



Το εκπαιδευτικό πρότυπο του μικροΚόσμου και οι Προσομοιώσεις/ Οπτικοποιήσεις που ερμηνεύουν και ενοποιούν τα φαινόμενα του ΜικροΚόσμου στο μάθημα των Φυσικών της Πρωτοβάθμιας Εκπαίδευσης

Ιμβριώτη Δ., Γκικοπούλου Ο.

Εργαστήριο Φυσικών Επιστημών Τεχνολογίας και Περιβάλλοντος, Π.Τ.Δ.Ε.,
Πανεπιστήμιο Αθηνών dimvrioti@sch.gr, gikoroulou@gmail.com

Η αξία των προτύπων και της προτυποποίησης / μοντελοποίησης στην εκπαίδευση στις Φυσικές Επιστήμες αναγνωρίζεται σε διεθνές επίπεδο συνεχώς και περισσότερο. Παρουσιάζεται, ωστόσο, η ανάγκη οπτικοποίησης των προτύπων, η οποία είναι ιδιαίτερα επιτακτική στο επίπεδο της πρωτοβάθμιας εκπαίδευσης. Η παρούσα εργασία περιγράφει μια πρόταση εφαρμογής του εκπαιδευτικού προτύπου του μικροΚόσμου στο μάθημα των Φυσικών Ε' και Στ' τάξης του Δημοτικού Σχολείου, όπου κυρίαρχο ρόλο κατέχει η διαδικασία προτυποποίησης και όπου επίσης κρίνεται απαραίτητη η υποστήριξή της με εκπαιδευτικό λογισμικό προσομοιώσεων / οπτικοποιήσεων. Προτείνονται πηγές εκπαιδευτικού λογισμικού που εξυπηρετεί αυτό το σκοπό καθώς και πρακτικές βέλτιστης εφαρμογής σε περιβάλλον σχολικής τάξης, όπως προέκυψαν από ένα διδακτικό έτος εφαρμογής στην Ε' Τάξη.

Εισαγωγή

Ξεκινώντας αφενός από τους γενικούς διδακτικούς στόχους του μαθήματος των Φυσικών στο Δημοτικό Σχολείο όπου αναφέρεται μεταξύ άλλων ότι αποσκοπείται οι μαθητές να χρησιμοποιούν απλά πρότυπα για περιγραφή, κατανόηση και ερμηνεία φαινομένων και αφετέρου από την παραδοχή ότι η προτυποποίηση / μοντελοποίηση αποτελεί μια εγγενή διαδικασία της επιστημονικής έρευνας, υποστηρίζουμε ότι το πρότυπο του μικροΚόσμου, όπως περιγράφεται παρακάτω, είναι εφικτό να αποτελέσει ένα βασικό πρότυπο ενοποιητικό για τη Φυσική στη συγκεκριμένη εκπαιδευτική βαθμίδα (Ιμβριώτη, 2006).

Κάνοντας μια σύντομη ιστορική αναδρομή παρατηρούμε ότι κατά τη δεκαετία του 1990 όπως επισημαίνουν οι Gobert & Buckley (2000) η αξία των προτύπων και της προτυποποίησης στην εκπαίδευση στις Φυσικές Επιστήμες αναγνωριζόταν συνεχώς και περισσότερο, γεγονός που απεικονίζεται και στις εκπαιδευτικές μεταρρυθμίσεις του αντίστοιχου γνωστικού πεδίου (National Research Council (1996) "National Science Education Standards" Washington, D.C.: National Academy Press, American Association for the Advancement of Science (1993) "Benchmarks for Science Literacy" New York Oxford: Oxford University Press). Κατά τη δεκαετία του 2000 τα πρότυπα και η διαδικασία προτυποποίησης / μοντελοποίησης θεωρούνται πλέον δομικά και αναπόσπαστα τμήματα του επιστημονικού εναλλακτισμού.

Οι απόψεις αυτές φαίνεται να έχουν γίνει αποδεκτές από τους συγγραφείς αναλυτικών προγραμμάτων, καθώς στην πλειοψηφία των προγραμμάτων για τις Φυσικές Επιστήμες προτείνονται διαδικασίες διερεύνησης, κατανόησης και επικοινωνίας με σκοπό την προώθηση του επιστημονικού τρόπου σκέψης, ο οποίος περιλαμβάνει ως βασικό στοιχείο την προτυποποίηση / μοντελοποίηση (Gilbert & Boulter, 1998).

Στο σημείο αυτό είναι απαραίτητο να προσδιορίσουμε τι εννοούμε με τον όρο «επιστημονικό πρότυπο». Πρόκειται για μια απλοποιημένη αναπαράσταση ενός συστήματος (ή μιας ιδέας, ενός αντικειμένου, μιας διαδικασίας) που εστιάζει σε συγκεκριμένες απόψεις αυτού του συστήματος,



το περιγράφει και το ερμηνεύει. Σε αυτό το πλαίσιο αξιοποιούμε και το πρότυπο του μικρόΚοσμου στο μάθημα των Φυσικών στο Δημοτικό Σχολείο. Διευκρινίζουμε ότι συχνά στη βιβλιογραφία αντί του όρου «πρότυπο» απαντάται και ο όρος μοντέλο, όπως μεταφράζεται από την ξενόγλωσση βιβλιογραφία (“model”), και αντίστοιχα αντί της «προτυποποίησης» ο όρος «μοντελοποίηση».

Η οργάνωση του περιεχομένου ενός αναλυτικού προγράμματος με βάση τα επιστημονικά πρότυπα, συμβάλλει στη μάθηση τόσο των διαφόρων εννοιών όσο και της φύσης της επιστημονικής γνώσης (Justi & Gilbert, 2002). Έχει διαπιστωθεί μάλιστα ότι η προσφορά στους μαθητές ευκαιριών να επεξεργαστούν πρότυπα κατά τη διάρκεια της διδασκαλίας, υποστηρίζει την κατανόηση από πλευράς τους των επιστημονικών προτύπων (Gobert & Buckley, 2000). Υποστηρίζεται ότι ο ρόλος τους και στην εκπαίδευση είναι αρκετά σημαντικός, καθώς τα πρότυπα λειτουργούν ως γέφυρα μεταξύ της επιστημονικής θεωρίας και του κόσμου της εμπειρίας (Gilbert *et al.* 2003). Η εισαγωγή δραστηριοτήτων προτυποποίησης / μοντελοποίησης στη διδασκαλία της Φυσικής συνεισφέρει σε πολλές ενότητες περιεχομένου και καθιστά τους μαθητές ικανούς να διακρίνουν ομοιότητες και διαφορές μεταξύ ενός εύρους φαινομένων (Aiello–Nicosia & Sperandeo–Mineo 2000). Για το λόγο αυτό η χρησιμότητα δραστηριοτήτων προτυποποίησης αναγνωρίζεται ευρύτατα. Μια εισαγωγή των μαθητών σε τέτοιες δραστηριότητες όσο το δυνατό νωρίτερα τους βοηθά να κατακτήσουν μια γενική δεξιότητα χρήσιμη στη μάθηση της Φυσικής.

Βέβαια,

μια σημαντική παράμετρος που συνδέεται με τις εναλλακτικές απόψεις των μαθητών σχετικά με τα πρότυπα της σωματιδιακής δομής της ύλης, όπως π.χ. με τη μεταφορά μακροσκοπικών ιδιοτήτων στα σωματίδια, είναι η οπτικοποίηση. Κάποιοι ερευνητές, μάλιστα, τείνουν να αποφύγουν την οπτικοποίηση στο μικρόκοσμο, ενώ άλλοι αποφεύγουν τις μακροσκοπικές αναλογίες. Σε κάθε περίπτωση, πρέπει οι εκπαιδευτικοί να συζητούν αυτές τις οπτικοποιήσεις με τους μαθητές τους (Fischler & Seifert 2001).

Ένταξη στην εκπαιδευτική διαδικασία

Θεωρούμε ότι η ένταξη του προτύπου του μικρόΚοσμου στην εκπαιδευτική διαδικασία του μαθήματος των Φυσικών στις δύο τελευταίες τάξεις του Δημοτικού Σχολείου θα πρέπει να επιχειρείται από τους εκπαιδευτικούς, όπως περιγράφουμε παρακάτω στην «Εφαρμογή» της πρότασής μας. Στη συνέχεια καταγράφουμε τις κυριότερες παραδοχές του προτύπου του μικρόΚοσμου οι οποίες προτείνουμε να αποτελούν και το βασικό άξονα για τη διδασκαλία του:

- Όλα τα σώματα του μακροκόσμου αποτελούνται από σωματίδια.
- Τα σωματίδια στο μικρόκοσμο διαρκώς κινούνται.
- Τα σωματίδια δεν έρχονται σε επαφή (μηδενική απόσταση) μεταξύ τους.
- Τα σωματίδια στο μικρόκοσμο αλληλεπιδρούν μεταξύ τους με ελκτικές ή απωστικές δυνάμεις.
- Όταν αυξάνεται η ενέργεια των σωματιδίων, τότε είτε αυξάνεται η κινητικότητά τους.
- Στα στερεά σώματα τα μόρια κινούνται το ένα κοντά στο άλλο, σε καθορισμένες περιοχές, γύρω από μόνιμες θέσεις. Η ταχύτητα του κάθε μορίου δεν διαφέρει κατά πολύ από των υπολοίπων.
- Στα υγρά σώματα τα μόρια κινούνται το ένα κοντά στο άλλο, αλλά όχι σε καθορισμένες περιοχές. Μετακινούνται το ένα ως προς το άλλο και συγκεντρώνονται σε κοιλότητες ή δοχεία. Άλλα μόρια κινούνται με μεγαλύτερη ταχύτητα και άλλα με μικρότερη.



- Στα αέρια σώματα τα μόρια κινούνται ελεύθερα, χωρίς και αυτά να παγιδεύονται σε θέσεις όπου οι μεταξύ τους ελκτικές και απωστικές δυνάμεις είναι ίσες, ούτε συγκεντρώνονται σε κοιλότητες ή δοχεία. Άλλα μόρια κινούνται με μεγαλύτερη ταχύτητα και άλλα με μικρότερη.
- Στα μέταλλα μερικά από τα ηλεκτρόνια των ατόμων αποδεσμεύονται από τα άτομα (τα οποία πλέον ονομάζονται θετικά ιόντα και έχουν θετικό φορτίο) και κινούνται ελεύθερα σε όλο τον όγκο του μετάλλου. Αυτά ονομάζονται ελεύθερα ηλεκτρόνια.
- Στη φύση προτιμώνται καταστάσεις ελάχιστης ενέργειας.

Βασική πηγή εκπαιδευτικού υλικού για το πρότυπο αυτό αποτελεί το σχολικό Βιβλίο του Μαθητή, όπου περιλαμβάνονται περιεκτικά κείμενα και εικόνες ερμηνείας φαινομένων. Ωστόσο, καθώς και στη βιβλιογραφία (Girwidz, 2004) προβάλλεται η εκπαιδευτική αξία των κινούμενων εικόνων σε σύγκριση με τις στατικές, αναφέρουμε και τις παρακάτω πηγές:

- «Με το μικρόΚοσμο εξηγώ»: Σειρά της Εκπαιδευτική Τηλεόρασης, όπου παρουσιάζονται οπτικοποιήσεις που έχουν δημιουργηθεί στο Εργαστήριο Φυσικών Επιστημών, Τεχνολογίας και Περιβάλλοντος του Παιδαγωγικού Τμήματος του Πανεπιστημίου Αθηνών. Σε αυτές τις οπτικοποιήσεις έχει καταβληθεί ιδιαίτερη προσπάθεια επιστημονικής συνέπειας και αποφυγής οπτικοποιήσεων που θα μπορούσαν να δημιουργήσουν εναλλακτικές απόψεις στους μαθητές [βλ. Εικόνα 1].
- «Ερευνώ το Φυσικό Κόσμο»: Εκπαιδευτικό λογισμικό του Παιδαγωγικού Ινστιτούτου για την Ε' και Στ' Δημοτικού. Σημειώνεται ότι στο συγκεκριμένο λογισμικό απαιτείται προσοχή για την αποφυγή δημιουργίας σύγχυσης στους μαθητές καθώς συχνά τα σωματίδια "έχουν" ανθρωπομορφικά χαρακτηριστικά (;!) [βλ. Εικόνα 2].
- Βιωματικό Παιχνίδι: Οι ίδιοι οι μαθητές σε ρόλο σωματιδίων (Ιμβριώτη, 2006) [βλ. Εικόνα 3].
- «Λακωνική Σχολή – Ερευνώ το Φυσικό Κόσμο»: Εκπαιδευτικό λογισμικό που έχει εκπονηθεί για τα ιδιωτικά εκπαιδευτήρια «Λακωνική Σχολή»[βλ. Εικόνα 4].
- Διαδίκτυο [βλ. Εικόνα 5].



Εικόνα 1: «Με το μικρόκοσμο εξηγώ», Εκπαιδευτική Τηλεόραση.



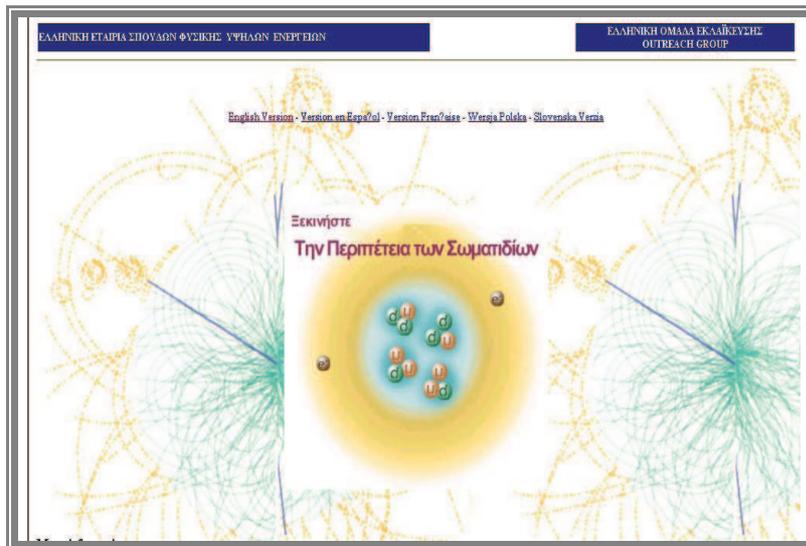
Εικόνα 2: Εκπαιδευτικό Λογισμικό του Παιδαγωγικού Ινστιτούτου.



Εικόνα 3: Βιοματικό Παιχνίδι.



Εικόνα 4: Εκπαιδευτικό Λογισμικό για τα εκπαιδευτήρια «Λακωνική Σχολή».



Εικόνα 5: Το πρότυπο του μικρόκοσμου στο Διαδίκτυο.

Επειδή, ωστόσο, η οπτικοποίηση του όποιου προτύπου είναι δυνατό να δημιουργήσει εκ νέου εναλλακτικές απόψεις στους εκπαιδευόμενους (Harrison & Treagust 2000), όπως προαναφέρθηκε, πρέπει σε κάθε περίπτωση που χρησιμοποιείται οπτικοποίηση στην τάξη να επισημαίνεται ότι πρόκειται για πρότυπα και όχι για πραγματικά σωματίδια και να αφιερώνεται χρόνος ώστε να τονίζονται οι συμβάσεις των προτύπων. Δηλαδή, να δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στις ομοιότητες και διαφορές που υπάρχουν ανάμεσα στα αντικείμενα που παρουσιάζονται στις οπτικοποιήσεις (π.χ. σφαίρες) και στα σωματίδια που προτυποποιούν / μοντελοποιούν (π.χ. μόρια).

Όποια κι αν είναι η πηγή των οπτικοποιήσεων, θα πρέπει να επιλέγονται εκείνες οι οποίες όταν χρησιμοποιούνται στη σχολική τάξη να αντιμετωπίζονται οι παρακάτω εναλλακτικές απόψεις με τον τρόπο που περιγράφεται σε αντιστοιχία με την κάθε μία από αυτές:

- Η εσωτερική / ενδογενής κίνηση των σωματιδίων εκτιμάται ελάχιστα από τους μαθητές. Στις οπτικοποιήσεις να μην εμφανίζονται τα πρότυπα των σωματιδίων του μικρόκοσμου ακίνητα.
- Η ιδέα του «κενού» μεταξύ των σωματιδίων ειδικά στην αέρια κατάσταση, παρουσιάζει δυσκολίες για τα παιδιά. Πολλά προτιμούν να σκέφτονται «κάτι», συνήθως αέρα, μεταξύ των σωματιδίων. Οι προτυποποιήσεις / μοντελοποιήσεις των σωματιδίων να είναι σε μαύρο φόντο, ώστε να μην δίνεται η εντύπωση ότι υπάρχει κάτι μεταξύ των σωματιδίων.
- Οι μαθητές αυτής της ηλικίας μένουν περισσότερο σε επιφανειακά χαρακτηριστικά των οπτικοποιήσεων. Για το λόγο αυτό πρέπει οι οπτικοποιήσεις που θα επιλεγούν για την τάξη να έχουν τέτοια επιφανειακά χαρακτηριστικά (χρώματα, σχήματα,...) τα οποία να συνδέονται με τις λιγότερο εμφανείς έννοιες που πρόκειται να διδαχθούν (Cook, 2008). Για παράδειγμα, η αύξηση της θερμοκρασίας να οπτικοποιείται με την αύξηση της κινητικότητας των προτύπων των μορίων και όχι με την αλλαγή του χρώματος.
- Πολλά παιδιά προσάπτουν τις μακροσκοπικές ιδιότητες του υλικού στα σωματίδια και σε περιπτώσεις όπως η διαστολή ή η εξάτμιση αναφέρουν ότι τα ίδια τα σωματίδια διαστέλλονται ή εξαφανίζονται. Στις οπτικοποιήσεις φυσικών διαδικασιών να μην μεταβάλλεται καμία ιδιότητα των προτύπων των σωματιδίων (π.χ. χρώμα, σχήμα) παρά μόνο η κίνησή τους.



- Επίσης, κάποια παιδιά νομίζουν ότι ένα υλικό τροποποιείται όταν μεταβαίνει σε άλλη φυσική κατάσταση, π.χ. το νερό είναι τροποποιημένο νερό στον πάγο και όχι νερό σε στερεά κατάσταση. Στις οπτικοποιήσεις θα πρέπει να μην μεταβάλλεται καμία ιδιότητα των προτύπων των σωματιδίων (π.χ. χρώμα, σχήμα) παρά μόνο η κίνησή τους, όταν το σώμα που συγκροτούν μεταβαίνει σε άλλη φυσική κατάσταση.

Είναι προφανές ότι οι όποιες εκπαιδευτικές προσομοιώσεις / οπτικοποιήσεις θα πρέπει να είναι –κατά το δυνατό– επιστημονικά ακριβείς και να έχουν εκπαιδευτική / παιδαγωγική συνέπεια. (Καλκάνης, 2008)

Εφαρμογή

Η πρότασή μας εφαρμόστηκε κατά το σχολικό έτος 2007-2008 στην Ε' τάξη Δημοτικού Σχολείου της Χαλκιδικής σε σύνολο 26 μαθητών. Η συστηματική ένταξη του προτύπου του μικρόΚοσμου στη διδασκαλία του μαθήματος των Φυσικών στις δύο τελευταίες τάξεις του Δημοτικού Σχολείου, ξεκίνησε με την έναρξη των μαθημάτων στην Ε' Δημοτικού όπου υλοποιήθηκε για τρεις διδακτικές ώρες μια εισαγωγή στο πρότυπο του μικροΚόσμου στο πλαίσιο του κεφαλαίου «Υλικά Σώματα». Χρησιμοποιήθηκε αρχικά το υλικό που υπάρχει στο σχολικό Βιβλίο του Μαθητή και στη συνέχεια με την υποστήριξη ηλεκτρονικού υπολογιστή συζητήθηκαν με τους μαθητές οπτικοποιήσεις των σωματιδίων του μικρόΚοσμου και των βασικών διαδικασιών, όπως της θέρμανσης και ψύξης ενός σώματος.

Σε κάθε επόμενο κεφάλαιο, αφού ολοκληρώνονταν τα φύλλα εργασίας με την πειραματική διαδικασία, ακολουθούσε μια διδακτική ώρα ερμηνείας με βάση το πρότυπο του μικροΚόσμου των φαινομένων που προσεγγίστηκαν πειραματικά. Κατά τη διδακτική αυτή ώρα οι μαθητές παρατηρούσαν στην οθόνη (ένας υπολογιστής στην τάξη και προβολή με dataprojector) οπτικοποιήσεις και ακολουθούσε συζήτηση με συντονιστή τον εκπαιδευτικό και με στόχο την περιγραφή και ερμηνεία των φαινομένων από τους μαθητές με χρήση του προτύπου του μικρόΚοσμου.

Αντικείμενο της αξιολόγησης αποτέλεσε η επίδοση των μαθητών στην περιγραφή και ερμηνεία των φαινομένων που περιλαμβάνονται στο αναλυτικό πρόγραμμα. Ως όργανο συλλογής δεδομένων χρησιμοποιήθηκε μια σειρά τεστ αξιολόγησης που διανέμονταν στο τέλος κάθε ενότητας μετά την διδασκαλία του μικροΚοσμικού προτύπου και της επανάληψης. Από τα δεδομένα φαίνεται ότι οι απαντήσεις των μαθητών κινούνται σε ικανοποιητικό επίπεδο ερμηνείας των φαινομένων. Δεν υποστηρίζουμε, βέβαια, ότι το ποσοστό επιτυχίας των μαθητών οφείλεται αποκλειστικά και μόνο στην ερμηνευτική προσέγγιση με το πρότυπο του μικρόΚοσμου, αλλά στο σύνολο του εκπαιδευτικού πακέτου που περιλάμβανε τα φύλλα εργασίας του Τετραδίου του Μαθητή, τα πειράματα που πραγματοποιούσαν οι μαθητές σε ομάδες, το υλικό του Βιβλίου του Μαθητή για επανάληψη σε κάθε κεφάλαιο.

Περισσότερες λεπτομέρειες για τη μεθοδολογία και τα αποτελέσματα της έρευνας δεν παραθέτουμε εδώ, καθώς στην παρούσα εργασία δίνουμε έμφαση σε πρακτικά θέματα που αφορούν την εφαρμογή του προτύπου του μικροΚόσμου στην τάξη. Για εκτενέστερη έρευνα σχετικά με το πρότυπο του μικροΚόσμου παραπέμπουμε σε σχετική διδακτορική διατριβή (Ιμβριώτη, 2006) και προγενέστερες δημοσιεύσεις μας (Ιμβριώτη & Καλκάνης, 2007).



Συμπεράσματα

Φαίνεται ότι το πρότυπο του μικροΚόσμου είναι εφικτό να χρησιμοποιηθεί για την ερμηνεία και ενοποίηση των φαινομένων που περιλαμβάνονται στα σχολικά εγχειρίδια των Φυσικών του Δημοτικού Σχολείου με την υποστήριξη των κειμένων και εικόνων του Βιβλίου του Μαθητή, αλλά και (κυρίως) εκπαιδευτικού λογισμικού με κινούμενες εικόνες ή/και δυναμικές οπτικοποιήσεις από πηγές που περιγράφηκαν παραπάνω.

Ωστόσο, είναι σημαντικό, να αποδεχθεί κανείς ότι οι μαθητές χρειάζονται χρόνο προκειμένου να υιοθετήσουν το σωματιδιακό πρότυπο (Johnson 1998). Επίσης, υπάρχουν και ερευνητές (Harrison & Treagust 2000) που αντιστέκονται στη χρήση οπτικοποιήσεων των προτύπων, καθώς θεωρούν ότι είναι πιθανό να περιπλέξουν τους μαθητές, αφού οι εικόνες είναι και αυτές πρότυπα των προτύπων. Επιπλέον οι δυναμικές οπτικοποιήσεις μέσω υπολογιστή αναπαριστούν τα πρότυπα σαν να είναι «πραγματικά», επομένως ίσως οι μαθητές να δυσκολευθούν να ξεφύγουν από την επίδραση της προσομοίωσης.

Όμως, δεν θα πρέπει να παραβλέπουμε ότι πρόσφατα τεχνολογικά επιτεύγματα έχουν φέρει στο προσκήνιο την προτυποποίηση και την προσομοίωση από υπολογιστή μέσα από τα παιχνίδια των μαθητών. Αυτές οι νέες εμπειρίες θα επηρεάσουν την κατανόηση από τους μαθητές της έννοιας του προτύπου και του τρόπου με τον οποίο τα πρότυπα λειτουργούν στη μάθηση της Φυσικής (Treagust *et al.* 2002).

Σε κάθε περίπτωση χρήσης οπτικοποιήσεων, ωστόσο, τονίζουμε ότι είναι απαραίτητο να επισημαίνεται ότι πρόκειται για πρότυπα και όχι για πραγματικά σωματίδια και να αφιερώνεται χρόνος ώστε να τονίζονται οι συμβάσεις των προτύπων.

Βιβλιογραφία

Διαθεματικό Ενιαίο Πλαίσιο Προγραμμάτων σπουδών Φυσικής και Χημείας (για το Δημοτικό και το Γυμνάσιο) - *Αρ. Φύλλον 1375 τ.Β' 18-10-2001 Άρθρο 5*

Ιμβριώτη, Δ., Καλκάνης, Γ.Θ. (2007), "Το Πρότυπο του Μικρόκοσμου στην Πρωτοβάθμια Εκπαίδευση – Εκπαιδευτικές Προσεγγίσεις για την Ε' και Στ' τάξη του Δημοτικού Σχολείου – Λογισμικό και Αξιολόγηση", *Πρακτικά 5^{ου} Πανελληνίου Συνεδρίου Διδακτικής Φυσικών Επιστημών και Νέων Τεχνολογιών της Εκπαίδευσης*, Ιωάννινα

Ιμβριώτη, Δ. (2006), "Το Μοντέλο του μικρόΚόσμου ως Ενοποιητικό και Ερμηνευτικό Στοιχείο των Φυσικών Επιστημών στην Πρωτοβάθμια Εκπαίδευση – Λογισμικό και Αξιολόγηση", *Διδακτορική Διατριβή*, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα

Καλκάνης Γ.Θ. (2008), «"Διά Νοός", "διά Χειρός", "διά Τεχνών" και "διά Ψυχής" Εκπαίδευση στις-με τις Φυσικές Επιστήμες», διαδικτυακός τόπος <http://micro-kosmos.uoa.gr> (=> τα ΦΥΣΙΚΑ Ε' και ΣΤ' Δημοτικού), Αθήνα

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.

Cook, M., Wiebe, E.N., Carter, G.(2008), "The influence of prior knowledge on viewing and interpreting graphics with macroscopic and molecular representations", *Science Education* (1), pp. 849-867



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., Boulter C. (1998), "Learning through models and modeling", in Frazer, B. & Tobin, K. (eds), *The international Handbook of Science Education*, Dordrecht: Kluwer, pp. 57-66.

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.

Girwidz, R. (2004), "Illustrations and Animated Visual Presentations", paper read to the International Conference of Groupe International de Recherche sur l' Enseignement de la Physique, July, Ostrava, Czech Republic.

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), "Learning about atoms, molecules and chemical bonds: a case study of Multiple model use in grade 11 chemistry", *Science Education* **84**(3), pp. 352-379.

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.

Justi, R.S. & Gilbert, J.K. (2002), "Modeling, teachers' views on the nature of modeling, and implications for the education of modelers", *International Journal of Science Education* **24**(4), pp. 369-387.

Treagust, D.F., Ghittleborough, G. & Mamiala, T.L. (2002), "Research report: Students' understanding of the role of scientific models in learning science", *International Journal of Science Education*, **24**(4), pp. 357-368.

Ιστοσελίδες με Προσομοιώσεις / Οπτικοποιήσεις του προτύπου του μικρόΚοσμου:

Εργαστήριο Φυσικών Επιστημών, Τεχνολογίας και Περιβάλλοντος

<http://micro-kosmos.uoa.gr>

Ελληνική Εταιρία Σπουδών Φυσικής Υψηλών Ενεργειών

<http://www.physics.ntua.gr/eesfye/PARTADV/indexpa.html>

Εθνικό Μετσόβειο Πολυτεχνείο, Ε. Συμεωνίδου, Ν. Τράκας

<http://147.102.192.6/eesfye/POP/software/fireworks/FIREWORKS.swf>

Διάφορα applets

<http://www.csa.ru/mclab/tryJava/DSMC/dsmca.html>

http://www.slcc.edu/schools/hum_sci/physics/tutor/2220/index.html

<http://ippex.pppl.gov/interactive/electricity/intro.html>

<http://physics.nad.ru/start.htm>

<http://www.colorado.edu/physics/2000/applets/>