ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ΣΤΗΝ ΚΑΛΥΤΕΡΗ ΚΑΤΑΝΟΗΣΗ ΤΟΥ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ ΤΗΣ ΔΙΑΣΤΟΛΗΣ ΣΤΕΡΕΟΥ, ΥΓΡΟΥ ΚΑΙ ΑΕΡΙΟΥ ΣΩΜΑΤΟΣ ΣΕ ΜΑΘΗΤΕΣ ΓΥΜΝΑΣΙΟΥ

Γραμμένος Στέργιος, Χημικός, Καθηγητής Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης, Δελφών 92, 54643, Θεσσαλονίκη, ilia@the.forthnet.gr
Σταυρίδου Ελένη, Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, Αργοναυτών και Φιλελλήνων, 38221, Βόλος, estavrid@uth.gr

Λέξεις κλειδιά: διαστολή, μάζα, όγκος, σωματιδιακό μοντέλο, εκπαιδευτικό λογισμικό.
Θέμα: Εφαρμογές πολυμέσων και υπερμέσων στη διδασκαλία και τη μάθηση, Αξιολόγηση Εκπαιδευτικού Λογισμικού.
Επίπεδο Εκπαίδευσης: Γυμνάσιο για ηλικίες 12-15.
Κατηγορία: Εμπειρική-Πειραματική.

Περίληψη

Η έρευνα αυτή έχει στόχο να μελετήσει τα αποτελέσματα της χρήσης εκπαιδευτικού λογισμικού στην καλύτερη κατανόηση του φαινομένου της διαστολής στερεού, υγρού και αερίου, από μαθητές και μαθήτριες Γυμνασίου. Το δείγμα αποτελούσαν 18 μαθητές και μαθήτριες Β΄ και Γ΄ τάξης του Γυμνασίου Διαπολιτισμικής Εκπαίδευσης Σαπών, οι οποίοι εργάσθηκαν σε ομάδες 3-5 ατόμων. Πριν τη χρήση του λογισμικού κάθε μαθητής και μαθήτρια της ομάδας συμπλήρωνε ατομικά ένα ερωτηματολόγιο. Στη συνέχεια κάθε ομάδα έκανε χρήση ενός συγκεκριμένου σεναρίου του λογισμικού. Το σενάριο αυτό περιελάμβανε 5 βήματα που αφορούσαν α) την πρόβλεψη και την παρατήρηση της αρχικής κατάστασης ενός σώματος, β) την πρόβλεψη του τι θα συμβεί εάν θερμανθεί το σώμα, γ) τις συνέπειες της θέρμανσης στη μάζα και στον όγκο του σώματος, δ) την εισαγωγή ενός σωματιδιακού μοντέλου της ύλης και ε) τη χρήση του σωματιδιακού μοντέλου για την εξήγηση του φαινομένου της διαστολής. Μετά τη χρήση του λογισμικού οι μαθητές συμπλήρωναν το τελικό ερωτηματολόγιο που περιείχε τις ίδιες ερωτήσεις με το αρχικό. Έγινε σύγκριση των απαντήσεων των μαθητών πριν και μετά τη χρήση του CD-ROM και από τα αποτελέσματα προκύπτει ότι υπάρχει αύξηση των μαθητών οι οποίοι μετά τη χρήση του λογισμικού κατανοούν ικανοποιητικά το φαινόμενο της διαστολής τόσο σε μακροσκοπικό όσο και σε μικροσκοπικό επίπεδο.

Abstract

This paper aims at studying the effects of using educational software on secondary students' understanding of the expansion of solids, liquids and gases. A sample of 18 students aged 14-15 participated in the research. The students worked in groups of 3-5. Prior to using the software each one of them responded individually to a questionnaire (pre-test). Next the groups used a specific scenario of the software. The scenario comprised 5 steps concerning a) prediction and observation of the initial state of an object, b) prediction of the consequences of heating the object, c) the discussion of changes in the object's mass and volume as a result of heating (macroscopic level), d) introduction of a particulate model of matter (microscopic level), and e) the use of the particulate model to explain expansion. After using the software the students responded to the questionnaire for a second time (post-test). By comparing the students' responses in the pre- and post-tests the authors conclude that there is an increase of the number of students who understand expansion adequately both at the macroscopic and microscopic levels after using the software.

Εισαγωγή

Από έρευνες της διδακτικής των Φ.Ε. προκύπτει ότι οι μαθητές έχουν δυσκολίες στην κατανόηση της σωματιδιακής δομής της ύλης, καθώς και των φαινομένων που σχετίζονται μ' αυτήν. Διαφορετικοί ερευνητές (Nussbaum 1985/1993, και Renström et al. 1990), σε ανεξάρτητες έρευνες, διαπίστωσαν ότι σημαντικό ποσοστό μαθητών δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης (ηλικίας 12-15 ετών), αλλά και ορισμένοι πρωτοετείς φοιτητές Τμημάτων Εκπαίδευσης (Krnel 1998), αντιλαμβάνεται την ύλη ως συνεχή και στατική. Η ύπαρξη κενού μεταξύ των σωματιδίων ενός αερίου αποτελεί επίσης μια δύσκολη έννοια τόσο για τα παιδιά όσο και για τους ενήλικες (Nussbaum 1985/1993, Pfund 1981).

Γενικότερο είναι και το φαινόμενο της σύγχυσης και έλλειψης ουσιαστικής κατανόησης της ύλης και των μοντέλων της (Brook et al. 1984). Υπάρχει έντονη τάση στα παιδιά να προβάλλουν μακροσκοπικές ιδιότητες της ύλης στα μόρια και στα άτομα (Hatzinikita & Kokkotas 1994, Brook et al. 1984, Andersson 1990, Ben-Zvi et al, 1986, Driver 1985/1993). Οι μαθητές ισχυρίζονται, παραδείγματος χάριν, ότι εφόσον μια ουσία είναι μαλακή (κερί) τότε και τα μόρια της θα είναι μαλακά (De Vos & Verdonk 1987). Επιπλέον, μία άλλη κατηγορία παρανοήσεων, που οι Sanmarti et al. (1994) αναφέρουν ως «Θεωρία του αυγού», περιγράφει τα μικροσκοπικά σωματίδια ως κύτταρα ύλης που έχουν περίβλημα και πυρήνα, με διαφορετική υφή και ιδιότητες.

Βασική πηγή μαθησιακών δυσκολιών και της σύγχυσης που επικρατεί σχετικά με τα δυο επίπεδα περιγραφής της ύλης και των μεταβολών της (μακροσκοπικό και μικροσκοπικό), σύμφωνα με τον Martinand (1986) είναι το ότι δεν διερευνούνται το καθένα μόνο του και το ένα σε σχέση με το άλλο. Σύμφωνα με τον Τσαπαρλή (Τσαπαρλής 1993,

Tsaparlis & Georgiadou 1994) πρέπει να γίνει κατανοητή η ανάγκη σύνδεσης του μακροσκοπικού και του μικροσκοπικού επιπέδου. Ένα άλλο πρόβλημα είναι όχι μόνο η ταύτιση μοντέλου και πραγματικότητας, αλλά και ότι τα διάφορα ατομικά μοντέλα διδάσκονται σαν αυθυπόστατες οντότητες χωρίς να συνδέονται με φαινόμενα της πραγματικότητας. Όταν η διδασκαλία των Φ.Ε. δεν καταφέρει να σχετίσει με ορθό τρόπο μοντέλο και πραγματικότητα, τότε οι μαθητές θα το κάνουν μόνοι τους με τα μέσα που διαθέτουν (Stavridou 1990).

Οι Mullet και Gervais (1990) αναφέρουν ότι οι μαθητές ηλικίας 14-15 ετών συγχέουν τις έννοιες της μάζας και του όγκου. Η ίδια δυσκολία εντοπίστηκε και σε φοιτητές Παιδαγωγικών Τμημάτων (Σταυρίδου 1995) που στο πλαίσιο έρευνας προσπάθησαν να εξηγήσουν με μικροσκοπικούς όρους το φαινόμενο της διαστολής. Στα αποτελέσματα της έρευνας αναφέρεται μια ποικιλία από παρανοήσεις αναφορικά με τη διαστολή. Γίνεται προσπάθεια να ξεπεραστούν οι δυσκολίες και οι παρανοήσεις των μαθητών μέσα από το σχεδιασμό νέων εκπαιδευτικών περιβαλλόντων μάθησης που να οδηγήσουν σε πιο ικανοποιητικά μαθησιακά αποτελέσματα. Στο πλαίσιο αυτό εντάσσεται και η προσπάθεια ανάπτυξης εκπαιδευτικού λογισμικού που ο σχεδιασμός του παίρνει υπόψη τις ιδέες των παιδιών και δημιουργεί ένα αλληλεπιδραστικό πλαίσιο για τη βελτίωση των ιδεών των μαθητών για το ζήτημα αυτό.

Στόχος της έρευνας

Η έρευνα αυτή έχει σκοπό να ανιχνεύσει τις ιδέες των μαθητών του Γυμνασίου σχετικά με την διαστολή και να ερευνήσει κατά πόσο η χρήση λογισμικού που στηρίζεται σ' ένα σωματιδιακό μοντέλο και συγκεκριμένα στο σωματιδιακό μοντέλο της ύλης έχει θετικά αποτελέσματα στην καλύτερη κατανόηση του φαινομένου της διαστολής και την εμβάθυνση του σε μικροσκοπικό επίπεδο. Στόχος της έρευνας είναι να αποδειχθεί ότι προχωρώντας πέρα από την συμβατική διδασκαλία με τη βοήθεια κατάλληλου λογισμικού, η κατανόηση του φαινομένου της διαστολής είναι μεγαλύτερη τόσο σε βάθος (κατανόηση μικροσκοπικού επιπέδου), όσο και σε έκταση (κατανόηση από περισσότερους μαθητές). Στόχο της έρευνας επίσης αποτελεί η αξιολόγηση του εκπαιδευτικού λογισμικού «*Φαινόμενα και μοντέλα του φυσικού κόσμου*» που χρησιμοποιήθηκε για την έρευνα αυτή (Σταυρίδου, 1999).

Η διαστολή, σύμφωνα με το αναλυτικό πρόγραμμα, διδάσκεται στην Β΄ Γυμνασίου στο κεφάλαιο της θερμότητας. Ξεκινώντας με μακροσκοπικά πειράματα (αύξηση όγκου μεταλλικής σφαίρας, μήκους μεταλλικής ράβδου, αύξηση όγκου νερού, αύξηση όγκου αέρα σε φιάλη), γίνεται μνεία στη μικροσκοπική εξήγηση του φαινομένου αναφέροντας την κινητική θεωρία των αερίων και ένα μοντέλο σωματιδιακής μορφής. Η παράθεση μιας εικόνας μορίων αερίου, ενός πλέγματος σωματιδίων στερεού πριν και μετά τη θέρμανση και μίας εικόνας μορίων υγρού (που μοιάζει μ' αυτή του αερίου), είναι η οπτική βοήθεια για το μαθητή.

Δείγμα

Η έρευνα έγινε στο Γυμνάσιο Διαπολιτισμικής Εκπαίδευσης Σαπών όπου η σύνθεση των μαθητών είναι 40% Έλληνες μουσουλμάνοι, 40% ελληνικής καταγωγής επαναπατρισθέντες από χώρες της πρώην Σοβιετικής Ένωσης και 20% Έλληνες χριστιανοί. Η πλειοψηφία των μαθητών αντιμετωπίζει έντονα γλωσσικά προβλήματα με αποτέλεσμα τη χαμηλή επίδοση στα μαθήματα. Το δικό μας δείγμα αποτελούσαν 18 μαθητές εθελοντές, όλων των επιδόσεων, αγόρια και κορίτσια. Η αναλογία ήταν 40% Έλληνες χριστιανοί, 40% ελληνικής καταγωγής επαναπατρισθέντες και 20% Έλληνες μουσουλμάνοι. Οι 8 μαθητές ήταν από τη Β και οι 10 από τη Γ΄ Γυμνασίου. Οι μαθητές της Β΄ Γυμνασίου είχαν διδαχθεί την διαστολή λίγες ημέρες πριν τη διεξαγωγή της έρευνας.

Μέθοδος

Η έρευνα έγινε με τη βοήθεια του λογισμικού «Φαινόμενα και μοντέλα του Φυσικού κόσμου» σε τρεις φάσεις: Στην πρώτη φάση μελετήθηκε με τη βοήθεια του λογισμικού η διαστολή ενός στερεού (μεταλλική σφαίρα), στη 2η η διαστολή ενός υγρού (νερού) και στην 3η η διαστολή ενός αερίου (αέρα). Σε κάθε φάση οι μαθητές έπρεπε να συμπληρώσουν ένα αρχικό ερωτηματολόγιο (βλ. παράρτημα), στο οποίο έπρεπε να απαντήσουν τι πίστευαν ότι θα συμβεί αν θερμανθεί το υπό εξέταση σώμα και ειδικότερα τι θα συμβεί στη μάζα του και στον όγκο του. Από τους μαθητές ζητήθηκε να δικαιολογήσουν τις απαντήσεις τους και επίσης να σχεδιάσουν τα σωματίδια που υπάρχουν στο εσωτερικό του σώματος πριν και μετά τη θέρμανση. Κατόπιν, παρουσία του πρώτου από τους δύο συγγραφείς, χωρίστηκαν σε μικρές ομάδες (3-5 ατόμων) και χρησιμοποίησαν το CD-ROM «Φαινόμενα και μοντέλα του Φυσικού κόσμου», όπου υπάρχει το σχετικό σενάριο για την κάθε φάση.

Κάθε σενάριο εξελίσσεται σε 5 βήματα. Για το πρώτο σενάριο της διαστολής στερεού (μεταλλική σφαίρα), στο πρώτο βήμα απεικονίζεται μια μεταλλική σφαίρα, η οποία μπορεί να κινείται και ένα δαχτυλίδι. Ο μαθητής καλείται να προβλέψει εάν η σφαίρα θα περάσει από το δαχτυλίδι και μια πρώτη παρατήρηση της αρχικής κατάστασης της μεταλλικής σφαίρας στο εμπειρικό επίπεδο. Στο δεύτερο βήμα απεικονίζεται η μεταλλική σφαίρα που θερμαίνεται με την βοήθεια λύχνου. Ο μαθητής καλείται να κάνει νέα πρόβλεψη για το εάν θα περάσει η σφαίρα από το δαχτυλίδι και να παρατηρήσει τη μεταβολή και την τελική κατάσταση της σφαίρας μετά από τη θέρμανση. Στο τρίτο βήμα υπάρχει η ερώτηση: «Γιατί δεν περνά η σφαίρα από το δαχτυλίδι τώρα που έχει θερμανθεί; Τι από τα παρακάτω έχει συμβεί;», με τέσσερις πιθανές απαντήσεις. 1η: «μεγαλώνει η μάζα της»2η: «μεγαλώνει ο όγκος της» 3η: «μεγαλώνει και η μάζα και ο όγκος» 4η: «δεν μεγαλώνει ούτε η μάζα ούτε ο όγκος». Ο μαθητής επιλέγει την απάντηση που θεωρεί σωστή, οπότε στην οθόνη ανοίγει παράθυρο, όπου η απάντηση χαρακτηρίζεται ως Σωστή ή Λάθος. Αν η επιλογή είναι λανθασμένη διευκρινίζεται ποιο είναι το λάθος και ο μαθητής δοκιμάζει μια νέα απάντηση. Στόχος των ερωτήσεων είναι η

διερεύνηση των αντιλήψεων του μαθητή για την εξέλιξη του φαινομένου στο εμπειρικό-μακροσκοπικό επίπεδο. Στο τέταρτο βήμα προτείνεται ένα απλό σωματιδιακό μοντέλο και επεξηγούνται οι ιδιότητες και τα χαρακτηριστικά του. Στόχος του πέμπτου βήματος είναι η διερεύνηση των αντιλήψεων του μαθητή σε σχέση με το μικροσκοπικό επίπεδο. Υπάρχει η ερώτηση «Τι σημαίνει όμως 'μεγαλώνει ο όγκος της σφαίρας;' Τι συμβαίνει στα σωματίδια της σφαίρας όταν την θερμαίνουμε;» και προτείνονται 5 απαντήσεις με στόχο να διαπιστωθεί κατά πόσον κατάφερε ο μαθητής να συνδέσει τις μεταβολές που παρατήρησε στο μακροσκοπικό επίπεδο, με τις μεταβολές στο μικροσκοπικό επίπεδο. Οι προτεινόμενες απαντήσεις είναι: 1η: «μεγαλώνουν (φουσκώνουν) τα σωματίδια της σφαίρας», 2η: «γίνονται περισσότερα/πολλαπλασιάζονται τα σωματίδια της σφαίρας», 3η: «μεγαλώνουν οι αποστάσεις ανάμεσα στα σωματίδια, δηλαδή απομακρύνονται το ένα από το άλλο», 4η: «τα σωματίδια απομακρύνονται το ένα από το άλλο και γίνονται λιγότερα», 5η: «τα σωματίδια που ήταν μαζεμένα στο κέντρο της σφαίρας πήγαν τώρα προς την περιφέρεια». Ο μαθητής και πάλι επιλέγει την απάντηση που θεωρεί σωστή, οπότε ανοίγει παράθυρο στην οθόνη όπου η απάντηση χαρακτηρίζεται ως Σωστή ή Λάθος. Αν η απάντηση ήταν λανθασμένη, καλείται ο μαθητής να επιστρέψει στο σωματιδιακό μοντέλο για να εντοπίσει το λάθος του και κατόπιν επιλέγει εκ νέου την απάντηση που θεωρεί σωστή.

Το επόμενο σενάριο, η θερμική διαστολή του νερού εξελίσσεται με βάση το ίδιο σκεπτικό, ακολουθώντας παρόμοια βήματα. Στην αρχή του δεύτερου σεναρίου εμφανίζεται η απεικόνιση μιας γυάλινης σφαιρικής φιάλης γεμάτης με νερό μέχρι τη χαραγή, που στη συνέχεια θερμαίνεται, με αποτέλεσμα να ανεβεί η στάθμη του νερού.

Το τρίτο σενάριο, για τη διαστολή του αέρα, απεικονίζει αρχικά μια μισοφουσκωμένη φούσκα που θερμαίνεται κατάλληλα και διαστέλλεται.

Οι μαθητές έπρεπε να διαλέξουν τη σωστή απάντηση ανάμεσα στις προτεινόμενες στο κάθε βήμα του σεναρίου. Είχαν στη διάθεσή τους ικανοποιητικό χρόνο για να συζητήσουν τόσο μεταξύ τους, όσο και με τον επιβλέποντα ερευνητή πριν καταλήξουν σε μία ή δύο απαντήσεις που θεωρούσαν ορθές. Κατόπιν επέλεγαν την απάντηση στην οθόνη και διαπίστωναν την ορθότητα ή μη των απόψεών τους. Ιδιαίτερο βάρος δόθηκε από τον επιβλέποντα ερευνητή στο να καταλάβουν οι μαθητές ότι το σωματιδιακό μοντέλο είναι ένα εργαλείο το οποίο βοηθά να αντιληφθούμε το μικροσκοπικό επίπεδο και όχι απεικόνιση της πραγματικότητας. Αφότου οι μαθητές παρακολουθούσαν το αντίστοιχο σενάριο, συμπλήρωναν κάθε φορά ερωτηματολόγιο που περιελάμβανε τις ίδιες ερωτήσεις με το αρχικό. Η όλη διαδικασία (συμπλήρωση αρχικού ερωτηματολογίου, χρήση του λογισμικού και συμπλήρωση του ερωτηματολογίου εκ νέου) διαρκούσε περίπου μιάμιση ώρα. Η μελέτη του 2ου σεναρίου (που αφορούσε τη διαστολή υγρού) έγινε 2 εβδομάδες μετά τη μελέτη του 1ου (για τη διαστολή στερεού), ενώ του 3ου (για τη διαστολή αερίου) μία εβδομάδα αργότερα.

Η έρευνα πραγματοποιήθηκε σε ώρες εκτός ωρολογίου προγράμματος. Οι ομάδες των μαθητών είχαν στη διάθεσή τους έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή στο Εργαστήριο Πληροφορικής του σχολείου. Δεν παρατηρήθηκαν δυσκολίες στο χειρισμό του λογισμικού.

Αποτελέσματα-Συζήτηση

1η ερώτηση

1η ΦΑΣΗ: Μεταλλική σφαίρα

Οι απαντήσεις των μαθητών στην 1η ερώτηση, όσον αφορά το τι θα συμβεί στη μεταλλική σφαίρα μετά τη θέρμανσή της κατηγοριοποιήθηκαν σε 6 κατηγορίες ανάλογα με την έννοια στην οποία έκανε αναφορά ο μαθητής στην απάντησή του.

ΑΡΧΙΚΑ

Α	Β	Γ	Δ	Ε	ΣΤ
4	4	1	2	2	9

ΤΕΛΙΚΑ

Α	Β	Γ	Δ	Ε	ΣΤ
4	8	4	0	6	4

Πίνακας 1: Κατηγορίες απαντήσεων και οι συχνότητές τους στη διαστολή στερεού

Απαντήσεις τύπου Α χαρακτηρίστηκαν εκείνες στις οποίες ο μαθητής αναφερόταν στη διαστολή της σφαίρας π.χ. *«Η σφαίρα με τη θερμότητα θα διασταλεί»* (Μαθητής Β΄ Γυμνασίου πριν τη χρήση του λογισμικού). Απαντήσεις τύπου Β χαρακτηρίστηκαν εκείνες στις οποίες ο μαθητής αναφερόταν στην αύξηση όγκου, π.χ. «*Όταν ζεστάνουμε την σφαίρα μεγαλώνει ο όγκος της»* (Μαθήτρια Β΄ Γυμνασίου πριν τη χρήση του λογισμικού). Τύπου Γ χαρακτηρίστηκαν εκείνες στις οποίες ο μαθητής αναφερόταν στην αύξηση μεγέθους της σφαίρας π.χ. «*Εγώ νομίζω πως εάν ζεσταθεί η σφαίρα θα μεγαλώσει και δε θα χωράει από το δαχτυλίδι».* (Μαθήτρια Β΄ Γυμνασίου πριν τη χρήση του λογισμικού). Τύπου Δ χαρακτηρίστηκαν εκείνες στις οποίες ο μαθητής αναφερόταν στο λιώσιμο σφαίρας π.χ. *«Εγώ πιστεύω πως η σφαίρα θα ελαττωθεί και θα λειώσει, διότι είναι από μέταλλο και το μέταλλο στη φωτιά λειώνει.*» (Μαθήτρια Γ΄ Γυμνασίου πριν τη χρήση του λογισμικού). Στις απαντήσεις τύπου Ε, ο μαθητής χρησιμοποιούσε μικροσκοπική εξήγηση, π.χ. *«Εγώ νομίζω ότι αν ζεσταθεί η σφαίρα θα μεγαλώσει και αυτό οφείλεται στο ότι τα μόρια που περιέχει μέσα αρχίζουν και κινούνται με μεγαλύτερη ταχύτητα και συγκρούονται»* (Μαθήτρια Β΄ Γυμνασίου, πριν τη χρήση του λογισμικού) και «*Εγώ νομίζω πως αφού ζεστάνουμε τη σφαίρα δε θα χωρά από το δαχτυλίδι επειδή τα σωματίδια θα έχουν απομακρυνθεί πιο πολύ το ένα από το άλλο και έτσι θα έχει μεγαλώσει ο όγκος*». (Η ίδια μαθήτρια, μετά τη χρήση του λογισμικού). Στην κατηγορία ΣΤ, κατηγοριοποιήθηκαν οι ανεπαρκείς ή ανύπαρκτες απαντήσεις.

2η Φάση: Νερό

Οι απαντήσεις των μαθητών, όσον αφορά το τι θα συμβεί στο νερό μέσα στη φιάλη μετά τη θέρμανση κατηγοριοποιήθηκαν σε 9 κατηγορίες ανάλογα με την έννοια στην οποία έκανε αναφορά ο μαθητής στην απάντησή του.

ΑΡΧΙΚΑ

Α	Β	Γ	Δ	Ε	ΣΤ	Ζ	Η	Θ
2	1	1	3	5	1	5	0	2

ΤΕΛΙΚΑ

Α	Β	Γ	Δ	Ε	ΣΤ	Ζ	Η	Θ
2	0	13	0	1	8	0	3	0

Πίνακας 2: Κατηγορίες απαντήσεων και οι συχνότητές τους στη διαστολή υγρού

Απαντήσεις τύπου Α χαρακτηρίστηκαν εκείνες στις οποίες ο μαθητής αναφερόταν στη διαστολή νερού π.χ, *«Το νερό στη φιάλη θα ανεβεί γιατί θα πάθει κυβική διαστολή»* (Μαθητής Β΄ Γυμνασίου, πριν τη χρήση του λογισμικού). Τύπου Β χαρακτηρίστηκαν εκείνες στις οποίες ο μαθητής απαντούσε ότι ο όγκος θα μείνει αμετάβλητος π.χ. *«...τώρα ο όγκος δεν αλλάζει επειδή δεν το ζεσταίνουμε πολύ».* (Μαθήτρια Β΄ Γυμνασίου, πριν τη χρήση του λογισμικού). Τύπου Γ χαρακτηρίστηκαν εκείνες οι απαντήσεις στις οποίες ο μαθητής αναφερόταν στην αύξηση όγκου π.χ. *«Ο όγκος του νερού μεγάλωσε γιατί θερμάνθηκε»* (Μαθήτρια Β΄ Γυμνασίου, μετά τη χρήση του λογισμικού). Στις απαντήσεις τύπου Δ, ο μαθητής απαντούσε ότι το νερό παραμένει ίδιο γιατί δεν βράζει, π.χ. *«Εγώ νομίζω πως αν δε βραστεί το νερό θα παραμένει ίδιο, αλλά θα αλλάξει η θερμότητα του νερού»* (Μαθήτρια Γ΄ Γυμνασίου, πριν τη χρήση του λογισμικού). Απαντήσεις τύπου Ε χαρακτηρίστηκαν εκείνες στις οποίες ο μαθητής έκανε αναφορά στο βρασμό χωρίς απάντηση σχετικά με το φαινόμενο της διαστολής, π.χ. *«Νομίζω όταν αρχίζει να βράσει αρχίζει να βγει φυσαλίδες αρχίζει να βγει οξυγόνο»* (Μαθητής Β΄ Γυμνασίου, πριν τη χρήση του λογισμικού). Στις απαντήσεις τύπου ΣΤ ο μαθητής χρησιμοποιούσε μικροσκοπική εξήγηση π.χ. *«Ο όγκος θ' αυξηθεί αλλά η μάζα δεν θα αλλάξει. Υπάρχουν σωματίδια τα οποία διαστέλλονται και αυξάνει ο όγκος»* (Μαθητής Γ΄ Γυμνασίου, πριν τη χρήση του λογισμικού). Απαντήσεις τύπου Ζ χαρακτηρίστηκαν εκείνες στις οποίες ο μαθητής απάντησε ότι το νερό θερμαίνεται π.χ. «*Το νερό απλώς θα ζεσταθεί*» (Μαθήτρια Γ΄ Γυμνασίου, πριν τη χρήση του λογισμικού). Τύπου Η χαρακτηρίστηκαν εκείνες στις οποίες ο μαθητής αναφερόταν στην αύξηση του νερού, π.χ. *«Το νερό θα αυξηθεί και θα γίνει περισσότερο»* (Μαθήτρια Γ΄ Γυμνασίου, μετά τη χρήση λογισμικού). Στην κατηγορία Θ κατατάχτηκαν οι ανεπαρκείς ή ανύπαρκτες απαντήσεις.

<u>3η Φάση: Αέρας</u>

Οι απαντήσεις των μαθητών, όσον αφορά το τι θα συμβεί στον αέρα μέσα στο μπαλόνι μετά τη θέρμανσή του κατηγοριοποιήθηκαν σε 6 κατηγορίες ανάλογα με την έννοια στην οποία έκανε αναφορά ο μαθητής στην απάντησή του.

ΑΡΧΙΚΑ

Α	Β	Γ	Δ	Ε
2	9	6	8	1

ΤΕΛΙΚΑ

Α	Β	Γ	Δ	Ε
2	13	2	8	0

Πίνακας 3: Κατηγορίες απαντήσεων και οι συχνότητές τους στη διαστολή αερίου

Απαντήσεις τύπου Α χαρακτηρίστηκαν εκείνες στις οποίες ο μαθητής αναφερόταν στην διαστολή, π.χ. *«Το μπαλόνι με τη θέρμανση θα μεγαλώσει γιατί το αέριο που υπάρχει στο μπαλόνι θα πάθει κυβική διαστολή»* (Μαθητής Β΄ Γυμνασίου, πριν τη χρήση του λογισμικού). Τύπου Β χαρακτηρίστηκαν εκείνες στις οποίες ο μαθητής αναφερόταν στην αύξηση του όγκου π.χ. *«Μεγάλωσε λίγο ο όγκος του αλλά η μάζα δεν άλλαξε»* (Μαθήτρια Β΄ Γυμνασίου, πριν τη χρήση του λογισμικού). Τύπου Γ χαρακτηρίστηκαν εκείνες στις οποίες ο μαθητής αναφερόταν στην αύξηση του μπαλονιού π.χ. *«Εάν το ζεστάνουμε. το μπαλόνι θα μεγαλώσει γιατί το υλικό του μπαλονιού είναι λαστιχένιο και με το ζέσταμα μεγαλώνει. Έτσι πιστεύω»* (Μαθήτρια Γ΄ Γυμνασίου, πριν τη χρήση του λογισμικού). Στις απαντήσεις τύπου Δ ο μαθητής έδωσε μικροσκοπική εξήγηση π.χ. «Το μπαλόνι θα μεγαλώσει για ένα χρονικό διάστημα και αυτό οφείλεται στα σωματίδια που υπάρχουν στο μπαλόνι μέσα στον αέρα. Αυτά αρχίζουν να μετακινούνται γρήγορα και ομοιόμορφα» (Μαθητής Γ΄ Γυμνασίου, πριν τη χρήση του λογισμικού). Στην κατηγορία τύπου Ε κατατάχθηκαν οι ανεπαρκείς ή ανύπαρκτες απαντήσεις.

Μελετώντας τις απαντήσεις στην 1η Φάση παρατηρούμε ότι ο αριθμός των μαθητών που αναφέρονται στη διαστολή της σφαίρας παρέμεινε ο ίδιος (4 μαθητές) πριν και μετά τη χρήση του CD-ROM. Ο αριθμός των μαθητών που αναφέρονται στην αύξηση του όγκου της σφαίρας διπλασιάστηκε (από 4 έγιναν 8 μετά το CD-ROM), ενώ αυξήθηκε και ο αριθμός των μαθητών που αναφέρονται στην αύξηση της σφαίρας (Απάντηση Γ). Τέλος, αυξήθηκε και ο αριθμός των μαθητών που δίνουν μικροσκοπική εξήγηση του φαινομένου (από 2 έγιναν 6 μετά τη χρήση του CD-ROM). Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα χρήσης του σωματιδιακού μοντέλου μετά το CD-ROM είναι το εξής: *«Όπως είδαμε στο κομπιούτερ, καθώς θερμαίνουμε τη σφαίρα, αυτή αρχίζει να αυξάνεται και να μεγαλώνει. Αυτό συμβαίνει επειδή τα σωματίδια που έχει μέσα της η σφαίρα, με τη θέρμανση αρχίζουν να απομακρύνονται με έναν ομοιόμορφο τρόπο»* (Μαθήτρια Γ΄ Γυμνασίου).

Στη δεύτερη φάση (διαστολή νερού) παρατηρούμε ότι ο αριθμός των μαθητών που αναφέρονται στη διαστολή του νερού είναι ο ίδιος (2 μαθητές) πριν και μετά το CD-ROM. Ο αριθμός των μαθητών που αναφέρονται στην αύξηση του όγκου αυξάνεται από έναν σε 13 μετά το CD-ROM. Υπάρχει μία κατηγορία μαθητών (3) που εμφανίζεται μετά το CD-

ROM και απαντά πως ‘μεγαλώνει το νερό’. Οι μαθητές αυτοί εντάσσονται σε διαφορετική κατηγορία, καθώς δεν χρησιμοποιούν επιστημονικούς όρους στις εξηγήσεις τους. Τέλος, αυξήθηκε σημαντικά ο αριθμός των μαθητών που δίνουν μικροσκοπική εξήγηση του φαινομένου (από μία, λανθασμένη μικροσκοπική εξήγηση πριν σε 8 σωστές μετά το CD-ROM).

Στην τρίτη φάση (διαστολή αέρα) παρατηρούμε ότι οι απαντήσεις των μαθητών παρουσιάζουν μικρότερη διασπορά: οι κατηγορίες των απαντήσεων είναι εμφανώς λιγότερες απ’ ό,τι στις δύο προηγούμενες φάσεις, τόσο πριν όσο και μετά τη χρήση του CD-ROM και περιορίζονται στη διαστολή (Απάντηση Α), στην αύξηση του όγκου (Απάντηση Β), αύξηση του μπαλονιού (Απάντηση Γ) και σε μικροσκοπική εξήγηση (Απάντηση Δ), εκτός από μία μαθήτρια με ανεπαρκή απάντηση (Απάντηση Ε). Ο αριθμός των μαθητών που αναφέρονται στη διαστολή του αέρα πριν και μετά το CD-ROM παρέμεινε ίδιος (2 μαθητές). Ο αριθμός των μαθητών που αναφέρονται στην αύξηση του όγκου του μπαλονιού αυξήθηκε από 9 σε 13 μετά τη χρήση του CD-ROM. Ο αριθμός των μαθητών που μιλούν για ‘αύξηση του μπαλονιού’ μειώθηκε από 6 σε 2 μετά το CD-ROM. Τέλος, ο αριθμός των μαθητών που έδωσαν μικροσκοπική εξήγηση παρέμεινε ο ίδιος (8 μαθητές). Αξίζει να επισημάνουμε εδώ ότι παρατηρήθηκε αύξηση των μαθητών που δίνουν μικροσκοπική εξήγηση μετά τη χρήση του CD-ROM στις δύο πρώτες φάσεις, καθώς και αύξηση των μαθητών που απαντούν μικροσκοπικά στην 3η φάση πριν τη χρήση του λογισμικού, γεγονός που οδηγεί στο συμπέρασμα ότι οι μαθητές αξιοποίησαν τη γνώση που απέκτησαν στις δύο προηγούμενες φάσεις.

2η Ερώτηση

Στη 2η ερώτηση ζητήθηκε από τους μαθητές ν’ απαντήσουν τι νομίζουν ότι θα συμβεί στη μάζα του σώματος μετά τη θέρμανση (βλ. Παράρτημα).

ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΜΑΖΑΣ

	ΑΡΧΙΚΑ			**ΤΕΛΙΚΑ**		
	Ίδια	Αύξηση	Ελάττωση	Ίδια	Αύξηση	Ελάττωση
Σφαίρα	8	10	0	15	3	0
Νερό	17	0	1	17	1	0
Αέρας	13	4	0	17	0	0

Πίνακας 4: Κατηγορίες απαντήσεων και οι συχνότητές τους για τη μεταβολή της μάζας

Εξετάζοντας τις απαντήσεις των μαθητών στη δεύτερη ερώτηση σχετικά με τη μεταβολή της μάζας του θερμαινόμενου σώματος, διαπιστώνουμε ότι στην περίπτωση της σφαίρας πριν το CD-ROM οι μαθητές που απάντησαν ότι παραμένει ίδια και μετά τη θέρμανση ήταν 8, ενώ 10 απάντησαν ότι θα αυξηθεί. Μετά το CD-ROM οι μαθητές που απάντησαν ότι η μάζα της σφαίρας θα μείνει ίδια ήταν 15 και μόνο 3 επέμεναν ότι θα αυξηθεί.

Στην περίπτωση του νερού οι μαθητές που απάντησαν ότι η μάζα μένει ίδια πριν τη χρήση του CD-ROM ήταν 17. Μελετώντας τις απαντήσεις τους διαπιστώσαμε ότι επικέντρωσαν την προσοχή τους στο αν βράζει ή όχι το νερό και μάλιστα η διευκρίνηση ότι δε βράζει (που τους δόθηκε από την αρχή) τους οδήγησε στην ιδέα ότι η μάζα του νερού μετά τη θέρμανση «παραμένει ίδια γιατί δε βράζει». Φαίνεται λοιπόν ότι η επίδραση της καθημερινής εμπειρίας που σχετίζεται με το βρασμό του νερού, επηρεάζει σημαντικά την κατανόηση της διαστολής του νερού. Η απάντηση των παιδιών φαίνεται να στηρίζεται στην εμπειρία τους, ότι δηλαδή με τον βρασμό παρατηρείται πτώση της στάθμης του νερού γεγονός που το συνδυάζουν με ελάττωση της μάζας. Μία ακόμη παρανόηση που επηρεάζει τις απαντήσεις των παιδιών σχετίζεται με το αν θα διασπαστεί το νερό σε κάποια συστατικά όταν φθάσει στο σημείο βρασμού, π.χ. «*Το νερό είναι πόσιμο. Μόνο όταν φτάσουμε στο σημείο βρασμού τότε το νερό μετατρέπεται από H_2O χωρίζεται και γίνεται H, HO*».

Μετά τη χρήση του CD-ROM οι μαθητές που απάντησαν ότι η μάζα του νερού παραμένει η ίδια, ήταν πάλι 17, αλλά οι εξηγήσεις που έδωσαν ήταν διαφορετικές και κυρίως ήταν αυτή που αναφέρεται στο λογισμικό, ότι δηλαδή η μάζα παραμένει η ίδια, γιατί ούτε προσθέσαμε, ούτε αφαιρέσαμε νερό στη φιάλη.

Παράδειγμα: *«Μόνο αν προσθέσουμε νερό θα αλλάξει η μάζα, εμείς όμως δεν προσθέσαμε ούτε αφαιρέσαμε, έτσι παραμένει σταθερή»* (Μαθητής Γ΄ Γυμνασίου, μετά τη χρήση του λογισμικού).

Στην περίπτωση του αέρα, πριν το CD-ROM οι 4 μαθητές απάντησαν ότι θα αυξηθεί ενώ οι 13 απάντησαν ότι η μάζα παραμένει ίδια. Μετά το CD-ROM όλοι οι μαθητές (17) απάντησαν ότι παραμένει η ίδια χρησιμοποιώντας την απάντηση του λογισμικού, ότι δεν προσθέσαμε ούτε αφαιρέσαμε τίποτα.

Παράδειγμα: *«Η μάζα έμεινε η ίδια γιατί δεν προσθέσαμε άλλο αέρα για να αλλάξει η μάζα».* (Μαθήτρια Γ΄ Γυμνασίου, μετά τη χρήση του λογισμικού).

3η Ερώτηση

Στην 3η ερώτηση ζητήθηκε από τους μαθητές να απαντήσουν τι νομίζουν ότι θα συμβεί στον όγκο του σώματος μετά τη θέρμανση (βλ. Παράρτημα).

ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΟΓΚΟΥ

	ΑΡΧΙΚΑ			ΤΕΛΙΚΑ		
	Ίδιος	Αύξηση	Ελάττωση	Ίδιος	Αύξηση	Ελάττωση
Σφαίρα	1	14	3	2	16	0
Νερό	13	5	0	0	18	0
Αέρας	0	17	0	0	17	0

Πίνακας 5: Κατηγορίες απαντήσεων και οι συχνότητές τους για τη μεταβολή του όγκου.

Πριν από το CD-ROM, στην περίπτωση της σφαίρας, 14 μαθητές απάντησαν ότι θα αυξηθεί, ένας ότι παραμένει ίδιος και 3 ότι θα ελαττωθεί. Μετά το CD-ROM 16 απάντησαν ότι θα αυξηθεί και 2 ότι μένει ίδιος. Εκείνο που διαφοροποιείται αισθητά είναι η εξήγηση που δίνουν στην αύξηση του όγκου. Πριν από το CD-ROM απαντούσαν οι περισσότεροι ότι «θα αυξηθεί ο όγκος της σφαίρας λόγω θέρμανσης». Μετά το CD-ROM στις απαντήσεις τους κυριαρχούσε η άποψη ότι η αύξηση του όγκου οφείλεται στο ότι τα σωματίδια τα οποία αποτελούν τη σφαίρα λόγω της θέρμανσης απομακρύνονται με αποτέλεσμα να αυξάνει ο όγκος.

Παράδειγμα: *«Εφόσον τα σωματίδια απομακρύνονται, αναγκάζουν τη σφαίρα να μεγαλώσει με αποτέλεσμα να μην περνά μέσα από το δαχτυλίδι»* (Μαθητής Γ΄ Γυμνασίου, μετά τη χρήση του λογισμικού).

Στη δεύτερη φάση (διαστολή του νερού) πριν το CD-ROM 13 μαθητές απάντησαν ότι ο όγκος του νερού μετά τη θέρμανση θα παραμείνει ίδιος, ενώ 5 ότι θα αυξηθεί. Εδώ, ερευνώντας τις απαντήσεις, διαπιστώνουμε ότι υπάρχει έντονη ταύτιση μάζας και όγκου γιατί οι μαθητές υποστηρίζουν ότι τόσο η μάζα όσο και ο όγκος παραμένουν ίδια επειδή το νερό δε βράζει. Διαπιστώνουμε για μια ακόμη φορά την επίδραση της καθημερινής, βιωματικής εμπειρίας στη σκέψη των μαθητών: όπως και στην περίπτωση της μάζας, που εξετάσαμε προηγουμένως, το φαινόμενο του βρασμού κυριαρχεί σε πολλές από τις απαντήσεις, επηρεάζοντας την κατανόηση του φαινομένου της διαστολής. Μετά το CD-ROM και οι 18 μαθητές απαντούν ότι θα αυξηθεί χρησιμοποιώντας και πάλι στοιχεία της απάντησης του λογισμικού, ότι δηλαδή αυξάνεται η απόσταση μεταξύ των σωματιδίων και αυξάνεται η ταχύτητα της κίνησής τους.

Τέλος στην περίπτωση του αέρα, πριν το CD-ROM οι 17 μαθητές απάντησαν ότι αυξάνεται ο όγκος του αέρα μέσα στο μπαλόνι και μάλιστα οι 6 ανέφεραν ότι η αύξηση του όγκου του αέρα οφείλεται στην αύξηση της απόστασης των σωματιδίων και της ταχύτητάς τους. Μετά το CD-ROM οι 17 μαθητές απάντησαν ότι αυξάνεται ο όγκος και οι 10 χρησιμοποίησαν στην απάντησή τους το σωματιδιακό μοντέλο.

4η Ερώτηση

Με αυτήν την ερώτηση (βλ. Παράρτημα) θέλαμε να διαπιστώσουμε το κατά πόσο οι μαθητές αντιλήφθηκαν τη σημασία του σωματιδιακού μοντέλου για την περιγραφή και εξήγηση της διαστολής στερεού, υγρού και αερίου. Για το σκοπό αυτό τους ζητήσαμε να σχεδιάσουν τα σωματίδια στο εσωτερικό των σωμάτων (στερεού, υγρού, αερίου) πριν και μετά τη θέρμανση. Για να καταλήξουμε σε κάποια συμπεράσματα συγκρίναμε στο αρχικό και το τελικό ερωτηματολόγιο τις αποστάσεις των σωματιδίων που ζωγράφισαν οι μαθητές πριν και μετά τη θέρμανση.

ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ

ΑΡΧΙΚΑ

	Αύξηση	Ίδια	Ελάττωση	Χωρίς απάντηση	Λάθος
Σφαίρα	7	6	2	3	0
Νερό	5	10	0	2	1
Αέρας	14	2	1	0	0

ΤΕΛΙΚΑ

	Αύξηση	Ίδια	Ελάττωση	Χωρίς απάντηση	Λάθος
Σφαίρα	16	1	1	0	0
Νερό	17	0	0	0	1
Αέρας	16	1	0	0	0

Πίνακας 6: Κατηγορίες απαντήσεων και οι συχνότητές τους για την απόσταση των σωματιδίων

Για τη σφαίρα πριν το CD-ROM μόνο 7 μαθητές αύξησαν την απόσταση των σωματιδίων μετά την θέρμανση, ενώ μετά το CD-ROM το ποσοστό αυξήθηκε σε 17 μαθητές. Στο νερό πριν το CD-ROM μόνο 5 μαθητές αύξησαν την απόσταση μετά την θέρμανση, 10 την διατήρησαν ίδια και οι υπόλοιποι 3 δε σχεδίασαν καθόλου σωματίδια. Μετά το CD-ROM οι 17 αύξησαν την απόσταση των σωματιδίων και η 18η μαθήτρια θεώρησε ότι τα σωματίδια είναι μαζεμένα στον πυθμένα της φιάλης και μετά πηγαίνουν στην επιφάνεια. (Αυτό συνεπάγεται αύξηση της απόστασης). Στον αέρα τέλος, πριν το CD-ROM 14 μαθητές αύξησαν την απόσταση των σωματιδίων, 2 τη διατήρησαν ίδια και ένας την

ελάττωσε. Μετά το CD-ROM οι 16 μαθητές αύξησαν την απόσταση, ενώ μία τη διατήρησε ίδια και συγκεκριμένα ήταν η μαθήτρια που πριν το CD-ROM την είχε ελαττώσει.

Συμπεράσματα

Από τα αποτελέσματα της έρευνας προκύπτει ότι οι μαθητές παρ' όλο που είχαν διδαχθεί την διαστολή στο σχολείο, δεν είχαν ικανοποιητική κατανόηση του φαινομένου, τόσο στο μακροσκοπικό όσο και στο μικροσκοπικό επίπεδο. Από τις απαντήσεις των μαθητών πριν χρησιμοποιήσουν το CD-ROM διαπιστώνουμε ότι η πλειοψηφία δε συνδέει το φαινόμενο της διαστολής με το μικροσκοπικό επίπεδο και ότι προσπαθεί να το κατανοήσει μακροσκοπικά και με βάση τις καθημερινές εμπειρίες (βρασμός νερού). Ακόμη, ορισμένοι μαθητές, στην προσπάθειά τους να εισαγάγουν επιστημονικούς όρους στις απαντήσεις τους, αποκαλύπτουν μια σύγχυση καθημερινών και επιστημονικών εννοιών: *«Το νερό θα είναι ζεστό γιατί έχει ζεσταθεί, έχει μικρύνει η μάζα και ο όγκος του από τους υδρατμούς που δημιουργήθηκαν από τη ζέστη. Το νερό θα είναι άγευστο και άχρωμο όπως ήταν»*. Μία ακόμη έντονη σύγχυση των μαθητών αφορά τις έννοιες της μάζας και του όγκου. Εξετάζοντας τις απαντήσεις μετά το CD-ROM διαπιστώνουμε ότι: 1) Περιορίζονται οι απαντήσεις που προέρχονται από την καθημερινή ζωή 2) Υπάρχει μία ικανοποιητική αύξηση των μαθητών που δίνουν απαντήσεις με αναφορά το μικροσκοπικό επίπεδο. 3) Αυξάνεται ο αριθμός των μαθητών που απαντούν σε συμφωνία με το επιστημονικά αποδεκτό θεωρητικό πλαίσιο που αφορά το φαινόμενο της διαστολής. 4) Αντιλαμβάνονται καλύτερα τις έννοιες της μάζας και του όγκου.

Παρατηρούμε ακόμα ότι εκτός από την αύξηση των ορθών απαντήσεων μετά το CD-ROM και στις τέσσερις ερωτήσεις του ερωτηματολογίου, υπάρχει μια αύξηση μαθητών που απαντούν σωστά και σε μικροσκοπικό επίπεδο στην τρίτη φάση (διαστολή του αέρα) πριν χρησιμοποιήσουν το CD-ROM. Με βάση αυτό το δεδομένο νομιμοποιούμαστε να υποθέσουμε ότι οι μαθητές αξιοποίησαν τη γνώση που απέκτησαν κατά τη διάρκεια των δύο προηγούμενων φάσεων (διαστολή στερεού και υγρού) και κατόρθωσαν να μεταφέρουν αυτή τη γνώση σε μία νέα κατάσταση (διαστολή του αερίου).

Βιβλιογραφία

Andersson, B. (1990). Pupils' Conceptions of Matter and its Transformations (age 12-16). *Studies in Science Education, 18,* 53-85.

Ben-Zvi, R., Eylon, B., Silberstein, J. (1986). Is an atom of copper malleable? *Journal of Chemical Education,* 63, 64-66.

Brook, A., Briggs, H., Driver, R. (1984). Aspects of Secondary Students' Understanding of the Particulate Nature of Matter. *Children's Learning in Science Project.* Center for Studies in Science and Mathematics Education, University of Leeds.

De Vos, W., Verdonk, A. H. (1987). A new road to reactions, part 4. The substance and its molecules. *Journal of Chemical Education* 64, 692-694.

Driver, R. (1985/1993). Πέρα από τα φαινόμενα: η διατήρηση της μάζας στους φυσικούς και χημικούς μετασχηματισμούς. Στο R. Driver, E. Guesne, A. Tiberghien (Eds) *Οι ιδέες των παιδιών στις Φυσικές Επιστήμες* (Ελλ. μετ.), Αθήνα, Ε.Ε.Φ., Τροχαλία, 208-241.

Hatzinikita, V., Kokkotas, P. (1994). Children's and undergraduate students' conseptions of the changes in the state of water. In A. Bargellini & P.E. Todesco (Eds) *Proceedings of the 2nd European Conference on Recearch in Chemical Education,* Pisa, Italy, 247-253.

Krnel, D. (1998). Survey of research related to the development of the concept of 'matter'. *International Journal of Science Education*, 20 (3), 257-289.

Martinand, J.-L. (1986). *Connaître et transformer la matiere.* Berne: Peter Lang.

Mullet, E., and Gervais, H. (1990). Distinction between the concept of weight and mass in high school students. *International Journal of Science Education,* 12 (2), 217-226.

Nussbaum, J. (1985/1993). Η σωματιδιακή φύση της ύλης στην αέρια κατάσταση. In R. Driver, E. Guesne, A. Tiberghien (Eds) *Οι ιδέες των παιδιών στις Φυσικές Επιστήμες* (Ελλ. μετ.), Αθήνα, Ε.Ε.Φ., Τροχαλία, 180-207.

Pfundt, H. (1981). The atom- The final link in the division process or the first building block? Pre-instructional conceptions about the structure of substances. *Chemica Didactica* 7, 75-94.

Renström, L., Anderson, B. & Marton, F. (1990). Students' conceptions of matter. *Journal of Education,* 22, 331-340.

Sanmarti, N., Izquierdo, M., Watson, R. (1994). The substantialisation of properties in pupils' thinking and in the history of science. *Science and Education,* 4(4), 349-369.

Stavridou, H. (1990). *Le concept de réaction chimique dans l' enseignement secondaire: étude des conceptions des élèves.* Thèse de Doctorat (nouveau régime), Université Paris 7.

Σταυρίδου, Ε., (1995). *Μοντέλα Φυσικών Επιστημών και διαδικασίες μάθησης*, Σαββάλας, 44-82.

Σταυρίδου, Ε.(1999). Φαινόμενα και μοντέλα του φυσικού κόσμου: ένα λογισμικό για την διδασκαλία μοντέλων της δομής της ύλης στο Δημοτικό σχολείο και Γυμνάσιο. Β΄ Μέρος: Φαινόμενα θερμικής διαστολής. Πρακτικά Πανελληνίου Συνεδρίου *Πληροφορική και Εκπαίδευση,* Ιωάννινα, 1999.

Tsaparlis, G., Georgiadou, A. (1994). A three-cycle method of teaching beginning high-school chemistry students, based on the macro, the representational and sub-micro levels of chemistry. In A. Bargellini & P. E. Todesco (Eds) *Proceedings of the 2nd European Conference on Research in Chemical Education,* Pisa, Italy, 357-362.

Παράρτημα

Οι ερωτήσεις του ερωτηματολογίου (αρχικού και τελικού)

1η Ερώτηση

Μια μεταλλική συμπαγής (δηλαδή γεμάτη μέταλλο, όχι κούφια) σφαίρα, έχει τέτοια διάμετρο ώστε να περνά από ένα δαχτυλίδι. Εάν ζεστάνουμε μόνο τη σφαίρα, τι νομίζετε ότι θα συμβεί και γιατί; Τώρα που ζεστάθηκε θα περάσει πάλι από το δαχτυλίδι;

2η Ερώτηση

Τι νομίζεις ότι συνέβη στη μάζα της μεταλλικής σφαίρας;

Έμεινε ίδια ☐

Μεγάλωσε ☐

Ελαττώθηκε ☐

(Συμπλήρωσε με Χ την απάντηση που θεωρείς σωστή).

Δικαιολόγησε την απάντησή σου.

3η Ερώτηση

Τι νομίζεις ότι συνέβη στον όγκο της μεταλλικής σφαίρας;

Έμεινε ο ίδιος ☐

Μεγάλωσε ☐

Ελαττώθηκε ☐

(Συμπλήρωσε με Χ την απάντηση που θεωρείς σωστή).

Δικαιολόγησε την απάντησή σου.

4η Ερώτηση

Παρακαλούμε να ζωγραφίσετε τα σωματίδια στο εσωτερικό της σφαίρας πριν και μετά τη θέρμανση.

Στις δύο επόμενες φάσεις της διαστολής του νερού και της διαστολής του αέρα στο ερωτηματολόγιο αντί για ‘συμπαγή μεταλλική σφαίρα’ υπήρχε ‘γυάλινη φιάλη με νερό’ και ‘μπαλόνι με αέρα’ αντίστοιχα.