

Psychology: the Journal of the Hellenic Psychological Society

Vol 27, No 1 (2022)

Special Section: Learning Counter-intuitive Explanations from a Conceptual Change Perspective



Using the model of microcosm in elementary school making 'visible' the invisible particles of matter

Ourania Gikopoulou

doi: [10.12681/psychps.30683](https://doi.org/10.12681/psychps.30683)

Copyright © 2022, Ουρανία Γκικοπούλου



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).

To cite this article:

Gikopoulou, O. (2022). Using the model of microcosm in elementary school making 'visible' the invisible particles of matter. *Psychology: The Journal of the Hellenic Psychological Society*, 27(1), 86–111. <https://doi.org/10.12681/psychps.30683>

Ο μικρόκοσμος στο δημοτικό – κάνοντας «ορατά» τα μη-ορατά σωματίδια της ύλης

Ουρανία ΓΚΙΚΟΠΟΥΛΟΥ¹

¹ Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ

Εννοιολογική αλλαγή,
διδασκτική φυσικών επιστημών,
ερμηνείες,
μοντέλο του μικρόκοσμου,
μακροσκοπικά φαινόμενα.

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ

Ουρανία Γκικοπούλου
28^{ης} Οκτωβρίου 34,
Αργυρούπολη ΤΚ 16452
gikopoulou@gmail.com

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Πλήθος ερευνών υποστηρίζει ότι το εκπαιδευτικό μοντέλο του μικρόκοσμου είναι ένα χρήσιμο εργαλείο για την κατανόηση και την ερμηνεία των μακροσκοπικών φαινομένων, γι' αυτό και παρατηρείται διεθνώς μια προσπάθεια εφαρμογής εκπαιδευτικών προσεγγίσεων του μοντέλου αυτού ή της σωματιδιακής δομής της ύλης, όπως αναφέρεται συχνότερα στη διεθνή βιβλιογραφία. Ωστόσο, η εισαγωγή του μοντέλου του μικρόκοσμου στην εκπαίδευση φαίνεται να είναι ένα δύσκολο και μακροχρόνιο ζήτημα, δεδομένου ότι εμπλέκει αντιδισθητικές ιδέες, καθώς είναι σε μια κλίμακα που οι μαθητές δεν είναι σε θέση να κατανοήσουν μέσα από τις αισθήσεις τους. Για τον λόγο αυτό, μια μεγάλη προσπάθεια επιχειρείται σε όλο τον κόσμο για να βρεθεί η καλύτερη εκπαιδευτική προσέγγισή του για μαθητές όσο γίνεται μικρότερης ηλικίας. Στην παρούσα έρευνα σχεδιάστηκε και εφαρμόστηκε μία παρέμβαση που στόχο είχε την ομαλή εισαγωγή του μοντέλου του μικρόκοσμου στην πρωτοβάθμια εκπαίδευση μέσω κατάλληλων αναλογιών, διαδοχικών μεγεθύνσεων αντικειμένων, ταυτόχρονης μακροσκοπικής και μικροσκοπικής απεικόνισης και αξιοποίησης δυναμικών προσομοιώσεων των σωματιδίων του μικρόκοσμου, προκειμένου να αρθούν οι δυσκολίες των αντιδισθητικών ιδεών και κυρίως των μη ορατών σωματιδίων που συγκροτούν την ύλη. Η έρευνα εστίασε στο κατά πόσο οι μαθητές της πρωτοβάθμιας μπορούν, μετά την προτεινόμενη παρέμβαση, να κατανοήσουν το μοντέλο αυτό και να το αξιοποιήσουν για την ερμηνεία των μακροσκοπικών φαινομένων. Δείγμα της έρευνας αποτέλεσαν 50 μαθητές της Ε' Δημοτικού και τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι μαθητές αυτής της ηλικίας είναι σε θέση να κατανοήσουν το μοντέλο του μικρόκοσμου το οποίο διευκολύνει την κατανόηση και ερμηνεία των μακροσκοπικών φαινομένων (πχ. αλλαγή φυσικής κατάστασης) από τους μαθητές.

Εισαγωγή

Πληθώρα ερευνών στο χώρο της γνωστικής ψυχολογίας και της εννοιολογικής αλλαγής στο πεδίο των φυσικών επιστημών έχουν αναδείξει τις δυσκολίες που αντιμετωπίζουν συχνά οι μαθητές όλων των βαθμίδων, ακόμη και οι εκπαιδευτικοί, στην κατανόηση των επιστημονικών εξηγήσεων για τα φυσικά φαινόμενα (Beveridge, 1985· Driver et al., 1994· Griffiths & Preston, 1992· Lee et al., 1993· Nakhleh & Samarapungavan, 1999· Nussbaum, 1985· Osborne & Cosgrove, 1983· Piaget & Inhelder, 1974· Smith et al., 1985· Snir et al., 2003· Stavy & Stachel, 1985· Wiser & Smith, 2008). Για παράδειγμα, δεν κατανοούν την εξάτμιση ή τον βρασμό επειδή συγχέουν τον υδρατμό με τον αέρα, αντιλαμβάνονται την ύλη ως συνεχή και η ιδέα ότι η ύλη αποτελείται από μη ορατά σωματίδια εμφανίζεται αργότερα, αλλά συνήθως συνοδεύεται από παρανοήσεις, με πιο συχνή την απόδοση μακροσκοπικών ιδιοτήτων στα σωματίδια (πχ. κρύα-ζεστά μόρια, διαστολή-συστολή μορίων κτλ).

Θεωρούμε ότι οι δυσκολίες αυτές οφείλονται στο γεγονός ότι οι μαθητές διαμορφώνουν, βάσει των καθημερινών εμπειριών τους, δικές τους διαισθητικές/αρχικές θεωρίες για τις έννοιες και τα φαινόμενα γύρω τους, οι οποίες όμως διαφέρουν από τις επιστημονικές ερμηνείες και γι' αυτό μπορούν να αποτελέσουν εμπόδιο

κατά τη διαδικασία της μάθησης. Σύμφωνα με τη θεωρία πλαισίου για την εννοιολογική αλλαγή που έχει προταθεί από τη Βοσνιάδου και τους συνεργάτες της (Βοσνιάδου, 2019) και όπως προκύπτει από σχετικές έρευνές τους (Vosniadou, 2006· Vosniadou & Brewer, 1992, 1994· Vosniadou & Vamvakousi, 2006· Vosniadou et al., 2008· Vosniadou & Verschaffel, 2004) ορισμένες έννοιες δυσκολεύουν πολύ τα παιδιά γιατί παραβιάζουν τις αρχές των διαισθητικών θεωριών τους, οι οποίες δύσκολα τίθενται υπό αμφισβήτηση, δεδομένου ότι οι τελευταίες πηγάζουν και επιβεβαιώνονται από τις καθημερινές τους εμπειρίες. 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 σε εσωτερική ασυνέπεια ή στη δημιουργία παρανοήσεων.

Σε αυτές τις περιπτώσεις, η κατανόηση των επιστημονικών εννοιών απαιτεί την αναδιοργάνωση των διαισθητικών θεωριών. Έτσι, η μάθηση δεν επιτυγχάνεται μόνο με την προσθήκη νέων πληροφοριών ή με την κάλυψη των κενών αλλά απαιτεί ριζική αναδιοργάνωση των θεωριών, η οποία υποβοηθάται από τη χρήση κατάλληλων αναλογιών και μοντέλων. Η διαδικασία αυτή μπορεί να θεωρηθεί ως αλλαγή θεωρίας. Μιλάμε για αλλαγή θεωρίας γιατί πολλά διαφορετικά είδη εννοιολογικών αλλαγών φαίνεται να απαιτούνται προκειμένου να γίνουν κατανοητές οι αντιδιαισθητικές επιστημονικές θεωρίες (Βοσνιάδου, 2019) –οντολογικές αλλαγές (Gikoroulou & Vosniadou, 2006· Vosniadou & Skopeliti, 2005), επιστημολογικές αλλαγές (Kyriakopoulou & Vosniadou, 2009) και αναπαραστασιακές αλλαγές (Vosniadou & Brewer, 1992, 1994).

Έχουν γίνει πολλές έρευνες που υποστηρίζουν τη χρήση κατάλληλων μεθόδων οι οποίες μπορούν να προωθήσουν τα είδη των εννοιολογικών αλλαγών που απαιτούνται προκειμένου να γίνει η αλλαγή θεωρίας και άρα οι αντιδιαισθητικές εξηγήσεις να γίνουν κατανοητές. Πλήθος ερευνών υποστηρίζουν ότι τα κατάλληλα μοντέλα και οι διδακτικές αναλογίες μπορούν να προάγουν τη διαδικασία της εννοιολογικής αλλαγής (Clement, 2013), είτε μέσω της χρήσης εκπαιδευτικών λογισμικών είτε όχι. Μοντέλα και αναλογικές αναπαραστάσεις μπορούν να διευκολύνουν τους μαθητές στο να οπτικοποιήσουν καλύτερα τις αντιδιαισθητικές επιστημονικές πληροφορίες τις οποίες δεν μπορούν να αντιληφθούν «διά γυμνού οφθαλμού», να δημιουργήσουν νέες αναπαραστάσεις και να αντικαταστήσουν με μεγαλύτερη ευκολία και πιο αποτελεσματικά τις αρχικές τους αφελείς αναπαραστάσεις. Θεωρούμε ότι σε αυτή τη λογική στηρίζεται το μοντέλο του μικρόκοσμου που προτείνεται στην παρούσα έρευνα, αφού βασίζεται σε εξωτερικές και αναλογικές αναπαραστάσεις. Υποστηρίζουμε ότι το ενοποιητικό μοντέλο του μικρόκοσμου είναι ένα μοντέλο που μπορεί να διευκολύνει την εκπαιδευτική διαδικασία και να βελτιστοποιήσει την κατανόηση των αντιδιαισθητικών μακροσκοπικών φαινομένων, προωθώντας έτσι τη διαδικασία της εννοιολογικής αλλαγής.

Το μοντέλο του μικρόκοσμου

Το πρότυπο του μικρόκοσμου θεωρείται ως ένα πολύτιμο εργαλείο για την κατανόηση των εννοιών των Φυσικών Επιστημών και την ερμηνεία των μακροσκοπικών φαινομένων, γι' αυτό και παρατηρείται μια συνεχής προσπάθεια σε διεθνές επίπεδο να καταγραφούν οι βέλτιστοι τρόποι εκπαιδευτικής προσέγγισής του. Τα τελευταία χρόνια έχει παρατηρηθεί και στον ελληνικό εκπαιδευτικό χώρο προβληματισμός σχετικά με την αξιοποίηση του προτύπου του μικρόκοσμου, ή όπως αναφέρεται συνήθως στη διεθνή βιβλιογραφία, της σωματιδιακής δομής της ύλης (*particulate nature of matter*).

Ήδη από τη δεκαετία του 1960, ο νομπελίστας Φυσικός Richard Feynman εξαίρει τη σημασία του σωματιδιακού μοντέλου για την επιστήμη, ενώ και στη βιβλιογραφία διατυπώνεται η θέση ότι η σωματιδιακή θεωρία είναι μία από τις πιο σημαντικές σύγχρονες επιστημονικές θεωρίες, καθώς αποτελείται από λίγες και απλές βασικές αρχές και προσφέρει ακριβείς και κομψές εξηγήσεις για όλα τα φαινόμενα του μακρόκοσμου.

Ωστόσο, η εισαγωγή της σωματιδιακής θεωρίας στην εκπαίδευση φαίνεται να είναι ένα δύσκολο και μακροχρόνιο ζήτημα και μια μεγάλη προσπάθεια δαπανάται σε όλο τον κόσμο για να βρεθεί η καλύτερη εκπαιδευτική προσέγγιση του μικρόκοσμου για μαθητές όσο γίνεται μικρότερης ηλικίας. Στη βιβλιογραφία προβάλλεται η μεγάλη σημασία του μοντέλου αυτού (Bouwma-Gearhart et al., 2009) και υποστηρίζεται ότι βοηθά τους μαθητές να προσεγγίσουν φαινόμενα για τα οποία δεν έχουν εποπτεία, όπως για παράδειγμα αυτά που σχετίζονται με τα άορατα αέρια (Καλκάνης, 2007, 2013· Löfgren & Hellén, 2009· Papageorgiou et al., 2008).

Βέβαια, πρέπει να λάβουμε σοβαρά υπόψη και τις δυσκολίες που οι μαθητές (ειδικά οι μικρότεροι) αντιμετωπίζουν στην προσπάθειά τους να κατανοήσουν το σωματιδιακό μοντέλο. Έχει επισημανθεί ότι υπάρχουν δύο βασικές δυσκολίες: το σωματιδιακό μοντέλο (α) είναι ένα μοντέλο και όχι ένα πραγματικό αντικείμενο και (β) είναι σε μια κλίμακα που οι μαθητές δεν είναι σε θέση να κατανοήσουν μέσα από τις αισθήσεις τους. Συνεπώς πρόκειται για ένα αντιδιαισθητικό μοντέλο. Πολλοί μαθητές δεν θεωρούν τα σωματίδια ως βασικά συστατικά της ύλης, αλλά σαν κάτι μέσα στην ύλη, ενσωματωμένο ή «φυτεμένο» σε αυτή (Andersson, 1990· Lee et al, 1993· Nussbaum, 1985). Αυτή είναι μια λανθασμένη αντίληψη η οποία ταυτοχρόνως είναι και εξαιρετικά ισχυρή, αφού επιμένει ακόμα και μετά από την πανεπιστημιακή διδασκαλία (Pozo & Crespo, 2005). Σύμφωνα με την αρχική διαισθητική αντίληψη των μαθητών η οποία στηρίζεται στην επιστημολογική πεποίθηση ότι τα πράγματα είναι όπως τα βλέπουμε με τα μάτια μας, η ύλη φαίνεται να είναι συνεχής, επομένως είναι συνεχής (Harrison & Treagust, 2002· Nakhleh et al., 2005).

Μετά τη διδασκαλία της επιστημονικής θεωρίας οι μαθητές προσπαθούν να τροποποιήσουν την αρχική τους θεωρία, τις περισσότερες φορές εισάγοντας σε αυτή στοιχεία από την επιστημονική. Το αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας είναι η δημιουργία παρανοήσεων που έχουν τη μορφή συνθετικών μοντέλων. Έτσι, το μοντέλο των σωματιδίων μέσα στην ύλη είναι ένα συνθετικό μοντέλο, δηλαδή ένα μοντέλο που δημιουργείται καθώς οι μαθητές προσπαθούν να ενσωματώσουν τις επιστημονικές πληροφορίες για τη σωματιδιακή δομή της ύλης στη μη συμβατή διαισθητική ιδέα τους ότι η ύλη είναι συνεχής. Πρόκειται για μοντέλο το οποίο διαφέρει από το αντίστοιχο επιστημονικό, διαθέτει όμως συνέπεια και παρέχει στους μαθητές τη δυνατότητα να δίνουν εξηγήσεις για τα φαινόμενα. Οι εικόνες των βιβλίων πολλές φορές συμβάλλουν επίσης στην ενίσχυση αυτού του μοντέλου, όταν για παράδειγμα ένα κομμάτι του υλικού παρουσιάζεται σαν ένας έγχρωμος κύβος με μαύρα όρια και μικρές μαύρες σφαίρες στο εσωτερικό του.

Άλλες μελέτες υποστηρίζουν ότι η ύπαρξη εναλλακτικών ιδεών, δηλαδή ιδεών που αποκλίνουν από τις αντίστοιχες επιστημονικές, σε μακροσκοπικό επίπεδο σχετίζεται με δυσκολίες στην κατανόηση της σωματιδιακής θεωρίας ως ερμηνευτικού μοντέλου. Οι Snir, Smith, & Raz (2003) έδειξαν ότι οι φοιτητές που κατανόησαν πώς τα σωματίδια εξηγούν μερικά μακροσκοπικά φαινόμενα είχαν επίσης κατανοήσει την μακροσκοπική έννοια της ύλης, του βάρους, του όγκου και της πυκνότητας, ενώ ο Lee και οι συνεργάτες του (1993) έδειξαν ότι μακροσκοπικές και μικροσκοπικές παρανοήσεις συνυπάρχουν στην 6η τάξη σε πολλά θέματα, όπως η αέρια κατάσταση, η αλλαγή της κατάστασης, η διάλυση κ.λπ. Άλλοι ερευνητές υποστηρίζουν ότι είναι εφικτή η εκπαιδευτική αξιοποίηση του μοντέλου του μικρόκοσμου και ότι μια αρχική έκδοση του μοντέλου που εξηγεί τις φυσικές μεταβολές της ύλης φαίνεται να είναι κατάλληλη για τους μαθητές της πρωτοβάθμιας εκπαίδευσης, ακόμη και από την ηλικία των εννέα ετών (Parageorgiou & Johnson, 2005· Parageorgiou et al., 2008).

Οι ερευνητές φαίνεται να συμφωνούν διεθνώς ότι αν τα παιδιά αναπτύξουν από νωρίς ένα απλό σωματιδιακό μοντέλο, είναι πιο πιθανό να καθοδηγηθούν αργότερα σε ένα πιο πολύπλοκο υπο-ατομικό μοντέλο (Ardac & Akaygun, 2005· Bouwma-Gearhart et al., 2009· Merritt & Krajcik, 2013· Parageorgiou & Johnson, 2005· Parageorgiou et al., 2008· Treagust et al., 2011· Yezierski & Birk, 2006). Επιπλέον, η κατανόηση ενός βασικού σωματιδιακού μοντέλου από τους μαθητές φαίνεται να είναι προϋπόθεση για την κατανόηση της δομής του ατόμου που διδάσκεται αργότερα. Σύμφωνα με τους Eshach & Fried (2005) η επιστήμη κατά τα πρώτα χρόνια του σχολείου είναι ένα αποτελεσματικό πλαίσιο για την εξέλιξη της επιστημονικής σκέψης και συμβάλλει στη διαμόρφωση των βάσεων, οι οποίες θα υποστηρίξουν αργότερα την κατανόηση των δύσκολων επιστημονικών εννοιών.

Όπως σημειώνουν οι Wisser και Smith (Smith & Wisser, 2013· Wisser & Smith, 2008, 2013) μια παρέμβαση που βοηθά τους μαθητές να αναπτύξουν μια μακροσκοπική κατανόηση της ύλης (π.χ. η ύλη έχει βάρος και καταλαμβάνει χώρο, κατανόηση του βάρους, του όγκου και της πυκνότητας ως μετρήσιμων φυσικών ποσοτήτων, κατανόηση του ρόλου της μέτρησης και των μοντέλων στην επιστήμη κτλ.) εφοδιάζει τους μαθητές με σημαντικές δεξιότητες για να κατανοήσουν τη σωματιδιακή θεωρία και αυτή η κατανόηση της σωματιδιακής θεωρίας, με τη σειρά της, βοηθά τους μαθητές να εδραιώσουν την κατανόηση της ύλης (π.χ. αέρια φυσική κατάσταση, διατήρηση της ύλης, διαφορά μεταξύ βάρους, μάζας και πυκνότητας, κλπ) και παρέχει μια σημαντική βάση για την κατανόηση άλλων σημαντικών εννοιών που δεν μπορούν να προσεγγιστούν εύκολα

χωρίς το σωματιδιακό μοντέλο (πχ. εξάτμιση και συμπύκνωση, χημική μεταβολή, μοντέλα διάδοσης θερμότητας, διαφορά θερμότητας/θερμοκρασίας κ.λπ.).

Η παρούσα έρευνα

Ορμώμενοι από την έρευνα που πραγματοποιείται σε διεθνές επίπεδο σχετικά με την εισαγωγή του σωματιδιακού μοντέλου ήδη από την πρωτοβάθμια εκπαίδευση, εξετάζουμε κατά πόσο είναι εφικτή η κατανόησή του και η αξιοποίησή του για την ερμηνεία των μακροσκοπικών φαινομένων από μαθητές αυτής της βαθμίδας.

Για την παρούσα έρευνα σχεδιάσαμε ένα μαθησιακό περιβάλλον και εφαρμόσαμε μια διδακτική παρέμβαση με βάση το μοντέλο του μικρόκοσμου και την ομαλή εισαγωγή του, με στόχο να διευκολύνουμε την εννοιολογική αλλαγή στην κατανόηση αντιδραστικών πληροφοριών που εμπνέουν στη σωματιδιακή θεωρία της ύλης από μαθητές του δημοτικού σχολείου και ερευνήσαμε την αποτελεσματικότητα αυτής της παρέμβασης.

Υποστηρίζουμε ότι η ενοποιητική προσέγγιση του προτύπου του μικρόκοσμου, -δηλαδή η μικροσκοπική προσέγγιση των φυσικών φαινομένων με απλές και σύντομες αναφορές στο επιστημονικό/εκπαιδευτικό πρότυπο του μικρόκοσμου- μπορεί να διευκολύνει την μαθησιακή διαδικασία και να βελτιστοποιήσει την κατανόηση των αντιδραστικών μακροσκοπικών φαινομένων.

Υποθέσεις

Υποθέτουμε ότι η προτεινόμενη διδακτική παρέμβαση θα προωθήσει τη διαδικασία της εννοιολογικής αλλαγής βοηθώντας τους μαθητές να μετακινηθούν από την αφελή/δραστική θεωρία τους για την ύλη (όπου η ύλη είναι σταθερή και στατική και γίνεται αντιληπτή μέσω των αισθήσεων) προς μια θεωρία πιο κοντά στην επιστημονική/αντιδραστική σωματιδιακή θεωρία της ύλης (όπου η ύλη έχει βάρος και καταλαμβάνει χώρο και αποτελείται από σωματίδια μη ορατά σε εμάς, που κινούνται συνεχώς). Ειδικότερα, υποθέτουμε ότι η προτεινόμενη παρέμβαση θα βοηθήσει τους μαθητές να βελτιώσουν τις εξηγήσεις τους στις ερωτήσεις που θα αφορούν στην αντίληψή τους για την ύλη και σε αυτές που θα αφορούν στις φυσικές αλλαγές της ύλης (αλλαγές κατάστασης του νερού: τήξη πάγου, βρασμός και εξάτμιση νερού) και η βελτίωση αυτή θα συνδέεται με την αλλαγή της θεωρίας των μαθητών για την ύλη.

Υποθέτουμε, επίσης, ότι θα υπάρχει συσχέτιση μεταξύ της θεωρίας των μαθητών για την ύλη και των ερμηνειών τους για τις φυσικές αλλαγές της ύλης. Σύμφωνα με το θεωρητικό μας πλαίσιο, οι δυσκολίες των μαθητών να ερμηνεύσουν τα φυσικά φαινόμενα οφείλονται στο γεγονός ότι συγκροτούν αρχικές/δραστικές θεωρίες για την ύλη, που λειτουργούν ως περιορισμοί στην προσπάθειά τους να κατανοήσουν τις επιστημονικές θεωρίες. Αναμένουμε επομένως ότι οι μαθητές οι οποίοι έχουν διαμορφώσει μια αφελή/δραστική θεωρία για την ύλη θα αντιμετωπίσουν μεγαλύτερες δυσκολίες στην εξήγηση των φυσικών φαινομένων σε σχέση με τους μαθητές των οποίων η θεωρία για την ύλη πλησιάζει περισσότερο την επιστημονική/αντιδραστική θεωρία.

Δείγμα

Η έρευνα πραγματοποιήθηκε κατά το σχολικό έτος 2016-2017 σε δημόσιο Δημοτικό Σχολείο νοτίου προαστίου της Αθήνας. Το δείγμα αποτέλεσαν 50 μαθητές της Ε' τάξης (10-11 ετών), χωρισμένοι σε δύο ομάδες (πειραματική - ελέγχου). Πρόκειται για δείγμα ευκολίας, καθώς προήλθε από σχολείο συνεργαζόμενο με την ερευνητρια. Επιλέχθηκαν τα δύο τμήματα της Ε' τάξης του σχολείου τα οποία είχαν ίσο αριθμό μαθητών, ίδια αναλογία κοριτσιών-αγοριών και μαθητές με αντίστοιχες μαθησιακές επιδόσεις. Το ένα τμήμα επιλέχθηκε (τυχαία) για ομάδα ελέγχου και το άλλο για πειραματική.

Η επιλογή της Ε' τάξης έγινε γιατί σε αυτή την τάξη οι μαθητές έρχονται για πρώτη φορά σε επαφή με τις μελετούμενες έννοιες και τα φυσικά φαινόμενα στο μάθημα «Φυσικά - Ερευνώ κι Ανακαλύπτω», όπου γίνεται και η πρώτη αναφορά στο σωματιδιακό μοντέλο της ύλης.

Η προτεινόμενη Παρέμβαση

Για τον σχεδιασμό της παρέμβασης λάβαμε υπόψη τα αποτελέσματα προηγούμενων ερευνών μας προκειμένου να συμπεριλάβουμε τους βασικούς παράγοντες που φαίνεται να επηρεάζουν τη μαθησιακή διαδικασία (Γκικοπούλου, 2013), δηλαδή τις αρχικές αντιλήψεις των μαθητών για την ύλη και τα εμπόδια που θέτουν οι περιορισμοί της (πχ. η ύλη γίνεται αντιληπτή από τις αισθήσεις μας, γι' αυτό τα στερεά και υγρά είναι ύλη, ενώ τα αέρια και τα μικροσκοπικά αντικείμενα δεν είναι), αλλά και την προτεινόμενη σειρά των μακροσκοπικών εννοιών που απαιτούνται για την εισαγωγή της σωματιδιακής θεωρίας (όγκος, μάζα, βάρος, διάκριση μάζας-βάρους, πυκνότητα).

Βασικό καινοτομικό στοιχείο της παρέμβασης είναι η εισαγωγή του μοντέλου του μικρόκοσμου μέσω αναλογιών, διαδοχικών μεγεθύνσεων αντικειμένων, ταυτόχρονης απεικόνισης μακροσκοπικής και μικροσκοπικής προσέγγισης, αλλά και με τις κατάλληλες προσομοιώσεις των σωματιδίων του μικρόκοσμου με τη βοήθεια σχετικού λογισμικού. Ειδικότερα, η μικροσκοπική προσέγγιση επιτυγχάνεται με συστηματικό τρόπο, χωρίς τη χρήση των μαθηματικών και με βάση τις νοητικές, αφαιρετικές και συνθετικές, ικανότητες των μαθητών, αλλά χωρίς υπεραπλουστεύσεις οι οποίες συχνά δημιουργούν περισσότερες παρανοήσεις στους μαθητές (Harrison & Treagust, 2000· Johnson, 1998).

Για την ομαλή εισαγωγή του σωματιδιακού μοντέλου χρησιμοποιήθηκε ένα λογισμικό που σχεδιάστηκε ειδικά για αυτόν τον σκοπό. Ένα μέρος του που αφορούσε κυρίως στις μακροσκοπικές ιδιότητες της ύλης είχε χρησιμοποιηθεί σε προηγούμενες έρευνες (Γκικοπούλου, 2013), αλλά τώρα συγκεντρώθηκε όλο το υλικό και εμπλουτίστηκε καθώς ενσωμάτωσε διαδραστικές εφαρμογές, βίντεο, αναλογίες, εικόνες καθώς και δυναμικές προσομοιώσεις, οι οποίες έχουν δημιουργηθεί στο Εργαστήριο Φυσικών Επιστημών και Τεχνολογίας του ΠΤΔΕ του Πανεπιστημίου Αθηνών (Καλκάνης, 2006, 2013) και μερικές από αυτές έχουν δοκιμαστεί σε προηγούμενες έρευνές μας (Δρόλαπας, Γκικοπούλου & Καλκάνης, 2017). Σε αρκετά σημεία το λογισμικό περιελάμβανε και στιγμιότυπα των σχολικών βιβλίων, καθώς τα επίσημα σχολικά εγχειρίδια του μαθήματος (Αποστολάκης κ.ά., 2006) περιλαμβάνουν στατικά στιγμιότυπα του μοντέλου του μικρόκοσμου σε κάθε ενότητα μαζί με μια συνοπτική περιγραφή των φαινομένων.

Το λογισμικό σχεδιάστηκε ώστε να είναι συμβατό με τις γενικές ενότητες της παρέμβασης (ύλη, δομή της ύλης, ιδιότητες της ύλης, όγκος, μάζα, βάρος, πυκνότητα, φυσικές καταστάσεις της ύλης) και οι ενότητές του ακολουθούν (όπως και στα σχολικά εγχειρίδια) τα πέντε βήματα της επιστημονικής/εκπαιδευτικής μεθοδολογίας: α) ξεκινούν με ένα ή περισσότερα εναύσματα ενδιαφέροντος, β) ακολουθούν κατάλληλες ερωτήσεις για τη διατύπωση υποθέσεων, γ) στη συνέχεια δίνονται αναλυτικές οδηγίες για πειραματισμό, δ) ακολουθούν τα συμπεράσματα και ε) τέλος οι ερμηνείες με τον μικρόκοσμο και η γενίκευση των συμπερασμάτων και σε άλλα φαινόμενα ή εφαρμογές. Κατά τον σχεδιασμό των προσομοιώσεων έχουν ληφθεί υπόψη οι συνήθειες εναλλακτικές απόψεις των μαθητών για τη σωματιδιακή δομή της ύλης που έχουν καταγραφεί από τη βιβλιογραφία, προκειμένου να αποφευχθεί η ενίσχυσή τους (Βλάχος, 1999· Driver et al., 1994· Harrison & Treagust, 2000· Johnson, 1998· McCloskey, 1983· Pozo, 2001).

Η εισαγωγή του μοντέλου μέσω του λογισμικού

Για την αρχική εισαγωγή του μοντέλου του μικρόκοσμου χρησιμοποιήθηκε μία αναλογία μέσω εικόνων και βίντεο που έδειχναν μια ομάδα ψαριών ή ένα σμήνος πουλιών από μακριά (βλ. Εικόνες 1). Οι μαθητές καλούνται να απαντήσουν σε ερωτήσεις σχετικά με το πώς φαίνεται ο σχηματισμός από μακριά (σαν ένα ενιαίο σώμα που κινείται) και πώς φαίνεται αν πλησιάσουμε αρκετά (μία ομάδα αποτελούμενη από πολλά πουλιά ή ψάρια κοντά το ένα στο άλλο που κινείται το καθένα ξεχωριστά), βλέποντας την κατάλληλη εικόνα.



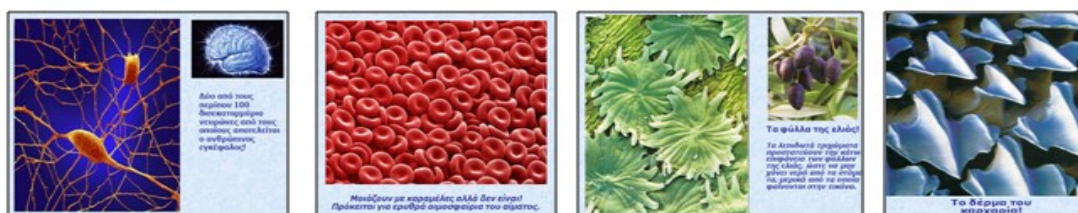
Εικόνες 1. Αναλογίες που εισάγουν την έννοια της ύλης ως αποτελούμενης από σωματίδια

Στη συνέχεια οι μαθητές βλέπουν φωτογραφίες αντικειμένων από τα βιβλία ή το λογισμικό (βλ. Εικόνες 2) που μοιάζουν να είναι συνεχή (πχ. ένα αλουμινένιο κουτάκι, ένα κομμάτι γραφίτη, ένα κομμάτι πάγου κτλ.) αλλά μετά από συνεχείς μεγεθύνσεις με τη βοήθεια ενός μικροσκοπίου ή προσομοιώσεων φαίνεται ότι αποτελούνται από μικρότερες δομές. Ακολουθώντας τα πέντε βήματα της μεθοδολογίας, οι μαθητές οδηγούνται στο συμπέρασμα ότι «τα πράγματα δεν είναι πάντοτε όπως φαίνονται».



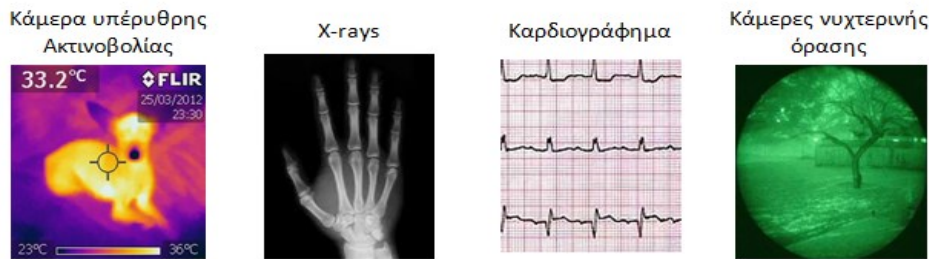
Εικόνες 2. Διαδοχικές μεγεθύνσεις αντικειμένων

Οι μαθητές στη συνέχεια παίζουν ένα παιχνίδι όπου πρέπει να μαντέψουν τι εικονίζεται σε διάφορες εικόνες που έχουν ληφθεί με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο (Jones, 2009). Αρχικά βλέπουν τις εικόνες χωρίς λεζάντες και πρέπει να μαντέψουν τι είναι ή με τι μοιάζει η κάθε εικόνα, για παράδειγμα κόκκινες καραμέλες ή λάχανα. Στη συνέχεια τους δίνεται η απάντηση ότι είναι η απεικόνιση των ερυθρών αιμοσφαιρίων του αίματος ή των φύλλων της ελιάς, αντίστοιχα, μέσω ενός μικροσκοπίου, με παράλληλη απεικόνιση και του αντικειμένου χωρίς μεγέθυνση (βλ. Εικόνες 3)



Εικόνες 3. Χαρακτηριστικές εικόνες με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο

Τα παιδιά συμμετέχουν επίσης σε ένα quiz σχετικά με το αν μπορούμε να δούμε τα πάντα με τα μάτια μας ή μήπως μερικές φορές χρειαζόμαστε ειδικά εργαλεία. Με την ευκαιρία αυτή και με τη χρήση σχετικού υλικού γίνεται αναφορά σε ορισμένα ειδικά εργαλεία όπως στα ειδικά γυαλιά που μας βοηθούν να δούμε στο σκοτάδι, στην κάμερα υπερύθρου που μας βοηθά να «δούμε» τη θερμοκρασία των σωμάτων, στους υπέρηχους που μας δείχνουν το εσωτερικό των σωμάτων, στο καρδιογράφημα που «δείχνει» τη λειτουργία της καρδιάς, στα τηλεσκόπια που μας βοηθούν να δούμε μακρινά αντικείμενα, στα μικροσκόπια για τα μικρά αντικείμενα κτλ. (βλ. Εικόνες 4)



Εικόνες 4. Παραδείγματα από το quiz

Ακολουθώντας τα πέντε βήματα της μεθοδολογίας, οι μαθητές προβληματίζονται και διατυπώνουν ερωτήματα σχετικά με το αν υπάρχουν εργαλεία που να μας δείχνουν το εσωτερικό των σωμάτων και τα σωματίδια της ύλης και με την προβολή κατάλληλων προσομοιώσεων, όπως φαίνονται στις Εικόνες 5, καταλήγουν σε συμπεράσματα σχετικά με τη χρησιμότητα που μπορεί να έχουν τα εργαλεία τα οποία απεικονίζουν το εσωτερικό των σωμάτων τόσο για εκπαιδευτικούς σκοπούς όσο και για ερευνητικούς σκοπούς σε επιστημονικά πεδία που κάνουν χρήση τέτοιων εργαλείων, σε εφαρμοσμένες επιστήμες που τα αξιοποιούν, κ.ο.κ.



Εικόνες 5. Στιγμιότυπα προσομοιώσεων του μικρόκοσμου

Στην ενότητα «σωματίδια» του λογισμικού χρησιμοποιείται μια ακόμη αναλογία για να βοηθήσει τους μαθητές να αντιληφθούν πώς τα διαφορετικά υλικά σώματα του κόσμου μας συγκροτούνται μόνο από τρία στοιχειώδη σωματίδια (up quark, down quark και ηλεκτρόνιο). Χρησιμοποιούμε την αναλογία με τα τουβλάκια Lego όπου οι μαθητές βλέποντας σύνθετες κατασκευές συζητούν πώς φτιάχνονται από τον συνδυασμό μόνο λίγων διαφορετικών μικρών τούβλων. Γίνεται επίσης αναφορά στα 24 γράμματα του αλφαβήτου μας από τα οποία προκύπτει μια πληθώρα διαφορετικών λέξεων, αλλά και στις 7 νότες από τις οποίες συντίθενται διαφορετικές μελωδίες. Τέλος, γίνεται αναφορά στον Δημόκριτο και το «ά-τομο» σωματίδιο και σύνδεση με τα στοιχειώδη σωματίδια που συγκροτούν τον κόσμο μας, ενώ χρησιμοποιούνται και οι σχετικές προσομοιώσεις.

Για τη μάζα οι μαθητές βλέπουν σχετικά βίντεο με πληροφορίες τη μάζα 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 ένα βίντεο με πληροφορίες για τη βαρύτητα, το βάρος 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. Στην ενότητα μάζα έναντι βάρους παρακολουθούν ένα βίντεο που συγκρίνει τις δύο έννοιες 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 ηλιακού μας συστήματος. 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 «φυσικές καταστάσεις» οι μαθητές βλέπουν φωτογραφίες του ίδιου σώματος σε διαφορετική φυσική κατάσταση και καλούνται να σχολιάσουν αν έχουν κάτι 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.

Θεωρούμε ότι μια τέτοια παρέμβαση μπορεί να βοηθήσει τους μαθητές να μεταβούν από τις βασιζόμενες στις αισθήσεις έννοιες που χαρακτηρίζουν την αφελή/διαισθητική θεωρία τους για την ύλη στις πιο αφηρημένες και ποσοτικοποιημένες έννοιες της επιστημονικής/αντιδισθητικής θεωρίας για την ύλη, να προωθήσει δηλαδή τη διαδικασία της εννοιολογικής αλλαγής.

Φύλλα εργασίας

Για κάθε μία από τις ενότητες της παρέμβασης χρησιμοποιούνται φύλλα εργασίας (βλ. Εικόνες 6), τα οποία ακολουθούν την ίδια μεθοδολογία με τα φύλλα εργασίας των σχολικών εγχειριδίων, δηλαδή την επιστημονική/εκπαιδευτική μεθοδολογία. Στα φύλλα εργασίας υπάρχουν αναλυτικές οδηγίες πειραματισμού (τα περισσότερα πειράματα είναι από τα εγχειρίδια των Φυσικών, ενώ έχουν προστεθεί και μερικά ακόμη πειράματα και δραστηριότητες) καθώς και η επισήμανση πότε οι μαθητές δουλεύουν ομαδικά και πότε ατομικά. Ο κάθε μαθητής συμπληρώνει το δικό του φύλλο εργασίας ατομικά. Αντιθέτως, κατά τον πειραματισμό καθώς και σε μερικές άλλες δραστηριότητες οι μαθητές δουλεύουν ομαδικά και καταγράφουν τις κοινές παρατηρήσεις και τα συμπεράσματά τους, τα οποία συγκρίνουν με τις υπόλοιπες ομάδες. Στα φύλλα εργασίας αυτά έχουν περιληφθεί και στατικά στιγμιότυπα του μικρόκοσμου, αλλά και παραπομπές στα αντίστοιχα τμήματα του σχετικού λογισμικού με τις δυναμικές προσομοιώσεις.



Εικόνες 6. Σελίδες από τα Φύλλα Εργασίας

Υλικά

α) Οι συμμετέχοντες καλούνταν να συμμετάσχουν σε ένα έργο για τις «Αντιλήψεις για την Ύλη» που μελετά τις ιδέες των μαθητών για την ύλη και τις ιδιότητές της. Πρόκειται για έργο που χρησιμοποιήθηκε και σε προηγούμενες έρευνές μας (Γικοπούλου & Vosiadou, 2012) και βασίζεται κατά ένα μεγάλο μέρος σε ερωτήσεις της Smith (2007), το οποίο όμως τροποποιήθηκε και συνοψίστηκε για αυτή την έρευνα σε 14 τελικά ερωτήσεις για τη μάζα, το βάρος, τον όγκο, την πυκνότητα, την ύλη και τα υλικά (βλ. Παράρτημα). Ειδικότερα, οι μαθητές καλούνταν να απαντήσουν αν έχει βάρος, όγκο 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). Επίσης καλούνταν να απαντήσουν αν υπάρχει μη ορατή ύλη και κατά πόσο έχει βάρος ή όγκο. Στη συνέχεια ζητούνταν από τους μαθητές να διαχωρίσουν τα υλικά σώματα από τα μη υλικά (πέτρα,

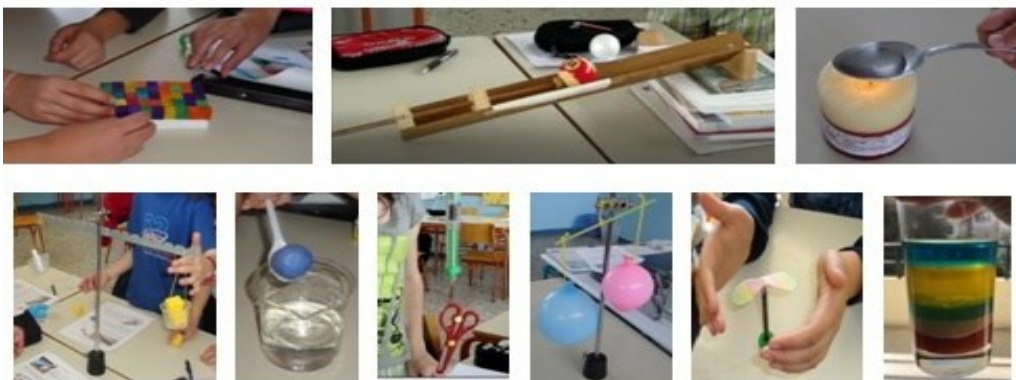
σκύλος, θερμότητα, αέρας, χαρά, σκόνη από κιμωλία, επιθυμία, νερό, ηλεκτρισμός, καπνός, ιδέα, σκουριά) και να αιτιολογήσουν τις επιλογές τους για τις ιδιότητες της ύλης και πώς καταλαβαίνουμε αν κάτι είναι φτιαγμένο από ύλη. Μία ερώτηση αναφέρονταν και στη διατήρηση ή μη της ύλης όταν παύει να είναι ορατή (διάλυση ζάχαρης στο νερό). Τέλος, καλούνταν να σχεδιάσουν το εσωτερικό ενός στερεού, ενός υγρού κι ενός αερίου σώματος.

β) Στους συμμετέχοντες δόθηκαν τρία έργα «Ερμηνείας Φαινομένων» που σχετίζονται με την ύλη και μέρος τους έχει επίσης χρησιμοποιηθεί σε προηγούμενες έρευνες (Gikorouli & Vosniadou, 2006), τα οποία τροποποιήθηκαν και συμπληρώθηκαν για την έρευνα αυτή. Αποτελούνται συνολικά από 18 ερωτήσεις για την «τήξη του πάγου», τον «βρασμό του νερού» και την «εξάτμιση του νερού», όπου οι μαθητές καλούνται να περιγράψουν και να εξηγήσουν τα φαινόμενα, να εντοπίσουν τις διαφορές τους, να συγκρίνουν τη σύσταση του νερού, του πάγου και του υδρατμού και να σχεδιάσουν το εσωτερικό τους (βλ. Παράρτημα).

Διαδικασία

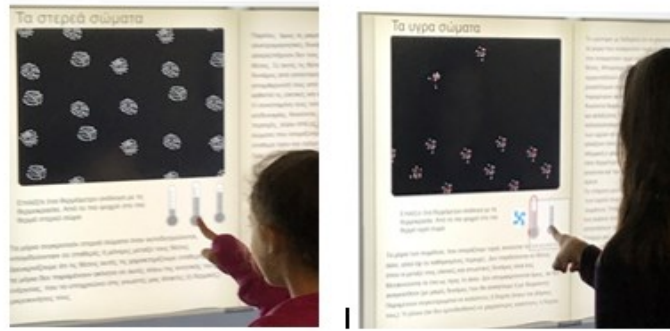
Αρχικά επιχειρήθηκε η ανίχνευση των αντιλήψεων των μαθητών για την ύλη αλλά και των ερμηνειών που δίνουν για τα φυσικά φαινόμενα. Όλοι οι συμμετέχοντες εξετάστηκαν ατομικά με τη συμπλήρωση ερωτηματολογίων για περίπου 40 λεπτά: στην αρχή συμπλήρωσαν το «Έργο για τις αντιλήψεις για την ύλη» και στη συνέχεια τα τρία «Έργα ερμηνείας φαινομένων». 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 στα ερωτηματολόγια που τους δόθηκαν.

Ακολούθησε η «Διδακτική Παρέμβαση». Στην πειραματική ομάδα εφαρμόστηκε η προτεινόμενη παρέμβαση, για περίπου 20 διδακτικές ώρες (διάρκειας 45') και περιλάμβανε τις βασικές έννοιες για την ύλη που οι μαθητές διδάσκονται σε αυτή την τάξη, δηλαδή: μια εισαγωγή (2 ώρες), τις ιδιότητες και τη δομή της ύλης (2 ώρες), τις βασικές ιδιότητες του όγκου (2 ώρες), της μάζας (2 ώρες), του βάρους (2 ώρες), της πυκνότητας (2 ώρες), τη διάκριση μάζας-βάρους (2 ώρες), τις φυσικές καταστάσεις της ύλης (4 ώρες) και μια πιο αναλυτική περιγραφή του μικροσκοπικού μοντέλου με τη χρήση του σχετικού λογισμικού (2 ώρες). Οι μαθητές αυτής της ομάδας είχαν τη δυνατότητα να ανατρέχουν στο λογισμικό μετά τον ολοκλήρωση κάθε ενότητας. Οι μαθητές εκτελούσαν τα προβλεπόμενα πειράματα σε ομάδες των 4 ή 5 ατόμων, ακολουθώντας την ίδια μεθοδολογία που εφαρμόζεται στα επίσημα σχολικά βιβλία. Στις Εικόνες 7 βλέπουμε διάφορα στιγμιότυπα από τις πειραματικές διατάξεις και την εκτέλεση των πειραμάτων από τους μαθητές της πειραματικής ομάδας κατά τη διάρκεια της εκπαιδευτικής διαδικασίας.



Εικόνες 7. Εκτέλεση πραγματικού πειραματισμού από τους μαθητές

Οι μαθητές, επίσης, μπορούσαν να αξιοποιούν τις διαδραστικές δυνατότητες των προσομοιώσεων και του λογισμικού, αλλάζοντας τις μεταβλητές (πχ. τη θερμοκρασία) ώστε να παρατηρήσουν άμεσα τα αποτελέσματα των αλλαγών αυτών (πχ. αλλαγή φυσικής κατάστασης). Στις Εικόνες 8 βλέπουμε δύο μαθητές να χρησιμοποιούν τις διαδραστικές προσομοιώσεις και να παρατηρούν τις αλλαγές στις κινήσεις των μορίων ενός στερεού (εικόνα αριστερά) κι ενός υγρού (εικόνα δεξιά) σώματος καθώς αυξάνουν ή μειώνουν τη θερμοκρασία του.



Εικόνες 8. Διάδραση των μαθητών με τις προσομοιώσεις του μικρόκοσμου

Οι μαθητές της ομάδας ελέγχου διδάχθηκαν επίσης για 20 διδακτικές ώρες (διάρκειας 45΄) τις αντίστοιχες προβλεπόμενες ενότητες από το σχολικό εγχειρίδιο: μια εισαγωγή για την ύλη (2 ώρες), τις ιδιότητες και τη δομή της (2 ώρες), τις ιδιότητες του όγκου (2 ώρες), της μάζας (2 ώρες), της πυκνότητας (2 ώρες), του βάρους (2 ώρες), τη διάκριση μάζας-βάρους (2 ώρες), τις φυσικές καταστάσεις (4 ώρες) και μια γενική εισαγωγή για τα υλικά σώματα και τη δομή της ύλης (2 ώρες), αξιοποιώντας τις σχετικές πληροφορίες και εικόνες από το βιβλίο (Αποστολάκης κά., 2006). Και αυτοί οι μαθητές εκτελούσαν πειράματα σε ομάδες των 4 ή 5 ατόμων.

Μετά την παρέμβαση δόθηκαν ξανά σε όλους τους μαθητές το «Έργο για τις αντιλήψεις για την ύλη» και τα τρία «Έργα ερμηνείας φαινομένων» (τήξη, βρασμός, εξάτμιση) που είχαν δοθεί και πριν την παρέμβαση, προκειμένου να ελεγχθεί η επίδραση της παρέμβασης.

Αποτελέσματα

Έργο Αντίληψης για την Ύλη

Στο έργο που διερευνούσε τις αντιλήψεις των μαθητών για την ύλη οι συμμετέχοντες ταξινομήθηκαν σε 5 κατηγορίες, όπως και σε προηγούμενη έρευνά μας (Gikouliou & Vosniadou, 2012), βάσει των απαντήσεών τους σε όλες τις ερωτήσεις και με βασικά κριτήρια το 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 όταν δεν είναι ορατή, αν διαφοροποιούν τις έννοιες του βάρους και της μάζας, 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). Οι 5 διακριτές κατηγορίες είναι οι εξής:

Αρχική: *ύλη αντιληπτή με όλες τις αισθήσεις.* Σύμφωνα με αυτή την αντίληψη, τα μικρά και μη ορατά σώματα δεν έχουν όγκο, μάζα ή βάρος, δεν υπάρχει διαφοροποίηση βάρους-μάζας, η ύλη εξαφανίζεται όταν δεν είναι πια ορατή, τα υλικά ταυτοποιούνται με τις αισθήσεις, και υπάρχει δυσκολία διάκρισης ύλης / μη ύλης, ενώ η ύλη θεωρείται στατική και συνεχής. Οι απαντήσεις των μαθητών που ήταν σύμφωνες με την αρχική αντίληψη βαθμολογήθηκαν με (1).

Εναλλακτική α: *ύλη με αισθητό βάρος ή όγκο.* Σύμφωνα με αυτό το μοντέλο, 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, η ύλη εξαφανίζεται όταν δεν είναι πια ορατή, η ύλη είναι κάποιο είδος υλικού και υπάρχει δυσκολία διάκρισης ύλης / μη ύλης, ενώ και πάλι η ύλη θεωρείται στατική και συνεχής. Οι απαντήσεις που ήταν σύμφωνες με αυτή την κατηγορία βαθμολογήθηκαν με (2).

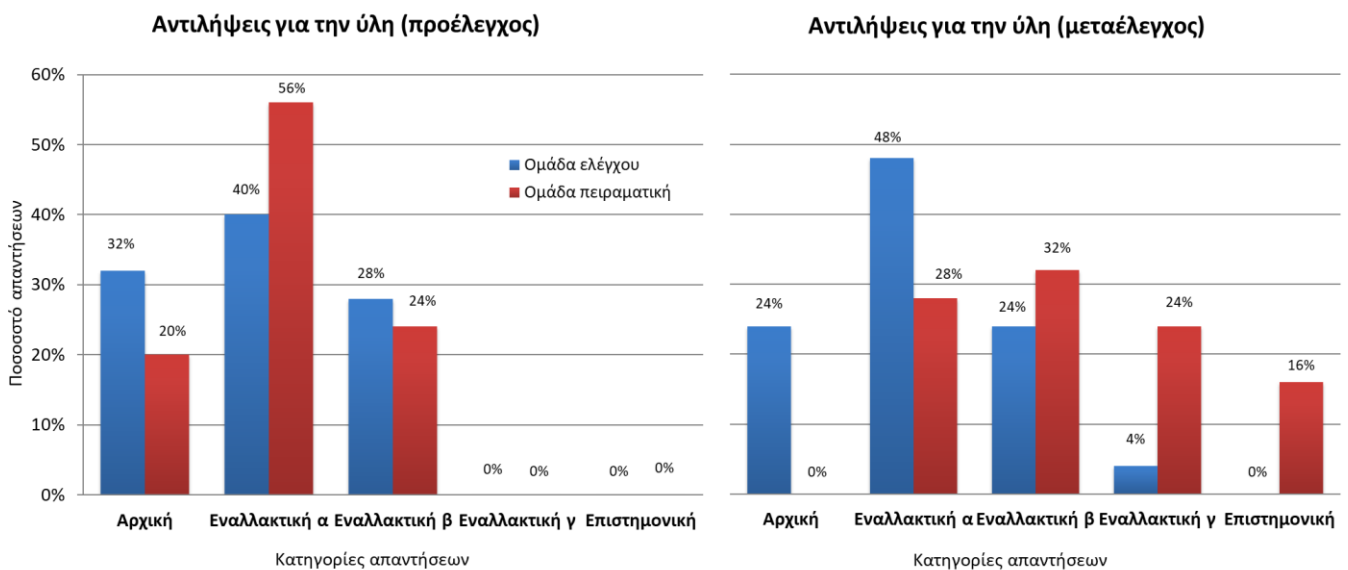
Εναλλακτική β: *ύλη ορατή.* Σύμφωνα με αυτή την αντίληψη, ακόμη και τα μικρά ελαφριά σώματα έχουν όγκο, μάζα και βάρος, ενώ τα μη ορατά σώματα εξακολουθούν να μην έχουν, η ύλη εξαφανίζεται όταν δεν είναι πια ορατή. Σε αυτή την περίπτωση η διάκριση ύλης / μη ύλης γίνεται με σχετική επιτυχία για τα περισσότερα στερεά και υγρά αντικείμενα αλλά τα αέρια ή τα μικρά σώματα πχ. καπνός ή σκουριά εξακολουθούν να τους δυσκολεύουν, η ύλη είναι στατική και συνεχής ή γίνεται αναφορά σε σωματίδια ύλης αλλά υπάρχουν παρανοήσεις ή ελλιπής κατανόηση από τους μαθητές. Οι απαντήσεις που συμφωνούσαν με αυτή την αντίληψη βαθμολογήθηκαν με (3).



Εναλλακτική γ: ύλη και μη ορατή. Οι απαντήσεις που εντάχθηκαν σε αυτό το μοντέλο αναδείκνυαν την αντίληψη ότι όλα τα σώματα, ακόμη και τα μικρά και τα μη ορατά, έχουν όγκο, μάζα και βάρος, η ύλη εξακολουθεί να υπάρχει ακόμη κι όταν δεν είναι ορατή. Οι μαθητές ως ιδιότητες της ύλης αναφέρουν τη μάζα, το βάρος, την πυκνότητα ή τον όγκο -σαν κανόνα- αλλά εξακολουθούν να συγχέουν τους όρους. Η διάκριση ύλης / μη ύλης γίνεται με σχετική επιτυχία, και θεωρείται ότι η ύλη αποτελείται από σωματίδια ύλης αλλά υπάρχουν παρανοήσεις ή ελλιπής κατανόηση). Οι απαντήσεις που είναι συμβατές με αυτή την αντίληψη βαθμολογήθηκαν με (4).

Επιστημονική: ύλη ως βασικό συστατικό. Στο πλαίσιο αυτής της αντίληψης η ύλη έχει βάρος και καταλαμβάνει χώρο (όλα τα σώματα έχουν όγκο, μάζα, βάρος, η ύλη είναι στοιχειώδες συστατικό που διατηρείται, δεν δημιουργείται / δεν καταστρέφεται ή εξαφανίζεται, τα υλικά διατηρούν την ταυτότητά τους και χαρακτηρίζονται από αντικειμενικές και μετρήσιμες χαρακτηριστικές ιδιότητες και όχι από τις μακροσκοπικές αντιληπτές ιδιότητες, ενώ γίνεται επιτυχής διάκριση ύλης / μη ύλης, η ύλη αποτελείται από σωματίδια μη ορατά σε εμάς, τα οποία κινούνται συνεχώς). Οι απαντήσεις που ήταν σύμφωνες με το επιστημονικό μοντέλο βαθμολογήθηκαν με (5).

Κάθε μαθητής και από τις δύο ομάδες (ελέγχου & πειραματική) εντάχθηκε σε μία διακριτή κατηγορία απαντήσεων και η κατανομή φαίνεται στα γραφήματα 1α και 1β. Παρατηρούμε ότι οι δύο ομάδες δεν παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές πριν την παρέμβαση, ενώ μετά την παρέμβαση ένα μεγάλο ποσοστό των μαθητών της πειραματικής ομάδας μετακινείται σε αντιλήψεις για την ύλη πιο κοντά στην επιστημονική, με το 16% μάλιστα να φτάνει στην επιστημονική, ενώ στην ομάδα ελέγχου το ποσοστό είναι πολύ μικρότερο και κανείς μαθητής δεν φτάνει στην επιστημονική αντίληψη, όπως φαίνεται και στα γραφήματα 1α και 1β.



Γραφήματα 1α & 1β. Ποσοστά απαντήσεων για τις Αντιλήψεις για την Ύλη (προέλεγχος - μεταέλεγχος)

Προκειμένου να ελέγξουμε στατιστικά αυτές τις διαφορές συγκρίναμε τις επιδόσεις των μαθητών των δύο ομάδων στον προέλεγχο και τον μεταέλεγχο με βάση την τακτική κλίμακα βαθμολόγησης (1-5) που αντιστοιχεί στις κατηγορίες απαντήσεων όπως περιγράφηκαν πιο πάνω. Με βάση αυτή την κλίμακα κάθε μαθητής βαθμολογήθηκε με τη διάμεσο (median) των απαντήσεών του σε προ-έλεγχο και μετα-έλεγχο στο σύνολο του έργου για την «Αντίληψη της Ύλης».

Αρχικά συγκρίναμε τις επιδόσεις των μαθητών από τις δύο ομάδες στον προέλεγχο, για να επιβεβαιώσουμε ότι το επίπεδο κατανόησης για την ύλη είναι περίπου το ίδιο και για τις δύο ομάδες. Το μη-παραμετρικό κριτήριο Mann-Whitney έδειξε ότι δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά ανάμεσα στις δύο ομάδες στον προέλεγχο [$U=294,000, p=0,698, \eta^2=0,003$], αφού οι επιδόσεις τους ήταν πολύ κοντινές (Median=2,00 και για τις δύο ομάδες). Στη συνέχεια ελέγξαμε αν οι συμμετέχοντες της κάθε ομάδας βελτίωσαν τις επιδόσεις τους σε αυτό το έργο από τον προέλεγχο στον μεταέλεγχο. Το μη-παραμετρικό

κριτήριο του Wilcoxon Signed Rank έδειξε στατιστικά σημαντική βελτίωση των επιδόσεων από τον προέλεγχο στον μεταέλεγχο μόνο για την πειραματική ομάδα (ομάδα ελέγχου: $Z=-1,732$, $p=0,083$, $r=0,346$ [Προέλεγχος Median: 2,00 – Μεταέλεγχος Median: 2,00] & πειραματική ομάδα: $Z=-4,137$, $p<0,001$, $r=0,827$ [Προέλεγχος Median: 2,00 – Μεταέλεγχος Median: 3,00]).

Έργα Ερμηνείας Φαινομένων

Στα έργα κατά τα οποία οι συμμετέχοντες καλούνταν να ερμηνεύσουν φαινόμενα για την ύλη, οι μαθητές και πάλι βάσει των απαντήσεών τους σε όλες τις ερωτήσεις ταξινομήθηκαν, όπως και στην προηγούμενη έρευνά μας, (Gikouliou & Vosniadou, 2006) σε διακριτές κατηγορίες. Τα κριτήριά μας για αυτή την κατηγοριοποίηση ήταν: αν οι μαθητές περιγράφουν απλώς τα φαινόμενα ή παρέχουν επίσης μια εξήγηση, αν η εξήγησή τους είναι σωστή ή με παρανοήσεις, αν η εξήγηση τους είναι μακροσκοπική ή μικροσκοπική, αν εντοπίζουν τις διαφορές εξάτμισης-βρασμού, πώς περιγράφουν τη σύνθεση του νερού και του πάγου/των υδρατμών, αν αποδέχονται ότι όλα αυτά αποτελούνται από τα ίδια συστατικά ή όχι, αν τα σκίτσα τους για το νερό, τον πάγο και τον υδρατμό είναι σωματιδιακά ή συνεχή και αν είναι διαφορετικά το ένα από το άλλο ή αντίστοιχα. Με βάση τα κριτήρια αυτά ορίστηκαν οι ακόλουθες τρεις κατηγορίες ερμηνείας φαινομένων:

Αρχική. Σύμφωνα με αυτή την αντίληψη ο πάγος/υδρατμός είναι διαφορετικός από το νερό. Οι απαντήσεις που ακολουθούν αυτή την αντίληψη βαθμολογήθηκαν με (1).

Εναλλακτική. Οι μαθητές που εντάχθηκαν σε αυτή την κατηγορία θεωρούν ότι πάγος/υδρατμός έχει κάτι κοινό με το νερό αλλά δεν είναι ίδια. Οι απαντήσεις που είναι σύμφωνες με αυτή την αντίληψη βαθμολογήθηκαν με (2).

Επιστημονική. Σε αυτή την κατηγορία εντάχθηκαν απαντήσεις που ήταν σύμφωνες με την αντίληψη ότι το νερό και ο πάγος/υδρατμός αποτελούνται από τα ίδια συστατικά, αποτελούνται από μόρια νερού H_2O . Οι απαντήσεις που ήταν σύμφωνες με αυτή την κατηγορία ερμηνείας φαινομένων βαθμολογήθηκαν με (3).

Κάθε μαθητής και από τις δύο ομάδες (ελέγχου & πειραματική) εντάχθηκε σε μία από τις τρεις διακριτές κατηγορίες ερμηνείας για καθένα από τα τρία φαινόμενα και η κατανομή φαίνεται στα γραφήματα 2α, 2β, 3α, 3β, και 4α, 4β. Παρατηρούμε ότι οι δύο ομάδες δεν παρουσιάζουν διαφορές πριν την παρέμβαση, ενώ μετά την παρέμβαση ένα μεγάλο ποσοστό των μαθητών της πειραματικής ομάδας μετακινείται από αρχικές σε εναλλακτικές ερμηνείες για την ύλη, με το 24% μάλιστα να φτάνει στην επιστημονική, ενώ στην ομάδα ελέγχου τα ποσοστά αυτά είναι πολύ μικρότερα.

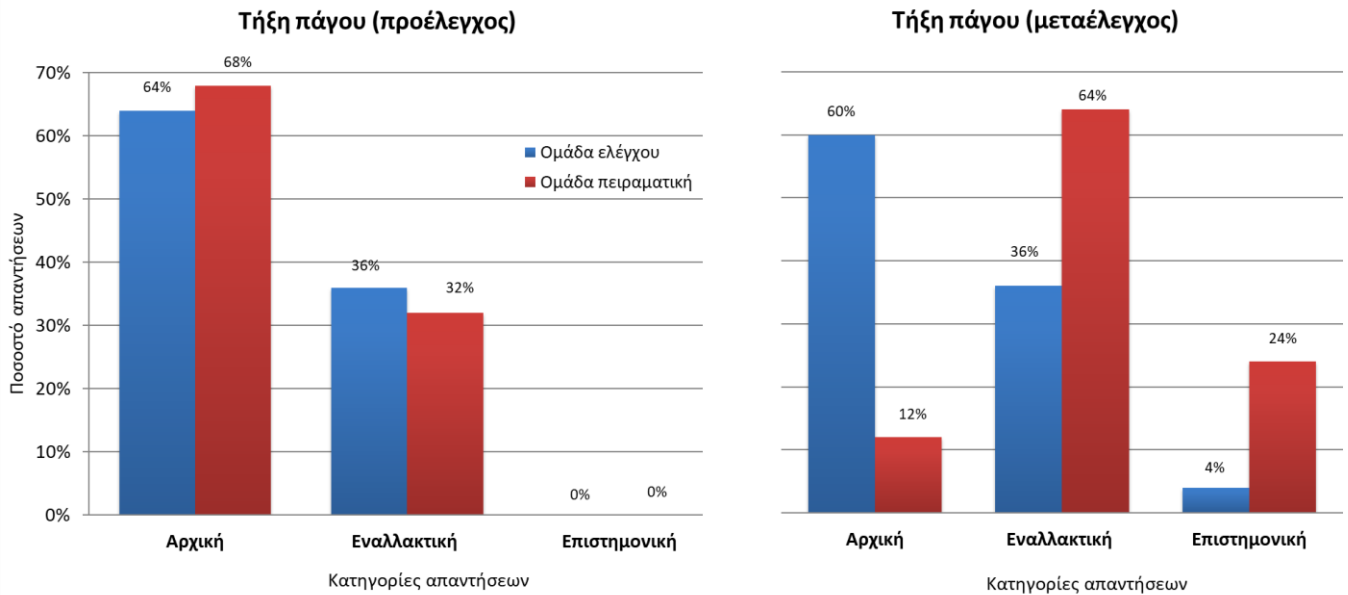
Προκειμένου να ελέγξουμε στατιστικά αυτές τις διαφορές συγκρίναμε τις επιδόσεις των μαθητών των δύο ομάδων στον προέλεγχο και τον μεταέλεγχο με βάση την τακτική κλίμακα βαθμολόγησης (1-3) που αντιστοιχεί στις κατηγορίες ερμηνείας φαινομένων. Με βάση αυτή την κλίμακα κάθε μαθητής βαθμολογήθηκε με τη διάμεσο (median) των απαντήσεών του σε προ-έλεγχο και μετα-έλεγχο στο σύνολο των έργων και σε κάθε έργο ξεχωριστά.

Αρχικά συγκρίναμε τις επιδόσεις των μαθητών από τις δύο ομάδες στον προέλεγχο, για να επιβεβαιώσουμε αν το επίπεδο ερμηνείας των φαινομένων είναι το ίδιο και για τις δύο ομάδες. Το μη-παραμετρικό κριτήριο Mann-Whitney έδειξε ότι δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά ανάμεσα στις δύο ομάδες στον προέλεγχο [$U=294,500$; $p=0,677$; $\eta^2=0,004$], αφού οι επιδόσεις τους ήταν πολύ κοντινές (Median=3.00 και για τις δύο ομάδες). Στη συνέχεια ελέγξαμε αν οι συμμετέχοντες της κάθε ομάδας βελτίωσαν τις επιδόσεις τους στο σύνολο αυτών των έργων από τον προέλεγχο στον μεταέλεγχο. Το μη-παραμετρικό κριτήριο του Wilcoxon Signed Rank έδειξε μόνο για την πειραματική ομάδα στατιστικά σημαντική βελτίωση των επιδόσεων από τον προέλεγχο στον μεταέλεγχο και όχι για την ομάδα ελέγχου (ομάδα ελέγχου: $Z=-1,282$; $p=0,200$; $r=0,256$ (Προέλεγχος Median: 3,00 – Μεταέλεγχος Median: 3,00) & πειραματική ομάδα: $Z=-4,308$; $p<0,001$; $r=0,862$ (Προέλεγχος Median: 3,00 – Μεταέλεγχος Median: 6,00).

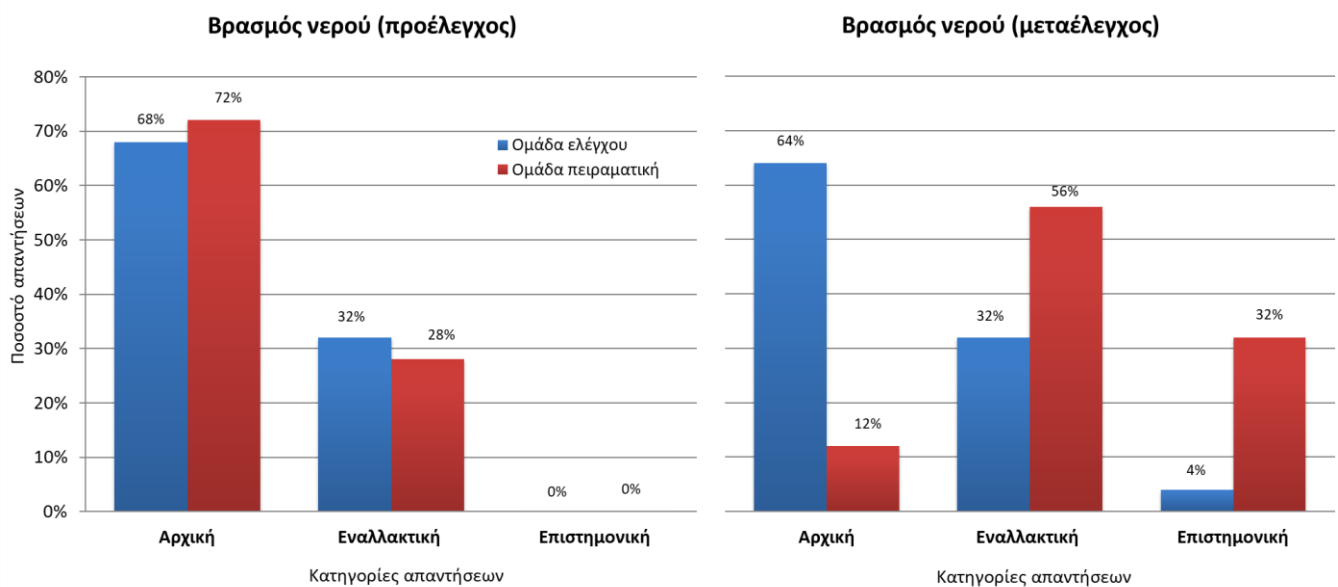
Συγκρίναμε επίσης τις επιδόσεις των μαθητών των δύο τμημάτων σε καθένα από αυτά τα έργα χωριστά πριν και μετά την παρέμβαση. Τα αποτελέσματα έδειξαν και πάλι στατιστικά σημαντική βελτίωση από τον προέλεγχο στον μεταέλεγχο μόνο για την πειραματική ομάδα (Τήξη πάγου: [Ομάδα ελέγχου $Z=-1,414$; $p=0,157$; $r=0,282$], [Πειραματική ομάδα $Z=-4,472$; $p<0,001$; $r=0,894$], Βρασμός νερού: [Ομάδα ελέγχου $Z=-0,816$;



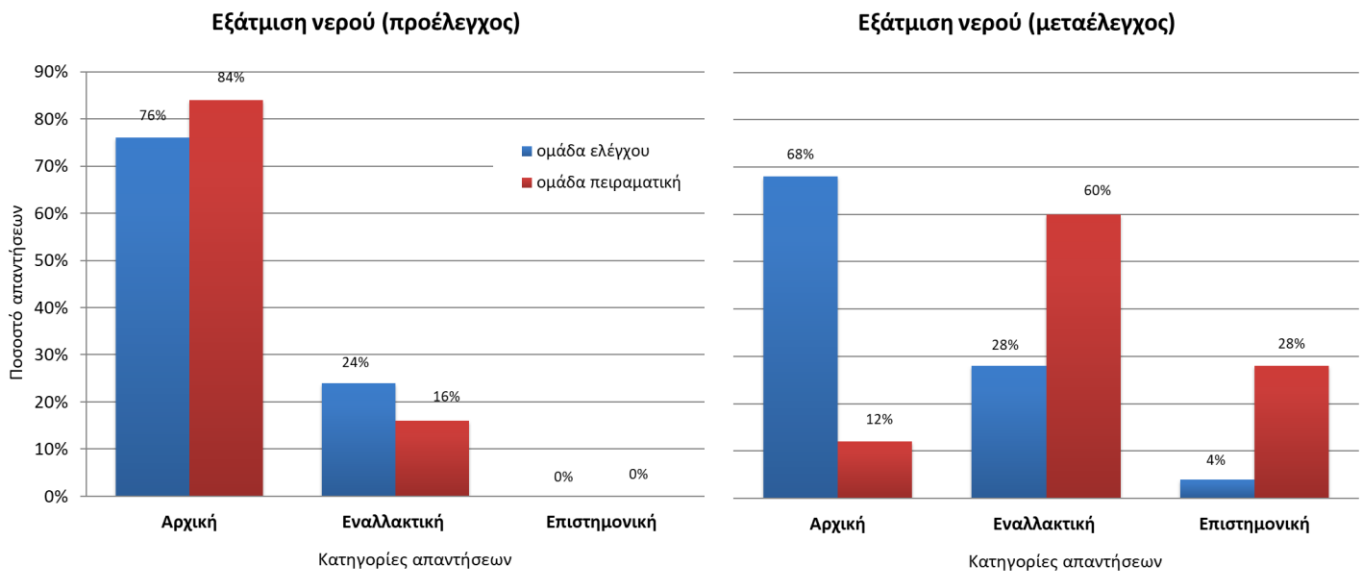
$p=0,414$; $r=0,163$,] [Πειραματική ομάδα $Z=-4,600$; $p<0,001$; $r=0,920$] και Εξάτμιση νερού: [Ομάδα ελέγχου $Z=-1,342$; $p=0,180$; $r=0,268$], [Πειραματική ομάδα $Z=-4,456$; $p<0,001$; $r=0,891$].



Γραφήματα 2α, 2β. Ποσοστά απαντήσεων για την Τήξη του Πάγου (προέλεγχος, μεταέλεγχος)



Γραφήματα 3α, 3β. Ποσοστά απαντήσεων για τον Βρασμό του Νερού (προέλεγχος, μεταέλεγχος)



Γραφήματα 4α, 4β. Ποσοστά απαντήσεων για την Εξάτμιση του Νερού (προέλεγχος, μεταέλεγχος)

Συσχετίσεις

Στη συνέχεια, προκειμένου να ελέγξουμε τη δεύτερη υπόθεσή μας, εξετάσαμε αν συσχετίζονται οι αντιλήψεις των μαθητών για την ύλη με τις ερμηνείες τους για τα τρία φυσικά φαινόμενα της τήξης, του βρασμού και της εξάτμισης.

Ο δείκτης συσχέτισης Pearson R Correlation Coefficient, που εφαρμόστηκε για τη διερεύνηση της σχέσης ανάμεσα στις αντιλήψεις για την ύλη και τις ερμηνείες των μαθητών για τα φαινόμενα, έδειξε στατιστικά σημαντικά αποτελέσματα. Αναλυτικότερα ο δείκτης συσχέτισης ήταν σημαντικός και για την ερμηνεία των τριών φαινομένων τόσο στον προέλεγχο: ερμηνεία τήξης ($r=0,768$, $p<0,001$), ερμηνεία βρασμού ($r=0,799$, $p<0,001$) και ερμηνεία εξάτμισης ($r=0,797$, $p<0,001$) όσο και στον μεταέλεγχο: ερμηνεία τήξης ($r=0,703$, $p<0,001$), ερμηνεία βρασμού ($r=0,666$, $p<0,001$) και ερμηνεία εξάτμισης ($r=0,555$, $p<0,001$).

Μια προσεκτική ματιά στα δεδομένα μας έδειξε ότι από το σύνολο των μαθητών που έδωσαν επιστημονική ερμηνεία για την τήξη του πάγου και τον βρασμό του νερού το 57% είχαν επιστημονικές αντιλήψεις για την ύλη και το υπόλοιπο 43% έδωσε εναλλακτικές-γ αντιλήψεις που προσέγγιζαν την επιστημονική. Αντίθετα, κανείς από τους μαθητές που έδωσαν αρχική ερμηνεία για την τήξη και τον βρασμό δεν είχε εναλλακτική-γ ή επιστημονική αντίληψη για την ύλη, αλλά αντίθετα είχαν αρχική ή εναλλακτική-α αντίληψη για την ύλη. Αντίστοιχα αποτελέσματα συγκεντρώθηκαν και για την εξάτμιση του νερού, όπου από το σύνολο των μαθητών που έδωσαν επιστημονικές εξηγήσεις του φαινομένου το 50% είχε επιστημονικές αντιλήψεις για την ύλη και το άλλο 50% εναλλακτικές-γ αντιλήψεις, ενώ κανένας από τους μαθητές με αρχικές ερμηνείες του φαινομένου δεν είχε επιστημονικές ή προχωρημένες αντιλήψεις της ύλης.

Τα σκίτσα των μαθητών

Η πρόοδος των μαθητών, ιδίως της πειραματικής ομάδας, είναι εμφανής και στα σκίτσα που ζωγράφισαν όταν τους ζητήθηκε να σχεδιάσουν το εσωτερικό ενός στερεού, ενός υγρού ή ενός αερίου σώματος. Στην αρχή, πολλοί μαθητές και από τις δύο ομάδες (ελέγχου & πειραματική) δεν ζωγράφισαν τίποτα ή σχεδίασαν σκίτσα που απεικονίζουν την ύλη στατική και συνεχή, απαντώντας ότι «δεν υπάρχει μέσα κάτι». Αντίθετα, στο τέλος της παρέμβασης αρκετοί μαθητές και των δύο ομάδων σχεδιάζουν και σκίτσα που απεικονίζουν (με λάθη ή χωρίς) τη σωματιδιακή φύση της ύλης, όπως φαίνεται και στον παρακάτω πίνακα.

Στην ομάδα ελέγχου οι περισσότεροι μαθητές ακόμη και μετά την παρέμβαση, επιμένουν σε αρχικές αναπαραστάσεις όπου η ύλη απεικονίζεται ως συνεχής και στατική. Μερικοί προχωρούν σε σωματιδιακά σκίτσα, όμως τα περισσότερα από αυτά κατατάσσονται στις συνθετικές αναπαραστάσεις, όπου η ύλη απεικονίζεται είτε ως συνεχής αλλά με κάτι μέσα της είτε με σωματίδια τα οποία φέρουν μακροσκοπικές ιδιότητες, όπως για παράδειγμα κρύα μόρια (για τον πάγο) ή ζεστά μόρια (για τον υδρατμό), μόρια που

υγροποιούνται κατά την τήξη, βράζουν κατά τον βρασμό ή εξατμίζονται κατά την εξάτμιση. Πρόκειται για συνθετικά μοντέλα που δημιουργούν οι μαθητές καθώς προσπαθούν να ενσωματώσουν τις επιστημονικές/αντιδιασθητικές πληροφορίες για τη σωματιδιακή δομή της ύλης που διδάχθηκαν στη διαισθητική ιδέα τους ότι η ύλη είναι συνεχής.

Πίνακας 1

Σύγκριση επίδοσης των τμημάτων στα Έργα κατά τον προέλεγχο και μεταέλεγχο

	Ομάδα Ελέγχου		Ομάδα Πειραματική	
	Προέλεγχος	Μεταέλεγχος	Προέλεγχος	Μεταέλεγχος
	Διάμεσος		Διάμεσος	
Αντιλήψεις για ύλη	2,00	2,00	2,00	3,00
Έργα Ερμηνείας Φαινομένων (συνολικά)	3,00	3,00	3,00	6,00
Τήξη πάγου	1,00	1,00	1,00	2,00
Βρασμός νερού	1,00	1,00	1,00	2,00
Εξάτμιση νερού	1,00	1,00	1,00	2,00

Πίνακας 2

Συσχετίσεις Αντιλήψεων για την Ύλη και την Ερμηνεία Φαινομένων (προέλεγχος/μεταέλεγχος)



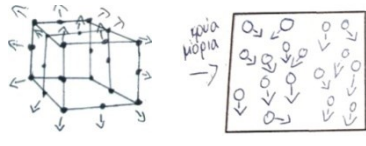

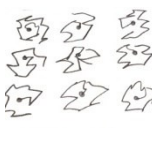
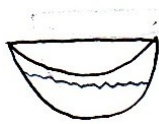





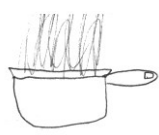





	Προέλεγχος			Μεταέλεγχος		
	τήξη πάγου	βρασμός νερού	εξάτμιση νερού	τήξη πάγου	βρασμός νερού	εξάτμιση νερού
Αντίληψη για την Ύλη (προέλεγχος)	0,70***	0,67***	0,56***			
Αντίληψη για την Ύλη (μεταέλεγχος)				0,77***	0,80***	0,80***

*** Η συσχέτιση θεωρείται στατιστικά σημαντική στο επίπεδο 0,001 του στατιστιού δείκτη *p*.

Αντίθετα, οι περισσότεροι μαθητές της πειραματικής ομάδας, μετά την παρέμβαση, σχεδιάζουν σωματιδιακά σκίτσα που κατατάσσονται κυρίως στις επιστημονικές αναπαραστάσεις, όπου η ύλη απεικονίζεται ως αποτελούμενη από σωματίδια που κινούνται συνεχώς. Επιπλέον, τα σκίτσα τους παρουσιάζουν συνέπεια στον τρόπο με τον οποίο απεικονίζονται τα μόρια του νερού στις τρεις καταστάσεις της ύλης προσπαθώντας μάλιστα να αποδώσουν τις διαφορετικές κινήσεις των μορίων στην κάθε κατάσταση.

Πίνακας 3

Σχέδια μαθητών για το εσωτερικό των σωμάτων πριν και μετά την παρέμβαση

	Πριν την παρέμβαση		Μετά την παρέμβαση			
	Αρχικές αναπαραστάσεις	Συνθετικές αναπαραστάσεις	Επιστημονικές αναπαραστάσεις			
Πάγος						
Νερό						
Υδρατμός						

Συμπεράσματα - Συζήτηση

Η έρευνά μας δείχνει ότι οι μαθητές που φοιτούν στις τελευταίες τάξεις του δημοτικού σχολείου μπορούν να κατανοήσουν το σωματιδιακό μοντέλο, όταν η εισαγωγή του γίνεται με τις κατάλληλες αναλογίες και προσομοιώσεις. Επιπλέον, οι μαθητές αυτοί είναι σε θέση να χρησιμοποιούν το σωματιδιακό μοντέλο για να ερμηνεύσουν τα μακροσκοπικά φαινόμενα.

Τα αποτελέσματα δείχνουν να επιβεβαιώνουν την υπόθεσή μας για την αποτελεσματικότητα της προτεινόμενης παρέμβασης, αφού διαπιστώθηκε ότι επηρέασε θετικά την επίδοση των μαθητών της πειραματικής ομάδας σε όλα τα έργα, καθώς σημείωσαν στατιστικά σημαντικά καλύτερες επιδόσεις από την ομάδα ελέγχου μετά την παρέμβαση, ενώ η αντίστοιχη βελτίωση της επίδοσης στην ομάδα ελέγχου ήταν μικρότερη.

Αναλυτικότερα, η σύγκριση των επιδόσεων των μαθητών των δύο ομάδων (ελέγχου - πειραματικής) πριν και μετά την παρέμβαση έδειξε ότι πριν από την παρέμβαση οι μαθητές των δύο ομάδων είχαν παρόμοια επίδοση σε όλα τα έργα, αλλά μετά την παρέμβαση η πειραματική ομάδα πέτυχε υψηλότερη επίδοση σε όλα τα έργα σε σύγκριση με την ομάδα ελέγχου. Αυτό υποδεικνύει ότι η παρέμβαση επηρέασε θετικά τους μαθητές και τους οδήγησε στο να αλλάξουν την αφελή/αντιδιδασθητική θεωρία τους για την ύλη καθώς και τις αντιδιδασθητικές εξηγήσεις τους για τα φυσικά φαινόμενα.

Πιο συγκεκριμένα, η πλειονότητα των μαθητών της πειραματικής ομάδας μετακινήθηκε από τις αρχικές τους αντιλήψεις για την ύλη σε εναλλακτικές αντιλήψεις με αρκετούς από αυτούς να φτάνουν στην επιστημονική αντίληψη (ενώ κανένας από τους μαθητές της ομάδας ελέγχου δεν έφτασε σε αυτό το επίπεδο). Επίσης μετακινήθηκαν από τις αρχικές εξηγήσεις τους για την τήξη, τον βρασμό και την εξάτμιση σε εναλλακτικές εξηγήσεις, με ένα σημαντικό ποσοστό από αυτούς να παρέχει επιστημονικές εξηγήσεις για τα τρία φαινόμενα (ενώ το αντίστοιχο ποσοστό για τους μαθητές της ομάδας ελέγχου ήταν πολύ μικρότερο).

Το ίδιο συμπέρασμα προκύπτει και από τη σύγκριση των επιδόσεων των μαθητών κάθε ομάδας ξεχωριστά πριν και μετά την παρέμβαση: Οι μαθητές της ομάδας ελέγχου δεν παρουσίασαν στατιστικώς σημαντική βελτίωση της επίδοσής τους μετά την παρέμβαση, σε αντίθεση με τους μαθητές της πειραματικής ομάδας οι οποίοι βελτίωσαν σημαντικά τις επιδόσεις τους σε όλα τα έργα.

Οι γραπτές αναφορές και η παρατήρηση κατά τη διάρκεια της διδασκαλίας έδειξαν επίσης ότι οι μαθητές αρχικά αντιμετώπισαν δυσκολία να αποδεχτούν την ιδέα της ύπαρξης μη ορατών σωματιδίων που συνθέτουν την ύλη. Για παράδειγμα, 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. Μετά την παρέμβαση, όμως, οι περισσότεροι μαθητές της πειραματικής ομάδας 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 αόρατη μορφή της. Επίσης, ενώ στην αρχή παρατηρείται έντονη δέσμευση 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, μετά την παρέμβαση πολλοί μαθητές της πειραματικής ομάδας 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.

Τα αποτελέσματα συμφωνούν με τα ευρήματα και άλλων ερευνητών (Wiser & Smith, 2008) που υποστηρίζουν ότι σε αυτή την ηλικία η μικροσκοπική προσέγγιση βοηθά τους μαθητές να εδραιώσουν την κατανόηση για την έννοια της ύλης και να προσεγγίσουν άλλες μακροσκοπικές έννοιες που δεν εξηγούνται εύκολα. Σύμφωνα με τη Wiser και τους συνεργάτες της (2013) μια σειρά από εννοιολογικές αλλαγές είναι απαραίτητες για να γεφυρωθεί το χάσμα ανάμεσα στην αρχική διαισθητική κατανόηση των μαθητών για την ύλη και τη σωματιδιακή θεωρία, καθώς οι μαθητές θα πρέπει να κάνουν την οντολογική διάκριση μεταξύ των αντιληπτών με τις αισθήσεις και των φυσικών ιδιοτήτων της ύλης και να κατανοήσουν πώς σχετίζονται μεταξύ τους.

Το εκπαιδευτικό μοντέλο του μικρόκοσμου είναι ένα χρήσιμο εργαλείο για την κατανόηση αυτή των επιστημονικών εννοιών και μπορεί να διευκολύνει την μαθησιακή διαδικασία και να βελτιστοποιήσει την ενοποίηση των θεματικών εννοιών και την ερμηνεία όλων των μακροσκοπικών φαινομένων δεδομένου ότι βοηθά τους μαθητές στην οπτικοποίηση των αντιδισθητικών πληροφοριών που δεν μπορούν να γίνουν αντιληπτές μέσω των αισθήσεων και να δημιουργήσουν νέες αναπαραστάσεις που προσεγγίζουν καλύτερα την επιστημονική σωματιδιακή θεωρία.

Τα αποτελέσματα και της παρούσας έρευνας υποστηρίζουν αυτή τη θέση δεδομένου ότι η παρέμβαση βοήθησε τους μαθητές της πειραματικής ομάδας να προσεγγίσουν την επιστημονική σωματιδιακή θεωρία για την ύλη και να ερμηνεύσουν τις φυσικές μεταβολές της ύλης με αναφορά στα σωματίδια που τη συνθέτουν. Ειδικότερα ο συνδυασμός των δύο προσεγγίσεων, μακροσκοπικής και μικροσκοπικής απεικόνισης, κατά την παρέμβαση αποδείχθηκε επιτυχής και αποτελεσματικός, καθώς οι μαθητές έδειξαν ιδιαίτερη ανταπόκριση και αναζητούσαν τη μικροσκοπική ερμηνεία κάθε φορά που γινόταν αναφορά σε μακροσκοπικά φαινόμενα και τις περισσότερες φορές δοκίμαζαν από μόνοι τους να ερμηνεύσουν μικροσκοπικά τα φαινόμενα που μελετούσαν.

Η αξιοποίηση του μοντέλου του μικρόκοσμου τους βοήθησε να κάνουν την οντολογική διάκριση μεταξύ των αντιληπτών με τις αισθήσεις μακροσκοπικών ιδιοτήτων της ύλης και των ιδιοτήτων των σωματιδίων του μικρόκοσμου, η οποία επηρέασε σε σημαντικό βαθμό την κατανόησή τους για τις φυσικές μεταμορφώσεις της ύλης. 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 υλικών.

Τα αποτελέσματα αυτά συμφωνούν και με τις προσπάθειες που γίνονται διεθνώς για την ομαλή εισαγωγή της σωματιδιακής θεωρίας στην πρωτοβάθμια εκπαίδευση προβάλλοντας τη σημασία της για την εκπαιδευτική διαδικασία καθώς βοηθά τους μαθητές να προσεγγίσουν φαινόμενα για τα οποία δεν έχουν εποπτεία (Καλκάνης 2007-2013· Löfgren & Hellén 2009). Μια αρχική έκδοση του μοντέλου του μικρόκοσμου που εξηγεί τις φυσικές μεταβολές της ύλης προτείνεται και από άλλους ερευνητές ως κατάλληλη για τους μαθητές της πρωτοβάθμιας εκπαίδευσης, ακόμη και από την ηλικία των εννέα ετών και φαίνεται να αποτελεί

προϋπόθεση για την κατανόηση της δομής του ατόμου που διδάσκεται αργότερα (Papageorgiou & Johnson, 2005).

Τα αποτελέσματά μας δείχνουν να επιβεβαιώνουν και τη δεύτερη υπόθεσή μας αφού ο δείκτης συσχέτισης Pearson R Correlation Coefficient που υπολογίστηκε έδειξε υψηλό βαθμό συσχέτισης μεταξύ των αντιλήψεων των μαθητών για την ύλη και των ερμηνειών τους για την τήξη, τον βρασμό και την εξάτμιση, τόσο στον προέλεγχο όσο και στον μεταέλεγχο. Οι μαθητές, δηλαδή, που έχουν διαμορφώσει μια αφελή/διαισθητική θεωρία για την ύλη αντιμετωπίζουν μεγαλύτερες δυσκολίες στην εξήγηση των φυσικών φαινομένων σε σχέση με τους μαθητές των οποίων η θεωρία για την ύλη προσεγγίζει περισσότερο την επιστημονική/αντιδιαισθητική.

Τα αποτελέσματα αυτά συμφωνούν με το θεωρητικό μας πλαίσιο για την εννοιολογική αλλαγή, σύμφωνα με το οποίο ορισμένες έννοιες είναι δύσκολο να γίνουν κατανοητές από τους μαθητές γιατί παραβιάζουν τις βασικές αρχές της αφελούς/διαισθητικής φυσικής τους (Vosniadou et al., 2008· Vosniadou & Mason, 2012). Στην προσπάθειά τους να κατανοήσουν τις αντιδιαισθητικές επιστημονικές έννοιες που έρχονται σε αντίφαση με τα διαισθητικά επεξηγηματικά τους πλαίσια οι μηχανισμοί του εμπλουτισμού δεν είναι αποτελεσματικοί και απαιτείται μια αναδιοργάνωση των αρχικών γνωστικών τους δομών.

Η έρευνά μας εντάσσεται στο πλαίσιο μελετών που εξετάζουν τρόπους βελτίωσης της μαθησιακής διαδικασίας και διευκόλυνσης της εννοιολογικής αλλαγής. Η δυσκολία πολλών μαθητών να κατανοήσουν τις αντιδιαισθητικές επιστημονικές έννοιες ενισχύεται από το γεγονός ότι η διαδικασία της εννοιολογικής αλλαγής πολλές φορές δεν λαμβάνεται υπόψη κατά τη διάρκεια της διδασκαλίας, διότι πολλοί εκπαιδευτικοί πιστεύουν ότι οι νέες πληροφορίες που παρέχονται στους μαθητές μπορούν να ενσωματωθούν εύκολα στο υπάρχον πλαίσιο τους και δεν αντιλαμβάνονται ότι μερικές φορές η υπάρχουσα γνώση μπορεί να σταθεί εμπόδιο, όταν οι νέες πληροφορίες δεν είναι συμβατές με τις υπάρχουσες (Vosniadou et al., 2008).

Η έρευνα αυτή υποστηρίζει την άποψη ότι το ενοποιητικό μοντέλο του μικρόκοσμου μπορεί να αποτελέσει ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο για την προώθηση της εννοιολογικής αλλαγής για την ύλη, ακόμη και σε μαθητές 10-11 ετών, όταν εντάσσεται σε μια παρέμβαση η οποία λαμβάνει υπόψη τις διαισθητικές αντιλήψεις των μαθητών για την ύλη και την προτεινόμενη σειρά των μακροσκοπικών εννοιών που απαιτούνται για την επιτυχή εισαγωγή της αντιδιαισθητικής σωματιδιακής θεωρίας, η οποία επιτυγχάνεται με τις κατάλληλες αναλογίες και προσομοιώσεις του μοντέλου του μικρόκοσμου.

Βιβλιογραφία

- Andersson, B. (1990). Pupils' conceptions of matter and its transformations (age 12-16). *Studies in Science Education*, 18, 53-85. <https://doi.org/10.1080/03057269008559981>
- Αποστολάκης, Ε., Παναγοπούλου, Ε., Σάββας, Στ., Τσαγλιώτης, Ν., Μακρή, Β., Πανταζής, Γ., Πετρέα, Κ., Σωτηρίου, Σ., Τόλιας, Β., Τσαγκογέωργα, Α., & Καλκάνης, Γ., (2006). "ΦΥΣΙΚΑ - Ερευνώ και Ανακαλύπτω" - "SCIENCE - [I Research and I Discover", Ε' και Στ' Δημοτικού - Βιβλίο Μαθητή - Τετράδιο Εργασιών - Βιβλίο Δασκάλου], Υπουργείο Εθνικής Παιδείας και Θρησκευμάτων, Παιδαγωγικό Ινστιτούτο, Οργανισμός Εκδόσεως Διδακτικών Βιβλίων.
- Ardac, D., & Akaygun, S., (2005). Using Static and Dynamic Visuals to Represent Chemical Change at Molecular Level. *International Journal of Science Education*, 27(11), 1269-1298. <https://doi.org/10.1080/09500690500102284>
- Beveridge, M., (1985). The Development of young children understanding of the process of evaporation. *British Journal of Educational Psychology*, 55, 84-90. <https://doi.org/10.1111/j.2044-8279.1985.tb02611.x>
- Βλάχος, Ι. Α. (1999). *Επικοινωνιακή προσέγγιση της διδασκαλίας της σωματιδιακής δομής της ύλης στην Πρωτοβάθμια Εκπαίδευση* [Αδημοσίευτη Διδακτορική Διατριβή]. Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών.
- Βοσνιάδου, Στ., (2019). Η Θεωρία Πλαισίου και οι εκπαιδευτικές Επιδράσεις της. Στο Ν. Κυριακοπούλου & Ε. Σκοπελίτη (Επ.) *Νόηση και Μάθηση υπό το Πρίσμα της Εννοιολογικής Αλλαγής, Σύγχρονες έρευνες και Προβληματισμοί*, (σελ. 19-34). Gutenberg.

- Βοσνιάδου, Στ., (2006). Περιβάλλοντα Μάθησης που Διευκολύνουν την Αναδιοργάνωση των Ιδεών για Μάθηση στις Φυσικές Επιστήμες. Στο Σ. Βοσνιάδου (Επ.) *Σχεδιάζοντας Περιβάλλοντα Μάθησης Υποστηριζόμενα από τις Σύγχρονες Τεχνολογίες*, (σελ. 253-268). Gutenberg.
- Bouwma - Gearhart J., Stewart J., & Brown K., (2009). Student Misapplication of a Gas-like Model to Explain Particle Movement in Heated Solids: Implications for curriculum and instruction towards students' creation and revision of accurate explanatory models. *International Journal of Science Education*, 31(9), 1157-1174. <https://doi.org/10.1080/09500690902736325>
- Carey, S. (1985). *Conceptual Change in Childhood*. MIT Press.
- Clement, J. (2013). Roles for explanatory models and analogies in conceptual change. In S. Vosniadou (Ed.), *International handbook of research on conceptual change*, Second Edition, (pp. 412-446). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203154472>
- Γκικοπούλου Ο., (2013). *Εννοιολογική Αλλαγή στις Φυσικές Επιστήμες* [Αδημοσίευτη Διδακτορική Διατριβή]. Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών.
- Δρόλαπας, Αν., Γκικοπούλου Ο., & Καλκάνης, Γ. Θ. (2017). Ανάπτυξη λογισμικού ανεξαρτήτου πλατφόρμας για τη διδασκαλία μικροσκοπικών φαινομένων της ύλης στην πρωτοβάθμια και δευτεροβάθμια εκπαίδευση. Στο Δ. Σταύρου, Αμ. Μιχαηλίδη, & Αθ. Κοκολάκη (Επ.) *Γεφυρώνοντας το Χάσμα μεταξύ Φυσικών Επιστημών, Κοινωνίας και Εκπαιδευτικής Πράξης - Πρακτικά 10ου Πανελληνίου Συνεδρίου Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών και Νέων Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση*, (σελ. 340-345). ΕΝΕΦΕΤ. <http://synedrio2017.enepnet.gr>
- Driver, R., Guesne, E., & Tiberghien, A. (1994). *Οι ιδέες των παιδιών στις Φυσικές Επιστήμες*. Τροχαλία.
- Eshach, H., & Fried, M., (2005). Should science be taught in early childhood ? *Journal of Science Education and Technology*, 14 (3), 315-336. <https://doi.org/10.1007/s10956-005-7198-9>
- Gikopoulou, R. & Vosniadou, S. (2006, June 14-17). *Categorizations of Substances in Relation to Explanations of Changes in the State of Matter*. In the 5th European Symposium on Conceptual Change. University of Stockholm, Sweden. <http://www.ccsig2006.su.se>
- Gikopoulou R. & Vosniadou S. (2012, September 1-4). Designing Learning Environments for Teaching Theory of Matter in Primary school. In the 8th International Conference on Conceptual Change, University of Trier, Germany.
- Griffiths, A., & Preston, K., (1992). Grade-12 Students' misconceptions relating to fundamental characteristics of atoms and molecules. *Journal of Research in Science Teaching*, 29, 611-628. <https://doi.org/10.1002/tea.3660290609>
- 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), 352-379. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-237X\(200005\)84:3<352::AID-SCE3>3.0.CO;2-J](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-237X(200005)84:3<352::AID-SCE3>3.0.CO;2-J)
- Johnson, P. (1998). Progression in children's understanding of a 'basic' particle theory: a longitudinal study. *International Journal of Science Education*, 20(4), 393-412. <https://doi.org/10.1080/0950069980200402>
- Jones, R., (2009). *Νανόκοσμος - ο υπέροχος άγνωστος κόσμος της φύσης*. Εκδόσεις ΚΑΠΙΟΝ.
- Καλκάνης, Γ., (2006). *Δυναμικές Προσομοιώσεις του μικρόκοσμου*. Ανακτήθηκε από: <http://microkosmos.uoa.gr> (τα ΦΥΣΙΚΑ Ε΄ και Στ΄ Δημοτικού).
- 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.
- Kalkanis, G., (2013). From the Scientific to the Educational: Using Monte Carlo Simulations of the Microkosmos for Science Education by Inquiry. In Tsaparlis G., Sevan H. (eds) *Concepts of Matter in Science Education. Innovations in Science Education and Technology* (vol 1, pp. 301-315). Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-007-5914-5_14
- 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. <https://doi.org/10.1002/tea.3660300304>

- Löfgren, L., & Hellden, G. (2009). A Longitudinal Study Showing how Students use a Molecule Concept when Explaining Everyday Situations. *International Journal of Science Education*, 31(12), 1631-1655. <https://doi.org/10.1080/09500690802154850>
- McCloskey, M. (1983). Intuitive Physics. *Scientific American*, 248(4), 122-130. <https://doi.org/10.1038/scientificamericano483-122>
- Merritt, J., Krajcik J. (2013) Learning Progression Developed to Support Students in Building a Particle Model of Matter. In: Tsaparlis G., Sevian H. (eds) *Concepts of Matter in Science Education. Innovations in Science Education and Technology* (vol 19, pp.11-45). Springer. https://doi.org/10.1007/978-94-007-5914-5_2
- Nakhleh, M., & Samarapungavan, A., (1999). Elementary school children's beliefs about matter. *Journal of Research in Science Teaching*, 36, 777-805. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-2736\(199909\)36:7<777::AID-TEA4>3.0.CO;2-Z](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-2736(199909)36:7<777::AID-TEA4>3.0.CO;2-Z)
- Nakhleh, M., Samarapungavan, A., & Saglam, Y., (2005). Middle School Students' Beliefs about Matter. *Journal of Research in Science Teaching*, 42(5), 581-612. <https://doi.org/10.1002/tea.20065>
- Nussbaum, J., (1985). Η σωματιδιακή μορφή της ύλης στην αέρια κατάσταση. Στο Driver R. et al. (Επ.) *Οι ιδέες των παιδιών στις Φυσικές Επιστήμες* (σελ. 180-207). Τροχαλία.
- Osborne, R., & Cosgrove, M., (1983). Children's' conceptions of the changes of the state of water. *Journal of research in Science Teaching*, 20, 825-83. <https://doi.org/10.1002/tea.3660200905>
- Papageorgiou, G., & Johnson, P., (2005). Do Particle Ideas Help or Hinder Pupils' Understanding of Pehnomena?, *International Journal of Science Education*, 27(11), 1299-1317. <https://doi.org/10.1080/09500690500102698>
- 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*, 26(2), 165-183. <https://doi.org/10.1080/02635140802037336>
- Piaget, J., & Inhelder, B., (1974). *The child's construction of quantities*. London: Routledge and Kegan Paul. <https://doi.org/10.1017/S0033291700057068>
- Pozo, R.M.D. (2001). Prospective teachers' ideas about the relationships between concepts describing the composition of describing the composition of matter. *International Journal of Science Education*, 23(4), 353-371. <https://doi.org/10.1080/095006901300069084>
- Pozo, J., & 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. https://doi.org/10.1207/s1532690xci2303_2
- 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*, 25 (4), p. 337-398. <https://doi.org/10.1080/07370000701632363>
- 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, 177-237. [https://doi.org/10.1016/0010-0277\(85\)90025-3](https://doi.org/10.1016/0010-0277(85)90025-3)
- Smith, C. & Wiser, M. (2013). Learning and Teaching about Matter in Elementary Grades: What Conceptual Changes Are Needed?. In Vosniadou S. (Ed). *International Handbook of Research on Conceptual Change*, 2nd edition (pp. 159-176). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203154472>
- 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. <https://doi.org/10.1002/sce.10069>
- Stavy, R., Stachel, D., (1985). Children's ideas about "solid" and "liquid". *European Journal of Education*, 7, 407-421. <https://doi.org/10.1080/0140528850070409>
- 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. <https://doi.org/10.1039/C1RP90030G>

- 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, 30th conference of the international Group of Psychology and Mathematics Education, vol. 1*, (pp. 155-159). PME.
- Vosniadou, S. & Brewer, W.F. (1992). Mental Models of the Earth: A study of conceptual change in childhood. *Cognitive Psychology*, 24, 535-585. [https://doi.org/10.1016/0010-0285\(92\)90018-W](https://doi.org/10.1016/0010-0285(92)90018-W)
- Vosniadou, S., & Brewer, W.F. (1994). Mental Models of the day/night cycle. *Cognitive Science*, 18, 123-183. [https://doi.org/10.1016/0364-0213\(94\)90022-1](https://doi.org/10.1016/0364-0213(94)90022-1)
- 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). 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). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203874813>
- Vosniadou, S., & Verschaffel, L. (2004) . Extending the conceptual change approach to mathematics learning and teaching. *Learning and Instruction*, 14, 445 -451. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2004.06.014>
- Vosniadou, S., & Mason, L. (2012). Conceptual Change induced by Instruction: A Complex Interplay of Multiple Factors. In K. R. Harris, S. Graham & T. Urdan (Editors-in-Chief), *APA Educational Handbook, Vol. 2, Individual Differences and Cultural and Contextual Factors* (pp. 221-246). American Psychological Association. <https://doi.org/10.1037/13274-000>
- Wiser, M., Frazier, K., & Fox, V. (2013). At the Beginning Was Amount of Material: A Learning Progression for Matter for Early Elementary Grades. In Tsaparlis G.& Sevian H. (Eds), *Concepts of Matter in Science Education. Springer Series Innovations in Science Education and Technology*, vol. 19 (pp. 95-122). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-5914-5>
- Wiser, M., & Smith, C., (2008). Teaching about matter in grades K-8: When should the atomic-molecular theory be introduced?, In Vosniadou S. (Ed). *International Handbook of Research on Conceptual Change*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203874813>
- Wiser, M., & Smith, C., (2013). Learning and Teaching about Matter in the Middle School Years: How Can the Atomic-Molecular Theory be Meaningfully Introduced? In S. Vosniadou (Ed.), *International handbook of research on conceptual change, Second Edition*, (pp. 177-194). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203154472>
- Yeziarski, E. J., & Birk, J. P. (2006). Misconceptions about the particulate nature of matter. *Journal of Chemical Education*, 83 (6), 954-960. <https://doi.org/10.1021/ed083p954>

Παράρτημα – Ερωτηματολόγια Έργων

Έργο για τις Αντιλήψεις των Μαθητών για την Ύλη

1. Αυτό το κομμάτι φελιζόλ έχει βάρος;

ναι όχι

Γιατί;

2. Αυτό το κομμάτι φελιζόλ έχει μάζα (δηλαδή ύλη);

ναι όχι

Γιατί;

3. Αυτό το κομμάτι φελιζόλ έχει όγκο (δηλαδή καταλαμβάνει χώρο);

ναι όχι

Γιατί;

4. Αυτό το κομμάτι φελιζόλ έχει βάρος;

ναι όχι

Γιατί;

5. Αυτό το κομμάτι φελιζόλ έχει μάζα (δηλαδή ύλη);

ναι όχι

Γιατί;

6. Αυτό το κομμάτι φελιζόλ έχει όγκο (δηλαδή καταλαμβάνει χώρο);

ναι όχι

Γιατί;

7α. Μπορεί να υπάρξει ένα κομμάτι φελιζόλ τόσο μικρό που να μην μπορούμε να το δούμε;

ναι όχι

Γιατί;

7β. Αυτό το κομμάτι θα έχει βάρος;

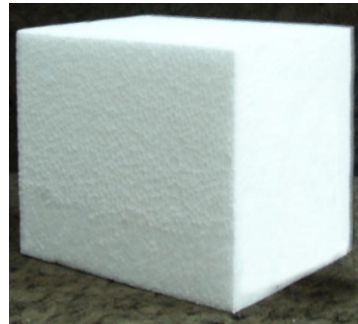
ναι όχι

Γιατί;

7γ. Αυτό το κομμάτι θα έχει όγκο, δηλαδή θα καταλαμβάνει χώρο;

ναι όχι

Γιατί;



8. Αυτό το κομμάτι πλαστελίνης έχει βάρος:

ναι όχι



Γιατί;

9α. 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;

9β. Άλλαξε η ποσότητα ύλης 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 σακούλι ζάχαρης περιέχει πάρα πολλούς κόκκους ζάχαρης και είναι βαρύ.

α. Ένας σωρός από 10 κόκκους ζάχαρης έχει βάρος; Γιατί;

.....

β. Ένας κόκκος ζάχαρης έχει βάρος; Γιατί;

.....



11. Μέσα σε ένα ποτήρι νερό ρίχνουμε μια κουταλιά ζάχαρη και ανακατεύουμε καλά.

Μετά από λίγο δεν βλέπουμε πια τη ζάχαρη. Τι συμβαίνει στη ζάχαρη;

.....

.....



12. Ποια από τα παρακάτω αντικείμενα είναι ύλη και ποια όχι;

πέτρα, σκύλος, θερμότητα, αέρας, χαρά, σκόνη από κμωλία, επιθυμία, νερό, ηλεκτρισμός, καπνός, ιδέα, σκουριά

Ύλη	Όχι ύλη

13. Ποιες είναι οι ιδιότητες της ύλης; Πώς μπορούμε να καταλάβουμε αν κάτι είναι φτιαγμένο από ύλη;

.....

14. 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 το ζωγραφίσεις;

Μέσα στην πέτρα	Μέσα στο νερό	Μέσα στον αέρα

Έργα 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:

α) το παγάκι	β) 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 πώς νομίζεις ότι είναι μέσα:

α) το νερό	β) ο υδρατμός
------------	---------------

Γ) Εξάτμιση Νερού

1) Αν αφήσεις ένα δοχείο με νερό στον ήλιο μετά από λίγη ώρα η στάθμη του νερού θα έχει κατέβει. Τι συμβαίνει;

2) Πού πάει το νερό; Γιατί ελαττώνεται;

3) Από τι αποτελείται το νερό;

4) Τι νομίζεις ότι υπάρχει πάνω από το νερό;

5) Σχεδιάσε πώς νομίζεις ότι είναι μέσα:



α) το νερό	β) αυτό που βρίσκεται πάνω από το νερό
------------	--

Using the model of microcosm in elementary school making ‘visible’ the invisible particles of matter

Ourania GIKOPOULOU¹

¹ Pedagogical Department of Primary Education, National and Kapodistrian University of Athens

KEYWORDS

conceptual change,
science education,
explanations,
model of microcosm,
macroscopic phenomena

ABSTRACT

Numerous studies support the educational model of microcosm as a useful tool for understanding and interpreting macroscopic phenomena. Consequently, an international attempt is made to apply educational approaches of this model or of the particulate nature of matter, as most commonly reported in the international bibliography. However, introducing the model of microcosm seems to be a difficult and long-lasting issue as it involves non-intuitive ideas and it refers to a scale that students are unable to understand using their senses. For this reason, a worldwide effort to find the best educational approach for students as young as possible is currently attempted. In this study, an intervention was implemented, attempting to introduce the model of microcosm to primary education by applying analogies, sequential enlargements of objects, simultaneous macroscopic and microscopic imaging and dynamic simulations of microcosm, in order to address the difficulties of the non-intuitive ideas and especially of the invisible particles that compose matter. The research was focused on whether primary school students were capable, after the proposed intervention, of understanding this model and apply it in the explanation of macroscopic phenomena. The sample consisted of 50 students in the 5th grade. The results showed that students of this age are in a position to understand the model of microcosm thus, additionally facilitating the understanding and explanation of the macroscopic phenomena (e.g. physical change).

CORRESPONDENCE

Ourania Gikopoulou
28th Octovriou 34 street,
Argyroypoli 16452
gikopoulou@gmail.com