

Συνέδρια της Ελληνικής Επιστημονικής Ένωσης Τεχνολογιών Πληροφορίας & Επικοινωνιών στην Εκπαίδευση

Τόμ. 1 (2004)

4ο Συνέδριο ΕΤΠΕ «Οι ΤΠΕ στην Εκπαίδευση»



Μια ερευνητική μεθοδολογία για τη σχεδίαση, ανάπτυξη και αξιολόγηση εκπαιδευτικού λογισμικού εποικοδομητικού τύπου

Δημήτρης Κολοκοτρώνης, Χριστίνα Σολομωνίδου

Βιβλιογραφική αναφορά:

Κολοκοτρώνης Δ., & Σολομωνίδου Χ. (2026). Μια ερευνητική μεθοδολογία για τη σχεδίαση, ανάπτυξη και αξιολόγηση εκπαιδευτικού λογισμικού εποικοδομητικού τύπου. *Συνέδρια της Ελληνικής Επιστημονικής Ένωσης Τεχνολογιών Πληροφορίας & Επικοινωνιών στην Εκπαίδευση*, 1, 153-162. ανακτήθηκε από <https://eproceedings.epublishing.ekt.gr/index.php/cetpe/article/view/8975>

Μια ερευνητική μεθοδολογία για τη σχεδίαση, ανάπτυξη και αξιολόγηση εκπαιδευτικού λογισμικού εποικοδομητικού τύπου

Δημήτρης Κολοκοτρώνης
Διδάκτωρ Παν/μίου Θεσσαλίας, MSc Computer Science, Εκπ/κός Β/θμιας Εκπ/σης
Βενιζέλου 28, 41500 Γιάννουλη
kolokotr@teilar.gr

Χριστίνα Σολομωνίδου
Αναπλ. Καθηγήτρια, Εργαστήριο Εκπαιδευτικών Τεχνολογιών και Ανάπτυξης
Εκπαιδευτικού Λογισμικού
Π.Τ.Δ.Ε. Πανεπιστημίου Θεσσαλίας
Αργοναυτών & Φιλελλήνων, 38221 Βόλος
xsolom@uth.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εργασία περιγράφεται η διαδικασία σχεδίασης, ανάπτυξης και αξιολόγησης του εκπαιδευτικού λογισμικού «Αλληλεπιδράσεις Σωμάτων» που πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο του κοινωνικού εποικοδομητισμού, με στόχο να βοηθήσει μαθητές/ριες 11-16 ετών να οικοδομήσουν έννοιες σχετικά με τον 3ο νόμο του Νεύτωνα και τη σχέση δύναμης και κίνησης. Ως βάση για τη σχεδίαση και ανάπτυξη του λογισμικού χρησιμοποιήθηκαν τόσο τα αποτελέσματα από αρχική έρευνα που ανέχνευσε τις αρχικές ιδέες 451 μαθητών/ριών, όσο και κατάλληλη διδακτική μεθοδολογία για τις έννοιες δράσης και αντίδρασης. Ακολούθησε ένα εκτεταμένο στάδιο αξιολόγησης, διαμορφωτικής και συνολικής, του λογισμικού μέσα σε τάξεις, με 226 μαθητές/ριες και 28 εκπαιδευτικούς. Στόχος των διδασκαλιών με τη χρήση του λογισμικού ήταν ο μετασχηματισμός των αρχικών εναλλακτικών ιδεών των μαθητών/ριών και η οικοδόμηση από μέρους τους αποδεκτών αντιλήψεων για τη νευτώνεια δυναμική. Διαπιστώθηκε ότι η διδασκαλία με χρήση του εκπαιδευτικού αυτού λογισμικού είχε ιδιαίτερα θετική προσφορά στην εννοιολογική κατανόηση (μάθηση και εφαρμογή) του θέματος από τους/ις μαθητές/ριες, γεγονός που έδωσε τη δυνατότητα διατύπωσης μιας πρότασης για μια μεθοδολογία ανάπτυξης και σχεδίασης εκπαιδευτικού λογισμικού εποικοδομητικού τύπου με βάση τις εναλλακτικές ιδέες των μαθητών/ριών, το οποίο στη συνέχεια αξιολογείται με την ενεργό συμμετοχή μαθητών/ριών και εκπαιδευτικών και που ενσωματώνει κατάλληλη διδακτική μεθοδολογία.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: εναλλακτικές ιδέες των μαθητών/ριών, εκπαιδευτικό λογισμικό εποικοδομητικού τύπου, αλληλεπίδραση μεταξύ σωμάτων, εννοιολογική αλλαγή

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο τρίτος νόμος του Νεύτωνα και οι εφαρμογές του αποτελούν δύσκολο θέμα για μεγάλο αριθμό μαθητών και μαθητριών όσον αφορά την εννοιολογική του κατανόηση και τη σύνδεσή του με τους άλλους δύο νόμους για την κίνηση και την οικοδόμηση -εντέλει- του νευτώνειου παραδείγματος. Πολλές έρευνες και μελέτες κατά τη διάρκεια των προηγούμενων δύο δεκαετιών (π.χ. Viennot

1979; Halloun & Hestenes 1985; Terry & Jones 1986; Halloun 1997) έχουν αναδείξει τις δυσκολίες των μαθητών/ριών στην κατανόηση του θέματος. Επίσης, ένα σημαντικό πρόβλημα είναι το γεγονός ότι δεν έχει δοθεί η απαραίτητη βαρύτητα στη διδασκαλία του 3ου νόμου του Νεύτωνα (Solomonidou & Kolokotronis, 2001). Όμως, η έννοια της αλληλεπίδρασης των σωμάτων και ο 3ος νόμος του Νεύτωνα που την περιγράφει είναι πρωταρχικής σημασίας για την οικοδόμηση των εννοιών που σχετίζονται με καταστάσεις κίνησης, ισορροπίας ή μεταβολής της κινητικής κατάστασης των σωμάτων, δηλαδή με τους δύο άλλους νόμους, και δεν μπορεί σε καμιά περίπτωση να παραμελείται ή να ξεετάζεται αποκομμένα.

Πολλές από τις έρευνες που έχουν γίνει στην κατεύθυνση της μελέτης των μηχανισμών μάθησης αλλά και του σχεδιασμού νέων διδακτικών πρακτικών, εμπλέκουν την χρήση νέων τεχνολογιών στη διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών (Σολομωνίδου, 1999), και ειδικότερα την τεχνολογία των πολυμέσων που δίνει νέα ώθηση στην ανάπτυξη εκπαιδευτικού λογισμικού (Ράπτης & Ράπτη, 2001). Οι προτεινόμενες όμως διαδικασίες και το υπάρχον λογισμικό που έρχεται να συνδράμει θετικά στην κατεύθυνση αυτή δεν καλύπτουν επαρκώς όλα τα φυσικά φαινόμενα, με την έννοια ότι ενώ τα προβλήματα που έχουν οι μαθητές/ριες σχετικά με την κατανόηση των νόμων της κίνησης έχουν ερευνηθεί ποικιλοτρόπως, δεν έχει δοθεί η απαραίτητη βαρύτητα στο νόμο δράσης-αντίδρασης. Αναφορικά λοιπόν με τον 3ο νόμο του Νεύτωνα και τη Νευτώνεια Δυναμική, δεν έχει αναπτυχθεί σχεδόν κανένα κατάλληλο λογισμικό που να αλλάζει τις εναλλακτικές θεωρήσεις των μαθητών/ριών (Σολομωνίδου, 2000). Εξαίρεση αποτελεί το λογισμικό «Διανύσματα στη Φυσική και τα Μαθηματικά», που αναπτύχθηκε στο πλαίσιο του προγράμματος Σειρήνες – Οδύσσεια, στο οποίο γίνεται μία προσπάθεια στη κατεύθυνση αυτή (Grigoriadou, Mítropoulos, Samarakou, Solomonidou, Stavridou 1999; Μητρόπουλος, κ.ά., 1999).

Λαμβάνοντας υπόψη τη σημασία του 3ου νόμου του Νεύτωνα στη μάθηση του νευτώνειου παραδείγματος και την έλλειψη σχετικού εκπαιδευτικού λογισμικού για την υποβοήθηση της διδασκαλίας και της μάθησης στην περιοχή αυτή, σχεδιάσαμε, αναπτύξαμε και αξιολογήσαμε το εκπαιδευτικό λογισμικό με τίτλο «Αλληλεπιδράσεις Σωμάτων» στο πλαίσιο του κοινωνικού εποικοδομητισμού (π.χ. Driver & Oldham, 1986). Η σχεδίαση και η ανάπτυξη του λογισμικού αυτού βασίστηκαν στα δεδομένα που προέκυψαν μετά από μια εκτενή έρευνα σχετικά με τις εμπειρικές αντιλήψεις μαθητών/ριών για το θέμα, και η αξιολόγησή του έγινε επίσης με βάση τα μαθησιακά αποτελέσματα από τη χρήση του από μαθητές/ριες κυρίως όσον αφορά το ζήτημα της εννοιολογικής αλλαγής, αλλά και εκπαιδευτικούς. Στη εργασία αυτή περιγράφεται η ερευνητική μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για την ολοκλήρωση αυτού του λογισμικού (σχεδίαση, ανάπτυξη και αξιολόγηση), καθώς και τα συμπεράσματα που προέκυψαν από τη χρήση του στην τάξη.

ΤΑ ΣΤΑΔΙΑ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

Η ερευνητική προσέγγιση που ακολουθήθηκε αποτελείται από τρία στάδια:

1) Πραγματοποίηση μιας αρχικής (πριν τη διδακτική παρέμβαση) έρευνας για την ανίχνευση των αντιλήψεων των μαθητών/ριών σχετικά με τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ σωμάτων, η οποία περιλαμβάνει συμπλήρωση ερωτηματολογίων από τους/ις μαθητές/ριες. Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκαν προσωπικές συνεντεύξεις με μαθητές/ριες που συμμετείχαν στην αρχική έρευνα, ώστε να διευκρινιστούν τυχόν μη ξεκάθαρες απαντήσεις τους στις ερωτήσεις του ερωτηματολογίου. Ακολούθησε ανάλυση και συζήτηση των αποτελεσμάτων.

2) Σχεδίαση και ανάπτυξη του αλληλεπιδραστικού εκπαιδευτικού λογισμικού πολυμέσων εποικοδομητικού τύπου, με προσομοιώσεις καταστάσεων και πειραμάτων αλληλεπίδρασης μεταξύ σωμάτων, καθώς και διαμορφωτική αξιολόγηση (formative evaluation) με μαθητές/ριες και εκπαιδευτικούς κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης του λογισμικού, ώστε αυτό να δοκιμαστεί στην πράξη και να γίνουν οι απαραίτητες βελτιώσεις.

3) Διδασκαλίες σε πειραματικές τάξεις με τη βοήθεια του εκπαιδευτικού λογισμικού, πραγματοποίηση τελικής έρευνας με μαθητές/ριες και συνολική αξιολόγηση (summative evaluation) του λογισμικού με εκπαιδευτικούς, ώστε να εξαχθούν τα τελικά συμπεράσματα.

Στη συνέχεια περιγράφονται αναλυτικότερα τα τρία αυτά στάδια.

1ο στάδιο: η αρχική έρευνα

Αρχικά πραγματοποιήθηκε έρευνα για τη μελέτη των εναλλακτικών ιδεών των μαθητών/ριών σχετικά με την αλληλεπίδραση των σωμάτων και τον 3ο νόμο του Νεύτωνα. Τα συμπεράσματα της έρευνας αυτής λήφθηκαν υπόψη στο σχεδιασμό και την ανάπτυξη του λογισμικού. Η έρευνα και η διδακτική παρέμβαση αφορούσε μαθητές/ριες από τις εξής τάξεις: Ε' και ΣΤ' Δημοτικού, Α', Β' και Γ' Γυμνασίου, Α' και Β' Ενιαίου Λυκείου, Α' και Β' Τ.Ε.Ε. Πιο συγκεκριμένα, αυτό το στάδιο της έρευνας πραγματοποιήθηκε σε τρεις φάσεις: α) με πιλοτική έρευνα (κλινικού τύπου προσωπικές συνεντεύξεις όπου συμμετείχαν 10 μαθητές/ριες ώστε να γίνει μία πρώτη διερεύνηση των αντιλήψεων τους (Solomonidou & Kolokotronis, 2001), β) πραγματοποίηση της κύριας έρευνας για την ανίχνευση των αντιλήψεων των μαθητών/ριών σχετικά με τις μηχανικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ σωμάτων, με ερωτηματολόγια που συμπλήρωσαν 451 μαθητές/ριες των παραπάνω τάξεων, οι ερωτήσεις του οποίου σχεδιάστηκαν με βάση τα αποτελέσματα της πιλοτικής έρευνας και γ) προσωπικές συνεντεύξεις με 26 μαθητές/ριες που συμμετείχαν στην κύρια έρευνα, για να διευκρινιστούν περισσότερο οι απαντήσεις τους στο ερωτηματολόγιο.

Η μελέτη των απαντήσεων και των σχημάτων των μαθητών/ριών (στατιστική επεξεργασία με το λογισμικό SPSS για τα δεδομένα των ερωτηματολογίων και ποιοτική μελέτη για τις συνεντεύξεις) μας επέτρεψε να συναγάγουμε ορισμένα συμπεράσματα για τις αναπαραστάσεις τους σχετικά με θέματα που αφορούν στην αλληλεπίδραση μεταξύ δύο σωμάτων. Οι αρχικές εναλλακτικές ιδέες των μαθητών/ριών ομαδοποιήθηκαν στις ακόλουθες κατηγορίες:

1^η κατηγορία: αλληλεπίδραση υπάρχει όταν υπάρχει κίνηση ή δυνατότητα κίνησης (στην αλληλεπίδραση μεταξύ δύο σωμάτων, τουλάχιστον το ένα από τα δύο πρέπει να είναι 'ενεργό'),

2^η κατηγορία: στη φύση οι δυνάμεις δεν εμφανίζονται κατ' ανάγκη σε ζεύγη αλλά χωριστά,

3^η κατηγορία: στην αλληλεπίδραση υπάρχει ζεύγος δυνάμεων με διαφορετικά χαρακτηριστικά η μία δύναμη από την άλλη, με αποτέλεσμα να εμφανίζονται τα ακόλουθα σφάλματα: α) μέτρου, β) χρονικό, γ) σημείου εφαρμογής, και δ) διεύθυνσης,

4^η κατηγορία: αλληλεπίδραση υπάρχει όταν υπάρχει κατακόρυφη δύναμη λόγω επαφής δύο σωμάτων,

5^η κατηγορία: πολλοί/ές μαθητές/ριες θεωρούν ότι η κίνηση ενός σώματος είναι αποτέλεσμα της επίδρασης εσωτερικών δυνάμεων πάνω σε αυτό και αγνοούν την ύπαρξη της τριβής ως δύναμης που είναι αντίθετη στην κίνηση και στη διεύθυνσή της.

6^η κατηγορία: για ορισμένους/ες μαθητές/ριες η έννοια της αλληλεπίδρασης και η εφαρμογή του 3^{ου} νόμου του Νεύτωνα, δηλαδή η αμοιβαία άσκηση δυνάμεων ίσου μέτρου και αντίθετης φοράς μεταξύ δύο αλληλεπιδρώντων σωμάτων, ταιριάζει περισσότερο μεταξύ «ίδιων» ή «παρόμοιων» σωμάτων, δηλαδή σωμάτων με κοινά χαρακτηριστικά όπως μέγεθος, σχήμα, μάζα, ταχύτητα, και λιγότερο μεταξύ διαφορετικών σωμάτων (συμμετρικές αναπαραστάσεις).

Προέκυψαν διαφοροποιήσεις σε σχέση με το φύλο των παιδιών (τα κορίτσια απάντησαν σωστά σε μεγαλύτερο ποσοστό από τα αγόρια), την ηλικία (πολύ περισσότερα παιδιά ηλικίας 11-13 ετών απάντησαν σωστά σε σχέση με τα παιδιά 14-16 ετών), με τον τύπο του σχολείου (πολύ λιγότερα παιδιά από Τ.Ε.Ε έδωσαν σωστές απαντήσεις σε σχέση με τα παιδιά του Ενιαίου Λυκείου) και με τη γεωγραφική περιοχή (παιδιά από ημιαστικές-αγροτικές περιοχές εμπλέκουν σαφώς περισσότερο στις απαντήσεις τους το σώμα της Γης, από ότι παιδιά αστικών περιοχών). Πιο αναλυτική περιγραφή αυτού του σταδίου γίνεται στο Κολοκοτρώνης & Σολομωνίδου (2002).

2ο στάδιο: σχεδίαση και ανάπτυξη του λογισμικού

Το στάδιο αυτό περιέλαβε τη σχεδίαση, ανάπτυξη και τη διαμορφωτική αξιολόγηση του

εκπαιδευτικού λογισμικού «Αλληλεπιδράσεις Σωμάτων». Η σχεδίαση και ανάπτυξη του λογισμικού είχε στόχο την αντιμετώπιση των εναλλακτικών ιδεών των μαθητών/ριών σε θέματα που αφορούν τον 3^ο νόμο του Νεύτωνα, την πληρέστερη κατανόηση και την οικοδόμηση λειτουργικής γνώσης, ώστε να είναι σε θέση να την εφαρμόζουν σε νέες περιπτώσεις αλληλεπίδρασης μεταξύ σωμάτων. Μια σύντομη περιγραφή του λογισμικού γίνεται στην επόμενη παράγραφο (μια αναλυτική περιγραφή της σχεδίασης σύμφωνα με τα αποτελέσματα της αρχικής έρευνας γίνεται στο Kolokotronis & Solomonidou, 2003).

Περιγραφή του λογισμικού «Αλληλεπιδράσεις Σωμάτων»

Το λογισμικό «Αλληλεπιδράσεις Σωμάτων» είναι ένα αλληλεπιδραστικό λογισμικό πολυμέσων εποικοδομητικού τύπου, που αναπτύχθηκε στο Εργαστήριο Εκπαιδευτικών Τεχνολογιών και Ανάπτυξης Εκπαιδευτικού Λογισμικού του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας. Η παιδαγωγική του προσέγγιση βασίζεται στην ανάγκη εννοιολογικής κατανόησης των αλληλεπιδράσεων μεταξύ σωμάτων και στο συνδυασμό μεταξύ της νέας πληροφορίας και των ήδη υπαρχουσών γνώσεων και αντιλήψεων που είναι ισχυρά ριζωμένες αυθόρμητες ερμηνείες της εξωτερικής πραγματικότητας (Solomonidou & Kolokotronis, 2001, Kolokotronis & Solomonidou, 2002). Η προσαρμογή του/ης μαθητή/ριας στη νέα γνώση χαρακτηρίζεται από τη δυνατότητα παρουσίας και της παλιάς γνώσης, οπότε η σύγκρισή τους είναι αναπόφευκτη και η 'σύγκρουσή' τους οδηγεί στην επικράτηση της νέας γνώσης με γνωστική διάψευση (Dykstra, Boyle & Monarch, 1992).

Στο λογισμικό γίνεται προσπάθεια να δομηθεί η διδασκόμενη γνώση μέσα από ποικίλες περιπτώσεις-πειράματα που προσεγγίζουν το θεματικό πεδίο δράσης-αντίδρασης, προσομοιώνουν πραγματικές καταστάσεις της καθημερινής ζωής, χρησιμοποιούν κλιμακούμενο βαθμό δυσκολίας καθώς και τη μέθοδο των εκτεταμένων σχημάτων που εισήγαγε η Viennot (1979), και μπορούν να προκαλέσουν εννοιολογική αλλαγή με τη χρήση διαδικασιών γνωστικής σύγκρουσης (Dreyfus, Jungwirth & Eliovitch, 1990). Το τελευταίο είναι δυνατό μέσα από αλληλοσυσχέτιση των πειραμάτων και την ανάπτυξη από τους/ις μαθητές/ριες του δικού τους μοντέλου για τον πραγματικό κόσμο και τη διαπίστωση αν η λειτουργία του έρχεται σε αντίθεση ή όχι με τις προσωπικές τους ερμηνείες. Οι μαθητές/ριες εφαρμόζουν το δικό τους μοντέλο μέσα από μια επιλογή που είναι ανάλογη της διαδικασίας "Run My Model" (Hennessy et al., 1995a,b, Raghavan & Glaser, 1995). Τοποθετούν διανύσματα στα σώματα που αλληλεπιδρούν για να αναπαραστήσουν τις δυνάμεις που ασκούνται σε αυτά σε μια δεδομένη κατάσταση (π.χ. ισορροπίας ή κίνησης των σωμάτων αυτών). Το λογισμικό αποκρίνεται παραθέτοντας κατάλληλες ερωτήσεις και παρέχοντας άμεση ανάδραση (feedback) ώστε να αντιμετωπίσει τις ιδέες των παιδιών και να μετασχηματίσει τις απόψεις τους για τις ασκούμενες δυνάμεις σε επιστημονικά αποδεκτές. Η ανάδραση αυτή σχεδιάστηκε με βάση τις απαντήσεις των μαθητών/ριών στην αρχική έρευνα που προηγήθηκε. Η εξέταση ποικίλων και μερικά πολύπλοκων περιπτώσεων αλληλεπίδραση σωμάτων που προσομοιώνονται στο λογισμικό στοχεύει να πειστεί ο/η μαθητής/ρια για την ορθότητα της νέας γνώσης, να την αποδεχθεί και να την αφομοιώσει ως 'αναπόφευκτη' διεξοδο. Το λογισμικό αναπτύχθηκε με βάση το εργαλείο συγγραφής Toolbook II (το οποίο διαθέτει ενσωματωμένη μία ισχυρή γλώσσα προγραμματισμού), προγράμματα επεξεργασίας εικόνας, video, ήχου και δημιουργίας κινούμενων σκίτσων (animation).

Ο κεντρικός κατάλογος επιλογών του λογισμικού (Εικόνα 1) δείχνει κομμάτια από ένα παζλ από τα οποία τα 11 είναι αριθμημένα και αντιστοιχούν σε 10 συνολικά ομάδες πειραμάτων και ένα τμήμα αυτο-αξιολόγησης (που αποτελείται από ένα εκπαιδευτικό παιχνίδι και ένα τομέα «Συμπερασμάτων»). Πηγαίνοντας το δείκτη του ποντικιού πάνω από έναν αριθμό, το αντίστοιχο κομμάτι του παζλ μεγεθύνεται, δείχνοντας την κύρια οθόνη και τον τίτλο του αντίστοιχου πειράματος. Με αριστερό «κλικ» του ποντικιού ο/η μαθητής/ρια μεταβαίνει στο αντίστοιχο πείραμα (π.χ. στο πείραμα 9 – «Διεκυστίδα», όπως δείχνει η εικόνα 1).

Οι μαθητές/ριες μπορούν να αρχίσουν το κάθε πείραμα διαβάζοντας μία θεωρητική εισαγωγή και

να συνεχίσουν εκτελώντας μια σειρά από δραστηριότητες και έργα. Τα πειράματα 3 έως 10 αποτελούνται από 3-4 μέρη αλλά πάντα το πρώτο μέρος αφορά την «Αντιστοίχιση διανυσμάτων» (εικόνα 2): μία οθόνη όπου ο/η μαθητής/ρια πρέπει να σύρει με το ποντίκι το καθένα από τα διανύσματα που δίνονται και να το τοποθετήσει μέσα στο κατάλληλο ορθογώνιο, σύμφωνα με το λεκτικό που υπάρχει δίπλα στο καθένα από αυτά (κάθε λεκτικό περιγράφει μία μονοσήμαντη αλληλεπίδραση μεταξύ δύο σωμάτων). Όλα τα διανύσματα εμφανίζονται σε ζεύγη και τα δύο διανύσματα κάθε ζεύγους έχουν το ίδιο χρώμα, μήκος και σχήμα (ποιοτική προσέγγιση).

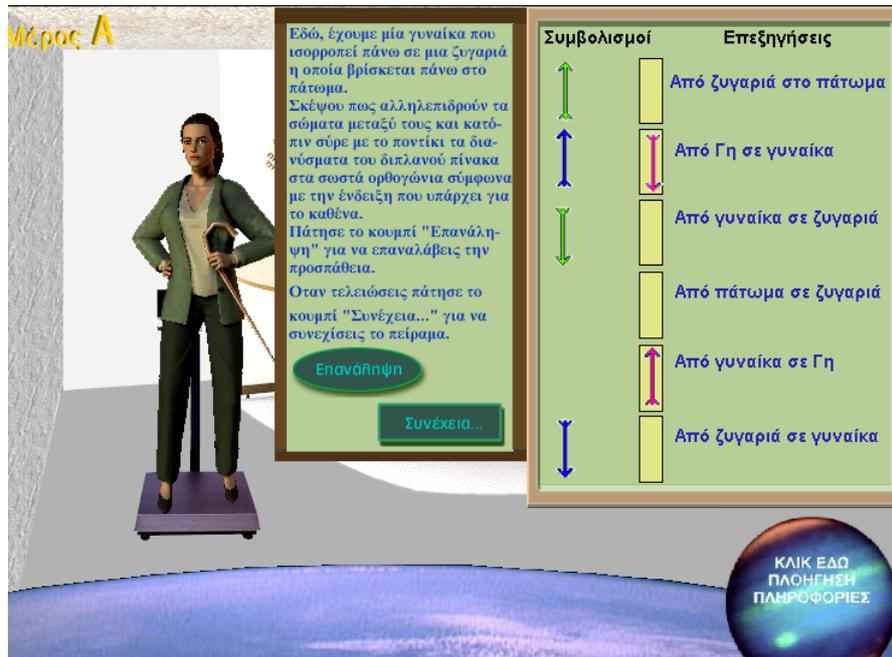


Εικόνα 1: Αρχική οθόνη και κεντρικός κατάλογος επιλογών του λογισμικού

Η διαδικασία «Αντιστοίχιση διανυσμάτων» στοχεύει στο: α) να δώσει έμφαση στο γεγονός ότι όλες οι ασκούμενες δυνάμεις είναι αποτέλεσμα μιας αμοιβαίας αλληλεπίδρασης μεταξύ δύο σωμάτων και β) να βοηθήσει τους/ις μαθητές/ριες να τοποθετήσουν σωστά τα διανύσματα των δυνάμεων πάνω στα σώματα όπου αυτές ασκούνται (στο μέρος Β). Η διαδικασία αυτή μπορεί να φανεί ιδιαίτερα χρήσιμη, κυρίως στα μικρότερα παιδιά (11-13 ετών), καθώς το λογισμικό τα βοηθά να ολοκληρώσουν με επιτυχία τις δραστηριότητές του. Μεγαλύτερα παιδιά μπορούν να παραλείψουν την εκτέλεση της διαδικασίας αυτής.

Επιπλέον, κάθε πείραμα περιλαμβάνει, εκτός των άλλων δραστηριοτήτων, 1-4 ερωτήσεις πολλαπλής επιλογής όπου ο/η μαθητής μπορεί να συγκρίνει την απάντησή του/ης με την αντίστοιχη του λογισμικού. Οι ερωτήσεις αυτές γίνονται διαθέσιμες αφού πρώτα ο/η μαθητής/ρια εκτελέσει τις υπόλοιπες δραστηριότητες του λογισμικού. Στόχος των ερωτήσεων αυτών είναι να καλύψουν τυχόν γνωστικά κενά που έχουν αφήσει οι προηγούμενες δραστηριότητες που έχει εκτελέσει ο/η μαθητής/ρια. Οι δυνατές επιλογές που συνθέτουν την απάντηση σε κάθε ερώτηση, καθώς και οι αντίστοιχες αποκρίσεις του λογισμικού, έχουν σχεδιαστεί με βάση τις απόψεις των μαθητών/ριών, όπως αυτές εκφράστηκαν στην αρχική έρευνα (ερωτηματολόγια και συνεντεύξεις), έτσι ώστε να καλύπτουν όλες τις διαφορετικές τους ιδέες και δίνοντας βαρύτητα σε αυτές που

εμφανίζονται συχνότερα. Παράλληλα, οι οθόνες αυτές θέτουν και ερωτήματα για προβληματισμό ή/και συζήτηση μέσα στη τάξη (ανά ομάδα ή με τον/ην εκπαιδευτικό).



Εικόνα 2: Πείραμα 5 (πρώτο μέρος): αντιστοίχιση των διανυσμάτων των δυνάμεων από αλληλεπίδραση

Το λογισμικό «Αλληλεπιδράσεις Σωμάτων» στοχεύει να βοηθήσει τους/ις μαθητές/ριες να οικοδομήσουν επιστημονικά αποδεκτές ιδέες για τη Νευτώνεια δυναμική, έχοντας τα ακόλουθα γενικά χαρακτηριστικά: φιλικότητα, αλληλεπιδραστικότητα, χρήση τεχνολογίας πολυμέσων, εποικοδομητική προσέγγιση, χρήση της στρατηγικής της 'γνωστικής σύγκρουσης', χρήση της λειτουργίας 'run my model', χρήση της μεθόδου των εκτεταμένων σχημάτων για την αναπαράσταση των αλληλεπιδράσεων μεταξύ σωμάτων και συνδυασμό με ένα 'ανοιχτό' περιβάλλον και διερεύνησης της γνώσης. Το λογισμικό στοχεύει στο μετασχηματισμό των εναλλακτικών ιδεών των μαθητών/ριών, όπως αυτές έχουν ομαδοποιηθεί σε έξι κατηγορίες, χρησιμοποιώντας μια σειρά από άλλα επιμέρους χαρακτηριστικά, τα οποία σχετίζονται με το σύνολο των εναλλακτικών ιδεών των παιδιών που ανιχνεύτηκαν στην αρχική έρευνα (αναλυτικότερα: Kolokotronis & Solomonidou, 2003). Επιπλέον, για την υποστήριξη των μαθητών/ριών και των εκπαιδευτικών που θα χρησιμοποιήσουν το λογισμικό δημιουργήθηκαν τρία συνοδευτικά εγχειρίδια: α) εγχειρίδιο χρήσης, β) τετράδιο δραστηριοτήτων για το/η μαθητή/τρια και γ) συμβουλευτικός οδηγός για τον/ην εκπαιδευτικό.

Διαμορφωτική αξιολόγηση του λογισμικού

Προκειμένου να διαπιστωθεί η λειτουργικότητα του λογισμικού αυτού, κατά πόσο είναι ελκυστικό, εύχρηστο και συμβάλλει αποτελεσματικά στην κατανόηση από τους/ις μαθητές/ριες των θεμάτων που πραγματεύεται και διευκολύνει τους/ις εκπαιδευτικούς στην διδασκαλία, πραγματοποιήθηκε έρευνα διαμορφωτικής αξιολόγησης του με μαθητές/ριες και εκπαιδευτικούς.

Οκτώ μαθητές/ριες εργάστηκαν με το λογισμικό (μαγνητοσκοπήθηκαν οι διαδικασίες) και στη συνέχεια συμπλήρωσαν ένα ερωτηματολόγιο. Επίσης 15 εκπαιδευτικοί (5 της πρωτοβάθμιας και 10 της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης) εργάστηκαν με το λογισμικό κατ' οίκον για αρκετό χρόνο (περίπου 30 ημέρες) και στη συνέχεια συμπλήρωσαν ένα ερωτηματολόγιο αξιολόγησης. Στόχος αυτού του τμήματος της έρευνας ήταν η χρήση των αποτελεσμάτων για τη βελτίωση και προσαρμογή του λογισμικού στις ανάγκες των μαθητών/ριών και των εκπαιδευτικών.

Σε γενικές γραμμές και σε όλες τις περιπτώσεις φάνηκε ότι οι μαθητές/ριες μπορούσαν να πλοηγηθούν και να χρησιμοποιήσουν το λογισμικό χωρίς καμία προηγούμενη εκπαίδευσή τους σε αυτό. Χωρίς να δοθούν ιδιαίτερες οδηγίες οι μαθητές/ριες εκτέλεσαν όλα τα πειράματα και χρησιμοποίησαν όλα τα διαθέσιμα κουμπιά πλοήγησης. Από τις αντιδράσεις των παιδιών, τον τρόπο με τον οποίο εκτέλεσαν τα εικονικά πειράματα, τα επιφωνήματα ενθουσιασμού και τη διάθεσή τους για συνέχεια, διαπιστώθηκε ότι τόσο το περιβάλλον διεπαφής του λογισμικού, όσο και τα πειράματα και οι ασκήσεις ήταν ιδιαίτερα ελκυστικά για τα παιδιά. Σε ελάχιστες περιπτώσεις παρατηρήθηκε δυσκολία να συνεχίσουν οι μαθητές/ριες την εργασία τους. Στα σημεία αυτά έγιναν κατάλληλες διορθώσεις για να ξεπεραστεί το πρόβλημα. Για παράδειγμα: αφαιρέθηκαν τα ηχητικά σήματα όταν ο δείκτης του ποντικιού περνούσε πάνω από κάποια κουμπιά πλοήγησης ώστε να αρχίσει η εκτέλεση των πειραμάτων, έγινε αλλαγή των χρωματισμών των σκηνοκτών των πειραμάτων σε πιο φωτεινούς και χαρούμενους ώστε να είναι πιο ελκυστικά για τα παιδιά, βελτιώθηκε ο τρόπος κύλισης των κειμένων στην οθόνη μετά από μικρές δυσκολίες που παρατηρήθηκαν σε κάποια παιδιά σχετικά με την ανάγνωση των αντίστοιχων κειμένων, προστέθηκαν σχόλια όταν ο δείκτης του ποντικιού περνούσε πάνω από διανύσματα δυνάμεων τα οποία ήταν τοποθετημένα σε σώματα (τα σχόλια εξηγούν σε ποιο και από ποιο σώμα ασκείται η συγκεκριμένη δύναμη), προγραμματίστηκε να φωτίζεται έντονα το περίγραμμα του σώματος στο οποίο επιχειρείται να τοποθετηθεί ένα διάνυσμα δύναμης ώστε να αντιλαμβάνεται αμέσως το παιδί σε ποιο σώμα πρόκειται να τοποθετήσει το διάνυσμα (διαδικασία “drag and drop”), κ.ά.

Όσον αφορά τη φάση της διαμορφωτικής αξιολόγησης όπου συμμετείχαν οι 15 εκπαιδευτικοί, προέκυψαν τα ακόλουθα συμπεράσματα: Ο μέσος όρος της βαθμολογίας που έδωσαν ήταν 5,0 (με ακρίβεια ενός δεκαδικού) με άριστα το 6, δηλαδή το σύνολο του λογισμικού αξιολογήθηκε από τους/τις εκπαιδευτικούς αυτούς/ές ως «πολύ καλό». Οι προτάσεις τους για αλλαγές σε κάποια σημεία του λογισμικού υιοθετήθηκαν σε μεγάλο βαθμό και οδήγησαν σε αντίστοιχες διορθώσεις στα περισσότερα από τα σημεία που προτάθηκαν. Σύμφωνα με τις επιστημονικές των εκπαιδευτικών, το κυρίαρχο πρόβλημα ήταν ότι ο διδακτικός χρόνος που πρέπει να αφιερωθεί στη διδασκαλία του 3^{ου} νόμου του Νεύτωνα είναι πολύ μικρός για να γίνει η διδασκαλία με χρήση ολόκληρου του λογισμικού. Δηλαδή είναι συνήθως μία διδακτική ώρα, ενώ η εξέταση όλου του λογισμικού χρειάζεται περίπου τρεις ώρες. Αν όμως ληφθεί υπόψη ότι: α) το λογισμικό καλύπτει και άλλα θεματικά πεδία και β) ότι δεν δίνεται η απαραίτητη βαρύτητα στον 3^ο νόμο του Νεύτωνα ενώ, όπως έδειξε η αρχική έρευνα αλλά και αυτές άλλων ερευνητών/ριών, αυτός είναι ζωτικής σημασίας για την κατανόηση όλης της Νευτώνειας Δυναμικής και παράλληλα υπάρχουν πολλές μαθησιακές δυσκολίες που συνδέονται με το νόμο αυτό, τότε θα ήταν δυνατό (και θα έπρεπε) να διατεθεί ο απαραίτητος χρόνος διδασκαλίας του συγκεκριμένου θέματος σε τρεις. Μέσα σ' αυτές τις τρεις ώρες μπορεί να περιλαμβάνεται και το κομμάτι της παραδοσιακής διδασκαλίας.

3ο στάδιο: η τελική έρευνα και η συνολική αξιολόγηση του λογισμικού

Αυτό το στάδιο της έρευνας αποτελούνταν από τρεις χωριστές φάσεις: α) διδασκαλίες σε πειραματικές τάξεις με τη βοήθεια του εκπαιδευτικού λογισμικού με σκοπό την αναζήτηση του καλύτερου δυνατού τρόπου ενσωμάτωσης του λογισμικού στη διδακτική πράξη, β) τελική έρευνα με μαθητές/ριες για τη διερεύνηση του μαθησιακού αποτελέσματος των διδασκαλιών με το λογισμικό και σύγκριση με το αντίστοιχο αποτέλεσμα που είχε η παραδοσιακή διδασκαλία, και γ) καταγραφή, από τον/ην εκπαιδευτικό, στοιχείων για τη συμπεριφορά και τις αντιδράσεις μιας ομάδας 2-3 παιδιών σε κάθε τάξη κατά τη διάρκεια της διδασκαλίας με το λογισμικό, αλλά και

συνολικά ολόκληρης της τάξης, με στόχο τη συνολική αξιολόγηση του λογισμικού.

Οι διδασκαλίες πραγματοποιήθηκαν σε 13 συνολικά σχολικά τμήματα με 226 μαθητές/ριες από το αρχικό δείγμα (των 451 μαθητών/ριών). Μετά τις διδασκαλίες, οι 226 μαθητές/ριες απάντησαν σε γραπτό ερωτηματολόγιο ίδιο με αυτό της αρχικής έρευνας. Στη τρίτη φάση συμμετείχαν οι εκπαιδευτικοί που δίδασκαν στα παιδιά κατά τη διάρκεια της σχολικής χρονιάς και οι οποίοι/ες πραγματοποίησαν και τις διδασκαλίες με το εκπαιδευτικό λογισμικό. Συγκεκριμένα συμμετείχαν 2 εκπαιδευτικοί της πρωτοβάθμιας και 11 της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης, οι οποίοι/ες ήταν διαφορετικοί/ές από τους/ις 15 εκπαιδευτικούς που συμμετείχαν στην έρευνα για τη διαμορφωτική αξιολόγηση του λογισμικού. Κατά τη πορεία των διδασκαλιών που πραγματοποίησαν οι εκπαιδευτικοί σε κάθε τμήμα, σημειώναν γραπτά σε χαρτί τις αντιδράσεις των μαθητών/ριών του τμήματος, τη συμπεριφορά και τα λεγόμενά τους. Η επεξεργασία των δεδομένων αυτών έγινε στη συνέχεια με ποιοτική μελέτη. Η συνολική αξιολόγηση του λογισμικού από τους/ις εκπαιδευτικούς (τρίτη φάση) αφορούσε στη συμπλήρωση ενός «ημερολογίου» από κάθε εκπαιδευτικό για την καταγραφή στοιχείων σχετικών με τη συμπεριφορά και τις αντιδράσεις μιας ομάδας 2-3 μαθητών/ριών σε κάθε τμήμα κατά τη διάρκεια της διδασκαλίας, αλλά και συνολικά ολόκληρης της τάξης. Η επεξεργασία των δεδομένων, δηλαδή των απαντήσεων των εκπαιδευτικών στις ερωτήσεις του «ημερολογίου», έγινε με ποιοτική μελέτη, λόγω του μικρού αριθμού του δείγματος.

Κατά τη φάση των διδασκαλιών με το λογισμικό διαπιστώθηκε ότι η προσήλωση των παιδιών στο αντικείμενο που διδάσκονταν, ο υψηλός ζήλος που έδειξαν για μάθηση και αναζήτηση, καθώς και το ενδιαφέρον τους για τη συνέχιση της διδασκαλίας με χρήση ανάλογου εκπαιδευτικού λογισμικού και σε άλλα γνωστικά αντικείμενα, ήταν κοινό χαρακτηριστικό όλων των διδασκαλιών που πραγματοποιήθηκαν. Σε διάφορα σημεία της διδασκαλίας οι ερωτήσεις των μαθητών/ριών προσέφεραν ερεθίσματα για διάλογο με το/η διδάσκοντα/ουσα, αλλά και με τους/ις συμμαθητές/ριές τους, ο οποίος πραγματοποιούνταν συμβάλλοντας στην εξαγωγή συμπερασμάτων, χρήσιμων για την κατανόηση των εφαρμογών του 3^{ου} νόμου του Νεύτωνα. Επιπλέον, όλα τα παιδιά ενθουσιάστηκαν με το «Εκπαιδευτικό παιχνίδι», όπου, στηριζόμενοι στη μεταξύ τους συνεργασία και στην ανταλλαγή απόψεων, προσπάθησαν να συγκεντρώσουν όσο υψηλότερη βαθμολογία μπορούσαν, ώστε να ανταγωνιστούν τις άλλες ομάδες της τάξης. Ιδιαίτερη εντύπωση σε όλα τα παιδιά προκάλεσαν οι μη ρεαλιστικές κινήσεις αντικειμένων (π.χ. ο σκύλος του πειράματος 3 και το βιβλίο-τραπέζι του πειράματος 4) που «πετούσαν» προς τα επάνω, λόγω λανθασμένης τοποθέτησης των διανυσμάτων των δυνάμεων στα σώματα του συστήματος. Ακόμη, οι οδηγίες που δόθηκαν όσον αφορά την πλοήγηση στο λογισμικό δεν χρειάστηκε να είναι πολλές, διότι οι μαθητές/ριες δεν αντιμετώπισαν σημαντικά προβλήματα στον τομέα αυτόν.

Μετά τη διδασκαλία με το εκπαιδευτικό λογισμικό διαπιστώθηκαν αρκετές διαφοροποιήσεις όσον αφορά τις απόψεις των παιδιών για την αλληλεπίδραση μεταξύ σωμάτων και τον 3^ο νόμο του Νεύτωνα, σε σχέση με τις κατηγορίες θεμελιωδών εναλλακτικών ιδεών των μαθητών/ριών που ανιχνεύτηκαν στην αρχική έρευνα. Από την τελική έρευνα με τους/ις 226 μαθητές/ριες αναδείχθηκε η θετική επίδραση που είχε η διδασκαλία στο σύνολο των μαθητών/ριών του δείγματος. Πιο συγκεκριμένα:

1) Τα ποσοστά των λανθασμένων απαντήσεων των μαθητών/ριών στις ερωτήσεις του ερωτηματολογίου μειώθηκαν αισθητά. Η μείωση αυτή κυμαίνονταν από 52% ως 80% ανάλογα με την κατηγορία εναλλακτικών ιδεών, ενώ κατά μέσο όρο και για τις έξι αυτές κατηγορίες ήταν περίπου 65%. Οι σωστές απαντήσεις των μαθητών/ριών στο σύνολο των ερωτήσεων κινούνταν σε αρκετά υψηλά ποσοστά, περίπου 60% ως 90% ανάλογα με την ηλικία και την ερώτηση.

2) Εξομαλύνθηκαν οι διαφοροποιήσεις των απαντήσεων των μαθητών/ριών που είχαν παρατηρηθεί πριν από τη διδασκαλία αυτή σε σχέση με το φύλο και την περιοχή της σχολικής μονάδας, ενώ σε σχέση με την ηλικία τα ποσοστά των σωστών απαντήσεων είναι ανάλογα με αυτήν, με μικρή απόκλιση από τη μια χρονιά στην άλλη (γεγονός φυσιολογικό και αναμενόμενο). Όσον αφορά τον τύπο του σχολείου, οι μαθητές/ριες των Τ.Ε.Ε. συνέχιζαν να υστερούν έναντι αυτών του Ενιαίου Λυκείου (και αυτό ήταν αναμενόμενο). Εντούτοις παρουσίαζαν μεγαλύτερα

ποσοστά βελτίωσης σε σχέση με τους/ις μαθητές/ριες του Ενιαίου Λυκείου. Το τελευταίο ενισχύει την άποψη ότι η διδακτική προσέγγιση με τη χρήση εκπαιδευτικού λογισμικού, και μάλιστα επικοινωνιακού τύπου, είναι κάτι παραπάνω από αναγκαία κυρίως για τα παιδιά διδασκαλία, για τα οποία αναμφίβολα η παραδοσιακή διδασκαλία δεν είναι ιδιαίτερα ελκυστική.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της παρατήρησης από τους/ις εκπαιδευτικούς των μαθητών/ριών που συμμετείχαν (τρίτη φάση του σταδίου αυτού της έρευνας), προέκυψαν τα ακόλουθα: α) οι μαθητές/ριες υποδέχονται τη διδασκαλία με τη χρήση υπολογιστή και εκπαιδευτικού λογισμικού με θετικό ως ενθουσιώδη τρόπο, β) το ενδιαφέρον των μαθητών/ριών σε όλη τη διάρκεια της διδασκαλίας με χρήση του εκπαιδευτικού λογισμικού «Αλληλεπιδράσεις Σωμάτων» παρέμεινε αμείωτο και είναι μεγαλύτερο σε σχέση με μια συνηθισμένη (χωρίς λογισμικό) διδασκαλία, γ) η διδασκαλία με χρήση του εκπαιδευτικού αυτού λογισμικού βοήθησε τη δημιουργία συνθηκών συνεργατικής μάθησης τόσο μεταξύ των μελών της ίδιας ομάδας (μαθητές/ριες που μοιράζονται τον ίδιο υπολογιστή), όσο και μεταξύ μελών διαφορετικών ομάδων, δ) οι μαθητές/ριες συμπεριφέρθηκαν ευγενικά και πειθαρχημένα μέσα στην τάξη, ε) το ενδιαφέρον των μαθητών/ριών, ο ρυθμός εργασίας τους και η συμμετοχή τους στη διάρκεια της διδασκαλίας με το λογισμικό «Αλληλεπιδράσεις Σωμάτων» (ερωτήσεις προς τον/ην διδάσκοντα/ουσα ή διάθεση να δώσουν απαντήσεις σε αυτόν/ήν) ήταν εντονότερα από ό,τι σε μια συνηθισμένη διδασκαλία, και στ) το επίπεδο του θορύβου και η μετακίνηση των μαθητών/ριών μέσα στην τάξη κατά τη διάρκεια της διδασκαλίας με τη χρήση του λογισμικού ήταν ελαφρώς μεγαλύτερα από ό,τι σε μια συνηθισμένη διδασκαλία, διότι οι μαθητές/ριες αισθάνονταν ότι είχαν μεγαλύτερο βαθμό ελευθερίας μέσα στο πλαίσιο της μαθησιακής διαδικασίας και διότι είναι στοιχεία απαραίτητα για τις ανάγκες της συνεργασίας, τα οποία όχι μόνο δεν παρεμπόδισαν την ομαλή πορεία της διδασκαλίας, αλλά λειτούργησαν ιδιαίτερα αποτελεσματικά σε όφελος της μάθησης.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της τελικής έρευνας, η διδασκαλία με τη βοήθεια του λογισμικού «Αλληλεπιδράσεις Σωμάτων» είχε θετική επίδραση στη μάθηση και προήγαγε την εννοιολογική κατανόηση σε θέματα που αφορούν τον 3^ο νόμο του Νεύτωνα. Το σημαντικότερο νέο στοιχείο που εισάγει η παρούσα ερευνητική προσέγγιση στην επιστημονική έρευνα είναι η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για τη σχεδίαση, ανάπτυξη και αξιολόγηση του λογισμικού «Αλληλεπιδράσεις Σωμάτων», στην οποία εξάλλου οφείλεται και η εξαρχής σχεδίασή του και η διαπίστωση της καταλληλότητάς του. Η μεθοδολογία αυτή δεν έλαβε απλά υπόψη της αρχικές ιδέες των παιδιών όπως αυτές παρατίθενται στην ελληνική και διεθνή βιβλιογραφία, αλλά περιέλαβε την πραγματοποίηση μιας αρχικής έρευνας σε μεγάλο δείγμα για την ανίχνευση των ποικίλων ιδεών των παιδιών και, το κυριότερο, σε όλα τα στάδια της σχεδίασης, ανάπτυξης και αξιολόγησης του λογισμικού συμμετείχαν ενεργά όλοι/ές αυτοί/ές που πρόκειται να χρησιμοποιήσουν μελλοντικά το λογισμικό: οι μαθητές/ριες και οι εκπαιδευτικοί. Μπορεί να λήφθηκαν επίσης υπόψη οι γενικές προδιαγραφές δημιουργίας εκπαιδευτικού λογισμικού, αλλά όλα τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του λογισμικού προήλθαν από μια βήμα προς βήμα συνεργασία με τους/ις μαθητές/ριες και τους/ις εκπαιδευτικούς.

Συνεπώς, το κεντρικό συμπέρασμα που προκύπτει είναι ότι διδασκαλία με χρήση εκπαιδευτικού λογισμικού βασισμένου στις εναλλακτικές ιδέες των μαθητών/ριών, το οποίο έχει σχεδιαστεί, αναπτυχθεί και αξιολογηθεί (διαμορφωτικά και συνολικά) με την ενεργό συμμετοχή μαθητών/ριών και εκπαιδευτικών και το οποίο ενσωματώνει κατάλληλη διδακτική μεθοδολογία, μπορεί να έχει θετικά αποτελέσματα όσον αφορά την εννοιολογική κατανόηση και την οικοδόμηση της γνώσης.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

Dreyfus, A., Jungwirth, E. and Eliovitch, R. (1990). Applying the “Cognitive Conflict” strategy for

- conceptual change – Some implications, difficulties and problems, *Science Education*, 74(5), 555-569
- Dykstra, D., Boyle, C. & Monarch, I. (1992), Studying conceptual change in learning physics, *Science Education*, 76(6), 615-652
- Grigoriadou, M., Mitropoulos, D., Samarakou, M., Solomonidou, C., & Stavridou, H. (1999). Methodology for the design of educational software in mathematics and physics for the secondary education, *Proceedings of the International Conference on Technology and Education*, ICTE, Edinburgh, paperID 247, p1-3
- Halloun, I. (1997). Schematic Concepts for schematic models of the real world: the Newtonian concept of force, *Science & Education*, (August 1997), 239-261
- Halloun, I., & Hestenes, D. (1985). Common sense concepts about motion, *American Journal of Physics*, 53(11), 1056-1065
- Hennessy, S., Twigger, D., Driver, R., O'Shea, T., O'Malley, C.E., Byard, M., Draper, S., Hartley, R., Mohamed, R. & Scanlon, E. (1995a). Design a computer - augmented curriculum for mechanics, *International Journal of Science Education*, 17(1), 75-92
- Hennessy, S., Twigger, D., Driver, R., O'Shea, T., O'Malley, C.E., Byard, M., Draper, S., Hartley, R., Mohamed, R., & Scanlon, E. (1995b). A classroom intervention using a computer-augmented curriculum for mechanics, *International Journal of Science Education*, 17(2), 189-206
- Kolokotronis, D., & Solomonidou, C. (2002). Innovative educational software to help students construct scientific views about the concept of interaction between bodies. In K. Fernstrom (ed.) *Proceedings: 3rd International Conference on Information Communication Technologies in Education*, Samos, Greece: Research Training Institute of East Aegean, (INEAG, Greece), University College of the West Valley (Canada), 7/2002, 483-490
- Kolokotronis, D., & Solomonidou, C. (2003). A step-by-step design and development of an integrated educational software to deal with students' empirical ideas about mechanical interaction, *Education and Information Technologies*, 8(3), 229-244
- Raghavan, K. and Glaser, R. (1995). Model-based analysis and reasoning in science: the MARS curriculum, *Science Education*, 79, 37-61
- Solomonidou, C., & Kolokotronis, D. (2001). Interactions between bodies: Students' (aged 11-16) empirical ideas and design of appropriate educational software, *Themes in Education*, 2(2-3), 175-210
- Terry, C., & Jones, G. (1986). Alternative frameworks: Newton's third law and conceptual change. *European Journal of Science Education*, 8(3), 291-298
- Viennot, L. (1979). Spontaneous reasoning in elementary dynamics, *European Journal of Science Education*, 1(2), 205-221
- Κολοκοτρώνης, Δ., Σολομωνίδου, Χρ. (2002), Αναπαραστάσεις παιδιών 11–16 ετών για την αλληλεπίδραση μεταξύ σωμάτων και για τον 3^ο νόμο του Νεύτωνα. *Πρακτικά συνεδρίου «Η διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών στην Κοινωνία της Πληροφορίας»*, σελ. 683-687, Αθήνα
- Μητρόπουλος, Δ., Σαμαράκου, Μ., Ρηγούσος, Α., Γρηγοριάδου, Μ., Σταυρίδου, Ε., & Σολομωνίδου, Χ. (1999). Μεθοδολογία σχεδίασης του εκπαιδευτικού λογισμικού 'Διανύσματα στη Φυσική και τα Μαθηματικά'. *Επιθεώρηση Φυσικής: Αφιέρωμα στην Πληροφορική στη Διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών*, Τεύχος 30, Άνοιξη 1999, Περίοδος Γ', τόμος Η', 59-65
- Ράπτης, Α., & Ράπτη, Α. (2001). *Πληροφορική και εκπαίδευση. Συνολική προσέγγιση*, Αθήνα
- Σολομωνίδου, Χ. (1999), Μια κριτική θεώρηση των σύγχρονων τάσεων και απόψεων για τη χρήση Νέων Τεχνολογιών στη διδασκαλία και μάθηση των Φυσικών Επιστημών. *Επιθεώρηση Φυσικής, Περίοδος Γ'- Τόμος Η', τεύχ. 30*, 66-72
- Σολομωνίδου Χ. (2000). Γνωστικές δυσκολίες για ένα θέμα πάντα επίκαιρο, τη Νευτώνεια Μηχανική. Λογισμικό για διδακτική αντιμετώπιση. *Επιθεώρηση Φυσικής*, 31, 29-42