

## **Διεργασίες επινόησης και επεξεργασίας σωματιδιακών μοντέλων από μαθητές ηλικίας 10-12 ετών: Η περίπτωση της χρήσης εργαλείων προγραμματισμού**

**M. Μιχαήλ , Λ. Λουκά, Κ. Π. Κωνσταντίνου**

*Ερευνητική Ομάδα Μάθησης στις Φυσικές και Περιβαλλοντικές Επιστήμες  
Πανεπιστήμιο Κύπρου*

[sepgmm4@ucy.ac.cy](mailto:sepgmm4@ucy.ac.cy), [louca.l@cytanet.com.cy](mailto:louca.l@cytanet.com.cy), [c.p.constantinou@ucy.ac.cy](mailto:c.p.constantinou@ucy.ac.cy)

**Περίληψη.** Η έρευνα αυτή μελετά τον τρόπο με τον οποίο η διαδικασία της μοντελοποίησης μέσω προγραμματισμού, βοήθησε παιδιά, ηλικίας 10 - 12 ετών να προτείνουν ένα σωματιδιακό μοντέλο για να περιγράψουν φαινόμενα, μέσα από την κατασκευή εννοιολογικών μοντέλων. Εννιά παιδιά αφού παρατήρησαν φαινόμενα διάχυσης και διήθησης οικοδόμησαν εννοιολογικά μοντέλα για να περιγράψουν τα φαινόμενα. Ακολουθήθηκε η διαδικασία του "μαθησιακού κύκλου της μοντελοποίησης" με τη χρήση του λογισμικού Stagecast Creator. Αναλύθηκαν οι μαγνητοφωνημένες συζητήσεις των μαθητών με σκοπό να αναδειχθεί η πορεία που ακολούθησαν για την οικοδόμηση του μοντέλου τους. Μέσα από την ανάλυση των μοντέλων διαφάνηκαν οι ιδιότητες της ύλης, που χρησιμοποίησαν οι μαθητές για να περιγράψουν ένα μηχανισμό που να εξηγεί τη λειτουργία του υπό μελέτη φαινομένου. Με βάση τα ευρήματα της έρευνας, φαίνεται ότι η διαδικασία της μοντελοποίησης με τη χρήση εργαλείων προγραμματισμού βοηθά τα παιδιά να περιγράψουν φυσικά φαινόμενα χρησιμοποιώντας σωματιδιακά μοντέλα και ιδιότητες της ύλης.

### **Εισαγωγή**

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να περιγράψει σε λεπτομέρεια τις διεργασίες επινόησης και επεξεργασίας σωματιδιακών μοντέλων για την περιγραφή μικροσκοπικών φαινομένων, μιας ομάδας παιδιών ηλικίας 10-12 ετών, μέσα από τη διαδικασία της μοντελοποίησης με τη χρήση εργαλείων προγραμματισμού. Η περιγραφή αυτή περιλαμβάνει την πορεία οικοδόμησης των σωματιδιακών μοντέλων καθώς και τα χαρακτηριστικά του μικρόκοσμου που χρησιμοποίησαν οι μαθητές στη διαδικασία αυτή.

#### *Διδασκαλία αφηρημένων εννοιολογικών σχημάτων στο δημοτικό σχολείο*

Στις καθημερινές μας δραστηριότητες παρατηρούμε αρκετά πολύπλοκα φυσικά φαινόμενα τα οποία επηρεάζονται από πολλές παραμέτρους (Paraenripidou et al., 2006; Hogan & Thomas, 2001). Η εξήγηση και η κατανόηση των φαινομένων αυτών απαιτεί αναφορά σε άλλα φυσικά φαινόμενα, σε ιδιότητες της ύλης αλλά και σε αλληλεπιδράσεις και σχέσεις μεταξύ των συστατικών μερών τους. Για τη διδασκαλία τέτοιων φυσικών φαινομένων η απλή περιγραφή δεν είναι επαρκής ένδειξη για την κατανόησή τους από τους μαθητές (Hogan & Thomas, 2001). Αντίθετα, απαιτείται η επαφή των μαθητών με το μηχανισμό λειτουργίας του φαινομένου (Louca, 2004).

Η κατανόηση του μηχανισμού λειτουργίας ενός φυσικού φαινομένου καθιστά απαραίτητο τον εντοπισμό εκείνων των στοιχείων που το αποτελούν όπως είναι τα αντικείμενα που περιέχει, οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των αντικειμένων, οι έννοιες, και οι διαδικασίες που αυτό περιλαμβάνει (Paraenripidou et al., 2006). Αξίζει να αναφερθεί ότι

πολλές φορές για την περιγραφή ενός φαινομένου απαιτείται η χρήση αφηρημένων εννοιολογικών πλαισίων. Τα αφηρημένα εννοιολογικά πλαίσια αποτελούν συστήματα ιδεών που επινοήθηκαν από τον άνθρωπο με σκοπό να βοηθήσουν στην ερμηνεία των φαινομένων που δεν εξηγούνταν απλώς με παρατηρήσεις. Ένα τέτοιο παράδειγμα αφηρημένου εννοιολογικού πλαισίου αποτελεί η σωματιδιακή φύση της ύλης.

Τα παιδιά στην προσπάθειά τους να κατανοήσουν τη σωματιδιακή φύση της ύλης και τις ιδιότητές της, αντιμετωπίζουν αρκετά προβλήματα (Driver et al., 1985). Η αντίληψη αυτή ενισχύεται και από την πεποίθηση ότι τα παιδιά δεν είναι σε θέση να χειριστούν αφηρημένα εννοιολογικά πλαίσια γιατί στην ηλικία των 10-12 ετών βρίσκονται στο στάδιο των συγκεκριμένων λειτουργιών (Piaget, 1974).

Νεότερες έρευνες έδειξαν ότι τα παιδιά είναι σε θέση να κατανοήσουν αφηρημένα εννοιολογικά πλαίσια αλλά δεν τα χρησιμοποιούν για την περιγραφή των φαινομένων (diSessa, 1992; Metz, 1995; White, 1993). Τούτο συμβαίνει γιατί οι μαθητές τείνουν να δίνουν φαινομενολογικά παρά εννοιολογικά προσανατολισμένες περιγραφές για τα διάφορα φαινόμενα (Metz, 1995). Άλλες έρευνες έδειξαν ότι με το κατάλληλο υποστηρικτικό υλικό ή περιβάλλον μάθησης η διδασκαλία αφηρημένων εννοιολογικών πλαισίων είναι εφικτή (diSessa, 1992; Metz, 1995). Οι diSessa (1992) και White (1993) προτείνουν τη διαδικασία της μοντελοποίησης ως μια διαδικασία που παρέχει την κατάλληλη υποστήριξη για τη διδασκαλία αυτών των εννοιών. Όπως υποστηρίζουν, η διαδικασία της μοντελοποίησης απαιτεί λιγότερες αφαιρετικές ικανότητες από τους μαθητές σε σύγκριση με τους παραδοσιακούς τρόπους διδασκαλίας εξαιτίας της αναπαράστασης των μηχανισμών που κρύβονται πίσω από τα φαινόμενα.

#### *Μοντέλα ως αναλογικές αναπαραστάσεις του φυσικού κόσμου*

Ο όρος μοντέλο αναφέρεται στη συστηματική αναπαράσταση ενός φαινομένου που μπορεί να περιλαμβάνει μια ιδέα, ένα αντικείμενο, ένα γεγονός ή μια διαδικασία (Gilbert et al., 2000; Coll et al., 2005; Louca, 2004). Ένα μοντέλο αποτελεί τη γέφυρα ή το σύνδεσμο μεταξύ του γνωστού (φυσικός κόσμος ή επιστημονική γνώση) και του άγνωστου (επιστημονική γνώση ή φυσικός κόσμος αντίστοιχα) (Hardwicke, 1995). Σκοπός των μοντέλων είναι να καταστήσουν εφικτή την περιγραφή, την αναπαράσταση και την επεξήγηση των μηχανισμών που διέπουν τη λειτουργία των φυσικών φαινομένων (Louca, 2004; Hestenes, 1997).

Η μοντελοποίηση ως διαδικασία μάθησης στις φυσικές επιστήμες ορίζεται ως η παραγωγή και η βελτιωτική ρύθμιση μοντέλων (Louca, 2004; Constantinou, 1999; Hestenes, 1997). Η παραγωγή των μοντέλων γίνεται μέσα από την παρατήρηση του φυσικού φαινομένου ενώ η βελτιωτική ρύθμισή συνιστά τη αναθεώρησή τους μέσα από την παρατήρηση και σύγκριση τους με το φαινόμενο. Μια διαδικασία παραγωγής μοντέλων αποτελεί ο 'μαθησιακός κύκλος της μοντελοποίησης' (Constantinou, 1999; Louca & Constantinou, 2002; Hestenes, 1997). Ο κύκλος αυτός περιλαμβάνει την κατασκευή, τη βελτιωτική ρύθμιση ενός μοντέλου αλλά και από την επέκτασή του σε άλλα παρόμοια φυσικά φαινόμενα.

Όσον αφορά στη διαδικασία της μοντελοποίησης στη διδακτική πράξη, επικρατεί η άποψη ότι αυτή συμβάλλει στην καλλιέργεια της εννοιολογικής κατανόησης των μαθητών (Hestenes, 1992; Constantinou, 1999), στην κατανόηση του τρόπου λειτουργίας των φυσικών φαινομένων αλλά και στην ανάπτυξη μεταγνωστικών δεξιοτήτων (Coll et al., 2005). Υποστηρίζεται ακόμη ότι η μοντελοποίηση αποτελεί μια μέθοδο επίλυσης επιστημονικών προβλημάτων (Lavonen et al., 2003) ενώ παράλληλα παρέχει στους μαθητές μεγαλύτερη ευχέρεια στο χειρισμό του φυσικού κόσμου. Τέλος η διαδικασία της μοντελοποίησης προσομοιάζει τη συνήθη μέθοδο παραγωγής θεωριών (Hestenes, 1992).

Υπάρχουν διάφορα εργαλεία μοντελοποίησης όπως είναι το χαρτί και το μολύβι, οι τρισδιάστατες κατασκευές, τα λογισμικά ρομποτικής, τα λογισμικά προγραμματισμού και οι

μαθηματικές εξισώσεις. Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε ως εργαλείο προγραμματισμού το λογισμικό Stagecast Creator (Smith and Cypher, 1999) με τη χρήση του οποίου οι μαθητές οικοδόμησαν τα μοντέλα τους. Το Stagecast Creator χρησιμοποιεί μία εικονική γλώσσα προγραμματισμού που στηρίζεται σε τεχνικές ‘click and drag’ καθώς και σε κανόνες αν – τότε (if-then). Με τη χρήση της γλώσσας προγραμματισμού οι μαθητές κατασκευάζουν κανόνες για το κάθε αντικείμενο που μετέχει στο φαινόμενο, έτσι ώστε να καθορίζεται η συμπεριφορά του όταν ικανοποιούνται ορισμένες συνθήκες.

#### *Η διδασκαλία μικροσκοπικών φαινομένων στο ελληνικό εκπαιδευτικό σύστημα*

Σύμφωνα με τα αναλυτικά προγράμματα της Κύπρου και της Ελλάδας η διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών στα σχολεία πρέπει να γίνεται με βάση τις παρατηρήσεις των μαθητών, ενώ η σωματιδιακή φύση της ύλης, ως αφηρημένο εννοιολογικό πλαίσιο δεν θα πρέπει να διδάσκεται στο δημοτικό σχολείο. Με βάση αυτή την αντίληψη η διδασκαλία του σωματιδιακού μοντέλου θα πρέπει να μετατίθεται σε μεγαλύτερες ηλικίες. Παρόλα αυτά στο δημοτικό σχολείο γίνεται αναφορά σε μικροσκοπικά στοιχεία όπως είναι τα ηλεκτρόνια. Ωστόσο, τα στοιχεία αυτά παρουσιάζονται περιγραφικά και αποσπασματικά χωρίς να γίνεται προσπάθεια κατανόησής της φύσης της ύλης από τους μαθητές.

Αξίζει να αναφερθεί ότι στα καινούρια βιβλία για τη διδασκαλία των φυσικών επιστημών ‘Ερευνώ και Ανακαλύπτω’ γίνεται αναφορά σε μια απλοποιημένη μορφή διδασκαλίας της σωματιδιακής φύσης της ύλης που αποσκοπεί στην ενοποιημένη θεώρηση του φυσικού κόσμου. Σύμφωνα με αυτή την πρόταση διδασκαλίας, το σωματιδιακό μοντέλο μπορεί να διδάσκεται προαιρετικά αποτελώντας συμπλήρωμα των υφιστάμενων κεφαλαίων ενώ θα πρέπει να στηρίζεται στην πρόκληση του ενδιαφέροντος και της περιέργειας των μαθητών.

Σε αυτή τη διαδικασία ο δάσκαλος προσπαθεί να ενεργοποιήσει τις εμπειρίες των μαθητών και στη συνέχεια ο ίδιος προτείνει το σωματιδιακό μοντέλο για να τις εξηγήσει. Η παρέμβαση με τον τρόπο που περιγράφεται είναι διαλεκτικής μορφής όπου ο δάσκαλος δρα ως αυθεντία παρέχοντας τη γνώση στους μαθητές που την αποδέχονται ως παθητικοί δέκτες.

### **Μεθοδολογία**

Η έρευνα αυτή πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια ενός απογευματινού ομίλου εκμάθησης Ηλεκτρονικών Υπολογιστών<sup>1</sup>. Στον όμιλο αυτό συμμετείχαν 9 συνολικά παιδιά (5 κορίτσια, 4 αγόρια) ηλικίας 10 με 12 ετών. Τα παιδιά δούλευαν σε ομάδες των δύο, εκτός από μια μαθήτριά που εργαζόταν ατομικά. Έγιναν συνολικά έξι συναντήσεις των 60 λεπτών, μία κάθε βδομάδα. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι τα παιδιά ήταν ήδη εξοικειωμένα με το λογισμικό.

Σύμφωνα με την προσέγγιση του ‘μαθησιακού κύκλου της μοντελοποίησης’ που ακολουθήθηκε, στο πρώτο μάθημα έγινε επίδειξη ενός φαινομένου διάχυσης μίας κόκκινης χρωστικής ουσίας στο νερό. Οι μαθητές κλήθηκαν να παρατηρήσουν το φαινόμενο και μέσα από συζήτηση στην τάξη να περιγράψουν ένα μηχανισμό με τον οποίο το νερό κοκκινίζει. Στη δεύτερη συνάντηση τα παιδιά χωρισμένα σε ομάδες οικοδόμησαν με τη χρήση του λογισμικού Stagecast Creator ένα μοντέλο βασισμένο στις αρχικές περιγραφές που έδωσαν στο προηγούμενο μάθημα. Στην τρίτη και τέταρτη συνάντηση έγινε η βελτιωτική ρύθμιση του αρχικού μοντέλου των παιδιών. Για το σκοπό αυτό τα παιδιά παρουσίασαν τα μοντέλα τους στην ολομέλεια της τάξης. Μέσα από τη σύγκριση των μοντέλων με το πραγματικό μοντέλο και χρησιμοποιώντας νέες παρατηρήσεις από ανάλογα φαινόμενα, οι μαθητές

<sup>1</sup> Ο όμιλος δημιουργήθηκε στα πλαίσια του ερευνητικού προγράμματος ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ που χρηματοδοτήθηκε από το Ίδρυμα Προώθησης Έρευνας. Κωδ. προγράμματος: ΕΝΙΣΧ/06/03/09

βελτίωσαν το αρχικό τους μοντέλο έτσι ώστε να παρουσιάζει το φαινόμενο με ένα πιο επιστημονικά αποδεκτό τρόπο. Ο πρώτος κύκλος της μοντελοποίησης έκλεισε με την παρουσίαση των μοντέλων των μαθητών και την αξιολόγησή τους μέσα από συζήτηση στην ολομέλεια της τάξης.

Ακολουθώντας το 'μαθησιακό κύκλο της μοντελοποίησης' στην πέμπτη συνάντηση έγινε η επέκταση του μοντέλου τους ώστε να εξηγεί και το φαινόμενο της διήθησης. Για να γίνει αυτό αρχικά τα παιδιά παρατήρησαν ένα φαινόμενο διήθησης αλεύρου σε νερό, κλήθηκαν να επεκτείνουν το μοντέλο τους ώστε να εφαρμόζει και σε αυτό το φαινόμενο. Τέλος στην έκτη συνάντηση τα παιδιά παρουσίασαν τα μοντέλα τους για τη διήθηση ώστε να αξιολογηθούν από τους συμμαθητές τους μέσα από τη σύγκριση με το πραγματικό φαινόμενο.

Ο ρόλος του εκπαιδευτικού στην όλη διαδικασία ήταν ιδιαίτερα καταλυτικός για τρεις λόγους: (α) βοήθησε τα παιδιά να κάνουν τις κατάλληλες παρατηρήσεις έτσι ώστε να μπορέσουν να δώσουν όσο το δυνατό καλύτερες περιγραφές των φαινομένων, (β) στη συζήτηση με τους μαθητές ζητούσε περισσότερες διευκρινήσεις ώστε να διακριβώνει τη συνέπεια των μαθητών αλλά και να διασφαλίζει ότι όλοι καταλαβαίνουν τη συζήτηση, και (γ) με κατάλληλες ερωτήσεις κατεύθυνε τη συζήτηση ώστε τα παιδιά να ανασύρουν από τη μνήμη τους σχετικές εμπειρίες, που θα τους επέτρεπαν να περιγράψουν ένα μηχανισμό για τον τρόπο λειτουργίας του φαινομένου.

Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας οπτικογραφούνταν όλες οι δραστηριότητες των παιδιών στην ολομέλεια της τάξης καθώς και η εργασία των παιδιών σε δύο από τις ομάδες. Επιπλέον όλες οι ενέργειες των παιδιών στους υπολογιστές κατά τη φάση της οικοδόμησης και της βελτιωτικής ρύθμισης των μοντέλων καταγράφονταν με τη βοήθεια εξειδικευμένου λογισμικού. Ως πηγή δεδομένων χρησιμοποιήθηκαν επίσης όλα τα μοντέλα που οικοδόμησαν οι μαθητές (αρχικά και τελικά) καθώς και προσωπικό ημερολόγιο που τηρήθηκε κατά τη διάρκεια της όλης διαδικασίας.

Η εργασία της κάθε μεμονωμένης ομάδας αλλά και του συνόλου της τάξης κατά τη διάρκεια των συζητήσεων στην ολομέλεια αναλύθηκε ποιοτικά ως χωριστή μελέτη περίπτωσης. Οι συζητήσεις των μαθητών στην ολομέλεια της τάξης όπως επίσης και κατά την εργασία τους στον υπολογιστή αναλύθηκαν με την τεχνική της ανάλυσης συζητήσεων (Edwards, D. & Mercer, N., 1995). Στόχος της ανάλυσης αυτής ήταν να γίνει μία σαφής και λεπτομερής περιγραφή της πορείας που ακολούθησαν οι μαθητές για να προτείνουν και να επεξεργαστούν το σωματιδιακό τους μοντέλο. Τα μοντέλα που οικοδόμησαν οι μαθητές αναλύθηκαν με τη χρήση τεχνικών ανάλυσης τεχνουργημάτων, με σκοπό να αναδειχθεί η εξέλιξη των μοντέλων και των μηχανισμών τους κατά τη διάρκεια της διαδικασίας καθώς και οι έννοιες που περιέχονται σε αυτά.

### **Αποτελέσματα και συζήτηση**

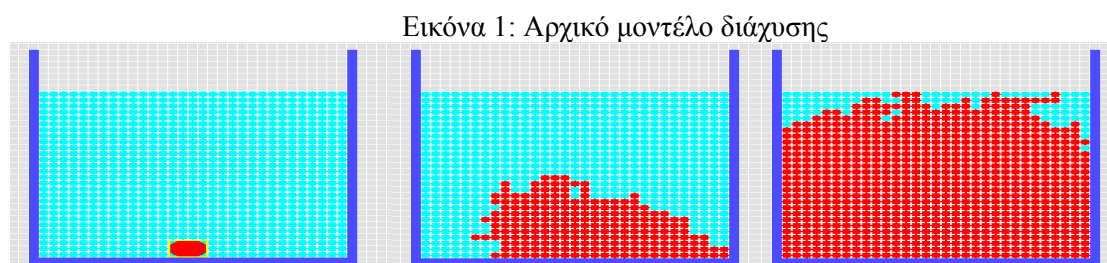
Η πορεία που ακολούθησαν τα παιδιά για να οικοδομήσουν ένα σωματιδιακό μοντέλο με σκοπό να αναπαραστήσουν το φαινόμενο της διάλυσης της χρωστικής ουσίας στο νερό ξεκίνησε με την παρατήρηση του φαινομένου. Τα παιδιά αρχικά περιέγραφαν το φαινόμενο μακροσκοπικά κάνοντας αναφορά στις παρατηρήσεις τους χωρίς να εισηγούνται κάποιο μηχανισμό που να το εξηγεί. Για παράδειγμα ανέφεραν ότι 'το νερό αλλάζει χρώμα', 'το κόκκινο χρώμα εξαπλώνεται', 'η χρωστική ουσία λιώνει'.

Στη συνέχεια και στην προσπάθεια των παιδιών να εξηγήσουν γιατί λιώνει η χρωστική ουσία, μεταβαίνουν για πρώτη φορά από το μακροσκοπικό στο μικροσκοπικό επίπεδο αφού αναφέρουν ότι οι κόκκοι της χρωστικής αποτελούνται από άλλους μικρότερους κόκκους, οι οποίοι διαλύονται και εξαπλώνονται στο νερό.

Η συζήτηση συνεχίστηκε με την πρώτη αναφορά σε ένα σωματιδιακό μοντέλο. Στην προσπάθεια των μαθητών να απαντήσουν στο ερώτημα που τους τέθηκε για το τι θα έβλεπαν αν γίνονταν μικροσκοπικοί και έμπαιναν μέσα στο νερό μία από τις μαθήτριες ανέφερε ότι 'το νερό αποτελείται από μόρια υδρογόνου και οξυγόνου'. Οι υπόλοιποι μαθητές παραδέχτηκαν ότι είχαν ξανακούσει του όρους μόρια, υδρογόνο και οξυγόνο αλλά ζήτησαν περισσότερες διευκρινήσεις για να καταλάβουν τις έννοιες. Η μαθήτρια που πρώτη ανέφερε τους όρους, εξήγησε ότι 'τα μόρια είναι πολύ μικρά σωματίδια'. Από το σημείο αυτό οι μαθητές φαίνεται να υιοθετούν ένα σωματιδιακό μοντέλο για τη φύση του νερού θεωρώντας ότι αυτό περιέχει πολύ μικρά σωματίδια που τα ονομάζουν μόρια.

Απόρροια της πιο πάνω συζήτησης ήταν τα παιδιά να καταλήξουν σε ένα μηχανισμό που να περιγράφει τον τρόπο διάχυσης της χρωστικής ουσίας στο νερό. Σύμφωνα με αυτό τον μηχανισμό η αιτία που το νερό κοκκινίζει είναι το κοκκίνισμα των 'μορίων' του νερού. Έτσι οι κόκκοι της χρωστικής ουσίας μεταφέρουν το χρώμα τους στα γειτονικά σωματίδια του νερού κοκκινίζοντάς τα. Τα κόκκινα πλέον σωματίδια του νερού μεταφέρουν με τη σειρά τους το χρώμα στα διπλανά τους γαλάζια σωματίδια μέχρι που όλα τα σωματίδια να γίνουν κόκκινα. Όλος αυτός ο μηχανισμός συνδέθηκε από τα παιδιά με τον τρόπο που μεταδίδεται μία ασθένεια.

Στη συνέχεια ζητήθηκε από τα παιδιά να οικοδομήσουν ένα μοντέλο με τη χρήση του Stagecast Creator στο οποίο να παρουσιάζουν το φαινόμενο της διάχυσης της χρωστικής ουσίας στο νερό, χρησιμοποιώντας την ιδέα της 'μεταδιδόμενης ασθένειας' όπως ονομάστηκε ο μηχανισμός διάδοσης που προτάθηκε πιο πάνω. Στην εικόνα 1 φαίνονται τρία στιγμιότυπα από την εξέλιξη ενός από τα μοντέλα που οικοδόμησαν οι μαθητές. Εξαιτίας της συζήτησης που έγινε στην ολομέλεια της τάξης τα μοντέλα των μαθητών παρουσιάζουν αρκετές ομοιότητες αφού βασίζονται σε μια ιδέα που αποφασίστηκε από όλους τους μαθητές. Αυτός ήταν και ο λόγος που η όλη διαδικασία αναλύθηκε ως μία μελέτη περίπτωσης.



Πίνακας 1: Χαρακτηριστικά αρχικών μοντέλων διάχυσης

|                    | Σωματιδιακή αναπαράσταση της ύλης | Χρώμα ως υλικό | Κίνηση σωματιδίων | Ύπαρξη κενού | Ύπαρξη βαρύτητας | Διατήρηση της ύλης | Διαφορετικό μέγεθος σωματιδίων |
|--------------------|-----------------------------------|----------------|-------------------|--------------|------------------|--------------------|--------------------------------|
| Πάρης Κωνσταντίνος | √                                 | √              | X                 | X            | X                | X                  | X                              |
| Γεωργία Ειρήνη     | X                                 | √              | X                 | X            | X                | X                  | X                              |
| Παναγιώτης Σάββας  | √                                 | √              | X                 | X            | X                | X                  | X                              |
| Νάσια Μυριάννη     | √                                 | √              | X                 | X            | X                | X                  | X                              |
| Διώνη              | √                                 | √              | X                 | X            | X                | X                  | X                              |

Παρατηρώντας τα μοντέλα που οικοδόμησαν οι μαθητές βλέπουμε ότι σε αυτά το νερό έχει σωματιδιακή φύση, όμως τα σωματίδια που το αποτελούν είναι ακίνητα χωρίς να έχουν κανένα κενό μεταξύ τους. Επιπλέον οι μαθητές τείνουν να μεταφέρουν το χρώμα, ένα μακροσκοπικό χαρακτηριστικό, στο μικρόκοσμο ως μια 'ουσία' που περιέχεται στη χρωστική

και έχει την ιδιότητα να μεταφέρεται από σωματίδιο σε σωματίδιο. Η ύπαρξη η όχι της ουσίας αυτής καθορίζει το χρώμα του κάθε σωματιδίου. Επίσης μέσα από την ανάλυση των μοντέλων των μαθητών παρατηρούμε την αντίφαση με το νόμο διατήρησης της ύλης αφού τα σωματίδια του νερού χάνονται ή αλλάζουν σύσταση ενώ οι κόκκοι της χρωστικής όταν δώσουν το χρώμα που περιέχουν εξαφανίζονται. Στον πίνακα 1 φαίνονται τα χαρακτηριστικά των μοντέλων των μαθητών όπως προέκυψαν μετά από την ανάλυση.

Αφού τα παιδιά οικοδόμησαν μοντέλα βασισμένα στην ιδέα της μεταδιδόμενης ασθένειας, με βάση το 'μαθησιακό κύκλο της μοντελοποίησης', ακολούθησε η παρουσίασή τους στη τάξη με σκοπό την αξιολόγησή και την βελτιωτική ρύθμισή τους. Τα παιδιά αξιολόγησαν τα μοντέλα τους συγκρίνοντας τα με το υπό μελέτη φαινόμενο ενώ στη συνέχεια ακολούθησε η επίδειξη ενός καινούριου φαινομένου που θα τους βοηθούσε να συλλέξουν περισσότερες πληροφορίες για να βελτιώσουν περισσότερο το μοντέλο τους. Πιο συγκεκριμένα στα παιδιά παρουσιάστηκε ένα μίγμα ζάχαρης και καφέ. Τα παιδιά παρατηρώντας το μίγμα από μακριά προσπάθησαν να ερμηνεύσουν το καφέ του χρώμα με βάση την ιδέα της μεταδιδόμενης ασθένειας. Παρατηρώντας όμως το μίγμα από κοντά διαπίστωσαν ότι η ζάχαρη και ο καφές είχαν παραμείνει αναλλοίωτα και ότι απλά είχαν ανακατευτεί.

Με βάση αυτές τους τις παρατηρήσεις κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι στο αρχικό φαινόμενο της διάχυσης της χρωστικής ουσίας στο νερό, η χρωστική δεν εξαφανιζόταν αλλά και το νερό δεν άλλαζε σύσταση απλώς, τα σωματίδια των δύο ουσιών ανακατεύονταν μεταξύ τους. Το διάλυμα που προέκυπτε είχε χρώμα κόκκινο, γιατί όπως τα παιδιά ανέφεραν *'το κόκκινο χρώμα της χρωστικής είναι πιο έντονο από το χρώμα του νερού έτσι το βλέπουμε κόκκινο'*. Οι καινούριες παρατηρήσεις οδήγησαν τα παιδιά στην ανάγκη βελτίωσης του μοντέλου τους, ώστε να περιγράψει το φαινόμενο χωρίς τα σωματίδια της χρωστικής να εξαφανίζονται αλλά να αναμιγνύονται με αυτά του νερού.

Στην προσπάθεια των μαθητών να αναθεωρήσουν τα μοντέλα τους αρχικά ανέφεραν ότι οι κόκκοι της χρωστικής ουσίας θα διαλυθούν και θα γίνουν μόρια τα οποία *'θα εξαπλωθούν παντού στο νερό'*. Η εξάπλωση των μορίων της χρωστικής μέσα στα μόρια του νερού οδήγησε τα παιδιά να προτείνουν την ανάγκη για κίνηση των σωματιδίων της χρωστικής ουσίας. Επιπλέον, για να μπορέσουν τα σωματίδια αυτά να κινηθούν επινοήθηκε επίσης η ανάγκη ύπαρξης κενού χώρου μεταξύ των σωματιδίων.

Μετά τη διαπίστωση αυτή, τα παιδιά ξεκίνησαν να δημιουργούν κενά ανάμεσα στα σωματίδια του νερού αναφέροντας ότι αυτά *'εξατμίζονται'*. Όταν κλήθηκαν να εξηγήσουν τον όρο εξάτμισή ανέφεραν ότι η εξάτμιση γίνεται όταν κάποια σωματίδια του νερού φύγουν από το ποτήρι και γίνουν αέρας. Στη συνέχεια συνειδητοποίησαν ότι με βάση αυτή τους την ερμηνεία τα μόνα σωματίδια που μπορούσαν να *'εξατμιστούν'* ήταν αυτά που βρίσκονταν στην επιφάνεια του νερού. Έδωσαν έτσι την σχετική εντολή κίνησης αυτών των σωματιδίων προς τα πάνω για να διαπιστώσουν δοκιμάζοντας το πρόγραμμά τους ότι όλα τα σωματίδια του νερού κινούνται προς τα πάνω βγαίνοντας έξω από το ποτήρι.

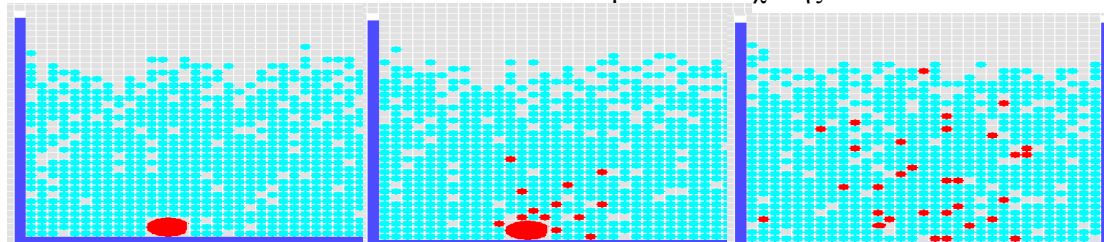
Για να λύσουν το πρόβλημα αυτό τα παιδιά εισήγαγαν την έννοια του βάρους, το οποίο όπως αναφέρουν είναι *'κάτι που μας τραβά στη γη'*. Το βάρος εκφράστηκε στα μοντέλα των παιδιών με έναν ακόμα κανόνα ο οποίος όριζε την κίνηση των σωματιδίων του νερού προς τα κάτω, με ένα τρόπο που να προηγείται της εντολής για κίνηση προς τα πάνω.

Στη συνέχεια, σε ερώτηση τι θα γινόταν αν το ποτήρι τρυπούσε στα πλάι τα παιδιά αναφέρουν ότι σε μία τέτοια περίπτωση τα σωματίδια του νερού θα κινούνταν δεξιά ή αριστερά ανάλογα, για να βγουν έξω από το ποτήρι. Η απάντησή τους αυτή βοήθησε στο να δημιουργήσουν δύο ακόμα κανόνες για την κίνηση των σωματιδίων του νερού, δεξιά και αριστερά.

Εκτελώντας για άλλη μία φορά το πρόγραμμά τους διαπίστωσαν ότι εξαιτίας της τυχαίας κίνησης των σωματιδίων του νερού δημιουργούνται κενά μεταξύ τους. Έτσι,

τελειώνοντας την αναθεώρηση του μοντέλου τους οικοδομούν αντίστοιχους κανόνες τυχαίας κίνησης για τα σωματίδια της χρωστικής. Στην εικόνα 2 φαίνεται το αποτέλεσμα της βελτιωτικής ρύθμισης των αρχικών μοντέλων.

Εικόνα 2: Τελικό μοντέλο διάχυσης



Με βάση τα τελικά μοντέλα τους για τη διάχυση, παρατηρείται ότι αυτά χαρακτηρίζονται από τη σωματιδιακή φύση τόσο του νερού όσο και της χρωστικής ουσίας. Τα σωματίδια αυτά έχουν την ιδιότητα της τυχαίας κίνησης προς όλες τις κατευθύνσεις, κάτι που επιτυγχάνεται εξαιτίας της ύπαρξης κενού χώρου μεταξύ τους. Επιπλέον τα σωματίδια υπόκεινται στη δύναμη της βαρύτητας η οποία τα κρατά μέσα στο ποτήρι. Ακόμα η χρωστική ουσία διαλύεται σε μικρότερα σωματίδια τα οποία δεν εξαφανίζονται αλλά ανακατεύονται με τα σωματίδια του νερού παρουσιάζοντας το φαινόμενο της διάχυσης. Τέλος, το χρώμα που στα προηγούμενα μοντέλα χρησιμοποιήθηκε ως μία ουσία που ρέει από ένα σωματίδιο στο άλλο, στα τελικά μοντέλα δεν φαίνεται να χρησιμοποιείται. Τα χαρακτηριστικά των τελικών μοντέλων των παιδιών όπως προέκυψαν από την ανάλυση παρουσιάζονται στον πίνακα 2

Πίνακας 2: Χαρακτηριστικά τελικών μοντέλων διάχυσης

|                    | Σωματιδιακή αναπαράσταση | Χρώμα ως υλικό | Κίνηση σωματιδίων | Ύπαρξη κενού | Ύπαρξη βαρύτητας | Διατήρηση της ύλης | Διαφορετικό μέγεθος |
|--------------------|--------------------------|----------------|-------------------|--------------|------------------|--------------------|---------------------|
| Πάρης Κωνσταντίνος | √                        | X              | √                 | √            | √                | √                  | X                   |
| Γεωργία Ειρήνη     | √                        | X              | √                 | √            | √                | √                  | X                   |
| Παναγιώτης Σάββας  | √                        | X              | √                 | √            | √                | √                  | X                   |
| Νάσια Μυριάννη     | √                        | X              | √                 | √            | X                | √                  | X                   |
| Διώνη              | √                        | X              | √                 | √            | √                | √                  | X                   |

Αφού τα μοντέλα των μαθητών για το φαινόμενο της διάχυσης παρουσιάστηκαν στην τάξη και αξιολογήθηκαν από τα παιδιά, έγινε επέκταση του μοντέλου τους σε ένα φαινόμενο διήθησης. Στο καινούριο μοντέλο που κατασκευάστηκε για να περιγράψει το φαινόμενο της διήθησης τα παιδιά μετέφεραν όλα τα μικροσκοπικά χαρακτηριστικά του τελικού μοντέλου τους για τη διάχυση προσθέτοντας επιπλέον και τη διαφορετικότητα στο μέγεθος των σωματιδίων ώστε τα σωματίδια του νερού να περνούν από τη μεμβράνη του διηθητικού χαρτιού ενώ τα σωματίδια του αλεύρου να μην μπορούν εξαιτίας του μεγέθους τους.

### Συμπεράσματα

Μέσα από τα αποτελέσματα της έρευνας φαίνεται ότι η διαδικασία του “μαθησιακού κύκλου της μοντελοποίησης” (Constantinou, 1999; Louca & Constantinou, 2002; Hestenes, 1997) που ακολουθήθηκε βοήθησε τα παιδιά να χρησιμοποιήσουν τις προηγούμενες γνώσεις και εμπειρίες τους ώστε να διαμελίσουν τα φαινόμενα στα συστατικά τους μέρη φτάνοντας μέχρι το σωματιδιακό επίπεδο και στη συνέχεια να κατασκευάσουν τέτοιους κώδικες

χρησιμοποιώντας προγραμματισμό, ώστε να περιγράψουν ένα μηχανισμό που να διέπει τη λειτουργία τους (Louca, 2004).

Με την ανάλυση των μοντέλων που οικοδόμησαν οι μαθητές προκύπτει ότι αυτά περιέχουν αρκετά χαρακτηριστικά που είναι ανάλογα με το επιστημονικά αποδεκτό μοντέλο, όπως είναι η σωματιδιακή φύση της ύλης, η κίνηση των σωματιδίων προς όλες τις κατευθύνσεις, η ύπαρξη κενού χώρου μεταξύ των σωματιδίων, η διαφορά στο μέγεθος μεταξύ διαφορετικών σωματιδίων, η διατήρηση της ύλης αλλά και η ύπαρξη της δύναμης της βαρύτητας.

Παρακολουθώντας και αναλύοντας την πορεία που ακολούθησαν οι μαθητές μέχρι να οικοδομήσουν τα μοντέλα τους, παρατηρούμε ότι τα περισσότερα από τα πιο πάνω χαρακτηριστικά προέκυψαν μετά από κάποια ανάγκη που δημιουργήθηκε κατά τη φάση της μοντελοποίησης σε αντίθεση με την παραδοσιακή διδασκαλία όπου οι έννοιες επιβάλλονται στους μαθητές από τους εκπαιδευτικούς. Για παράδειγμα, η ύπαρξη κενού μεταξύ των σωματιδίων του νερού προέκυψε όταν δημιουργήθηκε η ανάγκη για κίνηση των σωματιδίων, κάτι που δεν θα μπορούσε να συμβεί χωρίς την ύπαρξη κενού χώρου.

Επιπλέον, μέσα από την ανάλυση των συζητήσεων στην ολομέλεια της τάξης φάνηκε ότι η πορεία που ακολουθούν οι μαθητές για να οικοδομήσουν τα μοντέλα τους ξεκινά με την περιγραφή του φαινομένου που παρατηρούν μακροσκοπικά, στη συνέχεια το συνδέουν με σχετικές προηγούμενες εμπειρίες που έχουν, καταλήγοντας να προτείνουν ένα μηχανισμό. Κατά τη φάση της εργασίας στον υπολογιστή τα παιδιά αρχικά περιγράφουν τι θέλουν να κάνουν, στη συνέχεια οικοδομούν κανόνες ώστε να μεταφέρουν στο λογισμικό την περιγραφή τους. Μέσα από την κατασκευή των κανόνων προκύπτει η ανάγκη για χρήση καινούριων εννοιών, όπως η δύναμης της βαρύτητας. Τέλος, μετά από αλληπάλληλες δοκιμές καταλήγουν σε ένα μοντέλο που να περιγράφει ικανοποιητικά το φαινόμενο.

Καταλήγοντας, αξίζει να επισημανθεί ότι η παρούσα εργασία αποτελεί ένα παράδειγμα αξιοποίησης των νέων τεχνολογιών και ιδιαίτερα του προγραμματισμού μέσω του Stagecast Creator (το οποίο βρίσκεται ήδη στα σχολεία του κυπριακού εκπαιδευτικού συστήματος) για τη διδασκαλία φυσικών φαινομένων στο δημοτικό σχολείο. Με άλλα λόγια, μέσα από αυτή την έρευνα οι εκπαιδευτικοί μπορούν να παρακολουθήσουν μία εφαρμογή του 'μαθησιακού κύκλου της μοντελοποίησης', που θα τους βοηθήσει στο σχεδιασμό των δικών τους παρεμβάσεων για τη διδασκαλία φυσικών φαινομένων με τη χρήση μοντελοποίησης μέσω προγραμματισμού.

## Παραπομπές

- Coll, R.K., France, B (2005). The role of models/and analogies in science education: implications from research. *International Journal of Science Education*, 27(2), 183-198.
- Constantinou, C., P. (1999). The Cocoa microworld as an environment for modelling physical phenomena. *International Journal of Continuing Education and Life-Long Learning*, 8 (2), 65 - 83.
- diSessa, A., (1992) Images of learning. In E. DeCorte, M. C. Linn, L. Verschaffel (Eds.), *Computer based learning environments and problem solving* (pp 19-40). Berlin: Springer.
- Driver, R., Guesne, E. and Tiberghien, A., eds (1985) *Children's Ideas in Science* Open University Press: Milton Keynes
- Edwards, D. & Mercer, N. (1995). *Common knowledge: The development of understanding in the classroom*. NY: Routledge.
- Gilbert, J., Boulter, C. and Elmer, R. (2000). Positioning models in science education and in design and technology education. In J. Gilbert and C. Boulter (eds.) *Developing Models in Science Education* (Dordrecht: Kluwer), 3-18.



- Hardwicke, A. J. (1995). Using molecular models to teach chemistry: part 2, using models, *School Science Review*, 77(279), 47–56.
- Hogan, K., & Thomas, D. (2001). Cognitive Comparisons of Students' Systems Modeling in Ecology. *Journal of Science Education and Technology*, 10(4), 319-345.
- Hestenes, D. (1992). Modeling Games in the Newtonian World, *Am. J. Phys.* **60**: 732-748.
- Hestenes, D. (1997). Modeling methodology for physics teachers. In E.F. Redish and J.S. Rigden (Eds.), *The changing role of physics departments in modern universities: Proceedings of International Conference on Undergraduate Physics Education* (p. 935-957). NY: The American Institute of Physics.
- Lavonen, M. J., Meisalo, V. J., Lattu, M. & Sutinen (2003). Concretising the programming task: a case study in a secondary school. *Computers & Education*, 40, 115–135.
- Louca L. (2004) Case studies of fifth-grade student modeling in science through programming: comparison of modeling practices and conversations. Unpublished doctoral dissertation, University of Maryland, College Park.
- Louca, L. & Constantinou, C. (2002). The use of Stagecast Creator in constructing modeling skills in physical science: The case of the single lens camera. *Proceedings of the Forth International Conference on Computer-Based Learning in Science*, University of Twente, Enschede, The Netherlands.
- Metz, K. E. (1995). Reassessment of developmental constraints on children's science instruction. *Review of Educational Research*, 65(2), 93-127.
- Papaevripidou, M., Constantinou, C.P., & Zacharia, Z. (2006). Modeling Complex Marine Ecosystems: Using Stagecast Creator™ to Foster Fifth Graders' Development of Modeling Skills. Paper accepted for publication at the *Journal of Computer Assisted Learning*.
- Piaget, J (1974) *Understanding causality*. New York: Norton.
- Smith, D., C. & Cypher, Al. (1999). Making programming easier for children. In A. Druin (Ed.). *The Design of Children's Technology*. San Francisco: Morgan Kaufmann Publishers.
- Wright, T. (2001). Ph.D. Proposal: Teaching children to program. Department of Computer Science, University of Canterbury, Christchurch.