν τα υλικά σώματα. Το αποτέλεσμα είναι να μην μπορούν να αξιοποιήσουν τις γνώσεις της σωματιδιακής θεωρίας για την ερμηνεία των φαινομένων του μακρόκοσμου και να δυσκολεύονται να κατανοήσουν τις επιστημονικές θεωρίες. Στην παρούσα παρέμβαση καταβάλλεται προσπάθεια να γίνει αυτή η σύνδεση μακρόκοσμου και μικρόκοσμου, καθώς η κάθε έννοια εξετάζεται και μελετάται και με τις δύο θεωρήσεις.

### **Περιγραφή Παρέμβασης**

Η προτεινόμενη παρέμβαση είναι διερευνητικού / ανακαλυπτικού τύπου και κυρίαρχο ρόλο παίζει ο πραγματικός πειραματισμός, όπου οι μαθητές χωρισμένοι σε ομάδες

συνεργάζονται για την εκτέλεση των πειραμάτων χρησιμοποιώντας απλά, καθημερινά υλικά. Η διδασκαλία είναι διερευνητική, προκειμένου να αποκτήσουν οι μαθητές μια καλύτερη ιδέα του είδους και του εύρους των προβλημάτων με τα οποία ασχολούνται οι επιστήμονες στις φυσικές επιστήμες. Η προσέγγιση είναι πειραματική, εφόσον θεωρούμε ότι το πείραμα αποτελεί ένα διδακτικό εργαλείο με ισχυρή αποδεικτική ισχύ. Οι αρχές στις οποίες στηρίζεται η προτεινόμενη παρέμβαση και βασίζονται σε αποτελέσματα ερευνών τόσο θεωρητικών όσο και πρακτικών είναι η ενθάρρυνση της ενεργητικής συμμετοχής των μαθητών και η ενασχόλησή τους με δραστηριότητες που έχουν σαφές νόημα και προκαθορισμένους στόχους, η προσωπική εμπλοκή σε πειραματικές διαδικασίες, η ανάπτυξη της κριτικής σκέψης και μεταγνωστικής επίγνωσης, η ομαδοσυνεργατική διαδικασία, η χρήση εξωτερικών αναπαραστάσεων και η αντιμετώπιση των σημασιολογικών δυσκολιών που παρουσιάζουν οι επιστημονικές έννοιες (Τριλιανός 1993, 2002, Kynigos, Gyftodimos & Georgiadis 1993, Ματσαγγούρας 1993, 1994, Driver et al. 1994, Βοσνιάδου 2006β, Papadimitriou & Gyftodimos 2007, Papageorgiou et al. 2008, Treagust et al. 2011, Wisser et al. 2013).

Η μεθοδολογία που ακολουθείται κατά την προτεινόμενη παρέμβαση είναι η επιστημονική / εκπαιδευτική μεθοδολογία (Καλκάνης 2007), η ίδια που προτείνεται και από τα σχετικά σχολικά εγχειρίδια (Αποστολάκης κά. 2006) και η οποία απαρτίζεται από πέντε βήματα: *ένανσμα ενδιαφέροντος* (με παρατήρηση φαινομένων και διατύπωση ερωτημάτων σχετικών με τις μελετώμενες έννοιες, προκειμένου να προκληθεί το ενδιαφέρον των μαθητών), *διατύπωση υποθέσεων* (με τον προβληματισμό κατά τον οποίο οι μαθητές διατυπώνουν τις υποθέσεις τους, κάνουν προβλέψεις και εκθέτουν τις απόψεις τους προσπαθώντας να τις στηρίξουν με επιχειρήματα), *πειραματισμός* (με την πραγματοποίηση πειραμάτων από τους μαθητές και την καταγραφή των παρατηρήσεων και των μετρήσεών τους προκειμένου να ελέγξουν τις υποθέσεις τους), *διατύπωση συμπερασμάτων* (με τη διατύπωση και καταγραφή των συμπερασμάτων από τους μαθητές, με τη βοήθεια του εκπαιδευτικού) και *γενίκευση, εφαρμογή, μικροερμηνείες* (με την εφαρμογή των συμπερασμάτων και σε άλλα φαινόμενα ή ζητήματα της καθημερινής ζωής και με την ερμηνεία των φαινομένων με τη βοήθεια του προτύπου του μικρόκοσμου).

Μερικές από τις δεξιότητες στις οποίες επιδιώκεται να ασκηθούν οι μαθητές είναι η ανάπτυξη πνεύματος ομαδικότητας και συνεργασίας, ο καταμερισμός των εργασιών εντός της ομάδας, η διενέργεια διαλόγου σε επίπεδο ομάδας και σε επίπεδο τάξης, η λήψη αποφάσεων, η επιχειρηματολογία κι όχι η πεισματική εμμονή σε θέσεις, η ορθή εκτέλεση προφορικών και γραπτών οδηγιών, η συναρμολόγηση απλών διατάξεων, η εκτέλεση πειραμάτων, η

παρατήρηση, η δυνατότητα διάκρισης των θεωριών από τις υποθέσεις, η ανάπτυξη διερευνητικού πνεύματος, η ανάπτυξη ορθολογικού τρόπου σκέψης και η απαίτηση και αναζήτηση αποδεικτικών διαδικασιών για κάθε υπόθεση.

Αξιοποιώντας και συνδυάζοντας τα προαναφερθέντα στοιχεία, η παρούσα παρέμβαση αποτελείται από τις παρακάτω ενότητες:

### **A) Εισαγωγική Ενότητα**

Αρχικά περιλαμβάνει μια **εισαγωγική ενότητα** σχετικά με την ύλη, τις ιδιότητες και τη δομή της προκειμένου να αναδειχθούν οι ιδέες των μαθητών αλλά και να γίνει η αρχική εισαγωγή της σωματιδιακής θεωρίας για την ύλη.

- Αρχικά αναδεικνύονται οι ιδέες των μαθητών για το ποια σώματα αποτελούν ύλη και ποιες είναι οι ιδιότητες της ύλης. Σκοπός αυτής της ενότητας είναι να ωθήσει τους μαθητές να σκεφτούν περισσότερο για το θέμα και να προκαλέσει μια ανισορροπία, έτσι οι μαθητές καλούνται να σκεφτούν κάτι που να είναι ύλη αλλά να μην μπορούμε να το δούμε ή να το ακουμπήσουμε ή να μην καταλαμβάνει χώρο ή να μην έχει βάρος. Τίθεται το ερώτημα και ο προβληματισμός για το αν ο αέρας, ο καπνός, η θερμότητα, το φως και άλλες αινιγματικές περιπτώσεις είναι ύλη ή όχι.
- Στη συνέχεια, γίνεται προσπάθεια να εισαχθούν σταδιακά οι μαθητές στην έννοια των σωματιδίων της ύλης, κάτι που έρχεται σε αντίθεση με τη θεωρία που έχουν αναπτύξει οι μαθητές για την ύλη, ότι δηλαδή είναι συνεχής και στατική, καθώς και με την επιστημολογία τους, ότι δηλαδή τα πράγματα είναι όπως φαίνονται να είναι. Βλέπουν φωτογραφίες αντικειμένων που φαίνονται συνεχή και στη συνέχεια διαδοχικές μεγεθύνσεις τους με τη βοήθεια ηλεκτρονικών μικροσκοπίων, όπου απεικονίζονται μικρότερες δομές. Στην ενότητα αυτή γίνεται αναφορά στα σωματίδια που συνθέτουν τον μικρόκοσμο και στα στοιχειώδη σωματίδια ύλης, που με τα μέχρι τώρα δεδομένα της επιστήμης δεν αποτελούνται από άλλα. Μελετώνται μερικά χαρακτηριστικά των σωματιδίων και οι αλληλεπιδράσεις / δυνάμεις που συνθέτουν τα σωματίδια και τα σώματα καθώς και οι κινήσεις τους.

### **B) Βασικές Έννοιες / Ιδιότητες της Ύλης**

Η δεύτερη κεντρική ενότητα μελετά τις έννοιες που θεωρούνται βασικές για την εισαγωγή και κατανόηση της σωματιδιακής θεωρίας για την ύλη, όπως είναι ο όγκος, η μάζα, το βάρος, η



πυκνότητα, οι οποίες όμως συνήθως διδάσκονται αποσπασματικά και δυσκολεύουν ιδιαίτερα τους μαθητές (π.χ. το βάρος διδάσκεται στην ενότητα της μηχανικής και όχι των ιδιοτήτων της ύλης). Η ενότητα αυτή εισάγει, επίσης, την έννοια και την αξία της μέτρησης έναντι της εκτίμησης με τις αισθήσεις και ασκεί τους μαθητές στη λήψη μετρήσεων. Η μελέτη των εννοιών γίνεται τόσο μακροσκοπικά όσο και μικροσκοπικά με τρόπο συστηματικό, προκειμένου να διευκολυνθούν οι μαθητές να συνδυάσουν τις δύο θεωρήσεις και να προσεγγίσουν καλύτερα τις μελετώμενες έννοιες.

- Αρχικά οι μαθητές ασχολούνται με την έννοια του **όγκου** ως βασικής ιδιότητας της ύλης και μελετούν πώς μπορεί να ποσοτικοποιηθεί και να μετρηθεί, για να χρησιμοποιήσουν στη συνέχεια αυτήν την ποσοτικοποίηση για την εκτίμηση του χώρου που καταλαμβάνουν τα πολύ μικρά αντικείμενα. Με κατάλληλα έργα καταβάλλεται προσπάθεια διαπιστώσουν την αδυναμία ορθής εκτίμησης με τη βοήθεια των αισθήσεων και να παρακινηθούν να κάνουν μετρήσεις του χώρου που καταλαμβάνουν στερεά και υγρά σώματα. Για παράδειγμα, οι μαθητές καλούνται να υπολογίσουν αν μερικά ορθογώνια παραλληλεπίπεδα αντικείμενα διαφορετικών διαστάσεων έχουν τον ίδιο όγκο ή όχι. Αυτό το πρόβλημα θέτει μια πρόκληση, καθώς δεν είναι δυνατό να συγκριθεί ο όγκος των σωμάτων μόνο κοιτώντας τα. Μετά τη διατύπωση των απόψεων των μαθητών προκύπτει το ερώτημα πώς μπορούμε να μετρήσουμε τον όγκο τους χρησιμοποιώντας μια σταθερή μονάδα όγκου (μέσω κύβων). Οι μαθητές καλούνται πια να υπολογίσουν τον όγκο των σωμάτων χρησιμοποιώντας πολλούς μικρούς κύβους (όγκου  $1\text{cm}^3$  ο καθένας) και αυτή η δραστηριότητα τους εισάγει την μονάδα μέτρησης του όγκου αλλά παράλληλα τονίζει την προσθετική δομή της μέτρησης του όγκου (ο όγκος ολόκληρου του αντικειμένου είναι ο αριθμός των μονάδων όγκου που αποτελούν το αντικείμενο). Οι μαθητές στη συνέχεια ασχολούνται με μια σειρά προβλημάτων, όπως να υπολογίσουν τον όγκο ακανόνιστων αντικειμένων ή να χρησιμοποιήσουν μαθηματική λογική για να υπολογίσουν τον όγκο σωμάτων (πχ. μιας σταγόνας νερού) που είναι πολύ μικρά για να μετρηθούν απευθείας. Ακολουθεί η μικροσκοπική προσέγγιση με τη βοήθεια προσομοιώσεων και οπτικοποιήσεων.
- Στη συνέχεια εξετάζονται οι έννοιες της **μάζας** και του **βάρους** ως βασικών ιδιοτήτων της ύλης. Γίνεται προσπάθεια να κατανοήσουν οι μαθητές την έννοια της μάζας και πώς σχετίζεται με το βάρος, αλλά και να τη διαφοροποιήσουν από το βάρος και από τον όγκο (παρατηρώντας ότι τα αντικείμενα μπορεί να έχουν την ίδια μάζα αλλά διαφορετικό όγκο και το αντίστροφο), να ποσοτικοποιήσουν την ιδιότητα αυτή και να χρησιμοποιήσουν

την ποσοτικοποίηση για να υπολογίσουν τη μάζα πολύ ελαφριών αντικειμένων. Δίνονται στους μαθητές μερικά αντικείμενα από διαφορετικά υλικά και καλούνται να συγκρίνουν τη μάζα τους. Με τη χρήση ζυγών κάνουν μετρήσεις, συγκρίνουν τα αποτελέσματά τους και συζητούν τα πλεονεκτήματα της χρήσης του ζυγού (αντί της εκτίμησης με τις αισθήσεις) για τη σύγκριση μαζών. Γίνεται η εισαγωγή του γραμμαρίου ως μονάδας μέτρησης της μάζας και η διαδικασία υπολογισμού της μάζας των αντικειμένων τονίζει την προσθετική δομή της μέτρησης της μάζας. Οι μαθητές καλούνται να υπολογίσουν τη μάζα μικρών, ελαφριών αντικειμένων όπως μιας φακής, και γίνεται συζήτηση σχετικά με την ευαισθησία διαφόρων ζυγαριών. Με τη χρήση ζυγαριάς μεγάλης ευαισθησίας μετρούν τη μάζα ελαφριών σωμάτων. Με τη βοήθεια προσομοιώσεων και οπτικοποιήσεων γίνεται η μικροσκοπική προσέγγιση της μάζας.

Αντίστοιχη διαδικασία ακολουθείται και για την έννοια του βάρους. Γίνεται προσπάθεια για να κατανοήσουν οι μαθητές την έννοια του βάρους και να τη διαφοροποιήσουν από την έννοια της μάζας και του όγκου. Παρακολουθούν βίντεο με σκηνές από το διάστημα όπου παρατηρούν τη συμπεριφορά των σωμάτων σε συνθήκες έλλειψης βαρύτητας. Οι μαθητές καλούνται υπολογίζουν το βάρος διαφόρων αντικειμένων με τη χρήση του δυναμόμετρου και γίνεται η εισαγωγή της μονάδας μέτρησης του βάρους (1 N). Οι μαθητές καλούνται να υπολογίσουν το βάρος ελαφριών σωμάτων. Ακολουθεί η μικροσκοπική προσέγγιση με τη βοήθεια προσομοιώσεων και οπτικοποιήσεων.

- Στη συνέχεια μελετούν την έννοια της **πυκνότητας** ως ιδιότητας της ύλης. Εδώ καλούνται να ταξινομήσουν σώματα ανάλογα με την πυκνότητά τους και με κατάλληλα έργα να κατανοήσουν τη σχέση μάζας – όγκου – πυκνότητας. Οι μαθητές καλούνται να απαντήσουν ερωτήσεις όπως «Μπορούν δύο σώματα να έχουν την ίδια μάζα αλλά διαφορετικό όγκο;» ή «Μπορούν δύο σώματα να έχουν τον ίδιο όγκο αλλά διαφορετική μάζα;» και να κάνουν συγκρίσεις τέτοιων σωμάτων. Ιδιαίτερα βοηθητικές είναι στο σημείο αυτό οι προσομοιώσεις και οπτικοποιήσεις του μικρόκοσμου που απεικονίζουν το εσωτερικό των σωμάτων ίδιας μάζας και διαφορετικού όγκου ή ίδιου όγκου και διαφορετικής μάζας, προκειμένου να αντιληφθούν οι μαθητές την έννοια της πυκνότητας και τη σχέση της με τον όγκο και τη μάζα των σωμάτων.
- Η ενότητα αυτή κλείνει με την **έννοια του αέρα ως υλικού σώματος**. Το μάθημα δηλαδή επιστρέφει στο ερώτημα που είχε τεθεί αρχικά, αν δηλαδή ο αέρας είναι ύλη και οι μαθητές, αφού στις προηγούμενες ενότητες έχουν καταλήξει στις βασικές ιδιότητες της ύλης, καλούνται να προτείνουν τρόπους για να διαπιστώσουμε αν τελικά ο αέρας

είναι ύλη ή όχι. Για να δείξουμε ότι ο αέρας έχει μετρήσιμη μάζα, δείχνουμε ότι η ζυγαριά γέρνει προς τη μεριά ενός μπαλονιού γεμάτου αέρα σε σχέση με ένα μπαλόνι άδειο, ενώ για να δείξουμε ότι ο αέρας καταλαμβάνει χώρο ζητάμε από τους μαθητές να δοκιμάσουν να τοποθετήσουν ανάποδα σε μια λεκάνη με νερό ένα ποτήρι στον πάτο του οποίου έχουμε κολλήσει ένα κομμάτι βαμβάκι και να παρατηρήσουν ότι το βαμβάκι παραμένει στεγνό. Με τις κατάλληλες προσομοιώσεις παρατηρούν ότι και ο αέρας αποτελείται από σωματίδια. Στην ενότητα αυτή οι μαθητές καλούνται να συγκρίνουν τις αρχικές απόψεις τους με τις τελικές και να σχολιάσουν τι ήταν αυτό που τους οδήγησε στην αναθεώρηση των απόψεών τους.

### Γ) Το Μοντέλο του Μικρόκοσμου

- Στην τελευταία κεντρική ενότητα γίνεται μια πιο αναλυτική περιγραφή του **μοντέλου του μικρόκοσμου** με τη βοήθεια δυναμικών προσομοιώσεων / οπτικοποιήσεων και κατάλληλου λογισμικού και γίνεται προσπάθεια να χρησιμοποιηθεί το μοντέλο αυτό για την περιγραφή και ερμηνεία φαινομένων του μακρόκοσμου, όπως οι φυσικές καταστάσεις της ύλης και να αναδειχθεί με αυτόν τον τρόπο ο ενοποιημένος χαρακτήρας του φυσικού κόσμου και της επιστήμης που τον περιγράφει και τον ερμηνεύει.

Επιπλέον, σε όλες τις ενότητες αξιοποιούνται στοιχεία από την ιστορία των επιστημών, όπως παραδείγματα αλλαγής θεωρίας μετά από νέες έρευνες και πειραματικά δεδομένα και ενθαρρύνεται με κατάλληλες ερωτήσεις συζήτηση σχετικά με τον τρόπο που δουλεύουν οι επιστήμονες, τη σημασία των αποδείξεων, της παρατήρησης και του πειραματισμού, τη διάκριση παρατήρησης-συμπεράσματος και υπόθεσης-θεωρίας και την ανάγκη αποδεικτικών διαδικασιών για την ανάδειξη μιας υπόθεσης σε θεωρία, αλλά και την περίπτωση κατά την οποία οι επιστήμονες μπορούν να αναθεωρήσουν τις απόψεις τους ή να αλλάξουν τις θεωρίες τους. Αυτά τα στοιχεία δεν αποτελούν χωριστή ενότητα, αλλά ενσωματώνονται με κατάλληλα σχόλια, αναφορές και αποσπάσματα ως εναύσματα προβληματισμού και συζήτησης στα φύλλα εργασίας που χρησιμοποιούνται για τη διδασκαλία των επιλεγμένων εννοιών.

Για κάθε μία από τις επιμέρους ενότητες της παρέμβασης έχουν σχεδιαστεί και χρησιμοποιούνται κατάλληλα **φύλλα εργασίας** τα οποία ακολουθούν την ίδια μεθοδολογία με τα φύλλα εργασίας των εγχειριδίων, δηλαδή την επιστημονική / εκπαιδευτική μεθοδολογία (έναυσμα ενδιαφέροντος, διατύπωση υποθέσεων, πειραματισμός, διατύπωση συμπερασμάτων, γενίκευση και μικρο-ερμηνείες) Αναλυτικότερα, τα φύλλα εργασίας (τα οποία παρατίθενται

στο παράρτημα) περιλαμβάνουν τις θεματικές: 1) Ύλη και Ιδιότητες της Ύλης, 2) Δομή της Ύλης (Σωματίδια, Ιδιότητες, Αλληλεπιδράσεις), 3) Ιδιότητες της Ύλης – Όγκος, 4) Ιδιότητες της Ύλης – Μάζα, 5) Ιδιότητες της Ύλης – Βάρος, 6) Βάρος – Μάζα, 7) Ιδιότητες της Ύλης – Πυκνότητα, 8) Ύλη και Ιδιότητες της Ύλης - Ο αέρας και 9) Φυσικές Καταστάσεις. Στα φύλλα εργασίας υπάρχουν αναλυτικές οδηγίες πειραματισμού (μερικά πειράματα είναι από τα εγχειρίδια των Φυσικών, ενώ έχουν προστεθεί και άλλα πειράματα και δραστηριότητες) καθώς και η επισήμανση πότε οι μαθητές δουλεύουν ομαδικά και πότε ατομικά. Ο κάθε μαθητής συμπληρώνει το δικό του φύλλο εργασίας, αλλά στον πειραματισμό καθώς και σε μερικές δραστηριότητες οι μαθητές δουλεύουν ομαδικά και καταγράφουν τις κοινές παρατηρήσεις και συμπεράσματά τους, τα οποία συγκρίνουν με τις υπόλοιπες ομάδες. Στα φύλλα εργασίας αυτά έχουν περιληφθεί αναφορές από την ιστορία των επιστημών καθώς και στατικά στιγμιότυπα του μικρόκοσμου, αλλά και παραπομπές στα αντίστοιχα τμήματα του σχετικού λογισμικού με τις δυναμικές προσομοιώσεις



Εικόνα 3.1: Τα Φύλλα Εργασίας

### **Το Λογισμικό**

Για την παρέμβαση χρησιμοποιείται και το σχετικό **λογισμικό** «Μακρο-μικρο-ύλη» που σχεδιάστηκε ώστε να είναι συμβατό με τα φύλλα εργασίας και τις γενικές ενότητες της παρέμβασης. Ακολουθεί και αυτό σε μεγάλο βαθμό τη μεθοδολογία των εγχειριδίων και των φύλλων εργασίας, αλλά περιλαμβάνει περισσότερες πληροφορίες και διαδραστικό υλικό με τη μορφή όχι μόνο στατικών και κινούμενων εικόνων αλλά και βίντεο και δυναμικών

προσομοιώσεων και οπτικοποιήσεων. Όπως ήδη αναφέρθηκε, κατά το σχεδιασμό των προσομοιώσεων, οι οποίες έχουν δημιουργηθεί και αξιολογηθεί επί σειρά ετών στο Εργαστήριο Φυσικών Επιστημών, Τεχνολογίας και Περιβάλλοντος του ΠΤΔΕ του Πανεπιστημίου Αθηνών (Δημόπουλος 2004, Καλκάνης 2006, 2007, Ιμβριώτη 2006, Kalkanis 2013) έχουν ληφθεί υπόψη οι εναλλακτικές απόψεις των μαθητών για τη σωματιδιακή δομή της ύλης που έχουν καταγραφεί από τη βιβλιογραφία προκειμένου να αποφευχθεί η ενίσχυσή τους. Το λογισμικό περιλαμβάνει τις ενότητες: Επιστήμη, (μακρο)Ιδιότητες, Μοντέλα, Δομή Ύλης, Σωματίδια, Χαρακτηριστικά Σωματιδίων, Αλληλεπιδράσεις και Φυσικές Καταστάσεις.



Εικόνα 3.2: Η Αρχική Σελίδα του Λογισμικού

Σχεδόν όλες οι ενότητες ακολουθούν την επιστημονική / εκπαιδευτική μεθοδολογία (όπως και τα σχολικά βιβλία αλλά και τα φύλλα εργασίας) και ξεκινούν με ένα ή περισσότερα εναύσματα ενδιαφέροντος, ακολουθούν κατάλληλες ερωτήσεις για τη διατύπωση υποθέσεων, στη συνέχεια δίνονται αναλυτικές οδηγίες για πειραματισμό, ακολουθούν τα συμπεράσματα και τέλος οι ερμηνείες και με το μικρόκοσμο και η γενίκευση των συμπερασμάτων και σε άλλα φαινόμενα ή εφαρμογές. Καταβλήθηκε προσπάθεια το λογισμικό να συμπεριλάβει δραστηριότητες, πληροφορίες, φωτογραφίες, βίντεο, προσομοιώσεις, αναλογίες και υλικό κατάλληλο για το αναπτυξιακό επίπεδο των μαθητών, που να προκαλούν το ενδιαφέρον, να ενισχύει την κριτική σκέψη και την ενεργητική εμπλοκή των μαθητών για τη βελτιστοποίηση της επίδρασής του και την ανάπτυξη μεταγνωστικών δεξιοτήτων των μαθητών (Grigoriadou & Papanikolaou 2000, Papanikolaou et al. 2006, Βοσνιάδου 2006 α).

Στην ενότητα για την **Επιστήμη** γίνεται αναφορά σε μερικούς μεγάλους επιστήμονες και τίθεται το ερώτημα «τι κάνουν οι επιστήμονες για να βρουν απαντήσεις στις ερωτήσεις τους;». Ακολουθεί αναφορά στον Νεύτωνα, στο Θαλή το Μιλήσιο, τον Αρίσταρχο το Σάμιο και τον Αρχιμήδη, στο έργο τους, στα πειράματα γενικότερα των επιστημόνων και στο πώς τα συμπεράσματά τους εφαρμόζονται σε πολλές τεχνολογικές εφαρμογές που χρησιμοποιούμε καθημερινά.

Η ενότητα **(μακρο)Ιδιότητες** περιλαμβάνει τις υποενότητες Όγκος, Μάζα, Βάρος, Μάζα vs. Βάρος, Υπολογισμός Βάρους, Πυκνότητα. Σε αυτή την ενότητα οι μαθητές καλούνται να εκτιμήσουν τον **όγκο** του υγρού που περιέχεται σε 4 διαφορετικού σχήματος δοχεία (και τα 4 δοχεία έχουν ίδια ποσότητα αλλά λόγω του σχήματός τους αυτό μοιάζει αδύνατο). Επίσης, ασχολούνται με μερικές οπτικές πλάνες / οφθαλμαπάτες (κυρίως γεωμετρικές και διπλής μορφής) που αποτελούν αφορμή για συζήτηση σχετικά με το αν μπορούμε να βασιζόμαστε πάντα σε αυτό που βλέπουμε. Για τη **μάζα** βλέπουν (με κατάλληλες παύσεις για συζήτηση και σχολιασμό) σχετικά βίντεο με πληροφορίες για την έννοια αυτή, τη σημασία της και τον υπολογισμό της, βλέπουν μια προσομοίωση των σωματιδίων του μικρόκοσμου που αποτελούν την ύλη και παίζουν με μια εφαρμογή προσπαθώντας να υπολογίσουν τη μάζα αντικειμένων. Σχετικά με το **βάρος**, παρακολουθούν (με κατάλληλες παύσεις για συζήτηση και σχολιασμό) ένα βίντεο με πληροφορίες για τη βαρύτητα, το βάρος, τη σημασία του και τον υπολογισμό του, βλέπουν βίντεο από αστροναύτες σε διαστημόπλοια ή διαστημικούς σταθμούς και τις συνθήκες βαρύτητας που επικρατούν εκεί και πόσο διαφορετική είναι η συμπεριφορά των σωμάτων και παίζουν με μια εφαρμογή για την κατανόηση της βαρύτητας. Γίνεται αναφορά στον Νεύτωνα και το νόμο της βαρύτητας, ενώ παρακολουθούν και μερικά αποσπάσματα από γνωστά καρτούν που δείχνουν να αψηφούν το νόμο της βαρύτητας και αποτελούν αφορμή για συζήτηση. Στην ενότητα **μάζα vs. βάρος** παρακολουθούν (με κατάλληλες παύσεις για συζήτηση και σχολιασμό) ένα βίντεο που συγκρίνει τις δύο έννοιες παρουσιάζοντας τις διαφορές τους και στη συνέχεια ασχολούνται με μια εφαρμογή που υπενθυμίζει τις βασικές διαφορές των εννοιών. Στον **υπολογισμό βάρους**, χρησιμοποιούν μια εφαρμογή για να υπολογίσουν το βάρος που θα είχαν στους άλλους πλανήτες του πλανητικού μας συστήματος και παίζουν με μια άλλη εφαρμογή όπου καλούνται να υπολογίσουν το βάρος ενός αστροναύτη σε διάφορους πλανήτες. Τέλος, στην **πυκνότητα** παρακολουθούν προσομοιώσεις με το εσωτερικό δύο σωμάτων ίδιου όγκου αλλά διαφορετικής μάζας καθώς και με το εσωτερικό δύο σωμάτων με ίδια μάζα και διαφορετικό όγκο, ενώ χρησιμοποιούν και μια σχετική δυναμική προσομοίωση όπου μπορούν να αυξομειώνουν τις διαστάσεις ενός σώματος συγκρινόμενο σε ζυγαριά με άλλο με ταυτόχρονη απεικόνιση του εσωτερικού των σωμάτων,

προκειμένου να αντιληφθούν την έννοια της πυκνότητας και τη σχέση της με τον όγκο και τη μάζα των σωμάτων.

Στην ενότητα **Μοντέλα** παρουσιάζονται μερικά μοντέλα που χρησιμοποιούμε για επιστημονικούς λόγους και τίθενται ερωτήσεις σχετικά με τις ομοιότητες και διαφορές του μοντέλου με το αντικείμενο που αναπαριστά και τη χρησιμότητα των μοντέλων.

Στην ενότητα **Δομή Ύλης**, αρχικά παρουσιάζονται εικόνες και βίντεο από σμήνη πουλιών και κοπάδια ψαριών και τίθεται το ερώτημα πώς φαίνονται από μακριά και πώς είναι στην πραγματικότητα, αν πλησιάσουμε και τα δούμε από κοντά. Αντίστοιχα, παρουσιάζονται φωτογραφίες αντικειμένων που φαίνονται συνεχή (κουτάκι αλουμινίου, γραφίτης, πάγος, βακτήρια κτλ) αλλά με διαδοχικές μεγεθύνσεις τους με τη βοήθεια ηλεκτρονικών μικροσκοπίων ή προσομοιώσεων απεικονίζονται μικρότερες δομές. Στη συνέχεια, βλέπουν κι άλλες εικόνες και βίντεο από μικροσκόπια που δείχνουν το εσωτερικό σωμάτων όπως του γιαουρτιού, του κρασιού, του αίματος, μιας ανθρώπινης τρίχας, του ανθρώπινου δέρματος και άλλων μερών του ανθρώπινου σώματος. Συμμετέχουν σε ένα quiz όπου τίθεται το ερώτημα αν μπορούμε να δούμε τα πάντα με τα μάτια μας ή αν υπάρχουν πράγματα ή περιπτώσεις που χρειάζεται να χρησιμοποιήσουμε ειδικά εργαλεία και με αυτή την αφορμή γίνεται αναφορά (με χαρακτηριστικά παραδείγματα) σε ειδικά γυαλιά που μας βοηθούν να δούμε αντικείμενα στο σκοτάδι, στις θερμοκάμερες που μας δείχνουν τη θερμοκρασία των σωμάτων, στις ακτινογραφίες ή τα υπερηχογραφήματα που μας δείχνουν το εσωτερικό του σώματός μας, στα καρδιογραφήματα που μας δείχνουν τη λειτουργία της καρδιάς, στα ραντάρ που εντοπίζουν αντικείμενα σε μεγάλες αποστάσεις, στα κιάλια, στα τηλεσκόπια, στα οπτικά και ηλεκτρονικά μικροσκόπια και στις προσομοιώσεις. Τέλος, παίζουν ένα παιχνίδι όπου πρέπει να μαντέψουν τι δείχνουν διάφορες φωτογραφίες που έχουν τραβηχτεί με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο.

Στην ενότητα **Σωματίδια** γίνεται αναφορά στα σωματίδια που συνθέτουν τον μικρόκοσμο και στα στοιχειώδη σωματίδια ύλης. Χρησιμοποιείται η αναλογία με τα τουβλάκια lego, όπου οι μαθητές βλέπουν σύνθετες κατασκευές με τουβλάκια και συζητούν για τη σύνθεσή τους φτάνοντας στο μικρότερο δυνατό τουβλάκι, από συνδυασμούς του οποίου προκύπτουν συνθετότεροι σχηματισμοί. Για να γίνει πιο κατανοητό, γίνεται αναφορά στα 24 γράμματα του αλφαβήτου μας που συνθέτουν ένα τόσο πλούσιο λεξιλόγιο και στις 7 νότες από τις οποίες προκύπτει η μαγευτική μουσική πολυμορφία. Γίνεται αναφορά στον Δημόκριτο και το «άτομο» σωματίδιο και γίνεται αναφορά στα σωματίδια της ύλης και στα στοιχειώδη σωματίδια που συνθέτουν τον κόσμο γύρω μας και προβάλλονται κατάλληλες προσομοιώσεις που δείχνουν τα quarks και το σχηματισμό πρωτονίων και νετρονίων, πυρήνων, ατόμων, μορίων

και συνδυασμούς μορίων (πχ στερεών σωμάτων). Τέλος, γίνεται αναφορά και στον Μεντελέγιεφ και τον περιοδικό πίνακα, με τον οποίο διόρθωσε πολλά δεδομένα της χημείας της εποχής του και κατάφερε να προβλέψει την ύπαρξη νέων στοιχείων που ανακαλύφθηκαν αργότερα.

Στην ενότητα **Χαρακτηριστικά Σωματιδίων** γίνεται αναφορά σε μερικά χαρακτηριστικά των σωματιδίων (μάζα, φορτίο, ιδιοστροφορμή, χρωματικό φορτίο) χωρίς πολλές λεπτομέρειες που ίσως μπερδεύαν τους μαθητές, ενώ προβάλλεται και ένας πίνακας για να συγκρίνουν τη μάζα και το φορτίο των στοιχειωδών σωματιδίων.

Στην ενότητα **Αλληλεπιδράσεις**, γίνεται αναφορά στις αλληλεπιδράσεις / δυνάμεις που συνθέτουν τα σωματίδια και τα σώματα καθώς και στις κινήσεις τους. Για διευκόλυνση των μαθητών χρησιμοποιείται μια αναλογία που έχει οπτικοποιηθεί κατάλληλα με δύο παγοδρόμους οι οποίοι πλησιάζουν ή απομακρύνονται μεταξύ τους πετώντας κατάλληλα ένα μπούμερανγκ και γίνεται η εισαγωγή της έννοιας των αλληλεπιδράσεων, με σύντομη περιγραφή της κάθε μιας με παραδείγματα.

Στην ενότητα **Φυσικές Καταστάσεις** οι μαθητές βλέπουν φωτογραφίες του ίδιου σώματος σε διαφορετική φυσική κατάσταση και καλούνται να σχολιάσουν αν έχουν κάτι κοινό και αν ναι, τι είναι κοινό και τι είναι αυτό που διαφοροποιεί αυτές τις μορφές ύλης. Καλούνται να απαντήσουν πώς είναι το εσωτερικό ενός στερεού, ενός υγρού και ενός αερίου με τη βοήθεια σχετικών προσομοιώσεων / οπτικοποιήσεων, ενώ παρακολουθούν και ένα σχετικό επεισόδιο από την εκπαιδευτική τηλεόραση. Έπειτα, παρακολουθούν εικόνες και βίντεο σωμάτων σε διαφορετικές καταστάσεις, πχ. βούτυρο, σοκολάτα, κερί, γυαλί, παγωτό κτλ. και καλούνται να απαντήσουν για τη φυσική κατάσταση μερικών περιπτώσεων ύλης που μάλλον δυσκολεύουν τους μαθητές (ζάχαρη, άμμος, διοξείδιο του άνθρακα, πλαστελίνη, υδράργυρος, σκόνη), βλέποντας όμως την απεικόνιση του εσωτερικού τους.

Η δομή της παρέμβασης παρουσιάζεται στους παρακάτω πίνακες 3.4 (συνοπτικότερα) και 3.5 (αναλυτικότερα):



Πίνακας 3.4: Συνοπτική Περιγραφή της Παρέμβασης

Ενότητα	Έννοιες	Στόχοι	Μάθημα
<b>ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ</b>	Ύλη και Ιδιότητες της Ύλης	Ανάδειξη των αρχικών ιδεών των μαθητών για την ύλη και τις ιδιότητες της	1 <sup>ο</sup> μάθημα (1 ώρα)
	Δομή της Ύλης, Στοιχειώδη σωματίδια, Χαρακτηριστικά τους	Κατανόηση της σωματιδιακής δομής της ύλης. Γνωριμία με τα σωματίδια του μικρόκοσμου. Γνωριμία με τα στοιχειώδη σωματίδια. Αναφορά στα χαρακτηριστικά των σωματιδίων. Αναφορά στις κινήσεις / αλληλεπιδράσεις των σωματιδίων.	2 <sup>ο</sup> μάθημα (2 ώρες)
<b>ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ / ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΗΣ ΎΛΗΣ</b>	Όγκος	Κατανόηση του όγκου ως ιδιότητας της ύλης. Ποσοτικοποίηση και μέτρηση του όγκου. Εκτίμηση του όγκου πολύ μικρών αντικειμένων. Κατανόηση της μονάδας μέτρησης του όγκου (1 cm <sup>3</sup> ). Μικροσκοπική προσέγγιση με τη βοήθεια προσομοιώσεων	3 <sup>ο</sup> μάθημα (1,5 ώρα)
	Μάζα	Κατανόηση της μάζας ως ιδιότητας της ύλης. Ποσοτικοποίηση και μέτρηση της μάζας. Εκτίμηση της μάζας πολύ μικρών αντικειμένων. Κατανόηση της μονάδας μέτρησης της μάζας (1 kg). Αναγνώριση πλεονεκτημάτων της χρήσης του ζυγού (αντί της εκτίμησης με τις αισθήσεις) για τη σύγκριση μαζών. Μικροσκοπική προσέγγιση με τη βοήθεια προσομοιώσεων	4 <sup>ο</sup> μάθημα (1,5 ώρα)
	Βάρος	Κατανόηση της έννοιας του βάρους και διαφοροποίηση του από τη μάζα και τον όγκο. Μέτρηση του βάρους. Κατανόηση της μονάδας μέτρησης του βάρους (1 N). Μέτρηση βάρους ελαφριών σωμάτων. Μικροσκοπική προσέγγιση με τη βοήθεια προσομοιώσεων	5 <sup>ο</sup> μάθημα (1 ώρα)
	Βάρος – Μάζα	Αναγνώριση και κατανόηση της διαφοράς μάζας – βάρους.	6 <sup>ο</sup> μάθημα (1 ώρα)
	Πυκνότητα	Κατανόηση της πυκνότητας ως ιδιότητας της ύλης. Ταξινόμηση σωμάτων ανάλογα με την πυκνότητά τους. Κατανόηση σχέσης μάζας, όγκου, πυκνότητας. Μικροσκοπική προσέγγιση με τη βοήθεια προσομοιώσεων	7 <sup>ο</sup> μάθημα (1 ώρα)
	Ο Αέρας	Κατανόηση αέρα ως υλικού σώματος. Υπολογισμός όγκου και μάζας αέρα. Μικροσκοπική προσέγγιση με τη βοήθεια προσομοιώσεων	8 <sup>ο</sup> μάθημα (1 ώρα)
<b>ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΟΥ ΜΙΚΡΟΚΟΣΜΟΥ</b>	Το μοντέλο του μικρόκοσμου	Κατανόηση του μοντέλου του μικρόκοσμου και των συμβάσεών του. Ερμηνεία φαινομένων του μακρόκοσμου με τη βοήθεια του μοντέλου του μικρόκοσμου (Φυσικές Καταστάσεις)	9 <sup>ο</sup> μάθημα (2 ώρες)

Πίνακας 3.5: Αναλυτική Περιγραφή της Παρέμβασης

Εν όν	Έννοιες	Στόχοι	Έργα / Δραστηριότητες	Επιστημικές Πεποιθήσεις	Μάθημα
ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ	Υλη και Ιδιότητες της Υλης	Ανάδειξη των αρχικών ιδεών των μαθητών για την ύλη και τις ιδιότητες της Υλης	<p>Αρχικά οι μαθητές καλούνται: να γράψουν μια πρόταση με τη λέξη «ύλη», να χωρίσουν τα σώματα σε υλικά και μη, να περιγράψουν τις ιδιότητες της ύλης</p> <p>Στη συνέχεια, προκειμένου να ωθήσουμε τους μαθητές να σκεφτούν περισσότερο για το θέμα και να προκαλέσουμε μια ανισορροπία, οι μαθητές καλούνται να σκεφτούν κάτι που να είναι ύλη αλλά να μην μπορούμε να το δούμε ή να το ακουμπήσουμε ή να μην καταλαμβάνει χώρο ή να μην έχει βάρος.</p> <p>Τέλος, τίθεται το ερώτημα και ο προβληματισμός για το αν ο αέρας, ο καπνός, η θερμότητα, το φως και άλλες αινιγματικές περιπτώσεις είναι ύλη ή όχι.</p> <p><i>Φύλλο Εργασίας 1: Υλη και ιδιότητες της ύλης</i></p>	<p>Προβληματισμός των μαθητών σχετικά με την ύλη, αν μπορεί κάτι που είναι ύλη να μην είναι αντιληπτό με τις αισθήσεις μας, προκειμένου να αναδειχθούν οι ιδέες τους ότι τα πράγματα είναι όπως φαίνονται και γίνονται αντιληπτά με τις αισθήσεις μας.</p>	1 <sup>ο</sup> μάθημα (1 ώρα)
	Δομή της Υλης, Στοιχειώδη σωματίδια, Χαρακτηριστικά τους	Κατανόηση της σωματιδιακής δομής της ύλης. Γνωριμία με τα σωματίδια του μικρόκοσμου. Γνωριμία με τα στοιχειώδη σωματίδια. Αναφορά στα χαρακτηριστικά των σωματιδίων. Αναφορά στις κινήσεις / αλληλεπιδράσεις των σωματιδίων.	<p>Αρχικά οι μαθητές βλέπουν φωτογραφίες διαφόρων υλικών σωμάτων και σχολιάζουν τις διαφορές στη μορφή τους (σχήμα, χρώμα κτλ)</p> <p>Τίθεται το ερώτημα αν υπάρχει κάτι κοινό παρά τις φαινομενικές διαφορές των σωμάτων.</p> <p>Στη συνέχεια βλέπουν φωτογραφίες / βίντεο αντικειμένων που από μακριά φαίνονται ενιαία (πχ σμήνος πουλιών, ομάδα ψαριών) αλλά όταν πλησιάσουμε περισσότερο φαίνεται ότι αποτελούνται από πολλά μικρότερα. Τίθεται ο προβληματισμός μήπως και άλλα πράγματα γύρω μας δεν είναι όπως φαίνονται αρχικά.</p> <p>Αντίστοιχα, βλέπουν φωτογραφίες αντικειμένων που φαίνονται συνεχή (κουτάκι αλουμινίου, γραφίτης, πάγος, βακτήρια, αίμα, τρίχα κτλ) αλλά με διαδοχικές μεγεθύνσεις τους με τη βοήθεια ηλεκτρονικών μικροσκοπίων ή προσομοιώσεων απεικονίζονται μικρότερες δομές.</p> <p>Καλούνται να παίξουν και ένα παιχνίδι μαντεύοντας τι δείχνουν οι φωτογραφίες που έχουν τραβηχτεί με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο.</p> <p>Στη συνέχεια, βλέπουν κι άλλες εικόνες ή βίντεο από μικροσκόπια που δείχνουν το εσωτερικό σωμάτων όπως του γαιουρτιού, του κρασιού, του αίματος, μιας ανθρώπινης τρίχας, του ανθρώπινου δέρματος και άλλων μερών του ανθρώπινου σώματος.</p> <p>Τίθεται το ερώτημα πώς μπορούμε να αντιληφθούμε τα μόρια αφού δεν είναι ορατά. Για διευκόλυνση, τίθεται το ερώτημα γιατί μπορούμε μια σταγόνα άρωμα που ρίχνουμε στο θρανίο να την αντιληφθούμε ενώ δεν τη βλέπουμε.</p> <p>Με τη μορφή παρουσίασης και quiz τίθεται το ερώτημα αν μπορούμε να δούμε τα πάντα με τα μάτια μας ή αν υπάρχουν πράγματα ή περιπτώσεις που χρειάζεται να χρησιμοποιήσουμε ειδικά εργαλεία. Γίνεται αναφορά με οπτικά παραδείγματα σε ειδικά γυαλιά που μας βοηθούν να δούμε αντικείμενα στο σκοτάδι, στις θερμότερες που μας δείχνουν τη θερμοκρασία των σωμάτων, στις ακτινογραφίες ή τα υπερηχογραφήματα που μας δείχνουν το εσωτερικό του σώματός μας, στα καρδιογραφήματα που μας δείχνουν τη λειτουργία της καρδιάς, τα ραντάρ που εντοπίζουν αντικείμενα σε μεγάλες αποστάσεις, τα κιάλια, τα τηλεσκόπια, τα οπτικά και ηλεκτρονικά μικροσκόπια και τις προσομοιώσεις.</p> <p>Στη συνέχεια γίνεται αναφορά στα σωματίδια που συνθέτουν τον μικρόκοσμο και στα στοιχειώδη σωματίδια ύλης.</p> <p>Χρησιμοποιείται η αναλογία με τα τουβλάκια lego: βλέπουν σύνθετες κατασκευές με τουβλάκια και συζητούν για τη σύνθεσή τους φτάνοντας στο μικρότερο δυνατό τουβλάκι από συνδυασμούς του οποίου προκύπτουν συνθετότεροι σχηματισμοί.</p>	<p>Προσπάθεια εισαγωγής των σωματιδίων της ύλης, που έρχεται σε αντίθεση με τη θεωρία των μαθητών για την ύλη (συνεχής, στατική) και με την επιστημολογία τους, ότι δηλαδή τα πράγματα είναι όπως φαίνονται να είναι.</p> <p>Παραδείγματα περιπτώσεων ύλης που φαίνονται διαφορετικά από μακριά και διαφορετικά από κοντά ή μετά από διαδοχικές μεγεθύνσεις με μικροσκόπιο.</p> <p>Τότε τίθεται το ερώτημα «μήπως τελικά τα πράγματα δεν είναι πάντοτε όπως φαίνονται;» και προκύπτει η ανάγκη για περαιώρο διερεύνηση και αναζήτηση ερμηνειών για όσα παρατηρούμε γύρω μας.</p> <p>Επίσης, με αφορμή τη σχετική παρουσίαση, γίνεται συζήτηση για τους άλλους τρόπους που υπάρχουν για να αντιληφθούμε την ύλη, εκτός από την όραση, μέσω ειδικών οργάνων και εργαλείων και για το κατά πόσο μπορούμε να βασιστούμε μόνο στις αισθήσεις μας.</p> <p>Αναφορά στον Μεντελέγιεφ και τον περιοδικό πίνακα, με τον οποίο διόρθωσε πολλά δεδομένα της χημείας της εποχής του και κατάφερε να προβλέψει την ύπαρξη νέων στοιχείων που ανακαλύφθηκαν αργότερα.</p> <p>Σχολιασμός της πρόβλεψης και της ανάγκης πειραματικής επιβεβαίωσης.</p> <p>Αναφορά από την ιστορία των επιστημών στον Δημόκριτο και τις απόψεις του. Οι μαθητές καλούνται να εντοπίσουν στο κείμενο με ποιον τρόπο συμπληρώθηκε η γνώση μας για τη δομή της ύλης με την πάροδο των χρόνων.</p> <p>Γίνεται συζήτηση σχετικά με το τι κάνουν οι επιστήμονες για να βρουν απαντήσεις στις ερωτήσεις τους.</p> <p>Οι μαθητές καλούνται με βάση την τελευταία φράση του κειμένου «Σήμερα θεωρούμε ...» να σχολιάσουν αν θα μπορούσε κάποια στιγμή να αλλάξει αυτό που πιστεύουμε σήμερα και αν μπορούν οι επιστήμονες να αλλάξουν τη θεωρία τους. Σχολιασμός του αβέβαιου χαρακτήρα της γνώσης και της δυνατότητας για αλλαγή θεωρίας.</p>	2 <sup>ο</sup> μάθημα (2 ώρες)

			<p>Γίνεται αναφορά στα σωματίδια της ύλης και στα στοιχειώδη σωματίδια που συνθέτουν τον κόσμο γύρω μας. Για να γίνει πιο κατανοητό, γίνεται αναφορά στα 24 γράμματα του αλφαβήτου μας που συνθέτουν ένα τόσο πλούσιο λεξιλόγιο και στις 7 νότες από τις οποίες προκύπτει η μαγευτική μουσική πολυμορφία. Προβάλλονται κατάλληλες προσομοιώσεις που δείχνουν τα quarks και το σχηματισμό πυρήνων, ατόμων, μορίων και συνδυασμούς μορίων (πχ στερεών σωμάτων).</p> <p>Τέλος, μελετώνται μερικά χαρακτηριστικά των σωματιδίων και οι αλληλεπιδράσεις / δυνάμεις που συνθέτουν τα σωματίδια και τα σώματα καθώς και οι κινήσεις τους.</p> <p><i>Φύλλο Εργασίας 2: Δομή της ύλης (σωματίδια, ιδιότητες, αλληλεπιδράσεις)</i></p> <p><i>Λογισμικό: Δομή ύλης, Σωματίδια, Χαρακτηριστικά Σωματιδίων</i></p>		
<p><b>ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ / ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΗΣ ΥΛΗΣ</b></p>	<p>Όγκος</p>	<p>Κατανόηση του όγκου ως ιδιότητας της ύλης. Ποσοτικοποίηση και μέτρηση του όγκου. Εκτίμηση του όγκου πολύ μικρών αντικειμένων. Κατανόηση της μονάδας μέτρησης του όγκου (1 cm<sup>3</sup>). Μικροσκοπική προσέγγιση με τη βοήθεια προσομοιώσεων</p>	<p>Αρχικά οι μαθητές ασχολούνται με την έννοια του όγκου και μελετούν πώς μπορεί να ποσοτικοποιηθεί και να μετρηθεί, για να χρησιμοποιήσουν στη συνέχεια αυτήν την ποσοτικοποίηση για την εκτίμηση του χώρου που καταλαμβάνουν τα πολύ μικρά αντικείμενα.</p> <p>Καταβάλλεται προσπάθεια διαπιστώσουν την αδυναμία ορθής εκτίμησης με τη βοήθεια των αισθήσεων και να παρακινήθουν να κάνουν μετρήσεις του χώρου που καταλαμβάνουν στερεά και υγρά σώματα.</p> <p>Καλούνται να εκτιμήσουν την ποσότητα του υγρού που περιέχεται σε 4 διαφορετικού σχήματος δοχεία (και τα 4 δοχεία έχουν ίδια ποσότητα αλλά λόγω του σχήματός τους αυτό μοιάζει αδύνατο) κι έτσι προκύπτει η ανάγκη μέτρησης και σύγκρισης της ποσότητας του υγρού με κάποιον αντικειμενικότερο τρόπο.</p> <p>Οδηγούνται στον τρόπο μέτρησης του όγκου σωμάτων (και ακανόνιστου σχήματος) με το ογκομετρικό δοχείο και ασκούνται στον σωστό τρόπο μέτρησης.</p> <p>Στην συνέχεια καλούνται να συγκρίνουν τον όγκο μερικών ορθογώνιων παραλληλεπίπεδων αντικειμένων διαφορετικών διαστάσεων. Αυτό το πρόβλημα θέτει μια πρόκληση, καθώς δεν είναι δυνατό να συγκριθεί ο όγκος των σωμάτων μόνο κοιτώντας τα. Μετά τη διατύπωση των απόψεων των μαθητών προκύπτει το ερώτημα πώς μπορούμε να μετρήσουμε τον όγκο τους χρησιμοποιώντας μια σταθερή μονάδα όγκου και στη συνέχεια καλούνται να υπολογίσουν τον όγκο των σωμάτων χρησιμοποιώντας πολλούς μικρούς κύβους (όγκου 1cm<sup>3</sup> ο καθένας). Αυτή η δραστηριότητα τους εισάγει την μονάδα μέτρησης του όγκου και παράλληλα τονίζει την προσθετική δομή της μέτρησης του όγκου (ο όγκος ολόκληρου του αντικείμενου είναι ο αριθμός των μονάδων όγκου που αποτελούν το αντικείμενο).</p> <p>Στη συνέχεια ασχολούνται με μια σειρά προβλημάτων όπως να υπολογίσουν τον όγκο ακανόνιστων αντικειμένων ή να χρησιμοποιήσουν μαθηματική λογική για να εκτιμήσουν τον όγκο σωμάτων (πχ. μιας σταγόνας νερού) που είναι πολύ μικρά για να μετρηθούν απευθείας.</p> <p>Έπειτα τους παρουσιάζονται μερικές οπτικές πλάνες / οφθαλμαπάτες (κυρίως γεωμετρικές και διπλής μορφής) και γίνεται συζήτηση για το κατά πόσο μπορούμε να βασιστούμε μόνο σε αυτό που βλέπουμε ή μήπως είναι απαραίτητη η μέτρηση σε μερικές περιπτώσεις και αν κάτι που βλέπουμε με έναν τρόπο μπορεί να ειπωθεί και αλλιώς.</p> <p>Ακολουθεί η μικροσκοπική προσέγγιση με τη βοήθεια προσομοιώσεων και οπτικοποιήσεων.</p> <p><i>Φύλλο Εργασίας 3: Ιδιότητες της ύλης – Όγκος</i></p> <p><i>Λογισμικό: (μακρο)Ιδιότητες- Όγκος</i></p>	<p>Εισαγωγή της έννοιας και την αξία της μέτρησης έναντι της εκτίμησης με τις αισθήσεις και άσκηση των μαθητών στη λήψη μετρήσεων. Καταβάλλεται προσπάθεια να διαπιστώσουν οι μαθητές ότι δεν μπορούμε πάντα να βασιστούμε στις αισθήσεις μας.</p> <p>Χρήση μερικών παραδειγμάτων από γνωστές οφθαλμαπάτες για ενίσχυση της παραπάνω άποψης, ότι οι αισθήσεις μας πολλές φορές είναι ανεπαρκείς ή και παραπλανητικές.</p> <p>Τίθεται η ερώτηση «μπορούμε να στηριζόμαστε μόνο στις αισθήσεις μας για να υπολογίσουμε τις διαστάσεις των σωμάτων και να τα συγκρίνουμε;»</p> <p>Συνειδητοποίηση της αναγκαιότητας για πειραματική απόδειξη των ισχυρισμών μας προκειμένου να γίνουν αποδεκτοί (δεν αρκεί να υποστηρίξουν ότι το ένα αντικείμενο έχει μεγαλύτερο όγκο, γιατί έτσι φαίνεται, πρέπει και αν το αποδείξουν, μετρώντας το με κάποιον τρόπο).</p> <p>Άσκηση στη μέτρηση του όγκου πολύ μικρών σωμάτων, όπως η σταγόνα του νερού, προκειμένου να διαπιστώσουν ότι και πολύ μικρά σώματα έχουν όγκο (άρα αποτελούν ύλη) και ότι ο όγκος είναι ιδιότητα όλων των υλικών σωμάτων.</p> <p>Συνειδητοποίηση της αναγκαιότητας και χρησιμότητας της μέτρησης καθώς και του ότι καμιά φορά αυτό που βλέπουμε μπορεί να είναι παραπλανητικό.</p>	<p>3<sup>ο</sup> μάθημα (1,5 ώρα)</p>

	Μάζα	Κατανόηση της μάζας ως ιδιότητας της ύλης. Ποσοτικοποίηση και μέτρηση της μάζας. Εκτίμηση της μάζας πολύ μικρών αντικειμένων. Κατανόηση της μονάδας μέτρησης της μάζας (1 kg). Αναγνώριση πλεονεκτημάτων της χρήσης του ζυγού (αντί της εκτίμησης με τις αισθήσεις) για τη σύγκριση μαζών. Μικροσκοπική προσέγγιση με τη βοήθεια προσομοιώσεων	Εισαγωγή της έννοιας της μάζας και διαφοροποίησή της από τον όγκο (συγκρίνοντας αντικείμενα με ίδια μάζα αλλά διαφορετικό όγκο και το αντίστροφο). Δίνονται στους μαθητές μερικά αντικείμενα από διαφορετικά υλικά και καλούνται να συγκρίνουν τη μάζα τους. Με τη χρήση ζυγών κάνουν μετρήσεις, συγκρίνουν τα αποτελέσματά τους και συζητούν τα πλεονεκτήματα της χρήσης του ζυγού (αντί της εκτίμησης με τις αισθήσεις) για τη σύγκριση μαζών. Μετρούν τη μάζα ενός κομματιού πλαστελίνης και την ξαναμετρούν αφού της αλλάξουν σχήμα. Γίνεται η εισαγωγή του γραμμαρίου ως μονάδας μέτρησης της μάζας και η διαδικασία υπολογισμού της μάζας των αντικειμένων τονίζει την προσθετική δομή της μέτρησης της μάζας. Οι μαθητές καλούνται να υπολογίσουν τη μάζα μικρών, ελαφριών αντικειμένων όπως μιας φακής, και γίνεται συζήτηση σχετικά με την ευαισθησία διαφόρων ζυγαριών. Οι μαθητές καλούνται να απαντήσουν τι θα βλέπαμε στο εσωτερικό ενός κόκκου ρυζιού. Με τη βοήθεια σχετικού λογισμικού εξασκούνται στη μέτρηση της μάζας. Με τη βοήθεια προσομοιώσεων και οπτικοποιήσεων γίνεται η μικροσκοπική προσέγγιση της μάζας. <i>Φύλλο Εργασίας 4: Ιδιότητες της ύλης – μάζα</i> <i>Λογισμικό: (μακρο)Ιδιότητες- Μάζα, Βίντεο: «Μάζα»</i>	Αναγνώριση της αξίας της μέτρησης έναντι της εκτίμησης με τις αισθήσεις. Καταβάλλεται προσπάθεια να διαπιστώσουν οι μαθητές ότι δεν μπορούμε πάντα να βασιστούμε στις αισθήσεις μας. Άσκηση στη μέτρηση της μάζας πολύ μικρών σωμάτων, όπως ο κόκκος ρυζιού ή η φακή, προκειμένου να διαπιστώσουν ότι και πολύ μικρά σώματα έχουν μάζα (άρα ύλη). Οι μαθητές διατυπώνουν υποθέσεις σχετικά με τη μάζα της πλαστελίνης όταν της αλλάξουν σχήμα και καλούνται να ελέγξουν τις υποθέσεις τους με πείραμα, αντιλαμβανόμενοι την αναγκαιότητα της πειραματικής απόδειξης. Οι μαθητές συζητούν σχετικά με το πώς φαίνεται εξωτερικά ένας κόκκος ρυζιού και πώς είναι στο εσωτερικό του, βλέποντας κατάλληλες προσομοιώσεις, για να διαπιστώσουν ότι τα πράγματα δεν είναι πάντα όπως φαίνονται. Ιστορικά στοιχεία για την ανάγκη μέτρησης της μάζας αντικειμένων με αντικειμενικό τρόπο και την καθιέρωση του προτύπου μέτρησής της.	4 <sup>ο</sup> μάθημα (1,5 ώρα)
	Βάρος	Κατανόηση της έννοιας του βάρους και διαφοροποίησή του από τη μάζα και τον όγκο. Μέτρηση του βάρους. Κατανόηση της μονάδας μέτρησης του βάρους (1 N). Μέτρηση βάρους ελαφριών σωμάτων. Μικροσκοπική προσέγγιση με τη βοήθεια προσομοιώσεων	Εισαγωγή της έννοιας του βάρους και διαφοροποίησή της από την έννοια της μάζας και του όγκου. Καλούνται να υπολογίσουν το βάρος διαφόρων αντικειμένων με τη χρήση του δυναμόμετρου και γίνεται η εισαγωγή της μονάδας μέτρησης του βάρους (1 N). Καλούνται να υπολογίσουν το βάρος ελαφριών σωμάτων, όπως ενός κόκκου ρυζιού. Με μια ηλεκτρονική ζυγαριά εύρους μέτρησης 0.1-1000gr οι μαθητές μετρούν μόνοι τους το βάρος διαφόρων ελαφριών αντικειμένων (πχ. κομμάτι χαρτιού, φακές, συνδετήρας, ξύσμα μολυβιού κτλ) και διαπιστώνουν ότι η ζυγαριά δείχνει ένδειξη και για αυτά τα αντικείμενα που μας φαίνονται πολύ ελαφριά ή χωρίς καθόλου βάρος. Παρακολουθούν βίντεο με σκηνές από το διάστημα όπου παρατηρούν τη συμπεριφορά των σωμάτων σε συνθήκες έλλειψης βαρύτητας και εξασκούνται παίζοντας σχετικό παιχνίδι με την κίνηση διαστημολοιού. Γίνεται αναφορά στον Νεύτωνα και στο έργο του για τη διατύπωση του νόμου για τη βαρύτητα. Επίσης, παρακολουθούν σκηνές από γνωστά καρτούν που δείχνουν να αφηφούν τους νόμους της βαρύτητας και ακολουθεί συζήτηση για το κατά πόσο μπορεί αυτό να ισχύει ή όχι. <i>Φύλλο Εργασίας 5: Ιδιότητες της ύλης – βάρος</i> <i>Λογισμικό: (μακρο)Ιδιότητες - Βάρος, Επιστήμη, Βίντεο: «Διάστημα»</i>	Αναγνώριση της αξίας της μέτρησης έναντι της εκτίμησης με τις αισθήσεις. Καταβάλλεται προσπάθεια να διαπιστώσουν οι μαθητές ότι δεν μπορούμε πάντα να βασιστούμε στις αισθήσεις μας. Άσκηση στη μέτρηση του βάρους πολύ μικρών σωμάτων, όπως ο κόκκος ρυζιού προκειμένου να διαπιστώσουν ότι και πολύ μικρά σώματα έχουν βάρος (άρα αποτελούν ύλη) και ότι το βάρος είναι ιδιότητα όλων των σωμάτων. Αναγνώριση του ότι δεν μπορούμε να βασιστούμε στις αισθήσεις μας για την ακριβή εκτίμηση του βάρους των αντικειμένων. Σχολιασμός της διαφορετικής συμπεριφοράς των σωμάτων σε διαφορετικές συνθήκες πχ. στο διάστημα και αναζήτηση ερμηνείας της (δηλαδή δεν αρκεί η παρατήρηση ότι εδώ τα σώματα συμπεριφέρονται έτσι και στο διάστημα αλλιώς, χρειάζεται να το εξηγήσουμε βάσει της ιδιότητάς τους του βάρους, δηλαδή της δύναμης που ασκείται από τη γη). Στοιχεία από την ιστορία των επιστημών για τον Νεύτωνα και το έργο του. Οι μαθητές καλούνται να σχολιάσουν, με βάση το κείμενο τον τρόπο που δουλεύουν οι επιστήμονες και πώς αποφασίζουν ποιο πείραμα θα κάνουν.	5 <sup>ο</sup> μάθημα (1 ώρα)
	Βάρος – Μάζα	Αναγνώριση και κατανόηση της διαφοράς μάζας – βάρους.	Γίνεται προσπάθεια διαφοροποίησης των εννοιών βάρους και μάζας και παρατίθεται και σχετικός πίνακας που τονίζει τις διαφορές τους. Οι μαθητές καλούνται να απαντήσουν αν αλλάζει το βάρος ή η μάζα ενός σώματος αν τα μετρήσουμε στην κορυφή ενός βουνού ή στη σελήνη και γιατί. Παρακολουθούν βίντεο και σχετικό πρόγραμμα που επισημαίνει τις διαφορές των εννοιών.	Οι μαθητές καλούνται να αιτιολογήσουν τις απόψεις τους σχετικά με το αν αλλάζει το βάρος ή η μάζα ενός σώματος στην κορυφή ενός βουνού ή στη σελήνη, συνειδητοποιώντας έτσι την αναγκαιότητα ερμηνείας των φαινομένων με αναφορά στις σχετικές θεωρίες. Αναφορά από την ιστορία των επιστημών στον Λαβουαζιέ και την πειραματική απόδειξη της διατήρησης της ύλης. Οι μαθητές	6 <sup>ο</sup> μάθημα (1 ώρα)

		<p>Με τη βοήθεια σχετικών προγραμμάτων υπολογίζουν το βάρος που θα είχαν σε διάφορους πλανήτες ή το βάρος ενός αστροναύτη σε διάφορους πλανήτες.</p> <p><i>Φύλλο Εργασίας 6: Βάρος - μάζα</i></p> <p><i>Λογισμικό: (μακρο)Ιδιότητες – Μάζα vs Βάρος, Βίντεο: «Βάρος-μάζα», Πρόγραμμα: «Υπολογισμός βάρους»</i></p>	<p>καλούνται να σχολιάσουν τη φράση «ήταν ο πρώτος που κατάφερε να επιβεβαιώσει πειραματικά αυτή την ιδέα και να τη μετατρέψει από φιλοσοφική διαίσθηση σε επιστημονική αλήθεια». Έτσι, γίνεται η διάκριση ιδεών ή υποθέσεων και θεωριών και τονίζεται η αναγκαιότητα πειραματικής επιβεβαίωσης μια υπόθεσης προκειμένου να αναγορευτεί σε θεωρία.</p> <p>Αναφορά από την ιστορία των επιστημών στον Γαλιλαίο και στους πειραματισμούς του. Οι μαθητές, με αφορμή το κείμενο, καλούνται να σχολιάσουν πώς ελέγχουν οι επιστήμονες τις ιδέες τους και τι συμβαίνει όταν τα αποτελέσματα ενός πειράματος δεν είναι όπως τα περίμενε. Έτσι, σχολιάζεται η σύνδεση ιδεών και πειραματικού ελέγχου τους, αλλά και η πιθανότητα αλλαγής ιδεών ή και θεωρίας όταν τα πειραματικά δεδομένα είναι διαφορετικά από τα αναμενόμενα.</p>	
Πυκνότητα	<p>Κατανόηση της πυκνότητας ως ιδιότητας της ύλης. Ταξινόμηση σωμάτων ανάλογα με την πυκνότητά τους. Κατανόηση σχέσης μάζας, όγκου, πυκνότητας. Μικροσκοπική προσέγγιση με τη βοήθεια προσομοιώσεων</p>	<p>Εισαγωγή της έννοιας της πυκνότητας ως ιδιότητας της ύλης.</p> <p>Οι μαθητές καλούνται να ταξινομήσουν σώματα ανάλογα με την πυκνότητά τους και με κατάλληλα έργα να κατανοήσουν τη σχέση μάζας - όγκου – πυκνότητας και να αναφέρουν τον ορισμό καθεμιάς.</p> <p>Καλούνται να απαντήσουν ερωτήσεις όπως «Μπορούν δύο σώματα να έχουν την ίδια μάζα αλλά διαφορετικό όγκο;» ή «Μπορούν δύο σώματα να έχουν τον ίδιο όγκο αλλά διαφορετική μάζα;» και να κάνουν συγκρίσεις τέτοιων σωμάτων.</p> <p>Καλούνται να απαντήσουν τι θα έβλεπαν στο εσωτερικό δύο κύβων ίδιου όγκου αλλά διαφορετικής μάζας.</p> <p>Βλέπουν προσομοιώσεις και οπτικοποιήσεις του μικρόκοσμου που απεικονίζουν το εσωτερικό των σωμάτων ίδιας μάζας και διαφορετικού όγκου ή ίδιου όγκου και διαφορετικής μάζας ενώ δοκιμάζουν σε σχετικό πρόγραμμα την αυξομείωση των διαστάσεων ενός σώματος συγκρινόμενο σε ζυγαριά με άλλο με ταυτόχρονη απεικόνιση του εσωτερικού των σωμάτων, προκειμένου να αντιληφθούν οι μαθητές την έννοια της πυκνότητας και τη σχέση της με τον όγκο και τη μάζα των σωμάτων.</p> <p><i>Φύλλο Εργασίας 7: Ιδιότητες της ύλης - πυκνότητα</i></p> <p><i>Λογισμικό: (μακρο)Ιδιότητες- Πυκνότητα</i></p>	<p>Οι μαθητές έρχονται αντιμέτωποι με το ερώτημα αν τα κυβάρια ίδιου όγκου που βλέπουν και είναι από διαφορετικά υλικά έχουν ίδια μάζα ή όχι και καλούνται να απαντήσουν πώς θα έλυνε το πρόβλημα αυτό ένας επιστήμονας</p> <p>Με αφορμή μια εικόνα που καλούνται να σχολιάσουν οι μαθητές σχολιάζουν τη διαφορά της παρατήρησης από το συμπέρασμα.</p>	7 <sup>ο</sup> μάθημα (1 ώρα)
Ο Αέρας	<p>Κατανόηση αέρα ως υλικού σώματος. Υπολογισμός όγκου και μάζας αέρα. Μικροσκοπική προσέγγιση με τη βοήθεια προσομοιώσεων</p>	<p>Η ενότητα αυτή κλείνει με την έννοια του αέρα ως υλικού σώματος.</p> <p>Επιστρέφουμε στο ερώτημα που είχε τεθεί στην πρώτη ενότητα, αν δηλαδή ο αέρας είναι ύλη και οι μαθητές, αφού στις προηγούμενες ενότητες έχουν καταλήξει στις βασικές ιδιότητες της ύλης, καλούνται να προτείνουν τρόπους για να διαπιστώσουμε αν τελικά ο αέρας είναι ύλη ή όχι.</p> <p>Για να δείξουμε ότι ο αέρας έχει μετρήσιμη μάζα δείχνουμε ότι η ζυγαριά γέρνει προς τη μεριά ενός μπαλονιού γεμάτου σε σχέση με ένα μπαλόνι άδειο, ενώ για να δείξουμε ότι ο αέρας καταλαμβάνει χώρο ζητάμε από τους μαθητές να δοκιμάσουν να τοποθετήσουν ανάποδα σε μια λεκάνη με νερό ένα ποτήρι στον πάτο του οποίου έχουμε κολλήσει ένα κομμάτι βαμβάκι και να παρατηρήσουν ότι το βαμβάκι παραμένει στεγνό.</p> <p>Με τις κατάλληλες προσομοιώσεις παρατηρούν ότι και ο αέρας αποτελείται από σωματίδια.</p> <p>Στην ενότητα αυτή οι μαθητές καλούνται να συγκρίνουν τις αρχικές απόψεις τους με τις τελικές και να σχολιάσουν τι ήταν αυτό που τους οδήγησε στην αναθεώρηση των απόψεών τους.</p> <p><i>Φύλλο Εργασίας 8: Ύλη και ιδιότητες της ύλης - ο αέρας</i></p> <p><i>Λογισμικό: (μακρο)Ιδιότητες</i></p>	<p>Οι μαθητές καλούνται να σχολιάσουν αν ένας επιστήμονας μπορεί να αλλάξει τις ιδέες του.</p> <p>Οι μαθητές καλούνται να πάρουν μέρος σε μία διαφωνία απόψεων σχετικά με το αν ο αέρας είναι ύλη ή όχι και να αιτιολογήσουν την άποψή τους. Προκύπτει η ανάγκη αιτιολόγησης των απόψεων και πειραματικής τεκμηρίωσης.</p> <p>Καλούνται να βρουν τρόπο να διαπιστώσουμε αν ο αέρας είναι ύλη. Αναδεικνύεται η αναγκαιότητα πειραματικής επιβεβαίωσης των υποθέσεων μας.</p> <p>Καλούνται να σχολιάσουν πώς αποφασίζουμε ποιος έχει δίκιο όταν δύο επιστήμονες διαφωνούν. Συνειδητοποιούν τη διαφορά υπόθεσης – θεωρίας και ότι οι θεωρίες πρέπει να επιβεβαιώνονται πειραματικά.</p> <p>Τέλος, καλούνται να συγκρίνουν τις αρχικές απόψεις τους για το αν ο αέρας είναι ύλη με τις τελικές και να σχολιάσουν τι τους έπεισε να τις αλλάξουν. Αναδεικνύεται έτσι η αναγκαιότητα του πειραματισμού και η δυνατότητα αλλαγής των απόψεων / γνώσεων μας με τον καιρό όταν νέα δεδομένα προκύπτουν.</p>	8 <sup>ο</sup> μάθημα (1 ώρα)

<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΟΥ ΜΙΚΡΟΚΟΣΜΟΥ</p>	<p>Το μοντέλο του μικρό-κοσμου</p>	<p>Κατανόηση του μοντέλου του μικρόκοσμου και των συμβάσεών του. Ερμηνεία φαινομένων του μακρόκοσμου με τη βοήθεια του μοντέλου του μικρόκοσμου (Φυσικές Καταστάσεις)</p>	<p>Οι μαθητές βλέπουν φωτογραφίες του ίδιου σώματος σε διαφορετική φυσική κατάσταση και καλούνται να σχολιάσουν αν έχουν κάτι κοινό. Καλούνται να απαντήσουν πώς είναι το εσωτερικό ενός στερεού, ενός υγρού και ενός αερίου. Εκτελούν πείραμα μετατροπής του πάγου σε νερό, του νερού σε υδρατμό και του υδρατμού σε νερό και καλούνται να σχολιάσουν πώς διαπιστώνουμε ότι είναι το ίδιο σώμα κάθε φορά, για να συνειδητοποιήσουν ότι η ύλη δεν χάνεται αλλά αλλάζει μορφή. Γίνεται πιο αναλυτική περιγραφή του μοντέλου του μικρόκοσμου με τη βοήθεια δυναμικών προσομοιώσεων / οπτικοποιήσεων και κατάλληλου λογισμικού και γίνεται προσπάθεια να χρησιμοποιηθεί το μοντέλο αυτό για την περιγραφή και ερμηνεία φαινομένων του μακρόκοσμου και να αναδειχθεί με αυτόν τον τρόπο ο ενοποιημένος χαρακτήρας του φυσικού κόσμου και της επιστήμης που τον περιγράφει και τον ερμηνεύει. Γίνεται αναφορά στα μοντέλα και στις συμβάσεις τους. Με βάση τα μοντέλα του μικρόκοσμου περιγράφουν τις τρεις καταστάσεις της ύλης και σχολιάζουν τις διαφορές του μοντέλου από την πραγματικότητα. <i>Φύλλο Εργασίας 9: Φυσικές Καταστάσεις</i> <i>Λογισμικό: (μακρο)Ιδιότητες Μοντέλα., Εκπαιδευτική τηλεόραση</i></p>	<p>Οι μαθητές κάνουν τη διάκριση ανάμεσα στο πώς φαίνονται τα υλικά σώματα (συνεχή) και πώς είναι στην πραγματικότητα (αποτελούμενα από σωματίδια). Ανάδειξη της σημασίας του πειραματισμού για την απόδειξη ότι είναι το ίδιο σώμα σε διαφορετική κατάσταση και ότι η ύλη δεν εξαφανίζεται, απλώς αλλάζει μορφή. Γίνεται αναφορά στα μοντέλα και τις συμβάσεις τους, προκειμένου να αντιληφθούν οι μαθητές ότι δεν είναι μικρογραφίες της πραγματικότητας αλλά εργαλεία συλλογισμού που αποδίδουν σχέσεις. Οι μαθητές καλούνται να απαντήσουν αν οι επιστήμονες μπορούν να πάνε να χρησιμοποιούν ένα επιστημονικό μοντέλο γιατί δεν το θεωρούν πια σωστό.</p>	<p>9<sup>ο</sup> μάθημα (2 ώρες)</p>
---	------------------------------------	---	---	--	--

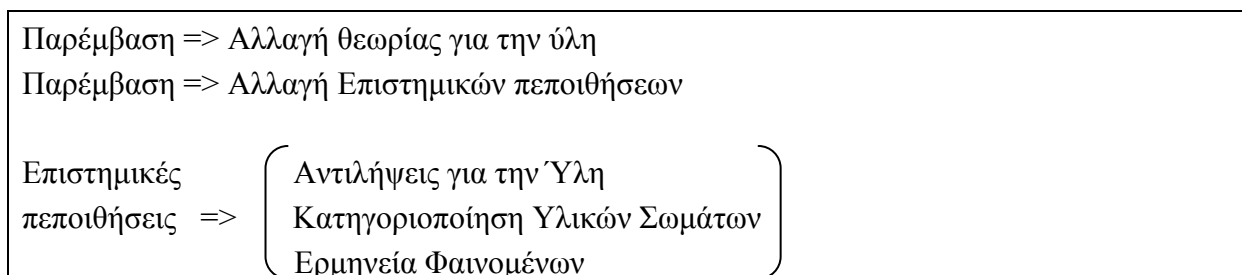
## ΥΠΟΘΕΣΕΙΣ

Στόχος της παρούσας έρευνας είναι ο σχεδιασμός και η εφαρμογή μιας διδακτικής παρέμβασης που σκοπό έχει να προωθήσει τη διαδικασία της εννοιολογικής αλλαγής, σχετικά με την κατανόηση μερικών βασικών εννοιών της σωματιδιακής θεωρίας για την ύλη. Προσπαθεί δηλαδή να βοηθήσει τους μαθητές να μεταβούν από τις βασιζόμενες στις αισθήσεις έννοιες που χαρακτηρίζουν την αφελή θεωρία τους για την ύλη στις πιο αφηρημένες έννοιες που χαρακτηρίζουν την επιστημονική σωματιδιακή θεωρία, λαμβάνοντας, βέβαια, υπόψη και τις επιστημικές τους πεποιθήσεις. Υποθέτουμε ότι η παρέμβαση αυτή θα βελτιώσει τη θεωρία των μαθητών για την ύλη, καθώς και τις επιστημικές πεποιθήσεις τους.

Περιμένουμε ότι η διδακτική παρέμβαση θα προωθήσει τη διαδικασία της εννοιολογικής αλλαγής βοηθώντας τους μαθητές να μεταβούν από την αφελή θεωρία για την ύλη, όπου η ύλη είναι συνεχής και στατική, γίνεται αντιληπτή με τις αισθήσεις και παύει να υπάρχει όταν δεν φαίνεται και που τα υλικά ταυτοποιούνται με τις αισθήσεις ενώ τα υλικά σώματα κατηγοριοποιούνται βάσει των μακροσκοπικών τους ιδιοτήτων, σε μια θεωρία για την ύλη που προσεγγίζει περισσότερο την επιστημονική σωματιδιακή θεωρία για την ύλη, όπου η ύλη είναι στοιχειώδες συστατικό που διατηρείται, έχει βάρος και καταλαμβάνει χώρο και αποτελείται από σωματίδια μη ορατά σε εμάς τα οποία κινούνται συνεχώς, τα υλικά χαρακτηρίζονται από αντικειμενικές και μετρήσιμες χαρακτηριστικές ιδιότητες και όχι από τις μακροσκοπικές αντιληπτές ιδιότητες και τα υλικά σώματα κατηγοριοποιούνται βάσει της μοριακής τους δομής. Για το λόγο αυτό περιμένουμε ότι μετά την παρέμβαση οι μαθητές θα παρουσιάσουν καλύτερη επίδοση και στην ερμηνεία των φυσικών φαινομένων και ότι αυτή η βελτίωση συσχετίζεται με την αλλαγή της θεωρίας των μαθητών για την ύλη. Οι μαθητές που έχουν διαμορφώσει μια αφελή θεωρία για την ύλη, περιμένουμε να αντιμετωπίσουν μεγαλύτερες δυσκολίες στην ερμηνεία των φυσικών φαινομένων σε σχέση με τους μαθητές των οποίων η θεωρία για την ύλη προσεγγίζει περισσότερο την αντίστοιχη επιστημονική. Μέσα σε αυτό το πλαίσιο, οι κατηγοριοποιήσεις των μαθητών μας δίνουν μια άμεση πληροφόρηση για τη θεωρία τους για την ύλη και, σύμφωνα με το θεωρητικό μας πλαίσιο, η μετάβαση από την κατηγοριοποίηση των σωμάτων βάσει της φυσικής τους κατάστασης στην κατηγοριοποίησή τους βάσει της μοριακής τους δομής φαίνεται να αποτελεί προϋπόθεση για την κατανόηση των επιστημονικών ερμηνειών για τις φυσικές μεταβολές της ύλης.

Υποθέτουμε, τέλος, ότι υπάρχει συσχέτιση ανάμεσα στις επιστημικές πεποιθήσεις των μαθητών και στη θεωρία τους για την ύλη και ότι η εννοιολογική αλλαγή για την ύλη θα συνοδεύεται και από αλλαγή των επιστημικών πεποιθήσεων των μαθητών. Αναμένουμε, συνεπώς, ότι τα παιδιά που έχουν διαμορφώσει μια διαισθητική θεωρία για την ύλη θα βρίσκονται σε χαμηλότερο επιστημολογικό επίπεδο όσον αφορά στις πεποιθήσεις τους για τη γνώση και τη φύση

της γνώσης, (όπου η γνώση θεωρείται αληθής και βέβαιη και γίνεται αντιληπτή ως συλλογή αληθινών πεποιθήσεων για συγκεκριμένες διαδικασίες, ενώ δεν υπάρχει ξεκάθαρη διάκριση ανάμεσα στις ιδέες των επιστημόνων και στις δραστηριότητές τους ή ανάμεσα στις ιδέες και στα πειραματικά τους δεδομένα) και θα αντιμετωπίσουν μεγαλύτερες δυσκολίες στην ερμηνεία των φυσικών φαινομένων σε σχέση με τους μαθητές που θα έχουν φθάσει σε ένα ανώτερο επιστημολογικό επίπεδο (όπου αναγνωρίζεται ότι η γνώση είναι προϊόν της ανθρώπινης σκέψης και όχι καθορισμένη από μια εξωτερική πραγματικότητα και ότι οι αναπαραστάσεις καταστάσεων στον κόσμο αποτελούν θεωρητικές οντότητες, υποθέσεις που μπορούν να ελεγχθούν, να αποδειχθούν λανθασμένες και να αντικατασταθούν από άλλες).



## ΜΕΘΟΔΟΣ

### Συμμετέχοντες

Η έρευνα πραγματοποιήθηκε κατά το σχολικό έτος 2009-2010 στο 2<sup>ο</sup> Δημοτικό Σχολείο της Αργυρούπολης. Το δείγμα αποτέλεσαν δύο τμήματα (πειραματικό - ελέγχου) μαθητών της Ε΄ τάξης (10-11 ετών). Η επιλογή της τάξης αυτής έγινε βάσει των αποτελεσμάτων προηγούμενης έρευνας καθώς και της πιλοτικής έρευνας που έγινε τον Μάιο του 2009 σε Δημοτικό Σχολείο των Αχαρνών, από τις οποίες προέκυψε ότι μέχρι το τέλος του Δημοτικού σχολείου οι μαθητές έχουν διαμορφώσει μια αφελή θεωρία για την ύλη η οποία βασίζεται στις αισθήσεις και όπου τα υλικά ταυτοποιούνται με τις αισθήσεις και τα υλικά σώματα κατηγοριοποιούνται βάσει των μακροσκοπικών τους ιδιοτήτων (φυσική κατάσταση). Επίσης, οι μαθητές αυτής της ηλικίας βρίσκονται σε χαμηλό ή ενδιάμεσο επιστημολογικό επίπεδο όσον αφορά στις πεποιθήσεις τους για τη γνώση και τη φύση της γνώσης, όπου η γνώση θεωρείται αληθής και βέβαιη και γίνεται αντιληπτή ως συλλογή αληθινών πεποιθήσεων για συγκεκριμένες διαδικασίες, ενώ δεν υπάρχει ξεκάθαρη διάκριση ανάμεσα στις ιδέες των επιστημόνων και στις δραστηριότητές τους ή ανάμεσα στις ιδέες και στα πειραματικά τους δεδομένα. Τέλος, όσον αφορά στην ερμηνεία των φυσικών φαινομένων του κόσμου μας αντιμετωπίζουν δυσκολίες, δίνοντας εναλλακτικές ερμηνείες σε μακροσκοπικό κυρίως επίπεδο (ή ακόμα και σε μικροσκοπικό επίπεδο, όπου όμως αποδίδουν μακροσκοπικά χαρακτηριστικά). Σε αυτή την τάξη, εξάλλου, γίνεται και η εισαγωγή και διδασκαλία των σχετικών εννοιών για την ύλη και τα υλικά σώματα με βάση το αναλυτικό πρόγραμμα σπουδών και το αντίστοιχο σχολικό εγχειρίδιο.



## Διαδικασία

Αρχικά επιχειρήθηκε η ανίχνευση της θεωρίας των μαθητών για την ύλη, μέσω των αντιλήψεών τους για τις φυσικές ποσότητες και την ύλη και των κατηγοριοποιήσεών τους για τα υλικά σώματα, η ανίχνευση των επιστημικών τους πεποιθήσεων, αλλά και των ερμηνειών που δίνουν για τα φυσικά φαινόμενα. Όλοι οι συμμετέχοντες εξετάστηκαν ατομικά με τη συμπλήρωση ερωτηματολογίου για περίπου 90 λεπτά. Οι ερωτήσεις που υποβλήθηκαν ήταν ίδιες για όλους. Οι συμμετέχοντες κατέγραψαν τις απαντήσεις τους και έφτιαξαν τα σχέδιά τους σε ειδικό χώρο που είχε προβλεφθεί στο ερωτηματολόγιο που τους δόθηκε. Στην αρχή συμπλήρωσαν το «Έργο για τις Αντιλήψεις για την Ύλη», στη συνέχεια το «Έργο για τις Επιστημικές Πεποιθήσεις», έπειτα το «Έργο Κατηγοριοποίησης» και τέλος τα δύο «Έργα Ερμηνείας Φαινομένων».

Ακολούθησε, λίγες ημέρες μετά, η «Διδακτική Παρέμβαση», αποτελούμενη από τις παρακάτω κεντρικές διδακτικές ενότητες.

Στο πειραματικό τμήμα εφαρμόστηκε η προτεινόμενη παρέμβαση, για περίπου 12 διδακτικές ώρες, σε διάστημα περίπου έξι εβδομάδων, που κάλυπτε: α) μια **εισαγωγική ενότητα** σχετικά με την ύλη, τις ιδιότητες και τη δομή της ύλης, που σκοπό είχε να αναδείξει τις ιδέες των μαθητών για την ύλη και να εισαγάγει σταδιακά τις έννοιες των σωματιδίων ύλης, των στοιχειωδών σωματιδίων, των χαρακτηριστικά τους και των αλληλεπιδράσεων / δυνάμεων που συνθέτουν τα σωματίδια και τα σώματα καθώς και των κινήσεών του, β) **τις βασικές έννοιες / ιδιότητες της ύλης**, εξετάζοντας έννοιες που θεωρούνται βασικές για την εισαγωγή και κατανόηση της σωματιδιακής θεωρίας για την ύλη, όπως είναι ο **όγκος**, η **μάζα**, το **βάρος**, η **πυκνότητα** και γ) μια πιο αναλυτική περιγραφή του **μοντέλου του μικρόκοσμου** με τη βοήθεια προσομοιώσεων / οπτικοποιήσεων και κατάλληλου λογισμικού προκειμένου να χρησιμοποιηθεί για την περιγραφή και ερμηνεία φαινομένων του μακρόκοσμου (όπως οι φυσικές καταστάσεις της ύλης).

Στο τμήμα ελέγχου διδάχθηκαν, για περίπου 12 διδακτικές ώρες, σε διάστημα περίπου έξι εβδομάδων, οι αντίστοιχες προβλεπόμενες ενότητες από το σχολικό εγχειρίδιο: α) μια **εισαγωγική ενότητα** για το πώς μελετάμε τα φαινόμενα γύρω μας (ερευνώντας και ανακαλύπτοντας, πώς μελετάμε τον κόσμο γύρω μας, ο δεκάλογος του καλού πειραματιστή), β) τα **υλικά σώματα (μακροσκοπικά)** με μελέτη των βασικών ιδιοτήτων της **μάζας**, του **όγκου** και της **πυκνότητας** και μια αναφορά στο **βάρος**, που παρουσιάζεται στην ενότητα της μηχανικής γ) μία γενικότερη ενότητα για **τα υλικά σώματα και τη δομή της ύλης**, αξιοποιώντας τις αντίστοιχες πληροφορίες και σχήματα που παρέχονται στην αντίστοιχη ενότητα στο «Βιβλίο του Μαθητή» της Ε΄ τάξης.

Τέλος, δόθηκαν ξανά στους μαθητές (και των δύο τμημάτων), μετά την παρέμβαση, το «Έργο για τις Αντιλήψεις για την Ύλη», το «Έργο για τις Επιστημικές Πεποιθήσεις», το «Έργο Κατηγοριοποίησης» και τα «Έργα Ερμηνείας Φαινομένων» (τήξη, βρασμός) που είχαν δοθεί και πριν την παρέμβαση, προκειμένου να ελεγχθεί η επίδραση της παρέμβασης.

## Υλικά

Πέντε έργα χρησιμοποιήθηκαν πριν και μετά την παρέμβαση:

### A) «Έργο για τις Αντιλήψεις για την Ύλη»

Το έργο αυτό έχει σκοπό να διερευνήσει τις αντιλήψεις των μαθητών για την ύλη και τις ιδιότητές της. Αποτελείται συνολικά από 18 ερωτήσεις, καταναμημένες σε δύο μέρη: α. Φυσικές Ποσότητες (βάρος, μάζα, πυκνότητα, όγκος και μετρήσεις) που περιλαμβάνει 13 ερωτήσεις σχετικά με τη μάζα, το βάρος και τον όγκο σωμάτων (περισσότερο ή λιγότερο ελαφριών και ορατών ή αόρατων) και τον υπολογισμό τους και β. Ύλη και Υλικά, που περιλαμβάνει 5 ερωτήσεις για την ύλη και τα υλικά. Έχει βασιστεί κατά ένα μεγάλο μέρος στις ερωτήσεις που χρησιμοποίησε η Smith στην έρευνά της (Smith, 2007), οι οποίες προσαρμόστηκαν στα ελληνικά, ενώ έχουν προστεθεί και αρκετές ερωτήσεις σχετικά με το βάρος, την πυκνότητα και τη διατήρηση της ύλης (οι οποίες έχουν βασιστεί σε αντίστοιχες ερωτήσεις και εικόνες του βιβλίου της Ε΄τάξης του δημοτικού σχολείου «Φυσικά – Ερευνώ και Ανακαλύπτω»).

Αναλυτικότερα, στις ερωτήσεις 1, 2, 4, 5, 7, 8, 9, 10 και 11 οι μαθητές καλούνται να απαντήσουν αν έχει βάρος και ύλη/μάζα ένα πολύ μικρό κομμάτι φελιζόλ (χωρίς αισθητό βάρος και μικρού όγκου), ένα μεγάλο κομμάτι φελιζόλ (μικρού βάρους και μεγάλου όγκου), ένα μικρό κομμάτι πλαστελίνης (μικρού βάρους και μικρού όγκου), ένα μεγάλο κομμάτι πλαστελίνης (αισθητού βάρους και όγκου), δέκα κόκκοι ζάχαρης (μικρού βάρους, αρκετή ποσότητα) και ένας κόκκος ζάχαρης (μη αισθητού βάρους), ενώ στις ερωτήσεις 3 και 6 καλούνται να απαντήσουν αν υπάρχει μη ορατή ύλη και κατά πόσο έχει βάρος ή όγκο ή τι συμβαίνει κατά τις διαδοχικές διαιρέσεις ενός κομματιού ύλης. Τέλος, στις ερωτήσεις 12 και 13 καλούνται να υπολογίσουν τον όγκο και τη μάζα ενός αντικειμένου με τη βοήθεια του σχήματος και των πληροφοριών που τους παρέχονται. Στο δεύτερο μέρος του ερωτηματολογίου η ερώτηση 14 ζητούσε από τους μαθητές να διαχωρίσουν τα υλικά σώματα από τα μη υλικά, η ερώτηση 15 ζητούσε να σχεδιάσουν το εσωτερικό ενός στερεού, ενός υγρού και ενός αερίου, η ερώτηση 16 αναφερόταν στις ιδιότητες της ύλης και οι ερωτήσεις 17 και 18 αναφέρονταν στη διατήρηση ή μη της ύλης όταν αλλάζει σχήμα ή όταν παύει να είναι ορατή.

### B) «Έργο για τις Επιστημικές Πεποιθήσεις» / «Συνέντευξη για τη φύση της Επιστήμης»

Το έργο έχει σκοπό να διερευνήσει κατά πόσο οι μαθητές μπορούν να διαφοροποιήσουν τις επιστημονικές ιδέες από τα τεκμήρια και τις υποθέσεις από τις θεωρίες και να κατανοήσουν την αβεβαιότητα της επιστημονικής γνώσης. Βασίζεται στο "Nature of Science Interview" (Carey et al. 1989) και περιλαμβάνει 18 ερωτήσεις σχετικά με τη φύση και τους στόχους της επιστήμης, τις ιδέες, τις πειραματικές διαδικασίες, τη φύση των υποθέσεων και των θεωριών, τη σχέση μεταξύ τους και την αλλαγή θεωρίας, ενώ έχουν προστεθεί δύο ακόμη ερωτήσεις για τα επιστημονικά

μοντέλα. Αναλυτικότερα, περιλαμβάνει 3 γενικές ερωτήσεις σχετικά με τους επιστήμονες και το τι κάνουν για να βρουν απαντήσεις στις ερωτήσεις τους, 3 ερωτήσεις σχετικές με τις ιδέες και τις θεωρίες των επιστημόνων και αν τους επηρεάζουν στον τρόπο που προσπαθούν να βρουν απαντήσεις στα ερωτήματά τους, 2 ερωτήσεις σχετικά με τις υποθέσεις των επιστημόνων και αν επηρεάζουν τα πειράματά τους, 3 ερωτήσεις σχετικά με τα πειράματα που κάνουν οι επιστήμονες και πώς επιλέγουν ποιο πείραμα θα κάνουν, 4 ερωτήσεις σχετικά με τα αν μπορούν να κάνουν λάθος οι επιστήμονες ή αν αλλάζουν τη θεωρία τους και 2 ερωτήσεις σχετικά με τα μοντέλα που χρησιμοποιούν οι επιστήμονες.

### Γ) « Έργο Κατηγοριοποίησης Υλικών Σωμάτων»

Στο έργο αυτό (το οποίο έχει χρησιμοποιηθεί και στην προηγούμενη έρευνά μας Gikoroulou & Vosniadou 2006) οι μαθητές καλούνται να κατηγοριοποιήσουν 8 σώματα (πάγος, βροχή, σύννεφο, χαλάζι, νερό, υδρατμός, ομίχλη, χιόνι), τα οποία μπορούν να κατηγοριοποιηθούν είτε με βάση τη φυσική τους κατάσταση (στερεά, υγρά, αέρια) είτε με βάση τη μοριακή τους δομή ( $H_2O$ ), και να αιτιολογήσουν τις κατηγοριοποιήσεις τους. Αποτελείται από τέσσερις ερωτήσεις για την κατηγοριοποίηση των σωμάτων και τις αντίστοιχες ερωτήσεις για την αιτιολόγηση των κατηγοριοποιήσεων.

		<b>Μοριακή Δομή (<math>H_2O</math>)</b>
<b>Φυσική κατάσταση</b>	<b>ΣΤΕΡΕΑ</b>	πάγος χιόνι χαλάζι
	<b>ΥΓΡΑ</b>	νερό βροχή
	<b>ΑΕΡΙΑ</b>	υδρατμός σύννεφο ομίχλη

### Δ) « Έργο Ερμηνείας Φαινομένου - Τήξη Πάγου»

Στο έργο αυτό (το οποίο έχει χρησιμοποιηθεί και στην προηγούμενη έρευνά μας, Gikoroulou & Vosniadou 2006) οι μαθητές καλούνται να εξηγήσουν το φυσικό φαινόμενο της τήξης του πάγου, απαντώντας σε 7 ερωτήσεις, όπου καλούνται να περιγράψουν και να ερμηνεύσουν το φαινόμενο, να συγκρίνουν τη σύσταση του νερού και του πάγου και να σχεδιάσουν το εσωτερικό τους.

### Ε) « Έργο Ερμηνείας Φαινομένου - Βρασμός Νερού»

Στο έργο αυτό (το οποίο έχει χρησιμοποιηθεί και στην προηγούμενη έρευνά μας, Gikoroulou & Vosniadou 2006) οι μαθητές καλούνται να εξηγήσουν το φυσικό φαινόμενο του βρασμού του νερού, απαντώντας σε 8 ερωτήσεις όπου καλούνται να περιγράψουν και να ερμηνεύσουν το φαινόμενο, να συγκρίνουν τη σύσταση του νερού και του υδρατμού και να σχεδιάσουν το εσωτερικό τους.

## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Αρχικά παρουσιάζεται ο τρόπος βαθμολόγησης των ερωτήσεων κάθε έργου, οι κατηγορίες στις οποίες χωρίστηκαν οι απαντήσεις των συμμετεχόντων και το πρότυπο των αναμενόμενων απαντήσεων, δηλαδή οι απαντήσεις που έπρεπε να δώσουν οι συμμετέχοντες σε κάθε ερώτηση ενός έργου, προκειμένου να τοποθετηθούν σε μια κατηγορία. Ακολουθεί η αναλυτική παρουσίαση των επιδόσεων των μαθητών και των δύο τμημάτων (πειραματικό, ελέγχου) σε κάθε ένα από τα πέντε έργα στα οποία συμμετείχαν στο pretest και στο posttest και γίνεται σύγκριση των επιδόσεων των μαθητών δύο τμημάτων μεταξύ τους, προκειμένου να ελέγξουμε την υπόθεσή μας, δηλαδή κατά πόσο η παρέμβαση βοήθησε στην αλλαγή της θεωρίας των μαθητών για την ύλη και στην αλλαγή των επιστημικών τους πεποιθήσεων. Ακολουθεί η συνοπτική περιγραφή των συγκεντρωτικών αποτελεσμάτων στα πέντε αυτά έργα. Έπειτα εξετάζονται οι συσχετίσεις μεταξύ έργων, ειδικότερα η επίδοση των μαθητών στα έργα που μελετούν τη θεωρία τους για την ύλη σε σχέση με τις επιστημικές τους πεποιθήσεις, προκειμένου να ελέγξουμε την άλλη υπόθεσή μας ότι δηλαδή υπάρχει συσχέτιση ανάμεσα στη θεωρία των μαθητών για την ύλη (η οποία διαφαίνεται από τις αντιλήψεις τους για τις φυσικές ποσότητες, την ύλη και τις ιδιότητές της, από τις κατηγοριοποιήσεις τους για τα υλικά σώματα και από τις ερμηνείες τους για τα φυσικά φαινόμενα) και στις επιστημικές πεποιθήσεις τους. Τέλος, γίνεται συνοπτική αναφορά και σε κάποια ποιοτικά αποτελέσματα που προκύπτουν από την αποδελτίωση των φύλλων εργασίας των μαθητών αλλά και από την καταγραφή παρατηρήσεων και από την απομαγνητοφώνηση των συνομιλιών κατά την εκπαιδευτική διαδικασία.

### Η Βαθμολόγηση των Έργων

#### Α) « Έργο για τις Αντιλήψεις των Μαθητών για την Ύλη»

Το έργο για τον καθορισμό των αντιλήψεων των μαθητών για τις φυσικές ποσότητες και την ύλη αποτελούνταν από δύο μέρη: (α) το πρώτο μέρος αφορούσε στις Φυσικές Ποσότητες (βάρος, μάζα, πυκνότητα, όγκο και μετρήσεις) και περιλάμβανε 13 ερωτήσεις σχετικά με τη μάζα, το βάρος και τον όγκο σωμάτων (περισσότερο ή λιγότερο ελαφριών και ορατών ή αόρατων) και τον υπολογισμό τους και (β) το δεύτερο μέρος, με 5 ερωτήσεις, αφορούσε στην ύλη, τα υλικά, τη σύστασή τους, τις ιδιότητες της ύλης και τη διατήρησή της.

Οι ερωτήσεις καθώς και οι κατηγορίες απαντήσεων των συμμετεχόντων φαίνονται στον Πίνακα 3.6. Τα κριτήρια που χρησιμοποιήσαμε για την κατηγοριοποίηση των απαντήσεων των συμμετεχόντων ήταν αν κατανοούν την ύλη βάσει των αισθήσεών τους ή ως ένα βασικό συστατικό που έχει βάρος και καταλαμβάνει χώρο, αν πιστεύουν ότι τα μικρά και μη ορατά σώματα έχουν ή όχι όγκο, μάζα και βάρος, αν η ύλη παύει ή εξακολουθεί να υπάρχει μετά από διαδοχικές διαιρέσεις, αν διαφοροποιούν τις έννοιες του βάρους και της μάζας, αν πιστεύουν ότι η ύλη διατηρείται ή εξαφανίζεται στις διάφορες μετατροπές της και όταν δεν είναι πια ορατή, αν ταυτοποιούν τα υλικά με τις αισθήσεις, βάσει της εμφάνισης και της συμπεριφοράς τους και αν δυσκολεύονται στη διάκριση ύλης / μη ύλης και αν θεωρούν ότι η ύλη είναι στατική και συνεχής ή κάνουν αναφορά σε σωματίδια ύλης (με ή χωρίς παρανοήσεις). Με βάση αυτά τα κριτήρια και τις απαντήσεις τους σε όλες τις ερωτήσεις οι συμμετέχοντες κατηγοριοποιήθηκαν στις παρακάτω 5 κατηγορίες αντιλήψεων για την ύλη.

Πίνακας 3.6: Πρότυπο Αναμενόμενων Απαντήσεων για τις Αντιλήψεις των Μαθητών για την Ύλη

	Βάρος							Μάζα					Όγκος	Μετρήσεις
	Ερ. 1 Φελιζόλ μεγάλο βάρος	Ερ. 2 Φελιζόλ μικρό βάρος	Ερ. 3β Φελιζόλ μη ορατό βάρος	Ερ. 7 Πλαστελ. μεγάλη Βάρος	Ερ. 8 Προσθ. πλαστελ. μικρής βάρος	Ερ. 10 10 κόκκοι ζάχαρης βάρος	Ερ. 11 1 κόκκος ζάχαρης βάρος	Ερ. 4 Φελιζόλ Μεγάλο μάζα	Ερ. 5 Φελιζόλ μικρό μάζα	Ερ. 3α Φελιζόλ μη ορατό μάζα	Ερ. 6 Διατήρηση ύλης σε διαδοχικές διαίρεσεις	Ερ. 9 Προσθήκη πλαστελίνης μικρής μάζα		
<b>Αρχική /Διαισθη- τική</b>	Έχει βάρος (Δεν έχει βάρος)	Δεν έχει βάρος	Δεν έχει βάρος	Έχει βάρος	Δεν αλλάζει το βάρος	Έχει βάρος	Δεν έχει βάρος	Έχει ύλη	Δεν έχει ύλη	Όχι	Όχι	Όχι, δεν άλλαξε η ποσότητα	Όχι	Σύγχυση μονάδων, διαδικασιών
<b>Ενδιά- μεση</b>	<b>α</b> Έχει βάρος	Δεν έχει βάρος	Δεν έχει βάρος	Έχει βάρος	Αυξάνει το βάρος	Έχει βάρος	Δεν έχει βάρος	Έχει ύλη	Δεν έχει ύλη	Όχι	Όχι	Όχι, άλλαξε η ποσότητα	Όχι	Περιγραφή διαδικασίας αλλά όχι σωστή τιμή
	<b>β</b> Έχει βάρος	Έχει βάρος	Δεν έχει βάρος	Έχει βάρος	Αυξάνει το βάρος	Έχει βάρος	Έχει βάρος	Έχει ύλη	Έχει ύλη	Όχι	Όχι / Ναι	Ναι, άλλαξε η ποσότητα	Όχι	Σχεδόν σωστή μέτρηση: τιμή και μονάδα ή διαδικασία
	<b>γ</b> Έχει βάρος	Έχει βάρος	Έχει βάρος (μη επαρκής εξήγηση)	Έχει βάρος	Αυξάνει το βάρος	Έχει βάρος	Έχει βάρος	Έχει ύλη	Έχει ύλη	Ναι (μη επαρκής εξήγηση)	Ναι /Όχι	Ναι, άλλαξε η ποσότητα	Ναι /Όχι	
<b>Επιστη- μονική</b>	Έχει βάρος	Έχει βάρος	Έχει βάρος	Έχει βάρος	Αυξάνει το βάρος	Έχει βάρος	Έχει βάρος	Έχει ύλη	Έχει ύλη	Ναι	Ναι	Ναι, άλλαξε η ποσότητα	Ναι	Σωστή μέτρηση - τιμή, μονάδα, διαδικασία

	Ύλη και Ιδιότητες της Ύλης			Διατήρηση της ύλης	
	Ερ. 14 Διάκριση ύλη – όχι ύλη	Ερ. 15 Τι θα έβλεπες μέσα στα υλικά;	Ερ. 16 Ποιες είναι οι ιδιότητες της ύλης; Πώς καταλαβαίνουμε αν κάτι είναι φτιαγμένο από ύλη;	Ερ. 17 Αλλαγή σχήματος πλαστελίνης	Ερ. 18 Διάλυση ζάχαρης σε νερό
<b>Αρχική / Διαισθητική</b>	Δυσκολία διάκρισης, σύγχυση ύλης – μη ύλης	Συνεχές	Παραδείγματα αντί για ιδιότητες, η ύλη είναι κάτι που χρησιμοποιούμε, έχει κομμάτια / είναι κάτι που μπορούμε να δούμε, να ακουμπήσουμε, να αισθανθούμε.	Αλλάζει η ύλη	Χάνεται η ύλη (εξαφανίζεται, λιώνει ...)
<b>Ενδιάμεση</b>	<b>α</b>	Συνεχές	Η ύλη είναι κάποιο είδος υλικού από σίδηρο, αλουμίνιο, «κάτι που είναι στερεό, υγρό ή αέριο», κάτι που «πραγματικά υπάρχει».	Αλλάζει η ύλη / Δεν αλλάζει η ύλη	Χάνεται η ύλη (εξαφανίζεται, λιώνει ...)
	<b>β</b>	Συνεχές / Σωματιδιακό		Δεν αλλάζει η ύλη	Χάνεται η ύλη/ Η ύλη εξακολουθεί να υπάρχει (διαλύεται στο νερό)
	<b>γ</b>	Διάκριση ύλης – μη ύλης (δυσκολία σε αέρια, μικρά σώματα)		Σωματιδιακό	Δεν αλλάζει η ύλη
<b>Επιστημονική</b>	Διάκριση ύλης – μη ύλης	Σωματιδιακό	Η ύλη είναι βασικό συστατικό που έχει βάρος και καταλαμβάνει χώρο	Δεν αλλάζει η ύλη	Η ύλη εξακολουθεί να υπάρχει (δεν τη βλέπουμε, αλλά υπάρχει, έχει διαλυθεί στο νερό)

Στον Πίνακα 3.6 φαίνεται αναλυτικότερα και το πρότυπο των αναμενόμενων απαντήσεων για τις αντιλήψεις των μαθητών για την ύλη, δηλαδή το είδος των απαντήσεων που έπρεπε να δώσουν οι συμμετέχοντες σε κάθε ερώτηση, προκειμένου να ενταχθούν σε έναν από αυτούς τους 5 τύπους αντιλήψεων για την ύλη.

Στην αρχική / διαισθητική αντίληψη για την ύλη ή «ύλη αντιληπτή με όλες τις αισθήσεις» η κατανόηση της ύλης βασίζεται στις αισθήσεις: τα μικρά και μη ορατά σώματα δεν έχουν όγκο, μάζα ή βάρος. Η ύλη παύει να υπάρχει μετά από διαδοχικές διαιρέσεις. Δεν υπάρχει διαφοροποίηση βάρους – μάζας. Υπάρχει δυσκολία / σύγχυση στη διαδικασία της μέτρησης του όγκου και της μάζας. Σχετικά με την αρχή διατήρησης της ύλης, στις μηχανικές μετατροπές τα κομμάτια αναδιατάσσονται, ενώ σε άλλες μεταβολές (όπως η διάλυση της ζάχαρης στο νερό) η ύλη εξαφανίζεται, όταν δεν είναι πια ορατή. Όσον αφορά στις ιδιότητες της ύλης, τα υλικά ταυτοποιούνται με τις αισθήσεις, με βάση την εμφάνιση και τη συμπεριφορά τους και υπάρχει δυσκολία διάκρισης ύλης / μη ύλης. Η ύλη θεωρείται ότι είναι στατική και συνεχής.

Στην ενδιάμεση α αντίληψη για την ύλη ή «ύλη με αισθητό βάρος ή όγκο», η κατανόηση της ύλης βασίζεται και πάλι στις αισθήσεις: το μικρό κομμάτι πλαστελίνης έχει μάζα, όγκο και βάρος, αλλά τα μικρά ελαφριά σώματα (όπως το φελιζόλ και ο 1 κόκκος ζάχαρης) καθώς και τα μη ορατά σώματα δεν έχουν όγκο, μάζα ή βάρος. Η ύλη παύει να υπάρχει μετά από διαδοχικές διαιρέσεις. Δεν υπάρχει διαφοροποίηση βάρους – μάζας. Γίνεται προσπάθεια για τη μέτρηση του όγκου και του βάρους, αλλά υπάρχει σύγχυση των μονάδων και των διαδικασιών μέτρησης του όγκου και του βάρους. Σχετικά με την αρχή διατήρησης της ύλης: στις μηχανικές μετατροπές τα κομμάτια αναδιατάσσονται, ενώ σε άλλες μεταβολές (όπως η διάλυση της ζάχαρης στο νερό) η ύλη εξαφανίζεται, όταν δεν είναι πια ορατή. Όσον αφορά στις ιδιότητες της ύλης, οι μαθητές δίνουν παραδείγματα αντί για ιδιότητες και περιγράφουν τη συμπεριφορά των σωμάτων, η ύλη είναι κάποιο είδος υλικού, κάτι που είναι στερεό, υγρό ή αέριο και υπάρχει δυσκολία διάκρισης ύλης / μη ύλης. Η ύλη θεωρείται ότι είναι στατική και συνεχής.

Στην ενδιάμεση β αντίληψη για την ύλη ή «ύλη ορατή», η κατανόηση της ύλης βασίζεται και πάλι στις αισθήσεις, οι μαθητές όμως δέχονται πια ότι ακόμη και τα μικρά ελαφριά σώματα (όπως το φελιζόλ και ο 1 κόκκος ζάχαρης) έχουν όγκο, μάζα και βάρος, ενώ τα μη ορατά σώματα εξακολουθούν να θεωρούνται ότι είναι χωρίς όγκο, μάζα ή βάρος. Η ύλη παύει να υπάρχει μετά από διαδοχικές διαιρέσεις ή μπορεί να υπάρξει ύλη και ας μην τη βλέπουμε, όμως αυτό το κομμάτι ύλης δεν έχει απαραίτητα βάρος ή όγκο. Γίνεται διαφοροποίηση βάρους – μάζας και έχουμε σχεδόν σωστή διαδικασία μέτρησης του όγκου και της μάζας (τιμή και μονάδα ή διαδικασία). Σχετικά με την αρχή διατήρησης της ύλης: στις μηχανικές μετατροπές τα κομμάτια αναδιατάσσονται, σε άλλες μεταβολές, όμως, η ύλη εξαφανίζεται (όταν δεν είναι πια ορατή) ή αλλάζει μορφή. Όσον αφορά

στις ιδιότητες της ύλης, αναφέρουν τη μάζα ή τον όγκο (σαν κανόνα), αλλά δεν το εφαρμόζουν σε όλα τα σώματα (ιδίως στο μικρό φελιζόλ και στον 1 κόκκο ζάχαρης). Η διάκριση ύλης / μη ύλης γίνεται με σχετική επιτυχία για τα περισσότερα στερεά και υγρά αντικείμενα αλλά τα αέρια ή τα μικρά σώματα (πχ. καπνός, σκουριά, σκόνη κιμωλίας) εξακολουθούν να τους δυσκολεύουν. Η ύλη είναι στατική και συνεχής ή γίνεται αναφορά σε σωματίδια ύλης αλλά υπάρχουν παρανοήσεις ή ελλιπής κατανόηση.

Στην ενδιάμεση γ αντίληψη για την ύλη ή «ύλη (και) μη ορατή», η ύλη είναι βασικό συστατικό που έχει βάρος και καταλαμβάνει χώρο: όλα τα σώματα –ακόμη και τα μικρά και τα μη ορατά– έχουν όγκο, μάζα, βάρος. Η ύλη εξακολουθεί να υπάρχει καθώς διαιρείται σε μικρά κομμάτια και καθένα από αυτά έχει βάρος και καταλαμβάνει χώρο, ακόμη κι όταν δεν είναι ορατό με τις αισθήσεις μας. Γίνεται διαφοροποίηση βάρους – μάζας και έχουμε σχεδόν σωστή διαδικασία μέτρησης του όγκου και της μάζας (τιμή και μονάδα ή διαδικασία). Σχετικά με την αρχή διατήρησης της ύλης: η ύλη εξακολουθεί να υπάρχει κατά τις διάφορες μετατροπές της, απλώς αλλάζει μορφή. Όσον αφορά στις ιδιότητες της ύλης, αναφέρουν τη μάζα, το βάρος, την πυκνότητα ή τον όγκο (σαν κανόνα) αλλά εξακολουθεί να υπάρχει σύγχυση των όρων. Η διάκριση ύλης / μη ύλης γίνεται με σχετική επιτυχία, όμως τα αέρια ή τα μικρά αντικείμενα (καπνός, σκουριά, σκόνη κιμωλίας) εξακολουθούν να τους δυσκολεύουν. Η ύλη αποτελείται από σωματίδια ύλης αλλά υπάρχουν παρανοήσεις ή ελλιπής κατανόηση.

Τέλος, στην επιστημονική αντίληψη για την ύλη ή «ύλη ως βασικό συστατικό», η ύλη είναι βασικό συστατικό που έχει βάρος και καταλαμβάνει χώρο: όλα τα σώματα –ακόμη και τα μικρά και τα μη ορατά– έχουν όγκο, μάζα, βάρος. Η ύλη εξακολουθεί να υπάρχει καθώς διαιρείται σε μικρά κομμάτια και καθένα από αυτά έχει βάρος και καταλαμβάνει χώρο, ακόμη κι όταν δεν είναι ορατό με τις αισθήσεις μας. Γίνεται διαφοροποίηση βάρους – μάζας και έχουμε σωστή διαδικασία μέτρησης του όγκου και της μάζας (περιγραφή, υπολογισμός, μονάδα μέτρησης). Σχετικά με την αρχή διατήρησης της ύλης, η ύλη είναι στοιχειώδες συστατικό που διατηρείται, δεν δημιουργείται, δεν καταστρέφεται ή εξαφανίζεται. Όσον αφορά στις ιδιότητες της ύλης, τα υλικά είναι βασικά συστατικά που διατηρούν την ταυτότητά τους και χαρακτηρίζονται από αντικειμενικές και μετρήσιμες χαρακτηριστικές ιδιότητες και όχι από την επιφανειακή εμφάνιση, τις μακροσκοπικές αντιληπτές ιδιότητες, ενώ γίνεται επιτυχής διάκριση ύλης - μη ύλης. Η ύλη αποτελείται από σωματίδια μη ορατά σε εμάς, τα οποία κινούνται συνεχώς.

## **B) «Έργο για τις Επιστημικές Πεποιθήσεις των Μαθητών»**

Το έργο για τον καθορισμό των επιστημικών πεποιθήσεων των μαθητών αποτελούνταν από έξι ομάδες ερωτήσεων: (1) το πρώτο μέρος περιλάμβανε γενικές ερωτήσεις για τους επιστήμονες,

(2) το δεύτερο μέρος αφορούσε στις ιδέες και τις θεωρίες των επιστημόνων, (3) το τρίτο μέρος αφορούσε στις υποθέσεις των επιστημόνων, (4) το τέταρτο μέρος αφορούσε στα πειράματα, (5) το πέμπτο μέρος αφορούσε στα αποτελέσματα και την αλλαγή θεωρία και (6) το έκτο μέρος αφορούσε στα επιστημονικά μοντέλα. Η βαθμολόγηση των απαντήσεων βασίστηκε στο σύστημα βαθμολόγησης της Carey και των συνεργατών της (Carey et al. 1989, Carey & Smith 1993, Smith et al. 2000, Smith & Wenk 2006). Ανάλογα με τις απαντήσεις τους οι μαθητές τοποθετήθηκαν σε τρία επιστημονικά επίπεδα. Κάθε απάντηση βαθμολογήθηκε και ποσοτικά.

Ειδικότερα, στο αρχικό επιστημικό επίπεδο (σκορ 1) οι αναμενόμενες απαντήσεις είναι σε συμφωνία με την προσκόλληση στην αληθή και βέβαιη γνώση. Στο ενδιάμεσο επιστημικό επίπεδο (σκορ 2) θεωρείται εφικτή η απόκτηση της απόλυτης γνώσης, αλλά εισάγονται παράλληλα και οι έννοιες της εξήγησης και του ελέγχου υποθέσεων. Τέλος, στο επιστημονικό επιστημικό επίπεδο (σκορ 3) υπάρχει η κατανόηση της αβέβαιης και σχετικής με το πλαίσιο φύσης της γνώσης. Πιο εκλεπτυσμένες απαντήσεις του αρχικού επιπέδου 1, τοποθετήθηκαν στο επίπεδο 1.5 (σκορ 1.5) και λιγότερο εκλεπτυσμένες απαντήσεις του επιστημονικού επιπέδου 3, τοποθετήθηκαν στο επίπεδο 2.5 (σκορ 2.5), προκειμένου να φανεί η διαφοροποίηση των συγκεκριμένων μαθητών. Οι απαντήσεις των συμμετεχόντων σε κάθε μία από τις έξι ομάδες ερωτήσεων του ερωτηματολογίου ομαδοποιήθηκαν και προέκυψε ένα επίπεδο για κάθε συμμετέχοντα σε κάθε ομάδα ερωτήσεων. Οι ερωτήσεις και η κατανομή των ομαδοποιημένων απαντήσεων των συμμετεχόντων σε κάθε ομάδα του ερωτηματολογίου φαίνεται στον πίνακα 3.7.

Από τον πίνακα 3.7 προκύπτει ότι στο pretest οι μαθητές και των δύο τμημάτων βρίσκονται στο επίπεδο 1 ή 1,5 σε όλες τις ομάδες ερωτήσεων του ερωτηματολογίου και χωρίς σημαντικές διαφορές μεταξύ των δύο τμημάτων. Μετά την παρέμβαση όμως, στο πειραματικό τμήμα αυξάνεται το ποσοστό των μαθητών που βρίσκονται στο επίπεδο 1,5 και εμφανίζονται και απαντήσεις του επιπέδου 2, ενώ στο τμήμα ελέγχου δεν παρατηρείται σημαντική αλλαγή στις απαντήσεις των μαθητών.

Πίνακας 3.7: Ποσοστά Συμμετεχόντων ανά Κατηγορία Απαντήσεων για Επιστημικές Πεποιθήσεις

Ερωτήσεις	Απαντήσεις	Pretest		Posttest	
		Τμήμα ελέγχου	Τμήμα πειραμ	Τμήμα ελέγχου	Τμήμα πειραμ
1. ΓΕΝΙΚΑ 1.1. Τι ακριβώς κάνουν οι επιστήμονες; Πώς πετυχαίνουν τους στόχους τους; 1.2. Κάνουν ερωτήσεις οι επιστήμονες; Μπορείς να σκεφθείς μια ερώτηση; 1.3. Τι κάνουν οι επιστήμονες για να βρουν απαντήσεις;	Επίπεδο 1	61%	61%	55%	28%
	Επίπεδο 1,5	39%	39%	39%	39%
	Επίπεδο 2	-	-	6%	33%
	Επίπεδο 2,5	-	-	-	-
	Επίπεδο 3	-	-	-	-



2. ΙΔΕΕΣ / ΘΕΩΡΙΕΣ 2.1+2.2. Έχουν οι επιστήμονες ιδέες/θεωρίες για τα πράγματα γύρω μας; 2.3. Πιστεύεις ότι οι ιδέες που έχει ένας επιστήμονας επηρεάζουν τον τρόπο που προσπαθεί να βρει απαντήσεις στις ερωτήσεις του;	Επίπεδο 1	94%	78%	83%	39%
	Επίπεδο 1,5	6%	22%	17%	61%
	Επίπεδο 2	-	-	-	-
	Επίπεδο 2,5	-	-	-	-
	Επίπεδο 3	-	-	-	-
3. ΥΠΟΘΕΣΕΙΣ 3.1. Τι πιστεύεις ότι είναι μια υπόθεση που κάνουν οι επιστήμονες; 3.2. Πιστεύεις ότι η υπόθεση ενός επιστήμονα επηρεάζει τα πειράματα που κάνει;	Επίπεδο 1	89%	72%	83%	50%
	Επίπεδο 1,5	11%	28%	17%	28%
	Επίπεδο 2	-	-	-	22%
	Επίπεδο 2,5	-	-	-	-
	Επίπεδο 3	-	-	-	-
4. ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ 4.1. Τι είναι πείραμα; 4.2. Κάνουν πειράματα οι επιστήμονες; 4.3. Πώς αποφασίζουν ποιο πείραμα θα κάνουν;	Επίπεδο 1	78%	72%	78%	72%
	Επίπεδο 1,5	22%	28%	22%	6%
	Επίπεδο 2	-	-	-	22%
	Επίπεδο 2,5	-	-	-	-
	Επίπεδο 3	-	-	-	-
5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ / ΑΛΛΑΓΗ ΘΕΩΡΙΑΣ 5.1. Τι θα συμβεί αν τα αποτελέσματα ενός πειράματος δεν είναι όπως τα περίμενε; 5.2. Πώς μπορούμε να αποφασίσουμε ποιος επιστήμονας έχει δίκιο; 5.3. Μπορεί να κάνει λάθος ένας επιστήμονας; 5.4 Μπορούν οι επιστήμονες να αλλάζουν τις ιδέες τους ή τη θεωρία τους;	Επίπεδο 1	67%	72%	67%	28%
	Επίπεδο 1,5	33%	28%	33%	44%
	Επίπεδο 2	-	-	-	28%
	Επίπεδο 2,5	-	-	-	-
	Επίπεδο 3	-	-	-	-
6. ΜΟΝΤΕΛΑ 6.1. Τι είναι τα «επιστημονικά μοντέλα»; 6.2. Πιστεύεις ότι μπορούν να πάνε να χρησιμοποιούν ένα «επιστημονικό μοντέλο»;	Επίπεδο 1	89%	89%	94%	72%
	Επίπεδο 1,5	11%	11%	6%	28%
	Επίπεδο 2	-	-	-	-
	Επίπεδο 2,5	-	-	-	-
	Επίπεδο 3	-	-	-	-

Στον Πίνακα 3.8 φαίνεται αναλυτικά το πρότυπο των αναμενόμενων απαντήσεων για τις επιστημικές πεποιθήσεις των μαθητών σε κάθε τμήμα του ερωτηματολογίου, δηλαδή το είδος των απαντήσεων που έπρεπε να δώσουν οι συμμετέχοντες σε κάθε ερώτηση προκειμένου να ενταχθούν σε καθένα ένα από αυτά τα επίπεδα.

Πίνακας 3.8: Πρότυπο Αναμενόμενων Απαντήσεων για τις Επιστημικές Πεποιθήσεις (ανά ομάδα ερωτήσεων)

Επί-πεδο	1. ΓΕΝΙΚΑ	2. ΙΔΕΕΣ / ΘΕΩΡΙΕΣ	3. ΥΠΟΘΕΣΕΙΣ	4. ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ	5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ / ΑΛΛΑΓΗ ΘΕΩΡΙΑΣ	6. ΜΟΝΤΕΛΑ
1	Οι απαντήσεις επικεντρώνονται στις δραστηριότητες. Οι επιστήμονες έχουν ιδέες πώς να πραγματοποιήσουν αυτές τις δραστηριότητες. Στόχος της επιστήμης: να ανακαλύπτει καινούρια πράγματα, να βρίσκει θεραπείες για αρρώστιες κτλ.	Δεν υπάρχει σαφής διάκριση ανάμεσα στις ιδέες και τα πειράματα. Ένας επιστήμονας δοκιμάζει μια ιδέα για να δει αν δουλεύει, «κάνει τις ιδέες του να δουλεύουν» ή «τις ολοκληρώνει κάνοντας πειράματα με αυτές».	Η υπόθεση είναι «μια ιδέα για κάτι» ή μια εικασία. (Οι απαντήσεις των μαθητών είναι ασαφείς).	Δεν υπάρχει σαφής διάκριση ανάμεσα στα πειράματα και τις ιδέες. Το κίνητρο των επιστημόνων για ένα πείραμα είναι να ανακαλύψουν κάτι καινούριο.	Ο επιστήμονας προσπαθεί να έχει ένα αποτέλεσμα. Αν το πείραμα δεν αποδειχτεί «σωστό» αυτό συμβαίνει γιατί κάτι δε λειτουργεί σωστά και πρέπει να ελεγχθεί ή να αλλάξει. Αυτό το «κάτι» δεν προσδιορίζεται ως μια ιδέα.	Τα μοντέλα είναι μικρογραφίες αυτών που αναπαριστούν. Η αλλαγή συμβαίνει όταν κάτι δε λειτουργεί / όταν ανακαλύπτεις ότι κάνεις λάθος
2	Ανάπτυξη μηχανιστικής κατανόησης του κόσμου. Οι επιστήμονες έχουν ιδέες, ερωτήσεις και υποθέσεις για το πώς λειτουργούν τα πράγματα και προβλέψεις για τα αποτελέσματα των πειραμάτων. Πιο συγκεκριμένοι στόχοι της επιστήμης παρουσιάζονται ως παραδείγματα (πχ. «να ανακαλύψουν πώς τα ζώα παίρνουν οξυγόνο»).	Υπάρχει σαφής διάκριση ιδεών και πειραμάτων. Η ιδέα ελέγχεται από τον επιστήμονα για να δει αν είναι σωστή ή χρησιμοποιείται για να προβλέψει το αποτέλεσμα ενός πειράματος.	Η υπόθεση είναι μια ιδέα ή μια εικασία αλλά σχετίζεται ξεκάθαρα με ένα πείραμα ή φαινόμενο και είναι σαφώς κάτι που μπορεί να ελεγχθεί πχ. μια «εάν... τότε» δήλωση για κάτι που πιστεύουμε ότι θα συμβεί.	Ξεκάθαρη διάκριση ανάμεσα στην ιδέα και τη δραστηριότητα. Το πείραμα είναι μια δοκιμασία των ιδεών του επιστήμονα ή μια διαδικαστική εξερεύνηση ενός φαινομένου.	Ο επιστήμονας δοκιμάζει μια ιδέα. Αν τα αποτελέσματα του πειράματος δεν είναι αυτά που περίμενε, τότε κάτι χρειάζεται προσοχή. Όμως, στο επίπεδο 2 η ιδέα και το πείραμα διαχωρίζονται	Πιο αφηρημένη κατανόηση των μοντέλων: εργασία συλλογισμού και αποδίδουν σχέσεις, αλλά δε γίνεται σαφής διάκρισή τους από την πραγματικότητα. Η αλλαγή συμβαίνει με πειράματα και με έλεγχο υποθέσεων.
3	Ανάπτυξη ερμηνευτικής κατανόησης του κόσμου. Στόχος της επιστήμης είναι η σύνθεση εξηγήσεων του γιατί τα πράγματα είναι όπως είναι και χρησιμοποιούνται παραδείγματα όπως «γιατί τα φύλλα αλλάζουν χρώμα», «γιατί οι δεινόσαυροι εξαφανίστηκαν».	Οι ιδέες ελέγχονται με τα πειράματα, αξιολογούνται και αναπτύσσονται σε αντιστοιχία με τα αποτελέσματα αυτών των δοκιμασιών.	Η υπόθεση δε συνδέεται απλώς με ένα πείραμα αλλά βοηθά στην ερμηνεία των αποτελεσμάτων ενός πειράματος και αξιολογείται και αναπτύσσεται σε αντιστοιχία με τα αποτελέσματα	Ξεκάθαρη σχέση ανάμεσα στα αποτελέσματα του πειραματισμού και την ιδέα που δοκιμάζεται. Τα αποτελέσματα βοηθούν στην αξιολόγηση και ανάπτυξη μιας ιδέας και οι ιδέες μπορούν να αλλάζουν ως αποτέλεσμα της δουλειάς του επιστήμονα.	Μια ιδέα τροποποιείται εξαιτίας της ασυμφωνίας ανάμεσα στην ιδέα και τα πειραματικά αποτελέσματα ή άλλα δεδομένα και η ιδέα που αλλάζει λαμβάνει υπόψη της αυτά τα δεδομένα.	Πιο αφηρημένη κατανόηση των μοντέλων: εργασία συλλογισμού και αποδίδουν σχέσεις. Τα στοιχεία τους είναι διαφορετικά από τις οντότητες που παρουσιάζουν, αναπαριστούν υποθέσεις και μπορούν να αναθεωρηθούν. Η αλλαγή περιλαμβάνει τη διάκριση ανάμεσα στην εξήγηση και σε αυτό που εξηγήθηκε και συμβαίνει μέσα από μια σχολαστική διαδικασία ελέγχου ιδεών και θεώρησής τους έναντι εναλλακτικών.

Στο Επίπεδο 1 (αρχικό) οι ιδέες είναι σε συμφωνία με μια επιστημολογία όπου η γνώση θεωρείται αληθής και βέβαιη. Η επιστημονική γνώση αποκτάται μέσα από την παρατήρηση ή μεταδίδεται μέσω της αυθεντίας και ουσιαστικά αποτελεί μια αντιγραφή της εξωτερικής πραγματικότητας. Η διάκριση ανάμεσα στις ιδέες των επιστημόνων και στις δραστηριότητές τους ή ανάμεσα στις ιδέες και στα πειραματικά τους δεδομένα δεν είναι ρητή και τα πειράματά μας παρέχουν συγκεκριμένη πληροφορία για το τι συμβαίνει ή για το αν δουλεύει η διαδικασία κάποιου. Αναλυτικότερα, οι μαθητές δεν κάνουν σαφή διάκριση μεταξύ των ιδεών και των δραστηριοτήτων, κυρίως των πειραμάτων. Ο επιστήμονας «δοκιμάζει κάτι να δει πως λειτουργεί». Αυτό το «κάτι» παραμένει απροσδιόριστο και ασαφές. Μπορεί να είναι μια ιδέα, μια κατασκευή, ένα πείραμα. Το κίνητρο για μια δραστηριότητα είναι η ίδια η δραστηριότητα παρά η σύνθεση ιδεών. Οι μαθητές δεν κατανοούν ότι οι ιδέες είναι διακριτές, κατασκευασμένες και επεξεργάσιμες οντότητες. Δεν κατανοούν ότι οι ιδέες ενός επιστήμονα αποτελούν κίνητρο για τις υπόλοιπες πιο απτές δραστηριότητές του όπως η συγκέντρωση δεδομένων και ο πειραματισμός ή ότι αυτές οι ιδέες, με τη σειρά τους, επηρεάζονται από τις δραστηριότητές του αυτές. Αντίθετα, συγχέουν τις ιδέες με τα πειράματα ή με οτιδήποτε άλλο αφορούν (πχ. μια εφεύρεση, μια θεραπεία κτλ.) και δεν αναγνωρίζουν τα θεωρητικά κίνητρα πίσω από τους πειραματισμούς και τις άλλες δραστηριότητες των επιστημόνων. Στόχος της επιστήμης είναι να ανακαλύπτει γεγονότα και απαντήσεις για τον κόσμο και να επινοεί κατασκευές. Η φύση υπάρχει για να γίνει κατανοητή. Οι επιστήμονες «ανακαλύπτουν» δεδομένα και απαντήσεις που υπάρχουν, σχεδόν σαν αντικείμενα, «εκεί έξω». Δεν είναι κατανοητό ότι τα «δεδομένα» και οι «απαντήσεις» στην πραγματικότητα είναι κατασκευασμένες ιδέες για τα φυσικά φαινόμενα. Άλλοι στόχοι της επιστήμης είναι η επινόηση καινούριων πραγμάτων και η ανακάλυψη θεραπειών για αρρώστιες. Οι ιδέες εξισώνονται με πράγματα ή με απλά σχέδια δράσης (πχ. έχουν μια ιδέα για ένα διαστημόπλοιο και το φτιάχνουν). Οι επιστήμονες επιτυγχάνουν τους στόχους τους παρατηρώντας τα πράγματα και αναζητώντας θεραπείες ή δοκιμάζοντας κάτι για να δουν αν λειτουργεί. Οι ίδιες οι ιδέες των επιστημόνων δεν είναι ποτέ αντικείμενο εξονυχιστικής έρευνας.

Στο Επίπεδο 2 (ενδιάμεσο/μεταβατικό) αρχίζει να συσχετίζεται η επιστήμη με επεξηγηματικούς μηχανισμούς και τα πειράματα να αποτελούν ένα μέσο για τον έλεγχο υποθέσεων. Οι επιστήμονες θεωρείται ότι προσπαθούν να κατανοήσουν πώς δουλεύουν τα πράγματα ή γιατί συμβαίνουν, κάνουν πειράματα για να ελέγξουν τις ιδέες τους ή τις αναθεωρούν όταν αποδεικνύονται λανθασμένες. Έτσι αρχίζει μια πρώτη διάκριση ανάμεσα στις επιστημονικές ιδέες, στις δραστηριότητες και στα πειραματικά δεδομένα. Παρόλα αυτά θεωρείται ακόμη όμως ότι μπορεί να αποκτηθεί η απόλυτη γνώση. Αναλυτικότερα, οι μαθητές

κάνουν σαφή διάκριση ιδεών και πειραμάτων. Το κίνητρο για τον πειραματισμό είναι να δοκιμάσουν μια ιδέα και να διαπιστώσουν αν είναι σωστή. Γίνεται κατανοητό ότι τα αποτελέσματα ενός πειράματος μπορούν να οδηγήσουν στην εγκατάλειψη ή την αναθεώρηση μιας ιδέας, όμως, δεν είναι ακόμα κατανοητό ότι η αναθεωρημένη ιδέα πρέπει τώρα να συμπεριλάβει όλα τα δεδομένα, και τα καινούρια και τα παλιά. Στόχος της επιστήμης είναι η κατανόηση των φυσικών φαινομένων, πώς δηλαδή λειτουργούν τα πράγματα στον κόσμο.

Στο Επίπεδο 3 οι ιδέες είναι σε συμφωνία με μια επιστημολογία όπου κανείς κατανοεί την αβέβαιη και τη σχετική με το πλαίσιο φύση της γνώσης. Η επιστημονική γνώση αποτελείται από καλά ελεγμένες θεωρίες για τον κόσμο, οι οποίες είναι χρήσιμες προκειμένου να εξηγηθούν τα γεγονότα και να γίνουν νέες προβλέψεις. Η θεωρία αποτελεί πια ένα συνεκτικό επεξηγηματικό πλαίσιο το οποίο αποτελείται από υποθετικές θεωρητικές οντότητες που χρησιμοποιούνται στην εξήγηση δεδομένων και υπάρχει μια ρητή διάκριση ανάμεσα στις θεωρίες των επιστημόνων και σε πιο συγκεκριμένες υποθέσεις. Τα πειραματικά δεδομένα στηρίζουν ή διαψεύδουν όχι μόνο τις υποθέσεις αλλά και τις θεωρίες, οι οποίες αν και αναθεωρούνται, αντιστέκονται στην αλλαγή και αργούν να εξελιχθούν. Αναλυτικότερα, οι μαθητές κάνουν σαφή διάκριση ιδεών και πειραμάτων και κατανοούν ότι το κίνητρο για τον πειραματισμό είναι η επιβεβαίωση ή η διερεύνηση. Επιπρόσθετα, κατανοούν τη σχέση ανάμεσα στα αποτελέσματα ενός πειράματος (ιδίως τα μη αναμενόμενα) και στην ιδέα που ελέγχεται. Αναγνωρίζουν την κυκλική, συσσωρευτική φύση της επιστήμης και αναγνωρίζουν ως στόχο της επιστήμης την αναζήτηση / σύνθεση όλο και βαθύτερων ερμηνειών του φυσικού κόσμου.

### **Γ) «Έργο Κατηγοριοποίησης Υλικών Σωμάτων»**

Για τη βαθμολόγηση των απαντήσεων σε αυτό το έργο ακολουθήσαμε την ίδια διαδικασία όπως και στη δεύτερη έρευνα. Οι απαντήσεις των συμμετεχόντων στις δύο πρώτες ερωτήσεις κατηγοριοποίησης χωρίστηκαν σε 4 βασικές κατηγορίες: 1. Χρησιμοποιούν άλλες κατηγορίες (με βάση την ομοιότητα, χρήση κτλ), 2. Χωρίζουν στερεά, υγρά, αέρια, 3. Τοποθετούν όλα τα αντικείμενα σε μία κατηγορία ( $H_2O$ ) και 4. Δεν απαντούν. Στην τρίτη ερώτηση κατηγοριοποίησης οι απαντήσεις χωρίστηκαν σε 2 κατηγορίες: 1. Δεν χωρίζουν στερεά, υγρά, αέρια και 2. Χωρίζουν στερεά, υγρά, αέρια. Στην τελευταία ερώτηση κατηγοριοποίησης αρχικά χωρίστηκαν σε 2 κατηγορίες : 1. Όχι, δεν μπορούν να μπουν όλα τα αντικείμενα σε μία κατηγορία και 2. Ναι, μπορούν να μπουν όλα τα αντικείμενα σε μία κατηγορία. Στη συνέχεια, προσπαθώντας να εξετάσουμε αναλυτικότερα τις απαντήσεις των συμμετεχόντων στην τελευταία ερώτηση κατηγοριοποίησης, αν δηλαδή θα μπορούσαν να μπουν όλα τα αντικείμενα σε μία κατηγορία, και ελέγχοντας την εξήγηση που έδιναν απαντώντας στο “γιατί;” ή “γιατί

όχι;” ομαδοποιήσαμε τις απαντήσεις τους σε 4 κατηγορίες: 1. Όχι, δεν θα μπορούσαν να μπουν σε μία κατηγορία γιατί δεν πάνε μαζί στερεά, υγρά και αέρια, 2. Όχι, δεν θα μπορούσαν να μπουν σε μία κατηγορία γιατί δεν ταιριάζουν, δεν είναι ίδια, 3. Ναι, θα μπορούσαν να μπουν σε μία κατηγορία γιατί είναι νερό σε διαφορετική φυσική κατάσταση και 4. Ναι, θα μπορούσαν να μπουν σε μία κατηγορία γιατί είναι η ίδια χημική ένωση H<sub>2</sub>O.

#### Δ) «Έργο Ερμηνείας Φαινομένου - Τήξη Πάγου»

Το πρώτο Έργο Ερμηνείας Φαινομένου αφορούσε στην τήξη του πάγου και αποτελούνταν από 7 ερωτήσεις. Οι ερωτήσεις καθώς και οι κατηγορίες απαντήσεων των συμμετεχόντων φαίνονται στον Πίνακα 8. Με βάση τις απαντήσεις τους οι συμμετέχοντες κατηγοριοποιήθηκαν σε 4 κατηγορίες εξηγήσεων, όπως και στη δεύτερη έρευνα. Τα κριτήρια που χρησιμοποιήσαμε για την κατηγοριοποίηση των εξηγήσεων των συμμετεχόντων στις ερωτήσεις για την τήξη του πάγου είναι: (1) αν περιγράφουν απλώς το φαινόμενο ή δίνουν και κάποια εξήγηση (ερωτήσεις 1,2), αν η εξήγηση που δίνουν είναι σωστή ή περιέχει λάθη και παρανοήσεις και αν η ερμηνεία τους είναι μακροσκοπική ή μικροσκοπική, (2) τι αναφέρουν για τη σύσταση του πάγου και του νερού (ερωτήσεις 3, 4) και κυρίως αν δέχονται ότι το νερό και ο πάγος αποτελούνται από τα ίδια συστατικά ή όχι (ερώτηση 5) και (3) τα σχέδιά τους για το νερό και τον πάγο, αν είναι σωματιδιακά ή συνεχή και κυρίως αν τα σχεδιάζουν ίδια ή διαφορετικά (ερωτήσεις 6,7). Με βάση αυτά τα κριτήρια διακρίναμε τους 4 τύπους εξηγήσεων που περιγράφονται στον πίνακα 3.9.

Πίνακας 3.9: Πρότυπο Αναμενόμενων Απαντήσεων για την Τήξη του Πάγου

Εξήγηση		Ερώτηση 1 Εδώ βλέπεις ένα παγάκι που λιώνει. Πώς γίνεται αυτό;	Ερώτηση 2 Τι παθαίνει ο πάγος; Γιατί λιγοστεύει;	Ερώτ. 3 Από τι αποτελείται ο πάγος;	Ερώτ. 4 Από τι αποτελείται το νερό;	Ερώτηση 5 Το νερό είναι το ίδιο πράγμα με τον πάγο; Έχουν τίποτα κοινό;	Ερώτ. 6 Σχεδιάσε ε πώς είναι μέσα το παγάκι.	Ερώτ. 7 Σχεδιάσε πώς είναι μέσα το νερό.
Initial	<b>Εξήγηση 1</b> Χρονική ακολουθία σε επίπεδο φαινομενικό. Ο πάγος είναι κάτι διαφορετικό από το νερό ή ένα είδος νερού	Το νερό γίνεται πάγος, ο πάγος γίνεται νερό. Περιγραφή και όχι εξήγηση του φαινομένου Εξήγηση σε φαινομενικό επίπεδο	νερό, κρύο νερό, παγωμένο νερό,	νερό, σύννεφα, βροχή,	Όχι ή Ναι (αλλά περι- γράφει χρονική σχέση πάγου- νερού)	Συνεχές	Συνεχές	
			Δεν καταλαβαίνει την έννοια του "αποτελείται από"					Τα ζωγραφίζει διαφορετικά
Alternative	<b>Εξήγηση 2</b> Το νερό έχει κάποια κοινά με τον πάγο, αλλά δεν είναι ίδιο	Κάποιου είδους εξήγηση (σε μακροσκοπικό ή μικροσκοπικό επίπεδο) + λάθη / παρανοήσεις Διαφορετική σύσταση των δύο σωμάτων, μεταφορά μακροσκοπικών ιδιοτήτων της ύλης στο μικρόκοσμο (κρύα μόρια ...)	οοξυγόνο ή υδρογόνο, οξυγ+υδρογ+ κάτι άλλο, κρύα μόρια νερού, ακίνητα μόρια νερού	οξυγόνο + υδρογόνο  μόρια νερού	Όχι Ναι  (3, 4, 5)	Συνεχές ή Σωματιδ	Συνεχές ή Σωματιδ	
						Τα ζωγραφίζει διαφορετικά		

Scientific 1	<b>Εξήγηση 3</b> Και το νερό και ο πάγος αποτελούνται από τα ίδια συστατικά	Λιώνει λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας (περιβάλλον, ...) και μετατρέπεται από στερεό σε υγρό. Δεν ελαττώνεται, αλλάζει κατάσταση. (Κυρίως μακροσκοπική ερμηνεία)	νερό, υδρογόνο + οξυγόνο	νερό, υδρογόνο + οξυγόνο	Ναι (είναι τα ίδια συστατικά σε άλλη μορφή / κατάσταση)	Σωματιδ	Σωματιδ
						Τα ζωγραφίζει ίδια	
Scientific 2	<b>Εξήγηση 4</b> Και το νερό και ο πάγος αποτελούνται από <b>μόρια νερού</b> (H <sub>2</sub> O)	Λιώνει λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας και μετατρέπεται από στερεό σε υγρό. Αυξάνεται η κινητική ενέργεια των μορίων του πάγου (+οι αποστάσεις τους). Δεν ελαττώνεται, αλλάζει κατάσταση (Μικροσκοπική ερμηνεία)	H <sub>2</sub> O, μόρια H <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> O, μόρια H <sub>2</sub> O	Ναι (είναι η ίδια χημική ένωση μόρια H <sub>2</sub> O, αλλάζουν οι αποστάσεις και οι κινήσεις των μορίων)	Σωματιδ	Σωματιδ
						Τα ζωγραφίζει ίδια	

Στον Πίνακα 3.9 φαίνεται και το πρότυπο των αναμενόμενων απαντήσεων για την τήξη του πάγου, δηλαδή το είδος των απαντήσεων που έπρεπε να δώσουν οι συμμετέχοντες σε κάθε ερώτηση προκειμένου να ενταχθούν σε έναν από αυτούς τους 4 τύπους εξηγήσεων.

Στην εξήγηση 1 (αρχική), οι συμμετέχοντες περιγράφουν απλώς το φαινόμενο χωρίς να το εξηγούν ή δίνουν μια εξήγηση σε εντελώς φαινομενικό επίπεδο, βασιζόμενη στη χρονική ακολουθία. Ο πάγος είναι κάτι διαφορετικό από το νερό ή αποτελεί ένα είδος νερού. Συχνά αναφέρουν ότι ο πάγος γίνεται νερό ή το νερό γίνεται πάγος, χωρίς να εξηγούν το πώς ή το γιατί και χωρίς να θεωρούν καν απαραίτητο να δώσουν μια ερμηνεία. Δεν δείχνουν να αντιλαμβάνονται την έννοια του “αποτελείται από”, αφού ακόμη και όταν απαντούν ότι ο πάγος αποτελείται από νερό στα σχέδιά τους τον ζωγραφίζουν με διαφορετικό τρόπο από το νερό.

Στην εξήγηση 2 (εναλλακτική), οι συμμετέχοντες δίνουν κάποιου είδους εξήγηση (σε μακροσκοπικό ή μικροσκοπικό επίπεδο) η οποία όμως περιέχει λάθη και παρανοήσεις. Θεωρούν ότι το νερό έχει κάποια κοινά με τον πάγο, αλλά δεν είναι ίδιο. Στην προσπάθειά τους να ερμηνεύσουν τα φαινόμενα αναφέρονται σε διαφορετική σύσταση των δύο σωμάτων (πχ. το νερό έχει οξυγόνο και υδρογόνο, ενώ ο πάγος νερό και υδρογόνο) ή μεταφέρουν μακροσκοπικές ιδιότητες της ύλης στο μικρόκοσμο (πχ. ο πάγος αποτελείται από παγωμένα μόρια κτλ.). Στα σχέδιά τους (συνεχή ή σωματιδιακά) απεικονίζουν με διαφορετικό τρόπο το νερό και τον πάγο.

Στην εξήγηση 3 (επιστημονική μακροσκοπική), οι συμμετέχοντες δίνουν σωστή επιστημονικά εξήγηση για την τήξη του πάγου, η οποία όμως είναι κυρίως μακροσκοπική. Αναφέρουν δηλαδή ότι λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας ο πάγος μετατρέπεται από στερεό σε υγρό και ότι δεν ελαττώνεται αλλά αλλάζει κατάσταση. Απαντούν ότι και το νερό και ο πάγος αποτελούνται από τα ίδια συστατικά και στα σχέδιά τους απεικονίζουν με τον ίδιο τρόπο τον πάγο και το νερό.

Στην εξήγηση 4 (επιστημονική μικροσκοπική), οι συμμετέχοντες δίνουν και πάλι σωστή επιστημονικά εξήγηση για την τήξη του πάγου, η ερμηνεία τους όμως είναι κυρίως μικροσκοπική.

Ερμηνεύουν το φαινόμενο με αναφορά στο μικρόκοσμο και τις κινήσεις και τις αποστάσεις των σωματιδίων του οι οποίες αυξάνονται με την αύξηση της θερμοκρασίας του σώματος, το οποίο απεικονίζουν και στα σχέδιά τους.

### **Ε) «Έργο Ερμηνείας Φαινομένου – Βρασμός Νερού»**

Το δεύτερο Έργο Ερμηνείας Φαινομένου αφορούσε στο βρασμό του νερού και αποτελούνταν από 8 ερωτήσεις. Οι ερωτήσεις και οι κατηγορίες απαντήσεων των συμμετεχόντων φαίνονται στον Πίνακα 3.10. Με βάση τις απαντήσεις τους στις ερωτήσεις ερμηνείας φαινομένων, οι συμμετέχοντες κατηγοριοποιήθηκαν και πάλι σε 4 κατηγορίες εξηγήσεων, όπως και στη δεύτερη έρευνα. Τα κριτήρια για την κατηγοριοποίηση των εξηγήσεων των συμμετεχόντων στις ερωτήσεις για το βρασμό του νερού είναι αντίστοιχα με αυτά για την τήξη του πάγου: (1) αν περιγράφουν απλώς το φαινόμενο ή δίνουν και κάποια εξήγηση (ερωτήσεις 1,2,3), αν η εξήγηση που δίνουν είναι σωστή ή περιέχει λάθη και παρανοήσεις και αν η ερμηνεία τους είναι μακροσκοπική ή μικροσκοπική, (2) τι αναφέρουν για τη σύσταση του νερού και του υδρατμού (ερωτήσεις 4, 5) και κυρίως αν δέχονται ότι το νερό και ο υδρατμός αποτελούνται από τα ίδια συστατικά ή όχι (ερώτηση 6) και (3) τα σχέδιά τους για το νερό και τον υδρατμό, αν είναι σωματιδιακά ή συνεχή και κυρίως αν τα σχεδιάζουν ίδια ή διαφορετικά (ερωτήσεις 7,8).

Στον Πίνακα 3.10 φαίνεται το πρότυπο των αναμενόμενων απαντήσεων για το βρασμό του νερού, δηλαδή το είδος των απαντήσεων που έπρεπε να δώσουν οι συμμετέχοντες σε κάθε ερώτηση προκειμένου να ενταχθούν σε έναν από τους 4 τύπους εξηγήσεων.

Στην εξήγηση 1 (αρχική), οι συμμετέχοντες περιγράφουν απλώς το φαινόμενο χωρίς να εξηγούν ή δίνουν μια εξήγηση σε εντελώς φαινομενικό επίπεδο, βασιζόμενη στη χρονική ακολουθία. Ο υδρατμός είναι κάτι διαφορετικό από το νερό ή αποτελεί ένα είδος νερού. Συχνά αναφέρουν ότι ο υδρατμός γίνεται νερό ή το νερό γίνεται υδρατμός, χωρίς να εξηγούν το πώς ή το γιατί και χωρίς να θεωρούν καν απαραίτητο να δώσουν μια ερμηνεία. Δεν δείχνουν να αντιλαμβάνονται την έννοια του “αποτελείται από”, αφού ακόμη και όταν απαντούν ότι ο υδρατμός αποτελείται από νερό, στα σχέδιά τους τον ζωγραφίζουν με διαφορετικό τρόπο από το νερό.

Στην εξήγηση 2 (εναλλακτική), οι συμμετέχοντες δίνουν κάποιου είδους εξήγηση (σε μακροσκοπικό ή μικροσκοπικό επίπεδο) η οποία όμως περιέχει λάθη και παρανοήσεις. Θεωρούν ότι το νερό έχει κάποια κοινά με τον υδρατμό, αλλά δεν είναι ίδιο. Στην προσπάθειά

τους να ερμηνεύσουν τα φαινόμενα αναφέρονται σε διαφορετική σύσταση των δύο σωματιδίων (πχ. το νερό έχει οξυγόνο και υδρογόνο, ενώ ο υδρατμός μόνο οξυγόνο ή μόνο υδρογόνο) ή μεταφέρουν μακροσκοπικές ιδιότητες της ύλης στο μικρόκοσμο (πχ. ο υδρατμός αποτελείται από ζεστά μόρια κτλ.). Στα σχέδιά τους (συνεχή ή σωματιδιακά) απεικονίζουν με διαφορετικό τρόπο το νερό και τον υδρατμό.

Στην εξήγηση 3 (επιστημονική μακροσκοπική), οι συμμετέχοντες δίνουν σωστή επιστημονικά εξήγηση για το βρασμό του νερού, η οποία όμως είναι κυρίως μακροσκοπική. Αναφέρουν δηλαδή ότι λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας το νερό μετατρέπεται από υγρό σε αέριο και ότι δεν ελαττώνεται αλλά αλλάζει κατάσταση. Απαντούν ότι και το νερό και ο υδρατμός αποτελούνται από τα ίδια συστατικά και στα σχέδιά τους τα απεικονίζουν με τον ίδιο τρόπο.

Στην εξήγηση 4 (επιστημονική μικροσκοπική), οι συμμετέχοντες δίνουν και πάλι σωστή επιστημονικά εξήγηση για το βρασμό του νερού, η ερμηνεία τους όμως είναι κυρίως μικροσκοπική. Ερμηνεύουν το φαινόμενο με αναφορά στο μικρόκοσμο και τις κινήσεις και τις αποστάσεις των σωματιδίων του οι οποίες αυξάνονται με την αύξηση της θερμοκρασίας του σώματος, το οποίο απεικονίζουν και στα σχέδιά τους.

Πίνακας 3.10: Πρότυπο Αναμενόμενων Απαντήσεων για το Βρασμό του Νερού

Εξήγηση		Ερώτηση 1 Εδώ βλέπεις το νερό που βράζει μέσα στο δοχείο. Πώς γίνεται αυτό;	Ερώτ. 2 Πού πάει το νερό; Γιατί ελαττώνεται;	Ερώτ. 3 Αυτό που βγαίνει πάνω από το νερό τι είναι;	Ερώτ. 4 Από τι αποτελείται το νερό;	Ερώτ. 5 Από τι αποτελείται ο υδρατμός;	Ερώτηση 6 Το νερό είναι το ίδιο πράγμα με τον υδρατμό; Έχουν τίποτα κοινό;	Ερώτ. 7 Σχεδιάσε πώς είναι μέσα το νερό.	Ερώτ. 8 Σχεδιάσε πώς είναι μέσα ο υδρατμός.
Initial	Εξήγηση 1 Χρονική ακολουθία σε επίπεδο φαινομενικό. Ο υδρατμός είναι διαφορετικός από το νερό ή ένα είδος νερού	Το νερό γίνεται υδρατμός, ο υδρατμός γίνεται νερό Περιγραφή και όχι εξήγηση του φαινομένου Εξήγηση σε φαινομενικό επίπεδο	Ατμός, Καπνός, Αέρας, ...	Νερό, σύννεφα, βροχή, ...	νερό, αέρα, νερό+αέρα, βραστό / εξατμισμένο νερό...	Όχι ή Ναι (αλλά περιγράφει χρονική σχέση πάγου-νερού)	Συνεχές	Συνεχές	Συνεχές
								Τα ζωγραφίζει διαφορετικά	
Alternative	Εξήγηση 2 το νερό έχει κάποια κοινά με τον υδρατμό, αλλά δεν είναι ίδιο	Κάποιου είδους εξήγηση (σε μακροσκοπικό ή μικροσκοπικό επίπεδο) + λάθη / παρανοήσεις Διαφορετική σύσταση των δύο σωματιδίων, μεταφορά μακροσκοπικών ιδιοτήτων της ύλης στο μικρόκοσμο (πχ. ζεστά μόρια ...)	αέρας, καπνός, οξυγόνο, ...	οξυγ+ υδρογ μόρια νερού ...	οξυγόνο ή υδρογόνο, οξυγ+υδρογ+ κάτι άλλο (αέρα, καπνό), ζεστά / βραστά / εξατμισμένα μόρια νερού	Όχι Ναι	Συνεχές ή Σωματιδ	Συνεχές ή Σωματιδ	
							Τα ζωγραφίζει διαφορετικά		



Scientific 1	<b>Εξήγηση 3</b> Και το νερό και ο υδρατμός αποτελούνται από τα ίδια συστατικά	Βράζει λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας και μετατρέπεται από Υγρό σε αέριο. Δεν ελαττώνεται, αλλάζει κατάσταση. (Κυρίως μακροσκοπική ερμηνεία)	Υδρατμός δηλαδή Νερό, υδρογ+οξυγ, Νερό σε αέρια κατάσταση	Νερό, υδρογ+οξυγ	Νερό, υδρογ+οξυγ	Ναι (ίδια συστατικά σε άλλη μορφή / κατάσταση)	Σωματιδ	Σωματιδ
							Τα ζωγραφίζει ίδια	
Scientific 2	<b>Εξήγηση 4</b> Και το νερό και ο υδρατμός αποτελούνται από <b>μόρια νερού</b> (H <sub>2</sub> O)	Βράζει λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας (στους 100ο) και μετατρέπεται από υγρό σε αέριο. Αυξάνεται η κινητική ενέργεια των μορίων του νερού (+οι αποστάσεις τους) Δεν ελαττώνεται, αλλάζει κατάσταση (Μικροσκοπική ερμηνεία)	Υδρατμός δηλαδή Νερό σε αέρια κατάσταση H <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> O μόρια νερού	H <sub>2</sub> O μόρια νερού	Ναι (είναι η ίδια χημική ένωση H <sub>2</sub> O, αλλάζουν οι αποστάσεις και οι κινήσεις των μορίων)	Σωματιδ	Σωματιδ
							Τα ζωγραφίζει ίδια	

## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑ ΕΡΓΟ

### Α) «Έργο για τις Αντιλήψεις των Μαθητών για την Ύλη»

Τα ποσοστά των συμμετεχόντων που τοποθετήθηκαν σε κάθε κατηγορία απάντησης σχετικά με τις αντιλήψεις τους για την ύλη φαίνονται στον Πίνακα 3.11. Παρατηρούμε ότι στο pretest η πλειοψηφία των μαθητών και των δύο τμημάτων δίνει απαντήσεις της κατηγορίας 2α (ενδιάμεση αντίληψη για την ύλη – ύλη με αισθητό βάρος ή όγκο), αρκετοί μαθητές δίνουν απαντήσεις της κατηγορίας 2β (ενδιάμεση αντίληψη για την ύλη – ύλη ορατή) και λιγότεροι μαθητές ανήκουν στην κατηγορία 1 (αρχική/διαισθητική αντίληψη για την ύλη – ύλη αντιληπτή με όλες τις αισθήσεις), ενώ δεν υπάρχουν απαντήσεις στις υπόλοιπες κατηγορίες. Μετά την παρέμβαση, όμως, ένα ποσοστό 22% των μαθητών του πειραματικού τμήματος ανήκει στην κατηγορία 2γ (ενδιάμεση αντίληψη για την ύλη – ύλη και μη ορατή) και ένα ποσοστό 17% ανήκει στην κατηγορία 3 (επιστημονική αντίληψη για την ύλη – ύλη ως βασικό συστατικό) και δεν υπάρχουν καθόλου απαντήσεις της αρχικής κατηγορίας 1, ενώ στο τμήμα ελέγχου το ποσοστό των μαθητών που ανήκουν στην κατηγορία 2γ είναι μικρότερο (11%) και δεν υπάρχουν απαντήσεις της κατηγορίας 3, ενώ ένα ποσοστό 17% εξακολουθεί να δίνει απαντήσεις της αρχικής κατηγορίας 1. Η ανάλυση του στατιστικού κριτηρίου chi-square έδειξε στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των δύο τμημάτων μόνο στο Posttest: pretest:  $X^2(2) = 1.120$ , ns και posttest:  $X^2(4) = 7,378$ ,  $p = 0.05$ .

Πίνακας 3.11: Ποσοστά Συμμετεχόντων ανά Κατηγορία Απαντήσεων για τις Αντιλήψεις για την Ύλη

Αντιλήψεις για την ύλη	Pretest		Posttest	
	Τμήμα ελέγχου	Τμήμα πειραμ.	Τμήμα ελέγχου	Τμήμα πειραμ.
Κατηγορία 1 (αρχική/διαισθητική αντίληψη για την ύλη – ύλη αντιληπτή με όλες τις αισθήσεις) (1)	28%	17%	17%	-
Κατηγορία 2α (ενδιάμεση αντίληψη α για την ύλη – ύλη με αισθητό βάρος ή όγκο) (2)	39%	56%	50%	33%
Κατηγορία 2β (ενδιάμεση αντίληψη β για την ύλη – ύλη ορατή) (3)	33%	28%	22%	28%
Κατηγορία 2γ (ενδιάμεση αντίληψη γ για την ύλη – ύλη και μη ορατή) (4)	-	-	11%	22%
Κατηγορία 3 (επιστημονική αντίληψη για την ύλη – ύλη ως βασικό συστατικό) (5)	-	-	-	17%

Οι απαντήσεις των συμμετεχόντων βαθμολογήθηκαν με 1 όταν είχαν αρχική αντίληψη για την ύλη (κατηγορία 1), με 2 όταν είχαν ενδιάμεση α αντίληψη για την ύλη (κατηγορία 2α), με 3 όταν είχαν ενδιάμεση β αντίληψη για την ύλη (κατηγορία 2β), με 4 όταν είχαν ενδιάμεση γ αντίληψη για την ύλη (κατηγορία 2γ) και με 5 όταν είχαν επιστημονική αντίληψη για την ύλη (κατηγορία 3). Υπολογίστηκε το συνολικό σκορ των συμμετεχόντων και των δύο τμημάτων και πραγματοποιήθηκε σύγκριση της επίδοσής τους με Αναλύσεις Διακύμανσης μονής Κατεύθυνσης – One Way ANOVAs (με εξαρτημένη μεταβλητή τις αντιλήψεις των συμμετεχόντων για την ύλη και ανεξάρτητη μεταβλητή το τμήμα) που έδειξε στατιστικά σημαντικές διαφορές μόνο στο posttest με το πειραματικό τμήμα να παρουσιάζει υψηλότερες επιδόσεις:  $F(1, 34) = 0,050$ , ns (τμ. ελέγχου: μ.ο.=2,06/5 τ.α.=0.80 και τμ. πειραματικό: μ.ο.=2,11/5 τ.α.=0,67) και posttest:  $F(1, 34) = 7,861$ ,  $p=0,008$  (τμ. ελέγχου: μ.ο.=2,28/5 τ.α.=0.89 και τμ. πειραματικό: μ.ο.=3,22/5 τ.α.=1,11). Φαίνεται δηλαδή ότι ενώ οι μαθητές των δύο τμημάτων είχαν αντίστοιχες επιδόσεις στο έργο για τις αντιλήψεις τους για την ύλη πριν την παρέμβαση, παρουσιάζουν στατιστικά σημαντικές διαφορές στην επίδοσή τους μετά την παρέμβαση, με το πειραματικό τμήμα να παρουσιάζει καλύτερη επίδοση. Παρόμοιο συμπέρασμα προκύπτει και από τη σύγκριση της επίδοσης των μαθητών κάθε τμήματος χωριστά στα pretest και posttest με Αναλύσεις Διακύμανσης Επαναλαμβανόμενων Μετρήσεων - Repeated Measures ANOVAs (με εξαρτημένη μεταβλητή τις αντιλήψεις των συμμετεχόντων για την ύλη και ανεξάρτητη μεταβλητή το χρόνο του τεστ), όπου φαίνεται ότι μετά την παρέμβαση έχουμε βελτίωση της επίδοσης των μαθητών του πειραματικού τμήματος σε αρκετά μεγαλύτερο βαθμό σχέση με το τμήμα ελέγχου: τμήμα ελέγχου:  $F(1, 17)= 4,857$ ,  $p=0,04$  (pretest:

μ.ο.=2,06/5 τ.α.=0.80, posttest: μ.ο.=2,28/5 τ.α.=0.89) και τμήμα πειραματικό:  $F(1, 17)= 48,571$ ,  $p<0,001$  (pretest: μ.ο.=2,11/5 τ.α.=0,676 και posttest: μ.ο.=3,22/5 τ.α.=1,114).

## **B) «Έργο για τις Επιστημικές Πεποιθήσεις των Μαθητών»**

Με βάση τις απαντήσεις τους σε όλες τις ερωτήσεις του ερωτηματολογίου των επιστημικών πεποιθήσεων σε όλες τις ομάδες ερωτήσεων ο κάθε ένας από τους συμμετέχοντες τοποθετήθηκε σε ένα τελικό επίπεδο επιστημικών πεποιθήσεων. Όπως ήδη αναφέρθηκε, πιο εκλεπτυσμένες απαντήσεις του αρχικού επιπέδου 1, τοποθετήθηκαν στο επίπεδο 1.5 και λιγότερο εκλεπτυσμένες απαντήσεις του επιστημονικού επιπέδου 3, τοποθετήθηκαν στο επίπεδο 2.5, προκειμένου να φανεί η διαφοροποίηση μεταξύ των μαθητών. Τα ποσοστά των συμμετεχόντων που τοποθετήθηκαν σε κάθε ένα επίπεδο επιστημικών πεποιθήσεων συνολικά (για όλες μαζί τις ομάδες ερωτήσεων του ερωτηματολογίου), φαίνονται στον Πίνακα 3.12.

Παρατηρούμε ότι στο pretest η πλειοψηφία των μαθητών και των δύο τμημάτων βρίσκεται στο αρχικό επίπεδο 1 και οι υπόλοιποι στο ενδιάμεσο επίπεδο 1,5, χωρίς μεγάλες διαφορές μεταξύ των δύο τμημάτων. Μετά την παρέμβαση, όμως, στο πειραματικό τμήμα μειώνεται σημαντικά το ποσοστό των μαθητών που βρίσκονται στο αρχικό επίπεδο 1, αυξάνεται σημαντικά το ποσοστό των μαθητών που βρίσκονται στο επίπεδο 1,5 και εμφανίζεται και ένα ποσοστό 28% που βρίσκεται στο επίπεδο 2, ενώ στο τμήμα ελέγχου η πλειοψηφία των μαθητών παραμένουν στο επίπεδο 1 και οι υπόλοιποι στο επίπεδο 1,5. Η ανάλυση του στατιστικού κριτηρίου chi-square έδειξε στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των δύο τμημάτων μόνο στο Posttest: pretest:  $X^2(1)=0.643$ , ns και posttest:  $X^2(2)=9,248$ ,  $p = 0.01$ .

Πίνακας 3.12: Ποσοστά Συμμετεχόντων ανά Επίπεδο Επιστημικών Πεποιθήσεων

Επιστημικές πεποιθήσεις	Pretest		Posttest	
	Τμήμα ελέγχου	Τμήμα πειραμ.	Τμήμα ελέγχου	Τμήμα πειραμ.
Επίπεδο 1 (1)	83%	72%	72%	28%
Επίπεδο 1,5 (1,5)	17%	28%	28%	44%
Επίπεδο 2 (2)	-	-	-	28%
Επίπεδο 2,5 (2,5)	-	-	-	-
Επίπεδο 3 (3)	-	-	-	-

Υπολογίστηκε το συνολικό σκορ των συμμετεχόντων και των δύο τμημάτων και πραγματοποιήθηκε σύγκριση της επίδοσής τους με Αναλύσεις Διακύμανσης μονής Κατεύθυνσης – One Way ANOVAs (με εξαρτημένη μεταβλητή τις επιστημικές πεποιθήσεις

των συμμετεχόντων και ανεξάρτητη μεταβλητή το τμήμα) που έδειξε στατιστικά σημαντικές διαφορές μόνο στο posttest με το πειραματικό τμήμα να παρουσιάζει υψηλότερες επιδόσεις: pretest:  $F(1, 34) = 0,618$ , ns (τμ. ελέγχου:  $\mu.o.=1,08/3$  τ.α.=0.19 και τμ. πειραματικό:  $\mu.o.=1,14/3$  τ.α.=0,23) και posttest:  $F(1, 34) = 11,727$ ,  $p=0,002$  (τμ. ελέγχου:  $\mu.o.=1,14/3$  τ.α.=0.23 και τμ. πειραματικό:  $\mu.o.=1,50/3$  τ.α.=0,38). Φαίνεται δηλαδή ότι ενώ οι μαθητές των δύο τμημάτων βρίσκονταν σε αντίστοιχα επίπεδα επιστημικών πεποιθήσεων πριν την παρέμβαση, παρουσιάζουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μετά την παρέμβαση, με το πειραματικό τμήμα να παρουσιάζει καλύτερη βελτίωση στο επίπεδο των επιστημικών του πεποιθήσεων. Το ίδιο συμπέρασμα προκύπτει και από τη σύγκριση της επίδοσης των μαθητών κάθε τμήματος χωριστά στα pretest και posttest με Αναλύσεις Διακύμασης Επαναλαμβανόμενων Μετρήσεων - Repeated Measures ANOVAs (με εξαρτημένη μεταβλητή τις επιστημικές πεποιθήσεις των συμμετεχόντων και ανεξάρτητη μεταβλητή το χρόνο του τεστ), όπου φαίνεται ότι μετά την παρέμβαση δεν παρουσιάζεται στατιστικά σημαντική βελτίωση στην επίδοση των μαθητών του τμήματος ελέγχου, αλλά μόνο στο πειραματικό τμήμα: τμήμα ελέγχου:  $F(1, 17)= 2,125$ , ns (pretest:  $\mu.o.=1,08/3$  τ.α.=0.19, posttest:  $\mu.o.=1,14/3$  τ.α.=0.23) και τμήμα πειραματικό:  $F(1, 17)= 44,200$ ,  $p<0,001$  (pretest:  $\mu.o.=1,14/3$  τ.α.=0,23 και posttest:  $\mu.o.=1,50/3$  τ.α.=0,38).

### Γ) « Έργο Κατηγοριοποίησης Υλικών Σωμάτων»

Η ομαδοποίηση των απαντήσεων στις ερωτήσεις κατηγοριοποίησης φαίνεται στον Πίνακα 3.13, μαζί με τα ποσοστά που συγκέντρωσε το κάθε είδος απάντησης στο κάθε τμήμα (ελέγχου – πειραματικό) στο pretest και στο posttest, καθώς και το σκορ κάθε απάντησης.

Πίνακας 3.13: Απαντήσεις Συμμετεχόντων στις Ερωτήσεις Κατηγοριοποίησης

Ερωτήσεις	Απαντήσεις	Pretest		Posttest	
		Τμήμα ελέγχου	Τμήμα πειραμ.	Τμήμα ελέγχου	Τμήμα Πειραμ.
1. Θέλω να βάλεις μαζί αυτά τα πράγματα που ανήκουν στην ίδια κατηγορία, στην ίδια ομάδα. Θέλω να βάλεις μαζί αυτά που πάνε μαζί.	1. Χρησιμοποιούν άλλες κατηγορίες (με βάση την ομοιότητα, χρήση) (1)	11 (61%)	14 (78%)	10 (56%)	4 (22%)
	2. Χωρίζουν στερεά, υγρά, αέρια (2)	6 (33%)	4 (22%)	8 (44%)	7 (39%)
	3 Τα βάζουν σε μία κατηγορία (H <sub>2</sub> O) (3)	1 (6%)	-	-	7 (39%)
2. Υπάρχει άλλος τρόπος που μπορείς να τα βάλεις μαζί;	1. Χρησιμοποιούν άλλες κατηγορίες (με βάση την ομοιότητα, χρήση) (1)	6 (33%)	1 (6%)	3 (17%)	2 (11%)
	2. Χωρίζουν στερεά, υγρά, αέρια (2)	2 (11%)	2 (11%)	-	5 (28%)
	3 Τα βάζουν σε μία κατηγορία (H <sub>2</sub> O) (3)	-	2 (11%)	-	2 (28%)
	4. Δεν απαντούν (0)	10 (56%)	13 (72%)	15 (83%)	9 (50%)

3. Μπορείς να χωρίσεις τα αντικείμενα σε στερεά, υγρά και αέρια;	1. Δε χωρίζουν στερεά, υγρά, αέρια (1)	5 (28%)	3 (17%)	6 (33%)	1 (6%)
	2. Χωρίζουν στερεά, υγρά, αέρια (2)	13 (72%)	15 (83%)	12 (67%)	17 (94%)
4. Θα μπορούσαν να μπουν όλα τα αντικείμενα σε μία κατηγορία; Γιατί; Γιατί όχι;	1. ΟΧΙ, γιατί δεν πάνε μαζί Στερεά, Υγρά και Αέρια (1)	3 (17%)	3 (17%)	1 (6%)	1 (6%)
	2. ΟΧΙ δεν ταιριάζουν / δεν είναι ίδια (1)	7 (39%)	9 (50%)	8 (44%)	3 (17%)
	3. ΝΑΙ, είναι νερό σε διαφορετική φυσική κατάσταση (2)	6 (33%)	6 (33%)	6 (33%)	8 (44%)
	4. ΝΑΙ, είναι η ίδια χημική ένωση H <sub>2</sub> O (3)	-	-	1 (6%)	6 (33%)
	5. Δεν απαντά (0)	2 (11%)	-	2 (11%)	-

Παρατηρούμε ότι στο pretest δεν υπάρχουν μεγάλες διαφορές στην κατανομή των απαντήσεων των μαθητών των δύο τμημάτων σε κάθε μία από τις 4 ερωτήσεις κατηγοριοποίησης. Αναλυτικότερα, στην πρώτη ερώτηση η πλειοψηφία των μαθητών και των δύο τμημάτων χρησιμοποιεί ως κριτήριο κατηγοριοποίησης την ομοιότητα και οι υπόλοιποι τη φυσική κατάσταση και μόνο ένας μαθητής κατηγοριοποιεί τα σώματα βάσει της μοριακής τους δομής. Στη συνέχεια, βέβαια, καθώς οι ερωτήσεις γίνονται πιο συγκεκριμένες, ανεβαίνει το ποσοστό των μαθητών που κατηγοριοποιούν τα σώματα βάσει της φυσικής τους κατάστασης και στα δύο τμήματα και μένει μόνο ένα μικρό ποσοστό (28% και 17%, αντίστοιχα) που δεν μπορεί να κάνει τη διάκριση. Στην τελευταία ερώτηση παρατηρούμε μία σταδιακή αύξηση του ποσοστού των μαθητών που κατηγοριοποιούν τα σώματα βάσει της κοινής μοριακής τους δομής, το οποίο είναι ίδιο και για τα δύο τμήματα (33%).

Στο posttest, όμως, οι διαφορές μεταξύ των δύο τμημάτων αρχίζουν να γίνονται εμφανείς, με το πειραματικό τμήμα να παρουσιάζει καλύτερη επίδοση. Αναλυτικότερα, στην πρώτη ερώτηση ένα σημαντικό ποσοστό (39%) των μαθητών του πειραματικού τμήματος κατηγοριοποιεί τα σώματα βάσει της μοριακής τους δομής, ενώ στο τμήμα ελέγχου η πλειοψηφία εξακολουθεί να κατηγοριοποιεί βάσει της ομοιότητας. Στη συνέχεια, όταν οι μαθητές καλούνται να χωρίσουν τα σώματα σε στερεά, υγρά και αέρια το ποσοστό των μαθητών του πειραματικού τμήματος που το επιτυγχάνει είναι αυξημένο αρκετά σε σχέση με του τμήματος ελέγχου. Τέλος, στην τελευταία ερώτηση η παρατηρούμε ότι η πλειοψηφία των μαθητών του πειραματικού τμήματος (44%) απαντά ότι μπορούν τα σώματα αυτά να μπουν σε μία κατηγορία και μάλιστα ένα ποσοστό 33% εξηγεί ότι πρόκειται για την ίδια χημική ένωση, ενώ στο τμήμα ελέγχου η πλειοψηφία (44%) συνεχίζει να θεωρεί ότι δεν ταιριάζουν.

Υπολογίστηκε η επίδοση των συμμετεχόντων των δύο τμημάτων στις ερωτήσεις κατηγοριοποίησης στο pretest και στο posttest και πραγματοποιήθηκε η σύγκρισή τους με Αναλύσεις Διακύμανσης Μονής Κατεύθυνσης One-Way ANOVAs (με εξαρτημένη μεταβλητή

τις κατηγοριοποιήσεις των συμμετεχόντων και ανεξάρτητη μεταβλητή το τμήμα) που έδειξε στατιστικά σημαντική διαφορά στην επίδοση των δύο τμημάτων μόνο στο posttest με το πειραματικό τμήμα να συγκεντρώνει υψηλότερο μέσο όρο: Pretest  $F(1,34) = 0,077$ ; ns και Posttest  $F(1,34) = 16,377$ ;  $p < 0,001$  (τμ. ελέγχου: μ.ο.=5,17/11 και τμ. πειραματικό: μ.ο.=5,00/11).

Στη συνέχεια, θελήσαμε να εξετάσουμε λεπτομερέστερα τις απαντήσεις των συμμετεχόντων στις δύο τελευταίες ερωτήσεις κατηγοριοποίησης συνδυαστικά. Θελήσαμε να ελέγξουμε αν οι συμμετέχοντες οι οποίοι κατηγοριοποιούν τα αντικείμενα βάσει της φυσικής τους κατάστασης (στερεά, υγρά, αέρια) μπορούν να τα κατηγοριοποιήσουν και βάσει της μοριακής τους δομής ή όχι. Έτσι, έγινε ένας συνδυασμός των διαφορετικών απαντήσεών τους στις δύο αυτές ερωτήσεις και προέκυψαν τέσσερις διαφορετικοί τύποι απαντήσεων, όπως και στη δεύτερη έρευνα, οι οποίοι φαίνονται στον Πίνακα 3.14: 1. ΟΧΙ Στερεά, Υγρά, Αέρια (δε χωρίζουν τα αντικείμενα σε στερεά, υγρά και αέρια και δεν τα βάζουν και σε μία κατηγορία, απαντώντας ότι δεν μπορούν να μπουν μαζί) και αυτός ο τύπος απάντησης βαθμολογήθηκε με (1), 2. Στερεά – Υγρά – Αέρια (χωρίζουν τα αντικείμενα σε στερεά, υγρά και αέρια, αλλά δεν τα βάζουν σε μία κατηγορία, απαντώντας ότι δεν ταιριάζουν ή ότι δεν μπορούν να μπουν μαζί τα στερεά, τα υγρά και τα αέρια) και αυτός ο τύπος απάντησης βαθμολογήθηκε με (2), 3. Στερεά + Υγρά + Αέρια + Επιστημονική Εξήγηση Μακροσκοπική (οι συμμετέχοντες χωρίζουν τα αντικείμενα σε στερεά, υγρά και αέρια και τα βάζουν και σε μία κατηγορία αιτιολογώντας σωστά την επιλογή τους μακροσκοπικά, απαντούν δηλαδή ότι τα αντικείμενα μπορούν να μπουν σε μία κατηγορία γιατί είναι όλα νερό σε διαφορετική φυσική κατάσταση, είναι η στερεή, υγρή και αέρια μορφή του νερού κτλ.) και αυτός ο τύπος απάντησης βαθμολογήθηκε με (3) και 4. Στερεά + Υγρά + Αέρια + Επιστημονική Εξήγηση Μικροσκοπική (οι συμμετέχοντες χωρίζουν τα αντικείμενα σε στερεά, υγρά και αέρια και τα βάζουν και σε μία κατηγορία αιτιολογώντας σωστά την επιλογή τους μικροσκοπικά, απαντούν δηλαδή ότι τα αντικείμενα μπορούν να μπουν σε μία κατηγορία γιατί είναι όλα η ίδια χημική ένωση  $H_2O$ ) και αυτός ο τύπος απάντησης βαθμολογήθηκε με (4).

Πίνακας 3.14: Απαντήσεις Συμμετεχόντων στις 2 τελευταίες Ερωτήσεις Κατηγοριοποίησης

Ερωτήσεις	Απαντήσεις	Pretest		Posttest	
		Τμήμα ελέγχου	Τμήμα πειραμ	Τμήμα ελέγχου	Τμήμα πειραμ
Ερωτήσεις 3 + 4	1. ΟΧΙ Στερεά, Υγρά, Αέρια (1)	5 (28%)	3 (17%)	6 (33%)	1 (6%)
	2. Στερεά – Υγρά – Αέρια (2)	7 (39%)	9 50%)	5 (28%)	3 (14%)
	3. Στερεά + Υγρά + Αέρια + Επιστ. Εξήγηση Μακροσκοπική (3)	6 (33%)	6 (33%)	6 (33%)	8 (44%)
	4. Στερεά + Υγρά + Αέρια + Επιστ. Εξήγηση Μικροσκοπική (4)	-	-	1 (6%)	6 (33%)

Πραγματοποιήθηκε σύγκριση των απαντήσεων των συμμετεχόντων των δύο τμημάτων και η ανάλυση του στατιστικού κριτηρίου chi-square έδειξε στατιστικά σημαντικές διαφορές ως προς το τμήμα μόνο στο posttest: pretest  $X^2(2) = 0,750$ , ns και posttest  $X^2(3) = 7,929$ ,  $p=0,04$ . Επίσης, υπολογίστηκε η επίδοση των συμμετεχόντων των δύο τμημάτων στις δύο αυτές ερωτήσεις κατηγοριοποίησης στο pretest και στο posttest και πραγματοποιήθηκε η σύγκρισή τους με Αναλύσεις Διακύμανσης Μονής Κατεύθυνσης One-Way ANOVAs (με εξαρτημένη μεταβλητή τις κατηγοριοποιήσεις των συμμετεχόντων και ανεξάρτητη μεταβλητή το τμήμα), που έδειξαν στατιστικά σημαντική διαφορά στην επίδοση των δύο τμημάτων μόνο στο posttest με το πειραματικό τμήμα να συγκεντρώνει υψηλότερο μέσο όρο: pretest:  $F(1, 34) = 0,077$ , ns (μ.ο. τμ. ελέγχου=2,39/4 τ.α.=1,24 και μ.ο. τμ. πειραμ.=2,50/4 τ.α.=1,15) και posttest:  $F(1, 34) = 8,918$ ,  $p=0,005$  (μ.ο. τμ. ελέγχου=2,50/4 τ.α.=1,42 και μ.ο. τμ. πειραμ.=3,83/4 τ.α.=1,25). Φαίνεται δηλαδή ότι ενώ οι μαθητές των δύο τμημάτων είχαν αντίστοιχες επιδόσεις στο έργο κατηγοριοποίησης πριν την παρέμβαση, παρουσιάζουν στατιστικά σημαντικές διαφορές στην επίδοσή τους μετά την παρέμβαση, με το πειραματικό τμήμα να παρουσιάζει καλύτερη επίδοση. Το ίδιο συμπέρασμα προκύπτει και από τη σύγκριση της επίδοσης των μαθητών κάθε τμήματος χωριστά στα pretest – posttest με Αναλύσεις Διακύμανσης Επαναλαμβανόμενων Μετρήσεων - Repeated Measures ANOVAs (με εξαρτημένη μεταβλητή τις κατηγοριοποιήσεις των συμμετεχόντων και ανεξάρτητη μεταβλητή το χρόνο του τεστ), όπου φαίνεται ότι μετά την παρέμβαση δεν παρουσιάζεται στατιστικά σημαντική βελτίωση στην επίδοση των μαθητών του τμήματος ελέγχου, αλλά μόνο στο πειραματικό τμήμα: τμήμα ελέγχου:  $F(1, 17) = 0,486$ , ns (μ.ο. pretest= 2,39/4 τ.α.=1,24, μ.ο. posttest=2,50/4 τ.α.=1,42) και τμήμα πειραματικό:  $F(1, 17) = 45,333$ ,  $p<0,001$  (μ.ο. pretest= 2,50/4 τ.α.=1,15, μ.ο. posttest=3,83/4 τ.α.=1,24).

#### **Δ) « Έργο Ερμηνείας Φαινομένου - Τήξη Πάγου»**

Τα ποσοστά των συμμετεχόντων που τοποθετήθηκαν σε κάθε τύπο εξήγησης για την τήξη του πάγου φαίνονται στον Πίνακα 3.15. Παρατηρούμε ότι στο pretest οι μαθητές και των δύο τμημάτων δίνουν εξηγήσεις αρχικές ή εναλλακτικές για την τήξη του πάγου. Μετά την παρέμβαση, όμως, η πλειοψηφία των μαθητών του πειραματικού τμήματος (55%) δίνει εναλλακτική εξήγηση αλλά ένα σημαντικό ποσοστό 28% δίνει επιστημονική (μακροσκοπική) εξήγηση, ενώ στο τμήμα ελέγχου η πλειοψηφία εξακολουθεί να δίνει αρχική ή εναλλακτική εξήγηση (56% και 33%) και μόνο ένα ποσοστό 11% δίνει επιστημονική μακροσκοπική εξήγηση. Η ανάλυση του στατιστικού κριτηρίου chi-square έδειξε στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των δύο τμημάτων μόνο στο Posttest: pretest:  $X^2(1) = 0.000$ , ns και posttest:  $X^2(2) = 6,055$ ,  $p = 0.04$ .

Πίνακας 3.15: Ποσοστά Συμμετεχόντων ανά τύπο Εξήγησης για την Τήξη του Πάγου

Τήξη πάγου	Pretest		Posttest	
	Τμήμα ελέγχου	Τμήμα πειραμ	Τμήμα ελέγχου	Τμήμα πειραμ
<b>Εξήγηση 1</b> (αρχική) <i>Ο πάγος είναι κάτι διαφορετικό από το νερό ή ένα είδος νερού</i> (1)	61%	61%	56%	17%
<b>Εξήγηση 2</b> (εναλλακτική) <i>Το νερό έχει κάποια κοινά με τον πάγο, αλλά δεν είναι ίδιο</i> (2)	39%	39%	33%	55%
<b>Εξήγηση 3</b> (επιστημονική Α) <i>Και το νερό και ο πάγος αποτελούνται από τα ίδια συστατικά (κυρίως μακροσκοπική ερμηνεία)</i> (3)	-	-	11%	28%
<b>Εξήγηση 4</b> (επιστημονική Β) <i>Και το νερό και ο πάγος αποτελούνται από μόρια νερού, H<sub>2</sub>O ( μικροσκοπική ερμηνεία)</i> (4)	-	-	-	-

Οι εξηγήσεις των συμμετεχόντων για την τήξη του πάγου βαθμολογήθηκαν με 1 όταν έδιναν αρχική ερμηνεία του φαινομένου, με 2 όταν έδιναν εναλλακτική ερμηνεία του φαινομένου, με 3 όταν έδιναν επιστημονική ερμηνεία μακροσκοπική και με 4 όταν έδιναν επιστημονική ερμηνεία μικροσκοπική (με αναφορά στις κινήσεις και τις αποστάσεις των σωματιδίων του μικρόκοσμου). Υπολογίστηκε το συνολικό σκορ των συμμετεχόντων και των δύο τμημάτων και πραγματοποιήθηκε σύγκριση της επίδοσής τους με Αναλύσεις Διακύμανσης Μονής Κατεύθυνσης One-Way ANOVAs (με εξαρτημένη μεταβλητή τις εξηγήσεις των συμμετεχόντων για την τήξη του πάγου και ανεξάρτητη μεταβλητή το τμήμα), που έδειξαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μόνο στο posttest με το πειραματικό τμήμα να παρουσιάζει υψηλότερες επιδόσεις: pretest:  $F(1, 34) = 0,000$ , ns (τμ. ελέγχου:  $\mu.o.=1,39/4$   $\tau.a.=0.50$  και τμ. πειραματικό:  $\mu.o.=1,39/4$   $\tau.a.=0.50$ ) και posttest:  $F(1, 34) = 5,822$ ,  $p=0,021$  (τμ. ελέγχου:  $\mu.o.=1,56/4$   $\tau.a.=0.70$  και τμ. πειραματικό:  $\mu.o.=2,11/4$   $\tau.a.=0,67$ ). Φαίνεται δηλαδή ότι ενώ οι μαθητές των δύο τμημάτων είχαν αντίστοιχες επιδόσεις στο έργο για την ερμηνεία της τήξης του πάγου πριν την παρέμβαση, παρουσιάζουν στατιστικά σημαντικές διαφορές στην επίδοσή τους μετά την παρέμβαση, με το πειραματικό τμήμα να παρουσιάζει καλύτερη επίδοση. Το ίδιο συμπέρασμα προκύπτει και από τη σύγκριση της επίδοσης των μαθητών κάθε τμήματος χωριστά στα pretest και posttest με Αναλύσεις Διακύμανσης Επαναλαμβανόμενων Μετρήσεων - Repeated Measures ANOVAs (με εξαρτημένη μεταβλητή τις εξηγήσεις των συμμετεχόντων για την τήξη του πάγου και ανεξάρτητη μεταβλητή το χρόνο του τεστ), όπου φαίνεται ότι μετά την παρέμβαση δεν παρουσιάζεται στατιστικά σημαντική βελτίωση στην επίδοση των μαθητών του τμήματος ελέγχου, αλλά μόνο στο πειραματικό τμήμα: τμήμα ελέγχου:  $F(1, 17)= 3,400$ , ns (pretest:  $\mu.o.=1,39/4$ ,  $\tau.a.=0.50$ , posttest:  $\mu.o.=1,56/4$   $\tau.a.=0.70$ ) και τμήμα πειραματικό:  $F(1, 17)= 44,200$ ,  $p<0,001$  (pretest:  $\mu.o.=1,39/4$ ,  $\tau.a.=0.50$  και posttest:  $\mu.o.=2,11/4$   $\tau.a.=0,67$ ).



### Ε) «Έργο Ερμηνείας Φαινομένου – Βρασμός Νερού»

Τα ποσοστά των συμμετεχόντων που τοποθετήθηκαν σε κάθε τύπο εξήγησης για το βρασμό του νερού φαίνονται στον Πίνακα 3.16. Παρατηρούμε ότι στο pretest οι μαθητές και των δύο τμημάτων δίνουν εξηγήσεις αρχικές ή εναλλακτικές για το βρασμό του νερού. Μετά την παρέμβαση, όμως, η πλειοψηφία των μαθητών του πειραματικού τμήματος (55%) δίνει εναλλακτική εξήγηση αλλά ένα σημαντικό ποσοστό 28% δίνει επιστημονική (μακροσκοπική) εξήγηση, ενώ στο τμήμα ελέγχου η πλειοψηφία εξακολουθεί να δίνει αρχική ή εναλλακτική εξήγηση (61% και 28%) και μόνο ένα ποσοστό 11% δίνει επιστημονική μακροσκοπική εξήγηση. Η ανάλυση του στατιστικού κριτηρίου chi-square έδειξε στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των δύο τμημάτων μόνο στο Posttest: pretest:  $X^2(1) = 0.000$ , ns και posttest:  $X^2(2) = 7,524$ ,  $p = 0.023$ .

Πίνακας 3.16: Ποσοστά Συμμετεχόντων ανά τύπο Εξήγησης για το Βρασμό του Νερού

Βρασμός νερού	Pretest		Posttest	
	Τμήμα ελέγχου	Τμήμα πειραμ	Τμήμα ελέγχου	Τμήμα πειραμ
<b>Εξήγηση 1</b> (αρχική) <i>Ο υδρατμός είναι κάτι διαφορετικό από το νερό ή ένα είδος νερού</i> (1)	67%	67%	61%	17%
<b>Εξήγηση 2</b> (εναλλακτική) <i>Το νερό έχει κάποια κοινά με τον υδρατμό, αλλά δεν είναι ίδιο</i> (2)	33%	33%	28%	55%
<b>Εξήγηση 3</b> (επιστημονική μακροσκοπική) <i>Και το νερό και ο υδρατμός αποτελούνται από τα ίδια συστατικά</i> (3)	-	-	11%	28%
<b>Εξήγηση 4</b> (επιστημονική μικροσκοπική) <i>Και το νερό και ο υδρατμός αποτελούνται από μόρια νερού, H<sub>2</sub>O</i> (4)	-	-	-	-

Οι εξηγήσεις των συμμετεχόντων για το βρασμό του νερού βαθμολογήθηκαν με 1 όταν έδιναν αρχική ερμηνεία του φαινομένου, με 2 όταν έδιναν εναλλακτική ερμηνεία του φαινομένου, με 3 όταν έδιναν επιστημονική ερμηνεία μακροσκοπική και με 4 όταν έδιναν επιστημονική ερμηνεία μικροσκοπική (με αναφορά στις κινήσεις και τις αποστάσεις των σωματιδίων του μικρόκοσμου). Υπολογίστηκε το συνολικό σκορ των συμμετεχόντων και των δύο τμημάτων και πραγματοποιήθηκε σύγκριση της επίδοσής τους με Αναλύσεις Διακύμανσης Μονής Κατεύθυνσης One-Way ANOVAs (με εξαρτημένη μεταβλητή τις εξηγήσεις των συμμετεχόντων για το βρασμό του νερού και ανεξάρτητη μεταβλητή το τμήμα), που έδειξαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μόνο στο posttest με το πειραματικό τμήμα να παρουσιάζει υψηλότερες επιδόσεις: pretest:  $F(1, 34) = 0,000$ , ns (τμ. ελέγχου:  $\mu.o.=1,33/4$   $\tau.a.=0.48$  και τμ. πειραματικό:  $\mu.o.=1,33/4$   $\tau.a.=0.48$ ) και posttest:  $F(1, 34) = 7,020$ ,  $p=0,012$  (τμ. ελέγχου:

μ.ο.=1,50/4 τ.α.=0.70 και τμ. πειραματικό: μ.ο.=2,11/4 τ.α.=0.67). Φαίνεται δηλαδή ότι ενώ οι μαθητές των δύο τμημάτων είχαν αντίστοιχες επιδόσεις στο έργο για την ερμηνεία του βρασμού του νερού πριν την παρέμβαση, παρουσιάζουν στατιστικά σημαντικές διαφορές στην επίδοσή τους μετά την παρέμβαση, με το πειραματικό τμήμα να παρουσιάζει καλύτερη επίδοση. Το ίδιο συμπέρασμα προκύπτει και από τη σύγκριση της επίδοσης των μαθητών κάθε τμήματος χωριστά στα pretest και posttest με Αναλύσεις Διακύμανσης Επαναλαμβανόμενων Μετρήσεων - Repeated Measures ANOVAs (με εξαρτημένη μεταβλητή τις εξηγήσεις των συμμετεχόντων για το βρασμό του νερού και ανεξάρτητη μεταβλητή το χρόνο του τεστ), όπου φαίνεται ότι μετά την παρέμβαση δεν παρουσιάζεται στατιστικά σημαντική βελτίωση στην επίδοση των μαθητών του τμήματος ελέγχου, αλλά μόνο στο πειραματικό τμήμα: τμήμα ελέγχου:  $F(1, 17)= 1,889$ , ns (pretest: μ.ο.=1,33/4 τ.α.=0.485, posttest: μ.ο.=1,50/4 τ.α.=0.70) και τμήμα πειραματικό:  $F(1, 17)= 59,500$ ,  $p<0,001$  (pretest: μ.ο.=1,33/4 τ.α.=0.48 και posttest: μ.ο.=2,11/4 τ.α.=0,67).

Στην συνέχεια εξετάστηκαν οι απαντήσεις των συμμετεχόντων των δύο τμημάτων συνδυαστικά και για τα δύο φαινόμενα, την τήξη του πάγου και το βρασμό του νερού. Οι συμμετέχοντες κατηγοριοποιήθηκαν σε 3 κατηγορίες απαντήσεων: 1) Αρχικές Εξηγήσεις, όταν δίνουν αρχική εξήγηση και για τα δύο φαινόμενα, 2) Εναλλακτικές Εξηγήσεις, όταν δίνουν εναλλακτικές εξηγήσεις και για τα δύο φαινόμενα ή αρχική εξήγηση για το ένα και εναλλακτική για το άλλο και 3) Επιστημονικές Εξηγήσεις, όταν δίνουν επιστημονική εξήγηση και για τα δύο φαινόμενα.

Πίνακας 3.17: Ποσοστά Συμμετεχόντων ανά τύπο Εξήγησης και για τα 2 Φαινόμενα

		Pretest		Posttest	
		Τμήμα ελέγχου	Τμήμα πειραμ	Τμήμα ελέγχου	Τμήμα πειραμ
<b>Αρχικές Εξηγήσεις</b>	(1)	61%	61%	56%	11%
<b>Εναλλακτικές Εξηγήσεις</b>	(2)	39%	39%	33%	61%
<b>Επιστημονικές Εξηγήσεις</b>	(3)	-	-	11%	28%

Στον πίνακα 3.17 φαίνεται η κατανομή των συμμετεχόντων βάσει των εξηγήσεων που έδωσαν και για τα δύο φαινόμενα (τήξη πάγου και βρασμός νερού) καθώς και η βαθμολογία κάθε είδους εξήγησης. Και σε αυτή την περίπτωση η Ανάλυση Διακύμανσης Μονής Κατεύθυνσης One-Way ANOVAs (με εξαρτημένη μεταβλητή τις εξηγήσεις των συμμετεχόντων και ανεξάρτητη μεταβλητή το τμήμα), έδειξε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των δύο τμημάτων μόνο στο posttest: pretest:  $F(1,34)=0,000$ , ns (τμ. ελέγχου: μ.ο.=1,39/3 τ.α.=0.50 και τμ. πειραματικό: μ.ο.=1,39/3 τ.α.=0.50) και posttest:  $F(1,34)=7,647$ ,

$p=0,009$  (τμ. ελέγχου:  $\mu.o.=1,56/3$   $\tau.a.=0.70$  και τμ. πειραματικό:  $\mu.o.=2,17/3$   $\tau.a.=0,61$ ). Ενώ από τις Αναλύσεις Διακύμανσης Επαναλαμβανόμενων Μετρήσεων - Repeated Measures ANOVAs (με εξαρτημένη μεταβλητή τις εξηγήσεις των συμμετεχόντων και ανεξάρτητη μεταβλητή το χρόνο του τεστ) προκύπτει ότι μετά την παρέμβαση δεν παρουσιάζεται στατιστικά σημαντική βελτίωση στην επίδοση των μαθητών του τμήματος ελέγχου, αλλά μόνο στο πειραματικό τμήμα: τμήμα ελέγχου:  $F(1,17)=3,4$ , ns (pretest:  $\mu.o.=1,39$   $\tau.a.=0.50$ , posttest:  $\mu.o.=1,56$   $\tau.a.=0.70$ ) και τμήμα πειραματικό:  $F(1,17)=59,50$ ,  $p<0,001$  (pretest:  $\mu.o.=1,39$   $\tau.a.=0.50$  και posttest:  $\mu.o.=2,17$   $\tau.a.=0,61$ ).

### **Συγκεντρωτικά Αποτελέσματα**

Τα αποτελέσματα της έρευνας δείχνουν ότι η διδασκτική παρέμβαση προώθησε τη διαδικασία της εννοιολογικής αλλαγής, αφού βοήθησε τους μαθητές να μεταβούν από μια αρχική θεωρία για την ύλη που γίνεται αντιληπτή με τις αισθήσεις και που τα υλικά κατηγοριοποιούνται βάσει των μακροσκοπικών τους ιδιοτήτων σε μια θεωρία για την ύλη που προσεγγίζει περισσότερο την επιστημονική σωματιδιακή θεωρία για την ύλη, όπου η ύλη είναι στοιχειώδες συστατικό που διατηρείται, έχει βάρος και καταλαμβάνει χώρο, αποτελείται από σωματίδια μη ορατά σε εμάς, τα οποία κινούνται συνεχώς και τα υλικά χαρακτηρίζονται από αντικειμενικές και μετρήσιμες χαρακτηριστικές ιδιότητες και όχι από την επιφανειακή εμφάνιση, τις μακροσκοπικές αντιληπτές ιδιότητες.

Αναλυτικότερα, προκειμένου να ελέγξουμε την επίδραση της προτεινόμενης παρέμβασης μελετήσαμε την επίδοση των μαθητών των δύο τμημάτων (ελέγχου, πειραματικό) στα pretest και στα posttest. Οι Αναλύσεις Διακύμανσης Επαναλαμβανόμενων Μετρήσεων (Repeated Measures ANOVAs) με την επίδοση των μαθητών στα πέντε έργα (επιστημικές πεποιθήσεις, αντιλήψεις για την ύλη, κατηγοριοποιήσεις, ερμηνείες δύο φαινομένων) ως παράγοντα διαμέσου των υποκειμένων και την ομάδα (πειραματική \* ελέγχου) ως παράγοντα μεταξύ των υποκειμένων έδειξαν στατιστικά σημαντικές κύριες επιδράσεις υπέρ του πειραματικού τμήματος μόνο στα posttest:  $F(1,34)=9,648$ ;  $p=0.004$  και όχι στα pretest:  $F(1,34)=0,054$ ; ns. Δηλαδή, δεν υπήρχαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ του πειραματικού τμήματος και του τμήματος ελέγχου σε κανένα από τα έργα στα pretest, όμως μετά την παρέμβαση το πειραματικό τμήμα παρουσίασε υψηλότερες επιδόσεις σε όλα τα έργα των posttest σε σύγκριση με το τμήμα ελέγχου, όπως προέκυψε και από την αναλυτική σύγκριση (με Ανάλυση Διακύμανσης Μονής Κατεύθυνσης / One Way Anova) των επιδόσεων των μαθητών των δύο τμημάτων σε κάθε έργο.

Αναλυτικότερα, από τη σύγκριση των επιδόσεων των μαθητών των δύο τμημάτων στα pretest και στα posttest και όπως φαίνεται στους πίνακες 3.18 και 3.19 προέκυψε ότι:

- δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά στην επίδοση των μαθητών των δύο τμημάτων (ελέγχου - πειραματικού) κατά τα pretest σε κανένα από τα έργα στα οποία συμμετείχαν.

Πίνακας 3.18: Σύγκριση της επίδοσης των μαθητών των δύο τμημάτων στα pretest σε κάθε έργο

Pretest	Στατιστικό κριτήριο One-Way Anova	τμ. ελέγχου		τμ. πειραμ.	
		μ.ο.	τ.α.	μ.ο.	τ.α.
Αντιλήψεις για την ύλη	$F(1, 34) = 0,050, ns$	2,06/5	0,80	2,11/5	0,67
Επιστημικές πεποιθήσεις	$F(1, 34) = 0,618, ns$	1,08/3	0,19	1,14/3	0,23
Κατηγοριοποιήσεις	$F(1, 34) = 0,077, ns$	2,39/4	1,24	2,50/4	1,15
Τήξη πάγου	$F(1, 34) = 0,000, ns$	1,39/4	0,50	1,39/4	0,50
Βρασμός νερού	$F(1, 34) = 0,000, ns$	1,33/4	0,48	1,33/4	0,48
Τήξη + Βρασμός	$F(1, 34) = 0,000, ns$	1,39/3	0,50	1,39/3	0,50

- υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά στην επίδοση των μαθητών των δύο τμημάτων (ελέγχου - πειραματικού) κατά τα posttest, δηλαδή μετά την παρέμβαση, σε όλα τα έργα:

Πίνακας 3.19: Σύγκριση της επίδοσης των μαθητών των δύο τμημάτων στα posttest σε κάθε έργο

Posttest	Στατιστικό κριτήριο One-Way Anova	τμ. ελέγχου		τμ. πειραμ.	
		μ.ο.	τ.α.	μ.ο.	τ.α.
Αντιλήψεις για την ύλη	$F(1, 34) = 7,861, p=0,008$	2,28/5	0,89	3,22/5	1,11
Επιστημικές πεποιθήσεις	$F(1, 34) = 11,727, p=0,002$	1,14/3	0,23	1,50/3	0,58
Κατηγοριοποιήσεις	$F(1, 34) = 8,918, p=0,005$	2,50/4	1,42	3,83/4	1,25
Τήξη πάγου	$F(1, 34) = 5,822, p=0,021$	1,56/4	0,70	2,11/4	0,67
Βρασμός νερού	$F(1, 34) = 7,020, p=0,012$	1,50/4	0,70	2,11/4	0,67
Τήξη + Βρασμός	$F(1, 34) = 7,647, p=0,009$	1,56/3	0,70	2,17/3	0,61

Επομένως, τα δύο τμήματα (ελέγχου και πειραματικό) είχαν μαθητές με ισοδύναμες επιδόσεις αρχικά, αλλά στη συνέχεια, μετά την παρέμβαση, οι επιδόσεις τους διαφοροποιούνται με το πειραματικό τμήμα να παρουσιάζει σημαντική βελτίωση της επίδοσής του σε όλα τα έργα, καθιστώντας την παρέμβαση επιτυχή.

Συγκρίναμε, επίσης, την επίδοση των μαθητών κάθε τμήματος χωριστά πριν και μετά την παρέμβαση. Οι Αναλύσεις Διακύμανσης Επαναλαμβανόμενων Μετρήσεων / Repeated Measures ANOVAs [5 έργα (επιστημικές πεποιθήσεις, αντιλήψεις για την ύλη, κατηγοριοποιήσεις, ερμηνείες δύο φαινομένων) \* χρονική στιγμή (pretest, posttest)] έδειξαν στατιστικά σημαντικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ των έργων και της χρονικής στιγμής υπέρ των posttest μόνο για το πειραματικό τμήμα:  $F(1,17)=14,030; p<0.001$  και όχι για το τμήμα ελέγχου:  $F(1,17)=0,974; ns$ . Δηλαδή, στο τμήμα ελέγχου δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές στην επίδοσή τους στα pretest και στα posttest, παρά μόνο σε ένα από τα έργα, ενώ αντίθετα στο πειραματικό

τιμήματα σε όλα τα έργα η επίδοσή τους στα posttest ήταν στατιστικά σημαντικά καλύτερη σε σχέση με τα pretest, όπως προέκυψε και από την αναλυτική σύγκριση (με Ανάλυση Διακύμανσης Επαναλαμβανόμενων Μετρήσεων / Anova Repeated Measures) των επιδόσεων των μαθητών του κάθε τμήματος χωριστά στα pretest και posttest.

Από τη σύγκριση της επίδοσης των μαθητών κάθε τμήματος χωριστά στα pretest και στα posttest κάθε έργου και όπως φαίνεται στους πίνακες 3.20 και 3.21 προέκυψε ότι:

- δεν παρατηρείται στατιστικά σημαντική διαφορά στην επίδοση των μαθητών του τμήματος ελέγχου στα posttest σε σχέση με τα pretest στα έργα της κατηγοριοποίησης και των επιστημικών πεποιθήσεων και στα δύο έργα ερμηνείας φαινομένων (αν και παρατηρείται βελτίωση στην επίδοση των μαθητών και ο δείκτης  $p$  στο έργο για την τήξη του πάγου είναι κοντά στο όριο  $=0.08$ ), ενώ παρατηρείται στατιστικά σημαντική διαφορά στο έργο των αντιλήψεων για την ύλη, όπου έχουμε μια (σχετικά μικρή) βελτίωση της επίδοσης των μαθητών (μ.ο. από 2.06  $\rightarrow$  2.28).

Πίνακας 3.20: Σύγκριση της επίδοσης των μαθητών του τμήματος ελέγχου στα pretest και posttest σε κάθε έργο

Τμήμα ελέγχου	Στατιστικό κριτήριο Anova Repeated Measures	pretest		posttest	
		μ.ο.	τ.α.	μ.ο.	τ.α.
Αντιλήψεις για την ύλη	$F(1, 17)= 4,857, p=0,04$	2,06/5	0,80	2,28/5	0,89
Επιστημικές πεποιθήσεις	$F(1, 17)= 2,125, ns$	1,08/3	0,19	1,14/3	0,23
Κατηγοριοποιήσεις	$F(1, 17)= 0,486, ns$	2,39/4	1,24	2,50/4	1,42
Τήξη πάγου	$F(1, 17)= 3,400, ns (p=0,08)$	1,39/4	0,50	1,56/4	0,70
Βρασμός νερού	$F(1, 17)= 1,889, ns$	1,33/4	0,48	1,50/4	0,70
Τήξη + βρασμός	$F(1, 17)= 3,400, ns$	1,39/3	0,50	1,56/3	0,70

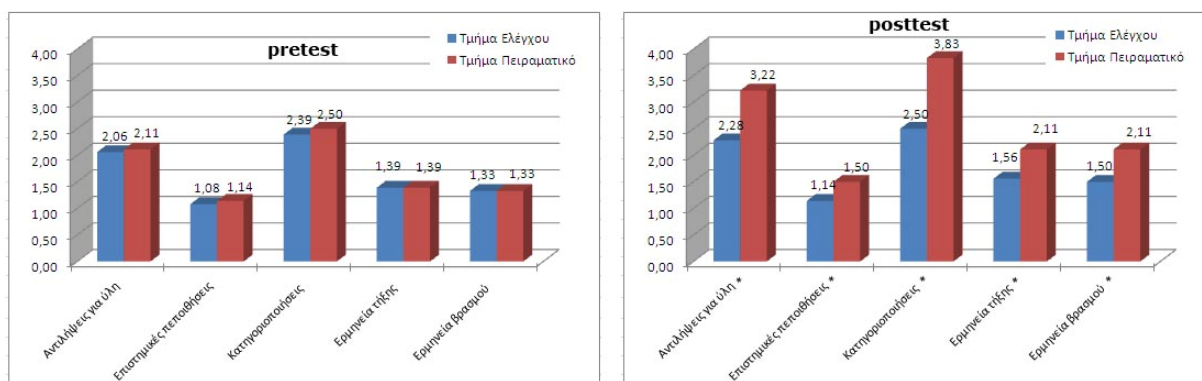
- παρατηρείται στατιστικά σημαντική διαφορά στην επίδοση των μαθητών του πειραματικού τμήματος στα posttest σε σχέση με τα pretest σε όλα τα έργα με αρκετή διαφορά στην επίδοση των μαθητών στα posttest

Πίνακας 3.21: Σύγκριση της επίδοσης των μαθητών του πειραματικού τμήματος στα pretest και posttest σε κάθε έργο

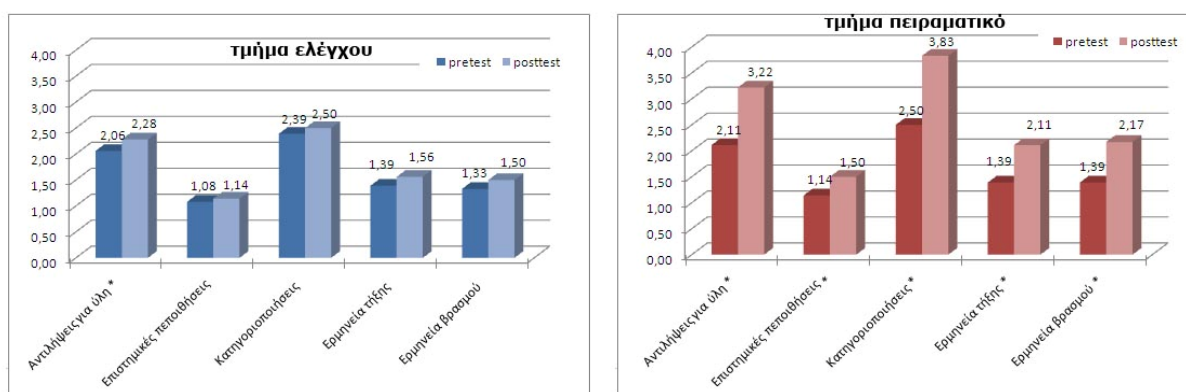
Τμήμα πειραματικό	Στατιστικό κριτήριο Anova Repeated Measures	pretest		posttest	
		μ.ο.	τ.α.	μ.ο.	τ.α.
Αντιλήψεις για την ύλη	$F(1, 17)= 48,571, p<0,001$	2,11/5	0,67	3,22/5	1,11
Επιστημικές πεποιθήσεις	$F(1, 17)= 44,200, p<0,001$	1,14/3	0,23	1,50/3	0,58
Κατηγοριοποιήσεις	$F(1, 17)= 45,333, p<0,001$	2,50/4	1,15	3,83/4	1,24
Τήξη πάγου	$F(1, 17)= 44,200, p<0,001$	1,39/4	0,50	2,11/4	0,67
Βρασμός νερού	$F(1, 17)= 59,500, p<0,001$	1,33/4	0,48	2,11/4	0,67
Τήξη + βρασμός	$F(1, 17)= 59,500, p<0,001$	1,39/3	0,50	2,17/3	0,61

Επομένως, οι μαθητές του τμήματος ελέγχου δεν παρουσίασαν σημαντική βελτίωση στην επίδοσή τους στα περισσότερα έργα, μετά την παρέμβαση, παρά μόνο μικρή βελτίωση στο έργο για τις αντιλήψεις τους για την ύλη, σε αντίθεση με τους μαθητές του πειραματικού τμήματος, των οποίων η επίδοση βελτιώθηκε σημαντικά σε όλα τα έργα, καθιστώντας την παρέμβαση επιτυχή.

Τα παραπάνω αποτελέσματα απεικονίζονται καλύτερα στα παρακάτω γραφήματα, που συγκρίνουν την επίδοση των δύο τμημάτων (ελέγχου – πειραματικό) σε κάθε έργο, πριν και μετά την παρέμβαση.



Γραφήματα 3.1α και 3.1β: Σύγκριση της Επίδοσης των Συμμετεχόντων των δύο Τμημάτων στα pretest και posttest



Γραφήματα 3.2α και 3.2β: Σύγκριση της Επίδοσης κάθε Τμήματος Συμμετεχόντων στα pretest και posttest

Όπως προκύπτει από τις παραπάνω αναλύσεις, μετά την παρέμβαση οι μαθητές του πειραματικού τμήματος παρουσίασαν καλύτερη επίδοση τόσο στα έργα που μετρούν την εννοιολογική αλλαγή για την ύλη όσο και στις επιστημικές τους πεποιθήσεις, και για το λόγο αυτό κρίθηκε σκόπιμο να ελεγχθεί περισσότερο η σχέση που υπάρχει μεταξύ των 5 έργων καθώς και οι συσχετίσεις μεταξύ τους.

## Παραγοντική Ανάλυση / Factor Analysis

Προκειμένου να ελέγξουμε σε βάθος τις σχέσεις μεταξύ των 5 έργων της έρευνάς μας (επιστημικές πεποιθήσεις, αντιλήψεις για ύλη, κατηγοριοποιήσεις, ερμηνεία τήξης, ερμηνεία βρασμού) και να διερευνήσουμε τις διαστάσεις που σχετίζονται με την επίδοση των μαθητών σε αυτά τα έργα, πραγματοποιήσαμε Παραγοντική Ανάλυση με τη μέθοδο Ανάλυσης Κυρίων Συνιστωσών / Factor Analysis with Principal Component Analysis Method, η οποία ανέδειξε δύο παράγοντες. Ο πρώτος παράγοντας αυτός εξηγεί το 84,10% της συνολικής διακύμανσης της επίδοσης και ο δεύτερος παράγοντας εξηγεί το 7,35% % της συνολικής διακύμανσης της επίδοσης (πίνακας 3.22). Η ορθογώνια περιστροφή Varimax δημιούργησε τη δομή των παραγόντων που παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.23.

Πίνακας 3.22: Παραγοντική Ανάλυση - Εξήγηση Συνολικής Διακύμανσης

Component	Initial Eigenvalues			Extraction Sums of Squared Loadings			Rotation Sums of Squared Loadings		
	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %
1	4,205	84,100	84,100	4,205	84,100	84,100	2,685	53,708	53,708
2	,367	7,345	91,445	,367	7,345	91,445	1,887	37,737	91,445
3	,186	3,727	95,172						
4	,126	2,517	97,689						
5	,116	2,311	100,000						

Extraction Method: Principal Component Analysis.

Πίνακας 3.23: Εξαχθέντες παράγοντες με τις αντίστοιχες φορτίσεις των μεταβλητών σε αυτούς μετά την ορθογώνια περιστροφή Varimax των παραγόντων

	Παράγοντας	
	1	2
Αντιλήψεις για Ύλη	<b>,657</b>	,681
Κατηγοριοποιήσεις	<b>,763</b>	,548
Ερμηνεία Τήξης	<b>,891</b>	,371
Ερμηνεία Βρασμού	<b>,860</b>	,398
Επιστημικές Πεποιθήσεις	,372	<b>,909</b>

Extraction Method: Principal Component Analysis.

Rotation Method: Varimax with Kaiser Normalization. a Rotation converged in 3 iterations.

Ο πρώτος παράγοντας στον οποίο φορτίζουν οι μεταβλητές «Αντιλήψεις για την ύλη» (0,657), «Κατηγοριοποιήσεις» (0,763), «Ερμηνεία Τήξης» (0,891) και «Ερμηνεία Βρασμού» (0,860) θεωρούμε ότι αναφέρεται, στη θεωρία των μαθητών για την ύλη, δηλαδή στο οντολογικό επίπεδο. Ο δεύτερος παράγοντας στον οποίο φορτίζει η μεταβλητή «Επιστημικές Πεποιθήσεις» (0,909), θεωρούμε ότι αναφέρεται στις πεποιθήσεις των μαθητών για τη φύση της γνώσης και τον τρόπο απόκτησής της, δηλαδή στο επιστημολογικό επίπεδο.

## Ανάλυση κατά Συστάδες / Cluster Analysis

Στη συνέχεια εφαρμόσαμε μια Ανάλυση κατά Συστάδες με τη Μέθοδο k-means, όπου ορίστηκαν τρεις ομάδες: α) αρχική θεώρηση των πραγμάτων, β) ενδιάμεση θεώρηση των πραγμάτων και γ) επιστημονική θεώρηση των πραγμάτων. Χωρίσαμε ξανά τους τύπους των απαντήσεων στο έργο κατηγοριοποίησης και στο έργο για τις αντιλήψεις για την ύλη, ενώνοντας τις εναλλακτικές κατηγορίες απαντήσεων, ώστε να υπάρχουν 3 κατηγορίες απαντήσεων, αρχικές, ενδιάμεσες και επιστημονικές και σε αυτά τα έργα, όπως συμβαίνει και στα υπόλοιπα τρία έργα (επιστημικές πεποιθήσεις, ερμηνεία τήξης, ερμηνεία βρασμού). Η Ανάλυση Διακύμανσης που πραγματοποιήθηκε για να ερευνηθεί το αν διαφέρουν οι μέσες τιμές ανάμεσα στις τρεις ομάδες έδειξε ότι όλες οι μεταβλητές έχουν καλή ικανότητα διάκρισης  $F(2,33)=30.708$ ;  $p<0.001$  (επιστημικές πεποιθήσεις),  $F(2,33)=58.472$ ;  $p<0.001$  (κατηγοριοποιήσεις),  $F(2,33)=98.276$ ;  $p<0.001$  (τήξη),  $F(2,33)=75.260$ ;  $p<0.001$  (βρασμός) και  $F(2,33)=39.501$ ;  $p<0.001$  (αντιλήψεις για ύλη).

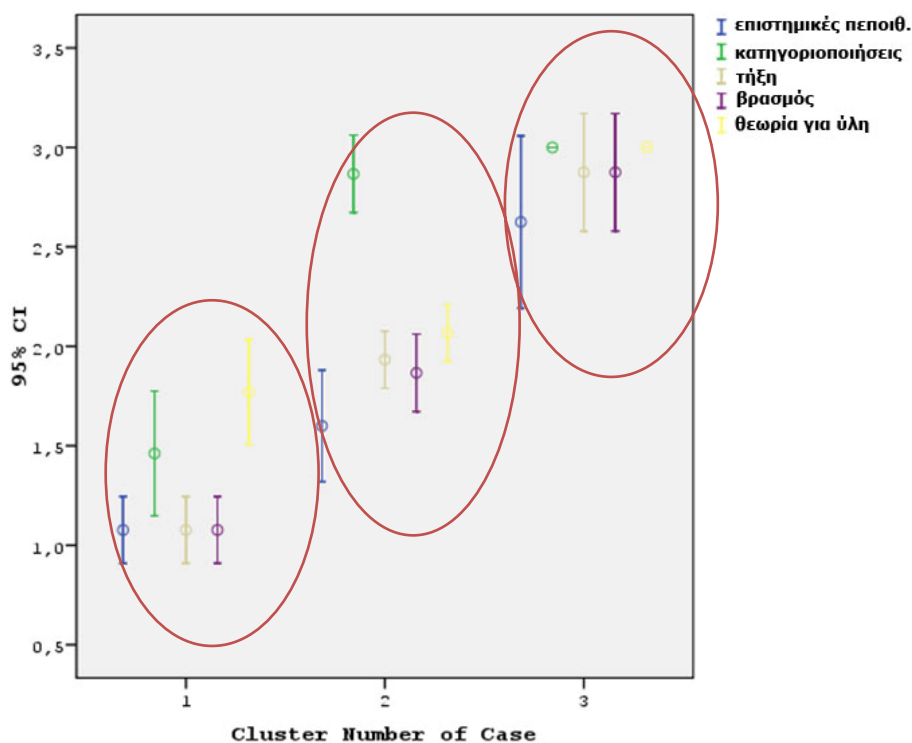
Πίνακας 3.24: Τελικά κέντρα των τριών Ομάδων που βρέθηκαν κατά την Ανάλυση σε Συστάδες με τη Μέθοδο k-means για τις 5 μεταβλητές

	Cluster		
	Αρχική θεώρηση (N=13)	Ενδιάμεση θεώρηση (N=15)	Επιστημονική θεώρηση (N=8)
Επιστημικές Πεποιθήσεις	1	2	3
Κατηγοριοποιήσεις	1	3	3
Τήξη πάγου	1	2	3
Βρασμός νερού	1	2	3
Αντιλήψεις για ύλη	2	2	3

Συγκεκριμένα, παρατηρώντας τα τελικά κέντρα κάθε ομάδας που φαίνονται στον πίνακα 3.24 διαπιστώνουμε ότι στην πρώτη ομάδα βρίσκονται υποκείμενα που δίνουν αρχικές απαντήσεις σε όλα σχεδόν τα έργα: έχουν αρχικές επιστημικές πεποιθήσεις, κάνουν αρχικές κατηγοριοποιήσεις των υλικών σωμάτων και δίνουν αρχικές ερμηνείες για την τήξη και το βρασμό, αλλά έχουν μια εναλλακτική αντίληψη για την ύλη. Στη δεύτερη ομάδα βρίσκονται υποκείμενα που δίνουν ενδιάμεσες / συνθετικές απαντήσεις σε όλα σχεδόν τα έργα: έχουν ενδιάμεσες επιστημικές πεποιθήσεις, δίνουν ενδιάμεσες ερμηνείες για την τήξη και το βρασμό και έχουν ενδιάμεση αντίληψη για την ύλη, παρέχουν όμως επιστημονικές κατηγοριοποιήσεις των υλικών σωμάτων. Τέλος, στην τρίτη ομάδα βρίσκονται υποκείμενα που δίνουν επιστημονικές απαντήσεις σε όλα τα έργα: έχουν προηγμένες επιστημικές πεποιθήσεις, κάνουν επιστημονικές κατηγοριοποιήσεις των υλικών σωμάτων, δίνουν επιστημονικές ερμηνείες για



την τήξη και το βρασμό και έχουν επιστημονική αντίληψη για την ύλη. Η ομαδοποίηση αυτή φαίνεται πιο καθαρά στο παρακάτω γράφημα 3.1.



Γράφημα 3.3: Γράφημα Συστάδων που παρουσιάζει τις Ομάδες

### Συσχετίσεις Έργων / Correlations

Στη συνέχεια, προκειμένου να ελέγξουμε τη δεύτερη υπόθεσή μας, ελέγξαμε αν συσχετίζεται η θεωρία των μαθητών για την ύλη με τις επιστημικές τους πεποιθήσεις. Σύμφωνα με το θεωρητικό μας πλαίσιο (Stathopoulou & Vosniadou 2007), οι επιστημικές πεποιθήσεις που σχετίζονται με τη φυσική μπορούν να επηρεάσουν τη διαδικασία απόκτησης γνώσης, δηλαδή μπορούν είτε να διευκολύνουν είτε να εμποδίσουν τη διαδικασία απόκτησης γνώσης (τόσο άμεσα, όσο και έμμεσα). Περιμένουμε, επομένως, ότι τα παιδιά που έχουν διαμορφώσει μια διαισθητική θεωρία για την ύλη θα βρίσκονται σε χαμηλότερο επιστημολογικό επίπεδο και θα αντιμετωπίσουν μεγαλύτερες δυσκολίες στην ερμηνεία των φυσικών φαινομένων σε σχέση με τους μαθητές που θα έχουν φθάσει σε ένα ανώτερο επιστημολογικό επίπεδο.

Πληροφορίες για τη θεωρία των μαθητών για την ύλη μας δίνουν οι επιδόσεις τους στα έργα της κατηγοριοποίησης, της ερμηνείας των φαινομένων και των αντιλήψεων για την ύλη, γι' αυτό και εξετάζουμε χωριστά τη συσχέτιση του καθενός από αυτά τα έργα με τις επιστημικές πεποιθήσεις.

Τα αποτελέσματα δείχνουν να επιβεβαιώνουν την υπόθεσή μας, καθώς βρήκαμε υψηλή συσχέτιση ανάμεσα στις επιστημικές πεποιθήσεις των μαθητών και στα 4 έργα που μετρούν την εννοιολογική αλλαγή για την ύλη, τόσο στα pretest όσο και στα posttest, όπως φαίνεται και στους πίνακες 3.25 και 3.26.

Πιο συγκεκριμένα, ο Δείκτης Συσχέτισης Spearman's rho Correlation Coefficient (επιστημικές πεποιθήσεις x αντιλήψεις για ύλη, κατηγοριοποιήσεις, τήξη, βρασμός) έδειξε στατιστικά σημαντική συσχέτιση μεταξύ των επιστημικών πεποιθήσεων και των 4 έργων και στα pretest (πίνακας 3.25) και στα posttest (πίνακας 3.26).

Πίνακας 3.25: Στατιστικά Σημαντικές Συσχετίσεις Επιστημικών Πεποιθήσεων και 4 Έργων (pretest)

Pretest		Αντιλήψεις για ύλη	Κατηγοριοποιήσεις	Τήξη	Βρασμός
Επιστημικές πεποιθήσεις	Spearman's rho	,695**	,664**	,670**	,756**
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,000	,000
N		36	36	36	36

\*\* Correlation is significant at the 0.01 level

Πίνακας 3.26: Στατιστικά Σημαντικές Συσχετίσεις Επιστημικών Πεποιθήσεων και 4 Έργων (posttest)

Posttest		Αντιλήψεις για ύλη	Κατηγοριοποιήσεις	Τήξη	Βρασμός
Επιστημικές πεποιθήσεις	Spearman's rho	,778**	,760**	,668**	,694**
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,000	,000
N		36	36	36	36

\*\* Correlation is significant at the 0.01 level

#### Συσχέτιση Επιστημικών Πεποιθήσεων και Αντιλήψεων για την Ύλη

Αναλυτικότερα, ελέγξαμε τις αντιλήψεις των μαθητών για την ύλη σε σχέση με τις επιστημικές τους πεποιθήσεις. Στο pretest ο δείκτης συσχέτισης Spearman's rho (αντιλήψεις για την ύλη\*επιστημικές πεποιθήσεις) έδειξε στατιστικά σημαντική συσχέτιση ανάμεσα στις αντιλήψεις των συμμετεχόντων για την ύλη και στις επιστημικές τους πεποιθήσεις ( $r_s=0.695$ ,  $p<0.001$ ). Όπως φαίνεται και στον πίνακα 3.27 όλοι οι μαθητές που βρίσκονται στο ενδιάμεσο επιστημικό επίπεδο 1.5 έχουν ενδιάμεσες αντιλήψεις για την ύλη (κατηγορία 2β), ενώ από τους μαθητές που βρίσκονται στο αρχικό επιστημικό επίπεδο 1 το 29% έχει και αρχικές αντιλήψεις για την ύλη, ενώ οι υπόλοιποι έχουν ενδιάμεσες 2α (61%) και 2β (11%).

Πίνακας 3.27: Συσχέτιση Επιστημικών Πεποιθήσεων και Αντιλήψεων για την Ύλη και (pretest)

Αντιλήψεις για Ύλη	Επιστημικές Πεποιθήσεις		
	Επίπεδο 1	Επίπεδο 1,5	Επίπεδο 2
<b>Κατηγορία 1</b> (αρχική) ύλη αντιληπτή με τις αισθήσεις	8 (29%)	-	-
<b>Κατηγορία 2α</b> (ενδιάμεση) ύλη με αισθητό βάρος ή όγκο	17 (61%)	-	-
<b>Κατηγορία 2β</b> (ενδιάμεση) ύλη ορατή	3 (11%)	8 (100%)	-
<b>Κατηγορία 2γ</b> (ενδιάμεση) ύλη και μη ορατή	-	-	-
<b>Κατηγορία 3</b> (επιστημονική) ύλη ως βασικό συστατικό	-	-	-
Σύνολο	28	8	-

Αντίστοιχα είναι τα αποτελέσματα και στο posttest. Ο δείκτης συσχέτισης Spearman's rho (αντιλήψεις για την ύλη\*επιστημικές πεποιθήσεις) έδειξε και πάλι στατιστικά σημαντική συσχέτιση ανάμεσα στις αντιλήψεις των συμμετεχόντων για την ύλη και στις επιστημικές τους πεποιθήσεις ( $r_s=0.778$ ,  $p<0.001$ ). Όπως φαίνεται και στον πίνακα 3.28, η πλειοψηφία (60%) των μαθητών που βρίσκονται στο πιο προηγμένο επιστημικό επίπεδο 2 έχουν επιστημονική αντίληψη για την ύλη (κατηγορία 3) και οι υπόλοιποι ενδιάμεση αντίληψη 2γ, ενώ οι μαθητές που βρίσκονται στο αρχικό επίπεδο 1 έχουν αρχικές ή ενδιάμεσες 2α και 2β αντιλήψεις για την ύλη.

Πίνακας 3.28: Συσχέτιση Επιστημικών Πεποιθήσεων και Αντιλήψεων για την Ύλη (posttest)

Αντιλήψεις για Ύλη	Επιστημικές Πεποιθήσεις		
	Επίπεδο 1	Επίπεδο 1,5	Επίπεδο 2
<b>Κατηγορία 1</b> (αρχική) ύλη αντιληπτή με τις αισθήσεις	3 (17%)	-	-
<b>Κατηγορία 2α</b> (ενδιάμεση) ύλη με αισθητό βάρος ή όγκο	12 (67%)	3 (23%)	-
<b>Κατηγορία 2β</b> (ενδιάμεση) ύλη ορατή	3 (17%)	6 (46%)	-
<b>Κατηγορία 2γ</b> (ενδιάμεση) ύλη και μη ορατή	-	4 (30%)	2 (40%)
<b>Κατηγορία 3</b> (επιστημονική) ύλη ως βασικό συστατικό	-	-	3 (60%)
Σύνολο	18	13	5

#### Συσχέτιση Επιστημικών Πεποιθήσεων και Κατηγοριοποιήσεων

Όσον αφορά στις κατηγοριοποιήσεις των μαθητών, περιμέναμε, ότι οι συμμετέχοντες που δυσκολεύονται να κατηγοριοποιήσουν τα σώματα βάσει της μοριακής τους δομής θα βρίσκονται και σε χαμηλότερο επιστημολογικό επίπεδο. Πράγματι, στο pretest ο δείκτης συσχέτισης Spearman's rho (κατηγοριοποιήσεις\*επιστημικές πεποιθήσεις) έδειξε στατιστικά

σημαντική συσχέτιση ανάμεσα στις κατηγοριοποιήσεις των συμμετεχόντων και στις επιστημικές τους πεποιθήσεις ( $r_s=0.664$ ,  $p<0.001$ ). Όπως φαίνεται και στον πίνακα 3.29, όλοι οι μαθητές που βρίσκονται στο ενδιάμεσο επιστημικό επίπεδο 1,5 κατηγοριοποιούν τα σώματα και βάσει της φυσικής τους κατάστασης αλλά και βάσει της μοριακής τους δομής, δίνοντας μακροσκοπική εξήγηση, ενώ από τους μαθητές που βρίσκονται στο αρχικό επίπεδο 1 η πλειοψηφία δεν κατηγοριοποιεί τα σώματα βάσει της μοριακής τους δομής, είτε χωρίζει σε στερεά, υγρά και αέρια (57%) είτε όχι (29%).

Πίνακας 3.29: Συσχέτιση Επιστημικών Πεποιθήσεων και Κατηγοριοποιήσεων (pretest)

Ερώτηση Κατηγοριοποίησης 3+4	Επιστημικές Πεποιθήσεις		
	Επίπεδο 1	Επίπεδο 1,5	Επίπεδο 2
ΟΧΙ Στερεά, Υγρά, Αέρια	8 (29%)	-	-
Στερεά – Υγρά – Αέρια	16 (57%)	-	-
Στερεά + Υγρά + Αέρια + Επιστ. Εξήγηση Μακροσκοπική	4 (14%)	8 (100%)	-
Στερεά + Υγρά + Αέρια + Επιστ. Εξήγηση Μικροσκοπική	-	-	-
Σύνολο	28	8	-

Αντίστοιχα αποτελέσματα έχουμε και στο posttest. Ο δείκτης συσχέτισης Spearman's rho (κατηγοριοποιήσεις\*επιστημικές πεποιθήσεις) έδειξε και πάλι στατιστικά σημαντική συσχέτιση ανάμεσα στις κατηγοριοποιήσεις των συμμετεχόντων και στις επιστημικές τους πεποιθήσεις ( $r_s=0.760$ ,  $p<0.001$ ). Όπως φαίνεται και στον πίνακα 3.30, όλοι οι μαθητές που βρίσκονται στο πιο προηγμένο επιστημικό επίπεδο 2 κατηγοριοποιούν τα σώματα και βάσει της φυσικής τους κατάστασης αλλά και βάσει της μοριακής τους δομής, δίνοντας μάλιστα μικροσκοπική εξήγηση, ενώ από τους μαθητές που βρίσκονται στο αρχικό επίπεδο 1 η πλειοψηφία δεν κατηγοριοποιεί τα σώματα βάσει της μοριακής τους δομής, είτε χωρίζει σε στερεά, υγρά και αέρια (33%) είτε όχι (39%).

Πίνακας 3.30: Συσχέτιση Κατηγοριοποιήσεων και Επιστημικών Πεποιθήσεων (posttest)

Ερώτηση Κατηγοριοποίησης 3+4	Επιστημικές Πεποιθήσεις		
	Επίπεδο 1	Επίπεδο 1,5	Επίπεδο 2
ΟΧΙ Στερεά, Υγρά, Αέρια	7 (39%)	-	-
Στερεά – Υγρά – Αέρια	6 (33%)	2 (15%)	-
Στερεά + Υγρά + Αέρια + Επιστ. Εξήγηση Μακροσκοπική	5 (28%)	9 (69%)	-
Στερεά + Υγρά + Αέρια + Επιστ. Εξήγηση Μικροσκοπική	-	2 (15%)	5 (100%)
Σύνολο	18	13	5

## Συσχέτιση Επιστημικών Πεποιθήσεων και Ερμηνείας Φαινομένων

Θελήσαμε, τέλος, να ελέγξουμε αν συσχετίζονται οι ερμηνείες των φαινομένων των μαθητών με τις επιστημικές τους πεποιθήσεις. Περιμέναμε ότι οι συμμετέχοντες που βρίσκονται και σε χαμηλότερο επιστημολογικό επίπεδο θα αντιμετώπιζαν μεγαλύτερες δυσκολίες στην ερμηνεία των φαινομένων.

Σχετικά με την τήξη του πάγου, στο *pretest* ο δείκτης συσχέτισης Spearman's rho (επιστημικές πεποιθήσεις\*εξήγηση τήξης) έδειξε στατιστικά σημαντική συσχέτιση ανάμεσα στις επιστημικές πεποιθήσεις των συμμετεχόντων και στις εξηγήσεις που έδωσαν για την τήξη του πάγου ( $r_s=0.670$ ,  $p<0.001$ ). Όπως φαίνεται και στον πίνακα 3.31, όλοι οι μαθητές που βρίσκονται στο ενδιάμεσο επιστημικό επίπεδο 1,5 έδωσαν εναλλακτική εξήγηση 2 για την τήξη του πάγου, ενώ η πλειοψηφία των μαθητών που είναι στο επίπεδο 1 έδωσαν και αρχική εξήγηση (79%) και οι υπόλοιποι εναλλακτική. Αντίστοιχα αποτελέσματα προκύπτουν και στο *posttest*. Ο δείκτης συσχέτισης Spearman's rho (επιστημικές πεποιθήσεις\*εξήγηση για τήξη πάγου) έδειξε στατιστικά σημαντική συσχέτιση ανάμεσα στις επιστημικές πεποιθήσεις των συμμετεχόντων και στις εξηγήσεις που έδωσαν για την τήξη του πάγου ( $r_s=0.668$ ,  $p<0.001$ ). Όπως φαίνεται και στον πίνακα 3.32, το 80% των μαθητών που είναι στο πιο προηγμένο επίπεδο 2 έδωσε επιστημονική εξήγηση 3 για την τήξη του πάγου και οι υπόλοιποι εναλλακτική, ενώ η πλειοψηφία των μαθητών που είναι στο επίπεδο 1 έδωσαν και αρχική εξήγηση (61%) και οι υπόλοιποι εναλλακτική.

Πίνακας 3.31: Συσχέτιση Ερμηνείας Τήξης Πάγου και Επιστημικών Πεποιθήσεων (*pretest*)

Ερμηνείες για τήξη πάγου	Επιστημικές Πεποιθήσεις		
	Επίπεδο 1	Επίπεδο 1,5	Επίπεδο 2
εξήγηση 1 (αρχική)	22 (79%)	-	-
εξήγηση 2 (εναλλακτική)	6 (21%)	8 (100%)	-
εξήγηση 3 (επιστημ. α)	-	-	-
εξήγηση 4 (επιστημ. β)	-	-	-
Σύνολο	28	8	-

Πίνακας 3.32: Συσχέτιση Ερμηνείας Τήξης Πάγου και Επιστημικών Πεποιθήσεων (*posttest*)

Ερμηνείες για τήξη πάγου	Επιστημικές Πεποιθήσεις		
	Επίπεδο 1	Επίπεδο 1,5	Επίπεδο 2
εξήγηση 1 (αρχική)	11 (61%)	2 (15%)	-
εξήγηση 2 (εναλλακτική)	7 (39%)	8 (62%)	1 (20%)
εξήγηση 3 (επιστημ. α)	-	3 (23%)	4 (80%)
εξήγηση 4 (επιστημ. β)	-	-	-
Σύνολο	18	13	5

Όσον αφορά στο βρασμό του νερού, στο pretest ο δείκτης συσχέτισης Spearman's rho (επιστημικές πεποιθήσεις\*εξήγηση βρασμού) έδειξε στατιστικά σημαντική συσχέτιση ανάμεσα στις επιστημικές πεποιθήσεις των συμμετεχόντων και στις εξηγήσεις που έδωσαν για το βρασμό του νερού ( $r_s=0.756$ ,  $p<0.001$ ). Όπως φαίνεται και στον πίνακα 3.33, όλοι οι μαθητές που βρίσκονται στο επιστημικό επίπεδο 1,5 έδωσαν εναλλακτική εξήγηση 2 για την τήξη του πάγου, ενώ η πλειοψηφία των μαθητών που είναι στο επίπεδο 1 έδωσαν και αρχική εξήγηση (86%) και οι υπόλοιποι εναλλακτική. Αντίστοιχα αποτελέσματα προκύπτουν και στο posttest. Ο δείκτης συσχέτισης Spearman's rho (επιστημικές πεποιθήσεις\*εξήγηση για βρασμό νερού) έδειξε στατιστικά σημαντική συσχέτιση ανάμεσα στις επιστημικές πεποιθήσεις των συμμετεχόντων και στις εξηγήσεις που έδωσαν για τον βρασμό του νερού ( $r_s=0.694$ ,  $p<0.001$ ). Όπως φαίνεται και στον πίνακα 3.34, το 80% των μαθητών που είναι στο επίπεδο 2 έδωσε επιστημονική εξήγηση 3 για το βρασμό του νερού και οι υπόλοιποι εναλλακτική, ενώ η πλειοψηφία των μαθητών που είναι στο επίπεδο 1 έδωσαν και αρχική εξήγηση (67%) και οι υπόλοιποι εναλλακτική.

Πίνακας 3.33: Συσχέτιση Ερμηνείας Βρασμού Νερού και Επιστημικών Πεποιθήσεων (pretest)

Ερμηνείες για Βρασμό νερού	Επιστημικές Πεποιθήσεις				
	Επίπεδο 1	Επίπεδο 1,5	Επίπεδο 2	Επίπεδο 2,5	Επίπεδο 3
εξήγηση 1 (αρχική)	24 (86%)	-	-	-	-
εξήγηση 2 (εναλλακτική)	4 (14%)	8 (100%)	-	-	-
εξήγηση 3 (επιστημ. α)	-	-	-	-	-
εξήγηση 4 (επιστημ. β)	-	-	-	-	-
Σύνολο	28	8	-	-	-

Πίνακας 3.34: Συσχέτιση Ερμηνείας Βρασμού Νερού και Επιστημικών Πεποιθήσεων (posttest)

Ερμηνείες για Βρασμό νερού	Επιστημικές Πεποιθήσεις				
	Επίπεδο 1	Επίπεδο 1,5	Επίπεδο 2	Επίπεδο 2,5	Επίπεδο 3
εξήγηση 1 (αρχική)	12 (67%)	2 (15%)	-	-	-
εξήγηση 2 (εναλλακτική)	6 (33%)	8 (62%)	1 (20%)	-	-
εξήγηση 3 (επιστημ. α)	-	3 (23%)	4 (80%)	-	-
εξήγηση 4 (επιστημ. β)	-	-	-	-	-
Σύνολο	18	13	5	-	-

Συνοψίζοντας, από τα παραπάνω δεδομένα προκύπτει ότι υπάρχει ισχυρή συσχέτιση ανάμεσα επιστημικές πεποιθήσεις των μαθητών και στη θεωρία τους για την ύλη (η οποία διαφαίνεται από τις αντιλήψεις τους για την, από τις κατηγοριοποιήσεις τους για τα υλικά σώματα και από τις εξηγήσεις τους για τις φυσικές μεταβολές της ύλης), καθώς οι μαθητές με αφελείς θεωρίες για την ύλη βρίσκονται και σε χαμηλότερο επιστημικό επίπεδο σε σχέση με τους μαθητές που οι θεωρίες τους για την ύλη προσεγγίζει περισσότερο την επιστημονική.

## Συσχέτιση Κατηγοριοποιήσεων – Ερμηνείας Φαινομένων

Τέλος, αποφασίσαμε να ελέγξουμε τη συσχέτιση των κατηγοριοποιήσεων των συμμετεχόντων με τις εξηγήσεις τους για τα φυσικά φαινόμενα, παρότι δεν προβλεπόταν στις υποθέσεις αυτής της έρευνας, αλλά για να επιβεβαιώσουμε και πάλι την υπόθεση της δεύτερης έρευνας. Στην προηγούμενη έρευνα βρήκαμε ότι οι συμμετέχοντες που κατηγοριοποιούν τα υλικά σώματα βάσει της φυσικής τους κατάστασης αντιμετωπίζουν μεγαλύτερες δυσκολίες στην ερμηνεία των φυσικών φαινομένων σε σχέση με τους συμμετέχοντες που κατηγοριοποιούν τα υλικά σώματα βάσει της μοριακής τους δομής. Επιλέξαμε και σε αυτή την έρευνα τη συνδυαστική ερώτηση κατηγοριοποίησης 3+4 και ελέγξαμε τις απαντήσεις των συμμετεχόντων σε αυτή σε σχέση με τις εξηγήσεις που έδωσαν για την τήξη του πάγου και το βρασμό του νερού, τόσο στο pretest όσο και στο posttest. Παρότι οι συσχετίσεις βρέθηκαν στατιστικά σημαντικές και στις δύο περιπτώσεις, περισσότερο εμφανή είναι τα αποτελέσματα στα posttest, γι' αυτό και αναφερόμαστε σε αυτά.

Ο δείκτης συσχέτισης Spearman's rho (κατηγοριοποίηση\*εξήγηση για τήξη πάγου) έδειξε στατιστικά σημαντική συσχέτιση ανάμεσα στις κατηγοριοποιήσεις των συμμετεχόντων και στις εξηγήσεις που έδωσαν για την τήξη του πάγου ( $r_s=0.861$ ,  $p<0.001$ ). Όπως φαίνεται και στον πίνακα 3.35, όλοι οι μαθητές που έδωσαν επιστημονική εξήγηση για την τήξη του πάγου μπορούν και κατηγοριοποιούν τα σώματα και βάσει της φυσικής τους κατάστασης και βάσει της μοριακής τους δομής, με το 86% από αυτούς να δίνουν μικροσκοπική εξήγηση. Όλοι οι συμμετέχοντες, εκτός από έναν, οι οποίοι δίνουν την αρχική εξήγηση 1 για την τήξη του πάγου δεν κατηγοριοποιούν τα σώματα βάσει της μοριακής τους δομής είτε χωρίζουν σε στερεά, υγρά και αέρια είτε όχι. Τέλος, στην ενδιάμεση εναλλακτική εξήγηση 2 τα ποσοστά είναι μοιρασμένα.

Πίνακας 3.35: Συσχέτιση Κατηγοριοποιήσεων και Εξηγήσεων για Τήξη Πάγου (posttest)

Ερώτηση Κατηγοριοποίησης 3+4	Εξήγηση για Τήξη Πάγου		
	εξήγηση 1 (αρχική)	εξήγηση 2 (εναλλακτική)	εξήγηση 3 (επιστημονική)
ΟΧΙ Στερεά, Υγρά, Αέρια	7 (32%)	-	-
Στερεά – Υγρά – Αέρια	5 (38%)	3 (19%)	-
Στερεά + Υγρά + Αέρια + Επιστ. Εξήγηση Μακροσκοπική	1 (8%)	12 (75%)	1 (14%)
Στερεά + Υγρά + Αέρια + Επιστ. Εξήγηση Μικροσκοπική	-	1 (6%)	6 (86%)
Σύνολο	13	16	7

Παρόμοια αποτελέσματα έχουμε και για το βρασμό του νερού. Στο posttest ο δείκτης συσχέτισης Spearman's rho (κατηγοριοποίηση\*εξήγηση για βρασμό νερού) έδειξε στατιστικά σημαντική συσχέτιση ανάμεσα στις κατηγοριοποιήσεις των συμμετεχόντων και στις εξηγήσεις

τους για το βρασμό του νερού ( $r_s=0.830$ ,  $p<0.001$ ). Από τον πίνακα 3.36 προκύπτει ότι όλοι οι μαθητές που έδωσαν επιστημονική εξήγηση για το βρασμό του νερού μπορούν και κατηγοριοποιούν τα σώματα και βάσει της φυσικής τους κατάστασης και βάσει της μοριακής τους δομής, με το 86% να δίνουν εξήγηση μικροσκοπική. Αντίθετα, σχεδόν όλοι οι συμμετέχοντες οι οποίοι δίνουν την αρχική εξήγηση 1 για το βρασμό του νερού δεν κατηγοριοποιούν τα σώματα βάσει της μοριακής τους δομής, είτε χωρίζουν σε στερεά, υγρά και αέρια είτε όχι. Τέλος, στην ενδιάμεση εναλλακτική εξήγηση 2 τα ποσοστά είναι μοιρασμένα.

Πίνακας 3.36: Συσχέτιση Κατηγοριοποιήσεων και Εξηγήσεων για Βρασμό Νερού (posttest)

Ερώτηση Κατηγοριοποίησης 3+4	Εξήγηση για Βρασμό Νερού		
	εξήγηση 1 (αρχική)	εξήγηση 2 (εναλλακτική)	εξήγηση 3 (επιστημονική)
ΟΧΙ Στερεά, Υγρά, Αέρια	7 (50%)	-	-
Στερεά – Υγρά – Αέρια	5 (36%)	3 (20%)	-
Στερεά + Υγρά + Αέρια + Επιστ. Εξήγηση Μακροσκοπική	2 (14%)	11 (73%)	1 (14%)
Στερεά + Υγρά + Αέρια + Επιστ. Εξήγηση Μικροσκοπική	-	1 (7%)	6 (86%)
Σύνολο	14	15	7

Φαίνεται, επομένως, να επιβεβαιώνεται και σε αυτή την έρευνα ότι η αλλαγή θεωρίας από την κατηγοριοποίηση βάσει της φυσικής κατάστασης στην κατηγοριοποίηση βάσει τη μοριακής δομής προηγείται της πλήρους κατανόησης της ερμηνείας των φαινομένων και μοιάζει να είναι απαραίτητη αλλά όχι και επαρκής προϋπόθεση για την κατανόηση των επιστημονικών ερμηνειών για τα φυσικά φαινόμενα της τήξης του πάγου και του βρασμού του νερού.

### Ανάλυση Παλινδρόμησης / Regression

Με βάση τα παραπάνω αποτελέσματα των συσχετίσεων, παρά το γεγονός ότι ο δείκτης συνδιακύμανσης προβλέπει μια συσχέτιση για το 20% των περιπτώσεων του δείγματος, μπορούμε να μιλάμε για κάποιες ενδείξεις ισχυρής συσχέτισης ανάμεσα στις επιστημικές πεποιθήσεις των μαθητών και τις αντιλήψεις τους για την ύλη, τις κατηγοριοποιήσεις τους και τις εξηγήσεις τους για τα φαινόμενα της τήξης και του βρασμού. Προκειμένου, όμως, να μελετήσουμε περαιτέρω τη σχέση αυτή πραγματοποιήσαμε ανάλυση παλινδρόμησης. Η ανάλυση παλινδρόμησης (με τις αντιλήψεις για την ύλη, τις κατηγοριοποιήσεις και τις ερμηνείες φαινομένων ως εξαρτημένες μεταβλητές και τις επιστημικές πεποιθήσεις ως προβλεπτικό παράγοντα) ήταν στατιστικά σημαντική σε όλες τις περιπτώσεις,  $F(1,34)=45.084$ ,  $p<0.001$ ,  $R^2=0,56$  (κατηγοριοποιήσεις),  $F(1,34)=30.580$ ,  $p<0.001$ ,  $R^2=0,46$  (τήξη),



$F(1,34)=34.669$ ,  $p<0.001$ ,  $R^2=0,50$  (βρασμός) και  $F(1,34)=66.404$ ,  $p<0.001$ ,  $R^2=0,65$  (αντιλήψεις για ύλη), όπως φαίνεται και από τον πίνακα 3.37.

Πίνακας 3.37: Ανάλυση Παλινδρόμησης με τις Επιστημικές Πεποιθήσεις ως Προβλεπτικό Παράγοντα

	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Standardized Coefficients	t	Sig.
					Beta		
Κατηγοριοποιήσεις	,755	,570	,557	,682	,755	6,714	,000
Τήξη	,668	,474	,458	,542	,688	5,530	,000
Βρασμός	,711	,505	,490	,535	,711	5,888	,000
Αντιλήψεις για ύλη	,813	,661	,651	,653	,813	8,149	,000

Predictor: επιστημικές πεποιθήσεις

Από την ανάλυση παλινδρόμησης προκύπτει ότι οι επιστημικές πεποιθήσεις των μαθητών αποτελούν σημαντικό προβλεπτικό παράγοντα για τις κατηγοριοποιήσεις τους (Beta=.755;  $p<0.001$ ), για τις ερμηνείες τους για την τήξη (Beta=.688;  $p<0.001$ ) και το βρασμό (Beta=.711;  $p<0.001$ ), καθώς και για τις αντιλήψεις τους για την ύλη (Beta=.813;  $p<0.001$ ). Φαίνεται ότι αν γνωρίζουμε τις επιστημικές πεποιθήσεις των συμμετεχόντων μπορούμε να προβλέψουμε κατά 65% τις αντιλήψεις τους για την ύλη, κατά 56% τις κατηγοριοποιήσεις τους, κατά 50% τις ερμηνείες τους για το βρασμό και κατά 46% τις ερμηνείες τους για την τήξη.

### Ποιοτικά Αποτελέσματα

Από την ανάλυση των **φύλλων εργασίας** των μαθητών του πειραματικού τμήματος αλλά και από την **καταγραφή των παρατηρήσεων** της διδάσκουσας καθώς και από την **απομαγνητοφώνηση των συζητήσεων** των μαθητών κατά τη διάρκεια των μαθημάτων της διδακτικής παρέμβασης προκύπτουν μερικά ποιοτικά αποτελέσματα που κρίνεται σκόπιμο να αναφερθούν στο σημείο αυτό.

Οι περισσότεροι μαθητές του πειραματικού τμήματος:

- Κατάφεραν να δουλέψουν ομαδικά, ιδίως κατά την εκτέλεση των πειραμάτων, και να συζητούν ήρεμα τις απόψεις τους υποστηρίζοντάς τες με επιχειρήματα, χωρίς βέβαια να λείπουν και οι διαφωνίες ή εντάσεις μερικές φορές.
- Έδειξαν ενθουσιασμό για τα πειράματα, τα οποία φρόντιζαν να δοκιμάσουν να εκτελέσουν όλοι οι μαθητές κάθε ομάδας με τη σειρά. Μάλιστα, πολλές φορές επέμεναν να μένουν μέσα στα διαλείμματα για να συνεχίσουν τον πειραματισμό.
- Έδειξαν ενθουσιασμό και για το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε και δήλωσαν ότι τους βοήθησε να καταλάβουν αρκετά για την ύλη, ιδίως με τις προσομοιώσεις του μικρόκοσμου

αλλά και με τις αναλογίες σχετικά με τη σωματιδιακή δομή της ύλης. Βρήκαν επίσης ενδιαφέροντα τα στοιχεία που τους παρουσιάστηκαν σχετικά με τις απεικονίσεις μικρών δομών με τη βοήθεια ηλεκτρονικών μικροσκοπίων, καθώς και το σχετικό παιχνίδι. Συμμετείχαν με ενθουσιασμό στη συζήτηση και τη σχετική παρουσίαση για τους διαφορετικούς τρόπους με τους οποίους μπορούμε να «δούμε» κάτι και τους άρεσαν πολύ οι εφαρμογές με τις κλίμακες του σύμπαντος και με το διάστημα και τον υπολογισμό του βάρους τους σε άλλους πλανήτες.

- Δεν αντιμετώπισαν δυσκολίες με τα φύλλα εργασίας, καθώς ήταν αναλυτικά, είχαν τη δομή που έχουν και τα φύλλα εργασίας στα βιβλία τους και περιλάμβαναν σαφείς οδηγίες τόσο για τον πειραματισμό όσο και για τα σημεία στα οποία έπρεπε να ανατρέξουν στα σχετικά σημεία του λογισμικού.
- Αρκετοί μαθητές, βέβαια, δήλωσαν ότι κουράστηκαν από τα ερωτηματολόγια γιατί έπρεπε να γράφουν πολλά, παρότι τα συμπλήρωσαν σε δύο διαφορετικές ημέρες. Αυτή ήταν και η μόνη παρατήρηση μερικών μαθητών κατά τη διδακτική παρέμβαση, ότι θα προτιμούσαν να μη γράφουν στα φύλλα εργασίας τόσο πολλά (τις παρατηρήσεις και τα συμπεράσματα).
- Σχετικά με το τι θεωρούν οι μαθητές ύλη, οι περισσότεροι αναφέρουν ως παραδείγματα στερεά σώματα (πχ. θρανίο, μολύβι, πίνακας, ξύλο, μπάλα, γόμα), ενώ μερικοί αναφέρουν ως παράδειγμα και το νερό και το σύννεφο. Όσον αφορά στο τι δεν είναι ύλη, αναφέρουν συναισθήματα ή αφηρημένες έννοιες (πχ. χαρά, λύπη, αγάπη, θυμός, θερμοκρασία) αλλά και τον αέρα και τον ατμό. Ειδικότερα, στην ερώτηση αν ο αέρας είναι ύλη εφτά μαθητές απαντούν ότι δεν είναι ύλη, τέσσερις απαντούν ότι ούτε ο καπνός είναι ύλη ενώ τρεις μαθητές θεωρούν ότι η θερμότητα είναι ύλη.
- Οι μεγαλύτερες δυσκολίες και διαφωνίες των μαθητών προέκυψαν κατά την αναθεώρηση των αρχικών τους απόψεων για το τι είναι και τι δεν είναι ύλη και οφείλονταν στη δυσκολία μερικών μαθητών να αποδεχθούν τα λάθη τους. Ειδικότερα, στο προτελευταίο φύλλο εργασίας όπου καλούνταν να αναθεωρήσουν τις αρχικές απόψεις τους για το αν ο αέρας είναι ύλη ή όχι, αρκετοί μαθητές αποδέχθηκαν με ευκολία τα νέα δεδομένα του πειραματισμού που αποδεικνύουν ότι και ο αέρας είναι ύλη, καθώς έχει τις βασικές ιδιότητες της ύλης. Οι περισσότεροι, εκτός από τις άλλες ιδιότητές του, σχολίασαν για τον αέρα ότι «είναι ύλη γιατί δεν σημαίνει πως ό,τι δε βλέπουμε δεν είναι ύλη», «ο αέρας έχει μόρια, άρα είναι ύλη», «είναι ύλη, γιατί αν και δεν τον βλέπουμε τον αέρα, τον αισθανόμαστε και τον καταλαβαίνουμε όταν φυσάει». Μερικοί μαθητές, όμως, δυσκολεύτηκαν ιδιαίτερα σε αυτό το σημείο, όχι γιατί αμφισβητούσαν τα νέα δεδομένα ή δεν πίστευαν ότι ο αέρας είναι ύλη, αλλά γιατί δεν ήθελαν να παραδεχτούν ότι έκαναν λάθος! Σε αυτό το σημείο προέκυψαν διαφωνίες, με αυτούς τους

- μαθητές να επιμένουν να αποκρύψουν την αρχική τους εκτίμηση για τον αέρα διορθώνοντας το αρχικό τους φύλλο εργασίας για να μη φανεί το λάθος τους.
- Οι μαθητές αντιμετώπισαν αρχικά δυσκολία να αποδεχτούν την ιδέα της ύπαρξης μη ορατών σωματιδίων που συνθέτουν την ύλη. Όταν τους ζητήθηκε να αναφέρουν αν υπάρχει ύλη που δεν μπορούμε να τη δούμε, οι περισσότεροι μαθητές αναφέρθηκαν στα μικρόβια και τους ιούς, που και αυτά είναι ορατά με τη βοήθεια, βέβαια, των μικροσκοπίων. Στη συνέχεια, όμως, πολλοί μαθητές αρχίζουν να αποδέχονται την ιδέα των μη ορατών σωματιδίων ως συστατικών της ύλης και να θεωρούν το βάρος και τον όγκο ως ιδιότητες της ύλης, ακόμη και στην μη ορατή μορφή της. Προέκυψαν, βέβαια, απορίες και προβληματισμοί που οδήγησαν σε συζητήσεις σχετικά με τη δομή και τις κινήσεις αυτών των σωματιδίων, πώς συγκρατούνται και πώς μπορούμε να τα «δούμε» αφού δε φαίνονται με τα μικροσκόπια.
  - Αρχικά ήταν πολύ έντονη η δέσμευσή των μαθητών από τις αισθήσεις τους, τις οποίες χρησιμοποιούσαν για την εκτίμηση του βάρους και του όγκου των αντικειμένων, καθώς ζύγιζαν με το χέρι τα σώματα ή προσπαθούσαν να τα συγκρίνουν με το μάτι. Αρκετοί μαθητές ξαφνιάζονται όταν ζυγίζουν την πλαστελίνη αφού της έχουν αλλάξει σχήμα και βρίσκουν το ίδιο βάρος με πριν. Δείχνουν, επίσης, δύσπιστοι στην ιδέα ότι ένας κόκκος ρυζιού έχει βάρος και δοκιμάζουν να το μετρήσουν. Στη συνέχεια, όμως, και μετά από τα σχετικά πειράματα, αρκετοί μαθητές δείχνουν να κατανοούν ότι τα πράγματα δεν είναι πάντα «όπως φαίνονται να είναι» και ότι δεν μπορούμε να βασιζόμαστε μόνο στις αισθήσεις μας για να εκτιμούμε το μέγεθος των αντικειμένων και τις ιδιότητές τους.
  - Σχετικά με τις μετρήσεις (βάρους, μάζας, όγκου), αρχικά αντιμετώπισαν δυσκολίες όλοι οι μαθητές, αλλά μετά από τις σχετικές ενότητες και εξάσκηση είχαν εξοικειωθεί με τη διαδικασία και επιχειρούσαν να μετρήσουν τα πάντα (πχ. τα τετράδια, τις κασετίνες, γόμες κτλ). Εντυπωσιακές ήταν οι απαντήσεις τους για το πώς μπορούμε να μετρήσουμε τον όγκο μιας σταγόνας νερού ή τη μάζα και το βάρος ενός κόκκου ρυζιού. Κατάφεραν (με κατάλληλη καθοδήγηση στην αρχή) να καταλήξουν στην απάντηση ότι μπορούμε να μετρήσουμε τον όγκο μιας σταγόνας νερού μετρώντας πόσες σταγόνες χρειάζονται για να ανέβει η στάθμη στο ογκομετρικό δοχείο και διαιρώντας τον όγκο διά του αριθμού των σταγόνων που ρίξαμε! Και αντίστοιχα για το βάρος ενός κόκκου ρυζιού μια μαθήτρια περιέγραψε από μόνη της (χωρίς καθοδήγηση) όλη τη διαδικασία λέγοντας ότι «*θα κρεμάσουμε ένα ποτηράκι και θα δούμε την ένδειξη στο δυναμόμετρο, πχ. 2 N., μετά θα αρχίσουμε να ρίχνουμε κόκκους μέχρι να αλλάξει η ένδειξη πχ. 35 κόκκους για να γίνει 3 N, και τότε θα πούμε: οι 35 κόκκοι έχουν βάρος 1 N, ο 1 έχει  $1/35 = 0,02 N$* »

- Οι περισσότεροι μαθητές ξεκινούν να διακρίνουν επιτυχώς τη μάζα από το βάρος, να κατανοούν τις διαφορές τους, να ξεχωρίζουν τον τρόπο μέτρησής τους και τις μονάδες τους και να απαντούν στο τι αλλάζει και τι μένει ίδιο όταν μετρήσουμε τη μάζα και το βάρος ενός σώματος στη γη και στη σελήνη.
- Ο συνδυασμός των δύο προσεγγίσεων απεικόνισης, μακροσκοπικής και μικροσκοπικής, αποδείχθηκε επιτυχής και αποτελεσματικός, καθώς οι μαθητές έδειξαν ιδιαίτερη ανταπόκριση και αναζητούσαν τη μικροσκοπική ερμηνεία κάθε φορά που γινόταν αναφορά σε μακροσκοπικά φαινόμενα ή έννοιες και τις περισσότερες φορές δοκίμαζαν από μόνοι τους να ερμηνεύσουν μικροσκοπικά τα φαινόμενα που μελετούσαν.
- Οι μαθητές βρήκαν ενδιαφέρουσες τις αναφορές από την ιστορία των επιστημών και τα παραδείγματα από τη ζωή και το έργο επιστημόνων που υπήρχαν στα φύλλα εργασίας και αποτέλεσαν καλές αφορμές για συζήτηση σχετικά με τον τρόπο με τον οποίο δουλεύουν οι επιστήμονες, πώς επιτυγχάνουν τους στόχους τους, πώς ελέγχουν τις ιδέες τους, πώς αποφασίζουν ποιο πείραμα θα κάνουν, αν αλλάζουν τις ιδέες τους και τι κάνουν όταν ένα πείραμα δεν έχει τα αποτελέσματα που περίμεναν.
- Αρκετοί ξεκινούν να διακρίνουν τις υποθέσεις από τις θεωρίες και να θεωρούν τις υποθέσεις ως ιδέες που δοκιμάζονται μέσω πειραματισμού και δείχνουν να αποδέχονται την αναγκαιότητα του πειραματισμού.
- Αρχίζουν να αποδέχονται το ότι οι επιστήμονες μπορεί να κάνουν λάθη ή να αλλάξουν τις ιδέες τους, αν και τους προβληματίζει η προοπτική αυτή. Εξακολουθούν να δυσκολεύονται να αποδεχτούν την αβεβαιότητα της γνώσης και ότι η αλλαγή θεωρίας είναι δυσκολότερη από την αλλαγή υπόθεσης καθώς περιλαμβάνει νέες ερμηνευτικές ιδέες και δεδομένα.

## ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Τα αποτελέσματα της έρευνας δείχνουν να στηρίζουν την υπόθεσή μας ότι η προτεινόμενη παρέμβαση μπορεί να βοηθήσει τη διαδικασία της εννοιολογικής αλλαγής, να βοηθήσει δηλαδή τους μαθητές να μεταβούν από την αφελή θεωρία τους για την ύλη, όπου η ύλη είναι συνεχής και στατική, γίνεται αντιληπτή με τις αισθήσεις και τα υλικά σώματα κατηγοριοποιούνται βάσει των μακροσκοπικών τους ιδιοτήτων, σε μια θεωρία για την ύλη που προσεγγίζει περισσότερο την επιστημονική σωματιδιακή θεωρία για την ύλη, όπου η ύλη είναι στοιχειώδες συστατικό που διατηρείται, έχει βάρος και καταλαμβάνει χώρο και αποτελείται από σωματίδια μη ορατά σε εμάς τα οποία κινούνται συνεχώς και τα υλικά σώματα κατηγοριοποιούνται βάσει της μοριακής τους δομής.

Η σύγκριση των επιδόσεων των μαθητών των δύο τμημάτων (ελέγχου - πειραματικό) πριν και μετά την παρέμβαση έδειξε ότι πριν την παρέμβαση οι μαθητές είχαν αντίστοιχες επιδόσεις σε όλα τα έργα που μετρούν την εννοιολογική αλλαγή για τη θεωρία για την ύλη (αντιλήψεις για την ύλη, κατηγοριοποιήσεις, ερμηνεία φυσικών φαινομένων), όμως μετά την παρέμβαση παρουσιάζουν στατιστικά σημαντικές διαφορές στις επιδόσεις τους, με το πειραματικό τμήμα να παρουσιάζει σημαντική βελτίωση της επίδοσής του σε όλα τα έργα. Το ίδιο συμπέρασμα προκύπτει και από τη σύγκριση της επίδοσης των μαθητών κάθε τμήματος χωριστά πριν και μετά την παρέμβαση, όπου φαίνεται ότι, μετά την παρέμβαση, οι μαθητές του τμήματος ελέγχου δεν παρουσίασαν σημαντική βελτίωση στην επίδοσή τους στα περισσότερα έργα, παρά μόνο μικρή βελτίωση στο έργο για τις αντιλήψεις τους για την ύλη, σε αντίθεση με τους μαθητές του πειραματικού τμήματος, των οποίων η επίδοση βελτιώθηκε σημαντικά σε όλα τα έργα.

Αναλυτικότερα, όσον αφορά στις αντιλήψεις για την ύλη, παρατηρούμε ότι μετά την παρέμβαση οι περισσότεροι μαθητές (67%) του πειραματικού τμήματος έχουν μετακινηθεί από τις αρχικές αντιλήψεις για την ύλη (1- ύλη αντιληπτή με όλες τις αισθήσεις και 2α-ύλη με αισθητό βάρος ή όγκο) σε ενδιάμεσες (2β-ύλη ορατή και 2γ-ύλη και μη ορατή) αλλά και σε επιστημονικές (3-ύλη ως βασικό συστατικό) αντιλήψεις για την ύλη, ενώ στο τμήμα ελέγχου το ποσοστό που φτάνει σε ενδιάμεσες αντιλήψεις (2β και 2γ) είναι 33% και κανένας μαθητής δεν φτάνει στις επιστημονικές. Όσον αφορά στις κατηγοριοποιήσεις, μετά την παρέμβαση η πλειοψηφία των μαθητών του πειραματικού τμήματος (77%) κατηγοριοποιούν τα σώματα και βάσει της φυσικής τους κατάστασης και βάσει της μοριακής τους δομής (με το 33% να δίνει εξήγηση μικροσκοπική), ενώ στο τμήμα ελέγχου το ποσοστό αυτό είναι 39% (με μόνο έναν μαθητή να δίνει εξήγηση μικροσκοπική). Τέλος, όσον αφορά στην ερμηνεία των δύο φαινομένων, μετά την παρέμβαση στο πειραματικό τμήμα η πλειοψηφία των μαθητών έχει μετακινηθεί από τις αρχικές ερμηνείες σε εναλλακτικές (50%) και σε επιστημονικές (28%) εξηγήσεις για τα μελετώμενα φαινόμενα ενώ στο τμήμα ελέγχου τα ποσοστά αυτά είναι αρκετά μικρότερα (22% και 11%), με την πλειοψηφία των μαθητών αυτών να παραμένουν στις αρχικές εξηγήσεις.

Τα παραπάνω αποτελέσματα καθιστούν επιτυχή την προτεινόμενη παρέμβαση, η οποία λαμβάνει υπόψη της τόσο τη διαισθητική θεωρία των μαθητών για την ύλη όσο και τις επιστημικές τους πεποιθήσεις καθώς και την προτεινόμενη σειρά απόκτησης των μακροσκοπικών εννοιών που απαιτούνται για την ομαλή εισαγωγή της σωματιδιακής θεωρίας, η οποία γίνεται με τη βοήθεια κατάλληλου λογισμικού και δυναμικών προσομοιώσεων του μοντέλου του μικρόκοσμου. Τα αποτελέσματα αυτά συμφωνούν και με τις παρατηρήσεις και προτάσεις και άλλων ερευνητών (Wiser και Smith, 2008) που υποστηρίζουν ότι για να προσεγγίσουν οι μαθητές της πρωτοβάθμιας εκπαίδευσης τη σωματιδιακή θεωρία για την ύλη πρέπει να προηγηθεί η κατανόηση μερικών μακροσκοπικών εννοιών, ενώ η προσέγγιση των

σωματιδιακών ιδεών για την ύλη σε αυτή την ηλικία είναι απαραίτητη γιατί τους βοηθά να παγιώσουν την κατανόηση για την ύλη αλλά και να προσεγγίσουν καλύτερα άλλες μακροσκοπικές έννοιες που χωρίς τη σωματιδιακή θεωρία δεν είναι εύκολο να ερμηνευτούν (πχ αλλαγή κατάστασης).

Σύμφωνα με τον Johnson (1998) το σωματιδιακό μοντέλο θα πρέπει να θεωρηθεί ως ένα μέσο για την αρχική καθιέρωση της δυνατότητας μιας ουσίας να βρίσκεται στην αέρια κατάσταση, ενώ οι Papageorgίου και Johnson (2005) υποστηρίζουν επίσης ότι η κατανόηση των μαθητών για τις αλλαγές της κατάστασης της ύλης βελτιώνεται με την εισαγωγή των σωματιδιακών ιδεών. Οι Margel et al. (2008) υποστηρίζουν ότι μια μακροπρόθεσμη ανάπτυξη του σωματιδιακού μοντέλου απαιτεί τη δόμηση μιας γερής βάσης γνώσης για τη μικροσκοπική δομή των υλικών και σπειροειδή διδασκαλία, ενώ οι Lofgren και Hellden (2009) διαπιστώνουν την ανάγκη σύνδεσης των γνώσεων που αποκτούν οι μαθητές στο σχολείο για τη σωματιδιακή δομή της ύλης με τις καθημερινές καταστάσεις.

Επίσης, ο Talanquer (2009) υποστηρίζει ότι πολλές από τις ιδέες και τα μοντέλα των μαθητών μπορούν να εξηγηθούν από την παρουσία υποκείμενων παραδοχών που έχουν διάφορα επίπεδα γενικότητας και εξελίσσονται με τη μάθηση. Η πλήρης κατανόηση του επιστημονικού μοντέλου για τη δομή της ύλης περιλαμβάνει την κατανόηση ενός συνόλου ιδεών που, παρότι αλληλοσχετίζονται, δεν αποκτώνται ταυτοχρόνως από τους περισσότερους μαθητές. Μια από τις βασικές παραδοχές που εντόπισε είναι αυτή της επιφανειακής ομοιότητας έναντι της δομικής ομοιότητας: οι ιδέες των μαθητών επηρεάζονται σε μεγάλο βαθμό από τη φυσική εμφάνιση των αντικειμένων ή υλικών που καλούνται να εξετάσουν, ενώ ένας ειδικός βασίζεται στην παραδοχή ότι, παρά τις διαφορές που παρατηρούμε, όλες οι ουσίες έχουν δομικές ομοιότητες στο σωματιδιακό επίπεδο και υπάρχουν κοινοί αιτιακοί μηχανισμοί που καθορίζουν τις ιδιότητες και τη συμπεριφορά τους. Μια άλλη παραδοχή είναι αυτή της συνέχειας της ύλης: οι μαθητές υποθέτουν ότι η ύλη είναι συνεχής, χωρίς υποκείμενη δομή, καθώς όμως διδάσκονται για το σωματιδιακό μοντέλο της ύλης, αυτή η παραδοχή υποσκιάζεται από την ιδέα ότι η ύλη είναι κοκκώδης. Αυτή η αλλαγή αντίληψης για την ύλη από στατική και ομογενής σε κοκκώδη εισάγει την ανάγκη μιας άλλης παραδοχής, αυτής της ενσωμάτωσης: οι μαθητές υποθέτουν την ύπαρξη κάποιου υλικού μέσα στο οποίο υπάρχουν τα σωματίδια, συνήθως είναι ο αέρας ή το ίδιο το υλικό. Ένας άλλος βασικός περιορισμός των μαθητών είναι η υπόθεση ότι οι κόκκοι ή τα σωματίδια που συνιστούν μια ουσία έχουν τις ίδιες ιδιότητες με το μακροσκοπικό δείγμα του υλικού (παραδοχή της κληρονομικότητας) και έτσι μεταφέρουν πολλές μακροσκοπικές ιδιότητες της ουσίας στο μικροσκοπικό επίπεδο. Τέλος, οι μαθητές συνηθίζουν να σκέφτονται τα σωματίδια ως στατικά και οι ιδέες για την κίνησή τους φαίνεται να επηρεάζονται από τη φυσική κατάσταση και την εμφάνιση της ουσίας. Η σκέψη τους καθοδηγείται από έναν περιορισμό αιτιακού

παράγοντα, την ιδέα δηλαδή ότι κάθε αλλαγή προκαλείται από έναν εξωτερικό παράγοντα, γι' αυτό υποθέτουν ότι τα σωματίδια κινούνται μόνο όταν αναγκάζονται και ότι σταδιακά η κίνησή τους θα σταματήσει. Ο Talanquer υποστηρίζει ότι αυτός ο προσδιορισμός των παραδοχών παρέχει ένα χρήσιμο πλαίσιο που οι εκπαιδευτικοί μπορούν να χρησιμοποιήσουν για να κατανοήσουν πολλές από τις δυσκολίες των μαθητών τους, ενώ μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για το σχεδιασμό εργαλείων αξιολόγησης και διδακτικών παρεμβάσεων για την απόκτηση γνώσεων από τους μαθητές σε έναν τομέα.

Διαπιστώθηκε, επίσης, συσχέτιση ανάμεσα στη θεωρία των μαθητών για την ύλη και στις εξηγήσεις τους για τις φυσικές μεταβολές της ύλης, καθώς οι μαθητές που έχουν διαμορφώσει μια αφελή θεωρία για την ύλη αντιμετωπίζουν μεγαλύτερες δυσκολίες στην ερμηνεία των φυσικών φαινομένων σε σχέση με τους μαθητές των οποίων η θεωρία για την ύλη προσεγγίζει περισσότερο την αντίστοιχη επιστημονική. Αυτή η διαπίστωση ενισχύει το θεωρητικό μας πλαίσιο σύμφωνα με το οποίο τα παιδιά από μικρή ηλικία διαμορφώνουν μία αφελή θεωρία φυσικής (Vosniadou & Mason 2012) η οποία διαφέρει από την επιστημονική και μπορεί να αποτελέσει εμπόδιο κατά την εκπαιδευτική διαδικασία.

Γενικότερα, όταν οι μαθητές έχουν να κατανοήσουν δύσκολες έννοιες και ιδιαίτερα όταν οι επιστημονικές ιδέες εντάσσονται σε ένα επεξηγηματικό πλαίσιο μη συμβατό με το αφελές επεξηγηματικό πλαίσιο των μαθητών, φαίνεται ότι οι μηχανισμοί εμπλουτισμού δεν είναι αποτελεσματικοί και απαιτείται μία ριζική αναδιοργάνωση των αρχικών γνωστικών δομών προκειμένου να επιτευχθεί πιο άμεσα η διαδικασία της εννοιολογικής αλλαγής (Vosniadou, Vamvakoussi, & Skopeliti 2008, Vosniadou & Mason 2012), η οποία περιλαμβάνει τον επαναπροσδιορισμό των εννοιών και την επανένταξή τους σε άλλες οντολογικές κατηγορίες ή τη δημιουργία νέων (Carey 1991). Η δυσκολία πολλών μαθητών να κατανοήσουν τις έννοιες των φυσικών επιστημών οφείλεται συχνά στο ότι το ζήτημα της εννοιολογικής αλλαγής δεν λαμβάνεται υπόψη κατά τη διδασκαλία, καθώς πολλοί εκπαιδευτικοί θεωρούν ότι οι νέες πληροφορίες που παρέχουν μπορούν να ενσωματωθούν εύκολα στις υπάρχουσες γνώσεις των μαθητών και δεν συνειδητοποιούν ότι μερικές φορές η προϋπάρχουσα γνώση μπορεί να σταθεί εμπόδιο στην περαιτέρω μάθηση, όταν οι νέες πληροφορίες που διδάσκονται είναι μη συμβατές με τις υπάρχουσες (Βοσνιάδου, Βαμβακούση, Σκοπελίτη 2008).

Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν, επίσης, ότι η προτεινόμενη παρέμβαση μπορεί να βελτιώσει, έστω και σε μικρό βαθμό, και τις επιστημικές πεποιθήσεις των μαθητών, να τους βοηθήσει δηλαδή να μεταβούν από ένα αρχικό επιστημικό επίπεδο σε ένα ενδιάμεσο. Η σύγκριση των επιστημικών πεποιθήσεων των μαθητών των δύο τμημάτων (ελέγχου - πειραματικό) πριν και μετά την παρέμβαση έδειξε ότι πριν την παρέμβαση οι μαθητές είχαν αντίστοιχες επιδόσεις, όμως μετά την παρέμβαση παρουσιάζουν στατιστικά σημαντική διαφορά

στις επιδόσεις τους, με το πειραματικό τμήμα να παρουσιάζει βελτίωση των επιστημικών του πεποιθήσεων. Αναλυτικότερα, μετά την παρέμβαση η πλειοψηφία (72%) των μαθητών του πειραματικού τμήματος έχει μετακινηθεί από το αρχικό επιστημικό επίπεδο 1, στα ενδιάμεσα επίπεδα 1,5 (44%) και 2 (28%), ενώ στο τμήμα ελέγχου μόνο ένα ποσοστό 28% φτάνει στο επίπεδο 1,5 με τους υπόλοιπους μαθητές να παραμένουν στο αρχικό επίπεδο 1.

Τέλος, διαπιστώθηκε ισχυρή συσχέτιση ανάμεσα στη θεωρία των μαθητών για την ύλη και στις επιστημικές πεποιθήσεις των μαθητών, καθώς οι μαθητές που έχουν διαμορφώσει αφελείς θεωρίες για την ύλη βρίσκονται και σε χαμηλότερο επιστημολογικό επίπεδο όσον αφορά στις πεποιθήσεις τους για τη γνώση και τη φύση της γνώσης και αντιμετωπίζουν μεγαλύτερες δυσκολίες στην ερμηνεία των φυσικών φαινομένων σε σχέση με τους μαθητές που έχουν φθάσει σε ένα ανώτερο επιστημολογικό επίπεδο όπου αναγνωρίζεται ότι η γνώση είναι προϊόν της ανθρώπινης σκέψης και όχι καθορισμένη από μια εξωτερική πραγματικότητα.

Φαίνεται ότι οι επιστημικές πεποιθήσεις επηρεάζουν την εννοιολογική αλλαγή με διάφορους τρόπους (Stathoroulou & Vosniadou 2007). Η σύγκρουση ανάμεσα στην πληροφορία που πρόκειται να αποκτηθεί και στις ήδη υπάρχουσες δημιουργεί μια μαθησιακή κατάσταση στην οποία μπορούν να παίξουν σημαντικό ρόλο μεταβλητές όπως οι επιστημικές πεποιθήσεις, οι οποίες μπορούν είτε να διευκολύνουν είτε να εμποδίσουν τη διαδικασία απόκτησης γνώσεων άμεσα αλλά και έμμεσα. Επομένως, η αλλαγή των επιστημικών πεποιθήσεων φαίνεται να είναι αναγκαία (αλλά όχι επαρκής) συνθήκη για την εννοιολογική αλλαγή, καταδεικνύοντας την ανάγκη ενσωμάτωσης και τέτοιων μεταβλητών σε μοντέλα εννοιολογικής αλλαγής.

Τα αποτελέσματα της έρευνάς μας βρίσκονται σε συμφωνία με τα αποτελέσματα άλλων ερευνών (Wiser et al. 2013) που υποστηρίζουν ότι μια σειρά εννοιολογικών και επιστημολογικών αλλαγών είναι απαραίτητες για να γεφυρώσουν το χάσμα ανάμεσα στην αρχική κατανόηση των παιδιών για την ύλη και στην ατομική θεωρία. Οι μαθητές πρέπει να κάνουν την οντολογική διάκριση ανάμεσα στις αντιληπτές με τις αισθήσεις και στις φυσικές ιδιότητες της ύλης και να κατανοήσουν πώς σχετίζονται μεταξύ τους. Αναμφίβολα, μια αφελής επιστημολογία και η έλλειψη γνώσεων για τα μοντέλα ευθύνονται για την απόδοση μακροσκοπικών ιδιοτήτων στα άτομα και στα μόρια. Η Wiser et al. (2013) τονίζουν, επίσης, ότι η ανασηματοδότηση της ύλης είναι σύνθετη, καθώς περιλαμβάνει έναν μεγάλο αριθμό μικρών αλλά συντονισμένων βημάτων και πολλών ειδών εννοιολογικές αλλαγές: συνενώσεις, διαφοροποιήσεις, γενικεύσεις, εξειδικεύσεις, διακοπή μερικών συνδέσεων μεταξύ εννοιών και δημιουργία νέων. Ως εκ τούτου, μια τέτοια ανασηματοδότηση είναι αναπόφευκτα αργή και απαιτεί την υποστήριξη των προγραμμάτων σπουδών με ένα μεγάλο χρονικό διάστημα που



δίνει το χρόνο να επανεξετάσουμε τις σχέσεις μεταξύ εννοιών πολλές φορές, σε ευρύτερα πλαίσια και σε σχέση με πιο εξελιγμένη επιστημολογική γνώση.

Οι Wisser & Smith (2007a) τονίζουν ότι η πορεία προς την επιστημονική θεωρία για την ύλη περιλαμβάνει ριζικές αλλαγές σε ένα ευρύ δίκτυο εννοιών, όχι μόνο την ύλη και τα υλικά αλλά και για το βάρος, τον όγκο, την πυκνότητα, το στερεό, το υγρό και το αέριο, η έκταση των οποίων δεν έχει εκτιμηθεί αρκετά από την εκπαιδευτική κοινότητα. Αυτές οι αλλαγές αλληλοεξαρτώνται με αλλαγές στην μαθηματική και επιστημολογική κατανόηση, σχετικά με την αξιοπιστία των δεδομένων που λαμβάνονται από τις αισθήσεις χωρίς τη μεσολάβηση μετρητικών εργαλείων, τη φύση του αριθμού και της μέτρησης και το ρόλο των θεωριών και των επιστημονικών μοντέλων.

Η έρευνά μας προσθέτει σε προηγούμενες έρευνες που εξερευνούν τους τρόπους για τη βελτίωση της διαδικασίας απόκτησης γνώσης και τη διευκόλυνση της εννοιολογικής αλλαγής. Τα παραδοσιακά αναλυτικά προγράμματα συχνά υποτιμούν την ικανότητα των μαθητών του δημοτικού σχολείου να δομούν θεωρίες και να αναπτύξουν τις επιστημολογικές βάσεις που είναι απαραίτητες για την ανασηματοδότηση (Wisser et al. 2013). Τα αποτελέσματά μας δείχνουν ότι μπορούμε να βελτιώσουμε τη διαδικασία της μάθησης όταν λαμβάνουμε υπόψη μας όλους τους παράγοντες που φαίνεται να παίζουν σημαντικό ρόλο: τις αφελείς έννοιες των μαθητών για την ύλη, το συνδυασμό της μακροσκοπικής και μικροσκοπικής προσέγγισης, η οποία διευκολύνεται μέσω καταλλήλου λογισμικού, και –κυρίως– τις επιστημολογικές πεποιθήσεις των μαθητών.

Δυστυχώς, τις περισσότερες φορές οι εννοιολογικές και επιστημολογικές αλλαγές που είναι απαραίτητες την κατανόηση της επιστημονικής θεωρίας από τα παιδιά δεν διευκολύνονται από τα υπάρχοντα προγράμματα σπουδών. Την άποψη αυτή υποστηρίζουν και άλλοι ερευνητές, όπως οι Wisser & Smith (2007a, 2007b) που εξετάζοντας ορισμένες επιτυχημένες διδακτικές παρεμβάσεις, υποστηρίζουν μια μαθησιακή εξέλιξη στην οποία η γνώση για την ύλη γίνεται σταδιακά όλο και πιο επιστημονική παραμένοντας συνεπής, πρώτα στο μακροσκοπικό, μετά στο σωματιδιακό και στη συνέχεια στο ατομικό-μοριακό επίπεδο. Αυτή η εξελικτική πορεία μάθησης περιλαμβάνει μια σειρά από ενδιάμεσα μοντέλα που ενεργούν ως στηρίγματα για την επιστημονική θεωρία. Για παράδειγμα, η υιοθέτηση ενός σωματιδιακού μοντέλου περιλαμβάνει τη θεώρηση της κατάσταση της ύλης ως αναδυόμενης ιδιότητας, παρέχει συνεκτικές απαντήσεις σε ερωτήματα σχετικά με την ταυτότητα της ουσίας κατά τις αλλαγές φάσης και δίνει νόημα στα αέρια ως ύλη. Δημιουργεί όμως και νέα ερωτήματα για το αν και πώς οι ουσίες μπορούν να αλλάξουν. Τα σωματιδιακά μοντέλα αποτελούν έτσι ένα "σκαλοπάτι" για ένα βασικό ατομικό-μοριακό μοντέλο που ερμηνεύει τις χημικές αλλαγές, θέτοντας νέες ερωτήσεις σχετικά με τη δομή των ατόμων και τις δυνάμεις που συγκρατούν τα μόρια μαζί.

Τα προγράμματα σπουδών που βασίζονται σε μια τέτοια μαθησιακή πορεία θα επιτρέπουν στους μαθητές να δώσουν ερμηνείες (και προοδευτικά βαθύτερες) για όλο και περισσότερες ιδιότητες και συμπεριφορές της ύλης, καθώς και να αποφεύγουν πολλές από τις παρανοήσεις που προκύπτουν κατά την παραδοσιακή διδασκαλία. Αυτά τα προγράμματα σπουδών βοηθούν επίσης στην επιστημολογική επιτήδευση όχι μόνο για το πώς τα μοντέλα δοκιμάζονται και αναθεωρούνται, αλλά και για το πώς πολλά από αυτά που βλέπουμε στα καθημερινά αντικείμενα είναι ιδιότητες που προκύπτουν από τη δομή της οργάνωσης των ατόμων και των μορίων. Οι Wisser & Smith (2007a) υποστηρίζουν ότι οι δυσκολίες των μαθητών μπορούν να μετριαστούν με μια εναλλακτική προσέγγιση στη διδασκαλία για την ύλη, η οποία ξεκινά από τις ιδέες των παιδιών, στοχεύει στην αναδιοργάνωση και τον εμπλουτισμό τμημάτων του δικτύου γνώσης (αντί μεμονωμένων εννοιών) και στοχεύει σε ενδιάμεσες καταστάσεις γνώσης που δεν είναι απομονωμένα κομμάτια της επιστημονικής θεωρίας, αλλά μάλλον ενσωματωμένα στάδια γνώσης που είναι εννοιολογικά πιο κοντά στην επιστημονική θεωρία και επιτρέπουν ερμηνείες της ύλης και της συμπεριφοράς της.

Δυστυχώς, τα παραδοσιακά προγράμματα σπουδών αντιμετωπίζουν τη γνώση ως γεγονότα χωρίς προβληματισμό και δεν εμπλέκουν τους μαθητές στο κτίσιμο της θεωρίας. Έτσι, λίγοι μαθητές μπορούν να αναπτύξουν οποιεσδήποτε δεξιότητες μοντελοποίησης ή οποιαδήποτε εκτίμηση του ότι ο στόχος της επιστήμης είναι η κατασκευή όλο και πιο κατάλληλων ερμηνευτικών μοντέλων, τα οποία αναπτύσσονται, δοκιμάζονται και αναθεωρούνται μέσα από τους κύκλους δοκιμών υποθέσεων (Carey, Evans, Honda, Jay & Unger 1989, Grosslight, Unger, Jay & Smith 1991). Το αποτέλεσμα είναι οι μαθητές να μην μπορούν να διακρίνουν τις ιδέες από τα αποδεικτικά στοιχεία, να εκτιμήσουν τη φύση των υποθέσεων και το γεγονός ότι τα δεδομένα μπορούν να εξηγηθούν με πολλούς τρόπους και να κατανοούν το ρόλο των μοντέλων ως εργαλείων για την καθοδήγηση του σχηματισμού υποθέσεων και της έρευνας. Έτσι, τους λείπει μια επιστημολογική βάση για την κατανόηση της σωματιδιακής θεωρίας ως μοντέλου της ύλης. Γενικότερα, τα παραδοσιακά προγράμματα σπουδών αποτυγχάνουν να ενισχύσουν την επιστημολογική μετάβαση από τις αντιληπτές με τις αισθήσεις έννοιες στις έννοιες που μπορούν να ποσοτικοποιηθούν αντικειμενικά. Έτσι, για τους περισσότερους μαθητές, η ύλη παραμένει αυτό που μπορεί κανείς να δει, να αισθανθεί και να αγγίξει, αντί για κάτι που έχει το βάρος και καταλαμβάνει χώρο. Αυτό που λείπει από τους μαθησιακούς στόχους τους είναι η ανάπτυξη ενός ισχυρού (μικροσκοπικού) μοντέλου σύνθεσης των υλικών στο οποίο ακόμη και τα πολύ μικρά κομμάτια καταλαμβάνουν χώρο και έχουν βάρος. Χωρίς αυτή την κατανόηση, οι μαθητές δεν είναι σε θέση να ανακαλύψουν την υλική φύση των αερίων, να αναπτύξουν μια έννοια της ουσίας που να διαφοροποιείται από την κατάσταση ή να κατανοήσουν τη διατήρηση της ταυτότητας της ουσίας και της ύλης κατά την αλλαγή φάσης

## ΓΕΝΙΚΗ ΣΥΖΗΤΗΣΗ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Στόχος της παρούσας διατριβής ήταν αφενός μεν να διερευνήσει τη σχέση ανάμεσα στις διαδικασίες κατηγοριοποίησης και επανακατηγοριοποίησης της έννοιας της ύλης και στην εννοιολογική αλλαγή και να συμβάλει στην επιστημονική συζήτηση γύρω από τα θέματα αυτά, μελετώντας τα είδη των εννοιολογικών αλλαγών που λαμβάνουν χώρα κατά τη διάρκεια της μάθησης, όταν τα παιδιά διδάσκονται αντιδραστικές πληροφορίες για τις φυσικές επιστήμες, αφετέρου δε να σχεδιάσει, να εφαρμόσει και να προτείνει μια διδακτική παρέμβαση που μπορεί να προωθήσει τη διαδικασία της εννοιολογικής αλλαγής, να βοηθήσει δηλαδή τους μαθητές να μεταβούν από τις βασιζόμενες στις αισθήσεις έννοιες που χαρακτηρίζουν την αφελή θεωρία τους για την ύλη στις πιο αφηρημένες έννοιες της αντίστοιχης επιστημονικής θεωρίας.

Όσον αφορά στον πρώτο στόχο μας που μελετήθηκε στις δύο πρώτες έρευνες της παρούσας διατριβής, οι ηλικιακές διαφορές στις κατηγοριοποιήσεις των συμμετεχόντων και ιδιαίτερα στις δύο τελευταίες ερωτήσεις κατηγοριοποίησης, όπου ζητάμε ξεκάθαρα από τους συμμετέχοντες να κατηγοριοποιήσουν τα αντικείμενα βάσει της φυσικής τους κατάστασης και βάσει της χημικής τους σύστασης (1<sup>η</sup> έρευνα) ή της μοριακής τους δομής (2<sup>η</sup> έρευνα) υποστηρίζουν την υπόθεσή μας ότι υπάρχει αναπτυξιακή αλλαγή στις κατηγοριοποιήσεις των συμμετεχόντων που συντελείται κατά τη μάθηση.

Στην αρχή, οι κατηγοριοποιήσεις των μαθητών βασίζονται κυρίως στην ομοιότητα των σωμάτων στο σχήμα, το χρώμα ή τη χρήση κλπ.. Στην πορεία, καθώς έρχονται σε επαφή με τις επιστημονικές ιδέες για τα υλικά σώματα χρησιμοποιούν κυρίως τη φυσική κατάσταση των σωμάτων (στερεά, υγρά, αέρια) ως κριτήριο κατηγοριοποίησης. Προηγείται, βέβαια, μια κατηγοριοποίηση όπου τα στερεά και τα υγρά μπορούν να ενταχθούν σε μία κατηγορία, τα αέρια όμως εξακολουθούν να δημιουργούν πρόβλημα και να μην μπορούν να ενσωματωθούν στην κατηγορία αυτή. Στη συνέχεια, καθώς οι μαθητές αποκτούν περισσότερες γνώσεις για τη δομή της ύλης και τα σωματίδια του μικρόκοσμου, επανακατηγοριοποιούν τα σώματα βάσει της μοριακής τους δομής, ενώ όταν αποκτούν ειδικές γνώσεις για τη δομή της ύλης μπορούν να κατηγοριοποιήσουν τα σώματα και βάσει της χημικής τους σύστασης. Η διαδικασία, δηλαδή, της εννοιολογικής ανάπτυξης προχωράει μέσω συνθετικών μοντέλων στη σταδιακή διαμόρφωση μιας συνεχώς αναδιοργανωμένης έννοιας για τα υλικά σώματα που είναι πιο κοντά στην επιστημονική. Οι ενδιάμεσες κατηγορίες είναι αυτές όπου καταβάλλεται προσπάθεια από τους μαθητές να συνδυάσουν τις νέες πληροφορίες που διδάσκονται με το υπάρχον επεξηγηματικό τους πλαίσιο.

Αναλυτικότερα, από τις δύο πρώτες έρευνες προέκυψε ότι η πλειοψηφία των μικρότερων μαθητών (Β΄ και Δ΄ Δημοτικού) χρησιμοποιεί ως κριτήριο κατηγοριοποίησης των σωμάτων την ομοιότητα στο σχήμα, το χρώμα ή τη χρήση και ακόμη και όταν τους ζητηθεί να χωρίσουν τα αντικείμενα σε στερεά, υγρά και αέρια (φυσική κατάσταση) ένα ποσοστό 55% και 45%, αντίστοιχα, δεν τα καταφέρνει, ενώ, αντίθετα, η πλειοψηφία των μαθητών της Στ΄ Δημοτικού (88%) κατηγοριοποιούν τα σώματα βάσει της φυσικής τους κατάστασης. Το ποσοστό αυτό αυξάνεται στους μαθητές της Γ΄ Γυμνασίου και στους φοιτητές (του ΜΙΘΕ, του Χημικού και του ΠΤΔΕ). Στη δεύτερη έρευνα παρατηρούμε μια σταδιακή αύξηση του ποσοστού των μαθητών που κατηγοριοποιούν τα σώματα βάσει της κοινής μοριακής τους δομής, το οποίο ξεκινά από το 18% στην Δ΄ Δημοτικού, γίνεται 47% στην Στ΄ Δημοτικού, 66% στην Γ΄ Γυμνασίου και φτάνει το 100% στους φοιτητές. Όσον αφορά στην κατηγοριοποίηση βάσει της χημικής σύστασης των σωμάτων (στην πρώτη έρευνα) προέκυψε ότι μόνο ένα μικρό ποσοστό των φοιτητών του ΜΙΘΕ (19%) και σχεδόν όλοι οι φοιτητές του Χημικού, που έχουν εξειδικευμένες γνώσεις, κατηγοριοποίησαν τα σώματα βάσει της χημικής τους σύστασης (σε καθαρές ουσίες και μείγματα) και αυτοί οι φοιτητές κατάφεραν να δώσουν επαρκείς επιστημονικές εξηγήσεις για τα φαινόμενα της αλλαγής της κατάστασης των σωμάτων. Διαπιστώνουμε επομένως ότι μέχρι το τέλος του Δημοτικού Σχολείου οι μαθητές είναι σε θέση να κατηγοριοποιούν τα σώματα βάσει της φυσικής τους κατάστασης, ενώ αρκετοί από αυτούς μπορούν να τα κατηγοριοποιούν και βάσει της μοριακής τους δομής, όταν τους ζητηθεί, αλλά όχι βάσει της χημικής τους σύστασης, που γίνεται αρκετά αργότερα, όταν αποκτούν εξειδικευμένες γνώσεις.

Τα αποτελέσματα αυτά επιβεβαιώνουν προηγούμενα επιχειρήματα που μιλούν για αλλαγή θεωρίας στις εννοιολογικές γνώσεις των παιδιών (Carey 1985, Chi 1992, Vosniadou 1999) και δείχνουν να επιβεβαιώνουν πειραματικά ότι η διαδικασία της εννοιολογικής αλλαγής απαιτεί οντολογικές αλλαγές, υπόθεση που έχει μελετηθεί από αρκετούς ερευνητές (Carey 1991, Inagaki & Hatano 2002). Ενισχύουν έτσι και το θεωρητικό μας πλαίσιο για τη σχέση της εννοιολογικής αλλαγής και της διαδικασίας των κατηγοριοποιήσεων. Θεωρούμε ότι τα παιδιά από μικρή ηλικία διαμορφώνουν μια αφελή θεωρία φυσικής (Vosniadou & Mason 2007) και βάσει αυτής οι έννοιες εντάσσονται αυτόματα σε κατηγορίες, αποκτώντας τις ιδιότητες των κατηγοριών αυτών (Carey 1985, Murphy & Medin 1985). Οι περισσότερες από τις παρανοήσεις των μαθητών οφείλονται σε τέτοιου είδους λανθασμένες κατηγοριοποιήσεις (Chi 2008). Στην πορεία, αν το επεξηγηματικό πλαίσιο εμπλουτιστεί και αναδομηθεί, αυτομάτως επηρεάζεται και ο τρόπος κατηγοριοποίησης των εννοιών. Όταν μια έννοια επανακατηγοριοποιείται, της αποδίδονται νέα χαρακτηριστικά και ιδιότητες, καθώς οι νόμοι και οι αρχές που ισχύουν για τη

νέα κατηγορία τώρα εφαρμόζονται σε αυτή την έννοια (Medin & Rips 2005). Σε αυτό το πλαίσιο η διαδικασία της εννοιολογικής αλλαγής μπορεί να θεωρηθεί μια επαναξιολόγηση των εννοιών και ανανέωσης των κατηγοριών (Vosniadou & Mason 2007).

Επιπλέον, από την έρευνα προέκυψαν ενδείξεις ισχυρής συσχέτισης ανάμεσα στον τρόπο με τον οποίο κατηγοριοποιούν τα υλικά σώματα οι συμμετέχοντες και τις εξηγήσεις που δίνουν για την αλλαγή κατάστασης των σωμάτων. Φαίνεται πως η αλλαγή θεωρίας από την κατηγοριοποίηση βάσει της φυσικής κατάστασης στην κατηγοριοποίηση βάσει της μοριακής δομής (και αρκετά αργότερα βάσει της χημικής σύστασης) προηγείται της πλήρους κατανόησης της ερμηνείας των φυσικών φαινομένων και μοιάζει να είναι απαραίτητη προϋπόθεση για την κατανόηση των επιστημονικών ερμηνειών για τα φαινόμενα της αλλαγής της φυσικής κατάστασης των σωμάτων. Συνεπώς, τα αποτελέσματα της έρευνας υποστηρίζουν την υπόθεση ότι οι δυσκολίες των μαθητών να κατανοήσουν τις επιστημονικές εξηγήσεις για τα φυσικά φαινόμενα οφείλονται στην τάση τους να κατηγοριοποιούν τα σώματα βάσει της φυσικής τους κατάστασης (αντί της μοριακής τους δομής) και κατ' επέκταση να τους αποδίδουν τις ιδιότητες της αντίστοιχης κατηγορίας και ότι η επανακατηγοριοποίηση της έννοιας της ύλης σε μια νέα οντολογική κατηγορία μοιάζει να είναι απαραίτητη για την πλήρη κατανόηση των επιστημονικών εξηγήσεων για τα φυσικά φαινόμενα.

Οι δύο πρώτες έρευνες έδειξαν ότι πράγματι οι κατηγορίες που χρησιμοποιούν οι μαθητές χαρακτηρίζονται από βασικές ιδιότητες και όταν ένα υλικό εντάσσεται σε μια κατηγορία θεωρείται ότι φέρει τις ιδιότητες της κατηγορίας αυτής. Οι ιδιότητες των υλικών σωμάτων προσδιορίζονται από τους μαθητές με αναφορά κυρίως στις αισθήσεις (πχ. η όραση, η αφή) ή μακροσκοπικά χαρακτηριστικά όπως το σχήμα, ο όγκος, το βάρος. Η πλειοψηφία των μαθητών του δημοτικού σχολείου επικεντρώνεται σε λίγες μακροσκοπικές ιδιότητες για τα στερεά (είναι σκληρά, στεγνά, ελαφριά, στέκονται, έχουν συγκεκριμένα σχήματα, είναι ορατά, τα πιάνουμε), για τα υγρά απαντά ότι είναι νερό ή περιέχουν νερό, ενώ για τα αέρια απαντά ότι είναι αέρας και ότι βρίσκονται στον αέρα. Τα αποτελέσματα αυτά συμφωνούν με τη σχετική βιβλιογραφία, αφού είναι ευρύτερα αποδεκτό ότι οι μαθητές θεωρούν ως "στερεά" τα σώματα εκείνα που είναι σκληρά, δεν αλλάζουν εύκολα σχήμα, δε σπάζουν εύκολα και γενικότερα είναι ανθεκτικά, ενώ τα εύπλαστα ή εύθραυστα υλικά συνήθως δεν εντάσσονται στα στερεά. Επιπλέον, για τα υγρά το πρότυπο αναφοράς είναι το νερό και ειδικότερα η ρευστότητά του. Γι' αυτό και οι μαθητές μπορούν με επιτυχία να διακρίνουν τα υγρά σώματα και να τα χαρακτηρίσουν ως υγρά από πολύ νωρίς εξ αιτίας του νερού που λειτουργεί ως παράδειγμα και της ιδέας που συνήθως χρησιμοποιούν ως κριτήριο ότι: "όλα τα υγρά είναι φτιαγμένα από το νερό". Αντίθετα, για τα στερεά σώματα δεν υπάρχει τέτοιο παράδειγμα, με αποτέλεσμα τα παιδιά να κατατάσσουν

συνήθως σωστά τα σκληρά στερεά, ενώ δυσκολεύονται στην κατάταξη των μη σκληρών στερεών, τα οποία πολλά παιδιά τοποθετούν σε ξεχωριστή κατηγορία.

Η παρούσα έρευνα έδειξε, επίσης, ότι οι μαθητές δυσκολεύονται να δεχτούν τη μετάβαση μιας ουσίας από μια κατηγορία σε μια άλλη, γεγονός που έρχεται να επιβεβαιώσει την υπόθεσή μας και συμφωνεί με σχετικές έρευνες που έχουν δείξει ότι οι μαθητές αντιμετωπίζουν δυσκολίες να κατανοήσουν την πληροφορία ότι τα υλικά σώματα, όπως για παράδειγμα το νερό, είναι χημικές ενώσεις και εκτός από τη μια κατάσταση (πχ. την υγρή) μπορούν να βρεθούν και στις άλλες (αέρια, στερεή). Η ιδέα ότι κάτω από ορισμένες συνθήκες το νερό βρίσκεται στην αέρια ή τη στερεή κατάσταση δεν είναι διαισθητική και δε συμφωνεί με την καθημερινή εμπειρία των μαθητών, ενώ αντίθετα η άποψη ότι το νερό είναι υγρό είναι προϊόν καθημερινής παρατήρησης. Επομένως, ο απλοϊκός τρόπος με τον οποίο τα παιδιά αντιλαμβάνονται το νερό και γενικότερα τις χημικές ενώσεις έρχεται σε αντίθεση με τον επιστημονικό και η αποδοχή από τη μεριά των μαθητών της επιστημονικής θεωρίας σημαίνει αλλαγές στις βασικές πεποιθήσεις τους.

Τα ευρήματά μας συμφωνούν σε αρκετά σημεία με τα αποτελέσματα άλλων ερευνών (Stavy & Stachel 1985, Stavy 1988, Smith, Carey & Wisner 1985, Nussbaum 1985, Carey & Spelke 1994, Nakhlem & Samarapungavan 1999) που υποστηρίζουν ότι τα παιδιά χρησιμοποιούν το νερό ως πρότυπο υγρό, και ότι βασίζονται σε λίγες μακροσκοπικές ιδιότητες για να ταυτοποιήσουν ένα υγρό ως νερό και ότι οι μαθητές του δημοτικού (και του γυμνασίου) δεν χρησιμοποιούν γενικά σωματιδιακές ιδέες για την περιγραφή της δομής της ύλης, ενώ ακόμη και στην περίπτωση που χρησιμοποιούν σωματιδιακές ιδέες συχνά αυτές δεν είναι σύμφωνες με τις επιστημονικές και αντανακλούν περισσότερο μακροσκοπική θεώρηση της ύλης παρά μικροσκοπική.

Τα αποτελέσματα των δύο πρώτων αυτών ερευνών μας δείχνουν να επιβεβαιώνουν την υπόθεσή μας ότι το επεξηγηματικό πλαίσιο των μαθητών για την ύλη θέτει περιορισμούς στην κατανόηση του αντίστοιχου επιστημονικού, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται παρανοήσεις, οι οποίες είναι συνθετικά μοντέλα. Αναλυτικότερα, τα αποτελέσματά μας συμφωνούν σε μεγάλο βαθμό με τα αντίστοιχα αποτελέσματα της έρευνας της Κουκά (2000) και υποστηρίζουν την άποψη ότι τα παιδιά σχηματίζουν ένα αρχικό επεξηγηματικό πλαίσιο για την ύλη το οποίο μεταβάλλεται σταδιακά μέσω της δημιουργίας συνθετικών μοντέλων, μέχρι να υιοθετηθεί το επιστημονικό μοντέλο και από τη μελέτη αυτών των συνθετικών μοντέλων των μαθητών προκύπτει ότι υπάρχει μια ακολουθία στην κατανόηση ορισμένων εννοιών που σχετίζονται με το νερό ως χημική ένωση. Τα συνθετικά μοντέλα στις περισσότερες περιπτώσεις αναδεικνύουν

τις προσπάθειες των παιδιών να συνδυάσουν τις προϋπάρχουσες γνώσεις τους, προερχόμενες από την εμπειρία τους, με τις επιστημονικές πληροφορίες που λαμβάνουν από τους ενήλικους.

Παρατηρούμε ότι το μοντέλο των μαθητών της Β' τάξης είναι διαισθητικό, ενώ σε μεγαλύτερη ηλικία οι μαθητές έχουν διαμορφώσει ένα μοντέλο συνθετικό, καθώς προσπαθούν να ενσωματώσουν τις επιστημονικές πληροφορίες που διδάσκονται στα υπάρχοντα επεξηγηματικά τους πλαίσια. Για παράδειγμα, φαίνεται ότι οι μαθητές μαθαίνουν αρχικά ότι το νερό είναι ένα σώμα του οποίου η ταυτότητα μπορεί να προσδιοριστεί από το σύνολο των μακροσκοπικών του ιδιοτήτων και στη συνέχεια κατανοούν ότι ο υδρατμός είναι επίσης νερό σε αέρια κατάσταση και ο πάγος σε στερεή. Η εξήγηση του βρασμού ως διαδικασία μετατροπής του υγρού σε αέριο και της τήξης ως διαδικασία μετατροπής του στερεού σε υγρό δείχνουν να εξαρτώνται από την κατανόηση των δύο πρώτων. Επιπλέον, όπως προκύπτει από τις απόψεις τους για τη σύσταση του νερού, του πάγου και του υδρατμού, οι μικροί μαθητές διαμορφώνουν την πεποίθηση ότι η ύλη είναι συνεχής και τα υλικά σώματα συνεχή (χωρίς σωματίδια) και δεν μεταβάλλονται και η πεποίθησή τους αυτή επηρεάζει επίσης την αντίληψή τους ότι το νερό είναι ένα σώμα συνεχές, το οποίο δε μεταβάλλεται.

Όταν οι μαθητές διδάσκονται (από τις πρώτες τάξεις του Δημοτικού και κυρίως στην Ε' και Στ' τάξη) ότι το νερό βρίσκεται στην υγρή, την αέρια και τη στερεή φυσική κατάσταση, καθώς και τα φαινόμενα μετατροπής της μιας φυσικής κατάστασης στην άλλη, όπως για παράδειγμα το βρασμό ή την τήξη, διαπιστώνουν αντιφάσεις και προσπαθούν να συμβιβάσουν τις αρχικές τους απόψεις (ότι η ταυτότητα των φυσικών σωμάτων δε μεταβάλλεται) με τις νέες, επιστημονικά αποδεκτές πληροφορίες για το νερό ως χημική ένωση. Στην προσπάθειά τους αυτή να ενσωματώσουν τις καινούριες απόψεις (για το νερό ως χημική ένωση) στις δικές τους (για το νερό μόνο ως υγρό) σχηματίζουν συνθετικά μοντέλα, δηλαδή δεν αγνοούν τις επιστημονικές απόψεις που διδάσκονται, αλλά τις παραποιούν με τέτοιο τρόπο ώστε να διατηρούν και τις διαισθητικές τους αντιλήψεις. Μια λύση που υιοθετούν για την εξήγηση της δημιουργίας του «ατμού» και την ερμηνεία της τήξης του πάγου είναι η κατάτμηση του νερού σε επιμέρους στοιχεία (σταγόνες ή φουσκάλες), η οποία και αποτελεί μια πολύ σημαντική ιδέα προς την κατεύθυνση της υιοθέτησης σωματιδιακών ιδεών. Μια άλλη λύση είναι ότι ο ατμός και ο πάγος περιέχουν ένα είδος νερού, διατηρώντας έτσι την άποψή τους ότι το νερό δεν αλλάζει κατά το βρασμό ή την τήξη, αλλά υφίσταται σε δυο μορφές -το υγρό και το «εξατμισμένο» ή το «παγωμένο».

Συμπερασματικά, θα μπορούσαμε να πούμε ότι παρατηρείται αλλαγή στις κατηγοριοποιήσεις των συμμετεχόντων, η οποία συσχετίζεται με την κατανόηση των

επιστημονικών εξηγήσεων για τις φυσικές μεταβολές της ύλης. Οι δυσκολίες δηλαδή των παιδιών να κατανοήσουν τις επιστημονικές ιδέες για την ύλη, φαίνεται να πηγάζουν από το ότι κατηγοριοποιούν τα υλικά σώματα βάσει των μακροσκοπικών τους ιδιοτήτων και όχι της μοριακής τους δομής. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να τους αποδίδουν τα χαρακτηριστικά των αντίστοιχων κατηγοριών, τα οποία λειτουργούν ως περιορισμοί στην απόδοση των επιστημονικών εξηγήσεων για τις φυσικές μεταβολές της ύλης, εμποδίζοντας έτσι τη διαδικασία της μάθησης. Από τα αποτελέσματα των δύο πρώτων ερευνών επιβεβαιώθηκε πειραματικά η υπόθεση αυτή, δεδομένου ότι βρέθηκε ισχυρός βαθμός συσχέτισης ανάμεσα στον τρόπο που κατηγοριοποιούν τα παιδιά τα υλικά σώματα και στις ερμηνείες τους για τα φυσικά φαινόμενα. Τα πειραματικά μας ευρήματα συμβάλλουν στη θεωρία περί εννοιολογικής αλλαγής δεδομένου ότι αυτό που είχε διατυπωθεί σαν υπόθεση και από άλλους ερευνητές που θεωρούν ότι η διαδικασία της εννοιολογικής αλλαγής απαιτεί οντολογικές αλλαγές (Carey 1991, Inagaki & Hatano 2002), επιβεβαιώθηκε και πειραματικά. Ο στατιστικά σημαντικός βαθμός συσχέτισης ανάμεσα στα δύο έργα ενισχύει τον ισχυρισμό ότι η κατηγοριοποίηση των υλικών σωμάτων είναι άμεσα συσχετιζόμενη με την κατανόηση των επιστημονικών εξηγήσεων για τα φυσικά φαινόμενα, γιατί η κατηγοριοποίηση περικλείει ένα σημαντικό αριθμό άδηλων πεποιθήσεων που κατευθύνει τον τρόπο που αντιλαμβανόμαστε τον κόσμο γύρω μας και τις θεωρίες που διαμορφώνουμε για αυτόν. Επιπλέον, τα αποτελέσματα αυτών των δύο ερευνών υποστηρίζουν και την άποψη ότι η επανακατηγοριοποίηση των υλικών σωμάτων ίσως είναι απαραίτητη προϋπόθεση για την πλήρη κατανόηση των επιστημονικών ιδεών για τις μεταβολές της ύλης.

Όσον αφορά στο δεύτερο στόχο μας που μελετήθηκε στην τρίτη έρευνα της παρούσας διατριβής, τα αποτελέσματα δείχνουν να στηρίζουν την υπόθεσή μας ότι η προτεινόμενη παρέμβαση, η οποία λαμβάνει υπόψη της τόσο τη διαισθητική θεωρία των μαθητών για την ύλη όσο και τις επιστημικές τους πεποιθήσεις καθώς και την προτεινόμενη σειρά απόκτησης των μακροσκοπικών εννοιών που απαιτούνται για την ομαλή εισαγωγή της σωματιδιακής θεωρίας (η οποία γίνεται με τη βοήθεια κατάλληλου λογισμικού και δυναμικών προσομοιώσεων του μοντέλου του μικρόκοσμου) μπορεί να βοηθήσει τη διαδικασία της εννοιολογικής αλλαγής, να βοηθήσει δηλαδή τους μαθητές να μεταβούν από την αφελή θεωρία τους για την ύλη, όπου η ύλη είναι συνεχής και στατική, γίνεται αντιληπτή με τις αισθήσεις και τα υλικά σώματα κατηγοριοποιούνται βάσει των μακροσκοπικών τους ιδιοτήτων, σε μια θεωρία για την ύλη που προσεγγίζει περισσότερο την επιστημονική σωματιδιακή θεωρία για την ύλη, όπου η ύλη είναι στοιχειώδες συστατικό που διατηρείται, έχει βάρος και καταλαμβάνει χώρο και αποτελείται από σωματίδια μη ορατά σε εμάς τα οποία κινούνται συνεχώς και τα υλικά σώματα κατηγοριοποιούνται βάσει της μοριακής τους δομής.



Η σύγκριση των επιδόσεων των μαθητών των δύο τμημάτων (ελέγχου - πειραματικό) πριν και μετά την παρέμβαση έδειξε ότι, ενώ πριν την παρέμβαση οι μαθητές είχαν αντίστοιχες επιδόσεις σε όλα τα έργα που μετρούν την εννοιολογική αλλαγή για τη θεωρία για την ύλη (αντιλήψεις για την ύλη, κατηγοριοποιήσεις, ερμηνεία φυσικών φαινομένων), μετά την παρέμβαση παρουσιάζουν στατιστικά σημαντικές διαφορές στις επιδόσεις τους, με το πειραματικό τμήμα να παρουσιάζει σημαντική βελτίωση της επίδοσής του σε όλα τα έργα. Το ίδιο συμπέρασμα προκύπτει και από τη σύγκριση της επίδοσης των μαθητών κάθε τμήματος χωριστά πριν και μετά την παρέμβαση, όπου φαίνεται ότι, μετά την παρέμβαση, οι μαθητές του τμήματος ελέγχου δεν παρουσίασαν σημαντική βελτίωση στην επίδοσή τους στα περισσότερα έργα, παρά μόνο μικρή βελτίωση στο έργο για τις αντιλήψεις τους για την ύλη, σε αντίθεση με τους μαθητές του πειραματικού τμήματος, των οποίων η επίδοση βελτιώθηκε σημαντικά σε όλα τα έργα. Αναλυτικότερα, όσον αφορά στις αντιλήψεις για την ύλη, παρατηρούμε ότι μετά την παρέμβαση οι περισσότεροι μαθητές (67%) του πειραματικού τμήματος έχουν μετακινηθεί από τις αρχικές αντιλήψεις για την ύλη σε ενδιάμεσες αλλά και σε επιστημονικές αντιλήψεις για την ύλη, ενώ στο τμήμα ελέγχου το ποσοστό που φτάνει σε ενδιάμεσες αντιλήψεις είναι 33% και κανένας μαθητής δεν φτάνει στις επιστημονικές. Όσον αφορά στις κατηγοριοποιήσεις, μετά την παρέμβαση η πλειοψηφία των μαθητών του πειραματικού τμήματος (77%) κατηγοριοποιούν τα σώματα και βάσει της φυσικής τους κατάστασης και βάσει της μοριακής τους, ενώ στο τμήμα ελέγχου το ποσοστό αυτό είναι 39%. Τέλος, όσον αφορά στην ερμηνεία των δύο φαινομένων, μετά την παρέμβαση, στο πειραματικό τμήμα η πλειοψηφία των μαθητών έχει μετακινηθεί από τις αρχικές ερμηνείες σε εναλλακτικές (50%) και σε επιστημονικές (28%) εξηγήσεις για τα μελετώμενα φαινόμενα, ενώ στο τμήμα ελέγχου τα ποσοστά αυτά είναι αρκετά μικρότερα (22% και 11%), με την πλειοψηφία των μαθητών αυτών να παραμένουν στις αρχικές εξηγήσεις.

Τα παραπάνω αποτελέσματα καθιστούν επιτυχή την προτεινόμενη παρέμβαση. Τα αποτελέσματα αυτά συμφωνούν και με τις παρατηρήσεις και προτάσεις και άλλων ερευνητών (Wiser και Smith, 2008) που υποστηρίζουν ότι για να προσεγγίσουν οι μαθητές της πρωτοβάθμιας εκπαίδευσης τη σωματιδιακή θεωρία για την ύλη πρέπει να προηγηθεί η κατανόηση μερικών μακροσκοπικών εννοιών, ενώ η προσέγγιση των σωματιδιακών ιδεών για την ύλη σε αυτή την ηλικία είναι απαραίτητη γιατί τους βοηθά να παγιώσουν την κατανόηση για την ύλη αλλά και να προσεγγίσουν καλύτερα άλλες μακροσκοπικές έννοιες που χωρίς τη σωματιδιακή θεωρία δεν είναι εύκολο να ερμηνευτούν (πχ. αλλαγή κατάστασης).

Διαπιστώθηκε, επίσης, συσχέτιση ανάμεσα στη θεωρία των μαθητών για την ύλη και στις εξηγήσεις τους για τις φυσικές μεταβολές της ύλης, καθώς οι μαθητές που έχουν διαμορφώσει μια αφελή θεωρία για την ύλη αντιμετωπίζουν μεγαλύτερες δυσκολίες στην ερμηνεία των

φυσικών φαινομένων σε σχέση με τους μαθητές των οποίων η θεωρία για την ύλη προσεγγίζει περισσότερο την αντίστοιχη επιστημονική. Αυτή η διαπίστωση ενισχύει το θεωρητικό μας πλαίσιο σύμφωνα με το οποίο τα παιδιά από μικρή ηλικία διαμορφώνουν μία αφελή θεωρία φυσικής (Vosniadou & Mason 2012) η οποία διαφέρει από την επιστημονική και μπορεί να αποτελέσει εμπόδιο κατά την εκπαιδευτική διαδικασία.

Γενικότερα, όταν οι μαθητές έχουν να κατανοήσουν δύσκολες έννοιες και ιδιαίτερα όταν οι επιστημονικές ιδέες εντάσσονται σε ένα επεξηγηματικό πλαίσιο μη συμβατό με το αφελές επεξηγηματικό πλαίσιο των μαθητών, φαίνεται ότι οι μηχανισμοί εμπλουτισμού δεν είναι αποτελεσματικοί και απαιτείται μία ριζική αναδιοργάνωση των αρχικών γνωστικών δομών προκειμένου να επιτευχθεί πιο άμεσα η διαδικασία της εννοιολογικής αλλαγής (Vosniadou, Vamvakoussi, & Skopeliti 2008, Vosniadou & Mason 2012), η οποία περιλαμβάνει τον επαναπροσδιορισμό των εννοιών και την επανένταξή τους σε άλλες οντολογικές κατηγορίες ή τη δημιουργία νέων (Carey 1991). Η δυσκολία πολλών μαθητών να κατανοήσουν τις έννοιες των φυσικών επιστημών οφείλεται συχνά στο ότι το ζήτημα της εννοιολογικής αλλαγής δεν λαμβάνεται υπόψη κατά τη διδασκαλία, καθώς πολλοί εκπαιδευτικοί θεωρούν ότι οι νέες πληροφορίες που παρέχουν μπορούν να ενσωματωθούν εύκολα στις υπάρχουσες γνώσεις των μαθητών και δεν συνειδητοποιούν ότι μερικές φορές η προϋπάρχουσα γνώση μπορεί να σταθεί εμπόδιο στην περαιτέρω μάθηση, όταν οι νέες πληροφορίες που διδάσκονται είναι μη συμβατές με τις υπάρχουσες (Βοσνιάδου, Βαμβακούση, Σκοπελίτη 2008). Σύμφωνα με την Carey (1985), η εννοιολογική αλλαγή σε πολλές περιπτώσεις απαιτεί την επανατοποθέτηση μιας έννοιας σε μια διαφορετική οντολογική κατηγορία ή τη δημιουργία νέων οντολογικών κατηγοριών –όπως όταν η έννοια της Γης εντάσσεται στην κατηγορία των αστρονομικών αντικειμένων αντί των φυσικών αντικειμένων (Chi 2008, Vosniadou & Skopeliti 2005)–, ενώ άλλες φορές απαιτεί τη διαφοροποίηση ή τη συνένωση εννοιών (Carey 1985, Carey & Spelke 1994, Wisner & Carey 1983). Όταν μια έννοια ενταχθεί σε μια νέα κατηγορία, αυτό σημαίνει ότι οι νόμοι και οι αρχές της νέας κατηγορίας εφαρμόζονται τώρα σε αυτή την έννοια, δηλαδή αποδίδονται στην έννοια νέα χαρακτηριστικά και ιδιότητες (Medin & Rips 2005). Σε αυτό το πλαίσιο η διαδικασία της εννοιολογικής αλλαγής μπορεί να θεωρηθεί μια διαδικασία κατά την οποία οι έννοιες επαναξιολογούνται και οι κατηγορίες στις οποίες εντάσσονται ανανεώνονται.

Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν, επίσης, ότι η προτεινόμενη παρέμβαση μπορεί να βελτιώσει, έστω και σε μικρό βαθμό, και τις επιστημικές πεποιθήσεις των μαθητών, να τους βοηθήσει δηλαδή να μεταβούν από ένα αρχικό επιστημικό επίπεδο σε ένα ενδιάμεσο. Η σύγκριση των επιστημικών πεποιθήσεων των μαθητών των δύο τμημάτων (ελέγχου - πειραματικό) πριν και μετά την παρέμβαση έδειξε ότι πριν την παρέμβαση οι μαθητές είχαν

αντίστοιχες επιδόσεις, όμως μετά την παρέμβαση παρουσιάζουν στατιστικά σημαντική διαφορά στις επιδόσεις τους, με το πειραματικό τμήμα να παρουσιάζει βελτίωση των επιστημικών του πεποιθήσεων. Αναλυτικότερα, μετά την παρέμβαση η πλειοψηφία (72%) των μαθητών του πειραματικού τμήματος έχει μετακινηθεί από το αρχικό επιστημικό επίπεδο 1, στα ενδιάμεσα επίπεδα 1,5 και 2, ενώ στο τμήμα ελέγχου μόνο ένα ποσοστό 28% φτάνει στο επίπεδο 1,5 με τους υπόλοιπους μαθητές να παραμένουν στο αρχικό επίπεδο 1. Δεν παρατηρήθηκαν επιστημικές πεποιθήσεις ανώτερου επιπέδου (2,5 ή 3), ούτε καν στο πειραματικό τμήμα, όμως τα ευρήματα αυτά είναι σε συμφωνία με αντίστοιχες έρευνες όπου φαίνεται το χαμηλό επιστημικό επίπεδο των μαθητών αυτής της ηλικίας (Carey et al. 1989, Honda 1994). Η ίδια δυσκολία όμως συναντάται και σε μεγαλύτερης ηλικίας παιδιά (Kuhn et al. 2000, Smith & Wenk 2006, Stathopoulou & Vosniadou 2007).

Τέλος, διαπιστώθηκε ισχυρή συσχέτιση ανάμεσα στη θεωρία των μαθητών για την ύλη και στις επιστημικές πεποιθήσεις των μαθητών, καθώς οι μαθητές που έχουν διαμορφώσει αφελείς θεωρίες για την ύλη βρίσκονται και σε χαμηλότερο επιστημολογικό επίπεδο όσον αφορά στις πεποιθήσεις τους για τη γνώση και τη φύση της γνώσης και αντιμετωπίζουν μεγαλύτερες δυσκολίες στην ερμηνεία των φυσικών φαινομένων σε σχέση με τους μαθητές που έχουν φθάσει σε ένα ανώτερο επιστημολογικό επίπεδο όπου αναγνωρίζεται ότι η γνώση είναι προϊόν της ανθρώπινης σκέψης και όχι καθορισμένη από μια εξωτερική πραγματικότητα. Φαίνεται ότι οι επιστημικές πεποιθήσεις επηρεάζουν την εννοιολογική αλλαγή με διάφορους τρόπους (Stathopoulou & Vosniadou 2007). Η σύγκρουση ανάμεσα στην πληροφορία που πρόκειται να αποκτηθεί και στις ήδη υπάρχουσες δημιουργεί μια μαθησιακή κατάσταση στην οποία μπορούν να παίξουν σημαντικό ρόλο μεταβλητές όπως οι επιστημικές πεποιθήσεις, οι οποίες μπορούν είτε να διευκολύνουν είτε να εμποδίσουν τη διαδικασία απόκτησης γνώσεων άμεσα αλλά και έμμεσα. Επομένως, η αλλαγή των επιστημικών πεποιθήσεων φαίνεται να είναι αναγκαία (αλλά όχι επαρκής) συνθήκη για την εννοιολογική αλλαγή, καταδεικνύοντας την ανάγκη ενσωμάτωσης και τέτοιων μεταβλητών σε μοντέλα εννοιολογικής αλλαγής. Θα ήταν σημαντικό λοιπόν κατά το σχεδιασμό εκπαιδευτικών παρεμβάσεων να διευκολύνουμε και την ανάπτυξη πιο εκλεπτυσμένων επιστημικών πεποιθήσεων.

Τα αποτελέσματα της έρευνάς μας βρίσκονται σε συμφωνία με τα αποτελέσματα άλλων ερευνών (Wiser et al. 2013) που υποστηρίζουν ότι μια σειρά εννοιολογικών και επιστημολογικών αλλαγών είναι απαραίτητες για να γεφυρώσουν το χάσμα ανάμεσα στην αρχική κατανόηση των παιδιών για την ύλη και στην ατομική θεωρία. Οι μαθητές πρέπει να κάνουν την οντολογική διάκριση ανάμεσα στις αντιληπτές με τις αισθήσεις και στις φυσικές ιδιότητες της ύλης και να κατανοήσουν πώς σχετίζονται μεταξύ τους, αντί να αντιμετωπίζουν

τις αντιληπτικές ιδιότητες της ύλης από μια αφελή ρεαλιστική άποψη. Αναμφίβολα, μια αφελής επιστημολογία και η έλλειψη γνώσεων για τα μοντέλα ευθύνονται για την απόδοση μακροσκοπικών ιδιοτήτων στα άτομα και στα μόρια. Θα πρέπει, επίσης, οι μαθητές να κατανοήσουν τη φύση και τη λειτουργία των επιστημονικών μοντέλων και η επιστημολογία τους να συμπεριλάβει την έννοια των αναδυόμενων ιδιοτήτων, προκειμένου να γίνει αντιληπτό ότι τα άτομα, αόρατα με γυμνό μάτι, μπορούν να σχηματίσουν ορατή ύλη με φυσικές και αντιληπτικές ιδιότητες που τα ίδια δεν έχουν. Οι έννοιες που οι μαθητές χρησιμοποιούν για να ερμηνεύσουν την ύλη και τη συμπεριφορά της σε μακροσκοπικό επίπεδο, θα πρέπει να είναι συμβατές με την επιστημονική θεωρία, έτσι να αποκτήσει αξιοπιστία καθώς χρησιμοποιείται για να εξηγήσει ένα ευρύ φάσμα των μακροσκοπικών φαινομένων (Wiser & Smith 2007b).

Η έρευνά μας προσθέτει σε προηγούμενες έρευνες που εξερευνούν τους τρόπους για τη βελτίωση της διαδικασίας απόκτησης γνώσης και τη διευκόλυνση της εννοιολογικής αλλαγής. Τα παραδοσιακά αναλυτικά προγράμματα συχνά υποτιμούν την ικανότητα των μαθητών του δημοτικού σχολείου να δομούν θεωρίες και να αναπτύσσουν τις επιστημολογικές βάσεις που είναι απαραίτητες για την ανασηματοδότηση (Wiser et al. 2013). Τα αποτελέσματά μας δείχνουν ότι μπορούμε να βελτιώσουμε τη διαδικασία της μάθησης όταν λαμβάνουμε υπόψη μας όλους τους παράγοντες που φαίνεται να παίζουν σημαντικό ρόλο: τις αφελείς έννοιες των μαθητών για την ύλη, το συνδυασμό της μακροσκοπικής και μικροσκοπικής προσέγγισης, η οποία διευκολύνεται μέσω καταλλήλου λογισμικού, και –κυρίως– τις επιστημικές πεποιθήσεις των μαθητών.

Η δυσκολία πολλών μαθητών να κατανοήσουν τις έννοιες των φυσικών επιστημών οφείλεται συχνά στο ότι το ζήτημα της εννοιολογικής αλλαγής δεν λαμβάνεται υπόψη κατά τη διδασκαλία, καθώς πολλοί εκπαιδευτικοί θεωρούν ότι οι νέες πληροφορίες που παρέχουν μπορούν να ενσωματωθούν εύκολα στις υπάρχουσες γνώσεις των μαθητών, και δεν συνειδητοποιούν ότι μερικές φορές η προϋπάρχουσα γνώση μπορεί να σταθεί εμπόδιο στην περαιτέρω μάθηση, όταν οι νέες πληροφορίες που διδάσκονται είναι μη συμβατές με τις υπάρχουσες (Βοσνιάδου, Βαμβακούση & Σκοπελίτη 2008).

Οι έρευνες, βέβαια, της γνωσιακής επιστήμης και των επιστημών της αγωγής, κατά τη διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών, έχουν δείξει ότι τα παιδιά και οι ενήλικοι διαμορφώνουν μια διαισθητική αντίληψη του κόσμου, που βασίζεται στις εμπειρίες τους. Το σημείο στο οποίο όλες οι έρευνες συμφωνούν είναι ότι τα παιδιά δεν είναι ένας «άγραφος χάρτης» όταν πρωτοέρχονται σε επαφή με τις επιστημονικές απόψεις. Αυτό που προκύπτει από όλες τις έρευνες που αναφέρονται σε αυτή τη διατριβή είναι ότι τα παιδιά όταν πάνε στο σχολείο, όπου

έρχονται σε επαφή με τις επιστημονικές θεωρίες, έχουν ήδη αποκτήσει γνώσεις που πηγάζουν από τις εμπειρίες τους και τις πολιτισμικές πληροφορίες και έχουν ήδη διαμορφώσει μία θεωρία για τον κόσμο που τα περιβάλλει. Η θεωρία αυτή δεν αμφισβητείται και δεν αλλάζει εύκολα, γιατί τα παιδιά δυσκολεύονται να αμφισβητήσουν τα εμπειρικά τους δεδομένα.

Έχοντας αυτό σαν δεδομένο, τα παιδιά στο άκουσμα των επιστημονικών πληροφοριών προσπαθούν να προσθέσουν τις νέες πληροφορίες στα ήδη υπάρχοντα γνωστικά τους σχήματα. Όμως η διαδικασία της εννοιολογικής αλλαγής δεν μπορεί να βασίζεται αποκλειστικά σε μηχανισμούς εμπλουτισμού των προηγούμενων γνώσεων, γιατί δεν είναι λίγες οι περιπτώσεις όπου οι νέες πληροφορίες έρχονται σε σύγκρουση με τη δομή των υπάρχοντων γνωστικών σχημάτων, με αποτέλεσμα η απλή προσθήκη των πληροφοριών να οδηγεί σε παρανοήσεις ή στην κατασκευή συνθετικών μοντέλων. Οι διαδικασίες εμπλουτισμού θα μπορούσαν να είναι πιο άμεσα αποδοτικές αν τα παιδιά είχαν μεταγνωστική επίγνωση των γνώσεών τους, των αλλαγών που συντελούνται στις γνώσεις τους, και των διαφορών ανάμεσα στις δικές τους θεωρίες και τις επιστημονικές, τα παιδιά όμως δεν έχουν αυτές τις μεταγνωστικές ικανότητες (Κυριακοπούλου & Βοσνιάδου 2004, Vosniadou 2003). Αρχικά, με μεγάλη δυσκολία αμφισβητούν τις ήδη υπάρχουσες γνωστικές τους δομές, γιατί αυτές βασίζονται στα εμπειρικά τους δεδομένα τα οποία δεν είναι εύκολο να αμφισβητηθούν. Ακόμα όμως και αν συντελεστούν αλλαγές στις υπάρχουσες γνωστικές τους δομές, αυτές δεν είναι ενσυνείδητες. Συνήθως στις υπάρχουσες γνωστικές δομές προστίθενται οι επιστημονικές πληροφορίες, χωρίς να αίρονται οι προηγούμενες πεποιθήσεις των παιδιών, γεγονός που οδηγεί στη δημιουργία παρανοήσεων.

Αναλυτικότερα, τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας δείχνουν να επιβεβαιώνουν τις αρχικές ερευνητικές υποθέσεις μας και συμφωνούν σε αρκετά σημεία με τα αποτελέσματα άλλων ερευνών. Από την επεξεργασία των δεδομένων της παρούσας έρευνας προκύπτει ότι οι μαθητές σχηματίζουν εννοιολογικά πλαίσια για την ύλη, πριν καν διδαχθούν τις σχετικές ενότητες στο σχολείο. Αυτά τα εννοιολογικά τους πλαίσια, δηλαδή η αρχική θεωρία των μαθητών για την ύλη, περιορίζει την κατανόηση των αντίστοιχων επιστημονικών εννοιών. Το αποτέλεσμα είναι η δημιουργία συνθετικών μοντέλων, που προσπαθούν να συμβιβάσουν τις διαισθητικές εξηγήσεις των παιδιών με τις επιστημονικές θεωρίες. Για να αποδεχτούν οι μαθητές το επιστημονικό μοντέλο για την ύλη, θα πρέπει να επανεξετάσουν τις δικές τους διαισθητικές απόψεις. Επειδή όμως αυτές οι απόψεις τους αποτελούν μέρος μιας αφελούς θεωρίας για την ύλη, θα πρέπει να αλλάξουν τις διαισθητικές ιδέες τους με ένα διαφορετικό επεξηγηματικό πλαίσιο, δηλαδή εκείνο των επιστημονικών εξηγήσεων. Επομένως, προκειμένου να είναι περισσότερο επιτυχής η διδασκαλία των σχετικών θεμάτων, θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ο τρόπος που σκέφτονται οι μαθητές και η διαισθητική τους γνώση. Μόνο αν

κατανοήσουμε τον τρόπο σκέψης των μαθητών θα μπορέσουμε να τους βοηθήσουμε να προσεγγίσουν τις απόψεις που είναι επιστημονικά αποδεκτές.

Οι Wisser et al. (2013) υποστηρίζουν ότι οι ιδέες των μικρών παιδιών για την ύλη και τους μετασχηματισμούς της είναι μη συμβατές με τις επιστημονικές και πολλές έρευνες δείχνουν ότι και αρκετοί μαθητές γυμνασίου δεν είναι εννοιολογικά πολύ πιο κοντά στην επιστημονική κατανόηση. Για παράδειγμα, πολλοί μαθητές της έκτης δημοτικού πιστεύουν ότι τα πολύ μικρά κομμάτια από οποιοδήποτε υλικό και μεγάλα κομμάτια μερικών υλικών όπως το φελιζόλ δεν έχουν βάρος, επειδή «τα αισθάνονται σαν τίποτα». (Smith et al 2005, Smith 2007). Αυτή η πεποίθηση και μόνο καθιστά το ατομικό μοντέλο προβληματικό για τους φοιτητές: αν μικροσκοπικά πράγματα δε ζυγίζουν τίποτα, η ύλη δεν μπορεί να αποτελείται αποκλειστικά από άτομα. Πράγματι, πολλοί μαθητές φαντάζονται τα άτομα σαν κάτι που ενσωματώνεται στην ύλη (Lee et al. 1993). Η ιδέα ότι τα μικροσκοπικά πράγματα δε ζυγίζουν τίποτα δεν είναι μια απλή εσφαλμένη πεποίθηση που διαλύεται εύκολα με την επίδειξη ότι ζυγίζουν. Μάλλον, είναι μια πεποίθηση που απορρέει από την ιδέα των μαθητών για το βάρος και τις συναφείς έννοιες, καθώς και από την επιστημολογική τους θέση ότι οι αισθήσεις από μόνες τους λένε την αλήθεια. Η αναθεώρηση αυτής της πεποίθησης είναι μέρος μιας ευρείας ανασηματοδότησης της ύλης και της συμπεριφοράς της τόσο στο μακροσκοπικό όσο και στο μικροσκοπικό επίπεδο. Εάν συμβεί η ανασηματοδότηση, η κατανόηση των μαθητών γίνεται συμβατή με την επιστημονική θεωρία και επιδέχεται περαιτέρω ανασηματοδοτήσεις. Απαραίτητη για αυτή την ανασηματοδότηση είναι η μετακίνηση από τις ερμηνείες που βασίζονται στις αισθήσεις στις ερμηνείες που βασίζονται σε πιο αφηρημένες έννοιες που ποσοτικοποιούνται. Αυτό είναι συνεπές με μια σταδιακή επιστημολογική αλλαγή, από την πίστη στο ότι οι αισθήσεις μας λένε την αλήθεια στην πίστη περισσότερο στη μέτρηση ποσοτήτων με κατάλληλα όργανα. Για πάρα πολλούς μαθητές, ωστόσο, οι αντιλήψεις που αναπτύχθηκαν στην παιδική ηλικία δεν αναθεωρούνται ποτέ παραγωγικά, γεγονός που υποδηλώνει ότι πρέπει να επανεξετάσουμε το πώς διδάσκουμε την ύλη στο δημοτικό σχολείο. Εννοιολογικές αναλύσεις των δυσκολιών των μαθητών για τις επιστημονικές ιδέες για την ύλη στη μακροσκοπική, μικροσκοπική και νανοσκοπική κλίμακα δείχνουν ότι μια γερή μακροσκοπική και μικροσκοπική κατανόηση της ύλης διευκολύνει την εκμάθηση της επιστημονικής θεωρίας και θα πρέπει να είναι ένα κεντρικό σημείο στην εκπαίδευση των φυσικών επιστημών στο δημοτικό και γυμνάσιο (Smith et al. 2006, Wisser & Smith 2009).

Ο σχεδιασμός αναλυτικών προγραμμάτων για την εκπαίδευση που θα στοχεύει στην εννοιολογική αλλαγή θα πρέπει να λαμβάνει υπόψη τα επεξηγηματικά πλαίσια των μαθητών (Vosniadou, 1991). Η πλειονότητα των εκπαιδευτικών αδυνατεί να αντιληφθεί ότι η

προϋπάρχουσα γνώση μπορεί να σταθεί εμπόδιο στη μάθηση. Στόχος τους θα πρέπει να είναι η κατανόηση των υπάρχουσών γνώσεων και των παρανοήσεων των μαθητών και στη συνέχεια όχι απλά ο εμπλουτισμός των επεξηγηματικών δομών, αλλά η αλλαγή τους, προκειμένου να οδηγηθούν τελικά στην κατασκευή νέων. Αυτό απαιτεί εκπαιδευτικά προγράμματα που θα έχουν ως στόχο τη δημιουργία μαθητών με μεταγνωστικές ικανότητες και αποτελεσματικές στρατηγικές μάθησης προκειμένου να οδηγηθούν σε αποτελεσματική μάθηση (Vosniadou 2003, Vosniadou, Ioannides, Dimitrakopoulou & Papademetriou 2001).

Εξάλλου, από τα μέσα της δεκαετίας του '80 το ζήτημα της μάθησης έχει τοποθετηθεί σε νέα βάση, αφού τώρα πια αναγνωρίζεται ο ενεργός ρόλος που διαδραματίζει το άτομο στην πρόσληψη, επεξεργασία, συγκράτηση και χρησιμοποίηση των πληροφοριών. Το ερώτημα πλέον δεν είναι αν τελικά οι μαθητές μαθαίνουν, αλλά πώς θα μαθαίνουν αποτελεσματικότερα, φυσιολογικότερα και οικονομικότερα. Οι παραδοσιακές προσεγγίσεις, συνήθως, αδυνατούν να δώσουν λύση, διότι αγνοούν το πρόβλημα, γι' αυτό και προτείνονται διαφορετικές διδακτικές προσεγγίσεις που λαμβάνουν σοβαρά υπόψη ότι η γνώση δεν μπορεί να γίνει δεκτή παθητικά, δε μεταδίδεται δηλαδή, αλλά δομείται ενεργητικά από αυτόν που μαθαίνει με βάση την προϋπάρχουσα γνώση του.

Λαμβάνοντας υπόψη μας τις μελέτες της γνωστικής ψυχολογίας και τα αποτελέσματα των πρόσφατων εξελίξεων στη γνωστική επιστήμη, καθώς και όσα αναφέρθηκαν παραπάνω, μπορούμε να καταλήξουμε σε ορισμένα συμπεράσματα και προτάσεις για το σχεδιασμό των αναλυτικών προγραμμάτων και τη διδασκαλία για μια αποτελεσματική αντιμετώπιση της μάθησης στις Φυσικές Επιστήμες ειδικότερα αλλά και γενικότερα (Βοσνιάδου 1998):

- Ευαισθητοποίηση απέναντι στη σειρά απόκτησης των εννοιών που απαρτίζουν έναν δεδομένο τομέα. Ο σχεδιασμός αναλυτικών προγραμμάτων πρέπει να βασίζεται στις γνώσεις που έχουμε για τις αλληλεξαρτήσεις μεταξύ των εννοιών που απαρτίζουν έναν δεδομένο τομέα, αφού οι αλληλεξαρτήσεις αυτές καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό τη σειρά απόκτησής τους.
- Ευαισθητοποίηση απέναντι στα νοητικά μοντέλα των παιδιών. Για να είναι επιτυχημένη η διδασκαλία, πρέπει να είμαστε ευαίσθητοι απέναντι στα εναλλακτικά νοητικά μοντέλα των μαθητών και μόνο όταν καταλάβουμε πώς σκέφτονται οι μαθητές θα μπορέσουμε να τους καθοδηγήσουμε, σταδιακά, στη διαμόρφωση ολοένα και πιο εκλεπτυσμένων μοντέλων, που είναι πλησιέστερα προς αυτά που είναι πολιτιστικά και επιστημονικά αποδεκτά .
- Προσοχή στις αντιδισθητικές ιδέες. Συμβαίνει συχνά στις ενότητες της φυσικής να παρουσιάζονται πληροφορίες οι οποίες έρχονται σε αντίθεση με τη διαισθητική εμπειρία των μαθητών, χωρίς περισσότερες εξηγήσεις. Όταν οι καινούριες πληροφορίες είναι συνεπείς με

τις προηγούμενες γνώσεις, μπορούν εύκολα να ενσωματωθούν στις υπάρχουσες εννοιολογικές δομές. Αυτό το είδος πληροφοριών είναι πολύ πιθανό να γίνει εύκολα κατανοητό, ακόμη κι αν παρουσιάζεται χωρίς καμία περαιτέρω εξήγηση. Όταν όμως οι καινούριες πληροφορίες έρχονται σε αντίθεση με τις υπάρχουσες εννοιολογικές δομές, το να παρουσιάσουμε απλώς τις νέες πληροφορίες ως γεγονότα, ίσως να μην είναι αρκετό. Σ' αυτήν την περίπτωση, οι μαθητές φαίνεται πως έχουν στη διάθεσή τους δύο τρόπους δράσης. Ο ένας είναι να προσθέσουν απλώς το νέο γεγονός στις υπάρχουσες εννοιολογικές δομές και σε αυτή την περίπτωση η καινούρια αναπαράσταση θα είναι εσωτερικά ασυνεπής. Ο άλλος είναι να διαστρεβλώσουν το γεγονός, ώστε να το καταστήσουν συνεπές με την υπάρχουσα εννοιολογική δομή και σε αυτήν την περίπτωση το αποτέλεσμα θα είναι μια παρανόηση .

- Ανάπτυξη μεταγνωσιακής επίγνωσης. Η μεταγνώση αναφέρεται στη γνώση που έχουν οι άνθρωποι για τις γνωστικές τους λειτουργίες και είναι α η γνώση καθεαυτή, δηλαδή τι το άτομο γνωρίζει ότι γνωρίζει καθώς και οι μηχανισμοί παραγωγής γνώσης, δηλαδή πώς το άτομο μπορεί να αντλήσει τη γνώση από το περιβάλλον, να τη συγκρατήσει και να τη χρησιμοποιήσει . Οι μαθητές συχνά βρίσκουν τις επιστημονικές εξηγήσεις απίστευτες και δεν βλέπουν για ποιο λόγο θα πρέπει να αμφισβητήσουν τις απόψεις τους, που είναι συνεπέστερες προς τις καθημερινές τους εμπειρίες. Είναι σημαντικό, όταν διδάσκουμε φυσικές επιστήμες, να δημιουργούμε συνθήκες για τα παιδιά οι οποίες θα τα βοηθήσουν να αντιληφθούν ότι οι απόψεις τους για τον κόσμο δεν είναι «πραγματικά γεγονότα», αλλά θεωρητικές κατασκευές που επιδέχονται διάψευση. Το πρώτο βήμα για να βοηθήσουμε το μαθητή να κατανοήσει τις επιστημονικές απόψεις είναι να τον βοηθήσουμε να συνειδητοποιήσει τα επεξηγηματικά μοντέλα που ο ίδιος χρησιμοποιεί και να καταλάβει με ποιο τρόπο αυτά διαφέρουν από τις σημερινά αποδεκτές θεωρίες.
- Η χρήση μοντέλων και αναλογιών στη διδασκαλία. Αν οι μαθητές σκέφτονται με βάση μοντέλα και αναπαραστάσεις που βασίζονται στην εμπειρία τους, τότε η διδασκαλία που στηρίζεται σε μοντέλα έχει περισσότερες πιθανότητες να οδηγήσει σε κατανόηση, αντί της απλής απομνημόνευσης. Με τη χρήση υπολογιστών μπορούμε να σχεδιάσουμε μοντέλα αντικειμένων και διαδικασιών που είναι αφηρημένα και μη παρατηρήσιμα, βοηθώντας έτσι τους μαθητές να εμπλουτίσουν τη φαινομενική τους εμπειρία και να κατανοήσουν την ανάγκη οικοδόμησης διαφορετικών ειδών αναπαραστάσεων. Η διδασκαλία που βασίζεται σε μοντέλα μπορεί να καθοδηγήσει τους μαθητές ώστε βαθμιαία να αναδιοργανώσουν τα αρχικά, αφελή μοντέλα τους, καταλήγοντας στα μοντέλα που χρησιμοποιεί ένας επιστήμονας.



- Τέλος, δεν πρέπει να παραγνωρίζουμε και το ρόλο των επιστημικών πεποιθήσεων των μαθητών στη διαδικασία της εννοιολογικής αλλαγής. Είναι σημαντικό κατά το σχεδιασμό εκπαιδευτικών παρεμβάσεων να διευκολύνουμε και την ανάπτυξη πιο εκλεπτυσμένων επιστημικών πεποιθήσεων, που με τη σειρά τους διευκολύνουν και προωθούν τη διαδικασία απόκτησης γνώσεων.

Συμπερασματικά, θα μπορούσαμε να πούμε ότι προκειμένου να έχουμε αποτελεσματική μάθηση στις φυσικές επιστήμες χρειάζεται να επινοούμε τρόπους που να στοχεύουν στην ενθάρρυνση και ενδυνάμωση της ενεργητικής συμμετοχής των μαθητών στη διαδικασία της μάθησης και να παρωθούν το ενδιαφέρον τους με ενσωμάτωση δραστηριοτήτων που τους ενδιαφέρουν και είναι ανάλογες με το γνωστικό τους επίπεδο (Τριλιανός 2002). Όταν, λοιπόν, σχεδιάζουμε αναλυτικά προγράμματα που στοχεύουν στην αναδιοργάνωση των υπάρχουσών γνώσεων των μαθητών, πρέπει να δίνουμε ιδιαίτερη προσοχή και στα περιεχόμενα και στις μεθόδους διδασκαλίας. Σχετικά με τα περιεχόμενα, ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται στη σειρά με την οποία εισάγονται οι διάφορες έννοιες που συνθέτουν έναν συγκεκριμένο τομέα. Επιπλέον, χρειάζεται να δοθούν στους μαθητές επαρκείς εξηγήσεις των επιστημονικών εννοιών, που να λαμβάνουν υπόψη τα νοητικά μοντέλα τους και τις πεποιθήσεις τους. Τέλος, ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται στη δημιουργία καταστάσεων που κάνουν τους μαθητές να αντιληφθούν ότι αυτά που θεωρούν αναμφισβήτητες αλήθειες για το φυσικό κόσμο μπορεί να είναι ερμηνείες που υπόκεινται σε διάψευση κι ότι μερικές φορές υπάρχουν ισχυροί λόγοι για να αντικαταστήσουν μ' ένα διαφορετικό επεξηγηματικό πλαίσιο τις απόψεις που έχουν σχηματίσει με βάση τις καθημερινές τους εμπειρίες. Συχνά τα παραδοσιακά προγράμματα σπουδών αποτυγχάνουν να ενισχύσουν την επιστημολογική μετάβαση των μαθητών από τις αντιληπτές με τις αισθήσεις έννοιες στις έννοιες που μπορούν να ποσοτικοποιηθούν αντικειμενικά. Έτσι, για τους περισσότερους μαθητές, η ύλη παραμένει αυτό που μπορεί κανείς να δει, να αισθανθεί και να αγγίξει, αντί για κάτι που έχει το βάρος και καταλαμβάνει χώρο. Επίσης, τα προγράμματα σπουδών αντιμετωπίζουν τη γνώση ως γεγονότα χωρίς προβληματισμό και δεν εμπλέκουν τους μαθητές στο κτίσιμο της θεωρίας. Έτσι, οι μαθητές δεν ενθαρρύνονται να κατανοήσουν ότι στόχος της επιστήμης είναι η κατασκευή όλο και πιο κατάλληλων ερμηνευτικών μοντέλων, τα οποία αναπτύσσονται, δοκιμάζονται και αναθεωρούνται μέσα από τον έλεγχο των υποθέσεων (Wiser & Smith 2007a)

Η συμβολή της παρούσας έρευνας δεν έγκειται μόνο στην ανίχνευση των ιδεών και των απόψεων των μαθητών για την έννοια της ύλης και τη σωματιδιακή σύστασή της, αλλά προσφέρει και γενικές εξηγήσεις για το πώς δημιουργήθηκαν αυτές οι απόψεις, ενώ προτείνονται και τρόποι προώθησης της διαδικασίας της εννοιολογικής αλλαγής. Φαίνεται ότι

τα παιδιά σχηματίζουν αρχικά εννοιολογικά πλαίσια για την ύλη που περιορίζουν την κατανόηση των επιστημονικών απόψεων. Το γεγονός ότι η επιστημονική θεωρία ερμηνεύεται μέσα από την αρχική θεωρία για την ύλη εξηγεί τις συνθετικές κατηγορίες που σχηματίζουν οι μαθητές προσπαθώντας να συμβιβάσουν τις αρχικές εξηγήσεις τους με τις επιστημονικές θεωρίες. Για να είναι επιτυχημένη η διδασκαλία των επιστημονικών εννοιών πρέπει να σχεδιάζεται με βάση τον τρόπο που σκέφτονται οι μαθητές. Χρειάζεται να δίνονται στους μαθητές επαρκείς εξηγήσεις των επιστημονικών εννοιών που να λαμβάνουν υπόψη τη διαισθητική γνώση των μαθητών. Μόνο αν καταλάβουμε πώς αντιλαμβάνονται οι μαθητές την ύλη θα μπορέσουμε να τους καθοδηγήσουμε σωστά σε μια σταδιακή διαμόρφωση κατηγοριών ολόένα και περισσότερο κοντά στην επιστημονική γνώση. Οι μαθητές πρέπει να αντιληφθούν ότι οι απόψεις τους είναι υποκειμενικές ερμηνείες με περιορισμένη θεωρητική και ερμηνευτική δυνατότητα.

Πρέπει, επίσης, να σημειωθεί ότι ένα άλλο ενδιαφέρον εύρημα της παρούσας διατριβής εντοπίζεται στην ισχυρή συσχέτιση που φαίνεται να υπάρχει ανάμεσα στη διαδικασία της εννοιολογικής αλλαγής και των διαδικασιών που εμπλέκονται στις κατηγοριοποιήσεις των εννοιών, ανοίγοντας νέους ορίζοντες αντιμετώπισης αυτής της σχέσης, που θα μπορούσαν να ληφθούν υπόψη στις εφαρμογές για τον εντοπισμό των παρανοήσεων των παιδιών στο χώρο των φυσικών επιστημών, αλλά και για την εκπαίδευση γενικότερα. Επιπλέον, ενισχύθηκε η υπόθεση ότι η μάθηση είναι μία κατασκευαστική διαδικασία κατά την οποία οι νέες πληροφορίες δομούνται επάνω στις προϋπάρχουσες γνώσεις και προσαρμόζονται ή παραποιούνται προκειμένου να συμβαδίζουν με τα όσα ήδη γνωρίζει ο μαθητής. Τα αποτελέσματά μας θα μπορούσαν να έχουν σημαντικές εφαρμογές στο χώρο της εκπαίδευσης, δεδομένου ότι υποστηρίζουν την άποψη ότι η εννοιολογική αλλαγή είναι μια σύνθετη και χρονοβόρα διαδικασία που περιλαμβάνει οντολογικές, αναπαραστασιακές αλλά και επιστημολογικές αλλαγές. Ένα αναλυτικό πρόγραμμα θα πρέπει να στοχεύει τόσο στην αλλαγή των οντολογικών πεποιθήσεων των μαθητών, γιατί από αυτές φαίνεται να προέρχονται οι σημαντικότερες παρανοήσεις των μαθητών, όσο και στην υιοθέτηση πιο εκλεπτυσμένων επιστημικών πεποιθήσεων, οι οποίες μπορούν να διευκολύνουν τη διαδικασία απόκτησης γνώσεων, προκειμένου να επιτευχθεί η διαδικασία της εννοιολογικής αλλαγής.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Adbo, K., & Taber, K. S. (2009). Learners' mental models of the particle nature of matter: A study of 16-year-old Swedish science students. *International Journal of Science Education*, 31 (6), 757–786.
- Andersson, B. (1990). Pupils' conceptions of matter and its transformations (age 12-16). *Studies in Science Education*, 18, 53-85.
- Anderson, J. R., Greeno, J. G., Reder, L. M., & Simon, H. A. (2000). Perspectives on learning, thinking, and activity. *Educational Researcher*, 29(4), 11-13.
- Αποστολάκης Εμ., Κορόζη Β., Παναγοπούλου Ελ., Πετρέα Κ., Σάββας Στ., (2001). «Ερευνώ και Ανακαλύπτω», Ε' και Στ' Δημοτικού, Υπουργείο Εθνικής Παιδείας και Θρησκευμάτων, Παιδαγωγικό Ινστιτούτο, Οργανισμός Εκδόσεως Διδακτικών Βιβλίων, Αθήνα
- Αποστολάκης Εμμ., Παναγοπούλου Ελ., Σάββας Στ., Τσαγλιώτης Νεκτ., Μακρή Βεατρ., Πανταζής, Γιώργ., Πετρέα Κυρ., Σωτηρίου Σοφ., Τόλιας Βασ., Τσαγκογέωργα Αθ., Καλκάνης Γεωργ., (2006), "ΦΥΣΙΚΑ - Ερευνώ και Ανακαλύπτω" Ε' και Στ' Δημοτικού - Βιβλίο Μαθητή - Τετράδιο Εργασιών - Βιβλίο Δασκάλου, Υπουργείο Εθνικής Παιδείας και Θρησκευμάτων, Παιδαγωγικό Ινστιτούτο, Οργανισμός Εκδόσεως Διδακτικών Βιβλίων, Αθήνα
- Ardac D., Akaygun S., (2005), Using Static and Dynamic Visuals to Represent Chemical Change at Molecular Level, *International Journal of Science Education*, vol. 27, no. 11, 16 September 2005, pp. 1269-1298
- Ausubel, D.P (1963). *The Psychology of Meaningful Verbal Learning. An Introduction to School Learning*. Grune and Stratton inc. New York, U.S.A.
- Ausubel, D. P. (1968). *Educational Psychology: A cognitive viewpoint*. New York: Holt Rinehart and Winston.
- Baillargeon, R. (2002), The acquisition of physical knowledge in infancy: A summary in eight lessons. In U. Goswami (Ed.), *Blackwell handbook of childhood cognitive development*, London: Blackwell Publishers
- Bar, V. (1989). Children's Views about the Water Cycle. *Science Education*, 73, 481-500.
- Bar, V. and Travis, A. S., (1991). Children's Views Concerning Phase Changes. *Journal of Research in Science Teaching* Vol. 28 (4) pp 363 – 382
- Bereiter, C., (1984). How to keep thinking skills from going the way of all frills. *Educational Leadership*, 42, 75-77.
- Beveridge M., (1985), “*The Development of young children understanding of the process of evaporation*”, *British Journal of Educational Psychology*, 55, p. 84-90
- Βλάχος Ι. (1999), «Εποικοδομητική προσέγγιση της διδασκαλίας της σωματιδιακής δομής της ύλης στην Πρωτοβάθμια Εκπαίδευση», Διδακτορική Διατριβή, Αθήνα 1999
- Βοσνιάδου Στ. (1992). «Γνωστική Εξέλιξη και Εκπαιδευτική Διαδικασία», στο βιβλίο: «Κείμενα Εξελικτικής Ψυχολογίας», Β' τόμος, Σκέψη, επιμέλ.: Στ. Βοσνιάδου, Εκδ. Gutenberg Ψυχολογία
- Βοσνιάδου Σ., (1994). Η εννοιολογική αλλαγή στην παιδική ηλικία: Παραδείγματα από το χώρο της αστρονομίας, στο *Αναπαραστάσεις του φυσικού κόσμου*. Ψυχολογία Gutenberg

- Βοσνιάδου Στ., (1998). «Γνωστική Ψυχολογία», Ψυχολογικές Μελέτες και Δοκίμια, Εκδ. Gutenberg Ψυχολογία, Αθήνα
- Βοσνιάδου Στ., (2001). «Εισαγωγή στην Ψυχολογία», τόμος Α΄, Βιολογικές, Αναπτυξιακές και Συμπεριφοριστικές Προσεγγίσεις. Γνωστική Ψυχολογία, Εκδ. Gutenberg Ψυχολογία.
- Βοσνιάδου Στ., (2006 α). Παιδιά, Σχολεία και Υπολογιστές – Προοπτικές, Προβλήματα και Προτάσεις για την Αποτελεσματικότερη Χρήση των Νέων Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση, Εκδ. Gutenberg, Σειρά Ψυχολογία / 23, Αθήνα, 2006
- Βοσνιάδου Στ., (2006 β). «Περιβάλλοντα Μάθησης που Διευκολύνουν την Αναδιοργάνωση των Ιδεών για Μάθηση στις Φυσικές Επιστήμες», Κεφάλαιο στο βιβλίο «Σχεδιάζοντας Περιβάλλοντα Μάθησης Υποστηριζόμενα από τις Σύγχρονες Τεχνολογίες», Επιμέλεια: Βοσνιάδου Στ., Εκδ. Gutenberg, Αθήνα, 2006, σελ. 253-268
- Βοσνιάδου, Σ., Βαμβακούση, Ξ., & Σκοπελίτη, Ε. (2008). Το Πρόβλημα της Εννοιολογικής Αλλαγής στην Ψυχολογία. ΝΟΗΣΙΣ, 3, 137-180.
- Βοσνιάδου, Σ., Αρχοντίδου, Α., Καλογιαννίδου, Α., & Ιωαννίδης, Χρ., (1996). Πώς αντιλαμβάνονται οι Έλληνες μαθητές το σχήμα της Γης: μια έρευνα για την εννοιολογική αλλαγή στην παιδική ηλικία. *Ψυχολογικά Θέματα*, 7(1), 30-51.
- Boz, Y. (2006). Turkish pupils' conceptions of the particulate nature of matter. *Journal of Science Education and Technology*, 15 (2), 203–213.
- Burr J., Hofer B., (2002), Personal epistemology and theory of mind: deciphering young children's beliefs about knowledge and knowing, *New Ideas in Psychology*, 20, 2002, pp. 199-224
- Bransford, J.D., Franks, J.J., Vye, N.J. & Sherwood, R.D., (1989). New approaches to instruction because wisdom can't be told. Στο Vosniadou, S. & Ortony, A. (Eds.), *Similarity and Analogical Reasoning*, (470-497), Cambridge: Cambridge University Press.
- Brosnan (1990). Categorizing macro and micro explanations of material change. Relating macroscopic phenomena to microscopic particles. A central problem in secondary education, Lijnse P. L., Licht P., de Wos w., Waarlo A. J. (Eds), Universtiy of Utrecht
- Γεωργιάδου Τ., Καφετζόπουλος Κ., Προβης Ν., Σπυρέλλης Ν., Χηνιάδης Δ., (2000), Χημεία Α΄ Γυμνασίου, Υπουργείο Εθνικής Παιδείας και Θρησκευμάτων, Παιδαγωγικό Ινστιτούτο, Οργανισμός Εκδόσεως Διδακτικών Βιβλίων, Αθήνα
- Γεωργιάδου Τ., Καφετζόπουλος Κ., Προβης Ν., Σπυρέλλης Ν., Χηνιάδης Δ., (2002). Χημεία, Β΄ Γυμνασίου, Υπουργείο Εθνικής Παιδείας και Θρησκευμάτων, Παιδαγωγικό Ινστιτούτο, Οργανισμός Εκδόσεως Διδακτικών Βιβλίων, Αθήνα
- Γεωργοκόστας Γ., Μπελλας Θ., Μπενέκος Α., Σκόπας Ν., Χριστιάς Γ., (1997) "Εμείς και ο κόσμος", Μελέτη του Περιβάλλοντος Α΄ Τάξης, Οργανισμός Εκδόσεως Διδακτικών Βιβλίων
- Γεωργοκόστας Γ., Λεοντάρης Α., Μπελλας Θ., Μπενέκος Α., Σκόπας Ν., Χριστιάς Γ., Χριστοδούλου Σ., (2000) "Εμείς και ο κόσμος", Μελέτη του Περιβάλλοντος Δ΄ Τάξης, Οργανισμός Εκδόσεως Διδακτικών Βιβλίων
- Γραμματικάκης Γ., (1996). "Η Κόμη της Βερενίκης", 10η έκδοση, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης, Ηράκλειο
- Carpendale, J., & Chandler, M. (1996). On the distinction between false belief understanding and subscribing to an interpretive theory of mind. *Child Development* 67, 1686 - 1706.
- Carey, S. (1985). *Conceptual Change in Childhood*. Cambridge, MA: MIT Press.
-

Carey, S. (1986). «Cognitive Science and Science Education», *American Psychologist*, vol. 41, No 10, 1123-1130.

Carey, S. (1991) Knowledge Acquisition: Enrichment or Conceptual Change?, in S. Carey and R. Gelman (eds) *The Epigenesis of Mind: Essays on Biology and Cognition* (Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates), 257-292.

Carey S., Evans R., Honda M., Jay E., Unger C., (1989) 'An experiment is when you try it and see if it works': a study of grade 7 students' understanding of the construction of scientific knowledge, *International Journal of Science Education*, vol. 11, SPECIAL ISSUE, 514-529  
Carey & Gelman, Lawrence Erlbaum Associates, Publishers, σελ. 257-293

Carey, S., & Smith, C. (1993). On understanding the nature of scientific knowledge. *Educational Psychologist*, 28, 235–251.

Carey, S., & Spelke, E.S. (1994). Domain specific knowledge and conceptual change. In L. Hirschfeld & S. Gelman (Eds.), *Domain-specificity in cognition and culture* (pp. 169-200). New York, NY: Cambridge University Press.

Carey, S., Spelke, E. «Domain-Specific knowledge and conceptual change».

Carey, S., Spelke, E. (1996). «Science and Core knowledge», *Philosophy of Science*, 63, p. 513-533.

Chi, M.T.H., Feltovich, P.J., & Glaser, R., (1981). Categorization and Representation of Physics Problems by Experts and Novices. *Cognitive Science*, 5, 121-152.

Chi, M.,T., H. (1992). Conceptual change within and across ontological categories : Examples from learning and discovery in science. In R. Giere (Ed.) *Cognitive Models of science: Minnesota studies in the philosophy of science*, University of Minnesota Press, Mineapolis, MN.

Chi, M.T.H. (1993). «Barriers to Conceptual Change in Learning Science Concepts: A Theoretical Conjecture». In the Proceedings of the Fifteen Annual Cognitive Science Society Conference, Boulder, 1993.

Chi, M.T.H. (2008). Three types of conceptual change: Belief revision, mental model transformation, and categorical shift. In S. Vosniadou (Ed.), *International handbook of research on conceptual change* (pp. 61-82 ). New York, NY: Routledge.

Chi, Slotta and Leeuw, (1994), "From Things to Processes: A Theory of Conceptual Change for Learning Science Concepts", *Learning and Instruction*, Vol. 4, pp. 27-43

Chinn, C.A., Brewer, W. F. (1993) . The role of anomalous data in knowledge acquisition: A theoretical framework and implications for science instruction. *Review of Educational Research*, 63, 1-49 .

Collins, A., & Gentner, D. (1987). How people construct mental models. In D. Holland & N. Quinn (Eds.), *Cultural models in language and thought* (pp. 243-265). England: Cambridge University Press

ΔΕΠΠΣ και ΑΠΣ (2003), Διαθεματικό Ενιαίο Πλαίσιο Προγραμμάτων Σπουδών των Φυσικών Επιστημών (για το Δημοτικό και το Γυμνάσιο) και Αναλυτικό Πρόγραμμα Σπουδών για το μάθημα «Ερευνώ το Φυσικό Κόσμο», ΦΕΚ 303B/13-03-2003 και ΦΕΚ 304B/13-03-2003.

Δημόπουλος, Β., (2004). Εκπαίδευση στις Φυσικές Επιστήμες με Ψηφιακές Τεχνολογίες – Μια Κβαντική Προσέγγιση, Προτάσεις και Εφαρμογές. Διδακτορική Διατριβή, Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα 2004

Δημοπούλου Μ., Ζόμπολας Γ., Μπαμπίλα Ελ., Σκαναβή Κ., Φραντζή Α., Χατζημιχαήλ Μ., (2011), "Μελέτη Περιβάλλοντος Β΄ Δημοτικού", Υπουργείο Παιδείας και Θρησκευμάτων, Πολιτισμού και Αθλητισμού, Ινστιτούτο Τεχνολογίας Υπολογιστών και Εκδόσεων «ΔΙΟΦΑΝΤΟΣ»

---

Dampier W.C., (1929), *History of Science and its relations with Philosophy and Religion*, Cambridge Univ. Press

Diakidoy, I.A., Vosniadou, S., & Hawks J., (1997). Conceptual change in Astronomy: Models of the earth and of the Day/night cycle in American-Indian children. *European Journal of Psychology of Education*, *XII*, 159-184.

Dickinson, D. K. (1987). The development of material kind. *Science Education*, *71*, 615-628.

diSessa, A. A. (1988) . Knowledge in pieces . In G. Forman & P. B. Pufall (Eds.), *Constructivism in the computer age* (pp. 49 – 70 ). Hillsdale , NJ : Erlbaum

diSessa, A. A. (2008) . A bird ’ s-eye view of the “pieces” vs. “coherence” controversy (from the “pieces” side of the fence) . In S. Vosniadou (Ed.) , *International handbook of research on conceptual change* (pp. 35 – 60 ). New York , NY : Routledge

Dole, J. A. , & Sinatra, G. M. (1994) . Social psychology research on beliefs and attitudes: Implications for research on learning from text . In R. Garner & P. Alexander (Eds.) , *Beliefs about text, text comprehension, and instruction with text* (pp. 245 – 264 ). Hillsdale , NJ : Erlbaum .

Driver, R. et al., (1985). *Children's Ideas in Science*. Open University Press.

Driver R. Et al., (1994), “Οι ιδέες των παιδιών στις Φυσικές Επιστήμες», Αθήνα, εκδόσεις Τροχαλία

Driver, R., & Easley, J. (1978) . Pupils and paradigms: A review of literature related to concept development in adolescent science students . *Studies in Science Education* , *5* , 61 – 84.

Eysenk, M.W. & Keane, M.T., (1995). *Cognitive Psychology. A Student’s Handbook*. Psychology Press Ltd, UK.

Einstein Albert - Infeld Leopold, "Η Εξέλιξη των ιδεών στη Φυσική", εκδ. Δωδώνη

Fisher, A.,V. & Sloutsky, V.,M., (2004). The Development of Induction: From Similarity-Based to Category-Based. Στο K. Forbus, D. Gentner, & T. Regier, (Eds.), *Proceedings of the twenty-Sixth Annual Conference of the Cognitive Science Society*, (392-397), Chicago, Illinois.

Ganascia Jean-Gabriel, (1998). «Οι Γνωσιακές Επιστήμες», Μια ανάπτυξη για κατανόηση, Μια μελέτη για στοχασμό, Εκδοτικός Οίκος Π. Τραυλός - Ε. Κωσταράκης

Gelman, S., A. & Markman, E., M. (1986). Categories and Induction in young children. *Cognition*, *23*, pp. 183-209

Gelman, S.A., & Wellman, H.M., (1991). Insides and essence: early understandings of the non-obvious. *Cognition*, *38*, 213-244.

Gikopoulou, R. & Vosniadou, S. (2006). Categorizations of Substances in Relation to Explanations of Changes in the State of Matter. 5<sup>th</sup> European Symposium on Conceptual Change on Bridging the Gap between Mental Models and Situated Cognition? Theoretical and Methodological Considerations. Stockholm, Sweden.

Gikopoulou R. & Vosniadou S. (2012), «Designing Learning Environments for Teaching Theory of Matter in Primary school», 8th International Conference on Conceptual Change, University of Trier, September 1 to 4, 2012

Gilbert J. K., Justi R. & Aksela M., (2003), “The visualization of models: A metacognitive competence in the learning of chemistry”, paper at the 4<sup>th</sup> International Conference of European Science Education Research Association, Noordwijkerhout, The Netherlands, August 2003

Goldstone, R.,L., (1994). The role of similarity in categorization: providing a groundwork. *Cognition*, *52*, 125-157.

---

- Gopnik A. & Meletzoff, A., (1997), Words, thoughts and theories. Cambridge, MA: MIT Press
- Gopnik, A., Meltzoff, A.N. (1998). «Theories vs. Modules: To the Max and Beyond A Reply to Poulon-Dubois and to Stich and Nichols». Blackwell Publishers Ltd., *Mind & Language*, vol. 13, No. 3, p. 450-456.
- Greeno, J. G. , Collins, A. M. , & Resnick, L. B. (1996). Cognition and learning . In D. C. Berliner & R. C. Calfee (Eds.) , *Handbook of educational psychology* (pp. 15 – 46 ). New York, NY : Macmillan
- Grigoriadou M., Papanikolaou K., (2000). Learning Environments on the Wbe: The Pedagogical Role of the Educational Material, *Themes in Education*, 1:2, 145-161, 2000, Leader Books. Printed in Greece.
- Griffiths, A., and Preston, K., (1992), Grade-12 Students' misconceptions relating to fundamental characteristics of atoms and molecules, *Journal of Research in Science Teaching*, 29, 611-628
- Grosslight L., Unger C., Jay E. & Smith C.L., (1991), “Understanding models and their use in science: Conceptions of middle and high school students and experts”, *Journal of Research in Science Teaching*, 28, pp. 799-822
- Hammer, D. (1994). Epistemological beliefs in introductory physics. *Cognition and Instruction*, 12, 151–183.
- Harrison A. G. & Treagust D. F., (2000), “Learning about atoms, molecules and chemical bonds: a case study of Multiple model use in grade 11 chemistry”, *Science Education*, 84 (3), pp. 352-379
- Harrison, A., & Treagust, D. (2002). The particulate nature of matter: Challenges in understanding the submicroscopic world. In J. Gilbert, O. de Jong, R. Justi, D. Treagust, & J. van Driel (Eds.), *Chemical education: Towards research-based practice*, Vol. 17, pp. 189-212.
- Hatano, G. , & Inagaki, K. (2003) . When is conceptual change intended? A cognitive-sociocultural view . In G. M. Sinatra & P. R. Pintrich (Eds.) , *Intentional conceptual change* (pp. 407 – 427 ). Mahwah , NJ : Erlbaum
- Hawking Stephen, (1997). "Το Χρονικό του Χρόνου", Από τη Μεγάλη Έκρηξη ως τις Μαύρες Τρύπες, Εκδόσεις Κάτοπτρο.
- Hennessey, M. G. (1994). *Conceptual change approach to learning science: The dynamic role of metacognition*. Paper presented at the annual meeting of the National Association for Research in Science Teaching, Anaheim, CA.
- Hennessey, M. G. (1995). *Students' epistemological stance: Nature of learning and nature of science*. Presentation at the Cognitive Studies and Educational Practice Meetings of the Mc Donnell Foundation, Nashville, TN.
- Hennessey, M. G., & Beeth, M. (1993). *Students' reflective thoughts about science content: A relationship to conceptual change learning*. Paper presented at the meeting of the American Educational Research Association, Atlanta, GA.
- Hofer, B., & Pintrich, P. (1997). The development of epistemological theories: Beliefs about knowledge and knowing and their relation to learning. *Review of Educational Research*, 67(1), 88–140.
- Honda, M. (1994). Linguistic inquiry in the science classroom: “It is science, but it’s not like a science problem in a book.” Cambridge, MA: MIT Working Papers in Linguistics
-

Hwang B. T., (2000), "Students' understandings and misconceptions of particulate natures in gaseous phase and their science achievement", Proceedings of the International Conference of Groupe International de Research sur l' Enseignement de la Physique, Spain 2000

Ιμβριώτη Δ. (2006), «Το Μοντέλο του μικρόκοσμου ως Ενοποιητικό και Ερμηνευτικό Στοιχείο των Φυσικών Επιστημών στην Πρωτοβάθμια Εκπαίδευση – Λογισμικό και Αξιολόγηση», Διδακτορική Διατριβή, Πανεπιστήμιο Αθηνών, 2006

Inagaki, K., & Hatano, G. (2002). Young children's naïve thinking about the biological world. Philadelphia, PA: Psychology Press.

Johnson, P.M., Tymms, P. & Roberts, S. (2008). Assessing students' concept of a substance (Full research report). ESRC Society Today

Καζάζη – Πατηνιώτη Μ., Λεοντάρης Α., Χριστιάς Γ., (1999) "Εμείς και ο κόσμος", Μελέτη του Περιβάλλοντος Γ' Τάξης, Οργανισμός Εκδόσεως Διδακτικών Βιβλίων

Καλκάνης Γ.Θ., (2002). "Εκπαιδευτική Φυσική. Από το Μικρόκοσμο στο Μακρόκοσμο. Ηλεκτρομαγνητισμός – Κυματική – Πυρηνική", Αθήνα

Καλκάνης, Γ., (2006). Δυναμικές Προσομοιώσεις του μικρόκοσμου. Διαδικτυακός τόπος <http://micro-kosmos.uoa.gr> (=> τα ΦΥΣΙΚΑ Ε' και Στ' Δημοτικού), Αθήνα.

Καλκάνης κά., (2007). Σειρά Επεισοδίων Εκπαιδευτικής Τηλεόρασης: "με το μικρόΚοσμο εξηγώ ...". Ερευνητές Α.Ε., Εκπαιδευτική Ραδιοτηλεόραση, Υπουργείο Παιδείας, Αθήνα 2007-2008.

Καλκάνης Γ. (2007), "Πρωτοβάθμια Εκπαίδευση στις-με τις Φυσικές Επιστήμες " (I. οι Θεωρίες, II. τα Φαινόμενα), "Εκπαιδευτικό Εργαστήριο Φυσικών Επιστημών, Εκπαιδευτικές Τεχνολογίες και οι Εφαρμογές τους" (I. το Εργαστήριο, II. οι Τεχνολογίες), Αθήνα, 2007

Καλκάνης Γ. (2008), "Επιστολή προς τους Εκπαιδευτικούς (και τους Γονείς) για τα νέα Βιβλία «Φυσικά – Ερευνώ και Ανακαλύπτω» της Ε' και Στ' Τάξης του Δημοτικού Σχολείου", διαδικτυακός τόπος <http://micro-kosmos.uoa.gr> (=> τα ΦΥΣΙΚΑ Ε' και Στ' Δημοτικού), Αθήνα, 2008

Kalkanis, G., (2013). From the Scientific to the Educational: Using Monte Carlo Simulations of the microKosmos for Science Education by Inquiry Book "Concepts of Matter in Science Education", Springer Series "Innovations in Science Education and Technology", Eds G. Tsaparlis and H. Sevian, DOI 10.1007/978-94-007-5914-5\_5, Springer 2013, Vol. 19, p. 301-315.

Καλκάνης Γ. Θ., Γκικοπούλου Ουρ., Καπότης Ευστρ., Γουσόπουλος Δημ., Πατρινόπουλος Μαθθ., Τσάκωνας Π., Δημητριάδης Π., Παπασιμίπα Α., Μιτζήθρας Κ., Καπόγιαννης Αθ., Σωτηρόπουλος Δ., Πολίτης Σ., (2013), «Η Φυσική με Πειράματα» Α' Γυμνασίου, Υπουργείο Παιδείας και Θρησκευμάτων, Ινστιτούτο Εκπαιδευτικής Πολιτικής, Ινστιτούτο Τεχνολογίας Υπολογιστών και Εκδόσεων «ΔΙΟΦΑΝΤΟΣ»

Keil, F. C. (1989) . Concepts, kinds, and cognitive development. Cambridge , MA : MIT Press

Keil, F., (1979). «Semantic and Conceptual Development: an Ontological Perspective», Cambridge, Harvard University Press.

Kempton, W. (1987). Two theories of home heat control. In Cultural models in language and thought, D. Holland and N. Quinn (Eds.), Cambridge: Cambridge University Press., 222.



King, P., & Kitchener, K. (1994). *Developing reflective judgment: Understanding and promoting intellectual growth and critical thinking in adolescents and adults*. San Francisco: Jossey-Bass.

Knerl, D., Glazar, S. & Watson, R. (2003). The development of the concept of “matter”: A Cross-Age study of how children classify materials. *Science Education*, 87, 621-639.

Κουκά Άν., Βοσνιάδου Στ., Τσαρπαλής Γ., «Η Ανάπτυξη της Έννοιας του Νερού: Από το Νερό ως Υγρό στο Νερό ως Χημική Ένωση»

Κουκά, Α., (2000). Η έννοια του νερού στη χημική εκπαίδευση: Αντιλήψεις, παρανοήσεις, δυσκολίες στην κατανόηση. Διδακτορική Διατριβή, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων, 2000.

Kuhn, T., (1962). *The Structure of Scientific Revolutions*. Chicago: University of Chicago Press.

Kuhn, D. , Amsel, E. , & O ' Loughlin, M. (1988) . The development of scientific thinking skills. San Diego , CA : Academic Press

Kuhn, D., Cheney, R., & Weinstock, M. (2000). The development of epistemological understanding. *Cognitive Development*, 15, 309-328.

Κυριακοπούλου, Ν. & Βοσνιάδου, Στ., (2004). Οντολογικά και Επιστημολογικά Προβλήματα της Διάκρισης Ανάμεσα σε Φαινομενολογικές και Επιστημονικές Εξηγήσεις του Φυσικού Κόσμου: Μια Αναπτυξιακή Μελέτη στο Χώρο της Παρατηρησιακής Αστρονομίας. *Ψυχολογία*. 11(3), 356-372.

Kynigos C., Gyftodimos G. and Georgiadis P., (1993). Empowering a society of future users of information technology: a longitudinal study of an application in early education. *European Journal of Information Systems* (1993) 2, 139–148. doi:10.1057/ejis.1993.22

Kyriakopoulou, N., Vosniadou, St., (2012). The relation between conceptual change in physical science, theory of mind and personal epistemology and implications for science instruction. 8th International Conference on Conceptual Change, University of Trier, Germany.

Landau L.D. & Kitagorotsky A.I., (1980), *Molecules Physics for everyone*, Mir Publishers

Lee, O., Eichinger, D.C., Anderson, C.W., Berkheimer, G.d., & Blakeslee, T.D., (1993), Changing middle school students' conceptions of matter and molecules, *Journal of Research in Science Teaching*, 30(3), 249-270

Liang J. C., Chou C.C., Chiu M. H. (2011), Student test performances on behavior of gas particles and mismatch of teacher predictions, *Chemistry Education Research and Practice*, 12, 238-250

Linn, M. C. (2008) . Teaching for conceptual change: Distinguish or extinguish ideas . In S. Vosniadou (Ed.) , *The international handbook of research on conceptual change* (pp. 694 – 722). New York , NY : Routledge .

Λιοδάκης Σ., Γάκης Δ., Θεοδωρόπουλος Δ., Θεοδωρόπουλος Π., Κάλλης Α. (2011), *Χημεία Α' Λυκείου, Οργανισμός Εκδόσεων Διδακτικών Βιβλίων, Υπουργείο Εθνικής Παιδείας και Θρησκευμάτων, Παιδαγωγικό Ινστιτούτο, Αθήνα 2011*

Liu, X., & Lesniak, K. (2006). Progress in children's understanding the matter concept from elementary to high school. *Journal of Research in Science Teaching*, 43 , 320–347

---

Lofgren L., Hellden G., (2009), A Longitudinal Study Showing how Students use a Molecule Concept when Explaining Everyday Situations, *International Journal of Science Education*, vol. 31, no. 12, 1 August 2009, pp. 1631-1655

Margel, H., Eylon, B., & Scherz, Z. (2008). A longitudinal study of junior high school students' conceptions of the structure of materials. *Journal of Research in Science Teaching*, 45 (1), 132–152.

Mariani M.C., Ogborn J., (1991) Towards an ontology of common-sense reasoning, *International Journal of Science Education*, vol. 13, No 1, p. 69-85

Markman, E.M., (1989). *Categorization and Naming in Children. Problems of Induction.* A Bradford Book. MIT Press.

Ματσαγγούρας Η., (1993). «Θεωρία και Πράξη της Διδασκαλίας, Τόμος Πρώτος - Θεωρία της Διδασκαλίας: Στοχαστικοκριτική Προσέγγιση», Αθήνα, 1993

Ματσαγγούρας Η., (1994). «Θεωρία και Πράξη της Διδασκαλίας, Τόμος Δεύτερος - Στρατηγικές Διδασκαλίας: Από την Πληροφόρηση στην Κριτική Σκέψη», Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα, 1994

Μαυρόπουλος Μ., Καπετάνου –Ζαμπετάκη Ε., Γανωτόπουλος Γ., Προβης Ν., (1989). Χημεία, Α΄ τάξη Ενιαίου Πολυκλαδικού Λυκείου, Οργανισμός Εκδόσεως Διδακτικών Βιβλίων, Αθήνα

McCloskey, M. (1983). «Naïve theories of motion». In D. Gentner and A.L. Stevens (Eds.), «Mental Models». Hillsdale, NJ: Erlbaum

McCloskey, M. (1983). Intuitive physics. *Scientific American*, 248, 122 – 130. doi:10.1038/scientific American, 483-122

McCloskey, M. & Kargon, R. (1988). The meaning and use of historical models in the study of intuitive physics. In S. Strauss (ed.), *Ontology, phylogeny and historical development.* Norwood, N. J., Ablex Publishing Corporation, 49-67.

Medin D., (1989), Concepts and Conceptual Structure, *American Psychologist*, 4 (12), pp. 1469-1481

Medin, D.L. & Rips, L.J., (2005), Concepts and categories: memory, meaning and metaphysics, in Holyoak, K.J. & Morrison, R.G. (Eds.) *Cambridge Handbook of Thinking and Reasoning* (37-72), Cambridge: Cambridge University Press

Medin, D.L. & Aguilar, C.M., (1999). Categorization. In R.A. Wilson & F.C. Keil (Eds.), *The MIT Encyclopedia of the Cognitive Sciences* (104-106). Cambridge, MA: MIT Press.

Merritt J., Krajcik J., (2013), Learning Progression Developed to Support Students in Building a Particle Model of Matter, Book "Concepts of Matter in Science Education", Springer Series "Innovations in Science Education and Technology", Eds G. Tsaparlis and H. Sevian, DOI 10.1007/978-94-007-5914-5\_5, Springer 2013, Vol. 19, p.11-45

Metz, K. (1993), Preschoolers' developing knowledge of the pan-balance: New representation to transformed problem solving. *Cognition and Instruction*, 11 (1), 31–93

Mikelskis-Seifert S. & Leisner A., (2003), “Investigation of Effects and Stability in teaching Model Competence”, paper at the 4<sup>th</sup> International Conference of European Science Education Research Association, Noordwijkerhout, The Netherlands, August 2003

Millar R., (1999), “Discussant of the Symposium: Teaching and Learning the Particle Model”, *Proceedings of the 2<sup>nd</sup> International Conference of the European Science Education Research Association*, Germany 1999, p. 392

Μπιτσάκης Ε., (1974) Διαλεκτική και νεώτερη Φυσική. Σπουδές στη Φιλοσοφία, εκδ. Ηριδανός

- Murphy, G.L., & Medin, D.L. (1985). The Role of Theories in Conceptual Coherence. *Psychological Review*, 92(3), 289-316.
- Nakhlem M., Samarapungavan A., (1999), "Elementary school children's beliefs about matter", *Journal of Research in Science Teaching*, 36, p. 777-805
- Nakhleh M., Samarapungava A., Saglam Y., (2005), Middle School Students' Beliefs about Matter, *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 42, no. 5, pp. 581-612, 2005
- Novak J., (1987), the use of metacognitive tools to facilitate meaningful learning. *Adolescent Development and School Science*, Adey P., Bliss J., Head J., Shayer M. (Eds), The Falmer Press
- Novick S., Nussbaum J. (1978), Junior high school pupils' understanding of the particulate nature of matter: An interview study, *Science Education* 63(3): 273-281
- Novick S., Nussbaum J. (1981), Pupils' Understanding of the Particulate Nature of Matter: A Cross-Age Study, *Science Education* 65(2): 187-196
- Nussbaum J., (1985). "Η σωματιδιακή μορφή της ύλης στην αέρια κατάσταση», στο βιβλίο Driver R. Et al. "Οι ιδέες των παιδιών στις Φυσικές Επιστήμες», Αθήνα, εκδόσεις Τροχαλία.
- Osborne R., Cosgrove M., (1983), "Childrens' conceptions of the changes of the state of water", *Journal of research in Science Teaching*, 20, p. 825-838
- Osborne και Freyberg (1985), *Learning in Science: The Implications of Children's Science*. Heinemann Education New Zealand.
- Paik S.H., Kim H.N., Cho B.K., Park J.W. (2004), K-8<sup>th</sup> grade Korean students' conceptions of "changes of state" and "conditions for changes of state", *International Journal of Science Education*, vol. 26, no 2, 207-224, 6 February 2004
- Papadimitriou A., Gyftodimos G., (2007). Use of Kolb's learning cycle through an adaptive educational hypermedia system for a constructivist approach of electromagnetism. *Proceedings of the 4th WSEAS/IASME International Conference on Engineering Education*, Agios Nikolaos, Crete Island, Greece, July 24-26, 2007
- Papageorgiou G., Johnson P. (2005), Do Particle Ideas Help or Hinder Pupils' Understanding of Phenomena?, *International Journal of Science Education*, 2005, vol. 27, no. 11, 1299-1317
- Papageorgiou G., Johnson P., Fotiades F., (2008), Explaining melting and evaporation below boiling point. Can software help with particle ideas?, *Research in Science & Technological Education*, vol. 26, no 2, July 2008, 165-183
- Papageorgiou G., Stamovlasis D., Johnson P. (2009), Primary Teachers' particle Ideas and Explanations of Physical Phenomena: Effect of an in-service training course, *International Journal of Science Education*, 32:5, 629-652
- Papanikolaou K., Mabbott A., Bull S., Grigoriadou M., (2006). Designing learner-controlled educational interactions based on learning/cognitive style and learner behavior, *Interacting with Computers* 18 (2006) 356-384, Elsevier
- Pereira M., Pestana M.E., (1991), Pupils' representations of models of water, *International Journal of Science Education*, 1991, vol. 13, no. 3, 313-319
- Περιστεράκης Γ.Σ, (1969), «Ο Ατομικός μας Κόσμος», εκδόσεις Κοκκοτσάκη
- Piaget, J., (1973). *The child's conception of the world*, Paladin, London
- Piaget, J. (1975) . *The origin of the idea of chance in children*. London , England : Routledge & Kegan Paul
- Piaget, J., (1999). "Η Ψυχολογία της Νοημοσύνης", εκδ. Καστανιώτης

Piaget J. & Inhelder B., (1974), "The child's construction of quantities", London: Routledge and Kegan Paul, London

Pintrich, P. R. , Marx, R. W. , & Boyle, R. B. (1993) . Beyond cold conceptual change: The role of motivational beliefs and classroom contextual factors in the process of conceptual change . *Review of Educational Research* , 63 , 167 – 199

Πλακίτση Αικ, Κοντογιάννη Αλ., Σπυράτου Ειρ., Μανώλη Β., Μπάλλα Ευ., Σταράκης Ι. (2011), "Μελέτη Περιβάλλοντος Α΄ Δημοτικού", Υπουργείο Παιδείας και Θρησκευμάτων, Πολιτισμού και Αθλητισμού

Πνευματικός Δ., Μακρής Ν., (2011). «Η έννοια του Θεού: Εννοιολογική αλλαγή και νοητικά μοντέλα παιδιών και εφήβων», Περιοδικό ΨΥΧΟΛΟΓΙΑ, ΕΛΨΕ, Τόμος 18, Τεύχος 1, Μάρτιος 2011

Πόρποδας Κ., (1992). «Γνωστική Ψυχολογία», Τόμος 1, Η Διαδικασία της Μάθησης, (Επεξεργασία πληροφοριών, Αντίληψη, Μνήμη, Αναπαράσταση της γνώσης).

Πόρποδας Κ., (1992). «Γνωστική Ψυχολογία», Τόμος 2, θέματα Ψυχολογίας της Γλώσσας, Λύση Προβλημάτων.

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(2): 211-227

Pozo, J., & Gomez Crespo, M. (2005). The embodied nature of implicit theories: The consistency of ideas about the nature of matter. *Cognition and Instruction*, 23(3), 351-387.

Ράπτης Αρ., Ράπτη Αθ., (1997). «Πληροφορική και Εκπαίδευση», Συνολική Προσέγγιση, Αθήνα

Reiner, M., Slotta, J.D., Chi, M.T.H & Resnick, L.B. (2000). "Naïve physics reasoning: A commitment to substance-based conceptions". *Cognition and Instruction*, 18(1), 1-34

Renström, L., Andersson, B., & Marton, F. (1990). Students' conceptions of matter. *Journal of Educational Psychology*, 82 , 555–569.

Ρούσσοις Π., Τσαούσης Γ., (2011). Στατιστική στις επιστήμες της συμπεριφοράς με τη χρήση του SPSS. Εκδόσεις Τόπος, 2011

Roth, W. M. , Lee, Y. J. , & Hwang, S. W. (2008) . Culturing conceptions: From first principles. *Cultural Studies of Science Education* , 3 , 231 – 261 .doi:10.1007/s11422-008-9092-2

Saljo, R. (1996) . Mental and physical artifacts in cognitive processes . In P. Reinman & H. Spanda (Eds.) , *Learning in humans and machines: Towards an interdisciplinary learning science* (pp. 83 – 96 ) . New York , NY : Pergamon Press .

Saljo, R. (1999) . Learning as the use of tools: A sociocultural perspective on the human-technology link . In K. Littleton & P. Light (Eds.) , *Learning with computers: Analysing productive interaction* (pp. 144 – 161 ) . New York , NY : Routledge

Samarapungavan, A., Vosniadou, S., & Brewer, W.F., (1996). Mental models of the earth, sun, and moon: Indian children's cosmologies. *Cognitive Development*, 11, 491-521.

Sere M. G., (1985). The gaseous state, Children's ideas in science, Driver R., Guesne E., Timberghien A. (Eds), open University Press

Schommer, M. (1990) . Effects of beliefs about the nature of knowledge on comprehension . *Journal of Educational Psychology* , 82 , 498 – 504 . doi:10.1037/0022-0663.82.3.498

Schommer, M. (1993). Epistemological development and academic performance among secondary students, *Journal of Educational Psychology*, 85, 406–411.

---

Siegler, R., (2002). «Πώς σκέφτονται τα παιδιά», επιμέλεια: Βοσνιάδου Στ., μετάφραση: Κουλεντιανου Ζ., Εκδ. Gutenberg Ψυχολογία

Sinatra, G. M., & Pintrich, P. R. (Eds.). (2003). *Intentional conceptual change*. Mahwah, NJ: Erlbaum

Σκοπελίτη Ε., (2008), «Το πρόβλημα της εννοιολογικής αλλαγής στο χώρο των φυσικών επιστημών. Μεθοδολογικά και θεωρητικά ζητήματα», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Μεθοδολογίας, Ιστορίας και Θεωρίας της Επιστήμης, Πανεπιστήμιο Αθηνών

Sloutsky, V., M. & Fisher, A., V., (2004). Induction and Categorization in Young Children: A Similarity-Based Model. *Journal of Experimental Psychology: General*, 133(2), 166-188

Smith, C.L. (2007). Bootstrapping Processes in the Development of Students' Commonsense Matter Theories: Using Analogical Mappings, Thought Experiments and Learning to Measure to Promote Conceptual Restructuring, *Cognition and Instruction*, volume 25, issue 4, p. 337-398, Dec 2007

Smith, J.P., diSessa, A.A. & Rochelle, J. (1993). «Misconceptions Reconceived: A Constructivist analysis of knowledge in transition», *The Journal of Learning Sciences*, 3(2), 115-183

Smith, C., Maclin, D., Grosslight, L., & Davis, H. (1997). Teaching for understanding: A comparison of two approaches to teaching students about matter and density. *Cognition and Instruction*, 15, 317-393.

Smith, C. L., Maclin, D., Houghton, C., & Hennessey, M. G. (2000). Sixth graders' epistemologies of science: The impact of school science experiences on epistemological development. *Cognition and Instruction*, 18, 349-422.

Smith, C. L., Solomon, G. E. A., & Carey, S. (2005). Never getting to zero: Elementary school students' understanding of the infinite divisibility of number and matter. *Cognitive Psychology*, 51, 101-120.

Smith, C. L., & Wenk, L. (2006). Relations among Three Aspects of First-Year College Students' Epistemologies of Science. *Journal of Research In Science Teaching*, 43(8), 747-785.

Smith C., Carey S., Wiser M., (1985). "On differentiation: A case study of the development of the concepts of size, weight and density", *Cognition*, 21, p. 177-237

Smith, C. L., Wiser, M., Anderson, C. W., & Krajcik, J. (2006). Implications of research on children's learning for standards and assessment: A proposed learning progression for matter and atomic-molecular theory. *Measurement: Interdisciplinary Research and Perspectives*, 14, 1-98.

Smith, C., Wiser, M., & Carraher, D. (2010). Using a comparative, longitudinal study with upper elementary school students to test some assumptions of a learning progression for matter. Paper presented at the 83rd Annual National Association for Research in Science Teaching conference, Philadelphia.

Snir, J., Smith, C., Raz, G., (2003), Linking phenomena with competing underlying models: A software tool for introducing students to the particulate model of matter, *Science Education*, 87, 794-830

Spelke, E., S., (1991). Physical knowledge in infancy: Reflections on Piaget's theory. Στο S. Carey & R. Gelman (Eds.), *The Epigenesis of Mind: Essays on biology and cognition*, (133-169), Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Stathopoulou & Vosniadou, (2007), «Conceptual change in physics and physics-related epistemological beliefs: a relationship under scrutiny», *Reframing the conceptual change approach in learning and instruction*, 2007, Elsevier

---

Stavridou H., Solomonidou C., (1989), Physical Phenomena – Chemical Phenomena: do pupils make the distinction?, *International Journal of Science Education*, 62 (3) : 83-92

Stavy, R. (1988). Children' s conceptions of gas. *International Journal of Science Education*, 10, 553-560.

Stavy, R. (1991). Children's ideas about matter. *School Science and Curriculum*, 91, 240-244.

Stavy R., Stachel D., (1985), "Children's ideas about "solid" and "liquid", *European Journal of Education*, 7, p. 407-421

Talanquer V. (2009), On cognitive Constraints and Learning Progressions : the case of "structure of matter", *International Journal of Science Education*, vol. 31, no. 15, 1 October 2009, pp. 2123-2136

Thagard, P. (1992). «Conceptual Revolutions». Princeton University Press, USA. (Chapter 10, p. 246-265)

Treagust, D. F., Chandrasegaran, A. L., Zain, A. N. M., Ong, E. T., Karpudewan, M., & Halim, L. (2011). Evaluation of an intervention instructional program to facilitate understanding of basic particle concepts among students enrolled in several levels of study. *Chemistry Education Research and Practice*, 12 (2), 15–28.

Treagust D. F., Ghittelborough G. & Mamiala T.L., (2002), "Research report: Students' understanding of the role of scientific models in learning science", *International Journal of Science Education*, 24(4), pp. 357-368

Τριλιανός Αθ., (1993), Η Ενθάρρυνση του Μαθητή, Εκδ. Συμμετρία, Αθήνα 1993

Τριλιανός Αθ., (2002). «Η Παρώθηση του μαθητή για μάθηση – Επιστημονικές θεωρήσεις και τεχνικές παρώθησης του μαθητή κατά τη διδακτική διαδικασία», Αθήνα 2002

Τζελέπης Χ. (2004), «Οι επιστημολογικές πεποιθήσεις των μαθητών της Πρωτοβάθμιας Εκπαίδευσης για την επιστημονική γνώση», Πανελλήνιο Συνέδριο Γνωστικής Ψυχολογίας, Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης, Αλεξανδρούπολη, 4-7 Νοεμβρίου 2004

Viennot, L. (1979) . Spontaneous reasoning in elementary dynamics . *European Journal of Science Education*, 1, 205 – 221

Vosniadou, S., (1991). Designing Curricula for Conceptual Restructuring: Lessons from the Study of Knowledge Acquisition in Astronomy. *Journal on Curriculum Studies*, 23(3), 219-237

Vosniadou, (1994), Capturing and modeling the process of conceptual change, *Learning and Instruction*, 4, 45-69

Vosniadou, S., (1999). Conceptual Change Research: State of the Art and Future Directions. Στο W. Schnotz, S. Vosniadou, & M. Carretero (Eds.) *New Perspectives on Conceptual Change*, Elsevier Science, 3-13.

Vosniadou, S., (2002). On the nature of Naïve Physics. Στο M. Limon and L. Mason (Eds.) *Reframing the Processes of Conceptual Change*, Kluwer Academic Publishers.

Vosniadou, S., (2002). Exploring the relationships between conceptual change and intentional learning. Στο G.M., Sinatra P.R., Pintrich (Eds.) *Prospects and problems for models of intentional conceptual change*, Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.

Vosniadou, S. (2003) . Exploring the relationships between conceptual change and intentional learning . In G. M. Sinatra & P. R. Pintrich (Eds.) , *Intentional conceptual change* (pp. 377 – 406). Mahwah , NJ : Erlbaum

---

- Vosniadou S., (2004). Extending the conceptual change approach to mathematics learning and teaching. *Learning and instruction*, 14, 445-451.
- Vosniadou S., (2006). The conceptual change approach in the learning and teaching of mathematics: An introduction, in Novotna J., Moraova H., Kratka M. & Stehlinkova N. (Eds). *Proceedings, 30<sup>th</sup> conference of the international Group of Psychology and Mathematics Education*, vol. 1, pp. 155-159, Prague: PME
- Vosniadou, S., (2007a). Introduction. Στο S. Vosniadou, A. Baltas, & X. Vamvakousi (Eds.). *Reframing the Conceptual Change Approach in Learning* (1-15). Oxford: Elsevier Ltd.
- Vosniadou, S., (2007b). The Cognitive-Situative Divide and the Problem of Conceptual Change. *Educational Psychologist* 42(1), 55-66.
- Vosniadou, S., (2012). The problem of conceptual change in the learning of science and mathematics. 8th International Conference on Conceptual Change, University of Trier, Germany.
- Vosniadou S. & Brewer W. F., (1987) Theories of Knowledge Restructuring in Development, *Review of Educational Research*, 57, 51-67
- 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. & Brewer, W.F. (1994). "Mental Models of the day/night cycle". *Cognitive Science*, 18, 123-183.
- Vosniadou S., Ioannides C., Dimitrakopoulou A., & Papademetriou E., (2001): Designing learning environments to promote conceptual change in science, *Learning and Instruction*, 11, 381-419.
- Vosniadou, S., Skopeliti, I. (2005). Developmental Shifts in Children's Categorization of the Earth, In B. Bara, L. Barsalou, & M. Bucciarelli (Eds.) *Proceedings of the XXVII Annual Conference of the Cognitive Science Society*, pp. 2325-2330.
- Vosniadou S. & Vamvakousi, X., (2006). Examining Mathematics learning from a conceptual change point of view: Implications for the design of learning environments. In L. Verschaffel, F. Dochy, M. Boekaerts & S. Vosniadou (eds), *Instructional psychology: past, present and future trends – fifteen essays in honour of Erik De Corte*, pp. 55-72, Oxford: Elsevier.
- Vosniadou, S., Vamvakousi, X., Skopeliti, E., (2008). The Framework Theory Approach to the Problem of Conceptual Change. In S. Vosniadou (Ed.), *International Handbook of Research on Conceptual Change* (pp. 3-34). New York, NY: Routledge.
- Vosniadou, S. , & Verschaffel, L. (2004) . Extending the conceptual change approach to mathematics learning and teaching . *Learning and Instruction* , 14 , 445 – 451 . doi:10.1016/j.learninstruc.2004.06.014
- Vosniadou & Mason, (2012), "Conceptual Change induced by Instruction: A Complex Interplay of Multiple Factors", *APA Educational Handbook*, Vol. 2, Individual Differences and Cultural and Contextual Factors, K. R. Harris, S. Graham and T. Urda (Editors-in-Chief), American Psychological Association, 2012
- Welder A., Graham S., (2006), Infants' categorization of novel objects with more or less obvious features, *Cognitive Psychology* 52 (2006), pp. 57-91
- Wellman, H.M., & Gelman, S.A., (1992), «Cognitive development: Foundational theories of core domains», *Annual Review of Psychology*, 43
- White, R. T. , & Gunstone, R. F. (2008) . The conceptual change approach and the teaching of science . In S. Vosniadou (Ed.) , *International handbook of research on conceptual change* (pp. 619 – 628 ). New York , NY : Routledge .
-

- White, B., & Frederiksen, J. (1986). "Intelligent Tutoring Systems Based Upon Qualitative Model Evolutions." In the Proceedings of the Fifth National Conference on Artificial Intelligence (pp. 313-319). Los Altos, CA: Morgan Kaufmann Publishers, 1986.
- White, B.Y. and J.R. Frederiksen (1998), "Inquiry, Modeling, and Metacognition: Making Science Accessible to all Students", *Cognition and Instruction*, Vol. 16, pp. 3-118.
- Williamson, V., Huffman, J., & Peck, L. (2004). Testing students' use of the particulate theory. *Journal of Chemical Education*, 81 , 891–896.
- Wiser, M., & Carey, S. (1983). When heat and temperature were one. In D. Gentner & A. Stevens (Eds.), *Mental models* (pp. 267-297). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Wiser M., Frazier K., Fox V., (2013), At the Beginning Was Amount of Material: A Learning Progression for Matter for Early Elementary Grades, Book "Concepts of Matter in Science Education", Springer Series "Innovations in Science Education and Technology", Eds G. Tsaparlis and H. Sevian, DOI 10.1007/978-94-007-5914-5\_5, Springer 2013, Vol. 19, p. 95-122
- Wiser, M., O'Connor, K., & Higgins, T. (1995). Mutual constraints in the development of the concepts of matter and molecule. Paper presented at American Educational Research Association (AERA), April 19-21, 1995, San Francisco, CA.
- Wiser M. & Smith C., (2008), Teaching about matter in grades K-8: When should the atomic-molecular theory be introduced?, *International Handbook of Research on Conceptual Change*, Edited by Stella Vosniadou
- Wiser, M., & Smith, C. L. (2009). How does cognitive development inform the choice of core ideas in the physical sciences ? Commissioned paper presented at the National Research Council Conference on Core Ideas in Science, Washington, DC.
- Wiser & Smith (2012a), Learning and Teaching about Matter in Elementary Grades: What Conceptual Changes Are Needed?. *International Handbook of Research on Conceptual Change*, 2<sup>nd</sup> edition, ed. by Stella Vosniadou
- Wiser M., Smith C., (2012b), Learning and Teaching about Matter in the Middle School Years: How Can the Atomic-Molecular Theory be Meaningfully Introduced? *International Handbook on Conceptual Change*, 2<sup>nd</sup> edition, ed. by Stella Vosniadou
- Φρασσαρη Θ., Δρουκα-Λιαπατη Π., (1993). Χημεία, Γ΄ Γυμνασίου, Οργανισμός Εκδόσεως Διδακτικών Βιβλίων, Αθήνα
- Φρασσαρη Θ., Δρουκα-Λιαπατη Π., (1994). Χημεία, Β΄ Γυμνασίου, Οργανισμός Εκδόσεως Διδακτικών Βιβλίων, Αθήνα
- Χατζηνικήτα, Β., (1995), Οι αναπαραστάσεις των μαθητών του Δημοτικού για τις μεταβολές της ύλης. Είδη, αιτιακές σχέσεις και μηχανισμοί. Διδακτορική Διατριβή, Παν. Πατρών
- Yeziarski, E. J., & Birk, J. P. (2006). Misconceptions about the particulate nature of matter. *Journal of Chemical Education*, 83 (6), 954–960.
- Young H. D., (1994), Πανεπιστημιακή Φυσική, Τόμος Α΄, Εκδ. Παπαζήση, Αθήνα
- Zembylas, M. (2005) . Three perspectives on linking the cognitive and the emotional in science learning: Conceptual change, socio-constructivism and poststructuralism . *Studies in Science Education* , 41 , 91 – 115
-



## **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ**

**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι**  
**ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΑ ΕΡΕΥΝΩΝ**

## ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ ΠΡΩΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

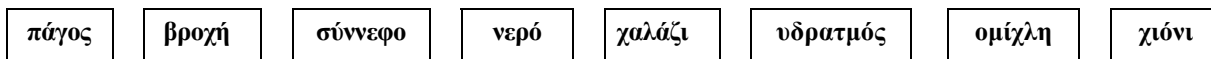
Βλέπεις εδώ διάφορα αντικείμενα (αλουμινόχαρτο, βότσαλο, εικοσάρικο, νερό, αλατόνερο, οινόπνευμα, αέρας, καυσαέριο, υδρατμός). Ας δούμε τι είναι το καθένα. (Το παιδί διαβάζει τις λέξεις και ο ερευνητής το βοηθάει)

- 1) Θέλω να βάλεις μαζί αυτά τα πράγματα που ανήκουν στην ίδια κατηγορία, στην ίδια ομάδα. Θέλω να βάλεις μαζί αυτά που πάνε μαζί. Γιατί έβαλες τα πράγματα αυτά μαζί;  
*(Αν έχει χωρίσει τα αντικείμενα σε Στερεά, Υγρά, Αέρια προχωράμε στην ερώτηση 4)*
- 2) Υπάρχει άλλος τρόπος που μπορείς να τα βάλεις μαζί; Γιατί έβαλες τα πράγματα αυτά μαζί;
- 3) Μπορείς να τα χωρίσεις σε Στερεά, Υγρά και Αέρια; Γιατί τα έβαλες αυτά μαζί;
- 4) Σου δίνω τώρα κι αυτά τα τρία αντικείμενα (οξυγόνο, καφές, πάγος). Σε ποια κατηγορία θα έβαζες το καθένα; Γιατί τα έβαλες στις κατηγορίες αυτές;
  
- 5) Μπορεί ένα πράγμα να πάει από μια κατηγορία σε μια άλλη;
  - α) Δηλαδή μπορεί ο πάγος να πάει στην κατηγορία του υγρού;
  - β) Δηλαδή μπορεί ο υδρατμός να πάει στην κατηγορία του υγρού;
- 6) α) Αν το παγάκι το αφήσουμε έξω θα λιώσει και θα γίνει νερό. Σε ποια κατηγορία θα το βάλεις το νερό;  
β) Άμα βάλουμε ένα πιάτο, χέρι, καπάκι πάνω από το νερό που βράζει, ο υδρατμός θα γίνει νερό. Σε ποια κατηγορία θα το βάλεις το νερό;
- 7) α) Το νερό αυτό είναι το ίδιο πράγμα με τον πάγο;  
β) Το νερό αυτό είναι το ίδιο πράγμα με τον υδρατμό;
- 8) α) Από τι αποτελείται το νερό και από τι ο πάγος;  
β) Από τι αποτελείται το νερό και από τι ο υδρατμός;
  
- 9) Θέλω τώρα να χωρίσεις τα αντικείμενα σε καθαρές ουσίες και μείγματα.
- 10) Γιατί τα έβαλες αυτά μαζί;
- 11) Τι πάει να πει "καθαρή ουσία"; Πως το καταλαβαίνεις εσύ;
- 12) Τι πάει να πει "μείγμα"; Πως το καταλαβαίνεις εσύ;

## ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ ΔΕΥΤΕΡΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

### Έργο Κατηγοριοποίησης

Βλέπεις εδώ μερικές καρτέλες με διάφορα αντικείμενα:



1) α) Θέλω να βάλεις μαζί αυτά τα πράγματα που ανήκουν στην ίδια κατηγορία, στην ίδια ομάδα. Θέλω να βάλεις μαζί αυτά που πάνε μαζί.

.....

.....

.....

β) Γιατί έβαλες τα πράγματα αυτά μαζί;

.....

.....

.....

2) α) Υπάρχει άλλος τρόπος που μπορείς να τα βάλεις μαζί;

.....

.....

.....

β) Γιατί τα έβαλες αυτά μαζί;

.....

.....

.....

3) α) Μπορείς να χωρίσεις τα αντικείμενα σε Στερεά, Υγρά και Αέρια;

*(Αν έχεις ήδη χωρίσει τα αντικείμενα σε Στερεά, Υγρά, Αέρια πήγαινε στην ερώτηση 4)*

.....

.....

.....

β) Γιατί τα έβαλες αυτά μαζί;

.....

.....

.....

4) Θα μπορούσαν να μπουν όλα τα αντικείμενα σε μία κατηγορία; Γιατί; Γιατί όχι;

.....

.....

**Έργα Ερμηνείας Φαινομένων**

**A) Τήξη Πάγου**



1) Εδώ βλέπεις ένα παγάκι που λιώνει. Πώς γίνεται αυτό;

.....  
.....  
.....  
.....

2) Τι παθαίνει ο πάγος; Γιατί λιγοστεύει;

.....  
.....  
.....

3) Από τι αποτελείται ο πάγος;

.....  
.....  
.....  
.....

4) Από τι αποτελείται το νερό;

.....  
.....  
.....  
.....

5) Το νερό είναι το ίδιο πράγμα με τον πάγο; Έχουν τίποτα κοινό;

.....  
.....  
.....  
.....

6) Σχεδιάσε πώς νομίζεις ότι είναι μέσα το παγάκι.

7) Σχεδιάσε πώς νομίζεις ότι είναι μέσα το νερό.

## B) Βρασμός Νερού



1) Εδώ βλέπεις το νερό που βράζει μέσα στο δοχείο. Πώς γίνεται αυτό; Τι συμβαίνει;

.....

.....

.....

.....

2) Πού πάει το νερό; Γιατί ελαττώνεται;

.....

.....

.....

3) Αυτό που βγαίνει πάνω από το νερό τι είναι;

.....

.....

4) Από τι αποτελείται το νερό;

.....

.....

.....

5) Από τι αποτελείται αυτό που βγαίνει πάνω από το νερό (ο υδρατμός);

.....

.....

.....

6) Το νερό αυτό είναι το ίδιο πράγμα με τον υδρατμό; Έχουν τίποτα κοινό;

.....

.....

.....

7) Σχεδιάσε το νερό, πώς νομίζεις ότι είναι μέσα.

8) Σχεδιάσε τον υδρατμό, πώς νομίζεις ότι είναι μέσα.



ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ ΤΡΙΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

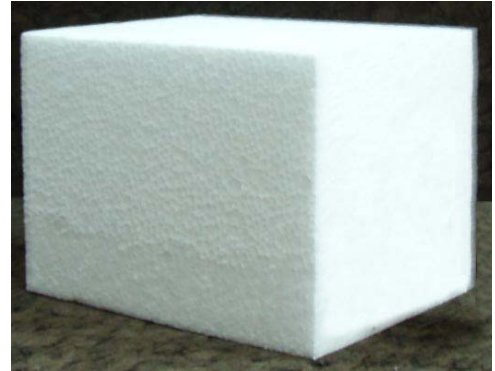
Έργο για τις Αντιλήψεις των Μαθητών για την Ύλη

**A) Φυσικές Ποσότητες (Βάρος, Μάζα, Πυκνότητα, Όγκος και Μετρήσεις)**

1. Αυτό το κομμάτι φελιζόλ:

έχει βάρος       δεν έχει βάρος

Γιατί; .....  
.....  
.....  
.....  
.....



2. Αυτό το κομμάτι φελιζόλ:

έχει βάρος       δεν έχει βάρος

Γιατί; .....  
.....  
.....



3α. Μπορεί να υπάρξει ένα κομμάτι φελιζόλ τόσο μικρό που να μην μπορούμε να το δούμε;

ναι       όχι

Γιατί; .....  
.....  
.....

3β. Αυτό το κομμάτι έχει βάρος;

ναι       όχι

Γιατί; .....  
.....  
.....

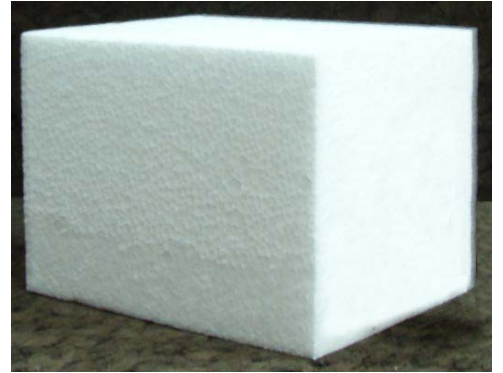
3γ. Αυτό το κομμάτι έχει όγκο, δηλαδή καταλαμβάνει χώρο;

ναι       όχι

Γιατί; .....  
.....  
.....

4. Αυτό το κομμάτι φελιζόλ:  
έχει ύλη       δεν έχει ύλη

Γιατί; .....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....



5. Αυτό το κομμάτι φελιζόλ έχει:  
έχει ύλη       δεν έχει ύλη

Γιατί; .....  
.....  
.....  
.....




6. Φαντάσου ότι έχεις ειδικά εργαλεία με τα οποία μπορείς να κόβεις σε πολύ μικρά κομμάτια τα υλικά. Θα μπορούσες να κόβεις το φελιζόλ στη μέση συνέχεια ή κάποια στιγμή δεν θα έχει μείνει πια υλικό για να κόψεις;

.....  
.....  
.....  
.....

7. Αυτό το κομμάτι πλαστελίνης:  
έχει βάρος       δεν έχει βάρος

Γιατί; .....  
.....  
.....  
.....



8. Αν το ενώσω με αυτό το κομματάκι πλαστελίνης, τώρα είναι **περισσότερο** βαρύ, **λιγότερο** βαρύ ή **το ίδιο** βαρύ με το αρχικό κομμάτι; 

.....

Αν είναι περισσότερο ή λιγότερο βαρύ, γιατί;

.....  
.....

Αν είναι το ίδιο βαρύ, πόση πλαστελίνη θα πρέπει να προσθέσουμε στην αρχική για να είναι περισσότερο βαρύ;

.....  
.....  
.....

9. Άλλαξε η ποσότητα της πλαστελίνης όταν προσθέσαμε το κομματάκι;

**ναι**  **όχι**

Αν ναι, γιατί; .....

.....  
.....

Αν όχι, πόση πλαστελίνη θα πρέπει να προσθέσουμε στην αρχική για να αλλάξει η ποσότητά της; .....

.....  
.....

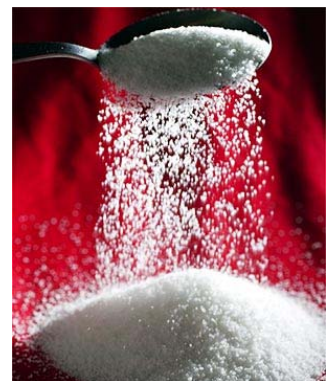
10. Ένα μεγάλο σακούλι ζάχαρης είναι βαρύ. Περιέχει πάρα πολλούς κόκκους ζάχαρης.

Ένας σωρός από 10 κόκκους ζάχαρης έχει βάρος;

.....  
.....

Γιατί; Πώς το ξέρεις; .....

.....  
.....



11. Ένας κόκκος ζάχαρης έχει βάρος;

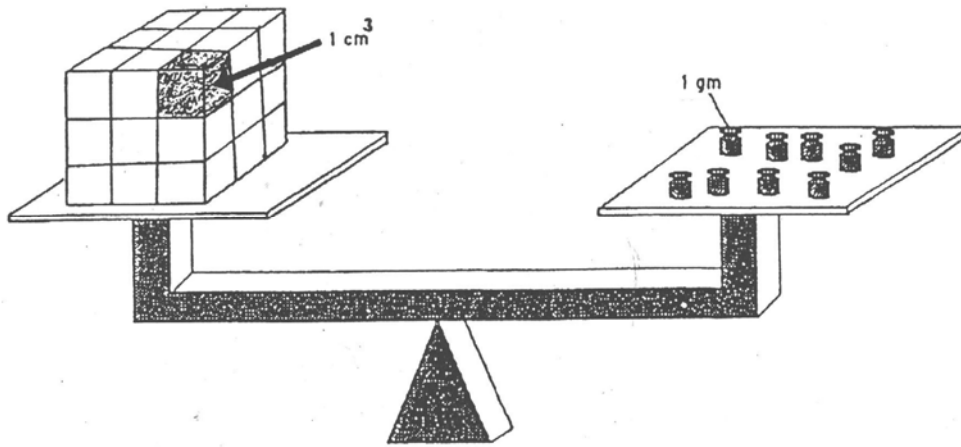
.....

Γιατί; Πώς το ξέρεις; .....

.....  
.....



Εδώ βλέπεις ένα αντικείμενο πάνω στον έναν δίσκο της ζυγαριάς και μερικά σταθμά (η μάζα του καθενός είναι 1 gr) στον άλλο δίσκο της ζυγαριάς.



12. Ποιος είναι ο **όγκος** του αντικειμένου;

.....  
Γιατί; Πώς το υπολόγισες; .....

.....

.....

.....

13. Ποια είναι η **μάζα** του αντικειμένου;

.....  
Γιατί; Πώς το υπολόγισες; .....

.....

.....

.....

## Β) Ύλη και Υλικά

14. Ποια από τα παρακάτω αντικείμενα είναι **ύλη** και ποια **όχι**;

**πέτρα, σκύλος, θερμότητα, αέρας, χαρά, σκόνη από κιμωλία,  
επιθυμία, νερό, ηλεκτρισμός, καπνός, ιδέα, σκουριά**

<b>Ύλη</b>	<b>Όχι ύλη</b>

15. Φαντάσου ότι έχεις ειδικά όργανα με τα οποία μπορείς να δεις μέσα στα υλικά.

Τι θα έβλεπες μέσα στην **πέτρα**; Μέσα στο **νερό**; Μέσα στον **αέρα**;

Μπορείς να τα ζωγραφίσεις;

<b>Μέσα στην πέτρα</b>	<b>Μέσα στο νερό</b>	<b>Μέσα στον αέρα</b>

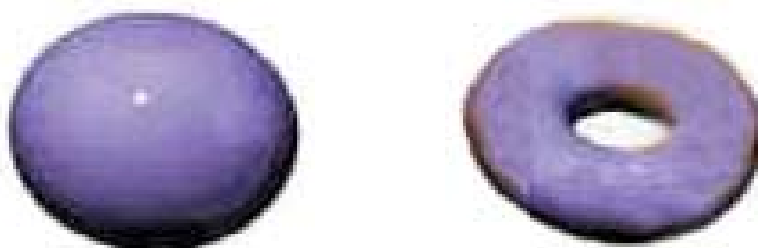
16. Ποιες είναι οι ιδιότητες της ύλης; Πώς μπορούμε να καταλάβουμε αν κάτι είναι φτιαγμένο από ύλη;

.....  
.....  
.....  
.....

17. Εδώ βλέπεις ένα κομμάτι πλαστελίνης σε σχήμα σφαίρας. Αν το ίδιο κομμάτι το πλάσουμε σε σχήμα κουλουριού, τότε θα έχει **περισσότερη**, **λιγότερη** ή την **ίδια** ύλη;

περισσότερη ύλη  λιγότερη ύλη  την ίδια ύλη

Γιατί; .....  
.....  
.....



18. Μέσα σε ένα ποτήρι νερό ρίχνουμε μια κουταλιά ζάχαρη και ανακατεύουμε καλά. Μετά από λίγο δεν βλέπουμε πια τη ζάχαρη. Τι συμβαίνει στη ζάχαρη;

.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....



## Έργο για τον Καθορισμό των Επιστημικών Πεποιθήσεων

Ο φίλος μας ο Γιάννης έχει μερικές απορίες. Διάβασε για την επιστήμη και τους επιστήμονες και θέλει τη βοήθειά μας για να τα καταλάβει και να ακούσει τις δικές σου απόψεις για αυτά.

### 1. ΓΕΝΙΚΑ

1.1. Τι νομίζεις ότι κάνουν οι επιστήμονες; Πώς νομίζεις ότι πετυχαίνουν τους στόχους τους;

.....  
.....  
.....  
.....

1.2. Κάνουν **ερωτήσεις** οι επιστήμονες; Μπορείς να σκεφθείς μια ερώτηση που θα μπορούσε να κάνει ένας επιστήμονας;

.....  
.....  
.....  
.....

1.3. Τι θα μπορούσαν να κάνουν οι επιστήμονες για να βρουν απαντήσεις στις ερωτήσεις τους;

.....  
.....  
.....  
.....

### 2. ΙΔΕΕΣ / ΘΕΩΡΙΕΣ

2.1 Έχουν οι επιστήμονες **ιδέες / θεωρίες** για τα πράγματα γύρω μας;

.....  
.....  
.....  
.....

2.2. Αν σου ζητούσε κάποιος να εξηγήσεις τι σημαίνει «**θεωρία**», τι θα του έλεγες;

.....  
.....  
.....  
.....

2.3. Πιστεύεις ότι οι ιδέες που έχει ένας επιστήμονας επηρεάζουν τον τρόπο που προσπαθεί να βρει απαντήσεις στις ερωτήσεις του; Αν ναι, πώς;

.....  
.....  
.....  
.....

### 3. ΥΠΟΘΕΣΕΙΣ

3.1. Πολλές φορές κάνουμε **υποθέσεις** για διάφορα φαινόμενα, ότι δηλαδή είναι έτσι ή αλλιώς... Εσύ τι πιστεύεις ότι είναι μια υπόθεση που κάνουν οι επιστήμονες; Μπορείς να δώσεις ένα παράδειγμα;

.....  
.....  
.....  
.....

3.2. Πιστεύεις ότι η υπόθεση ενός επιστήμονα επηρεάζει τα πειράματα που κάνει;

.....  
.....  
.....  
.....

### 4. ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ

4.1. Ξέρεις τι είναι ένα **πείραμα**;

.....  
.....  
.....  
.....

4.2. Κάνουν πειράματα οι επιστήμονες; Γιατί;

.....  
.....  
.....  
.....

4.3. Πώς αποφασίζουν οι επιστήμονες ποιο πείραμα θα κάνουν;

.....  
.....  
.....

### 5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ / ΑΛΛΑΓΗ ΘΕΩΡΙΑΣ

5.1. Τι θα συμβεί αν ένας επιστήμονας κάνει ένα πείραμα και τα αποτελέσματά του δεν είναι όπως τα περίμενε;

.....  
.....  
.....  
.....



5.2. Φαντάσου ότι δυο επιστήμονες πιστεύουν διαφορετικά πράγματα για κάτι στον κόσμο. Πώς μπορούμε να αποφασίσουμε ποιος επιστήμονας έχει δίκιο;

.....  
.....  
.....

5.3. Μπορεί να κάνει λάθος ένας επιστήμονας;

.....  
.....  
.....

5.4. Πιστεύεις ότι μπορούν οι επιστήμονες να αλλάξουν τις ιδέες τους ή και ολόκληρη τη θεωρία τους; Πότε θα μπορούσε να συμβεί αυτό;

.....  
.....  
.....  
.....

## 6. ΜΟΝΤΕΛΑ

6.1. Πολλές φορές οι επιστήμονες χρησιμοποιούν μοντέλα για να εξηγήσουν κάποια φαινόμενα. Εσύ τι νομίζεις ότι είναι τα «επιστημονικά μοντέλα»; Μπορείς να δώσεις ένα παράδειγμα;

.....  
.....  
.....  
.....

6.2. Πιστεύεις ότι οι επιστήμονες μπορούν να πάντων να χρησιμοποιούν ένα «επιστημονικό μοντέλο» γιατί δεν το θεωρούν πια σωστό; Αν ναι, πότε μπορεί να συμβεί αυτό;

.....  
.....  
.....  
.....

## Έργο Κατηγοριοποίησης

Βλέπεις εδώ μερικές καρτέλες με διάφορα αντικείμενα:

πάγος

βροχή

σύννεφο

νερό

χαλάζι

υδρατμός

ομίχλη

χιόνι

5) α) Θέλω να βάλεις μαζί αυτά τα πράγματα που ανήκουν στην ίδια κατηγορία, στην ίδια ομάδα. Θέλω να βάλεις μαζί αυτά που πάνε μαζί.

.....  
.....  
.....

β) Γιατί έβαλες τα πράγματα αυτά μαζί;

.....  
.....  
.....

6) α) Υπάρχει άλλος τρόπος που μπορείς να τα βάλεις μαζί;

.....  
.....

β) Γιατί τα έβαλες αυτά μαζί;

.....  
.....

7) α) Μπορείς να χωρίσεις τα παραπάνω αντικείμενα σε Στερεά, Υγρά και Αέρια;  
(Αν έχεις ήδη χωρίσει τα αντικείμενα σε Στερεά, Υγρά, Αέρια πήγαινε στην ερώτηση 4)

.....  
.....  
.....

β) Γιατί τα έβαλες αυτά μαζί;

.....  
.....  
.....

8) Θα μπορούσαν να μπουν όλα τα αντικείμενα σε μία κατηγορία; Γιατί; Γιατί όχι;

.....  
.....  
.....

## Έργο Ερμηνείας Φυσικών Φαινομένων

### A) Τήξη Πάγου



1) Εδώ βλέπεις ένα παγάκι που λιώνει. Πώς γίνεται αυτό;

.....  
.....  
.....

2) Τι παθαίνει ο πάγος; Γιατί λιγοστεύει;

.....  
.....  
.....

3) Από τι αποτελείται ο πάγος;

.....  
.....  
.....

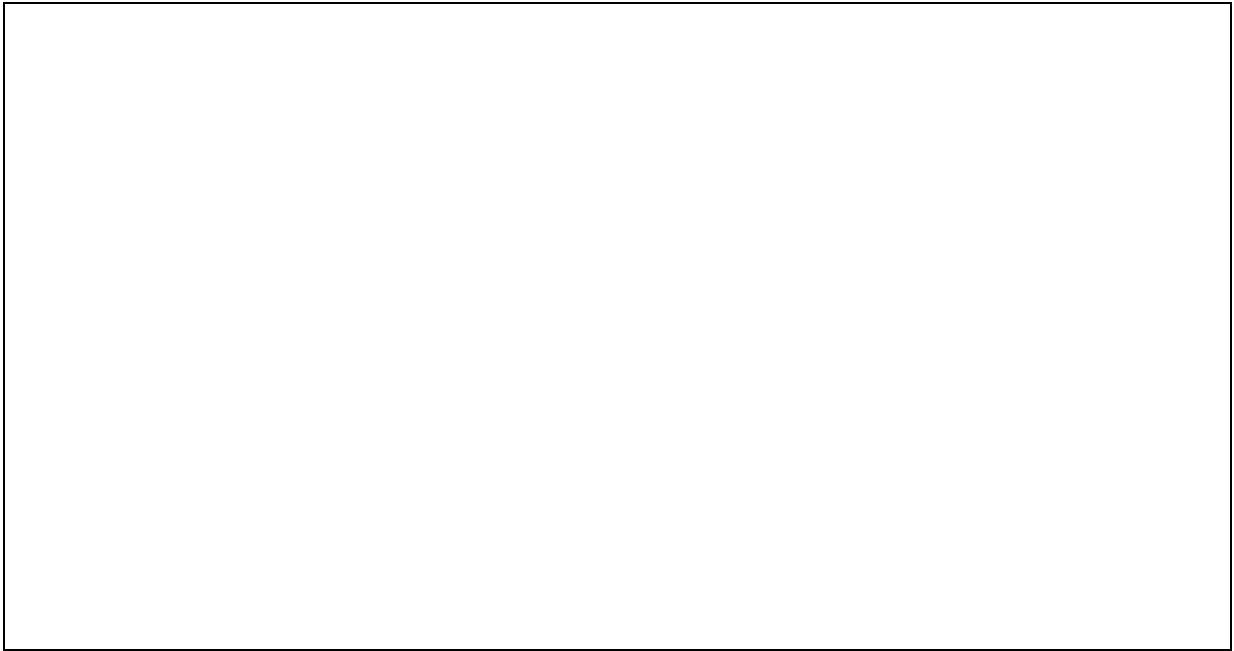
4) Από τι αποτελείται το νερό;

.....  
.....  
.....

5) Το νερό είναι το ίδιο πράγμα με τον πάγο; Έχουν τίποτα κοινό;

.....  
.....  
.....  
.....

6) Σχεδίασε πώς νομίζεις ότι είναι μέσα το παγάκι.



7) Σχεδίασε πώς νομίζεις ότι είναι μέσα το νερό.



## B) Βρασμός Νερού



1) Εδώ βλέπεις το νερό που βράζει μέσα στο δοχείο. Πώς γίνεται αυτό; Τι συμβαίνει;

.....  
.....  
.....

2) Πού πάει το νερό; Γιατί ελαττώνεται;

.....  
.....  
.....

3) Αυτό που βγαίνει πάνω από το νερό τι είναι;

.....  
.....

4) Από τι αποτελείται το νερό;

.....  
.....  
.....

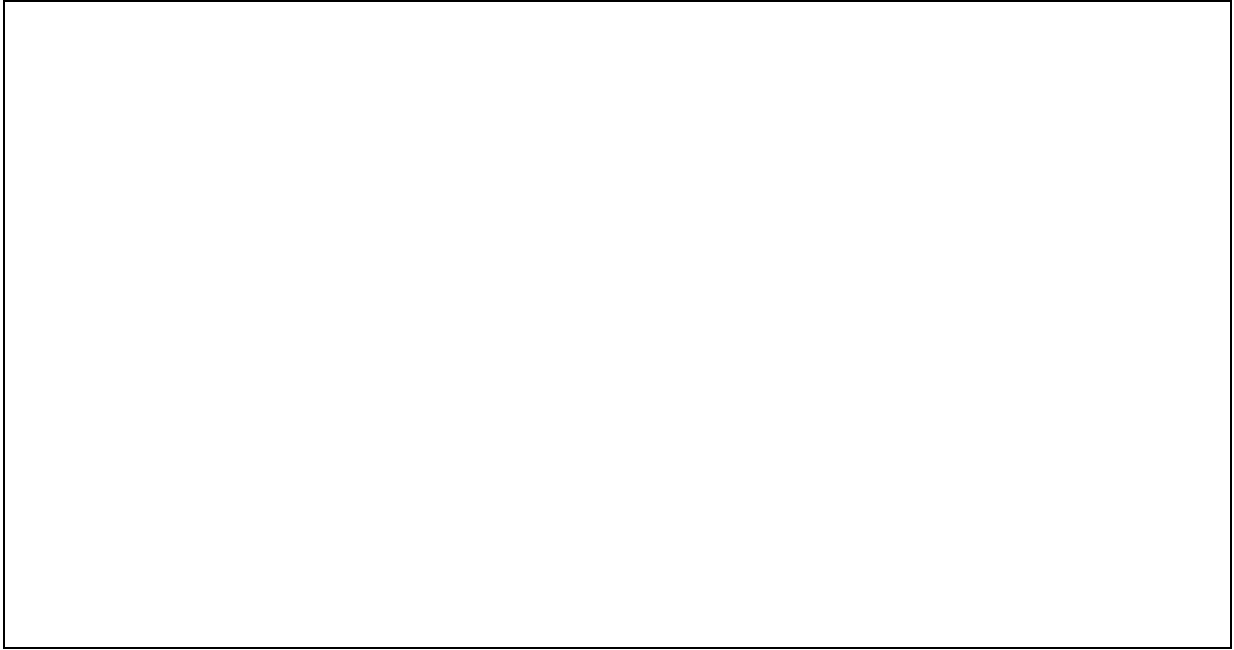
5) Από τι αποτελείται αυτό που βγαίνει πάνω από το νερό (ο υδρατμός);

.....  
.....  
.....

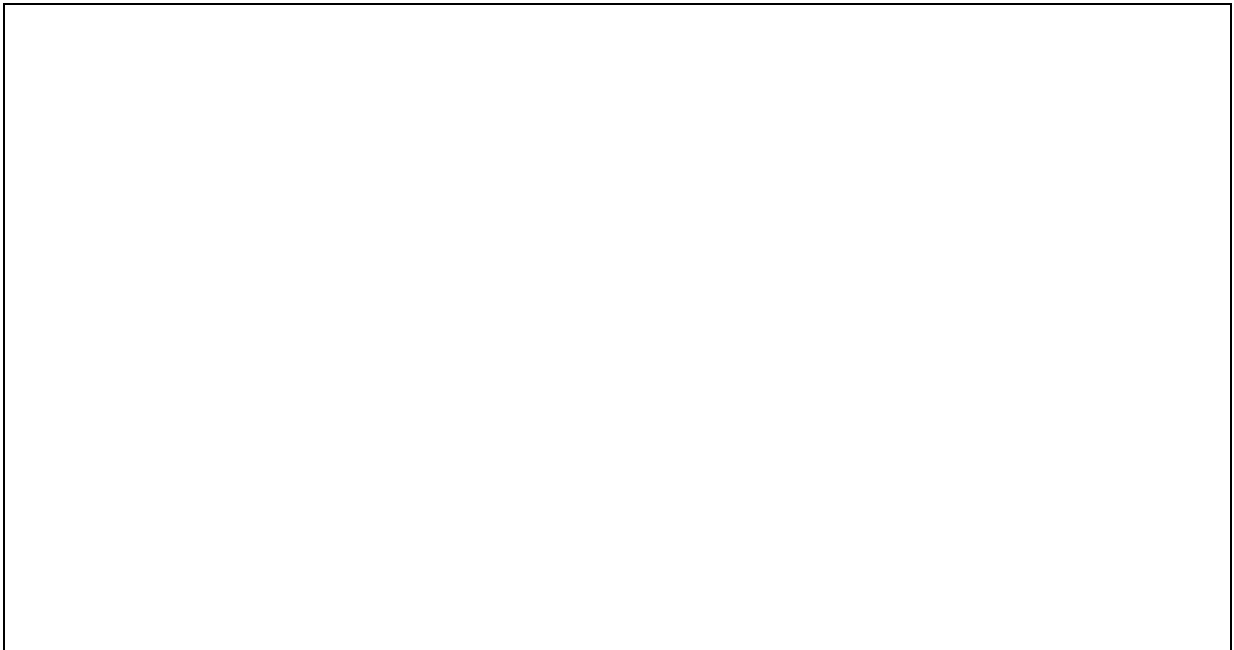
6) Το νερό αυτό είναι το ίδιο πράγμα με τον υδρατμό; Έχουν τίποτα κοινό;

.....  
.....  
.....

7) Σχεδιάσε το νερό, πώς νομίζεις ότι είναι μέσα.



8) Σχεδιάσε τον υδρατμό, πώς νομίζεις ότι είναι μέσα.



**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ**  
**ΦΥΛΛΑ ΕΡΓΑΣΙΑΣ**

## 1) Ύλη και Ιδιότητες της Ύλης



Παντού γύρω μας υπάρχουν υλικά σώματα με διαφορετικά μεγέθη, σχήματα και χρώματα. Κάποια από αυτά τα αντιλαμβανόμαστε εύκολα, ενώ κάποια άλλα πιο δύσκολα. Για να μπορέσουμε να μελετήσουμε την ύλη βασιζόμαστε στις χαρακτηριστικές της ιδιότητες. Ο άνθρωπος εδώ και χιλιάδες χρόνια προσπάθησε να κατανοήσει αυτές τις ιδιότητες της ύλης και να τις αξιοποιήσει. Τι είναι όμως ύλη;



Γράψε μια πρόταση που να περιλαμβάνει τη λέξη «ύλη».

.....

.....

.....

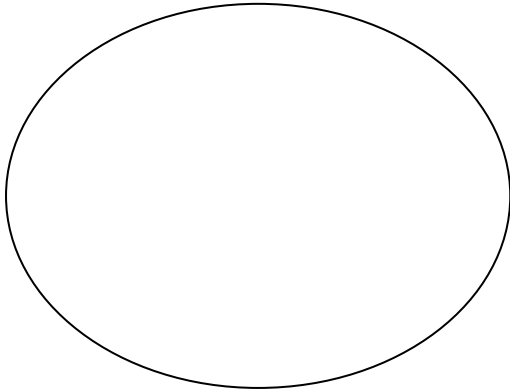
.....

.....

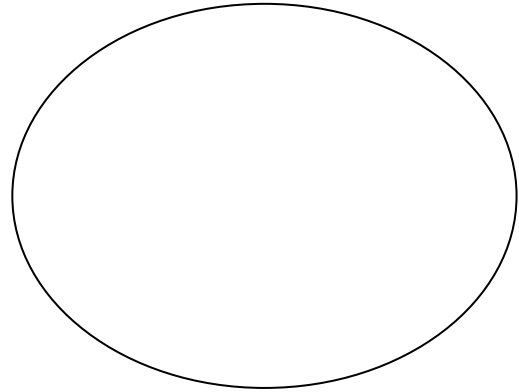


Γράψτε μερικά σώματα που νομίζετε ότι είναι ύλη και μερικά που δεν είναι.

**είναι ύλη**



**δεν είναι ύλη**



Ποιες νομίζετε ότι είναι οι ιδιότητες της ύλης; Πώς μπορούμε να καταλάβουμε αν κάτι είναι φτιαγμένο από ύλη;

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Μπορείτε να σκεφτείτε κάτι που να είναι ύλη, αλλά να μην μπορούμε να το δούμε ή να το ακουμπήσουμε;

.....

.....

.....

.....

Μπορείτε να σκεφτείτε κάτι που να είναι ύλη, αλλά να μην καταλαμβάνει χώρο;

.....

.....

.....

.....

Μπορείτε να σκεφτείτε κάτι που να είναι ύλη, αλλά να μην έχει βάρος;

.....

.....

.....

.....

Ο αέρας είναι ύλη;

.....

.....

.....

.....

Η θερμότητα είναι ύλη;

.....

.....

.....

.....

Ο καπνός είναι ύλη;

.....

.....

.....

.....

## 2) Δομή της Ύλης (Σωματίδια, Ιδιότητες, Αλληλεπιδράσεις)



Παντού γύρω μας υπάρχει ύλη.  
Όλα τα σώματα, στερεά, υγρά ή αέρια,  
μικρά ή μεγάλα είναι φτιαγμένα από ύλη,  
όπως κι εμείς οι ίδιοι.

Η ύλη μπορεί να είναι **σκληρή** σαν ασφάλι,  
**μαλακή** σαν πλαστελίνη, **αόρατη** όπως ο αέρας,  
**όμορφη** όσο ένα λουλούδι. Ο κόσμος που μας  
περιβάλλει αποτελείται από **υλικά σώματα**.



Παρατηρώντας τα διάφορα σώματα του φυσικού μας κόσμου εύκολα αντιλαμβανόμαστε ότι διαφέρουν μεταξύ τους.

Διαφέρουν, για παράδειγμα, στο **μέγεθος**,  
στο **βάρος**, στο **σχήμα**, στη **σκληρότητα**  
και στην **ελαστικότητα**, ...

Διαφέρουν στη **γεύση**, στο **χρώμα**,  
στην **οσμή**, ...



Διαφέρουν, ακόμη, στο ότι άλλα σώματα  
είναι **στερεά** (με σταθερό σχήμα), άλλα  
είναι **υγρά** (παίρνουν το σχήμα του δοχείου  
στο οποίο βρίσκονται) και άλλα είναι **αέρια**  
(αν τα αφήσεις ελεύθερα διασκορπίζονται).

Διαφέρουν δηλαδή στις ιδιότητες που έχουν  
αλλά και στη φυσική κατάσταση που  
βρίσκονται.

Μήπως όμως, εκτός από διαφορές, τα σώματα έχουν και ομοιότητες; Και πώς γίνεται να έχουν κάτι κοινό όταν φαίνονται τόσο διαφορετικά;

Μήπως αυτό το κοινό είναι τόσο μικρό που δεν μπορούμε να το δούμε με τα μάτια μας; Και τότε πώς μπορούμε να το διαπιστώσουμε;

Να ένα ενδιαφέρον πρόβλημα !

Μήπως τελικά τα πράγματα δεν είναι πάντοτε όπως φαίνονται;

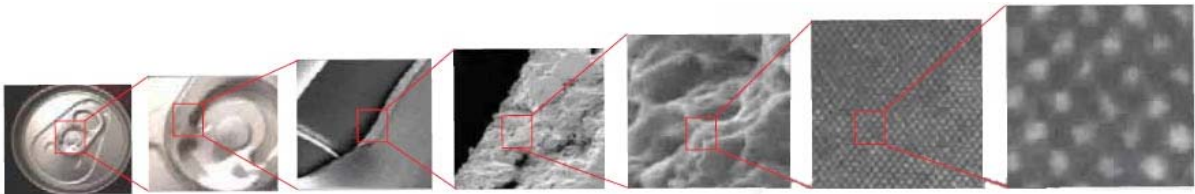


Παρατηρήστε τη διπλανή εικόνα με το σμήνος των πουλιών.  
 Παρατηρήστε ότι στο κέντρο του σμήνους τα πουλιά φαίνεται να ακουμπάνε και να είναι όλα μαζί ένα σώμα (συμπαγές).  
 Πού πιστεύετε ότι οφείλεται αυτό;

Από τι αποτελείται το σμήνος;

.....  
 .....  
 .....

Στις παρακάτω εικόνες μπορούμε να δούμε σε διαδοχικές μεγεθύνσεις ένα κουτάκι αλουμινίου. Τι παρατηρείτε; Εξακολουθεί να φαίνεται "λεία" η επιφάνεια του μετάλλου στο μικροσκόπιο;



.....  
 .....



Στη διπλανή εικόνα εμφανίζεται ένα κομμάτι πάγου. Πιστεύετε ότι ο πάγος είναι συμπαγής ή ότι αποτελείται από κάτι; Τι νομίζετε ότι θα βλέπατε αν μπορούσατε να δείτε μέσα του; .....

.....  
 .....

**Λογισμικό «Δομή Ύλης»**

Υπάρχει κάποιος τρόπος να αντιληφθούμε τα μόρια των σωμάτων, αφού δεν τα βλέπουμε;

.....  
 .....

Αν αφήσουμε μερικές σταγόνες από οινόπνευμα ή άρωμα πάνω σε μια επιφάνεια μετά από λίγο δεν τις βλέπουμε αλλά μπορούμε να τις αντιληφθούμε με την όσφρησή μας. Πώς μπορεί να εξηγηθεί αυτό;

.....  
 .....  
 .....

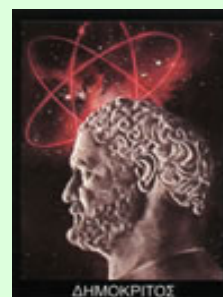


**Λογισμικό «Σωματίδια»**

Ποια είναι τα σωματίδια που σύμφωνα με το μοντέλο του μικροκόσμου αποτελούν τα σώματα του μακροκόσμου;

.....  
 .....  
 .....

Αν χωρίσουμε μία σταγόνα νερό στα δύο θα πάρουμε δύο σταγόνες νερού. Αν την καθεμιά την ξαναχωρίσουμε στα δύο, θα πάρουμε τέσσερα σταγονίδια. Φαίνεται πως ο φιλόσοφος Δημόκριτος ο Αβδηρίτης τον 5<sup>ο</sup> αιώνα π.Χ ήταν ο πρώτος που έθεσε το ερώτημα: μέχρι πότε μπορούμε να συνεχίσουμε αυτή τη διαδικασία, δηλαδή μέχρι πότε κόβοντας ένα υλικό στα δύο παίρνουμε δύο κομμάτια από το ίδιο υλικό;



Ο Δημόκριτος, χωρίς να έχει στη διάθεσή του κανένα από τα σύγχρονα όργανα, υποστήριξε ότι αν τεμαχίσουμε την ύλη σε ολοένα και μικρότερα κομμάτια θα φτάσουμε κάποτε σε ένα αδιαίρετο σωματίδιο. Ονόμασε αυτό το σωματίδιο **άτομο**, από το στερητικό «α» και τη λέξη «τέμνω» που σημαίνει κόβω, διαιρώ.

Ο Δημόκριτος παρουσίαζε τη θεωρία αυτή στους μαθητές του αναφέροντας ως παράδειγμα την άμμο: «Βλέπετε εκείνη την αμμουδιά; Από μακριά δίνει την εντύπωση απλωμένου σεντονιού, στερεού και συμπαγούς. Αν πάμε όμως κοντά, θα δούμε πως η παραλία αποτελείται από άπειρους μικρούς κόκκους άμμου. Ακριβώς, λοιπόν, όπως η παραλία είναι φτιαγμένη από ξεχωριστούς κόκκους άμμου, έτσι και όλα όσα υπάρχουν γύρω μας, τα έχει χτίσει η φύση με μικρά, αόρατα σωματίδια, τα άτομα...»

Πολλοί αμφισβήτησαν τη θεωρία του Δημόκριτου, σήμερα όμως, δυόμισι χιλιάδες χρόνια αργότερα, ξέρουμε πως ο Δημόκριτος είχε βασικά δίκιο, η δομή της ύλης είναι όντως ασυνεχής, μόνο που είναι πιο πολύπλοκη από αυτή που εκείνος μπορούσε τότε να φανταστεί.

Στα χρόνια που ακολούθησαν οι εξελίξεις στην φυσική ήταν δραματικές και πολλοί επιστήμονες και ερευνητές, αξιοποιώντας σύγχρονα όργανα και πολύπλοκες πειραματικές διατάξεις κατάφεραν να επιβεβαιώσουν την άποψη του Δημόκριτου ότι η ύλη αποτελείται από μικροσκοπικά σωματίδια, τόσο μικρά που δισεκατομμύρια από αυτά χωρούν στο κεφάλι μιας καρφίτσας. Αν τεμαχίσουμε ένα υλικό σώμα στα πιο μικρά κομμάτια του, τα οποία όμως διατηρούν τις ιδιότητές του, φτάνουμε στα **μόριά** του.

Αν μικραίναμε ένα δισεκατομμύριο περίπου φορές και παρατηρούσαμε προσεκτικά, θα ανακαλύπταμε ότι και τα μόρια αποτελούνται από μικρότερα σωματίδια ύλης, τα οποία ονομάζουμε **άτομα**. Αλλά και τα άτομα αποτελούνται από ακόμη μικρότερα σωματίδια τα **πρωτόνια** και τα **νετρόνια**, που αποτελούν τον πυρήνα του ατόμου, και τα **ηλεκτρόνια**, που κινούνται γύρω από τον πυρήνα.

Με την συνεχή βελτίωση των επιταχυντών και καινούρια πειράματα οι επιστήμονες άντλησαν νέες πληροφορίες για την δομή της ύλης και έτσι αποδείχτηκε ότι τα πρωτόνια και τα νετρόνια δεν αποτελούν στοιχειώδη σωματίδια, όπως πίστευαν μέχρι το 1932, αλλά και αυτά μπορούν να διασπαστούν περαιτέρω σε ακόμη μικρότερα σωματίδια, τα **κουάρκ**.

Σήμερα θεωρούμε τα ηλεκτρόνια και τα κουάρκ θεμελιώδη ή αλλιώς στοιχειώδη σωματίδια από τα οποία αποτελείται η ύλη σε όλες τις μορφές της.

**Από την Ιστορία των Φυσικών Επιστημών**

- Διαβάστε προσεκτικά το παραπάνω κείμενο και υπογραμμίστε τα σημεία που αναφέρουν με ποιον τρόπο συμπληρώθηκε η γνώση μας για τη δομή της ύλης με την πάροδο των χρόνων. Τι νομίζετε ότι κάνουν οι επιστήμονες για να βρουν απαντήσεις στις ερωτήσεις τους;
- Σχολιάστε την τελευταία φράση «Σήμερα θεωρούμε ...». Θα μπορούσε κάποια στιγμή να αλλάξει αυτό που πιστεύουμε σήμερα; Με ποιον τρόπο; Μπορούν οι επιστήμονες να αλλάξουν τη θεωρία τους;

### 3) Ιδιότητες της Ύλης – Όγκος



Παρατηρήστε τα δοχεία. Ποιο νομίζετε ότι περιέχει περισσότερη ποσότητα υγρού;  
Πώς μπορούμε να το διαπιστώσουμε;  
Μπορούμε να βασιστούμε μόνο στις αισθήσεις μας;

Μια χαρακτηριστική ιδιότητα των σωμάτων είναι ο **όγκος** τους, ο χώρος δηλαδή που καταλαμβάνουν.

Έχουμε συγκεντρώσει διάφορα υλικά. Πώς μπορούμε να μετρήσουμε τον όγκο τους;

Ρίξτε νερό σε ένα ποτήρι και σημειώστε τη στάθμη του.

Στη συνέχεια ρίξτε μέσα στο ποτήρι μια γόμα.

Τι παρατηρείτε; Άλλαξε η στάθμη του νερού;

Γιατί συνέβη αυτό;

Τι προκάλεσε αυτή την αλλαγή;

*Μήπως τώρα μπορείτε να προτείνετε έναν τρόπο για να υπολογίσουμε τον όγκο των σωμάτων;*



Πραγματοποίησε με την ομάδα σου το παρακάτω **πείραμα**:

#### **Όργανα – υλικά**

Ογκομετρικό δοχείο

Πλαστελίνη

Βόλος

Μπαλάκι ring ring



Γεμίστε ως την μέση με νερό το ογκομετρικό δοχείο. Σημειώστε στον παρακάτω πίνακα τον όγκο του νερού. Τοποθετήστε μέσα στο δοχείο την πλαστελίνη. Ποιος είναι ο όγκος του νερού; Υπολογίστε τον όγκο του βυθισμένου σώματος και σημειώστε το στον πίνακα. Μην ξεχάσετε να σημειώσετε και τη μονάδα μέτρησης. Επαναλάβετε το πείραμα και για τα υπόλοιπα σώματα.





ΣΩΜΑ	ΟΓΚΟΣ ΝΕΡΟΥ ΠΡΙΝ	ΟΓΚΟΣ ΝΕΡΟΥ ΜΕΤΑ	ΔΙΑΦΟΡΑ
πλαστελίνη			
βόλος			
μπαλάκι ring ring			

Συμπληρώστε το **συμπέρασμα** με τη βοήθεια των λέξεων που σας δίνονται.

.....  
 .....  
 .....

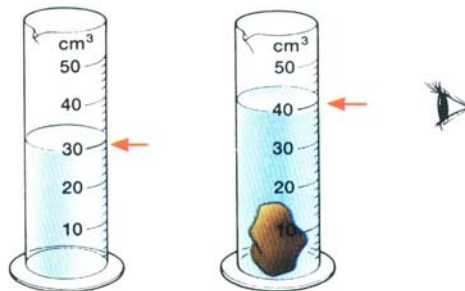
**όγκος, ιδιότητα, ογκομετρικό δοχείο**

Μονάδα μέτρησης του όγκου είναι: .....

Μπορείτε να σκεφτείτε έναν τρόπο για να υπολογίσουμε τον όγκο μιας σταγόνας νερού;

.....  
 .....  
 .....

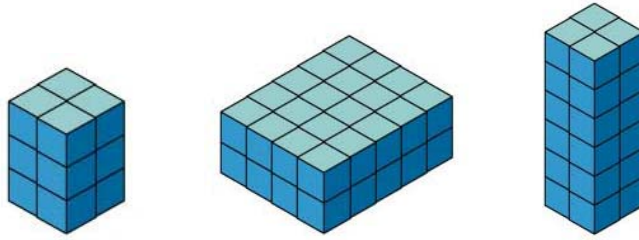
Είδαμε ότι για να προσδιορίσουμε τον όγκο ενός υγρού ή ενός στερεού με ακανόνιστο σχήμα, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε ένα ογκομετρικό δοχείο. Ο όγκος του σώματος υπολογίζεται από τη διαφορά μεταξύ των ενδείξεων της τελικής από την αρχική στάθμη του υγρού μέσα στο ογκομετρικό δοχείο.



Μπορείτε να σκεφτείτε άλλους τρόπους για να υπολογίσουμε τον όγκο ενός σώματος;

.....  
 .....  
 .....

Ποιο από τα παρακάτω σχήματα νομίζετε ότι έχει μεγαλύτερο όγκο; Γιατί;



.....

.....

.....

.....

Σας δίνονται τρία κομμάτια από φελιζόλ. Ποιο από αυτά νομίζετε ότι έχει μεγαλύτερο όγκο;



Ελέγξτε τις απαντήσεις σας υπολογίζοντας τον όγκο των κομματιών του φελιζόλ με τη βοήθεια των μικρών χρωματιστών κύβων. Ο όγκος κάθε μικρού κύβου είναι 1 κυβικό εκατοστό.

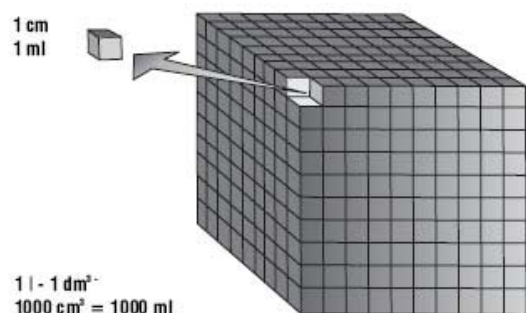


**Σχολιάστε:** Μπορούμε να στηριζόμαστε μόνο στις αισθήσεις μας για να υπολογίζουμε τις διαστάσεις των σωμάτων και να τα συγκρίνουμε;

*Ας δούμε κάτι ακόμα!*

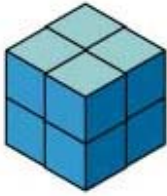
Μονάδα μέτρησης του όγκου είναι το 1 κυβικό μέτρο ( $1\text{m}^3$ ), ο όγκος ενός κύβου με ακμή 1m. Υποδιαίρεση του κυβικού μέτρου είναι το κυβικό εκατοστό ( $1\text{cm}^3$  ή 1ml). Μια ακόμη συνηθισμένη μονάδα μέτρησης είναι το λίτρο (l). Ένα λίτρο αντιστοιχεί σε  $1000\text{cm}^3$ .

Για να υπολογίσουμε τον όγκο ενός σώματος, πρέπει να διαπιστώσουμε πόσες φορές χωρά το κυβικό μέτρο ή το κυβικό εκατοστό σε αυτό.

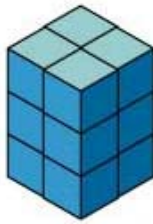




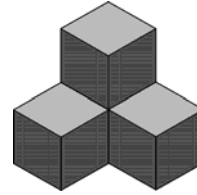
Προσπαθήστε, τώρα, να υπολογίσετε πόσοι μικροί κύβοι χρειάστηκαν για να φτιαχτεί καθένα από τα παρακάτω σχήματα. Αν ο κάθε μικρός κύβος είναι  $1 \text{ cm}^3$ , ποιος είναι ο όγκος του κάθε σχήματος;



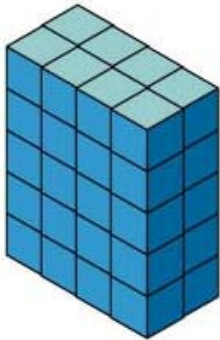
Όγκος: .....



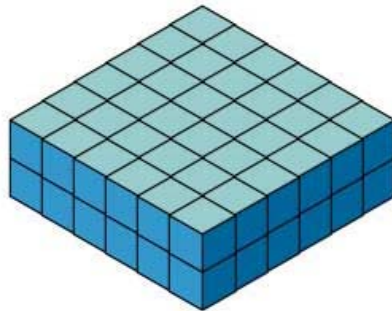
Όγκος: .....



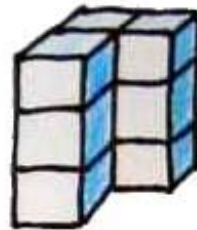
Όγκος: .....



Όγκος: .....



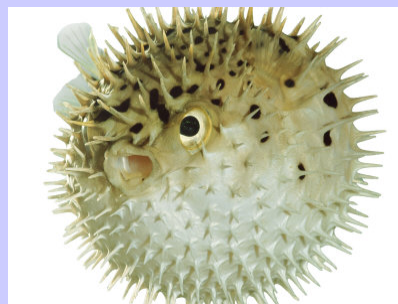
Όγκος: .....



Όγκος: .....

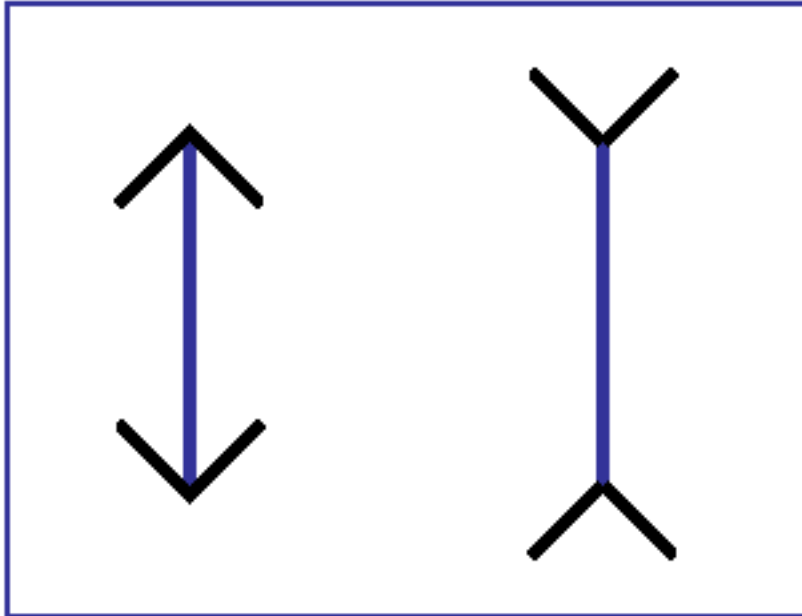
**Ήξερες ότι ...**

**... το ψάρι «φούσκα» ή «σκατζόχοιρος» αυξάνει τον όγκο του όταν αισθανθεί ότι απειλείται;**

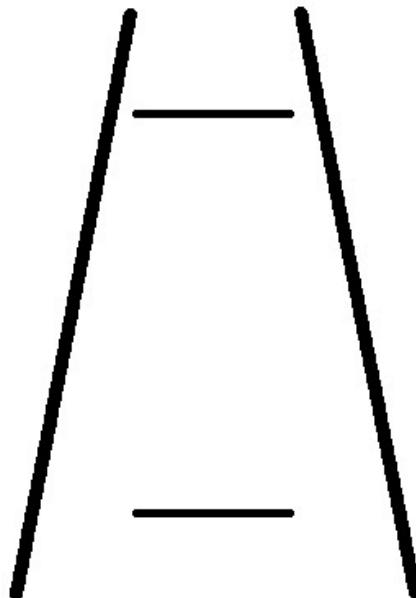


*Ας δούμε κάτι ακόμα!*

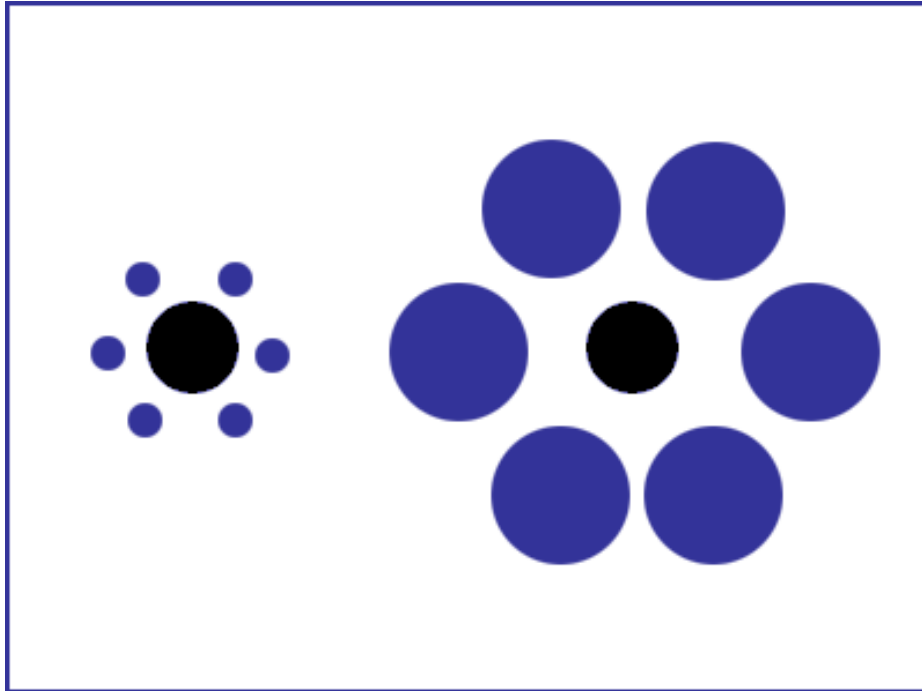
Ποια από τις μπλε γραμμές είναι μεγαλύτερη;



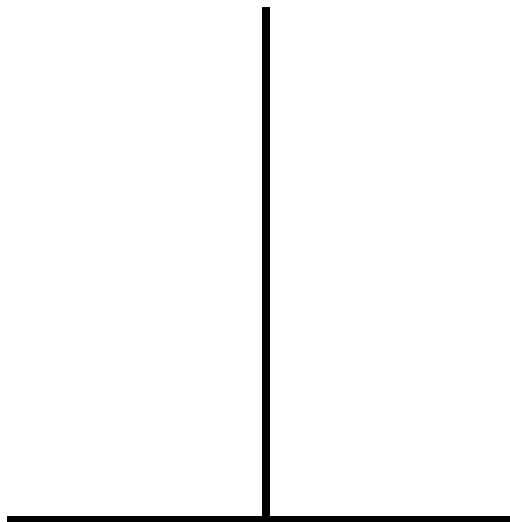
Είναι ίσες οι δύο οριζόντιες γραμμές;



Ποιος από τους μαύρους κύκλους είναι μεγαλύτερος;



Ποια από τις δύο ευθείες είναι μεγαλύτερη;



Προς ποια μεριά κοιτάζει το κάθε πρόσωπο;



Παρατήρησε τις παρακάτω εικόνες. Τι βλέπεις;

- ένα πρόσωπο ή έναν μουσικό;



- μια μαύρη φώκια ή μια πολική αρκούδα;

#### 4) Ιδιότητες της Ύλης – Μάζα



Οι κορίνες πέφτουν όταν τις χτυπάει η μπάλα του μπόουλινγκ.

Νομίζετε ότι θα συμβεί το ίδιο αν χρησιμοποιήσουμε μια πλαστική μπάλα θαλάσσης;

Γιατί;



Δοκιμάστε πετώντας μεταξύ σας (με την ίδια δύναμη) τα διάφορα μπαλάκια (μπαλάκι τένις, μπαλάκι από φελιζόλ, μπαλάκι λαστιχένιο, μπαλάκι πιγκ πονγκ, μπαλάκι από πλαστελίνη, μικρό μπαλάκι από φελιζόλ) ποιο αισθάνεστε πιο έντονα.

Γιατί;



Μια χαρακτηριστική ιδιότητα των σωμάτων είναι η **μάζα** τους, το ποσό της ύλης δηλαδή από την οποία αποτελούνται.

Διαπιστώνουμε ότι όσο πιο δύσκολα μπορεί να κινηθεί ή να σταματήσει κάποιο σώμα τόσο μεγαλύτερη είναι η μάζα του. Για παράδειγμα, πιο δύσκολα μπορεί να σταματήσει ένα φορτηγό αυτοκίνητο, απ' ό,τι ένα μικρό αυτοκίνητο τα οποία κινούνται με την ίδια ταχύτητα, γιατί το φορτηγό έχει μεγαλύτερη μάζα.



Παρακολουθήστε το βίντεο για τη μάζα και σχολιάστε το.

[Βίντεο «Μάζα»](#)



Χρησιμοποιήστε την εικονιζόμενη διάταξη και τις τρεις μπάλες (από ξύλο, από φελιζόλ, από συνθετική ρητίνη) για να το παρακάτω πείραμα.



Τοποθετήστε τη μία μπάλα στο πάνω μέρος της διάταξης και αφήστε τη να κυλήσει. Παρατηρήστε τι προκαλεί στο έμβολο και σημειώστε τη μετατόπισή του. Επαναλάβετε με τις άλλες μπάλες και συγκρίνετε τα αποτελέσματα.

Ποια από τις μπάλες έχει μεγαλύτερη μάζα; .....

Πώς αλλιώς μπορούμε να μετρήσουμε τη μάζα ενός σώματος;

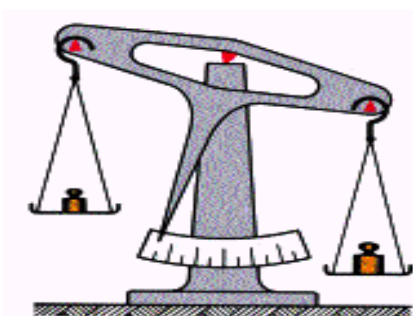
Συνήθως, για να μετρήσουμε τη μάζα ενός σώματος χρησιμοποιούμε το ζυγό σύγκρισης και σταθμά συγκεκριμένης μάζας.



Στο θρανίο σας υπάρχουν διάφορα υλικά (μολύβι, γόμα, ξύστρα, ψαλίδι, ...). Χρησιμοποιώντας το ζυγό σύγκρισης και τα σταθμά προσπαθήστε να βρείτε τη μάζα τους.

.....  
 .....  
 .....

Πώς μπορούμε να συγκρίνουμε τη μάζα των υλικών; Αρκούν οι αισθήσεις μας;



Όργανα - υλικά: ζυγός σύγκρισης, σταθμά, διάφορα υλικά (πχ. πλαστελίνη, κέρμα, βόλος, μολύβι, ξύστρα)

Τοποθετήστε διάφορα από τα υλικά στο ζυγό σύγκρισης, έτσι ώστε αυτός να ισορροπεί. Προτείνετε διαφορετικούς τρόπους. Πότε ισορροπεί ο ζυγός; Πότε γέρνει προς μία μεριά;

.....  
 .....  
 .....

Υπολογίσατε ότι η μάζα της πλαστελίνης είναι ..... Αν αλλάξετε σχήμα στην πλαστελίνη, θα αλλάξει η μάζα της; Γιατί; Δοκιμάστε το και καταγράψτε τις παρατηρήσεις σας.

.....  
.....  
.....

Συμπληρώστε το **συμπέρασμα** με τη βοήθεια των λέξεων που σας δίνονται.

.....  
.....  
.....

### μάζα, ιδιότητα, ζυγός, ισορροπεί

Μονάδα μέτρησης της μάζας είναι: .....

.....  
.....

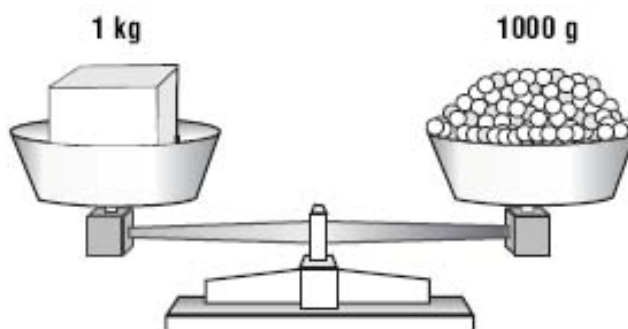
Η μάζα ενός σώματος εκφράζει το ποσό της ύλης από την οποία αυτό αποτελείται. Η μάζα ενός υλικού σώματος είναι το άθροισμα της μάζας των μορίων του. Όσο μεγαλύτερη είναι η μάζα των μορίων και το πλήθος τους, τόσο μεγαλύτερη είναι και η μάζα του σώματος.

Μονάδα μέτρησης της μάζας είναι το χιλιόγραμμο ή κιλό (kg). Χρησιμοποιείται επίσης συχνά το υποπολλαπλάσιό του, το γραμμάριο (1g). Ένα κιλό είναι 1000g.

Πολλαπλάσιο του κιλού είναι ο τόνος (1t). Ένας τόνος είναι 1000kg.

Η μάζα είναι παντού **η ίδια**, ανεξάρτητα από τον τόπο που την μετρούμε. Δηλαδή αν ζυγίσουμε ένα σώμα στη παραλία, στη κορυφή ενός βουνού ή στη σελήνη η μάζα είναι παντού η ίδια.

Μετράμε τη μάζα ενός σώματος χρησιμοποιώντας ένα ζυγό σύγκρισης και σταθμά γνωστής μάζας.



Ένας κόκκος ρύζι ή μία φακή έχουν μάζα; Μπορείτε να σκεφτείτε έναν τρόπο για να υπολογίσουμε τη μάζα τους; .....


.....  
.....  
.....

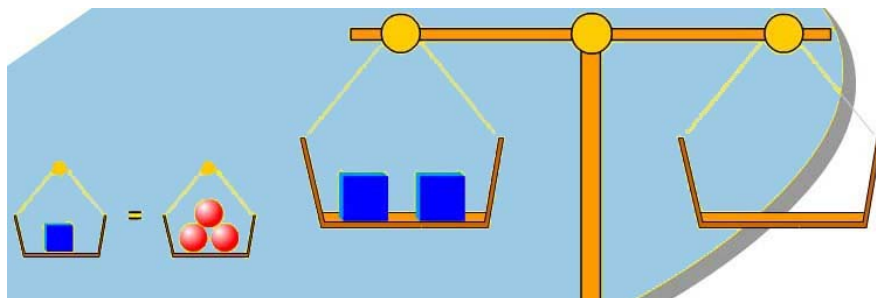




Τι νομίζετε ότι θα βλέπατε στο εσωτερικού του κόκκου του ρυζιού, αν μπορούσαμε να δούμε μέσα του;

.....  
.....  
.....  
.....

Μπορείτε να υπολογίσετε πόσες  χρειάζονται για να ισορροπήσει η ζυγαριά;



Χρειάζονται ..... 

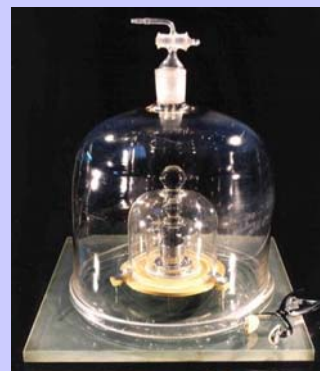
### **Ήξερες ότι ...**

Η ανάγκη της μέτρησης, δηλαδή της σύγκρισης ανόμοιων αντικειμένων με βάση κάποιες σταθερές ποσότητες, γεννήθηκε για πρακτικούς λόγους, όπως οι εμπορικές συναλλαγές.

Οι πρώτες μονάδες μέτρησης διέφεραν από τόπο σε τόπο και από πολιτισμό σε πολιτισμό.

Αρχικά χρησιμοποιήθηκαν σαν πρότυπα φυσικά μεγέθη, όπως το μήκος του ποδιού ή το βάρος των κουκουτσιών του χαρουπιού κτλ. Μερικές από αυτές τις αρχαίες μονάδες διατηρήθηκαν μέχρι σήμερα, όπως τα καράτια (το βάρος ενός κουκουτσιού χαρουπιού). Όμως, γρήγορα έγινε φανερό ότι οι μονάδες αυτές δεν ήταν ικανοποιητικά ακριβείς. Έτσι γεννήθηκαν τα πρώτα όργανα μέτρησης από ξύλο ή μέταλλο και αργότερα, όταν πια προέκυψε η ανάγκη της διεθνούς συνεννόησης, επινοήθηκαν μονάδες με διεθνή ισχύ, τα μέτρα και τα γραμμάρια και υιοθετήθηκε το Διεθνές Σύστημα Μονάδων.

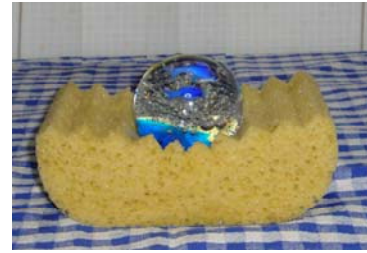
**Ένα πολύτιμο πρότυπο:** Η μέτρηση της μάζας γίνεται σε σύγκριση με σώματα γνωστής μάζας. Παλιότερα χρησιμοποιούνταν διάφορα πρότυπα. Από το 1875 η μέτρηση της μάζας γίνεται σε σύγκριση με το πρότυπο χιλιόγραμμο που φυλάσσεται στο Γραφείο Μέτρων και Σταθμών στο Παρίσι. Το πολύτιμο αυτό πρότυπο είναι κατασκευασμένο από κράμα πλατίνας και ιριδίου και φυλάσσεται με μεγάλη προσοχή σε σταθερές συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας. Αντίγραφα του υπάρχουν σε διάφορα μέρη του κόσμου.



Από τότε που ο άνθρωπος ξεκίνησε το εμπόριο, υπήρχε η ανάγκη για τη μέτρηση της μάζας των εμπορευμάτων και την καθιέρωση προτύπων. Στην Αρχαία Ελλάδα, ήδη από τον 5ο αιώνα π.Χ., υπήρχε ένας χώρος, ο Θόλος, στην Αρχαία Αγορά κάτω από την Ακρόπολη, όπου φυλάσσονταν οι πρότυπες μονάδες μέτρησης της μάζας



## 5) Ιδιότητες της Ύλης – Βάρος



Παρατηρήστε προσεχτικά τις εικόνες. Γιατί "βουλιάζει" περισσότερο στο σφουγγάρι η γυάλινη μπάλα που φαίνεται στην τρίτη εικόνα, παρότι είναι πιο μικρή από την μπάλα που φαίνεται στην πρώτη εικόνα;

**Βάρος** είναι η δύναμη με την οποία η Γη έλκει τα σώματα προς το κέντρο της. Όπως ο μαγνήτης έλκει τα διάφορα μέταλλα. Το βάρος εξαρτάται από τη μάζα ενός σώματος, από το υψόμετρο του σημείου στο οποίο γίνεται η μέτρηση και από τη μάζα του πλανήτη στον οποίο βρισκόμαστε.

Δοκιμάστε να κρεμάσετε τις μπάλες από το ελατήριο και παρατηρήστε την παραμόρφωσή του.

Ποια από τις μπάλες είναι πιο βαριά;

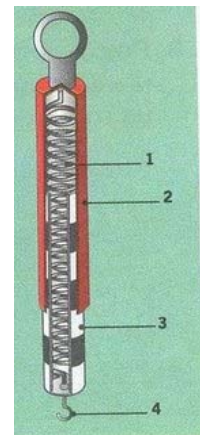
Πώς μπορούμε να μετρήσουμε το βάρος των σωμάτων;  
Μπορούμε να βασιστούμε μόνο στις αισθήσεις μας;

Το βάρος το μετράμε με όργανα που λέγονται **δυναμόμετρα**.

Τα δυναμόμετρα αποτελούνται από:

1. ένα ελατήριο
2. ένα περίβλημα του ελατηρίου
3. μια κλίμακα, βαθμολογημένη έτσι ώστε ανάλογα με την επιμήκυνση του ελατηρίου να δείχνει την κατάλληλη ένδειξη για τη δύναμη
4. ένα άγκιστρο από το οποίο κρεμάμε το σώμα που θέλουμε να μετρήσουμε.

Μονάδα μέτρησης του βάρους είναι το Newton (Νιούτον) το οποίο συμβολίζεται 1 N.



Με τη βοήθεια του δυναμόμετρου δοκιμάστε να μετρήσετε το βάρος διαφόρων αντικειμένων που βρίσκονται στο θρανίο σας (κασετίνα, μολύβι, ψαλίδι, ...) και καταγράψτε τις παρατηρήσεις σας. Μην ξεχάσετε να γράψετε τις μονάδες μέτρησης.

.....  
.....  
.....  
.....

Ένας κόκκος ζάχαρης ή ρύζι έχει βάρος; Μπορείτε να σκεφτείτε έναν τρόπο για να υπολογίσουμε το βάρος του;

.....  
.....  
.....

Είδαμε ότι το βάρος είναι η δύναμη με την οποία η Γη έλκει τα σώματα προς το κέντρο της και ότι εξαρτάται από την απόσταση του σώματος από το κέντρο της γης.

[Βίντεο «Βάρος»](#)

Τι νομίζετε ότι συμβαίνει στο διάστημα, όπου η απόσταση από τη γη είναι πολύ μεγάλη; Παρακολουθήστε τα βίντεο για τις συνθήκες που επικρατούν στο διάστημα και σχολιάστε τα.



[Βίντεο 1](#)



[Βίντεο 2](#)



[Βίντεο 3](#)

Τα Χριστούγεννα του 1642 γεννήθηκε ο Ισαάκ Νεύτωνας, ο άνθρωπος που έμελλε να δώσει μια τεράστια ώθηση στην πρόοδο των επιστημών και τη φιλοσοφίας. Ο Ισαάκ Νεύτωνας Άγγλος φυσικός, μαθηματικός, φιλόσοφος και αστρονόμος χαρακτηρίζεται ως θεμελιωτής της κλασικής φυσικής και της αστρονομίας καθώς οι ανακαλύψεις του σιγματίσαν τις θετικές επιστήμες.

Λέγεται ότι ένα μήλο που έπεσε στο κεφάλι του Νεύτωνα του έδωσε την αφορμή να διατυπώσει τους νόμους της παγκόσμιας έλξης. Ήταν δηλαδή το έναυσμα για την εκτενέστερη μελέτη των πλανητών η οποία αποτελούσε (και αποτελεί ακόμα) το αντικείμενο ενδιαφέροντος πολλών επιστημόνων αλλά και ανθρώπων που αναζητούν ένα μικρό κομμάτι της «φύσης του σύμπαντος».



Το περιστατικό αυτό και η παρατήρηση ότι τα αντικείμενα πέφτουν προς τα κάτω τον ώθησε να σκεφτεί και να διατυπώσει υποθέσεις όπως: «Το μήλο πέφτει γιατί το τραβάει η γη, το φεγγάρι δεν πέφτει γιατί το έλκουν άλλα σώματα σε διάφορες κατευθύνσεις, έτσι, μένει μετέωρο, όπως και η γη και τα άλλα ουράνια σώματα».



Στη συνέχεια έκανε υπολογισμούς, μετρήσεις και πειράματα για να ελέγξει τις υποθέσεις του. Οι έρευνες και οι ιδέες του επηρεάστηκαν και από άλλους σημαντικούς επιστήμονες, αλλά αυτό που τον απασχολούσε ήταν το πως θα καταφέρει να ενοποιήσει όλα αυτά που διάβαζε και σκεφτόταν σε ένα ενιαίο μοντέλο

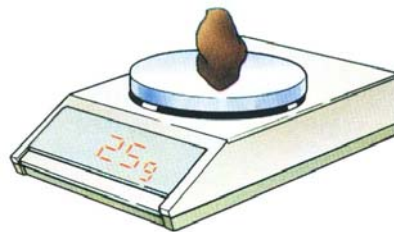
Τα αποτελέσματα των ερευνών του και τα συμπεράσματά του οδήγησαν στη διατύπωση των νόμων της παγκόσμιας έλξης. Τα αποτελέσματα αυτά ελέγχθηκαν και επιβεβαιώθηκαν και από άλλους επιστήμονες, οδηγώντας στη γενίκευσή τους και στην καθιέρωση της θεωρίας. Αρκετά χρόνια αργότερα, ο Αϊνστάιν ανέτρεψε ή καλύτερα συμπλήρωσε τη Νευτώνεια Θεωρία για τη βαρύτητα.

**Από την Ιστορία των Φυσικών Επιστημών**

- Διαβάστε προσεκτικά το παραπάνω κείμενο και σχολιάστε τον τρόπο με τον οποίο δουλεύουν οι επιστήμονες. Πώς πετυχαίνουν τους στόχους τους; Πώς αποφασίζουν ποιο πείραμα θα κάνουν;

[Λογισμικό «Επιστήμη»](#)

## 6) Βάρος – Μάζα



Τι μετράμε με τη ζυγαριά;  
Στην τελευταία εικόνα η ένδειξη της ζυγαριάς είναι 25 γρ.  
Ποιου μεγέθους είναι μονάδα μέτρησης το γραμμάριο;

### Άλλο μάζα κι άλλο βάρος!

Όταν σε ένα τόπο δύο σώματα έχουν ίδιο βάρος, ξέρουμε ότι έχουν και ίδια μάζα. Ισχύει και το αντίστροφο, δύο σώματα που έχουν την ίδια μάζα ξέρουμε ότι στον ίδιο τόπο έχουν ίδιο βάρος.

Γι' αυτό και στην καθημερινή μας ζωή μπερδεύουμε συχνά τις έννοιες «βάρος» και «μάζα». Όταν, για παράδειγμα, ο μανάβης μετρά με το δυναμόμετρο το βάρος των λαχανικών, χρησιμοποιεί τη μονάδα της μάζας. Το ίδιο συμβαίνει και όταν ζυγίζομαστε. Μετράμε το βάρος μας, αλλά αναφέρουμε τη μονάδα της μάζας!



Είδαμε ότι **μάζα** ενός σώματος εκφράζει το ποσό της ύλης από την οποία αυτό αποτελείται, ενώ **βάρος** είναι η δύναμη με την οποία η Γη έλκει τα σώματα προς το κέντρο της.



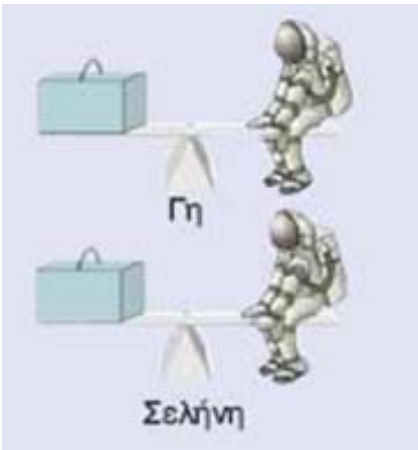
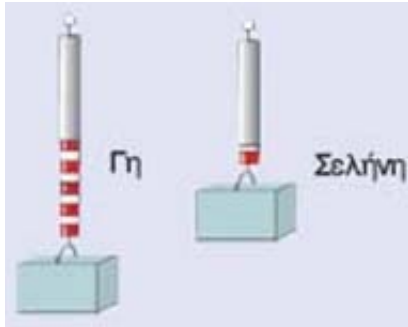
Νομίζετε ότι θα αλλάξει η μάζα ενός σώματος αν τη μετρήσουμε στην κορυφή ενός ψηλού βουνού ή στη σελήνη; Γιατί;

.....  
.....  
.....

Νομίζετε ότι θα αλλάξει το βάρος ενός σώματος αν το μετρήσουμε στην κορυφή ενός ψηλού βουνού ή στη σελήνη; Γιατί;

.....  
.....  
.....

Ο παρακάτω πίνακας θα σας βοηθήσει να καταλάβετε τις διαφορές των δύο εννοιών:

Μάζα	Βάρος
Τη μάζα τη μετράμε με ζυγό σύγκρισης με ίσους βραχίονες 	Το βάρος των σωμάτων το μετράμε με το δυναμόμετρο (όπως όλες τις δυνάμεις) 
Μονάδα μέτρησης της μάζας είναι το χιλιόγραμμα (1 kg)	Μονάδα μέτρησης του βάρους είναι το Newton (1 N)
Η μάζα ενός σώματος είναι σταθερή, ίδια σε κάθε τόπο. 	Το βάρος ενός σώματος, η ελκτική δύναμη που ασκείται στο σώμα αυτό μεταβάλλεται από τόπο σε τόπο. Το ίδιο σώμα, για παράδειγμα, έχει στη γη εξαπλάσιο βάρος από ό,τι στη σελήνη! 

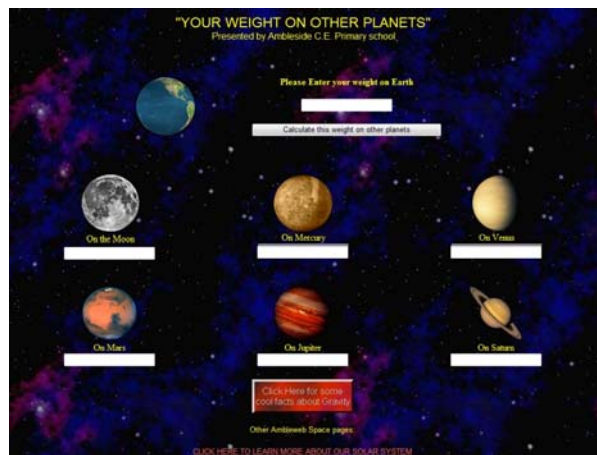
Παρακολουθήστε το βίντεο «βάρος – μάζα» και σχολιάστε το.

[Βίντεο «Βάρος - Μάζα»](#)



Με τη βοήθεια του προγράμματος υπολογίστε το βάρος σας σε άλλους πλανήτες.

[Πρόγραμμα «Υπολογισμός Βάρους»](#)



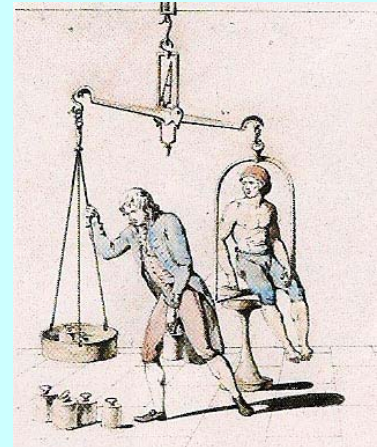


### Ήξερες ότι ...

Ο Αντουάν Λαβουαζιέ (1743-1794) διατύπωσε την αρχή διατήρησης της ύλης το 1789. Ήταν ο πρώτος που κατάφερε να επιβεβαιώσει πειραματικά αυτή την ιδέα και να τη μετατρέψει από φιλοσοφική διαίσθηση σε επιστημονική αλήθεια.

Ο πρωτοπόρος ερευνητής πραγματοποίησε μια σειρά πειραμάτων με μεγάλη ακρίβεια: χρησιμοποιούσε σφραγισμένα δοχεία και κατέγραφε σχολαστικά τις μετρήσεις του για όλες τις ουσίες που συμμετείχαν στις χημικές αντιδράσεις.

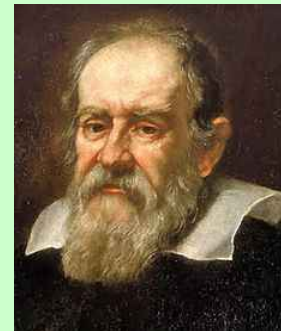
Ο Λαβουαζιέ, επίσης, ζύγιζε ανθρώπους και ζώα για μεγάλα χρονικά διαστήματα, προσπαθώντας να συσχετίσει τον αέρα, τις θρεπτικές και τις πόσιμες ουσίες που καταλάωναν.



**Από την Ιστορία των Φυσικών Επιστημών**

- Διαβάστε προσεχτικά το παραπάνω κείμενο και σχολιάστε την υπογραμμισμένη φράση

Ο Γαλιλαίος (1564-1642) υποστήριζε ότι κάθε θεωρία, προτού γίνει αποδεκτή ως αληθινή, πρέπει να δοκιμαστεί και να αποδειχθεί. Αυτό ήταν μια από τις μεγαλύτερες συνεισφορές του στη σύγχρονη επιστήμη. Η προσεχτική παρατήρηση και ο πειραματισμός που εφαρμόζε αποτέλεσαν τη βάση για τις μεθόδους της σύγχρονης επιστήμης, η οποία συνεχίζει να δοκιμάζει την ορθότητα των θεωριών στην πράξη.

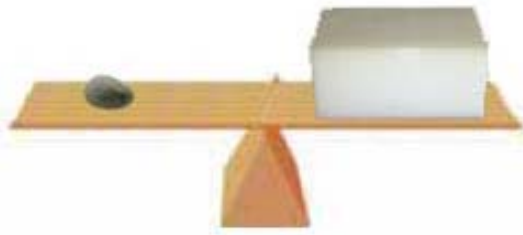


Η αναζήτησή του για την αλήθεια τον οδήγούσε σε εντυπωσιακά πειράματα. Λέγεται ότι κάποτε άφησε να πέσουν από την κορυφή ενός πύργου μπάλες κανονιού διαφορετικού μεγέθους για να δείξει ότι η ταχύτητα με την οποία πέφτουν τα αντικείμενα είναι ανεξάρτητη από το βάρος τους.

**Από το βιβλίο «Γαλιλαίος»**

- Διαβάστε προσεχτικά το παραπάνω κείμενο και σχολιάστε με ποιον τρόπο ελέγχουν τις ιδέες τους οι επιστήμονες.
- Τι νομίζετε ότι θα συμβεί αν ένας επιστήμονας κάνει ένα πείραμα και τα αποτελέσματά του δεν είναι όπως τα περίμενε;

## 7) Ιδιότητες της Ύλης – Πυκνότητα



Στη διπλανή εικόνα η ζυγαριά ισορροπεί παρότι στις δύο πλευρές της έχουμε τοποθετήσει αντικείμενα διαφορετικού μεγέθους. Γιατί συμβαίνει αυτό;

Σχηματίστε μια μπάλα από αλουμινόχαρτο και μια μπάλα από πλαστελίνη, ίσου όγκου. Τοποθετήστε τις στο ζυγό. Τι παρατηρείτε;



Τα παρακάτω κυβάρια είναι κατασκευασμένα από διαφορετικά υλικά και έχουν όλα τον ίδιο όγκο. Νομίζετε ότι έχουν και την ίδια μάζα; Αν όχι, ποιο νομίζετε ότι έχει τη μεγαλύτερη μάζα; Πώς μπορούμε να το διαπιστώσουμε;

Τι νομίζετε ότι θα έκανε ένας επιστήμονας για να λύσει αυτό το πρόβλημα;



Αλουμίνιο



Μόλυβδος



Χρυσός



Γυαλί



Ξύλο



Σίδηρος

.....  
.....  
.....  
.....

Συγκρίνετε τις μάζες τους με τον ζυγό. Τι παρατηρείτε;

.....  
.....  
.....

Συμπληρώστε το **συμπέρασμα** με τη βοήθεια των λέξεων που σας δίνονται.

.....  
.....  
.....

**μάζα, όγκος, πυκνότητα**

Όπως διαπιστώσαμε στα προηγούμενα μαθήματα, χαρακτηριστικές ιδιότητες των σωμάτων είναι ο όγκος και η μάζα τους. Τι εκφράζει η κάθε ιδιότητα; Πώς σχετίζονται με την πυκνότητα;

Όγκος: .....

Μάζα: .....

Πυκνότητα: .....

Μπορούν δύο σώματα να έχουν την ίδια μάζα αλλά διαφορετικό όγκο;

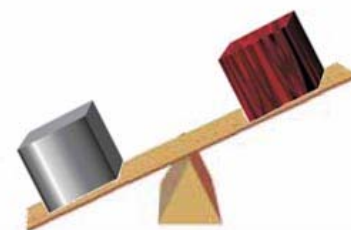
.....  
.....  
.....

Μπορούν δύο σώματα να έχουν τον ίδιο όγκο αλλά διαφορετική μάζα;

.....  
.....  
.....

Τι νομίζεις ότι θα έβλεπες αν μπορούσες να κοιτάξεις στο εσωτερικό των υλικών της διπλανής εικόνας;

.....  
.....  
.....  
.....



Παρακολουθήστε το σχετικό λογισμικό και σχολιάστε το.

Λογισμικό «Πυκνότητα»



Παρατηρήστε προσεκτικά τη διπλανή εικόνα.

Ποια από τις παρακάτω προτάσεις ισχύει με βάση τα στοιχεία που προκύπτουν από την παρατήρηση της εικόνας:

- α) Το παιδί έχει κουραστεί γιατί κρατάει στον αέρα ένα βαρύ αντικείμενο.
- β) Το παιδί κρατάει στον αέρα ένα ογκώδες αντικείμενο.
- γ) Ο αέρας σήκωσε το αντικείμενο ψηλά και το παιδί το έπιασε.
- δ) Το παιδί ετοιμάζεται να πετάξει το αντικείμενο που κρατάει σε έναν φίλο του.

Σχολιάστε τις απαντήσεις σας και τη διαφορά της παρατήρησης από το συμπέρασμα.

## 8) Ύλη και Ιδιότητες της Ύλης - Ο αέρας

Αν ξανακοιτάξεις το αρχικό φύλλο εργασίας όπου συμπλήρωσες μερικά σώματα που είναι ύλη και μερικά που δεν είναι, υπάρχει τώρα κάτι που θέλεις να αλλάξεις;

Συμπλήρωσε τις αρχικές απαντήσεις σου και στη συνέχεια τις τελικές.

### Αρχική επιλογή

είναι ύλη	δεν είναι ύλη

### Τελική επιλογή

είναι ύλη	δεν είναι ύλη

**Σχολιάστε:** Μπορεί ένας επιστήμονας να αλλάξει τις ιδέες του;

Ο Πέτρος και η Αθηνά διαφωνούν για το αν ο **αέρας** είναι ύλη:

- ο Πέτρος υποστηρίζει ότι ο αέρας δεν είναι ύλη, αφού δεν μπορούμε να τον δούμε, ενώ
- η Αθηνά υποστηρίζει ότι ο αέρας είναι ύλη, αφού τον αντιλαμβανόμαστε με άλλους τρόπους κι ας μην τον βλέπουμε.

Εσύ με ποιον από τους δύο συμφωνείς και γιατί;

.....  
.....  
.....

Μπορείς να προτείνεις τρόπους για να διαπιστώσουμε αν ο αέρας είναι ύλη ή όχι; (Προσπάθησε να θυμηθείς ποιες είναι οι ιδιότητες της ύλης.)

.....  
.....  
.....

**Σχολιάστε:** Όταν δύο επιστήμονες διαφωνούν για κάτι πώς μπορούμε να αποφασίσουμε ποιος έχει δίκιο ;



Εκτελέστε με τις ομάδες σας τα παρακάτω **πειράματα**.

Πάρτε ένα καλαμάκι και δέστε τη μια άκρη μιας κλωστής στη μέση του. Δέστε την άλλη άκρη της κλωστής σε ένα στήριγμα ή κρατήστε την, ώστε το καλαμάκι να κρέμεται. Μετακινήστε το δέσιμο πάνω στο καλαμάκι έτσι, ώστε το καλαμάκι να ισορροπεί οριζόντια.



Φουσκώστε δύο μπαλόνια περίπου το ίδιο και δέστε το λαιμό του καθενός για να μην ξεφουσκώσει. Κοντά στο λαιμό του ενός μπαλονιού κολλήστε μια λωρίδα σελοτέιπ.

Δέστε καθένα μπαλόνι σε κάθε άκρη από το καλαμάκι. Μετακινήστε το δέσιμό τους πάνω στο καλαμάκι δεξιά - αριστερά, ώστε να είναι το καλαμάκι οριζόντιο.

Τρυπήστε με την καρφίτσα το μπαλόνι πάνω στο σελοτέιπ. Αφαιρέστε την καρφίτσα. Τι παρατηρείτε; Γιατί συμβαίνει αυτό;

.....  
.....  
.....  
.....

Στον πάτο ενός ποτηριού βάλτε λίγο βαμβάκι. Στερεώστε το με λίγο σελοτέιπ για να μην πέφτει όταν αναποδογυρίζετε το ποτήρι. Γεμίστε μια λεκάνη με νερό. Αναποδογυρίστε το ποτήρι και προσπαθήστε να το βυθίσετε στο νερό κρατώντας το στόμιο προς τα κάτω. Τι παρατηρείτε; Πώς το εξηγείτε;



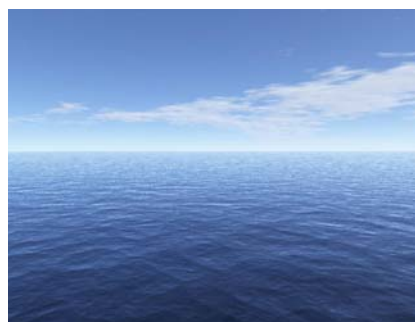
.....  
.....  
.....  
.....

### Συμπέρασμα

.....  
.....  
.....  
.....

**αέρας, όγκος, βάρος, ύλη**

## 9) Φυσικές Καταστάσεις



Τι κοινό χαρακτηριστικό έχουν οι παραπάνω εικόνες;

.....  
.....  
.....

Μερικά σώματα εμφανίζονται στη φύση άλλοτε ως στερεά, άλλοτε ως υγρά και άλλοτε ως αέρια. Αν, όμως, μπορούσαμε να μικρύνουμε ένα δισεκατομμύριο φορές και να δούμε μέσα στα σώματα αυτά, από τι θα βλέπαμε ότι αποτελούνται;

.....  
.....  
.....  
.....

Εκτελέστε το παρακάτω **πείραμα**

Υλικά: 1 παγάκι, 1 κερί, 2 μεταλλικά κουτάλια

α. Παρατηρήστε το παγάκι.

Σε ποια φυσική κατάσταση βρίσκεται το  $H_2O$ ;

.....  
.....  
.....



β. Τοποθετήστε το παγάκι στο μεγάλο κουτάλι και θερμάνετε το με το κερί. Τι παρατηρείτε; Τι αλλάζει στο παγάκι; Σε ποια φυσική κατάσταση βρίσκεται το  $H_2O$ ;

.....  
.....  
.....





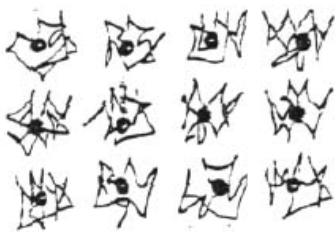
γ. Αφαιρέστε το παγάκι και συνεχίστε να θερμαίνετε το νερό που έχει απομείνει στο κουτάλι. Τοποθετήστε το μικρό κουτάλι πάνω από το νερό. Τι παρατηρείτε; Σε ποια φυσική κατάσταση βρίσκεται το  $H_2O$  πάνω από την επιφάνεια του νερού ως το μικρό κουτάλι;

.....  
.....  
.....

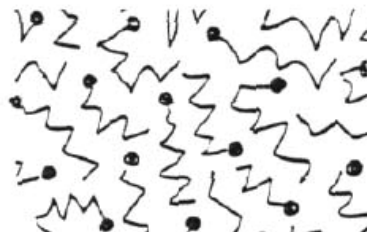
Σε όλες τις παραπάνω περιπτώσεις πρόκειται για το ίδιο σώμα; Πώς το διαπιστώνουμε;

.....  
.....  
.....

Πολλές φορές οι επιστήμονες χρησιμοποιούν «**μοντέλα**» για να εξηγήσουν καλύτερα τη θεωρία τους και για να απεικονίσουν αυτά που δεν είναι εύκολο να τα παρατηρήσουμε αλλιώς. Για παράδειγμα, χρησιμοποιούν μοντέλα (όπως αυτά που είδαμε στο λογισμικό ή όπως τα παρακάτω) για να παραστήσουν τα μικροσκοπικά σωματίδια από τα οποία αποτελούνται τα σώματα και τα οποία δεν είναι ορατά σε εμάς με άλλον τρόπο. Τα μοντέλα αυτά δεν ταυτίζονται με τα πραγματικά αντικείμενα, μας βοηθούν όμως να τα κατανοήσουμε καλύτερα.



στερεό



υγρό



αέριο

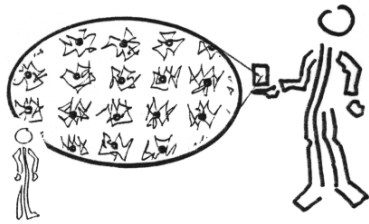
Το μοντέλο του μικροκόσμου, είναι ένα μοντέλο που περιλαμβάνει σωματίδια και τις μεταξύ τους αλληλεπιδράσεις. Περιγράφει τα σώματα μακροκόσμου με βάση τα σωματίδια που τα αποτελούν και τις συμπεριφορές τους.

Με τη βοήθεια του λογισμικού «Φυσικές Καταστάσεις» και αφού παρακολουθήσετε το επεισόδιο της Εκπαιδευτικής Τηλεόρασης προσπαθήστε να απαντήσετε στις παρακάτω ερωτήσεις:

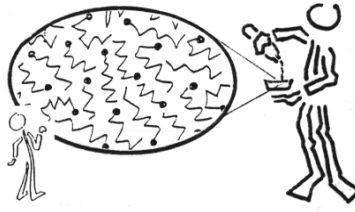
Λογισμικό «Φυσικές Καταστάσεις»

Εκπαιδευτική Τηλεόραση

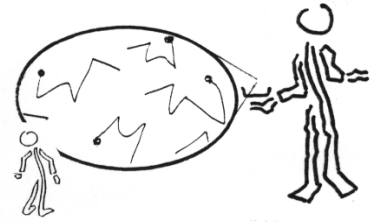
Με βάση το μοντέλο του μικροκόσμου να περιγράψετε τις φυσικές καταστάσεις που παρατηρείτε στο πείραμα.



στερεό



υγρό



αέριο

.....	.....	.....
.....	.....	.....
.....	.....	.....
.....	.....	.....

Σε ποια φυσική κατάσταση τα μόρια κινούνται περισσότερο ελεύθερα;

.....  
.....  
.....

Τι νομίζεις ότι υπάρχει ανάμεσα στα μόρια ενός σώματος;

.....  
.....  
.....

Σχολιάστε τις διαφορές ανάμεσα στα μοντέλα που χρησιμοποιούνται και σε αυτό που απεικονίζουν.

.....  
.....  
.....

Πιστεύετε ότι οι επιστήμονες μπορούν να πάνε να χρησιμοποιούν ένα επιστημονικό μοντέλο γιατί δεν το θεωρούν πια σωστό; Αν ναι, πότε μπορεί να συμβεί αυτό;

**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ**  
**ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΕΣ ΣΕΛΙΔΕΣ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ**



# Μακρο-μικρο Ύλη / Macro-micro Matter



**Επιστήμη**



**(μακρο)ιδιότητες**



**Μοντέλα**



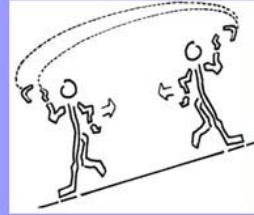
**Δομή Ύλης**



**Σωματίδια**



**Χαρακτηριστικά Σωματιδίων**



**Αλληλεπιδράσεις**



**Φυσικές Καταστάσεις**

Επιμέλεια: Ουρανία Γκικοπούλου

**ΕΠΙΣΤΗΜΗ**

Σίγουρα θα έχετε ακούσει να μιλούν για διάφορους επιστήμονες, άλλους περισσότερο γνωστούς και άλλους λιγότερο, τους να θεωρείται και μικροί άνθρωποι στην ιστορία.

Τι να ξέρουμε ότι κάνουν οι επιστήμονες για να βρουν απαντήσεις στις ερωτήσεις τους, πως πετυχαίνουν τους στόχους τους.

Ας δούμε μερικά παραδείγματα:

ο Νεύτωνας      ο Γαλιλέι      ο Αριστοτέλης      ο Σάρος

Άλλος τρόπος να πάρουμε πληροφορίες για τα σωματίδια του μικροκόσμου είναι μελετώντας τα αποτελέσματά τους ή τις αλληλεπιδράσεις τους. Αυτό όμως απαιτεί, επίσης, ογκώδεις, πολύπλοκες και ακριβείς διατάξεις και εξελιγμένες πειραματικές συσκευές και υπολογιστικά συστήματα, όπως γίνεται, για παράδειγμα, στο Ευρωπαϊκό Κέντρο CERN της Γενεύης.

**ΟΓΚΟΣ**  
**ΜΑΖΑ**  
**ΒΑΡΟΣ**  
**ΜΑΖΑ vs ΒΑΡΟΣ**  
**ΥΠΟΛΟΓ. ΒΑΡΟΥΣ**  
**ΠΥΚΝΟΤΗΤ.**

**(μακρο)Ιδιότητες**      Όγκος

Παρατηρήστε τα δοχεία. Ποιο νομίζετε ότι περιέχει περισσότερη ποσότητα υγρού; Πώς μπορούμε να το διαπιστώσουμε. Μπορούμε να βασιστούμε μόνο στις αισθήσεις μας.

Ας δούμε κάτι ακόμα!

**ΟΓΚΟΣ**  
**ΜΑΖΑ**  
**ΒΑΡΟΣ**  
**ΜΑΖΑ vs ΒΑΡΟΣ**  
**ΥΠΟΛΟΓ. ΒΑΡΟΥΣ**  
**ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ**

**(μακρο)Ιδιότητες**

Ο κερπός κινείται από τη στιγμή ο γκολφ της πηλοσφαιρίδας ταυρίσει το σφαιρίδι ή θα εν χρησιμοποιησουμε μια πινακίδα για να βάλουμε τον κερπώ.

Βασίλης

Βασίλης και Δανάη

Βίντεο 1 Βίντεο 2 Βίντεο 3

Ας πειραχτούμε!

**ΟΓΚΟΣ**  
**ΜΑΖΑ**  
**ΒΑΡΟΣ**  
**ΜΑΖΑ vs ΒΑΡΟΣ**  
**ΥΠΟΛΟΓ. ΒΑΡΟΥΣ**  
**ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ**

Δανάη

**(μακρο)Ιδιότητες Πυκνότητα**

Ας πειραχτούμε!

**Μοντέλα**

Τι εμφανίζεται στις δύο εικόνες; Ποιες είναι οι ομοιότητες των δύο αντικειμένων, Ποιες είναι οι διαφορές τους; Ποια είναι η χρησιμότητα του αντικείμενου της εικόνας στα δεξιά;

Δανάη

**Πραγματικότητα και Μοντέλα**

Φωτογραφία του Ήλιου Μοντέλο του Ηλιακού Συστήματος

Αεροφωτογραφία της Αθήνας Χάρτης της Αθήνας

Δανάη

**Δομή ύλης**

Παρατηρήστε τις εικόνες.

Δανάη

**Δομή ύλης**

Στις παρακάτω εικόνες μπορούμε να δούμε τις δομικές μεταβολές ένα κομμάτι αλουμινίου. Τι παρατηρούμε; Εξηρούμε ότι να είναι 'κάτι' η σφαιρική του μορφή στα μικροσκοπία.

Στις παρακάτω εικόνες εμφανίζονται ένα κομμάτι υφαστός. Είναι η μορφή του υφαστός, από το αόρατο ότι αποτελείται.

Δανάη

... ή αν μεγαλώναμε πάρα πολλές φορές το κομμάτι πάγου. Οι επιστήμονες πιστεύουν ότι αν μεγαλώναμε πάρα πολλές φορές (ένα δισεκατομμύριο περίπου) ένα κομμάτι πάγου, θα παρατηρούσαμε κάτι σαν την παρακάτω εικόνα.

Δανάη

Με το μικροσκοπικό μικροσκόπιο μπορούμε να δούμε τη δομή που με την οποία είναι δομημένο.

Δανάη



### Ας «δούμε» κάτι ακόμα!

Με ειδικές κάμερες υπέρυθρης ακτινοβολίας μπορούμε να «δούμε» τη θερμοκρασία των σωματιών!

Με ειδικά κιάλια ή κάμερες μπορούμε να βλέπουμε τη νύχτα!

Με κιάλια ή τηλεσκόπια μπορούμε να δούμε αντικείμενα που βρίσκονται μακριά, ακόμη και μακρινούς πλανήτες ή αστέρια!

Με τον μεγεθυντικό φακό μπορούμε να δούμε καλύτερα μικρά αντικείμενα ή λεπτομέρειές τους

Με τα μικροσκόπια μπορούμε να δούμε αντικείμενα και μικρο-οργανισμούς που δεν βλέπουμε με γυμνό μάτι

Τα οπτικά μικροσκόπια προσφέρουν μεγέθυνση μέχρι και 1.500 φορές

Εικόνες από ηλεκτρονικό μικροσκόπιο

Άλλος τρόπος να πάρουμε πληροφορίες για τα σωματίδια του μικρόκοσμου είναι μελετώντας τα αποτελέσματά τους ή τις αλληλεπιδράσεις τους. Αυτό όμως απαιτεί, επίσης, σφικτούς, πολύπλοκους και ακριβείς διατάξεις και εξελιγμένες παραματρικές συσκευές και υπολογιστικά συστήματα, όπως γίνεται, για παράδειγμα, στο Ευρωπαϊκό Κέντρο CERN της Γενεύης.

Έτσι, αξιοποιώντας τις γνώσεις που μας παρέχει η επιστήμη και με τη βοήθεια της τεχνολογίας και τα κατάλληλα εργαλεία ή προσομοιώσεις μπορούμε να «δούμε» τον κόσμο μας από το πιο μικρό σημείο έως το πιο μεγάλο!



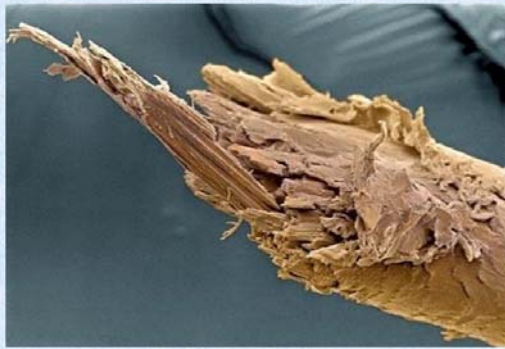


# Δομή ύλης

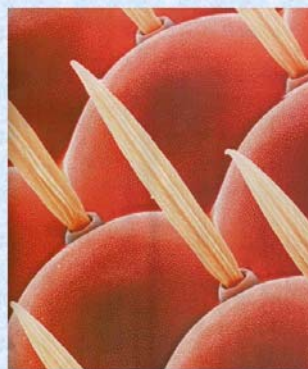
Ανοίξτε το αρχείο "microscope" και προσπαθήστε να μαντέψετε τι δείχνουν οι εικόνες.



Όπως, όμως, ήδη είδαμε τα μέρη των σωμάτων είναι τόσο μικρά που δεν μπορούμε να τα δούμε με γυμνό μάτι αλλά, συνήθως, ούτε και με το πιο ισχυρό ηλεκτρονικό μικροσκόπιο! Γι' αυτό χρησιμοποιούμε προσομοιώσεις και μοντέλα που μας βοηθούν να κατανοήσουμε τη δομή τους.



Μοιάζει με ξύλο, αλλά είναι η άκρη μιας τρίχας!

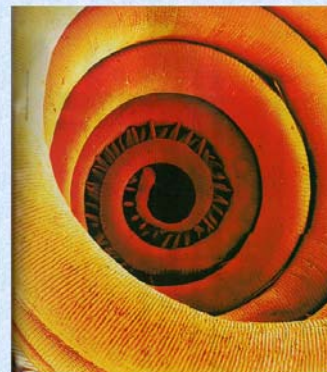


Τα μάτια της μύγας των φρούτων!



Η κεραία του μυρμηγκιού!

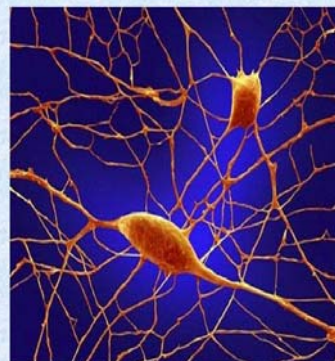
Η κεραία του μυρμηγκιού συνδέεται με το κεφάλι μέσω μιας άρθρωσης. Το μακρύ πρώτο άρθρο σε συνδυασμό με το πολυαρθρωτό μαστίγιο καθιστά την κεραία το σημαντικότερο όργανο αφής του εντόμου.



Η προβoscίδα του λεπιδοπτερου!



Μοιάζουν με καραμέλες αλλά δεν είναι! Πρόκειται για ερυθρά αιμοσφαίρια του αίματος.



Δύο από τους περίπου 100 δισεκατομμύρια νευρώνες από τους οποίους αποτελείται ο ανθρώπινος εγκέφαλος!



### Σωματίδια

Από θεωρητικές υποθέσεις των τριών σωματίδιών (αυτή είναι η κατάσταση) δημιουργούν έναν κοσμικό και εντέλει σε μέγεθος ΤΗΘ θεωρητικής μορφής 1' σωματίδι

Ο πρώτος άνθρωπος (1834-1907) πρόβλεψε τα σωματίδια από την πρόβλεψη "αποδοτικό πλάσμα" καταστάσεις τα από το σωματίδι με τη σύγκριση όλων των πινάκων από με τα βραβεία.

Με τα πινάκους είναι ο ενοποιημένος διάγραμμα κατά διάταξη των σωματίδι που να κεντρικά να φαίνεται τον αριθμό των σωματίδι που ανακαλύφθηκαν ανάμεσα. Πρόκειται για μια εξαιρετική οργάνωση πληροφορίας των φυσικών σωματίδι που μας επιτρέπει να προσδιορίσουμε και να κατανοήσουμε τις ιδιότητές τους.

Ο πρώτος φυσικός πινάκας είναι από 1930 σωματίδι. Αναπτύχθηκε κάπως η σχέση των κλάσων "πλάσμα" και αρχικά οι ομάδες των κλάσων "πλάσμα". Τα σωματίδια που ανήκουν στο ίδιο ομάδα κλάσων μοιράζονται ονόματα.

**Ο Πρωταίος Πίνακας**

### Σωματίδια

Στη κατασκευή από το πρώτο της παρακάτω μελέτης παρατηρούμε ότι υπάρχουν οπότες που τις αποδοτικό υπόλοιπο δομολογία κλάσων συνδυασμού που επηρεάζονται και τη δομολογία.

Αναζητώντας υπόλοιπο του κλάσων, αντίστοιχα εφεύρισκα στο μικρότερο το πρώτο που μπορεί να υπάρξει και το οποίο με δεδομένου συνδυασμού δημιουργού όλη τη κατασκευή.

Συνδυάζοντας όλους κλάσων και με τη όλη, Υπάρχουν κλάσων σωματίδι από συνδυασμούς των οποίων προκύπτει η όλη.

### Σωματίδια

Από τα σωματίδια που μοιράζονται τον κλάσων μόνο τα **ελαφριά** και τα **βαριά** θεωρούνται (απόλυτα) σταθερά σωματίδια, δομολογία όπως παρατηρούμε δομολογία.

Από αυτά τα σωματίδια σταθερά η όλη σε όλες τις μορφές της. Είναι αποδοτικό αλλά ποσοτικά! Τα πρώτα πινάκων των θεωρητικών φυσικών σωματίδι από 3 μόνο θεωρητικά σωματίδια είναι:

Όπως φαίνεται από τα πινάκων κλάσων μας παρατηρούμε από τα 24 γράμματα που υπάρχουν ή όπως η μαθητική μοναδική πληροφορία προκύπτει από τις 7 κλάσων, που και όλη η ποσότητα των φυσικών σωματίδι προκύπτει από θεωρητικούς συνδυασμούς 3 σωματίδιων είναι:

**Επιστροφή**

### Χαρακτηριστικά Σωματίδιων

Διαφορετικό συνδυασμό των τριών στοιχειωδών σωματίδιων συγκροτούν άλλα σωματίδια, μη στοιχειώδη πλέον, τα οποία χαρακτηρίζονται και αυτά από τη μάζα τους και το ηλεκτρικό φορτίο.

Για παράδειγμα, το πρωτόνιο έχει τη συνολική μάζα των τριών κλάσων που το συγκροτούν και θετικό ηλεκτρικό φορτίο, το νετρόνιο έχει τη συνολική μάζα των τριών κλάσων που το συγκροτούν αλλά είναι ηλεκτρικά ουδέτερο καθώς το ηλεκτρικό φορτίο των κλάσων που το συγκροτούν αλληλοαντιρροπείται. Συνεχίζοντας, ο μαργαρίτης που αποτελείται από πρωτόνια και νετρόνια, έχει τη συνολική μάζα αυτών και θετικό φορτίο.

Σωματίδιο	Λεπτόνια		Χαλαρά	
	Μάζα	Ηλεκτρικό φορτίο	Μάζα	Ηλεκτρικό φορτίο
e (ηλεκτρόνιο)	511 keV	-e	360 MeV	+2/3e
μ (μυόνιο)	107 MeV	-e	360 MeV	-1/3e
τ (ταυ)	1784 MeV	-e	1500 MeV	+2/3e
ν <sub>e</sub> (νεutrino ηλεκτρονίου)	<30 eV	0	540 MeV	-1/3e
ν <sub>μ</sub> (νεutrino μυόνιου)	<0.5 MeV	0	1 (top)	+2/3e
ν <sub>τ</sub> (νεutrino ταυ)	<250 MeV	0	5 GeV	-1/3e

Επίσης, όλη τα σωματίδια του μακροκόσμου κινούνται συνεχώς. Τα κλάσων, τα πρωτόνια, και νετρόνια, και νετρόνια, και τα πρωτόνια, τα άτομα και τα μόρια κινούνται συνεχώς και με μεγάλες ταχύτητες, συγκροτώντας μεγαλύτερους σχηματισμούς.

Η κίνηση αυτή των σωματίδιων φαίνεται στην κινητική ενέργεια που έχουν από τη Μεγάλη Έκρηξη, τη στιγμή δηλαδή της δημιουργίας του Σύμπαντος, όταν ένα μέρος μιας τρομακικά μεγάλης ποσότητας ενέργειας μεταμορφώθηκε σε μάζα, και η υπόλοιπη ενέργεια κίνησε όλες τις σωματίδια του Σύμπαντος. Σύμφωνα με την αρχή της διατήρησης της ενέργειας, η ενέργεια μεταμορφώθηκε ήνα μετακινήθηκε συνεχώς, χωρίς να δημιουργηθεί ή να εξασθενήσει, δηλαδή διατηρήθηκε.

### Αλληλεπιδράσεις

Προσδοκώμενα και θεωρητικές τους πληροφορίες από αυτή από τα αποτελέσματα της κατασκευής, παρατηρούμε ότι είναι 4 όλες από όλες πληροφορίες.

Πρόκειται για δύο διαδικασίες τα αποτελέσματα είναι: είναι ομοίως η όλη από όλη, οι πληροφορίες όλη οι πληροφορίες, είναι γρήγορα πληροφορίες.

Είναι πληροφορίες, οι δύο διαδικασίες τα αποτελέσματα είναι: είναι ομοίως η όλη από όλη, οι πληροφορίες όλη οι πληροφορίες, είναι γρήγορα πληροφορίες.

### Αλληλεπιδράσεις

Η **θεωρητική** Αλληλεπιδράσεις εκδηλώνεται μεταξύ σωματίδιων ή σωματίδιων που έχουν μάζα. Την **Ηλεκτρομαγνητική** Αλληλεπιδράσεις μοιράζονται μόνο όσα σωματίδια έχουν ηλεκτρικό φορτίο, όπως τα ηλεκτρόνια και τα κλάσων και υπάρχουν όμως δύο είδη ηλεκτρικού φορτίου, το θετικό και το αρνητικό. Η **Ασθενής** πυρηνική Αλληλεπιδράσεις είναι υπεύθυνη για τη ραδιενέργεια. Η **Χρωματική** πυρηνική Αλληλεπιδράσεις είναι αυτή που συγκροτεί μεταξύ τους τα κλάσων μάζα στα πρωτόνια και τα νετρόνια. Συμμετέχει επίσης, μεταξύ τους τα πρωτόνια και τα νετρόνια μάζα στους μαργαρίτες των οποίων.

ΕΙΔΟΣ	ΣΚΕΤΗΧΗ ΣΙΣΤΙΣ	ΣΥΜΜΕΤΕΡΟ ΣΩΜΑΤΙΔΙΟ (ΒΛΕΠΟΝΤΕΣ ΒΛΕΠΟΝΤΕΣ)	ΠΑΡΟΥΣΙΑ
ΕΣΤΡΗ ΠΥΡΗΝΙΚΗ ΔΥΝΑΜΗ	-1	8 ΠΛΑΥΡΩΝΙΑ (ΛΑΜΑΛΙΑ)	ΠΥΡΗΝΕΣ
ΜΑΚΡΟΣΤΡΩ ΔΥΝΑΜΗ	-10 <sup>3</sup>	ΒΟΤΩΜΟ (ΛΑΜΑΛΙΑ)	ΑΤΟΜΙΚΕΣ ΣΤΡΑΒΕΣ ΜΑΚΡΟΣΤΡΩΤΕΣ
ΑΣΘΕΝΗΣ ΠΥΡΗΝΙΚΗ ΔΥΝΑΜΗ	-10 <sup>5</sup>	ΜΙΣΘΩΝΙΑ ή "W"	ΡΑΔΙΟΕΝΕΡΓΕΙΑ
ΧΡΩΜΑΤΙΚΗ ΔΥΝΑΜΗ	-10 <sup>38</sup>	ΓΛΥΚΩΝΙΑ (L)	ΟΡΓΑΝΑ ΕΣΤΡΑΤΙΑ

### Φυσικές Καταστάσεις

Σε όλες τις παραπάνω εκδηλώσεις οπότες του νερού ως κλάσων χαρακτηριστικά. Οπότες, το νερό βρίσκεται σε διαφορετικές μορφές. Μπορείται ότι πρόκειται για το ίδιο σώμα σε όλες τις περιπτώσεις.

Άλλοι είναι στερεά (πάχνη), αέριο (ατμό) και αέριο υδατάνθρακα κλάσων προς τα πάνω (αέριο). Με βάση το μοντέλο του μακροκόσμου η ύλη είναι διαφορετική τις τρεις μορφές.

### Φυσικές Καταστάσεις

Η κατάσταση που είναι χαρακτηριστική

Το φάσμα... με το φυσικό φάσμα

Η κατάσταση... με το φυσικό φάσμα

### Πέραση

Υλικά

1 παγάκι, 1 κλάσων, 2 μεταλλικά κουτάλια

α. Παρατηρούμε το παγάκι. Σε ποια φυσική κατάσταση βρίσκεται το Η<sub>2</sub>O;

β. Τοποθετούμε το παγάκι στο μεγάλο κουτάλι και θιγόμενοι με το κλάσων. Τι παρατηρούμε; Το αλάδι του παγάκι. Σε ποια φυσική κατάσταση βρίσκεται το Η<sub>2</sub>O;

γ. Αφαιρούμε το παγάκι και συνεχίζουμε να θερμαίνουμε το νερό που έχει απομείνει στο κουτάλι. Τοποθετούμε το μικρό κουτάλι πάνω από το νερό. Τι παρατηρούμε; Σε ποια φυσική κατάσταση βρίσκεται το Η<sub>2</sub>O πάνω από την επιφάνεια του νερού ως το μικρό κουτάλι.

Σε όλες τις παραπάνω περιπτώσεις πρόκειται για το ίδιο σώμα. Πώς το διατηρούμε;

### Φυσικές Καταστάσεις

Στη όλη

Τα μόρια των σωματίδιων που παρατηρούμε είναι, κλάσων κλάσων. Διακρίνονται τα όλη ως προς τη όλη και διατηρούνται όλη διατηρούνται, βρίσκονται σε κλάσων δομολογία προς όλη τις συνθήκες, καθίσταται όλη τα όλη τους περιβάλλοντα.

Ας παρατηρήσουμε όλη την όλη στην όλη, οπότες, το πρώτο!

## **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ IV**

### **ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΕΣ ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΠΑΡΕΜΒΑΣΗΣ**

