

Το Πρότυπο του Μικρόκοσμου στην Πρωτοβάθμια Εκπαίδευση – – Εκπαιδευτικές Προσεγγίσεις για την Ε΄ και Στ΄ τάξη του Δημοτικού Σχολείου – Λογισμικό και Αξιολόγηση

Δέσποινα Ιμβριώτη, Γεώργιος Θεοφ. Καλκάνης
*Εργαστήριο Φυσικών Επιστημών, Τεχνολογίας και Περιβάλλοντος,
Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης, Πανεπιστήμιο Αθηνών*

Περίληψη. Το πρότυπο του μικρόκοσμου είναι δυνατό να λειτουργήσει ως ένα ενιαίο μοντέλο ερμηνείας για τα φαινόμενα που περιλαμβάνονται στο αναλυτικό πρόγραμμα των Φυσικών Επιστημών για την Πρωτοβάθμια Εκπαίδευση. Στο Εργαστήριο Φυσικών Επιστημών, Τεχνολογίας και Περιβάλλοντος του Παιδαγωγικού Τμήματος Δημοτικής Εκπαίδευσης του Πανεπιστημίου Αθηνών έχει συγκροτηθεί μια εκπαιδευτική προσέγγιση για την εισαγωγή και αξιοποίηση του προτύπου του μικρόκοσμου στην ερμηνεία φαινομένων. Η προσέγγιση αυτή υποστηρίζεται κυρίως με τις δυνατότητες που παρέχουν οι νέες τεχνολογίες πληροφόρησης καταρχήν ως προς τις οπτικοποιήσεις του μοντέλου του μικρόκοσμου, αλλά και ως προς την ένταξή τους σε ένα περιβάλλον φιλικό προς το χρήστη που καθοδηγεί το δάσκαλο και το μαθητή καθόλη τη διάρκεια μιας διδασκαλίας βασισμένης στο ερευνητικά εξελισσόμενο διδακτικό μοντέλο. Η εκπαιδευτική προσέγγιση έχει εφαρμοσθεί σε φοιτητές του Π.Τ.Δ.Ε., σε μαθητές Δ΄ και Ε΄ τάξης του Δημοτικού Σχολείου καθώς και σε εκπαιδευτικούς της πρωτοβάθμιας εκπαίδευσης. Με βάση τα αποτελέσματα της συγκεκριμένης έρευνας προτείνονται εκπαιδευτικές προσεγγίσεις και πρακτικές για τη βέλτιστη εφαρμογή του προτύπου του μικρόκοσμου για την ερμηνεία και γενίκευση των μακροσκοπικών φαινομένων, όπως προβλέπεται από τα νέα αναλυτικά προγράμματα (του 2001) και παρουσιάζεται και στα νέα βιβλία Φυσικών της Ε΄ και Στ΄ τάξης του Δημοτικού Σχολείου (του 2006).

Εισαγωγή

Ο R. Feynman στη διάλεξή του «Atoms in Motion» υποστηρίζει ότι «δεν υπάρχει κάποια διαδικασία του φυσικού κόσμου, που να μην μπορεί να κατανοηθεί στο πλαίσιο ότι αυτός συγκροτείται από άτομα που συμπεριφέρονται με βάση τους φυσικούς νόμους» (Feynman 1977). Συμφωνώντας με αυτή τη θέση, προτείνουμε εκπαιδευτικές προσεγγίσεις και πρακτικές της σωματιδιακής δομής της ύλης με σκοπό να εξυπηρετηθεί η περιγραφή και ερμηνεία ενός συνόλου φυσικών φαινομένων που εντάσσονται στο αναλυτικό πρόγραμμα της πρωτοβάθμιας εκπαίδευσης και συγκεκριμένα στα Φυσικά της Ε΄ και Στ΄ τάξης. Το πρότυπο στο οποίο στηρίζονται οι προσεγγίσεις αυτές, το πρότυπο του μικρόκοσμου, περιλαμβάνει στοιχειώδη και μη σωματίδια, τις αλληλεπιδράσεις τους, καθώς επίσης και την ενέργεια ως θεμελιώδη έννοια, προσεγγίζει δε τα φυσικά φαινόμενα μέσω της σωματιδιακής δομής της ύλης και της συμπεριφοράς των σωματιδίων. Στη σχετική βιβλιογραφία υποστηρίζεται ότι οι μαθητές έχουν συγκεκριμένες εναλλακτικές απόψεις για τη σωματιδιακή δομή της ύλης (Driver 1994, Osborne & Freyberg 1985) και χρειάζονται χρόνο προκειμένου να υιοθετήσουν ένα σωματιδιακό μοντέλο (Mikelskis–Seifert 2002). Ωστόσο, κάποιοι ερευνητές επιμένουν ότι πρέπει να επιμείνουμε και να βελτιώσουμε τη διδασκαλία της σωματιδιακής θεωρίας (Johnson 1998).

Απαραίτητη υποστήριξη των προτεινόμενων προσεγγίσεων προσφέρει το συνοδευτικό εκπαιδευτικό λογισμικό, καθώς τα μαθησιακά εμπόδια τα οποία αντιμετωπίζουν οι

εκπαιδευτικοί και οι μαθητές κατά την προσέγγιση εννοιών που περιγράφουν τη δομή της ύλης (Pozo, 2001), έχει υποστηριχθεί ότι προκύπτουν ως ένα βαθμό και από την έλλειψη εποπτείας. Όπως προκύπτει από τη σχετική βιβλιογραφία, ο ηλεκτρονικός υπολογιστής μπορεί να αξιοποιηθεί ως εποπτικό μέσο ενός εκπαιδευτικού προτύπου / μοντέλου (Gilbert et al., 2003). Ακόμα προτείνεται ότι ο ηλεκτρονικός υπολογιστής μπορεί να αξιοποιηθεί ώστε να λειτουργήσει ως εποπτικό μέσο ενός εκπαιδευτικού μοντέλου (Korobilis, Hatzikraniotis & Psillos 2003), καθώς οι αναπαραστάσεις των μοντέλων με ηλεκτρονικό υπολογιστή βοηθούν στη μετάβαση μεταξύ μακροσκοπικού / πραγματικού και μικροσκοπικού / συμβολικού επιπέδου (Gilbert et al. 2003, Kosma & Russel 1997, Treagust & Chittleborough 2001). Μάλιστα, τα τελευταία χρόνια στον ελληνικό και διεθνή χώρο έχουν εμφανιστεί μια σειρά διδακτικών προτάσεων που βασίζονται στην εισαγωγή μοντέλων του μικρόκοσμου και στην αξιοποίηση των νέων τεχνολογιών για την εκπαίδευση στη Φυσική με θετικά ως επί το πλείστον αποτελέσματα (Aiello–Nicosia & Sperandeo–Mineo 2000) και με σημαντική προσφορά στη διατύπωση των βασικών προβλημάτων που συνδέονται με τέτοιου είδους παρεμβάσεις αλλά και στην πρόταση λύσεων αντιμετώπισής τους (Κυριάκη 1997, Βλάχος 1999).

Μεθοδολογία

Στα πλαίσια του γενικότερου στόχου της έρευνας, που είναι η διερεύνηση της εφαρμογής του προτύπου του μικρόκοσμου στο Δημοτικό σχολείο, τίθενται τα εξής επιμέρους ερευνητικά ερωτήματα:

- Είναι εφικτή η διαμόρφωση ενός εκπαιδευτικού αλλά επιστημονικά συνεπούς προτύπου του μικρόκοσμου;
- Παρατηρείται βελτίωση των επιδόσεων των εκπαιδευόμενων που διδάσκονται με βάση αυτό το πρότυπο;
- Παρατηρείται ενίσχυση της επίδοσης των εκπαιδευόμενων όταν η διδασκαλία του προτύπου υποστηρίζεται με κατάλληλο εκπαιδευτικό λογισμικό;

Οι βασικές συνιστώσες των εκπαιδευτικών προσεγγίσεων και πρακτικών που προτείνονται εδώ, είναι το πρότυπο / μοντέλο του μικρόκοσμου, οι οπτικοποιήσεις του και το υποστηρικτικό εκπαιδευτικό λογισμικό. Κάθε μία από αυτές τις συνιστώσες αναλύεται στη συνέχεια.

Το πρότυπο του μικρόκοσμου

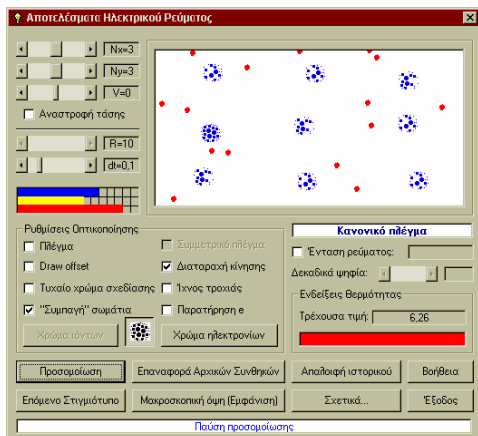
Το πρότυπο αυτό αποτελεί μια εκπαιδευτική προσαρμογή του μοντέλου της σωματιδιακής δομής της ύλης (Γ.Θ. Καλκάνης 2005) με σκοπό να εξυπηρετηθεί η περιγραφή και ερμηνεία ενός συνόλου φυσικών φαινομένων που εντάσσονται στο αναλυτικό πρόγραμμα της πρωτοβάθμιας εκπαίδευσης. Οι βασικές παραδοχές του είναι οι εξής:

- Όλες οι ουσίες του μακρόκοσμου αποτελούνται από σωματίδια, που διαρκώς κινούνται αλλά δεν έρχονται σε επαφή (μηδενική απόσταση) μεταξύ τους ενώ αλληλεπιδρούν με ελκτικές ή απωστικές δυνάμεις.
- Όταν αυξάνεται η ενέργεια των σωματιδίων, τότε είτε αυξάνεται η κινητικότητά τους. Στις διαφορετικές φυσικές καταστάσεις διαφοροποιείται ο τρόπος κίνησής τους.

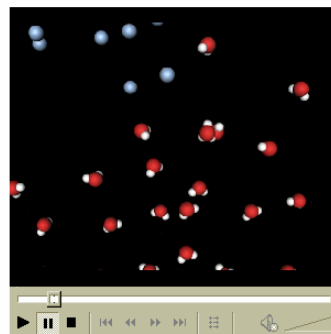
Οι εκπαιδευτικές οπτικοποιήσεις

Οι οπτικοποιήσεις που έχουν ενσωματωθεί στο εκπαιδευτικό λογισμικό έχουν στο σύνολό τους δημιουργηθεί στο Εργαστήριο Φυσικών Επιστημών, Τεχνολογίας και Περιβάλλοντος. Σε ορισμένες περιπτώσεις αποτελούν δισδιάστατες κινούμενες απεικονίσεις που προκύπτουν από προγράμματα προσομοίωσης με μεθόδους Monte Carlo (Τσάκωνας 1997) και σε άλλες

αποτελούν αυτούσιες τρισδιάστατες οπτικοποιήσεις κατασκευασμένες σε περιβάλλον 3D Studio Max (Δημόπουλος 2005).



Εικόνα 1. Παράδειγμα προγράμματος προσομοίωσης



Μοντέλο βρασμού

Εικόνα 2. Παράδειγμα δυναμικής οπτικοποίησης

Ο συνδυασμός των δύο παραπάνω δυνατοτήτων (απεικονίσεων προσομοίωσης ή αυτούσιων οπτικοποιήσεων) επιλέχθηκε με γνώμονα τον γενικότερο εκπαιδευτικό σκοπό και τους ειδικότερους διδακτικούς στόχους της πρότασής μας. Αναλυτικότερα, ο σκοπός της δυναμικής εικονικής παρουσίασης του μοντέλου του μικρόκοσμου είναι η πληρέστερη προσέγγισή του από πλευράς των εκπαιδευόμενων. Αυτή σε ορισμένες περιπτώσεις (κυρίως στη φάση της εισαγωγής του μοντέλου) πρέπει να εστιάζεται στα δομικά χαρακτηριστικά του μοντέλου και όχι στην μεταβολή παραμέτρων από τον χρήστη, κάτι που προσφέρει η προσομοίωση. Στη φάση της εφαρμογής του μοντέλου σε περιγραφές και ερμηνείες φυσικών φαινομένων ενδιαφέρει περισσότερο η εξάρτηση της συμπεριφοράς των σωματιδίων από άλλες παραμέτρους, οπότε είναι επιθυμητή η αλληλεπίδραση του χρήστη, ώστε να μεταβάλλει αυτές τις παραμέτρους και να παρατηρεί τα αποτελέσματα.

Βασικό μέλημα κατά τη σχεδίαση των εκπαιδευτικών οπτικοποιήσεων ήταν η αντιμετώπιση εναλλακτικών απόψεων των μαθητών για τη σωματιδιακή δομή της ύλης, όπως αυτές έχουν σταχυολογηθεί από τη βιβλιογραφία. Επειδή, ωστόσο, και η ίδια η οπτικοποίηση του όποιου μοντέλου είναι δυνατό να δημιουργήσει εκ νέου εναλλακτικές απόψεις στους εκπαιδευόμενους (Harrison & Treagust 2000), ιδιαίτερη έμφαση δίνεται μέσα από τα συνοδευτικά κείμενα των οπτικοποιήσεων στις ομοιότητες και διαφορές που υπάρχουν ανάμεσα στα αντικείμενα που παρουσιάζονται σε αυτές (π.χ. σφαίρες) και στα σωματίδια που μοντελοποιούν (π.χ. μόρια). Επιπλέον σε κάθε οπτικοποίηση τονίζεται ότι πρόκειται για μοντέλο (όπως αναφέρεται εξάλλου κατά λέξη και στις συνοδευτικές λεζάντες) περιγραφής και ερμηνείας και όχι για πραγματικά σωματίδια.

Ένα ακόμα σημείο στο οποίο δόθηκε ιδιαίτερη προσοχή, όπως προτείνεται και από τη σχετική βιβλιογραφία (Fischler & Seifert 2001), όσον αφορά στις οπτικοποιήσεις του μικρόκοσμου είναι η διάκριση του μικροσκοπικού επιπέδου με το μακροσκοπικό.

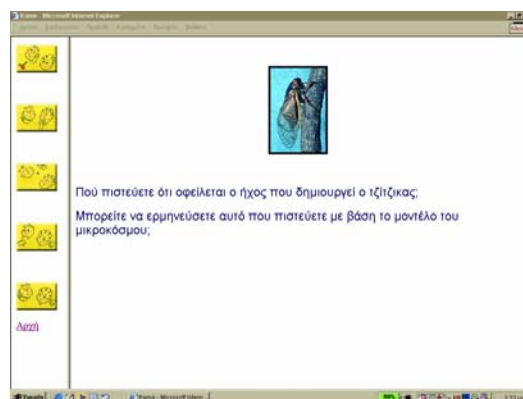
Το εκπαιδευτικό λογισμικό

Το συνοδευτικό λογισμικό περιλαμβάνει μέσα πολύμορφης επικοινωνίας (multimedia) ενταγμένα σε θόνες δημιουργημένες σε HTML και εκτελείται στο περιβάλλον του Internet Explorer των Windows. Το λογισμικό αποσκοπεί στην προσέγγιση του μικροσκοπικού μοντέλου μέσω της εκπαιδευτικής μεθόδου. Συγκεκριμένα, η σχεδίαση του εκπαιδευτικού λογισμικού πραγματοποιήθηκε με βάση το ερευνητικά εξελισσόμενο εκπαιδευτικό μοντέλο. Αναλυτικότερα η προτεινόμενη πορεία πλοήγησης ξεκινά με εικόνες, βίντεο, ήχους που

μπορούν να λειτουργήσουν ως έναυσμα του ενδιαφέροντος των μαθητών. Στη συνέχεια προβάλλονται ερωτήματα ως άξονες συζήτησης και διατύπωσης υποθέσεων.



Εικόνα 3. Οθόνη «Εναυσμα»

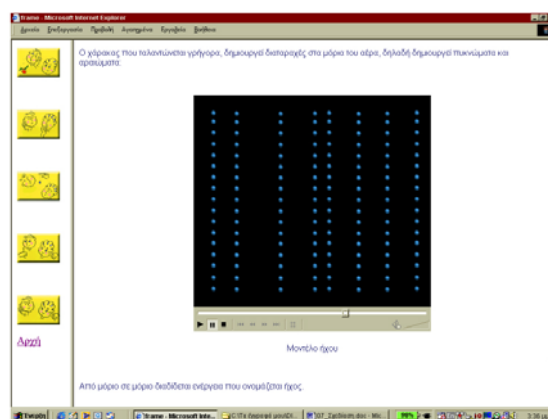


Εικόνα 4. Οθόνη «Υποθέσεις»

Ακολουθούν περιγραφές απλών πειραμάτων (όμοιων με εκείνων του διδακτικού εγχειριδίου) και αμέσως μετά προβάλλονται οι εκπαιδευτικές οπτικοποιήσεις και προσομοιώσεις του μοντέλου του μικρόκοσμου με σκοπό την ερμηνεία των φυσικών διαδικασιών που μελετήθηκαν στα πειράματα.

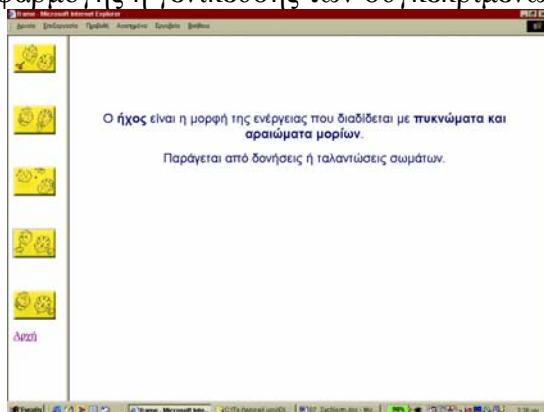


Εικόνα 5. Οθόνη «Πειραματισμός»

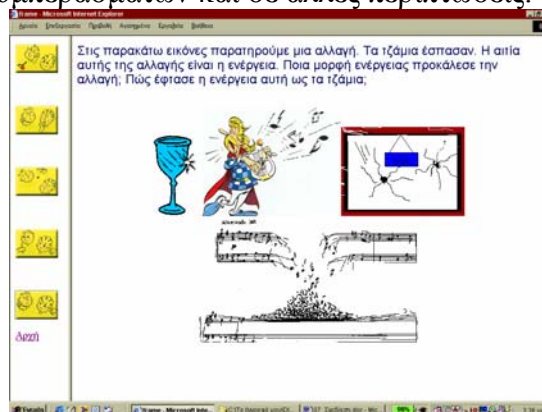


Εικόνα 6. Οθόνη «Ερμηνεία»

Μετά εμφανίζονται τα συμπεράσματα και στο τέλος περιλαμβάνονται περιπτώσεις εφαρμογής ή γενίκευσης των συγκεκριμένων συμπερασμάτων και σε άλλες περιπτώσεις.



Εικόνα 7. Οθόνη «Συμπεράσματα»



Εικόνα 8. Οθόνη «Εφαρμογή»

Το εκπαιδευτικό λογισμικό που απευθύνεται σε μαθητές του Δημοτικού Σχολείου περιλαμβάνει τις εξής ενότητες: Επιστημονική Μέθοδος, Μοντέλα, Δύναμη, Ενέργεια, Ηλεκτρικό Φορτίο, Μικρόκοσμος, Σωματίδια, Αλληλεπιδράσεις, Φυσικές Καταστάσεις, Θερμότητα, Διαστολή – Συστολή, Ηλεκτρικό Ρεύμα, Ήχος.

Η Εφαρμογή

Η πρόταση εφαρμόστηκε αρχικά (Προ-εφαρμογή) σε μετεκπαιδευόμενους δασκάλους του Μαράσλειου Διδασκαλείου και του προγράμματος Εξομοίωσης κατά τα ακαδημαϊκά έτη 2000-2002. Τα αποτελέσματα αυτής της προ-εφαρμογής είχαν ως στόχο τη διαμορφωτική αξιολόγησή του και οδήγησαν στη βελτιστοποίηση και ολοκλήρωση του εκπαιδευτικού υλικού και λογισμικού. Η κύρια εφαρμογή της πρότασής μας πραγματοποιήθηκε σε δύο επίπεδα:

α) σε 120 φοιτητές (σε εργαστηριακό μάθημα) και 320 εκπαιδευτικούς (σε επιμορφωτικά σεμινάρια) και

β) σε 70 μαθητές Δ' και Ε' τάξης του δημοτικού σχολείου.

Η διαφοροποίηση του τμήματος πειραματισμού από το τμήμα ελέγχου στην περίπτωση των φοιτητών συνίσταται στο ότι το πειραματικό τμήμα παρακολούθησε ένα εισαγωγικό εργαστηριακό μάθημα που αφορούσε στην έννοια του μοντέλου και στο μοντέλο του μικρόκοσμου, καθώς επίσης και στο ότι η διδακτική διαδικασία υποστηριζόταν με ηλεκτρονικό υπολογιστή και οπτικοποιήσεις του μοντέλου. Στην περίπτωση των μαθητών η διαφοροποίηση αφορά στο ότι η ομάδα ελέγχου ακολούθησε το ισχύον τότε (2002) αναλυτικό πρόγραμμα και χρησιμοποίησε μόνο τα διδακτικά εγχειρίδια, ενώ η ομάδα πειραματισμού διδάχθηκε με βάση το εκπαιδευτικό λογισμικό που περιγράφηκε παραπάνω με έμφαση στο μοντέλο του μικρόκοσμου.

Τα όργανα συλλογής δεδομένων. Για την αξιολόγηση της επίδοσης των φοιτητών και των μαθητών σε γνωστικό επίπεδο χρησιμοποιήθηκαν δύο ειδών ερωτηματολόγια. Το πρώτο είδος ερωτηματολογίων αποτελεί ένα γενικό ερωτηματολόγιο γνώσεων που περιλαμβάνει το σύνολο των εννοιών της διδακτικής παρέμβασης, ενώ το δεύτερο αφορά σε υποσύνολα εννοιών. Ένα σημαντικό μέρος των ερωτήσεων και των δύο ειδών των ερωτηματολογίων έχουν διατυπωθεί με βάση όργανα συλλογής δεδομένων άλλων ερευνών (Βλάχος 1999, Redfors 2003, Gobert 2000, Ma-Naim et al. 2000).

Δείγμα: Φοιτητές. Το πρώτο είδος ερωτηματολογίων (με ερωτήσεις που απαιτούν ανάκληση δηλωτικής γνώσης και διατύπωση ορισμών, άλλες που απαιτούν διαδικαστική γνώση δηλαδή ερμηνεία φαινομένων, και τέλος άλλες που απαιτούν ερμηνεία φαινομένων με το μοντέλο του μικρόκοσμου) διανεμήθηκε πριν τη διδακτική παρέμβαση στο τμήμα πειραματισμού και στο τμήμα ελέγχου, αμέσως μετά τη διδακτική παρέμβαση στο τμήμα πειραματισμού καθώς επίσης και δύο μήνες μετά και στα δύο τμήματα. Το δεύτερο είδος ερωτηματολογίων (με ερωτήσεις που αφορούν στο μοντέλο του μικρόκοσμου και στην περιγραφή και ερμηνεία φαινομένων με αξιοποίησή του) διανεμήθηκε μόνο στο τμήμα πειραματισμού πριν και μετά από την ενότητα της διδακτικής παρέμβασης που ήταν αντίστοιχη με τις έννοιες του ερωτηματολογίου.

Δείγμα: Μαθητές Δημοτικού. Το πρώτο είδος ερωτηματολογίων (με ερωτήσεις για την επιστημονική μέθοδο, την έννοια του μοντέλου, της ενέργειας, της θερμότητας, του ηλεκτρικού ρεύματος, του ήχου) διανεμήθηκε πριν τη διδακτική παρέμβαση στο τμήμα πειραματισμού και στο τμήμα ελέγχου, καθώς και αμέσως μετά τη διδακτική παρέμβαση και στα δύο τμήματα. Το δεύτερο είδος ερωτηματολογίων (με ερωτήσεις για το μοντέλο του μικρόκοσμου και την περιγραφή και ερμηνεία φαινομένων με αξιοποίησή του) διανεμήθηκε

μόνο στο τμήμα πειραματισμού μετά από την αντίστοιχη με τις έννοιες του ερωτηματολογίου ενότητα της διδακτικής παρέμβασης

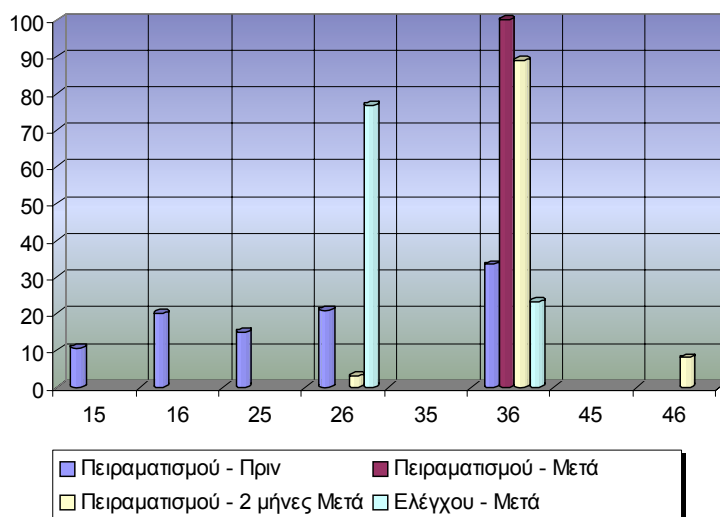
Δείγμα: Εκπαιδευτικοί. Για την αξιολόγηση της στάσης των εκπαιδευτικών προς τη διδασκαλία Φυσικών Επιστημών με βάση το μοντέλο του μικρόκοσμου διανεμήθηκε στο τέλος κάθε σεμιναριακής συνάντησης φυλλάδιο παρατηρήσεων το οποίο περιλάμβανε ερωτήσεις τριών αξόνων: α) μοντέλο του μικρόκοσμου, β) εκπαιδευτική μεθοδολογία και γ) εκπαιδευτικό λογισμικό.

Αποτελέσματα και συζήτηση

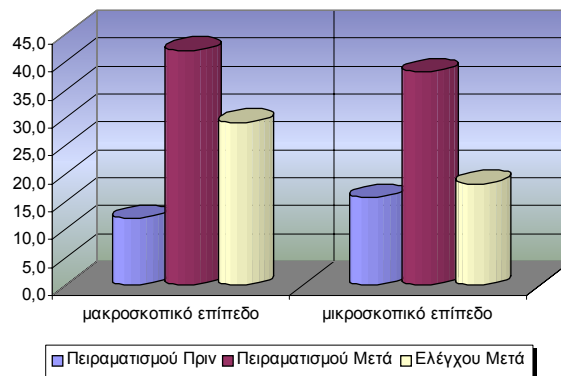
Η ανάλυση των δεδομένων του ερωτηματολογίων αφορά αφενός στη σύγκριση των εκπαιδευομένων (φοιτητών, μαθητών, εκπαιδευτικών) της ομάδας πειραματισμού πριν και μετά την παρέμβαση, όσο και στη σύγκριση της ομάδας πειραματισμού με την ομάδα ελέγχου (φοιτητών, μαθητών). Τα αποτελέσματα που παρουσιάζουν ειδικότερο ενδιαφέρον αναλύονται στη συνέχεια:

Φοιτητές

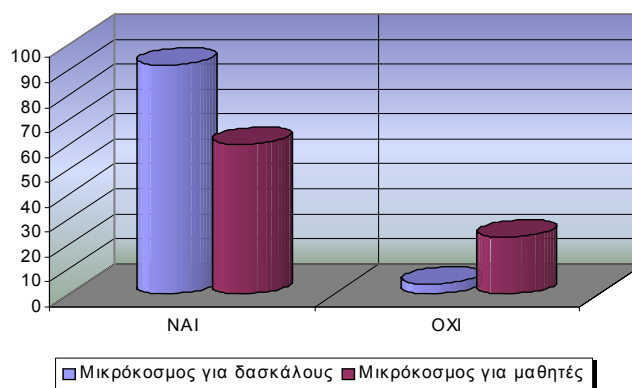
Η αξιολόγηση της επίδοσης των φοιτητών όσον αφορά στις ερωτήσεις ανοικτού τύπου ήταν ποιοτική και βασίστηκε σε πενταβάθμια κλίμακα με τους εξής χαρακτηρισμούς για την κάθε απάντηση: Αναπάντητη (0), Λανθασμένη (1), Μερικώς Λανθασμένη (2), Μερικώς Σωστή (3), Σωστή (4). Επίσης, σε όσες ερωτήσεις υπήρχε δυνατότητα απάντησης σε μικροσκοπικό ή μακροσκοπικό επίπεδο, δινόταν ένας επιπλέον χαρακτηρισμός: Μακροσκοπικό (5), Μικροσκοπικό (6). Για παράδειγμα, μια απάντηση σε ανοικτού τύπου ερώτηση η οποία ήταν μερικώς σωστή και σε μικροσκοπικό επίπεδο θα είχε τον ποσοτικό χαρακτηρισμό 36.



Από το παραπάνω γράφημα παρατηρείται στατιστικά σημαντική μετακίνηση των απαντήσεων προς το επιστημονικά μερικά σωστό (36) πρότυπο καθώς επίσης και αναφορά στοιχείων μικροσκοπικού επιπέδου – τόσο σε λεκτικό επίπεδο όσο και σε επίπεδο σχεδίασης – των φοιτητών της ομάδας πειραματισμού μετά τη διδακτική παρέμβαση. Οι διαφορές που προκύπτουν μεταξύ της ομάδας ελέγχου και πειραματισμού είναι στατιστικά σημαντικές, γεγονός που σημαίνει ότι η διδακτική παρέμβαση είχε επιτυχία στη συστηματική διδασκαλία του μοντέλου του μικρόκοσμου. Οι διαφορές που προκύπτουν μεταξύ των απαντήσεων της ομάδας πειραματισμού μετά και δύο μήνες μετά τη διδακτική παρέμβαση δεν είναι στατιστικά σημαντικές, γεγονός που σημαίνει ότι η γνώση διατηρήθηκε.

Μαθητές

Οι μαθητές της ομάδας πειρατισμού έχουν καλύτερες επιδόσεις τόσο σε μακροσκοπικό όσο και σε μικροσκοπικό επίπεδο μετά τη διδακτική παρέμβαση από την ομάδα ελέγχου. Στις ερωτήσεις μικροσκοπικού επιπέδου, το ποσοστό των σωστών απαντήσεων στην ομάδα ελέγχου δεν διαφοροποιείται από αυτό που είχαν πριν τη διδασκαλία. Ωστόσο, στην ομάδα πειρατισμού παρατηρείται στατιστικά σημαντική αύξηση των σωστών απαντήσεων μικροσκοπικού επιπέδου.

Εκπαιδευτικοί

Ένα πολύ μεγάλο ποσοστό των εκπαιδευτικών θεωρούν απαραίτητο να γνωρίζουν οι ίδιοι το μοντέλο του μικρόκοσμου καθώς παρουσιάζει ενδιαφέρον και αποτελεί βάση για την ερμηνεία φαινομένων. Όσον αφορά στη διδασκαλία του μοντέλου του μικρόκοσμου στους μαθητές, περισσότεροι από τους μισούς εκπαιδευτικούς απαντούν θετικά, ενώ ένα μέρος των εκπαιδευτικών το θεωρεί δύσκολο για το επίπεδο των μαθητών. Τέλος, περίπου μισοί από τους εκπαιδευτικούς θεωρούν ότι η οπτικοποίηση του μοντέλου του μικρόκοσμου μέσω του συνοδευτικού λογισμικού βοηθά στη δημιουργία καλύτερης εποπτείας του μοντέλου και στους εκπαιδευτικούς και στους μαθητές.

Συμπεράσματα

Η επεξεργασία των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από τα ερωτηματολόγια συλλογής δεδομένων οδηγεί στα παρακάτω συμπεράσματα ως προς τη στάση των εκπαιδευτικών, το γνωστικό επίπεδο των εκπαιδευομένων, το μοντέλο του μικρόκοσμου, αλλά και τη χρήση οπτικοποιήσεων και προσομοιώσεων. Συγκεκριμένα:

α) Τόσο η διδασκαλία της έννοιας του μοντέλου όσο και η εκπαίδευση στη Φυσική με βάση το μοντέλο του μικρόκοσμου, διαπιστώθηκε ότι ενισχύει την ικανότητα των εκπαιδευόμενων να αντιμετωπίζουν τη Φυσική ως μια επιστήμη περιγραφής και ερμηνείας

του κόσμου μας με τη χρήση μοντέλων, αλλά και να χειρίζονται οι ίδιοι μοντέλα στην προσπάθειά τους να περιγράψουν και να ερμηνεύσουν φυσικά φαινόμενα.

β) Το γεγονός ότι επιτεύχθηκε για το μοντέλο του μικρόκοσμου η σύνθεση εκπαιδευτικού υλικού, το οποίο κάλυψε το σύνολο των βασικών εννοιών που -σύμφωνα τόσο με το ισχύον ελληνικό αναλυτικό πρόγραμμα όσο και με ευρωπαϊκά αναλυτικά προγράμματα- προβλέπονται για την πρωτοβάθμια εκπαίδευση, καταδεικνύει την επάρκεια του μοντέλου του μικρόκοσμου ως ενιαίου -εκπαιδευτικά προσαρμοσμένου- μοντέλου περιγραφής και ερμηνείας όλων των βασικών φυσικών φαινομένων που διδάσκονται στο δημοτικό σχολείο.

γ) Η παρουσίαση του μοντέλου μέσω τρισδιάστατων οπτικοποιήσεων στον υπολογιστή ενισχύει την αποδοχή του και το χειρισμό του από τους εκπαιδευόμενους. Αναφέρεται, μάλιστα, και σε παρόμοια έρευνα σε φοιτητές / μελλοντικούς εκπαιδευτικούς χημείας (Gilbert et al 2003) ότι ενθάρρυνε τους φοιτητές πολύ η ταυτόχρονη χρήση των «μοντέλων και της οπτικοποίησης» και στο επίπεδο των ίδιων ως φοιτητών χημείας και στο επίπεδο των ίδιων ως μελλοντικών εκπαιδευτικών χημείας. Επιπλέον, οι εν ενεργεία εκπαιδευτικοί είχαν θετική στάση προς τη χρήση οπτικοποιήσεων ενισχυτικά του μοντέλου του μικρόκοσμου, καθώς σε μεγάλο βαθμό θεωρούσαν ότι αυτές αφενός διευκολύνουν τους εκπαιδευόμενους (εκπαιδευτικούς και μαθητές) να σχηματίσουν μια περισσότερο απτή εικόνα του μοντέλου, και αφετέρου προσελκύουν το ενδιαφέρον των εκπαιδευομένων.

Η εφαρμογή της παρούσας πρότασης ανέδειξε κάποιες δυσκολίες σχετικά με το μοντέλο του μικρόκοσμου και οδήγησε στη διατύπωση άλλων προτάσεων για τη διδασκαλία του μοντέλου αυτού. Πιο συγκεκριμένα:

α) οι μαθητές όσο και οι φοιτητές φάνηκαν να μην είναι εξοικειωμένοι με την έννοια του μοντέλου. Αυτό σημαίνει ότι χρειάστηκε περισσότερος χρόνος και προσπάθεια για τη διδασκαλία της έννοιας του μοντέλου, αλλά και συχνά απαιτήθηκε η επιστροφή στην έννοια αυτή.

β) παρά το γεγονός ότι οι μαθητές και οι φοιτητές έχουν μια σχετική εξοικείωση με τον ηλεκτρονικό υπολογιστή, η παρουσία του στο εργαστήριο Φυσικής και η παράλληλη χρήση του με το μάθημα της Φυσικής αποτελεί πρωτόγνωρη εμπειρία για το δείγμα της έρευνας.

γ) είναι παραδεκτό ότι το μοντέλο του μικρόκοσμου απαιτεί αυξημένες γνωστικές ικανότητες, δεδομένου ότι αποτελεί ένα μοντέλο για φυσικές οντότητες μη ορατές, καθώς και ότι η διδακτική παρέμβαση ενέχει χαρακτηριστικά μεταγνωστικής διαδικασίας. Τέτοιες διαδικασίες, ωστόσο, δίνουν μετρήσιμα αποτελέσματα συνήθως αφού παρέλθει μεγάλο χρονικό διάστημα μετά τη διδακτική παρέμβαση.

δ) η εφαρμογή του μοντέλου του μικρόκοσμου στο δημοτικό σχολείο απαιτεί τη γνώση του σε ικανοποιητικό βαθμό από τους εκπαιδευτικούς που θα το διδάξουν.

Παρά τις δυσκολίες και τους περιορισμούς της έρευνας, τα θετικά ως επί το πλείστον αποτελέσματα της εφαρμογής του μοντέλου του μικρόκοσμου με τρόπο συστηματικό και με την υποστήριξη κατάλληλου εκπαιδευτικού λογισμικού σε ένα μοντέλο διδασκαλίας, αποτελούν τη βάση για τη διατύπωση σχετικών προτάσεων.

Αρχικά, θεωρούμε ότι οι μαθητές του δημοτικού σχολείου είναι σε θέση να διδαχθούν το μοντέλο του μικρόκοσμου. Το γεγονός ότι έχουν εναλλακτικές απόψεις για τη σωματιδιακή δομή της ύλης, δεν θεωρούμε ότι αντιμετωπίζεται με την άρνηση της διδασκαλίας της, αλλά πολύ περισσότερο με τη συστηματική διδασκαλία εννοιών και διαδικασιών που θα βοηθήσουν τους μαθητές να μετακινηθούν προς το επιστημονικά αποδεκτό μοντέλο σταδιακά και σε βάθος χρόνου. Όσο για τις θεωρίες που προβάλλουν τις γνωστικές ικανότητες των μαθητών της ηλικίας Δ' ως Ε' δημοτικού (π.χ. Piaget), ήδη από τους επιστήμονες του χώρου της γνωστικής και εξελικτικής ψυχολογίας έχει διατυπωθεί ο αντίλογος μέσω άλλων θεωριών (π.χ. Bruner), ότι δηλαδή είναι δυνατό να διδαχθεί η οποιαδήποτε έννοια σε ένα μαθητή με σπειροειδή τρόπο αρκεί να υπάρχει το κατάλληλο μέσο. Ειδικά σε αυτό το ηλικιακό επίπεδο μπορούν να χρησιμοποιηθούν και τεχνικές βιωματικού παιχνιδιού. Ωστόσο, είναι απαραίτητο

στην περίπτωση αυτή να τονισθούν οι διαφορές του από το επιστημονικό μοντέλο του μικρόκοσμου, ώστε να μην ενισχυθούν οι εναλλακτικές απόψεις των μαθητών.

Όσον αφορά στα μέσα οπτικοποίησης του μοντέλου του μικρόκοσμου, θεωρούμε ότι είναι μαθησιακά προσφορότερες οι κινούμενες εικόνες σε σύγκριση με τις στατικές, καθώς εκτός των σωματιδίων διευκολύνουν σε μεγάλο βαθμό την οπτικοποίηση και των κινήσεων και αλληλεπιδράσεων των σωματιδίων. Σε κάθε περίπτωση χρήσης οπτικοποιήσεων, ωστόσο, τονίζουμε ότι είναι απαραίτητο να επισημαίνεται ότι πρόκειται για μοντέλα και όχι για πραγματικά σωματίδια και να αφιερώνεται χρόνος ώστε να τονίζονται οι συμβάσεις των μοντέλων. Έτσι, μειώνεται η πιθανότητα δημιουργίας εναλλακτικών απόψεων στους εκπαιδευόμενους.

Όσον αφορά στην εκπαίδευση των φοιτητών/μελλοντικών εκπαιδευτικών με τη χρήση νέων τεχνολογιών και στο Εργαστήριο Φυσικής για τις ανάγκες του μοντέλου του μικρόκοσμου, πέραν των θετικών αποτελεσμάτων που σημειώθηκαν στην επίδοσή τους και στη στάση τους προς τη Φυσική, το θεωρούμε απαραίτητο και για έναν ακόμα λόγο. Φαίνεται ότι οι φοιτητές επηρεάζονται ως προς τις διδακτικές στρατηγικές αρκετά από τον τρόπο που οι ίδιοι έχουν διδαχθεί. Σε αυτό συμφωνούν και άλλοι ερευνητές του χώρου, όπως οι van Driel & de Jong (2003). Επομένως, με δεδομένο ότι οι συγκεκριμένοι φοιτητές θα κληθούν να αξιοποιήσουν στο μέλλον τις νέες τεχνολογίες στη διδασκαλία τους, είναι σημαντικό να διδαχθούν κατά την πανεπιστημιακή τους εκπαίδευση με αντίστοιχο τρόπο.

Επιπλέον, το μοντέλο του μικρόκοσμου είναι ένα μοντέλο το οποίο σταδιακά εισάγεται από τα νέα αναλυτικά προγράμματα και στην πρωτοβάθμια εκπαίδευση. Συγκεκριμένα, βάσει του προηγούμενου αναλυτικού προγράμματος είχαν εισαχθεί έννοιες του μικρόκοσμου στο κεφάλαιο του ηλεκτρικού ρεύματος για τους μαθητές καθώς και μια ολοκληρωμένη περιγραφή του μοντέλου για τους εκπαιδευτικούς. Επίσης, βάσει του Διαθεματικού Ενιαίου Πλαισίου Σπουδών, εισάγεται το μοντέλο του μικρόκοσμου με συστηματικό τρόπο σε μεγάλο αριθμό ενοτήτων και στο επίπεδο του μαθητή. Αυτό σημαίνει ότι είναι απαραίτητο να γνωρίσουν το μοντέλο οι φοιτητές κατά την πανεπιστημιακή τους εκπαίδευση αφού είναι πολύ πιθανό να χρειασθεί να το διδάξουν στο μέλλον.

Τέλος, όσον αφορά στην κατάρτιση εν ενεργεία εκπαιδευτικών και στην ενημέρωσή τους για το μοντέλο του μικρόκοσμου και για την υποστηρικτική χρήση των νέων τεχνολογιών, αυτή ενισχύεται από τα όσα σημειώθηκαν παραπάνω για να νέα αναλυτικά προγράμματα. Προς αυτή την κατεύθυνση και άλλοι ερευνητές του χώρου (Aiello–Nicosia & Sperandeo–Mineo 2000) συμφωνούν ότι θα πρέπει οι εκπαιδευτικοί να επιμορφώνονται μέσα από διαδικασίες που έχουν τα ίδια χαρακτηριστικά (περιεχόμενο, στρατηγική, μέσα) με αυτές που θα κληθούν να εφαρμόσουν στην τάξη τους.

Παραπομπές

- Βλάχος, Ι.Α. (1999), "Εποικοδομητική Προσέγγιση της διδασκαλίας της σωματιδιακής δομής της ύλης στην Πρωτοβάθμια Εκπαίδευση", Διδακτορική Διατριβή, Πανεπιστήμιο Αθηνών.
- Δημόπουλος, Β. (2005), "Εκπαίδευση με τεχνολογίες πληροφόρησης στις Φυσικές Επιστήμες - προτάσεις και εφαρμογές κβαντικών προσεγγίσεων", διδακτορική διατριβή, επιβλέπων: καθηγητής Γ.Θ. Καλκάνης, Πανεπιστήμιο Αθηνών, Παιδαγωγικό Τμήμα Δ.Ε., Τομέας Φυσικών Επιστημών, Τεχνολογίας και Περιβάλλοντος, Αθήνα
- Καλκάνης, Γ.Θ. (2005) Εκπαιδευτική Φυσική, Ι. οι Θεωρίες
- Κυριάκη, Ε. (1997), Εκπαιδευτικό Περιβάλλον Προγραμματισμού και Εκπαιδευτικό Λογισμικό ανοικτό στις παρεμβάσεις εκπαιδευτικών και εκπαιδευόμενων και προσανατολισμένο στην αναπαραγωγή και αναπαράσταση φυσικών φαινομένων του μικρόκοσμου με προσομοίωση MONTE CARLO, Διδακτορική Διατριβή, Πανεπιστήμιο Αθηνών.

- Aiello–Nicosia, M.L. & Sperandeo–Mineo, R.M., (2000), “Educational reconstruction of physics content to be taught and of pre-service teacher training: a case study”, *International Journal of Science Education* 22(10), pp. 1085-1097.
- Driver, R., Squires, A., Rushworth, P. & Wood – Robinson, V. (1994), *Making sense of Secondary Science – Research into Children’s Ideas*, London: Routledge.
- Feynman, R., Leighton R. & Sands, M. (1977), *The Feynman Lectures on Physics* (6th reprint), Reading MA: Addison-Wesley.
- Fischler, H. & Seifert, S. (2001), “Can students develop meta-concepts for particle representation?”, paper read to the 3rd International Conference European Science Education Research Association, August, Thessaloniki, Greece.
- Gilbert, J.K., Justi, R. & Aksela, M., (2003), “The visualization of models: A metacognitive competence in the learning of chemistry”, paper read to the 4th International Conference of European Science Education Research Association, August, Noordwijkerhout, The Netherlands.
- Gobert, J.D. & Buckley, B.C. (2000), “Introduction to model-based teaching and learning in science education”, *International Journal of Science Education* 22(9).
- Harrison, A. G. & Treagust, D. F. (2000), “A typology of school science models”, *International Journal of Science Education* 22(9), pp. 1011-1026.
- Johnson P. (1998), “Progression in children’s understanding of a ‘basic’ particle theory: a longitudinal study”, *International Journal of Science Education* 20(4), pp. 393-412.
- Korobilis, K., Hatzikraniotis, E. & Psillos, D. (2003), "A study on science teachers’ use of design features of a simulated visual laboratory to develop active involvement of students in the teaching of thermodynamics at senior high school", in Constantinou, C.P. & Zacharias, Z.C. (eds), *Proceedings of conference on Computer based learning in Science*, Nicosia: Department of Educational Sciences.
- Kosma, R. & Russel, J. (1997), "Multimedia and understanding: expert and novice responses to different representations of chemical phenomena", *Journal of Research in Science Teaching*, 34(9), pp. 949-968.
- Ma-Naim, C., Bar, V. & Finkental M. (2000), "The initiation of thermodynamic theory from the particulate model for preservice teachers", *Proceedings of the International Conference of Groupe International de Recherche sur l’ Enseignement de la Physique - International Commission on Physics Education*, electronic version (CD-ROM), Spain.
- Mikelskis–Seifert, S. & Leisner, A. (2003), "Investigation of Effects and Stability in teaching Model Competence", paper read at the 4th International Conference of the European Science Education Research Association, August, Noordwijkerhout, The Netherlands.
- Osborne, R.Y. & Freyberg, F. (1985), *Children learning in Science*, London: Heinemann.
- Pozo, R.M.D (2001), "Prospective teachers' ideas about the relationships between concepts describing the composition of matter", *International Journal of Science Education*, 23(4), pp. 353-371.
- Redfors, A., Holgerson, I. & Niedderer, H. (2003), "On teacher students and the world of models in physics", paper read to the 4th International Conference of European Science Education Research Association, August, Noordwijkerhout, The Netherlands.
- Treagust, D.F. & Chittleborough, G. (2001), "Chemistry: matter of understanding representations", *Subject-Specific Instructional Methods and Activities*, New York: Elsevier, 8, pp. 239-267.
- Τσάκωνας, Π. (1997), "Επιστημονικά πρότυπα του μικροκόσμου στην εκπαιδευτική διαδικασία των φυσικών επιστημών, με τη δημιουργία και χρήση εκπαιδευτικού λογισμικού προσομοίωσης MONTE CARLO και δυναμικής οπτικοποίησης - Εφαρμογές στις κινήσεις και στις διαδικασίες του μικροκόσμου", διδακτορική διατριβή, επιβλέπων: καθηγητής Γ.Θ. Καλκάνης, Πανεπιστήμιο Αθηνών, Παιδαγωγικό Τμήμα Δ.Ε., Τομέας Φυσικών Επιστημών, Τεχνολογίας και Περιβάλλοντος, Αθήνα.