

Το Εκπαιδευτικό Λογισμικό «Το Τετράδιο της Πυκνότητας» στην Τάξη: Διαδικασίες Μάθησης και Μαθησιακά Αποτελέσματα

Γραμμένος Στέργιος, Καθηγητής Δ.Ε. Χημικός, stegram@yahoo.com

Σταυρίδου Ελένη, Καθηγήτρια Π.Τ.Δ.Ε. Παν. Θεσσαλίας, estavrid@pre.uth.gr

Δημητριάδης Σταύρος, Καθηγητής Δ.Ε. Πληροφορικός, sdemetri@csl.duth.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η εργασία αυτή περιγράφει το λογισμικό «ΤΟ ΤΕΤΡΑΔΙΟ ΤΗΣ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ», του οποίου ο σχεδιασμός και η ανάπτυξη στηρίχθηκε στην υπόθεση ότι εάν οι μαθητές και οι μαθήτριες κατανοήσουν τις έννοιες της μάζας, του όγκου και της πυκνότητας στο μικροσκοπικό επίπεδο, θα τις κατανοήσουν καλύτερα και στο μακροσκοπικό. Το λογισμικό αποτελείται από 4 ενότητες στις οποίες υπάρχουν κατάλληλες δραστηριότητες για να οικοδομήσουν οι μαθητές και οι μαθήτριες την σχέση μεταξύ των τριών μεγεθών. Το λογισμικό έχει τη δυνατότητα της καταγραφής των ενεργειών των χρηστών, γεγονός που αποτελεί πηγή δεδομένων α) για την ανάλυση των στρατηγικών που ακολουθούν τα παιδιά στην προσπάθειά τους να υπερβούν τις δυσκολίες που αντιμετωπίζουν και β) των μαθησιακών αποτελεσμάτων που επιτυγχάνονται με το λογισμικό. Από τις απαντήσεις 91 παιδιών της Ε' και της ΣΤ' τάξης Δημοτικού σχολείου σε γραπτό ερωτηματολόγιο και τις καταγραφές του λογισμικού προκύπτει σημαντική βελτίωση των μαθησιακών αποτελεσμάτων, αλλά και η ύπαρξη συγκεκριμένων δυσκολιών των μαθητών και των μαθητριών για την έννοια της πυκνότητας.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: πυκνότητα, εκπαιδευτικό λογισμικό, απαντήσεις του λογισμικού, καταγραφές ενεργειών των χρηστών.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι μαθητές και οι μαθήτριες τόσο της πέμπτης και της έκτης τάξης του δημοτικού σχολείου, όσο και του γυμνασίου, έχουν δυσκολίες στην κατανόηση της έννοιας της πυκνότητας. Οι δυσκολίες αυτές οφείλονται τόσο στο ότι η πυκνότητα δεν είναι ένα μέγεθος που μπορεί να παρατηρηθεί και να μετρηθεί άμεσα (Adey & Shayer 1988, Snir et al. 1993) αλλά προκύπτει ως ο λόγος δύο άλλων μεγεθών (της μάζας και του όγκου), (Adey & Shayer 1988, Rowell & Dawson 1977) όσο και σε παρανοήσεις των παιδιών για την ύλη με αποτέλεσμα να μη διαφοροποιούν τις έννοιες βάρος - πυκνότητα (Hewson 1986, Piaget & Inhelder 1974, Smith et al. 1985). Έρευνες στη διδασκαλία των φυσικών επιστημών δείχνουν ότι η σύγχυση του βάρους και της πυκνότητας εξακολουθεί να υπάρχει και σε μαθητές και μαθήτριες μεγαλύτερης ηλικίας, οι οποίοι έχουν διδαχθεί την πυκνότητα με παραδοσιακό τρόπο (Duckworth 1986, Hewson 1986).

Η Hewson (1986) μετά από συνεντεύξεις με μαθητές και μαθήτριες λυκείου διαπίστωσε ότι παρά το ότι είχαν διδαχθεί την πυκνότητα δύο φορές με το παραδοσιακό τρόπο, οι περισσότεροι/ές απάντησαν με εναλλακτικές έννοιες για την πυκνότητα, τη μάζα και τον όγκο. Η καινοτομική πειραματική διδασκαλία που σχεδίασαν οι Rowell & Dawson (1977), είχε στόχο την επαγωγική προσέγγιση της πυκνότητας με πολλά πειράματα. Αλλά και σ' αυτήν την περίπτωση τα

αποτελέσματα έδειξαν ότι πολλοί μαθητές και μαθήτριες είχαν δυσκολίες στο να κατανοήσουν ότι η πυκνότητα είναι σταθερή και χαρακτηριστική για κάθε υλικό. Αποθαρρυντικά αποτελέσματα αναφέρει και ο Gennaro (1981) μετά από καινοτομική διδασκαλία.

Οι Snir, Smith και Grosslight (1993) προτείνουν την προσέγγιση της πυκνότητας με τη βοήθεια ενός λογισμικού. Απέφυγαν το λογισμικό τους να αναφέρεται στο μικροσκοπικό επίπεδο, διότι θεώρησαν ότι αφενός οι μαθητές και οι μαθήτριες έχουν δυσκολίες στην κατανόηση της σωματιδιακής δομής της ύλης και αφετέρου διότι θεώρησαν ότι η μικροσκοπική προσέγγιση της πυκνότητας δεν είναι απαραίτητη για τον διαχωρισμό των εννοιών του βάρους και της πυκνότητας (Snir et al. 1992). Τα αποτελέσματα της έρευνάς τους έδειξαν ότι ορισμένοι/ες μαθητές/τριες δεν κατανόησαν τη λογική και τη μαθηματική σχέση που υπήρχε στο μοντέλο τους (ότι δηλαδή ο αριθμός των τελειών ανά τετράγωνο αναπαριστά την πυκνότητα) καθώς και την σημασία ύπαρξης μιας σταθερής μονάδας μεγέθους.

Οι κυριότερες παρανοήσεις των μαθητών και μαθητριών που αναφέρονται στην βιβλιογραφία και σχετίζονται με την πυκνότητα θα μπορούσαν να συνοψιστούν στις ακόλουθες:

- Η πυκνότητα είναι εκτατική ιδιότητα (Rowell & Dawson 1977).
- Αντικείμενα με μεγάλο όγκο έχουν μεγάλη μάζα (Snir et al. 1992).
- Η πυκνότητα εξαρτάται μόνο από τις αποστάσεις των μορίων (Hewson 1986).
- Η πυκνότητα σχετίζεται με την σκληρότητα του αντικειμένου (Hewson 1986).
- Η μάζα συγχέεται με τον όγκο (Gennaro 1981).

Από την επισκόπηση της βιβλιογραφίας γίνεται φανερό ότι υπάρχει δυσκολία στην κατανόηση της έννοιας της πυκνότητας από τους μαθητές και τις μαθήτριες, ακόμη και όταν η διδασκαλία γίνεται με καινοτομικό τρόπο, ενισχυμένη με πειράματα ή με την χρήση λογισμικού που αναφέρεται στο μικροσκοπικό επίπεδο.

ΣΚΟΠΟΣ

Στην εργασία αυτή παρουσιάζεται μια καινοτομική διδακτική προσέγγιση της έννοιας της πυκνότητας σε ένα νέο μαθησιακό περιβάλλον που αξιοποιεί τη χρήση υπολογιστή. Η καινοτομική διδακτική προσέγγιση της έννοιας της πυκνότητας, σε αντίθεση με τις προηγούμενες, στηρίζεται στην υπόθεση ότι για να αντλήφθούν καλύτερα την έννοια της πυκνότητας οι μαθητές και οι μαθήτριες θα πρέπει να αναπτύξουν νοητικές αναπαραστάσεις για τις έννοιες της μάζας, του όγκου και της πυκνότητας στο μικροσκοπικό επίπεδο και στη συνέχεια να τις συνδέσουν με αντίστοιχες αναπαραστάσεις από το μακροσκοπικό επίπεδο. Τόσο η δημιουργία νοητικών αναπαραστάσεων για τη μικροσκοπική δομή της ύλης, όσο και η σύνδεσή τους με αναπαραστάσεις του εμπειρικού επιπέδου δεν είναι εύκολη υπόθεση. Απαιτούν καλά σχεδιασμένες διαδικασίες μοντελοποίησης με κατάλληλες δραστηριότητες τις οποίες θα κληθούν να πραγματοποιήσουν τα παιδιά. Ένα κατάλληλα σχεδιασμένο εκπαιδευτικό λογισμικό μπορεί να αποτελέσει ένα ισχυρό εργαλείο μάθησης. Το λογισμικό "Το τετράδιο της πυκνότητας" σχεδιάστηκε ειδικά για να συμβάλει στην κατεύθυνση αυτή. Στόχος της εργασίας είναι να παρουσιάσει τη δομή και τα περιεχόμενα του νέου αυτού εκπαιδευτικού λογισμικού καθώς και τα μαθησιακά αποτελέσματα που επιτυγχάνονται με το λογισμικό στη τάξη και τις στρατηγικές που χρησιμοποιούν οι μαθητές και οι μαθήτριες κατά τη πραγματοποίηση των δραστηριοτήτων του λογισμικού.

ΜΕΘΟΔΟΣ

Το εκπαιδευτικό λογισμικό "Το τετράδιο της πυκνότητας" επιτρέπει τη μοντελοποίηση των εννοιών της μάζας, του όγκου και της πυκνότητας στο μικροσκοπικό επίπεδο με τη βοήθεια ενός απλού σωματιδιακού μοντέλου και με κατάλληλα σχεδιασμένες δραστηριότητες.

Ο σχεδιασμός και η ανάπτυξη του λογισμικού στηρίχθηκε στην εποικοδομητική θεωρία για τη

μάθηση (Driver et al.1985). Συγκεκριμένα για το σχεδιασμό των δραστηριοτήτων που γίνονται με το λογισμικό και των απαντήσεων του λογισμικού, ελήφθησαν υπόψη οι παρανοήσεις των μαθητών και μαθητριών όπως αυτές προκύπτουν τόσο από την βιβλιογραφία όσο και από σχετική έρευνα που πραγματοποιήσαμε πριν την διδασκαλία.

Βασικό χαρακτηριστικό του λογισμικού είναι η αλληλεπιδραστικότητά του. Με βάση την επιλογή των δραστηριοτήτων και των απαντήσεων των χρηστών, το λογισμικό καθοδηγεί το παιδί ώστε να αντιληφθεί τα λάθη του και να καταλήξει σε μία επιστημονικά αποδεκτή απάντηση. Η εκπαιδευτική σχεδίαση του λογισμικού αποβλέπει στο να βοηθήσει το παιδί να αντιληφθεί τις συνέπειες των συλλογισμών και των επιλογών του και όπου είναι δυνατόν να ευνοήσει διαδικασίες για να οδηγηθεί σε γνωστική σύγκρουση. Ακόμη το λογισμικό καταγράφει τις διαδραστικές κινήσεις των μαθητών και των μαθητριών, ώστε να αποτελέσουν πηγή δεδομένων για τη μελέτη των συλλογισμών τους, των στρατηγικών που ακολουθούν, των δυσκολιών που αντιμετωπίζουν και των μαθησιακών αποτελεσμάτων (αξιολόγηση της διαδικασίας μάθησης). Στους μαθητές και μαθήτριες του δείγματος δεν ανακοινώθηκε ότι το λογισμικό θα καταγράφει τις ενέργειές τους, για να μην επηρεαστεί η διαδραστική συμπεριφορά τους.

Όσον αφορά την αντιμετώπιση των ενεργειών του χρήστη από το λογισμικό παραδοσιακά διακρίνονται δύο βασικές προσεγγίσεις στο πρόβλημα της παρακολούθησης και αξιοποίησης των παρατηρούμενων διαδράσεων μεταξύ λογισμικού και χρήστη: Στη μία προσέγγιση εντάσσονται τα νοήμονα διδακτικά συστήματα (intelligent tutoring systems, ITS), ενώ στην άλλη τα μη νοήμονα (unintelligent) ή υποστηρικτικά (coaching) διδακτικά συστήματα.

Όλα τα νοήμονα διδακτικά συστήματα έχουν σαν κοινό στόχο την παρακολούθηση του/της χρήστη καθώς αυτός/ή πραγματοποιεί εργασίες στο ηλεκτρονικό περιβάλλον και την παροχή βοήθειας σχετικής με τις ανάγκες του/της. Ένα ITS περιέχει ενσωματωμένη στο κώδικά του την ικανότητα να δημιουργεί ένα μοντέλο του χρήστη και να του υποδεικνύει πορεία δράσης και δυνατές βοήθειες ανάλογα με την πορεία του μέσα στο σύστημα. Συνήθως το ITS περιέχει τις εξής συνιστώσες: μοντέλο του περιεχόμενου που βασίζεται στη γνώση των ειδικών πάνω στο γνωστικό αντικείμενο, μοντέλο του εκπαιδευόμενου που αντιπροσωπεύει τη γνώση του εκπαιδευόμενου κάθε συγκεκριμένη στιγμή, ένα διδακτικό μοντέλο και την διεπαφή χρήστη. Ένα ITS κατασκευάζει το μοντέλο του χρήστη είτε καταγράφοντας τις «αποκλίσεις» των αντιδράσεων του μαθητή από τους αποδεκτούς κανόνες που ενσωματώνει το σύστημα, είτε καταγράφοντας και προσδιορίζοντας τη φύση των σφαλμάτων που κάνουν οι μαθητές ώστε να επιλέξει και να ενεργοποιήσει τις κατάλληλες διδακτικές παρεμβάσεις (Self, 1987 και Κόλλιας, 1999).

Στο αυστηρά προγραμματισμένο ITS δεν υπάρχει χώρος για ενεργό και εποικοδομητική μαθησιακή πορεία του εκπαιδευόμενου. Η καθορισμένη γνώση και η εξουσία του/της δασκάλου/ας υπάρχουν ενσωματωμένα στο ITS. Ως εναλλακτική προσέγγιση προτείνεται ότι τα εκπαιδευτικά περιβάλλοντα που βασίζονται στον υπολογιστή δεν θα πρέπει να περικλείουν τη γνώση και την ικανότητα να καθοδηγούν και να δομούν τη μαθησιακή διαδικασία, αλλά να δημιουργούν καταστάσεις και να προσφέρουν εργαλεία που παρακινούν τους εκπαιδευόμενους να αξιοποιούν στο έπακρο το δικό τους γνωστικό δυναμικό (Scardamalia et al. 1989, αναφέρεται στο De Corte, 1996). Σύμφωνα με τη βασική ιδέα των «μη νοημόνων» συστημάτων το λογισμικό δεν θα πρέπει να καθοδηγεί την μάθηση ούτε να σχεδιάζει την πορεία και να παρακολουθεί την πρόοδο των μαθητών και των μαθητριών, γιατί αυτές ακριβώς είναι οι δραστηριότητες που θα πρέπει να αναπτύξει την ικανότητα ο/η εκπαιδευόμενος/η να τις κάνει μόνος/η του/της. Αυτό που θα πρέπει να κάνει το σύστημα είναι να υποστηρίξει κατάλληλα τον/την εκπαιδευόμενο/η ώστε αυτός/ή να μπορεί να τα καταφέρει σε ένα επίπεδο δυσκολίας ακριβώς παραπάνω από το τωρινό επίπεδο ικανότητάς του/της κάτι που υλοποιεί την ιδέα του Vygotsky περί της «ζώνης επικείμενης ανάπτυξης» (Vygotsky, 1934 ελλην. μεταφρ. 1993).

Μια διαφορετική προσέγγιση για τα εκπαιδευτικά λογισμικά είναι αυτή των Akhras et al (2002) που προτείνουν τη μετάβαση από τα νοήμονα συστήματα (ITS) σε έξυπνα περιβάλλοντα

μάθησης (ILE) των οποίων κύριο χαρακτηριστικό είναι ο εποικοδομητισμός. Θεωρούν ότι η μετάβαση αυτή μπορεί να πραγματοποιηθεί με τη μετατροπή του γνωστικού αντικειμένου σε σύνολο καταστάσεων, οι οποίες είναι αλληλεπιδραστικά πλαίσια που βοηθούν τους μαθητές και τις μαθήτριες να οικοδομήσουν τη δική τους γνώση. Στα έξυπνα περιβάλλοντα μάθησης (ILE), η αξιολόγηση της μάθησης εστιάζεται στη διαδικασία της μάθησης και όχι μόνο στο τελικό προϊόν (αποτελεσμα).

Η εκπαιδευτική σχεδίαση του λογισμικού "Το τετράδιο της Πυκνότητας" εντάσσεται στο πλαίσιο των ILE συστημάτων και δεν προβλέπει την δημιουργία ατομικού μοντέλου χρήστη. Θεωρήθηκε όμως απαραίτητη η σταδιακή παροχή βοήθειας για να επιτυγχάνεται η διδακτική αξιοποίηση του λάθους των μαθητών/τριών καθώς και η καταγραφή των διαδραστικών κινήσεων των χρηστών για τους λόγους που προαναφέρθηκαν. Η έρευνα που πραγματοποιήσαμε αφορούσε και τα μαθησιακά αποτελέσματα αλλά και την ίδια τη διαδικασία μάθησης. Για το λόγο αυτό είχε δύο μέρη. Για την αξιολόγηση των μαθησιακών αποτελεσμάτων έγινε έρευνα σε δείγμα από 91 μαθητές και μαθήτριες της Ε' και της ΣΤ' τάξης τριών δημοτικών σχολείων του Βόλου. Για το σκοπό αυτό δόθηκε ερωτηματολόγιο πριν και μετά από την διδασκαλία. Με το αρχικό ερωτηματολόγιο ανιχνεύθηκαν και καταγράφηκαν οι ιδέες των παιδιών για την πυκνότητα. Οι απαντήσεις στο αρχικό ερωτηματολόγιο ελήφθησαν υπ' όψη για τον σχεδιασμό του λογισμικού και των φυλλαδίων εργασίας. Η σύγκριση των απαντήσεων των μαθητών και των μαθητριών στο αρχικό και στο τελικό ερωτηματολόγιο θα επιτρέψουν την αξιολόγηση των μαθησιακών αποτελεσμάτων που επιτεύχθηκαν με την καινοτομική διδακτική προσέγγιση και την αξιοποίηση του λογισμικού.

Όσον αφορά στη μελέτη της διαδικασίας μάθησης η πηγή των ερευνητικών δεδομένων προέρχεται από την καταγραφή των επιλογών και των απαντήσεων των μαθητών και μαθητριών που κάνει το ίδιο το λογισμικό όπως προαναφέρθηκε.

Οι μαθητές και οι μαθήτριες, στην νέα διδακτική προσέγγιση, χρησιμοποιούν φύλλα εργασίας, τα οποία τους καθοδηγούν σχετικά με τις δραστηριότητες που πραγματοποιούν με το λογισμικό. Ειδικότερα στα φύλλα εργασίας υπάρχουν σημεία όπου μαθητές και μαθήτριες καλούνται να κάνουν προβλέψεις και αφού συζητήσουν με την ομάδα τους, πραγματοποιούν τις σχετικές δραστηριότητες για να διαπιστώσουν την ορθότητα των προβλέψεων ή των αντιλήψεών τους. Οι συζητήσεις αρχικά με την ομάδα και μετά με όλη την τάξη εντάσσονται στο πλαίσιο της συνεργατικής μάθησης, εξασφαλίζοντας ανταλλαγή απόψεων, επικοινωνία και αλληλοβοήθεια μεταξύ των παιδιών. (Σταυρίδου 2000). Ο απαιτούμενος χρόνος για την ολοκλήρωση των δραστηριοτήτων του λογισμικού είναι πέντε διδακτικές ώρες.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Α) Δομή Και Ανάπτυξη Του Λογισμικού "Το Τετράδιο Της Πυκνότητας"

Το λογισμικό αποτελείται από τέσσερις ενότητες. Σε κάθε μία από τις τρεις πρώτες ενότητες γίνεται μια εισαγωγή (1^η σελίδα) με τη βοήθεια μιας αναλογίας που παραπέμπει σε εμπειρίες των παιδιών σχετικά με το πότε ένα δάσος είναι πυκνό ή αραιό.

Πρώτη Ενότητα

Στόχος της πρώτης ενότητας είναι να κατανοήσουν οι μαθητές και οι μαθήτριες την έννοια της μάζας με βάση το μικροσκοπικό μοντέλο και μέσα από τις προτεινόμενες δραστηριότητες να καταλήξουν στην σχέση της μάζας και της πυκνότητας.

Στην πρώτη σελίδα υπάρχει εικόνα ενός δάσους αναφοράς και οι μαθητές και οι μαθήτριες καλούνται να κατασκευάσουν ένα δάσος πυκνότερο ή αραιότερο από αυτό τοποθετώντας δένδρα σε ένα κενό χώρο. Στόχος αυτών των δραστηριοτήτων είναι να συνδεθεί η πυκνότητα με έννοιες της πρακτικοβιωματικής εμπειρίας των μαθητών και των μαθητριών, εφ' όσον γνωρίζουν ότι ένα πυκνό δάσος αποτελείται από πολλά δένδρα τα οποία βρίσκονται κοντά το ένα με το άλλο. Ακόμη

στόχος είναι να διαπιστώσουν ότι όταν ο χώρος είναι σταθερός, για να γίνει πυκνότερο το δάσος πρέπει να αυξηθεί ο αριθμός των δένδρων. Κατ' αυτό τον τρόπο, με το αναλογικό μοντέλο του πυκνού ή αραιού δάσους, γίνεται μία πρώτη προσέγγιση της έννοιας της πυκνότητας και ειδικότερα της ιδέας ότι όταν σε ορισμένο όγκο, μεταβάλλεται ο αριθμός των σωματιδίων, μεταβάλλεται ανάλογα η πυκνότητα.

Στις υπόλοιπες δραστηριότητες του λογισμικού χρησιμοποιείται ένα μικροσκοπικό μοντέλο το οποίο στηρίζεται στις παρακάτω υποθέσεις-παραδοχές (Σταυρίδου, 1995):

- Η ύλη αποτελείται από σωματίδια που έχουν μάζα και όγκο.
- Υπάρχουν μικρότερα και μεγαλύτερα σωματίδια που συμβολίζονται με μικρότερους και μεγαλύτερους κύκλους. Τα μεγαλύτερα σωματίδια έχουν περισσότερη ύλη ενώ τα μικρότερα έχουν λιγότερη.
- Οι αποστάσεις των σωματιδίων διαφέρουν σε αντικείμενα από διαφορετικό υλικό (η περίπτωση αλλαγής φυσικής κατάστασης δεν εξετάζεται).
- Μεταξύ των σωματιδίων δεν υπάρχει τίποτα άλλο.
- Τα σωματίδια δεν αλλάζουν ούτε σχήμα ούτε μέγεθος.
- Ο αριθμός των σωματιδίων σε ένα αντικείμενο είναι σταθερός.

Σύμφωνα με το μικροσκοπικό μοντέλο η μάζα ενός αντικειμένου είναι το σύνολο των σωματιδίων που το αποτελούν. Ο όγκος ενός αντικειμένου είναι ο χώρος που καταλαμβάνουν τα σωματίδια που το αποτελούν.

Στην δεύτερη σελίδα υπάρχει ένα αντικείμενο αναφοράς (που χαρακτηρίζεται σώμα Α), ένας κενός χώρος (χαρακτηρίζεται χώρος Β), η εκφώνηση της δραστηριότητας, ένα πλήκτρο "ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ", ένα πλήκτρο "Τέλειωσα... έλεγξε το αποτέλεσμα" και λέξεις-κλειδιά που με υπερσυνδέσμους δίνουν απαραίτητες εξηγήσεις. Στο υπόμνημα υπάρχουν τριών ειδών σωματίδια, ένα κόκκινο το οποίο αντιστοιχεί στη μονάδα μάζας, ένα πράσινο με μάζα ίση με δύο μονάδες μάζας και ένα μπλε με μάζα ίση με μισή μονάδα μάζας. Στα παιδιά εξηγείται ότι τα χρώματα είναι συμβάσεις για την αναπαράσταση των σωματιδίων. Το αντικείμενο αναφοράς (σώμα Α), έχει όγκο ίσο με μία μονάδα όγκου και μάζα ίση με εννιά μονάδες μάζας και αποτελείται από εννιά σωματίδια μίας μονάδας μάζας. Ο χώρος Β έχει όγκο ίσο με μία μονάδα όγκου. Το πλήκτρο "ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ", εμφανίζει τις δραστηριότητες που προτείνονται στους/στις χρήστες. Οι μαθητές και οι μαθήτριες μπορούν να επιλέξουν όποιο από τα τρία σωματίδια θέλουν και να το τοποθετήσουν στο χώρο Β όσες φορές επιθυμούν, με ανώτερο όριο τα 16 σωματίδια. Σε περίπτωση που αλλάζουν γνώμη και θελήσουν να μεταβάλλουν τον αριθμό των σωματιδίων, υπάρχει στο υπόμνημα ένα εργαλείο με μορφή σβηστήρας, με το οποίο μπορούν να αφαιρέσουν όσα σωματίδια θέλουν. Όταν τελειώσει η διαδικασία της τοποθέτησης των σωματιδίων στο χώρο Β μπορούν να ελέγξουν την ορθότητα της απάντησής τους πατώντας το πλήκτρο «Τέλειωσα... έλεγξε το αποτέλεσμα». Οι επόμενες δύο σελίδες είναι σχεδιασμένες με την ίδια φιλοσοφία, ενώ στην πέμπτη σελίδα οικοδομείται η σχέση μεταξύ της μάζας και της πυκνότητας.

Δεύτερη ενότητα

Στόχος της δεύτερης ενότητας είναι να κατανοήσουν οι μαθητές και οι μαθήτριες την έννοια του όγκου με βάση το μικροσκοπικό μοντέλο και μέσα από τις δραστηριότητες να καταλήξουν στην σχέση του όγκου και της πυκνότητας. Στην πρώτη σελίδα της ενότητας υπάρχουν και πάλι δύο δραστηριότητες, στις οποίες οι μαθητές και οι μαθήτριες πρέπει να κατασκευάσουν ένα πυκνό και ένα αραιό δάσος. Στόχος αυτών των δραστηριοτήτων είναι να διαπιστώσουν ότι όταν ο αριθμός των δένδρων είναι σταθερός, για να γίνει το δάσος πυκνότερο ή αραιότερο πρέπει να μεταβληθεί η έκταση του δάσους και οι αποστάσεις μεταξύ των δέντρων. Στις επόμενες σελίδες προτείνονται δραστηριότητες με το μικροσκοπικό μοντέλο ώστε να κατανοηθεί ότι ο όγκος και η

πυκνότητα είναι ποσά αντιστρόφως ανάλογα, και στην έκτη σελίδα οι μαθητές και οι μαθήτριες οδηγούνται στη σύνθεση της σχέσης μεταξύ όγκου και της πυκνότητας.

Τρίτη ενότητα

Στόχος της τρίτης ενότητας είναι, οι μαθητές και οι μαθήτριες μέσα από τις προτεινόμενες δραστηριότητες να φθάσουν στη σύνθεση της σχέσης που συνδέει τη μάζα, τον όγκο και την πυκνότητα. Στην πρώτη σελίδα της ενότητας υπάρχουν, όπως και στις προηγούμενες ενότητες, δύο δραστηριότητες στις οποίες οι μαθητές και οι μαθήτριες πρέπει να κατασκευάσουν ένα πυκνό και ένα αραιό δάσος μεταβάλλοντας τόσο τον αριθμό των δένδρων όσο και το μέγεθος του χώρου του δάσους, ώστε οι αποστάσεις των δένδρων να μεγαλώσουν ή να μικρύνουν. Στην δεύτερη σελίδα της ενότητας αυτής υπάρχουν εννέα αντικείμενα-κύβοι διαφορετικού όγκου και με σωματίδια διαφορετικής μάζας. Οι προτεινόμενες δραστηριότητες έχουν στόχο να βοηθήσουν τους μαθητές και τις μαθήτριες να αντιμετωπίσουν την λανθασμένη αντίληψή τους ότι αντικείμενα με μεγάλο όγκο έχουν πάντα και μεγάλη μάζα. Οι επόμενες σελίδες είναι σχεδιασμένες με την ίδια φιλοσοφία της πρώτης και της δεύτερης ενότητας.

Τέταρτη ενότητα

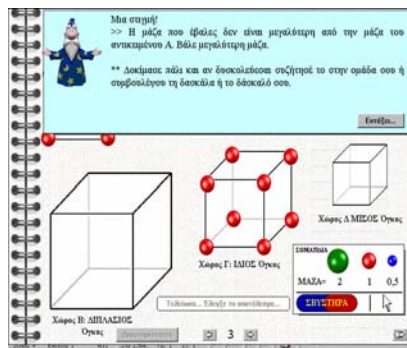
Στόχος της τέταρτης ενότητας είναι, οι μαθητές και οι μαθήτριες να διαπιστώσουν ότι η πυκνότητα είναι εντατική ιδιότητα και να συνδέσουν αναπαραστάσεις του μικροσκοπικού και μακροσκοπικού επιπέδου.

Β) Πλοήγηση Στο Λογισμικό Και Διδακτική Αξιοποίηση Του Λάθους

Κατά το σχεδιασμό του λογισμικού έγινε προσπάθεια να υπάρχει αυξημένη αλληλεπίδραση των χρηστών με το λογισμικό και να επιτυγχάνεται η διδακτική αξιοποίηση του λάθους στις απαντήσεις των μαθητών και των μαθητριών. Για το σκοπό αυτό έγινε ειδική σχεδίαση του περιεχομένου των αποκρίσεων του λογισμικού με βάση τις δυσκολίες που αντιμετωπίζουν τα παιδιά, σύμφωνα με προηγούμενες έρευνες. Τα στοιχεία που οδηγούν στην επιστημονικά αποδεκτή απάντηση στηρίζονται στις απαντήσεις των μαθητών και μαθητριών και δίνονται σταδιακά. Συγκεκριμένα, όταν το παιδί καταλήξει σε μη αποδεκτό αποτέλεσμα η απόκριση του λογισμικού σε πρώτο επίπεδο του εξηγεί γιατί η απάντησή του δεν είναι επαρκής και το ενθαρρύνει στο να επαναλάβει την συγκεκριμένη δραστηριότητα. Εάν και στη δεύτερη προσπάθεια δεν καταλήξει στο επιθυμητό αποτέλεσμα, η απόκριση του λογισμικού εξηγεί πάλι αναλυτικά το λάθος και του δίνει πρόσθετα στοιχεία για να προσπαθήσει εκ νέου. Σε περίπτωση που και την τρίτη φορά δεν καταλήξει σε αποδεκτό αποτέλεσμα, η νέα απόκριση εντοπίζει σε ποιο σημείο η απάντηση δεν είναι επαρκής, δίνει νέα πρόσθετα στοιχεία και προτρέπει το μαθητή ή τη μαθήτρια να συζητήσει τη δυσκολία που αντιμετωπίζει με τα μέλη της ομάδας του/της ή να συμβουλευτεί το/τη δάσκαλο/α του/της. Μ' αυτόν τον τρόπο οι μαθητές και οι μαθήτριες συνεχίζουν και αναπτύσσεται μια αλληλεπίδραση μεταξύ του λογισμικού και των παιδιών. Το ότι οι απαντήσεις δίνονται κατ' αυτό τον τρόπο βοηθά και τον/την εκπαιδευτικό να διαχειριστεί πιο αποτελεσματικά την ανομοιογένεια του μαθητικού πληθυσμού, γιατί σε πραγματικές συνθήκες της τάξης, δεν μπορεί να συζητά ταυτόχρονα με όλες τις ομάδες των παιδιών που βρίσκονται μπροστά σου H/Y.

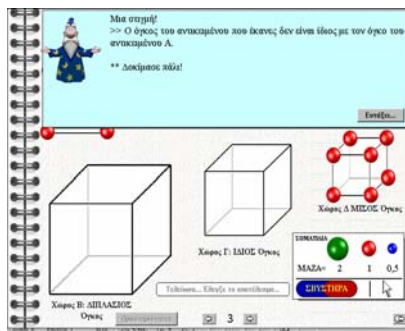
Παράδειγμα:

Στην τρίτη ενότητα στην τρίτη σελίδα μία από τις δραστηριότητες που μπορεί να επιλέξουν οι μαθητές και μαθήτριες, τους προτρέπει να κατασκευάσουν ένα σώμα με μεγαλύτερη πυκνότητα από το σώμα αναφοράς που υπάρχει και να χρησιμοποιήσουν ίδιο όγκο με τον όγκο του σώματος αναφοράς. Οι μαθητές και οι μαθήτριες μπορούν να επιλέξουν έναν από τους τρεις όγκους που προτείνονται. Ο πρώτος είναι διπλάσιος από τον όγκο του σώματος αναφοράς, ο δεύτερος ίδιος με τον όγκο του σώματος αναφοράς και ο τρίτος είναι μισός από τον όγκο του σώματος αναφοράς.



Σχήμα 1.

Αφού επιλέξουν όγκο μπορούν κατόπιν να επιλέξουν από το υπόμνημα ένα από τα σωματίδια που υπάρχουν και να το τοποθετήσουν όσες φορές επιθυμούν στον επιλεγμένο όγκο ώστε να καταλήξουν σε απάντηση που να ικανοποιεί τις συνθήκες της δραστηριότητας. Ένα πιθανό σενάριο μη αποδεκτής απάντησης είναι ότι τα παιδιά δεν λαμβάνουν υπόψη τους την συνθήκη ότι το αντικείμενο που θα κατασκευάσουν πρέπει να έχει ίδιο όγκο με τον όγκο του σώματος αναφοράς. Σ' αυτήν την περίπτωση η απόκριση του συστήματος επισημαίνει ότι ο όγκος του σώματος που κατασκεύασε δεν είναι ίδιος με τον όγκο του σώματος αναφοράς και καλεί το παιδί να κάνει εκ νέου προσπάθεια (σχήμα 1). Αν το παιδί επιλέξει τον σωστό όγκο, ένα άλλο πιθανό σενάριο μη αποδεκτής απάντησης είναι να κατασκευάσει σώμα με μικρότερη μάζα από το σώμα αναφοράς και κατ' επέκταση με μικρότερη πυκνότητα. Η απόκριση του συστήματος του επισημαίνει ότι για να είναι μεγαλύτερη η πυκνότητα του σώματος που κατασκεύασε, θα πρέπει



Σχήμα 2

η μάζα του να είναι μεγαλύτερη από το σώμα αναφοράς καθώς ο όγκος των δύο σωμάτων είναι ίδιος. Αν και πάλι το παιδί δεν καταλήξει σε αποδεκτή απάντηση, τότε η απόκριση του συστήματος του επισημαίνει ότι η μάζα του σώματος που κατασκεύασε δεν είναι μεγαλύτερη από το σώμα αναφοράς και το προτρέπει να βάλει μεγαλύτερη μάζα απ' αυτή του σώματος αναφοράς και το προτρέπει να συζητήσει με την ομάδα του/της ή με το δάσκαλό/α τη δραστηριότητα ώστε να καταλήξει σε αποδεκτή απάντηση (σχήμα 2).

Γ) Στρατηγικές Των Μαθητών Και Μαθητριών Σε Περίπτωση Δυσκολίας

Ο/η δασκάλος/α κατά τη διάρκεια του μαθήματος δεν έχει τη δυνατότητα άμεσης επαφής, συζήτησης και ταυτόχρονης παρακολούθησης των ομάδων των μαθητών και των μαθητριών που βρίσκονται μπροστά στους Η/Υ. Συνέπεια αυτού του γεγονότος είναι το ότι δεν μπορεί να παρακολουθήσει τις υποθέσεις και τις κινήσεις που κάνουν όλοι οι μαθητές και οι μαθήτριες για να πραγματοποιήσουν την κάθε δραστηριότητα του λογισμικού. Δεν είναι σε θέση λοιπόν να έχει πλήρη εποπτεία των δυσκολιών που αντιμετωπίζουν οι μαθητές και οι μαθήτριες, σε ποια δραστηριότητα εντοπίζονται αυτές, τις στρατηγικές που ακολουθούν τα παιδιά και τα μαθησιακά αποτελέσματα που προκύπτουν κατά την αλληλεπίδραση των μαθητών και μαθητριών με το λογισμικό. Για να ξεπεραστεί αυτή η δυσκολία, έγινε πρόβλεψη κατά το σχεδιασμό του λογισμικού ώστε να καταγράφονται οι κινήσεις των παιδιών όπως προαναφέρθηκε. Επίσης καταγράφεται ο χρόνος που οι μαθητές και μαθήτριες ασχολήθηκαν με μία δραστηριότητα, ο χρόνος που ασχολήθηκαν με την απόκριση του συστήματος και η πλοήγηση τους στο λογισμικό. Με την καταγραφή του χρόνου που αφιερώνουν οι μαθητές και οι μαθήτριες στην απόκριση του λογισμικού μετά από την ολοκλήρωση μιας προσπάθειάς τους, μπορεί να διαπιστωθεί εάν διαβάζουν τα επιπλέον στοιχεία που τους παρέχει το λογισμικό στην απόκριση ώστε να τα χρησιμοποιήσουν στην επόμενη προσπάθειά τους ή αν προχωρούν στην επόμενη προσπάθειά τους διαισθητικά. Με την καταγραφή του χρόνου και του αριθμού των προσπαθειών που αφιερώνει κάθε παιδί στις διαφορετικές δραστηριότητες, ο/η εκπαιδευτικός μπορεί να διαπιστώσει το βαθμό της δυσκολίας που εμφανίζει η δραστηριότητα για κάθε παιδί. Τέλος με την βοήθεια των καταγραφών, ο εκπαιδευτικός μπορεί να διαπιστώσει εάν οι μαθητές και οι μαθήτριες εξακολουθούν να αντιμετωπίζουν δυσκολίες παρά το γεγονός ότι έχουν επιπλέον στοιχεία από τις αποκρίσεις του λογισμικού.

Από την μέχρι τώρα ανάλυση των δεδομένων ενδεικτικά προκύπτει ότι τα παιδιά ακολουθούν τις εξής πέντε στρατηγικές σε περίπτωση που συναντούν δυσκολίες κατά τη πραγματοποίηση κάποιας δραστηριότητας:

- α) Μαθητές και μαθήτριες που δεν καταλήγουν σε αποδεκτή απάντηση με την πρώτη προσπάθεια (αλλά ενδεχομένως μετά από δύο ή και περισσότερες προσπάθειες) συνεχίζουν με τις επόμενες δραστηριότητες που υπάρχουν στην ίδια σελίδα της ενότητας και αφού καταλήξουν σε αποδεκτή απάντηση επιστρέφουν εκ νέου στην δραστηριότητα στην οποία αντιμετώπισαν δυσκολία. Με βάση τη στρατηγική αυτή, φαίνεται ότι ο/η χρήστης επιχειρεί να διευρύνει τις εμπειρίες του/της πραγματοποιώντας τις επόμενες δραστηριότητες, ώστε να αντιμετωπίσει με καλύτερους όρους την δυσκολία την οποία συνάντησε.
- β) Μαθητές και μαθήτριες που δεν καταλήγουν σε αποδεκτή απάντηση με την πρώτη προσπάθεια (αλλά ενδεχομένως μετά από δύο ή και περισσότερες προσπάθειες) επιστρέφουν σε προηγούμενη παρόμοια δραστηριότητα στην οποία έχουν ήδη καταλήξει σε αποδεκτή απάντηση, την επαναλαμβάνουν και προσπαθούν να μεταφέρουν τις ενέργειες που πραγματοποιούν και στην δραστηριότητα στην οποία αντιμετώπιζαν δυσκολία. Με βάση τη στρατηγική αυτή, φαίνεται ότι ο/η χρήστης στηρίζεται στην εμπειρία που απέκτησε από προηγούμενη δραστηριότητα και δεν χρησιμοποιεί τα επιπλέον στοιχεία που του παρέχει η απόκριση του λογισμικού.
- γ) Οι μαθητές και μαθήτριες, καταλήγουν σε αποδεκτή απάντηση διαβάζοντας τις αποκρίσεις του λογισμικού.
- δ) Μαθητές και μαθήτριες που δεν καταλήγουν σε αποδεκτή απάντηση με την πρώτη προσπάθεια (αλλά ενδεχομένως μετά από δύο ή και περισσότερες προσπάθειες) προσπαθούν να καταλήξουν σε αποδεκτή απάντηση με διαδοχικές και αλληπάλληλες δοκιμές χωρίς να διαβάζουν τις αποκρίσεις του λογισμικού.

ε) Τέλος άλλοι μαθητές/μαθήτριες εγκαταλείπουν τη δραστηριότητα μετά από ορισμένες ανεπιτυχείς προσπάθειες.

Οι στρατηγικές αυτές θα μελετηθούν περαιτέρω με στόχο την βαθύτερη κατανόησή τους και τη βελτίωση του λογισμικού.

Δ) Μαθησιακά Αποτελέσματα

Τα δεδομένα από τις απαντήσεις των μαθητών και των μαθητριών στο αρχικό και στο τελικό ερωτηματολόγιο και από τις καταγραφές στο ίδιο το λογισμικό, βρίσκονται σε φάση επεξεργασίας. Από μία πρώτη εκτίμηση των δεδομένων προκύπτει ότι τα αποτελέσματα είναι ενθαρρυντικά. Ενδεικτικά αναφέρουμε ότι στην ερώτηση "τι νομίζεις ότι είναι η πυκνότητα" προκύπτει μία αύξηση των επιστημονικά αποδεκτών απαντήσεων κατά 34%. Στην ερώτηση "Έχουμε ένα κύβο από σίδηρο και ένα κύβο ίδιου όγκου φτιαγμένο από ξύλο. Ζυγίζουμε τους δύο κύβους και αυτός που είναι φτιαγμένος από σίδηρο ζυγίζει περισσότερο. Κάνε μια ζωγραφιά για να εξηγήσεις γιατί ο κύβος που είναι φτιαγμένος από σίδηρο ζυγίζει περισσότερο.", πριν την διδασκαλία οι μαθητές και οι μαθήτριες στα σχέδιά τους χρησιμοποίησαν μακροσκοπικές αναπαραστάσεις (δηλαδή γραμμοσκίαση, διαφορετικούς όγκους και ζυγαριά) ενώ μετά τη διδασκαλία το 69% χρησιμοποίησε στα σχέδιά του το μικροσκοπικό μοντέλο, δίνοντας επιστημονικά αποδεκτές εξηγήσεις. Όσον αφορά την εξέλιξη των μαθησιακών αποτελεσμάτων, καταγράφεται μια σταδιακή βελτίωση των αποτελεσμάτων που οφείλεται στην αλληλεπίδραση των μαθητών με το λογισμικό. Συγκεκριμένα, όταν τα παιδιά καλούνται να χρησιμοποιήσουν για πρώτη φορά την αντιστρόφως ανάλογη σχέση του όγκου και της πυκνότητας (όταν η μάζα είναι σταθερή), μόλις το 28,3% του δείγματος καταλήγει με την πρώτη προσπάθεια σε αποδεκτή απάντηση. Το ποσοστό αυτό όμως αυξάνει σημαντικά στις επόμενες σχετικές δραστηριότητες και κυμαίνεται σε ποσοστά από 63,3% έως 86,7%. Ακόμη από το 81,7% του δείγματος, το οποίο φθάνει σε αποδεκτή απάντηση με την πρώτη προσπάθεια στην δραστηριότητα της τέταρτης ενότητας που καλεί τα παιδιά ν' αντιστοιχίσουν αντικείμενα του μακρόκοσμου με τις αναπαραστάσεις τους στο μικροσκοπικό επίπεδο, προκύπτει ότι τα παιδιά έχουν κατανοήσει την πυκνότητα σε μικροσκοπικό επίπεδο και μπορούν να συνδυάσουν με επιτυχία αναπαραστάσεις του μικρόκοσμου με αντικείμενα του μακρόκοσμου.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τα μέχρι τώρα αποτελέσματα που προκύπτουν από τις απαντήσεις των μαθητών και των μαθητριών στο αρχικό και στο τελικό ερωτηματολόγιο και από τις καταγραφές στο ίδιο το λογισμικό, προκύπτει ότι οι μαθητές και οι μαθήτριες των δύο τελευταίων τάξεων του δημοτικού, χρησιμοποιώντας το λογισμικό "Το Τετράδιο της Πυκνότητας" και κατάλληλα συνοδευτικά φύλλα εργασίας, έχουν τη δυνατότητα να διαχειριστούν ένα απλό σωματιδιακό μοντέλο και να προσεγγίσουν τις έννοιες της μάζας, του όγκου και της πυκνότητας στο μικροσκοπικό επίπεδο. Επίσης έχουν τη δυνατότητα να οικοδομήσουν τη σχέση που συνδέει τα τρία αυτά μεγέθη και να συνδυάσουν αναπαραστάσεις του μικροσκοπικού και του μακροσκοπικού επιπέδου σχετικές με την πυκνότητα. Τέλος οι καταγραφές των χρηστών αποδείχθηκαν χρήσιμο μέσο για τον/την εκπαιδευτικό και τον/την ερευνητή/τρια για τον εντοπισμό των δυσκολιών που αντιμετωπίζουν οι μαθητές και οι μαθήτριες και τη μελέτη των στρατηγικών που ακολουθούν για να τις ξεπεράσουν.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Adey, P., and Shayer, M., (1988). Strategies for meta-learning in physics. *Physics Education* 23, 97–104
- Akhras, F., and Self, J., (2002). Beyond intelligent tutoring systems: Situations, interactions, processes and affordances. *Instructional Science* 30, 1-30.

- De Corte, E. (1996). Changing Views of Computer-Supported Learning Environments for the Acquisition of Knowledge and Thinking Skills. In St. Vosniadou, E. de Corte, R. Glaser, H. Mandl (Eds.) *International Perspectives on the Design of Technology-Supported Learning Environments*, New Jersey, Erlbaum
- Driver, R., Guesne, E., Tiberchien, A., (1985, ελλην. Μετφρ. 1993) Οι ιδέες των παιδιών στις φυσικές επιστήμες. Αθήνα: Τροχαλία
- Duckworth, E. (1986). *Inventing density*. University of North Dakota, Center for Teaching and Learning, group on Evaluation, Grand Forks.
- Gennaro E. (1981). Assessing junior High students' understanding of density and solubility. *School Science and Mathematics* 81, 399 – 404
- Hewson, M. G. (1986). The acquisition of scientific knowledge: Analysis and representation of student conceptions concerning density. *Science Education* 70, 159 - 170.
- Piaget, J., and Inhelder, B. (1974). *The child's construction of quantities*. London: Routledge and Kegan Paul.
- Rowell, J. A., and Dawson C., J. (1977). Teaching about floating and sinking: An attempt to link cognitive psychology with classroom practice. *Science Education* 61, 243 - 251.
- Self, J. (1987). IKBS in Education. *Educational Review*, 39(2), 147-154.
- Scardamalia, M., Bereiter, C., McLean, R.S., Swallow, J., & Woodruff, E. (1989). Computer-supported intentional learning environments. *Journal of Educational Computing Research* 5, 51-68.
- Smith, C., Carey, S. and Wiser, M. (1985). On differentiation: A case study of development of the concepts of size, weight and density. *Cognition* 21, 177 - 237.
- Snir, J., Smith, C., and Grosslight, L. (1992). Using Conceptual models to facilitate conceptual change: The case of weight - density differentiation *Cognition and Instruction* 9(3), 221-283
- Snir, J., Smith, C., and Grosslight, L. (1993). Conceptually enhanced simulations: A computer tool for science teaching. *Journal of Science Education and Technology*, Vol. 2, No 2: 373 - 388.
- Vygotsky, L., (1934, ελλην. Μετφρ. 1993). Σκέψη και γλώσσα. Αθήνα: Γνώση
- Κόλλιας, Α. (1999). *Οι υπολογιστές στη διδασκαλία και τη μάθηση*. Αθήνα: «ΕΛΛΗΝ».
- Σταυρίδου Ε. (1995). *Μοντέλα Φυσικών επιστημών και διαδικασίες μάθησης*, Αθήνα: Σαββάλας.
- Σταυρίδου Ε. (2000). *Συνεργατική μάθηση στις Φυσικές Επιστήμες. Μια εφαρμογή στο Δημοτικό σχολείο*. Βόλος: Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Θεσσαλίας