

Το σωματιδιακό μοντέλο της ύλης – Διδακτική πρόκληση για την στ' τάξη του δημοτικού σχολείου

Παρασκευή Νταλαούτη¹, Γεώργιος Τσαπαρλής²

¹ Πρωτοβάθμια Εκπαίδευση, Περιβαλλοντική Εκπαίδευση Ιωαννίνων, pantala@sch.gr

² Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων, Τμήμα Χημείας, Τομέας Φυσικοχημείας, gtseper@cc.uoi.gr

Περίληψη. Αντικείμενο της έρευνας είναι η αξιολόγηση της κατανόησης της σωματιδιακής δομής της ύλης από μαθητές στ' τάξης δημοτικού σχολείου. Οι μαθητές παρακολούθησαν σειρά μαθημάτων εποικοδομητικής εισαγωγής της έννοιας του μορίου, μέσω μοντελοποίησης επιλεγμένων μακροσκοπικών φαινομένων χρησιμοποιώντας πειράματα, επιδείξεις, αναλογίες και προσομοιώσεις σε Η/Υ. Η έρευνα έδειξε ότι οι μαθητές χρησιμοποιούν το σωματιδιακό μοντέλο με άνεση σε σωματιδιακό πλαίσιο σε σχέση με το καθημερινό και σε γνωστά θέματα, ενώ δυσκολεύονται να το χρησιμοποιήσουν σε ερωτήσεις πρόβλεψης. Σημαντική συμβολή των σωματιδιακών μοντέλων παρατηρήθηκε στην κατανόηση διατήρησης μάζας. Δεν παρατηρήθηκαν διαφορές μεταξύ επιδόσεων αγοριών και κοριτσιών.

Εισαγωγή

Το σωματιδιακό μοντέλο της ύλης είναι κεντρική ιδέα της επιστήμης και ένα κεντρικό θέμα στα προγράμματα της μέσης εκπαίδευσης [American Association for the Advancement of Science (AAAS) 1993, National Research Council 1996, Stern & Ahlgren 2002]. Το μοντέλο μπορεί να ενοποιεί τα ποικίλα φαινόμενα και να αναπαριστά, να προβλέπει και να εξηγεί άλλα, δίνοντας απλότητα και οικονομία στα προγράμματα (de Vos 1990, Lee et al. 1993, Βλάχος 1999). Βελτιώνει επίσης τις επιδόσεις των κοριτσιών και στο μοριακό και στο συμβολικό αναπαραστασιακό επίπεδο (Bunce & Gabel 2002). Η κατανόηση της μοριακής φύσης της ύλης είναι ουσιαστική στην εκμάθηση: εννοιών χημείας (Anderson 1986, Hackling & Garnett 1986) - των καταστάσεων της ύλης - των αλλαγών που συνδέονται με τη θέρμανση ή την ψύξη μιας ουσίας - της θερμικής διαστολής και των αλλαγών φυσικής κατάστασης (Bar 1989, Johnson, 1998) – της διάλυσης (Blanco & Prieto 1997).

Υπάρχει μια ποικιλία προσεγγίσεων στη διδασκαλία του σωματιδιακού μοντέλου στο γυμνάσιο. Σε πολλά εγχειρίδια, αυτό παρουσιάζεται ως ένα γνωστό δεδομένο και στη συνέχεια γίνεται προσπάθεια εξήγησης ποικίλων φαινομένων, πολλά από τα οποία αναφέρονται στην αέρια κατάσταση, η οποία όμως δεν κατανοείται από τους μαθητές (Lee et al. 1993, Smith et al. 1997). Διδασκαλία σωματιδιακής θεωρίας βασισμένη εξολοκλήρου στα αέρια προτείνεται για μελέτη μεταβολών κενού χώρου και κίνηση σωματιδίων (Meheut & Chomat 1990), καθώς και εξήγηση της συμπεστότητας και της ελαστικότητας του αέρα (Nussbaum & Novick 1978, Nussbaum 1997).

Μια εκτεταμένη εισαγωγή στο σωματιδιακό μοντέλο βασισμένη σε εποικοδομητικές προοπτικές μάθησης και σε συζητήσεις χαρακτηριστικών σχετικών επιστημολογικών θεωριών έγινε στα πλαίσια του Children's Learning in Science Project (1987). Οι μαθητές ήταν εξοικειωμένοι με τις έννοιες του ατόμου και του μορίου, αλλά διατηρούσαν εναλλακτικές ιδέες και δυσκολεύτηκαν να συνδέσουν "θεωρίες- παιχνίδια" και επιστημονικές

δραστηριότητες, ενώ δεν υπήρχε καμιά αξιολόγηση της επίδρασης του προγράμματος στους μαθητές ατομικά.

Κάποια προγράμματα σπουδών προσπαθούν να εισαγάγουν το σωματιδιακό μοντέλο μέσω ανοικτών δραστηριοτήτων, παρουσιάζοντας στους μαθητές ενδιαφέροντα φαινόμενα για εξήγηση και ενθαρρύνοντάς τους να δημιουργήσουν και να εκτιμήσουν ανταγωνιστικές εξηγήσεις γι' αυτά (Berger et al. 1979). Ωστόσο, δεν πείθουν τους μαθητές ότι η σωματιδιακή θεωρία είναι καλύτερη από τα μοντέλα των μαθητών ή δεν βοηθούν τους μαθητές να κατανοήσουν τα πολλαπλά στοιχεία του μοντέλου (Berkheimer et al. 1990). Ένα αναθεωρημένο πρόγραμμα (Berkheimer et al. 1988), που αφιέρωσε σχεδόν τόσο χρόνο για τη διδασκαλία των μακροσκοπικών φαινομένων όσο και για τη διδασκαλία του σωματιδιακού μοντέλου (διδάσκοντας απευθείας καλά σχηματισμένες εξηγήσεις για τα φαινόμενα), έδωσε καλύτερα αποτελέσματα από το προηγούμενο πρόγραμμα (Lee et al. 1993). Ανταγωνιστικά μοντέλα για την εξήγηση μακροσκοπικών φαινομένων χρησιμοποιήσαν οι Snir et al. (2003) που ισχυρίζονται ότι οι μαθητές γυμνασίου είναι ικανοί να εκτιμήσουν ανταγωνιστικά μοντέλα της ύλης και ότι κατανοούν τα μικροσκοπικά χαρακτηριστικά μόνο αν έχουν καλή μακροσκοπική κατανόηση.

Έρευνες σχετικές με τις ιδέες των μαθητών δείχνουν ότι οι μαθητές στο γυμνάσιο έχουν δυσκολίες στην κατανόηση σωματιδιακών ιδεών (Novick & Nussbaum 1978, Brook et al. 1984, Nussbaum 1985, Johnston & Driver 1989, Lee et al. 1993). Η διδασκαλία με χρήση λαθεμένων προτάσεων και οι ανακριβείς ορισμοί των εγχειριδίων συντελούν μερικές φορές στο σχηματισμό εναλλακτικών ιδεών (Andersson 1990, De Vos 1990). Το σωματιδιακό μοντέλο ως σειρά από πειραματικά δεδομένα και ξεχωριστή ενότητα δεν έχει για τους μαθητές καμιά έννοια, καθώς είναι αδρανής γνώση, δεν συνδέεται με την πραγματικότητα (καθημερινή και επιστημονική) και έτσι δεν έχει λειτουργική αξία (Millar 1990, Σταυρίδου 1995). Η δυναμική απεικόνιση της σωματιδιακής συμπεριφοράς (η σωματιδιακή κίνηση) επίσης δυσκολεύει τους μαθητές (Williamson et al. 1995). Αξίζει ακόμη να σημειωθεί ότι προβλήματα κατανόησης της σωματιδιακής θεωρίας προκύπτουν και από προβλήματα κατανόησης σε μακροσκοπικό επίπεδο (Johnston & Driver, 1989, Berkheimer 1990, Snir et al. 2003). Όσον αφορά τον χρόνο εισαγωγής υπάρχει μια τάση να αναβάλλεται μέχρι το λύκειο ή να γίνεται στο τέλος του γυμνασίου (Shiland 2003), αν και πολλά προγράμματα περικλείουν τα σωματιδιακά μοντέλα στην ε' και στ' δημοτικού, όπως το τελευταίο – 2001-πρόγραμμα του Παιδαγωγικού Ινστιτούτου στη χώρα μας (ΔΕΠΠΣ).

Χωρίς να υποτιμούμε τις εγγενείς δυσκολίες των μαθητών να κατανοούν τα αφηρημένα μοντέλα δομής της ύλης (Τσαπαρλής 1991, 1994, Γεωργούση κ.ά. 1998, Tsaparlis 1998, Kampourakis et al. 2001), και λαμβάνοντας υπόψη ότι αρκετές έρευνες υποστηρίζουν ότι οι μικροί μαθητές είναι ικανοί να διαμορφώνουν αποδεκτές απόψεις για την δομή της ύλης (Papageorgiou & Johnson 2005, Παπαγεωργίου, Johnson & Φωτιάδης 2007 - και περιεχόμενες σχετικές παραπομπές), οδηγηθήκαμε στην υπόθεση ότι η φτωχή κατανόηση σωματιδιακών ιδεών μπορεί να είναι συνάρτηση πολλών ατυχών περιστάσεων. Απαιτείται σίγουρα περαιτέρω έρευνα και σίγουρα βελτίωση διδακτικών πρακτικών, προτού αποφανθούμε πειστικά για τις δυσκολίες ή μη των μαθητών. Η παρούσα εργασία αποσκοπεί να συμβάλλει στην εξέλιξη των σχετικών αντιλήψεών μας.

Η ταυτότητα της έρευνας

Επιλέξαμε να εισαγάγουμε τις διαστάσεις του σωματιδιακού μοντέλου με στερεά και κυρίως με υγρά καθώς τα υγρά, έχοντας λιγότερες από τα στερεά εκτατικές ιδιότητες (δεν έχουν δικό τους σχήμα), κατανοούνται ως ύλη (Klme1 1998). Οι μαθητές διδάχθηκαν τα αντίστοιχα μακροσκοπικά φαινόμενα (ώστε να έχουν παραστάσεις από το εμπειρικό πεδίο) και στη συνέχεια έγινε η εισαγωγή, η επινόηση και η κατασκευή μοντέλων, καθορίστηκαν οι

διαστάσεις του μοντέλου (διάταξη, κίνηση και αναδιάταξη σωματιδίων), ο τρόπος συμβολισμού και οι σχέσεις αντιστοιχίας μεταξύ μοντέλου και πραγματικότητας.

Τα φαινόμενα που παρουσιάστηκαν και οι βασικές διαστάσεις του μοντέλου ήταν:

1. Διάχυση μελάνης σε νερό - εισαγωγή της κίνησης και του κενού χώρου.
2. Διαφορές στο σχήμα στερεών και υγρών – εισαγωγή διάταξης και κίνησης των μορίων τους.
3. Διάχυση μελάνης σε ζεστό και κρύο νερό και εξήγηση θερμικής διαστολής στερεού – εισαγωγή γρηγορότερης κίνησης και αύξησης της απόστασης σωματιδίων.
4. Ζάχαρη εξαφανίζεται όταν πέφτει σε νερό – εισαγωγή δυνάμεων που συνδέουν τα μόρια και αλληλεπίδραση σωματιδίων των ουσιών.
5. Τήξη πάγου – εισαγωγή σπασίματος ή χαλάρωσης δεσμών και αναδιάταξη σωματιδίων.

Επισημάνθηκε ότι τα μόρια σ' αυτά τα φαινόμενα δεν μεταβάλλονται. Χρησιμοποιήσαμε πολλές αναλογίες από τη βιβλιογραφία (ενδεικτικά, Journal of Chemical Education 1993, 56-57, 70), προσομοιώματα που αναζητήσαμε στο Διαδίκτυο (ενδεικτικά <http://www.harcoutschool.com/activity/hotplate/index.html>) και παιχνίδια για την παράσταση των σωματιδίων, και επιλέξαμε αυτά που, όσο γίνεται, δεν προκαλούν παρανοήσεις. Η διδακτική ακολουθία αποτελούνταν από:

1. Παρουσίαση φαινομένου προβλήματος – πείραμα.
2. Προσπάθεια μοντελοποίησης (συγκεκριμένο μοντέλο, εμπύχωση-κιναισθητικό, προσομοίωση σε H/Y, αποδεκτό μοντέλο, αξιολόγηση μοντέλων).
3. Ερμηνεία του φαινομένου με το αποδεκτό μοντέλο.
4. Εξέταση εναλλακτικών απόψεων.

Η έρευνα διεξήχθη τον Μάρτιο-Απρίλιο του 2003 και του 2004 και συμμετέσχαν σ' αυτήν συνολικά 116 μαθητές σ' δημοτικού, από τρία σχολεία της πόλης των Ιωαννίνων. Τρία τμήματα ($N = 59$), ένα από κάθε σχολείο, αποτέλεσαν την ομάδα Ελέγχου (Ε) και τα άλλα τρία, επίσης ένα από κάθε σχολείο, την Πειραματική ομάδα (Π), ($N = 57$). Έτσι οι ομάδες Ε και Π συγκροτήθηκαν από μαθητές με την ίδια κοινωνικοοικονομική προέλευση και μπορεί να θεωρηθούν καλή τη πίστει περίπου ισοδύναμες.

Οι μαθητές και των δύο ομάδων είχαν διδαχθεί τις ενότητες ιδιοτήτων της ύλης όπως παρουσιάζονται στο βιβλίο “Ερευνά και Ανακαλύπτω”, από τον δάσκαλο της τάξης, ενώ δεν είχαν διδαχθεί κανένα σωματιδιακό μοντέλο. Στην πειραματική ομάδα Π έγινε εισαγωγή της έννοιας του μορίου διάρκειας πέντε (5) διδακτικών ωρών. Η ομάδα Ελέγχου (Ε) χρησιμοποιήθηκε απλώς για να μας «δώσει τις αρχικές αντιλήψεις των μαθητών». Παρόλον ότι θα ήταν ορθότερο να λάβουμε τις αρχικές αντιλήψεις των μαθητών της ομάδας Π (άρα να μην χρησιμοποιήσουμε ξεχωριστή ομάδα Ε), κρίναμε απαραίτητο και χρήσιμο να μην υποβάλουμε τους μαθητές της Π σε επιπλέον δοκιμασία (τεστ).

Με την εργασία αυτή επιδιώκουμε να διερευνήσουμε:

1. Πώς η διδασκαλία σωματιδιακού μοντέλου της ύλης επιδρά στην επίδοση των μαθητών στις πέντε ενότητες (διάχυση, ιδιότητες της ύλης, θερμική διαστολή, διάλυση, αλλαγή φυσικής κατάστασης).
2. Πώς το πλαίσιο (μακροσκοπικό ή μικροσκοπικό) στο οποίο αναπτύσσεται μια ερώτηση επηρεάζει την απάντηση.
3. Κατά πόσο διαφοροποιούνται επιδόσεις σε θέματα που διδάχθηκαν οι μαθητές και σε θέματα που κλήθηκαν να προβλέψουν.
4. Πόσο συνεπείς είναι οι μαθητές στη χρήση κατηγορίας απαντήσεων (αποδεκτές, εναλλακτικές, όχι απάντηση) σε όλες τις ενότητες.
5. Κατά πόσο το σωματιδιακό μοντέλο βοηθά στην ερμηνεία φαινομένων το ίδιο τα αγόρια και τα κορίτσια.

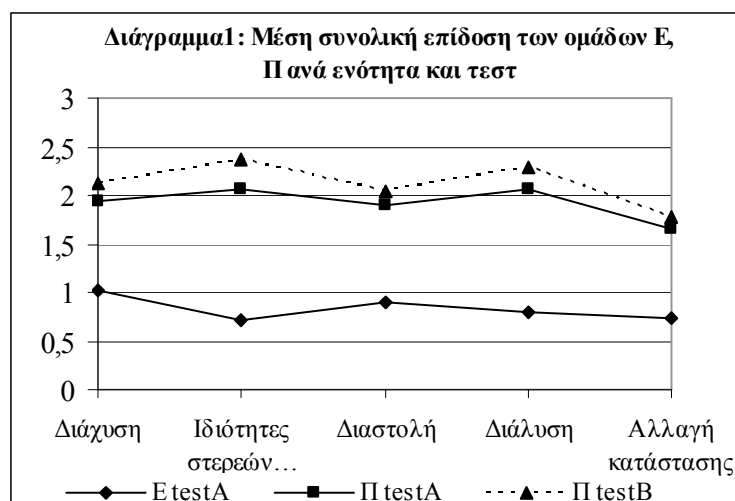
Ως εργαλείο έρευνας χρησιμοποιήθηκε ερωτηματολόγιο σε δύο παράλληλα μέρη: ένα Μέρος Α μακροσκοπικών-καθημερινών αλλαγών/μεταβολών και ένα Μέρος Β μικροσκοπικών αλλαγών, με την ίδια ερώτηση να επαναλαμβάνεται και στα δύο τεστ αλλά σε διαφορετικό πλαίσιο. Κάθε μέρος περιείχε 22 ερωτήσεις (2 για τη διάχυση, 5 για τις ιδιότητες ύλης, 4 για τη θερμική διαστολή, 6 για τη διάλυση και 5 για την αλλαγή κατάστασης). Από τις ερωτήσεις αυτές, 3 αφορούσαν τη διατήρηση μάζας (στη θερμική διαστολή, τη διάλυση και την τήξη). Μία ερώτηση από κάθε ενότητα είχε διδαχθεί στη διάρκεια των μαθημάτων, ενώ οι υπόλοιπες ήταν ερωτήσεις πρόβλεψης. Στο ερωτηματολόγιο περιλαμβάνονται κάποιες ερωτήσεις που χρησιμοποιήθηκαν σε άλλες έρευνες (Haidar & Abraham 1991, Williamson & Abraham 1995, Βλάχος 1999).

Οι μαθητές απάντησαν στο Μέρος Α μία εβδομάδα μετά το τέλος της διδακτικής παρέμβασης και στο Μέρος Β την αμέσως επόμενη ημέρα. Οι μαθητές του τμήματος Ε απάντησαν μόνο στο Μέρος Α και οι απαντήσεις αυτές θεωρήθηκαν αρχικές ιδέες των μαθητών της πειραματικής ομάδας. Για τη στατιστική σύγκριση των απαντήσεων σε μακροσκοπικό και μικροσκοπικό επίπεδο, βαθμολογήσαμε τις απαντήσεις από το 0 έως το 3, χρησιμοποιώντας τροποποιημένη μορφή σχήματος που χρησιμοποιείται ευρέως στη σχετική βιβλιογραφία (Haidar, 1997): δεν απαντούν (0) , εναλλακτικές (1), εν μέρει αποδεκτές (2), πλήρως αποδεκτές (3).

Αποτελέσματα και σχόλια

Η στατιστική σύγκριση των ομάδων έγινε με το παραμετρικό κριτήριο Mann-Whitney U και με το κριτήριο one way ANOVA, ενώ μεταξύ των ενότητων για κάθε ομάδα έγινε με το παραμετρικό κριτήριο Friedman για πολλές ενότητες και το κριτήριο Wilcoxon για σύγκριση ανά ζεύγη και με GLM-Repeated- Measures Define Variables ANOVA για πολλές ενότητες και το κριτήριο t για ζεύγη.

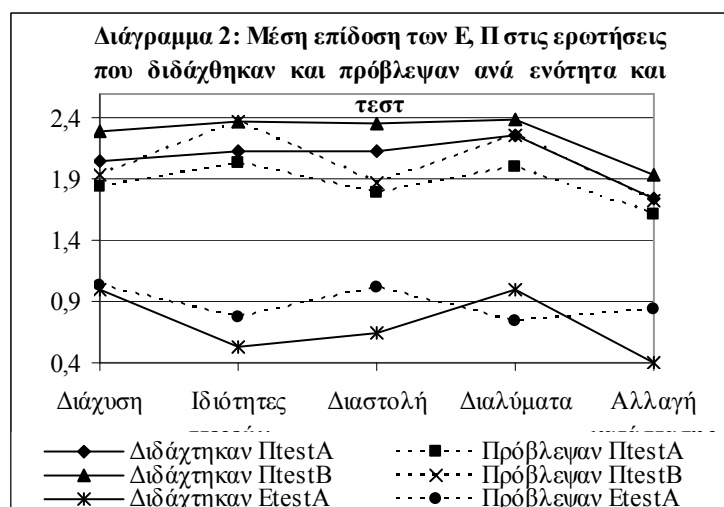
Σύγκριση της μέσης επίδοσης των μαθητών ανά ενότητα και τεστ (Διάγραμμα 1)



Οι μαθητές της ομάδας Ε έδωσαν εναλλακτικές ή κυκλικές απαντήσεις σε όλες τις ενότητες. Οι επίδοσεις των ομάδων Ε και Π διαφοροποιούνται και στο σύνολο και στις επιμέρους ενότητες σε επίπεδο σημαντικότητας $p < 0,01$. Για την ομάδα Π οι ενότητες στο σύνολο διαφοροποιούνται [$F(4, 224) = 23,457, p = 0,000$ / παραμετρικό $N = 57, \chi^2 = 66,704, df = 4, p = 0,000$].

Η χαμηλότερη επίδοση σημειώθηκε στην ενότητα 5 (Αλλαγή κατάστασης), ακολουθούμενη από την ενότητα 3 (Διαστολή), ενώ η καλύτερη επίδοση ήταν στην ενότητα 2 (Ιδιότητες στερεών ...) ακολουθούμενη από την 4 (Διάλυση). Η ανά ζεύγη σύγκριση έδωσε τις ενότητες 1-3, 2-4 να μην διαφοροποιούνται, ενώ στα Μέρη Α και Β διαφέρουν σημαντικά και στο σύνολο [$F(1, 56) = 41,069, p = 0,000$ / $\text{απαραμετρικό } z = -5,319, p = 0,000$] και στις επιμέρους ενότητες. Στο Μέρος Α η πιο εύκολη ενότητα ήταν η 4 (Διάλυση) ακολουθούμενη από την 2 (Ιδιότητες στερεών...) και η πιο δύσκολη η 5 (Αλλαγή κατάστασης). Σε μοριακό επίπεδο η πιο εύκολη ενότητα ήταν η ενότητα 2 ακολουθούμενη από την 4 και η πιο δύσκολη η 5. Η ενότητα Αλλαγής κατάστασης είναι η πιο δύσκολη καθώς απαιτείται για επιστημονική εξήγηση η χρήση ενός συνόλου χαρακτηριστικών, όπως η διάταξη, η κίνηση και η αναδιάταξη των σωματιδίων.

Σύγκριση μέσης επίδοσης μεταξύ ερωτήσεων εξήγησης/πρόβλεψης (Διάγραμμα 2)



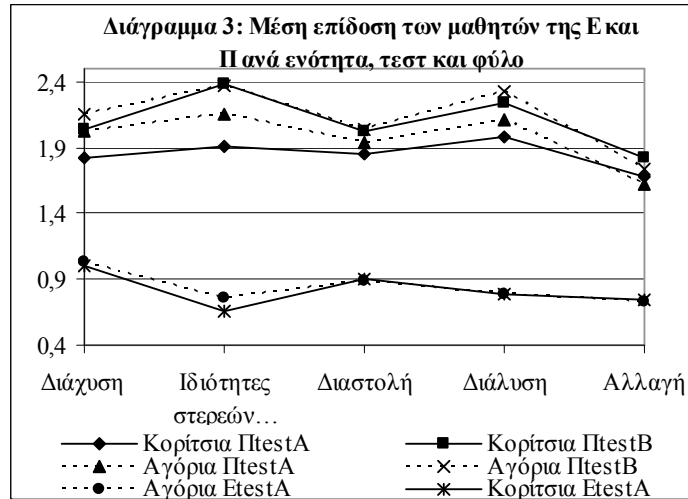
Υπάρχει σημαντική διαφοροποίηση, όπως ήταν αναμενόμενο, μεταξύ των ομάδων Ε και Π στις ερωτήσεις που διδάχθηκαν οι μαθητές της Π1 [$Z = -8,946, p = 0,000$]. Ωστόσο, στις ερωτήσεις πρόβλεψης που δεν διδάχθηκαν οι μαθητές, οι επιδόσεις διαφοροποιούνται [$Z = -8,309, p = 0,000$]. Οι συγκρίσεις των απαντήσεων ανά ενότητα στις ερωτήσεις εξήγησης/πρόβλεψης έδειξε ότι υπάρχει σημαντική διαφοροποίηση ($p < 0,001$) σε όλες τις ενότητες και στο σύνολο εκτός από την ενότητα της Διάχυσης. Για την πειραματική ομάδα Π ο παράγοντας εξήγησης/πρόβλεψαν είναι σημαντικός [$F(1, 56) = 43,347, p = 0,000$ / $\text{απαραμετρικό } Z = -5,139, p = 0,000$].

Συγκρίνοντας κάθε ενότητα για τον παράγοντα διδάχθηκαν/πρόβλεψαν, βρίσκουμε ότι οι απαντήσεις των μαθητών στις ερωτήσεις που διδάχθηκαν διαφοροποιούνται σε επίπεδο σημαντικότητας $p < 0,01$ από τις απαντήσεις στις ερωτήσεις πρόβλεψης, εκτός από την ενότητα 2 (Ιδιότητες στερεών υγρών και αερίων). Στο Μέρος Α βρίσκουμε να μη διαφοροποιούνται σημαντικά οι απαντήσεις των μαθητών στις ερωτήσεις πρόβλεψης από τις ερωτήσεις που διδάχθηκαν στην ενότητα 2 και στην ενότητα 5, ενώ στο Μέρος Β διαφοροποιούνται οι ερωτήσεις πρόβλεψης από αυτές που είχαν διδαχθεί ($p < 0,01$) εκτός από τις ενότητες 2 και 4 (Ιδιότητες της ύλης και στην ενότητα της Διάλυσης).

Όσον αφορά τις ερωτήσεις που διδάχθηκαν οι μαθητές (η διάχυση μελάνης σε νερό, η εξήγηση του σχήματος στερεού – υγρού, η διαστολή στερεού, η διάλυση κόκκου αλατιού σε νερό, η τήξη πάγου) η ανάλυση έδειξε ότι διαφοροποιούνται [$F(4,224) = 8,733, p = 0,000$ / $\text{μη παραμετρικό } \chi^2 = 28,893, df = 4, p = 0,000$]. Η καλύτερη επίδοση σημειώθηκε στην ερώτηση 4, ακολουθούμενη από την 2 και 3. Η πιο χαμηλή επίδοση παρατηρήθηκε στην

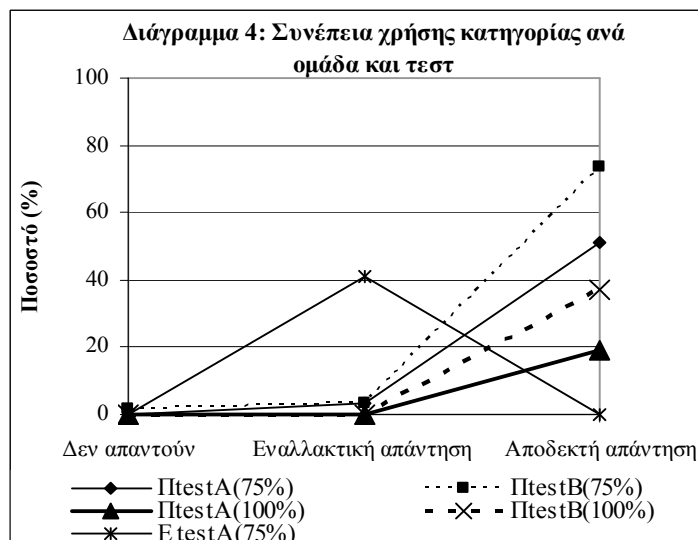
ερώτηση 5 τήξης πάγου (και στο σύνολο και στα Μέρη Α και Β). Η σύγκριση των ερωτήσεων πρόβλεψης μεταξύ τους (διάχυση αρώματος, σχήμα αερίου, συμπίεση υγρού - συμπίεση αερίου και συμπίεση αερίου μέχρι τέρμα, διαστολή υγρού - διαστολή αερίου, τι συμβαίνει στη διάλυση μετά από ώρα - γιατί ο κόκκος άμμου δεν διαλύεται - διάλυση με θέρμανση και με ανακάτεμα, ενέργεια στην τήξη - βρασμός και συμπύκνωση ατμών), ανέδειξε ότι οι ερωτήσεις πρόβλεψης διαφοροποιούνται [$F(4,224)= 24,682$ $p = 0,000$ / μη παραμετρικό $\chi^2 = 81,290$, $df = 4$, $p = 0,000$]. Η πιο εύκολη ήταν η ενότητα 2 ακολουθούμενη από την 4 και η πιο δύσκολη η 5 (Αλλαγή κατάστασης).

Επίδραση του φύλου στη μέση επίδοση των ομάδων ανά ενότητα (Διάγραμμα 3)



Η συνολική επίδοση των μαθητών της ομάδας Ε δεν διαφοροποιούνται ως προς τον παράγοντα φύλο [$F(1,57) = 0,247$, $p = 0,621$]. Η σύγκριση στις επιμέρους ενότητες έδειξε ότι οι μαθήτριες παρουσιάζουν στατιστικά χαμηλότερες επιδόσεις στην ενότητα 2 (Ιδιότητες στερεών, υγρών, αερίων). Στο σύνολο των απαντήσεων της ομάδας Π δεν παρατηρούνται διαφορές μεταξύ των δύο φύλων [$F(1,55)= 0,229$, $p = 0,634$] ούτε στις επιμέρους ενότητες. Για την ομάδα Π, τα αγόρια παρουσιάζουν καλύτερες επιδόσεις από το κορίτσια σε όλες τις ενότητες εκτός από την Αλλαγή κατάστασης. Ωστόσο οι επιδόσεις των αγοριών και των κοριτσιών δεν παρουσιάζουν στατιστικά σημαντικές διαφορές ούτε στο τεστ Α ούτε στο τεστ Β.

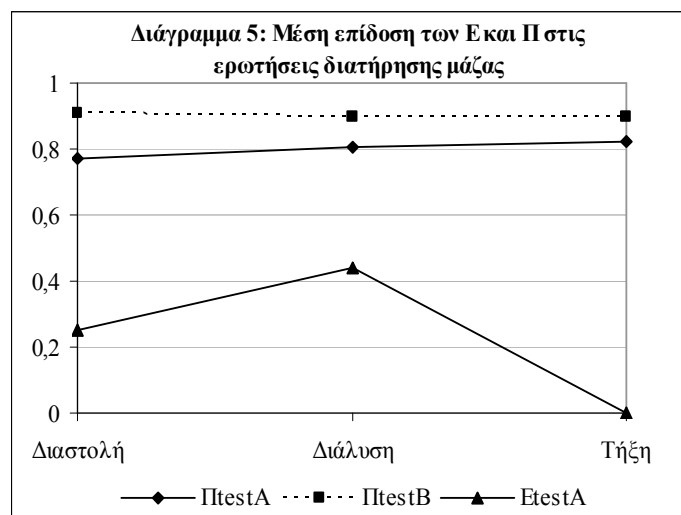
Συνέπεια στη χρήση κατηγορίας (Διάγραμμα 4)



Για να αξιολογήσουμε την συνέπεια χρήσης μιας κατηγορίας δηλαδή αν οι μαθητές χρησιμοποιούν ή όχι συστηματικά και με συνέπεια την ίδια κατηγορία (αποδεκτή απάντηση, εναλλακτική απάντηση, όχι απάντηση), θεωρούμε συνεπή ένα μαθητή αν χρησιμοποιεί την ίδια κατηγορία ανεξάρτητα από την ορθότητά της για να απαντήσει 75% ή περισσότερες από τις ερωτήσεις που του δόθηκαν. Η ομάδα E χρησιμοποιεί με συνέπεια την κατηγορία “εναλλακτική απάντηση”, ενώ η ομάδα Π δίνει με συνέπεια αποδεκτές απαντήσεις με μόρια. Οι ομάδες διαφοροποιούνται ως προς την συνέπεια [$\chi^2 = 81,105$, $df = 1$, $p = 000$]. Για την ομάδα Π υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ συνέπειας στη χρήση κατηγορίας μεταξύ τεστ A και τεστ B [Cochran's Q = 9,000, $df = 1$, $p = 0,003$].

Σε μοριακό πλαίσιο, το σωματιδιακό μοντέλο χρησιμοποιείται με μεγαλύτερη συνέπεια. Στο 100% των απαντήσεων της E κανένας μαθητής δεν δίνει συνεπείς απαντήσεις. Για την Π στο 100% των απαντήσεων στο τεστ A συνεπείς στην κατηγορία “αποδεκτή απάντηση” ήταν το 19,3%. Ένας μαθητής έδινε με συνέπεια πλήρεις απαντήσεις. Στο τεστ B συνεπείς στην κατηγορία “αποδεκτή απάντηση” ήταν το 36,8%. Κανένας μαθητής δεν έδινε με συνέπεια πλήρεις απαντήσεις.

Διατήρηση μάζας (Διάγραμμα 5)



Οι ομάδες E και Π διαφοροποιούνται ως προς το σύνολο της διατήρησης μάζας [$z = -7,249$, $p = 0,000$] και στις επιμέρους ερωτήσεις $p < 0,001$. Για την Π οι επιμέρους ερωτήσεις δεν διαφοροποιούνται στο σύνολο [$F(2, 112) = 0,269$, $p = 0,764$ / μη παραμετρικό $N = 57$ $\chi^2 = 0,545$, $df = 2$, $p = 0,761$]. Η ανά ζεύγη σύγκριση τα ζεύγη ερωτήσεων δεν διαφοροποιούνται. Οι απαντήσεις στα δυο τεστ διαφοροποιούνται σημαντικά [$F(1,56) = 7,902$, $p = 0,007$ / μη παραμετρικό $z = -2,676$, $p = 0,007$]. Στην ερώτηση διατήρησης μάζας στην τήξη δεν παρατηρείται διαφοροποίηση μεταξύ επίδοσης στο Μέρος A και στο Μέρος B, ενώ έχουμε σημαντική διαφοροποίηση ($p < 0,05$) στη διαστολή και την διάλυση.

Συμπεράσματα και συνέπειες για τη διδακτική πράξη

Οι μαθητές της ομάδας ελέγχου (E), που δεν διδάχθηκαν καθόλου σωματίδια, δίνουν εναλλακτικές απαντήσεις ή κυκλικές. Πριν από τη διδασκαλία οι μαθητές δεν χρησιμοποιούν σωματίδια. Η πειραματική ομάδα (Π) διαφοροποιήθηκε από την E τόσο στο σύνολο των

ενοτήτων, στις ερωτήσεις που διδάχθηκαν οι μαθητές της Π, όσο και στις ερωτήσεις πρόβλεψης. Το σωματιδιακό μοντέλο που διδάξαμε (βασισμένο σε μοντελοποίηση μακροσκοπικών φαινομένων που σχετίζονται με την υγρή κατάσταση) ήταν για τους μαθητές της ομάδας Π ένα αποτελεσματικό εργαλείο για ερμηνεία φαινομένων καθώς και για την κατανόηση της διατήρησης της μάζας. Η ενότητα αλλαγής κατάστασης ήταν η πιο δύσκολη, καθώς απαιτείται για την επιστημονική εξήγηση χρήση ενός συνόλου χαρακτηριστικών, όπως διάταξη, κίνηση και αναδιάταξη σωματιδίων.

Οι επιδόσεις στο μικροσκοπικό πλαίσιο ήταν σαφώς πιο υψηλές απ' ό,τι στο καθημερινό – μακροσκοπικό πλαίσιο. Αυτό υποδηλώνει ότι οι μαθητές στο Μέρος Α δεν απάντησαν αυθόρμητα χρησιμοποιώντας μόρια και ότι η γνώση είναι ευκολότερο να χρησιμοποιηθεί σε περιοχές πλησιέστερα σε αυτή που αποκτήθηκε (Claxton 1991). Οι μαθητές της ομάδας Π αντιμετώπισαν το ίδιο καλά τα θέματα ιδιοτήτων στερεών, υγρών και αερίων (σχήμα και συμπίεση) που διδάχθηκαν και δεν διδάχθηκαν. Στις υπόλοιπες ενότητες οι μαθητές δεν χρησιμοποίησαν το σωματιδιακό μοντέλο για ερμηνεία ερωτήσεων που δεν είχαν διδαχθεί το ίδιο καλά όπως σε ερωτήσεις που διδάχθηκαν. Σε μοριακό πλαίσιο, η σωματιδιακή θεωρία χρησιμοποιήθηκε ικανοποιητικά από τους μαθητές για την ερμηνεία ιδιοτήτων στερεών, υγρών και αερίων και διάλυσης. Οι ενότητες αυτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν στη διδασκαλία κατά την εισαγωγή στοιχειώδους μοριακού μοντέλου. Δεν παρατηρήσαμε στατιστικά σημαντικές διαφορές στις επιδόσεις αγοριών και κοριτσιών. Η σαφής διδασκαλία της σωματιδιακής θεωρίας βελτιώνει τις επιδόσεις αγοριών και κοριτσιών (Bunce & Gabel 2002).

Οι μαθητές της ομάδας Ε χρησιμοποίησαν με συνέπεια εναλλακτικές απαντήσεις, ενώ οι της Π αποδεκτές. Ωστόσο σε μοριακό πλαίσιο, οι αποδεκτές απαντήσεις χρησιμοποιήθηκαν με μεγαλύτερη συνέπεια από το καθημερινό πλαίσιο. Η συνέπεια σε απαντήσεις με χρήση κατηγοριών αυξάνει όταν οι μαθητές χρησιμοποιούν επιστημονικές έννοιες αντί για εναλλακτικές ή απλοϊκές απαντήσεις. Αυτά τα αποτελέσματα είναι σε συμφωνία με εκείνα των Gomez et al. (1995).

Η προσεκτικά σχεδιασμένη διδασκαλία με σύνδεση μακροσκοπικών εννοιών με τις σωματιδιακές όψεις και η χρήση πειραμάτων, επιδείξεων, αναλογιών και προσομοιώσεων σε H/Y, μπορεί να βοηθήσει μαθητές στ' τάξης να αναπτύξουν κατανόηση μορίων. Αδυναμίες, ωστόσο, στην κατανόηση των μαθητών μπορούν να παραμείνουν και μετά την προσέγγιση αυτή.

Παραπομπές

- Βλάχος, Ι.Α. (1999). Εποικοδομητική προσέγγιση της διδασκαλίας της σωματιδιακής δομής της ύλης στην Πρωτοβάθμια Εκπαίδευση, Διδακτορική Διατριβή, Πανεπιστήμιο Αθηνών.
- Παπαγεωργίου Γ., Johnson P., & Φωτιάδης Φ. (2007). Διδασκαλία και μάθηση φυσικών φαινομένων με χρήση κατάλληλου λογισμικού στα πλαίσια της σωματιδιακής θεώρησης της ύλης. (Πρακτικά 5^{ου} Συνεδρίου) Διδακτική Φυσικών Επιστημών και Νέες Τεχνολογίες στην Εκπαίδευση, 5 (Α) 230-238.
- Σταυρίδου, Ε. (1995). Μοντέλα φυσικών επιστημών και διαδικασίες μάθησης. Αθήνα: Σαββάλας.
- Τσαπαρλής, Γ. (1991). Θέματα διδακτικής φυσικής και χημείας στη μέση εκπαίδευση, Αθήνα: Γρηγόρης. (Α' έκδοση, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων, 1988).
- Τσαπαρλής, Γ. (1994). Η ατομική και η μοριακή δομή στην χημική εκπαίδευση: κριτική θεώρηση από διάφορες σκοπιές της διδακτικής των φυσικών επιστημών, Πρακτικά 5^{ου} Πανελληνίου Συνεδρίου Ελλάδος-Κύπρου, «Χημεία και παιδεία». Ιωάννινα: ΕΕΧ.
- Τσαπαρλής, Γ., Γεωργούση Κ., Καμπουράκης Κ., Λώλας, Θ., Κοντογεωργίου Μ. (1997). Γνώσεις φυσικής και χημείας που φέρνουν οι μαθητές από το δημοτικό στο γυμνάσιο,

Πρακτικά Δημερίδας, «Οι Φ.Ε. και η Τεχνολογία στην Α)βάθμια Εκπαίδευση», σελ. 35-39. ΠΤΔΕ, Πανεπιστημίου Αθηνών.

- Andersson, B. (1986). Pupils' explanations of some aspects of chemical reactions, *Science Education*, 70, 549-563.
- Andersson, B. (1990). Pupils' conceptions of matter and its transformations (age 12-16), *Studies in Science Education*, 18, 53-85.
- Bar, V. (1989). Children's views about the water cycle, *Science Education*, 73, 481-500.
- Berger, C. F., Berkheimer, G. D., Lewis, L. E., & Neuberger, H. T. (1979). Houghton-Mifflin Science, Grades K-6. Boston, MA: Houghton Mifflin Company.
- Berkheimer G. D., Anderson, C. W., & Spees, S. T. (1988). Matter and molecules. Teacher's guide: Science book. East Lansing, MI: Institute for Research on Teaching, Michigan State University.
- Berkheimer, G. D., Anderson, C. W., & Spees, S. T. (1990). Using conceptual change research to reason about curriculum (Research Series Paper No. 195). East Lansing, MI: Institute for Research on Teaching, Michigan State University.
- Blanco, A., Prieto, T. (1997). Pupil's vies on how stirring and temperature affect the dissolution of a solid in a liquid. A cross age study (12 to 18), *International Journal of Science Education*, 19, 303-315.
- Brook, A., Briggs, H., & Driver, R. (1984). Aspects of secondary students' understanding of the particulate nature of matter, Leeds, UK: University of Leeds, Centre for Studies in Science and Mathematics Education.
- Bunce, D.M., Gabel, D., (2002). Differential effects on the achievement of males and females of teaching the particulate nature of chemistry, *Journal of Research in Science Teaching*, 39, 911-927.
- Children's Learning in Science Project (1987). Approaches to teaching the particulate theory of matter, Center for Studies in Science and Mathematics Education, University of Leeds.
- Claxton, G., (1991). Educating the inquiring mind: the challenge for school science, London: Harvester.
- DeVos, W. (1990). Seven thoughts on teaching molecules. In: Lijnse, P.L., Licht, P., deVos, W., Waarlo, A.J., Relating macroscopic phenomena to microscopic particles, Utrecht: Centre for Science and Mathematics Education, University of Utrecht: CD-β Press.
- Driver, R.(1989). Students' conceptions and the learning of science, *International Journal of Science Education*, 11, 481-490.
- Driver, R., Oldham, V. (1986). A constructivistic approach to curriculum development of sciences, *Studies in Science Education*, 13, 105-122.
- Gomez, M.A., Pozo, J.I., Sanz, A., (1995). Students' ideas on conservation of matter: Effects of expertise and context variables, *Science Education*, 79, 77-93.
- Hackling, M. W. & Garnett, P. J. (1986). Chemical equilibrium: Learning difficulties and teaching strategies, *The Australian Science Teachers Journal*, 31, 8-13.
- Haidar, A. H. (1997). Prospective chemistry teachers conceptions of the conservation matter and related concepts, *Journal of Research in Science Teaching*, 34, 181-197.
- Haidar H. A., Abraham R.M, (1991). A comparison of Applied and Theoretical Knowledge of Concepts Based on the Particulate Nature of Matter, *Journal of Research in Science Teaching* 28, 919-938.
- Johnson, P. (1998). Children's understanding of changes of state involving the gas state, Part 2: Evaporation and condensation below boiling point, *International Journal of Science Education*, 20, 695-709.
- Johnston, K. & Driver, R. (1989). A case study of teaching and learning about particle theory. Leeds, UK: University of Leeds, Centre for Studies in Science and Mathematics Education.
- Kampourakis, K., Georgousi, K., & Tsaparlis, G. (2001). Physical science knowledge and patterns of achievement at the primary-secondary interface, Part I, General student population, *Chemistry Education Research and Practice*, 2, 241-252.
[<http://www.rsc.org/Education/CERP>]

- Krnel, D., Watson, R., & Glazar, S. A. (1998). Survey of research related to the development of the concept of “matter”, *International Journal of Science Education*, 20, 257–289.
- 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, 249–270.
- Meheut M. & Chomat A. (1990). The bounds of children’s atomism; an attempt to make children build up a particulate model of matter. In: Lijnse, P.L., Licht, P., deVos, W., Waarlo, A.J., *Relating macroscopic phenomena to microscopic particles*, pp. 266-282. Utrecht: CD-β Press.
- Millar, R.(1990). Making sense: what use are particle ideas to children? In: Lijnse P.L., Licht P., deVos, W., Waarlo A.J., *Relating macroscopic phenomena to microscopic particles*, pp. 283-293. Utrecht: CD-β Press.
- Novick, S. & Nussbaum, J. (1978). Junior high school pupils’ understanding of the particulate nature of matter: An interview study, *Science Education*, 62, 273–281.
- Nussbaum, J. (1985). The particulate nature of matter in the gaseous phase. In: Driver, R., Guesne, E., & Tiberghien, A. (Eds.), *Children’s ideas in science* (pp. 124–144). Milton Keynes, UK: Open University Press.
- Nussbaum, J. (1997). History and philosophy of science and the preparation for constructivist teaching: The case of particle theory. In: Mintzes, J. Wandersee, J. & Novak J. (Eds.), *Teaching science for understanding: A human constructivist view* (pp. 165–194), Boston, MA: Academic Press.
- Papageorgiou, G. & Johnson, P.M. (2005). Do particle ideas help or hinder pupils’ understanding of phenomena? *International Journal of Science Education*, 27, 1299-1317.
- Shiland, T. W. (2003). Aiming precisely at standards that are not there: Kinetic molecular theory, scientific theories, and national standards, *Journal of Research In Science Teaching*, 40, 824–826.
- Snir, J., Smith, C. L., 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.
- Stern, L. & Ahlgren, A. (2002). Analysis of students’ assessments in middle school curriculum materials: Aiming precisely at benchmarks and standards, *Journal of Research in Science Teaching*, 39, 889–910.
- Tsaparlis, G. (1997). Atomic and molecular structure in chemical education – A critical analysis from various perspectives of science education, *Journal of Chemical Education*, 74, 922-925.
- Williamson V.M., Abraham M.R., (1995). The effects of computer animation on the particulate mental models of college chemistry students, *Journal of Research in Science Teaching*, 32, 521-534.