

Κωνσταντίνος Θ. Κώτσης* & Φίλιππος Β. Ευαγγέλου**

Εικονικό ή πραγματικό πείραμα στη διδασκαλία της Φυσικής για την αλλαγή των εναλλακτικών ιδεών των μαθητών και φοιτητών: Μια βιβλιογραφική ανασκόπηση

Περίληψη

Η εισαγωγή της συγκεκριμένης εργασίας αναφέρεται στα εικονικά και τα πραγματικά πειράματα Φυσικής, εξετάζει τις απόψεις των υποστηρικτών για τα πραγματικά πειράματα και τις θέσεις των υποστηρικτών για τα εικονικά πειράματα. Τα δεδομένα προέρχονται από μια βιβλιογραφική ανασκόπηση ερευνών που έχουν υλοποιηθεί σχετικά με την αποτελεσματικότητα των εικονικών και πραγματικών πειραμάτων στη διδασκαλία της Φυσικής για την αλλαγή των εναλλακτικών ιδεών των μαθητών ή φοιτητών προς τις αντίστοιχες επιστημονικές. Τέλος, αναφέρεται στην ταξινόμηση των ερευνών σε τέσσερις κατηγορίες και στην αναλυτική παρουσίαση των περιγραφικών χαρακτηριστικών και της μεθοδολογίας κάθε έρευνας.

Λέξεις κλειδιά: Εικονικά πειράματα Φυσικής, Πραγματικά πειράματα Φυσικής, Αλλαγή εναλλακτικών ιδεών, Βιβλιογραφική ανασκόπηση.

Virtual or real experiment in teaching Physics for change of alternative ideas of students: A Literature Review

Abstract

In the introduction of this paper we explore the virtual and real experiments of Physics and the views of the supporters of the real experiments and the supporters of the virtual experiments. In addition, we make a literature review for researches that have been made with regard to the effectiveness of the virtual and real experiments in Physics for the change of alternative ideas of students to the corresponding scientific. Finally, we refer to the classification of researches in four categories and we present the descriptive characteristics and the methodology of each research.

Key words: Virtual experiments of Physics, Real experiments of Physics, Change of alternative ideas, Literature Review

* Αναπληρωτής Καθηγητής στο Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων

** Υποψήφιος Διδάκτωρ στο Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων

Εισαγωγή

Μέσα από την ανασκόπηση της ελληνικής και διεθνούς βιβλιογραφίας καταγράφονται δύο αξιοσημείωτα είδη πειραμάτων που εμφανίζονται σε αρκετές ερευνητικές μελέτες και εφαρμόζονται, όπως είναι ευνόητο, στις σχολικές τάξεις κατά τη διάρκεια της διδασκαλίας των Φυσικών Επιστημών. Πιο συγκεκριμένα, πρόκειται για:

- α) τα πραγματικά πειράματα (πειράματα με πραγματικά αντικείμενα) και
- β) τα εικονικά πειράματα (με προσομοιώσεις).

Πιο αναλυτικά, τα πραγματικά πειράματα (πειράματα με πραγματικά αντικείμενα) σχετίζονται με εκείνη τη μαθησιακή εμπειρία που επιτρέπει στους μαθητές και στους φοιτητές να αλληλεπιδρούν με πραγματικά αντικείμενα με σκοπό την παρατήρηση και κατανόηση εννοιών και φαινομένων της φυσικής (Baxter 1995, Ζαχαρίας και Ευαγόρου 2004, Hofstein and Lunetta 2004, Klahr et al. 2007, Ολυμπίου κ.ά. 2007, Zacharia 2007).

Τα εικονικά πειράματα (προσομοιώσεις) αναφέρονται σε εκείνη τη μαθησιακή εμπειρία που επιτρέπει στους μαθητές και φοιτητές να αλληλεπιδρούν με εικονικά αντικείμενα με σκοπό την παρατήρηση και κατανόηση εννοιών και φαινομένων της Φυσικής (Baxter 1995, Ζαχαρίας και Ευαγόρου 2004, Klahr et al. 2007, Ολυμπίου κ.ά. 2007, Zacharia 2007). Ένα παράδειγμα εικονικού πειράματος είναι η προσομοίωση του φαινομένου της ελεύθερης πτώσης που μπορεί να δημιουργηθεί με το εκπαιδευτικό λογισμικό Interactive Physics (Μικρόπουλος 2006).

Επιπρόσθετα, ως προσομοίωση ορίζεται η αναπαράσταση κατάστασης ή αντικειμένου μέσω λογισμικού, το οποίο παρέχει δυνατότητες χειρισμού συνθηκών και παραμέτρων για μελέτη (Μικρόπουλος 2002). Με άλλα λόγια, οι προσομοιώσεις βασίζονται σε μοντέλα αναπαράστασης διαφόρων φυσικών καταστάσεων, τις οποίες εξερευνά ο μαθητής. Τα μοντέλα δημιουργούνται με βάση την αντίστοιχη επιστημονική θεωρία και παρουσιάζουν ένα πείραμα, ένα φαινόμενο ή μια φυσική διαδικασία (Τζιμογιάννης 1999).

Πρέπει να επισημανθεί ότι μέσα από μια αδρομερή βιβλιογραφική ανασκόπηση προκύπτει αβίαστα η σπουδαιότητα και η αξία των δυο ειδών πειραμάτων. Για παράδειγμα, τα πραγματικά πειράματα αποτελούν εδώ και αρκετά χρόνια μια εδραιωμένη πρακτική που ενεργοποιεί τους μαθητές και τους επιτρέπει όχι μόνο να αποκτήσουν χειριστικές δεξιότητες - π.χ. «στήσιμο» και εκτέλεση πειράματος, χειρισμός οργάνων και συσκευών - (Μιχαηλίδης 2007), αλλά και να εξοικειωθούν με την επιστημονική μεθοδολογία και τον τρόπο σκέψης. Με άλλα λόγια, όπως χαρακτηριστικά αναφέρουν οι Αποστολάκης κ.ά. (2006:39) με «τα πραγματικά πειράματα εξυπηρετείται ο στόχος της αναγωγής της μάθησης σε αυτόνομη βιωματική εμπειρία, με σκοπό τη σύνδεση του γνωστικού υλικού με την καθημερινότητα και την προσέγγιση της επιστημονικής μεθοδολογίας».

Από την άλλη πλευρά, τα τελευταία χρόνια τα εικονικά πειράματα – προσομοιώσεις - βρίσκονται στο επίκεντρο του εκπαιδευτικού ενδιαφέροντος ως μέσο διδασκαλίας και έρευνας (Τζιμογιάννης και Μικρόπουλος 2000) και αναπτύσσονται δυναμικά τόσο ως εκπαιδευτικό όσο και ως ερευνητικό εργαλείο για τη διερεύνηση των αντιλήψεων των μαθητών Πρωτοβάθμιας, Δευτεροβάθμιας και Τριτοβάθμιας Εκπαίδευσης (Τζιμογιάννης και Μικρόπουλος 1998, Τζιμογιάννης κ.ά. 1998). Τέλος, τα εικονικά πειράματα διαμορφώνουν νέες οπτικές για τη διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών και της Τεχνολογίας σε θέματα που θεωρούνται δύσκολα ή είναι εκτός άμεσης εμπειρίας (Μιχαηλίδης 2007, Μικρόπουλος 2006), καθώς επίσης μπορούν να προσεγγίσουν με ιδιαίτερη επιτυχία σύνθετες έννοιες σε μαθήματα των Φυσικών Επιστημών, όπως είναι η ταχύτητα, η επιτάχυνση, η κίνηση σε τροχιά κτλ. (Παναγιωτακόπουλος κ.ά. 2004).

Ωστόσο, παρά το γεγονός ότι και τα δυο είδη πειραμάτων είναι σημαντικά στη διδασκαλία της Φυσικής για την αλλαγή των εναλλακτικών ιδεών των μαθητών ή φοιτητών προς τις αντίστοιχες επιστημονικές, προκύπτει από τη διεθνή βιβλιογραφία (Corter et al. 2004, Ma and Nickerson 2006) ότι υπάρχει μια χρόνια διαμάχη μεταξύ αυτών που υποστηρίζουν τα εικονικά πειράματα και αυτών που υποστηρίζουν τα πραγματικά πειράματα.

Αναφορικά με την κατηγορία των εικονικών πειραμάτων οι υποστηρικτές επικεντρώνουν τις παραδοχές τους στα εξής:

- επισημαίνουν ότι στην εκτενή επισκόπηση της βιβλιογραφίας για τη χρήση των υπολογιστών και κατ' επέκταση των εικονικών πειραμάτων από τα παιδιά, δεν υπάρχει ούτε θεωρητική ούτε εμπειρική αιτιολόγηση για έναν τέτοιο αποκλεισμό (Clements και Sarama 2003).
- ισχυρίζονται ότι τα φυσικά εργαστήρια χρησιμοποιούν άσκοπα πολύτιμο χώρο και καταναλώνουν το χρόνο του φοιτητή στην πλήρως καθοδηγούμενη οργάνωση του πειράματος και τέλος θεωρούν ότι αυτός συμμετέχει σε επίπονες διαδικασίες (Corter et al. 2004). Αντίθετα, επισημαίνουν ότι τα εικονικά πειράματα παρέχουν δυνατότητες μελέτης φαινομένων που είναι χρονοβόρα (π.χ. κινήσεις πλανητών) και άλλων που εξελίσσονται ταχύτατα, όπως οι ατομικές ή πυρηνικές μεταπτώσεις (Τζιμογιάννης 2004: 245).
- προβάλλουν τον ισχυρισμό ότι παρέχουν δυνατότητες μελέτης φυσικών φαινομένων που έχουν μεγάλο κόστος ή αναπαράγονται δύσκολα στο εργαστήριο (π.χ. καταστάσεις χωρίς τριβές), καθώς επίσης και αντικατάστασης επικίνδυνων πειραμάτων, όπως είναι η διάσπαση ραδιενεργών πυρήνων (Τζιμογιάννης 2004: 245).
- αναφέρουν ότι παρόλο που οι εργαστηριακές δραστηριότητες είναι σχεδιασμένες έτσι ώστε να εμπλέκουν τους φοιτητές απευθείας με αντικείμενα και φαινόμενα, οι προσομοιώσεις μπορούν να σχεδιαστούν για να προσφέρουν σημαντικές απεικονίσεις εμπειριών έρευνας, γεγονός που

συχνά δεν επιτυγχάνεται σε αρκετά επιστημονικά θέματα με τα πραγματικά αντικείμενα. (Hofstein and Lunetta 2004:42).

- επάγονται ότι στα εικονικά πειράματα προσφέρονται δυνατότητες αλληλεπίδρασης των μαθητών με το φυσικό μοντέλο μεταβάλλοντας ελεύθερα συνθήκες και παραμέτρους και παρατηρώντας τα αποτελέσματα της παρέμβασής τους στην οθόνη. Κατά συνέπεια, παρέχεται η ευκαιρία στους μαθητές να κάνουν προβλέψεις, να οδηγηθούν σε συμπεράσματα, να καλλιεργήσουν τη φυσική διαίσθηση και την κριτική τους σκέψη (Τζιμογιάννης 2004: 245).
- θεωρούν, παρά το γεγονός ότι τα ευρήματα ερευνών για αποτελεσματικούς τρόπους χρήσης προσομοιώσεων δεν είναι ακόμη ιδιαίτερα πειστικά, ότι η ενασχόληση των φοιτητών σε κατάλληλες συνθήκες προσομοίωσης, απαιτεί πολύ λιγότερο χρόνο από την ενασχόλησή τους σε αντίστοιχο εργαστήριο με πραγματικά αντικείμενα (Hofstein and Lunetta 2004:42).
- αναφέρουν ότι ο Υπολογιστής μπορεί να ενσωματώσει και να επιδείξει τα στοιχεία από τον πραγματικό κόσμο γρήγορα και με ακρίβεια. Αυτό επιβοηθά τους φοιτητές με την εκτέλεση των εικονικών πειραμάτων να κάνουν τη διασύνδεση μεταξύ των συγκεκριμένων στοιχείων στον πραγματικό κόσμο και των αφηρημένων αναπαραστάσεων της φυσικής (Redish 1993β).
- προσφέρεται στους φοιτητές η δυνατότητα μετασχηματισμού αφηρημένων εννοιών σε αντιληπτικές αναπαραστάσεις (Μικρόπουλος 2003), όπως εικόνες, προσομοιώσεις κίνησης, διανυσματικές και διαγραμματικές απεικονίσεις, αριθμητικές μετρήσεις, οι οποίες έχουν σημαντική παιδαγωγική αξία για την κατανόηση ή μελέτη φυσικών φαινομένων και διαδικασιών (Τζιμογιάννης 2004: 245).

Ως προέκταση των απόψεων των υποστηρικτών για τα εικονικά πειράματα ο Steinberg (2000) στην ερώτηση που θέτει σε μια εργασία του με τίτλο: «Να χρησιμοποιήσει κανείς τις προσομοιώσεις ή να μην τις χρησιμοποιήσει;», απαντά καταφατικά. Ειδικότερα, αναφέρει ότι οι προσομοιώσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την διδασκαλία της φυσικής υπό τον όρο ότι σχεδιάζονται κατάλληλα και εφαρμόζονται στα κατάλληλα πλαίσια.

Ακόμη, ο Redish (1993α) διερωτάται στην εργασία του: «Είναι ο Υπολογιστής κατάλληλος για τη διδασκαλία Φυσικής;» και απαντώντας καταφατικά στην ερώτηση, επισημαίνει ότι «ο υπολογιστής μπορεί να βοηθήσει τους σπουδαστές να μάθουν τη φυσική, αλλά όχι σε όλες τις περιπτώσεις και όχι γενικά».

Σε αντίθεση με τα παραπάνω, οι απόψεις των υποστηρικτών των πραγματικών πειραμάτων είναι δυνατόν να κωδικοποιηθούν ως εξής:

- ισχυρίζονται ότι οι φοιτητές πρέπει να εκτεθούν στη φυσική εμπειρία - και στις αβεβαιότητες (απροσδιορισίες) - του υλικού κόσμου (Cortet et al. 2004).

- θεωρούν ότι τα πραγματικά πειράματα είναι κεντρικό πολιτιστικό και επιστημολογικό εργαλείο της μάθησης και μάλιστα υπογραμμίζουν το γεγονός ότι η γένεση της επιστημονικής γνώσης προωθείται πρώτιστα μέσω του πειραματισμού (Reiner and Gilbert 2004).
- επισημαίνουν ότι είναι επιβλαβής η χρήση υπολογιστών όχι μόνο για την πραγματοποίηση συγκεκριμένων εκπαιδευτικών στόχων, αλλά και για τη διεύρυνση των εκπαιδευτικών στόχων που εστιάζονται τόσο στην εγκεφαλική όσο και στην κοινωνική ανάπτυξη (Triona and Klahr 2003:150).
- διατυπώνεται ο ισχυρισμός ότι «σε πολλές περιπτώσεις οι δυνατότητες των Νέων Τεχνολογιών φαίνεται να χρησιμοποιούνται χωρίς επισταμένη μελέτη της σύνδεσης τους με τους επιδιωκόμενους στόχους μάθησης. Έτσι, για παράδειγμα, γίνονται πολλές φορές εντυπωσιακές πολυμεσικές εφαρμογές, με κίνηση, ήχο, βίντεο κ.α., οι οποίες κρατούν, ίσως, ζωηρό το ενδιαφέρον των μαθητών, χωρίς όμως αντίστοιχα υψηλά αποτελέσματα μάθησης» (Μιχαηλίδης 2007).
- προβάλλουν την παραδοχή ότι επειδή ο χειρισμός των φυσικών υλικών είναι ουσιώδης για τη μάθηση, εστιάζοντας την εκπαίδευση στους υπολογιστές στερούνται τα παιδιά αυτές τις απαραίτητες εμπειρίες (Alliance for Childhood 2000).
- αποκλείουν σιωπηρά ή ρητά τις προσομοιώσεις υπολογιστών και τα εικονικά εργαστήρια από τον καθορισμό των πρακτικών δραστηριοτήτων. Για παράδειγμα, η Ένωση των καθηγητών θετικών επιστημών της Virginia σχετικά με τη χρήση των υπολογιστών στην εκπαίδευση συστήνει ότι «οι υπολογιστές πρέπει να ενισχύσουν, αλλά να μην αντικαταστήσουν, ουσιαστικά τις πρακτικές εργαστηριακές δραστηριότητες» (National Science Teachers Association of Virginia 1999). Ο σαφής υπαινιγμός είναι ότι αυτή η Ένωση βλέπει τη χρήση των εικονικών υλικών ως μια διάκριση σε σχέση με τις πρακτικές δραστηριότητες.

Πρέπει να σημειωθεί ότι αυτή η διαμάχη ενισχύεται και από τις αναφορές του Kulik (2003) που θεωρεί ότι αν και τα προγράμματα προσομοίωσης βελτιώνουν μερικές φορές την αποτελεσματικότητα στη διδασκαλία της επιστήμης, μερικές μελέτες που πραγματοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του '80 και της δεκαετίας του '90 ανέδειξαν και αρνητικά αποτελέσματα από τις προσομοιώσεις.

Επιπλέον, πολλοί ισχυρίζονται (Hennessy et al. 2007) ότι παρά την εμφάνιση των νέων τεχνολογικών εργαλείων, τα πειράματα με τα φυσικά αντικείμενα (πραγματικά πειράματα) στο εργαστήριο χρησιμοποιούνται ακόμα ευρέως στην επιστήμη και στην εκπαίδευση.

Αναλύοντας, λοιπόν, τα βιβλιογραφικά ευρήματα διαπιστώνεται ότι δεν υπάρχει σαφής και αποδεκτή απάντηση για το ποιο είδος πειράματος, εικονικό ή πραγματικό, είναι πλέον αποτελεσματικό, σχετικά με την κατανόηση βασικών

εννοιών της Φυσικής και την αλλαγή των εναλλακτικών ιδεών των μαθητών ή των φοιτητών προς τις αντίστοιχες επιστημονικές. Για το λόγο αυτό προβάλλεται η ανάγκη για μια βιβλιογραφική ανασκόπηση σχετικά με την αποτελεσματικότητα αυτών των πειραμάτων. Πιο συγκεκριμένα, μέσα από την διερεύνηση της βιβλιογραφίας επιχειρείται ο εντοπισμός και η ανάλυση προσεγγίσεων, οι οποίες απαντούν στα παρακάτω ερευνητικά ερωτήματα:

- I) Τα εικονικά πειράματα είναι το ίδιο αποτελεσματικά με τα εικονικά στη διδασκαλία της Φυσικής για την αλλαγή των εναλλακτικών ιδεών των μαθητών ή φοιτητών προς τις αντίστοιχες επιστημονικές;
- II) Τα εικονικά πειράματα είναι αποτελεσματικότερα σε σχέση με τα πραγματικά;
- III) Τα πραγματικά πειράματα είναι αποτελεσματικότερα σε σχέση με τα εικονικά;
- IV) Μπορούν να δοθούν οριστικές απαντήσεις για το ποιο είδος πειράματος είναι πιο αποτελεσματικό;

Βιβλιογραφική ανασκόπηση ερευνών

Μέσα από την ενδελεχή βιβλιογραφική ανασκόπηση της ελληνικής και διεθνούς βιβλιογραφίας (συμπεριλαμβανομένης και της Διαδικτυακώς καταγεγραμμένης) αναφορικά με την αποτελεσματικότητα του εικονικού και πραγματικού πειράματος Φυσικής, προέκυψε η ταξινόμηση – ομαδοποίηση των συναφών ερευνών σε τέσσερις κατηγορίες.

Η ταξινόμηση αυτών των ερευνών έγινε για τους εξής λόγους: α) για να υπάρχει μια σύνδεση με τα ερευνητικά ερωτήματα που τέθηκαν στην εισαγωγή της εργασίας. Με άλλα λόγια, η ταξινόμηση έγινε με βάση τα αποτελέσματα και τα συμπεράσματα που έχουν συναγάγει οι συγγραφείς των ερευνών και β) για να δοθεί η δυνατότητα μέσα από αυτή την ταξινόμηση να μελετηθούν σε βάθος οι έρευνες κάθε κατηγορίας τόσο ως προς τη διδακτική προσέγγιση και τη μεθοδολογία με την οποία υλοποιήθηκαν όσο και ως προς τη διερεύνηση και τον εντοπισμό των παραμέτρων για το πότε είναι χρήσιμη η πραγματοποίηση πραγματικών πειραμάτων και πότε η πραγματοποίηση των εικονικών.

Με άλλα λόγια, μέσα από αυτή την ταξινόμηση επιδιώκεται να κατανοηθούν καλύτερα οι δυνατότητες των δυο ειδών πειραμάτων και η αποτελεσματική εφαρμογή και χρήση τους στη διδασκαλία της Φυσικής, για την κατανόηση βασικών εννοιών και για την αλλαγή των εναλλακτικών ιδεών των μαθητών ή των φοιτητών προς τις αντίστοιχες επιστημονικές.

Παράλληλα, πρέπει να αναφερθεί ότι οι βασικοί άξονες παρουσίασης και κριτικής ανάλυσης των ερευνών είναι:

- α) τα περιγραφικά χαρακτηριστικά κάθε έρευνας (μέγεθος δείγματος, ηλικία μαθητών ή φοιτητών κ.ά.).
- β) οι διδακτικές προσεγγίσεις που υποστήριζαν τα πειράματα.

γ) η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε (μέθοδοι συλλογής και ανάλυσης δεδομένων).

δ) τα ερευνητικά αποτελέσματα και συμπεράσματα που έχουν διατυπώσει οι συγγραφείς.

Αναλυτικότερα, οι τέσσερις κατηγορίες των ερευνών που εντοπίστηκαν είναι οι εξής:

ι) Έρευνες από τις οποίες προκύπτουν παρόμοια – ίδια - αποτελέσματα μετά την εφαρμογή των εικονικών και πραγματικών πειραμάτων στη διδασκαλία της Φυσικής:

Αρχικά, στην πρώτη κατηγορία (i) εντάσσονται οι Choi και Gennaro (1987) που συνέκριναν την αποτελεσματικότητα της εμπειρίας σε προσομοίωση με μικροϋπολογιστή με την εργαστηριακή εμπειρία με πραγματικά αντικείμενα (σε 128 μαθητές γυμνασίου) αναφορικά με την έννοια του όγκου του υγρού που εκτοπίζεται και διαπίστωσαν ότι η προσομοίωση στον υπολογιστή ήταν τόσο αποτελεσματική όσο και η εργαστηριακή εμπειρία με πραγματικά αντικείμενα. Οι μαθητές χωρίστηκαν τυχαία σε 2 ομάδες, στην ομάδα ελέγχου (πραγματικά αντικείμενα) και στην πειραματική ομάδα (προσομοίωση με μικροϋπολογιστή). Και οι δυο ομάδες διδάχθηκαν σε έξι ίδιες έννοιες που σχετίζονται με την έννοια του όγκου του υγρού που εκτοπίζεται. Σχεδιάστηκαν πέντε πειράματα με τα πραγματικά αντικείμενα παράλληλα με τα πέντε πειράματα προσομοίωσης στον μικροϋπολογιστή. Τα μέσα συλλογής δεδομένων ήταν ένα τεστ 20 ερωτήσεων πολλαπλής επιλογής και ένα μετατεστ. Η ανάλυση των δεδομένων έγινε με την ανάλυση διακύμανσης (ANOVA).

Ο Baxter (1995) συνέκρινε δυο μεθόδους πειραματισμού για το πώς 100 μαθητές της Έκτης τάξης Δημοτικού Σχολείου μπορούν να λύσουν ένα πρόβλημα ηλεκτρικών κυκλωμάτων και ειδικότερα τις δραστηριότητες (φύλλο εργασιών) με τίτλο: «Ηλεκτρικά μυστήρια» («Electric Mysteries»). Τα «ηλεκτρικά μυστήρια» είναι μια διερεύνηση σχετικά με ηλεκτρικά κυκλώματα στα οποία οι μαθητές καθορίζουν το περιεχόμενο έξι «κιβωτίων μυστηρίου» με τη σύνδεση καλωδίων, μπαταριών και λαμπών στα κιβώτια. Η διερεύνηση αυτή πραγματοποιήθηκε με δυο μεθόδους πειραματισμού. Στη μία μέθοδο οι μαθητές χρησιμοποίησαν πραγματικά κιβώτια, με καλώδια και λάμπες που μπορούν να τα χειριστούν με φυσικό τρόπο και στην άλλη χρησιμοποίησαν μία προσομοίωση υπολογιστών με εικονικά κιβώτια, καλώδια και λάμπες που μπορούν να τα χειριστούν στην οθόνη του υπολογιστή χρησιμοποιώντας το ποντίκι.

Η μέθοδος συλλογής δεδομένων ήταν ένα φύλλο αξιολόγησης που δόθηκε σε κάθε μαθητή, ο οποίος έπρεπε να προσδιορίσει σωστά το περιεχόμενο ενός κιβωτίου και να σχεδιάσει το σωστό κύκλωμα που χρησιμοποίησε για να προσδιορίσει το περιεχόμενο. Η ανάλυση των δεδομένων (που προέκυψαν από το

φύλλο αξιολόγησης) έγινε με ένα σύστημα πόντων (Shavelson et al. 1991), σύμφωνα με το οποίο κάθε μαθητής λαμβάνει ένα πόντο εάν απαντήσει ορθά για το περιεχόμενο κάθε κιβώτιου. Η βαθμολογία κυμαίνεται από μηδέν μέχρι ένα πόντο για κάθε κιβώτιο και το μέγιστο είναι έξι πόντοι (έξι κιβώτια) για όλη την έρευνα. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η μέση απόδοση των μαθητών ήταν περίπου ίση και για τις δύο μεθόδους πειραματισμού.

Οι Triona και Klahr (2003) συγκρίνουν την αποτελεσματικότητα δύο διδακτικών περιπτώσεων που διαφέρουν μόνο στο μέσο με το οποίο παρουσιάστηκαν. Πιο συγκεκριμένα, 92 μαθητές δημοτικού σχολείου διδάχθηκαν στην μία περίπτωση χρησιμοποιώντας φυσικά, εύχρηστα αντικείμενα (αληθινά ελατήρια και βάρη) και στην άλλη περίπτωση, διδάχθηκαν χρησιμοποιώντας εικονικά, βασισμένα σε υπολογιστή αντικείμενα (τα ίδια αληθινά ελατήρια και βάρη απεικονίστηκαν στην οθόνη του υπολογιστή) που ήταν κατά τα άλλα παρόμοια με τα φυσικά αντικείμενα. Οι μαθητές εργάστηκαν με το πεδίο του ελατηρίου και στις φυσικές και εικονικές εκδοχές του. Και στις δύο καταστάσεις, οι μαθητές επέλεξαν από οκτώ διαφορετικά ελατήρια που ποίκιλλαν σε τρεις διαστάσεις (το καθένα είχε δυο επίπεδα): μήκος(μακρύ ή κοντό), πάχος (ευρύ ή στενό) και μέγεθος σύρματος (λεπτό ή παχύ). Η τέταρτη παράμετρος ήταν η μάζα του βαριδίου που μπορούσε να προσκολληθεί σε κάθε ελατήριο (βαρύ ή ελαφρύ).

Όλοι οι μαθητές συμμετείχαν σε 3 φάσεις:

α) στο προτεστ και στην εκπαίδευση, β) στο μετατεστ και γ) στην μεταφορά. Αναλυτικότερα, στην πρώτη φάση με τη χρήση του προτεστ οι ερευνητές προσδιόρισαν την αρχική γνώση των μαθητών για το πεδίο του ελατηρίου. Στη συνέχεια αυτής της φάσης, ένας εκπαιδευτής παρουσίασε τα είδη των ελατηρίων (είτε φυσικά είτε εικονικά αντικείμενα, ανάλογα με την κατάσταση) και εισήγαγε τις 4 παραμέτρους (μήκος, πάχος, μέγεθος σύρματος και βάρος). Επιπροσθέτως, τους παρουσιάστηκε η κλίμακα αξιοπιστίας σχετικά με τις απαντήσεις που θα έδιναν στις ερωτήσεις. Τέλος, σχεδίασαν και εκτέλεσαν τέσσερα πειράματα: δύο πειράματα που επικεντρώθηκαν στην επίδραση του μήκους του ελατηρίου και δύο που επικεντρώθηκαν στο πάχος του ελατηρίου.

Στην δεύτερη φάση, με το μετατεστ αξιολογήθηκε η άμεση επίδραση της εκπαίδευσης. Στην τρίτη φάση, και στις δύο καταστάσεις οι μαθητές εργάστηκαν με φυσικά υλικά, τους αναβατήρες (ή ράμπες) (Triona and Klahr 2003:158-159).

Το όργανο συλλογής δεδομένων ήταν η συνέντευξη. Πιο συγκεκριμένα, οι μαθητές έδωσαν συνέντευξη ξεχωριστά σε ένα ήσυχο δωμάτιο και όλες οι δραστηριότητές τους, μαζί με τα πειραματικά τους σχέδια και τις προφορικές επεξηγήσεις, καταγράφονταν σε βίντεο για περαιτέρω κωδικοποίηση και ανάλυση. Η ανάλυση των δεδομένων έγινε με βάση την πολυμεταβλητή ανάλυση διακύμανσης (MANOVA), το στατιστικό κριτήριο χ^2 και το στατιστικό κριτήριο Paired

Samples t-test.

Τα αποτελέσματα αυτής της μελέτης προτείνουν ότι «οι μαθητές της Δ' και Ε' δημοτικού σχολείου που διδάχθηκαν να σχεδιάζουν πειράματα, διδάχθηκαν εξίσου καλά είτε με τα εικονικά είτε με τα φυσικά υλικά» (Triona and Klahr 2003:170).

Παρόμοια αποτελέσματα βρίσκουν οι ερευνητές (Klahr et al. 2007) σε μια πρόσφατη μελέτη που ερευνούν τη σχετική αποτελεσματικότητα της φυσικής και εικονικής διάστασης. Στην έρευνα συμμετείχαν 56 μαθητές Μέσης Εκπαίδευσης, στην οποία έπρεπε να εντοπίσουν και να συναρμολογήσουν ένα αυτοκίνητο που θα διάνυε την μέγιστη απόσταση. Τα πραγματικά αντικείμενα του αυτοκινήτου εμφανίζονται να είναι τα ίδια και στον υπολογιστή. Τα αντικείμενα είναι τα εξής: μεγάλη – λεπτή ρόδα, μεγάλη- παχιά ρόδα και μικρή ρόδα (μπροστινή και οπίσθια), παχύς και λεπτός άξονας, καθώς επίσης ένα κοντό και ένα μακρύ «αμάξωμα».

Οι μαθητές ορίστηκαν τυχαία σε τέσσερις διαφορετικές καταστάσεις-ομάδες, ανάλογα με το εάν χειρίστηκαν τα φυσικά ή τα εικονικά αντικείμενα, και το εάν θα είχαν έναν σταθερό αριθμό αυτοκινήτων για να κατασκευάσουν ή ένα σταθερό χρονικό διάστημα στο οποίο να έπρεπε να τα κατασκευάσουν. Ειδικότερα, στη φυσική κατάσταση των αντικειμένων, οι μαθητές χρησιμοποίησαν τα πραγματικά αντικείμενα (μέρη) και «έτρεξαν» τα αυτοκίνητα σε ένα διάδρομο στο σχολείο τους, ενώ στον εικονικό όρο των αντικειμένων χρησιμοποίησαν το πρόγραμμα υπολογιστών και «έτρεξαν» τα αυτοκίνητα στην οθόνη του υπολογιστή.

Επίσης, πριν και μετά την συναρμολόγηση των αυτοκινήτων οι μαθητές αξιολογήθηκαν με ένα σχεδόν ίδιο ερωτηματολόγιο αξιολόγησης γνώσης (ερωτήσεις πολλαπλής επιλογής).

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε κατά τη μελέτη αποτελείται από τρεις φάσεις:

- i) Προετοιμασία και προτεστ,
- ii) Συναρμολόγηση και δοκιμή των αυτοκινήτων και
- iii) Μετατεστ και απόσταση αυτοκινήτου.

Πιο συγκεκριμένα, κατά την διάρκεια του προτεστ ο στόχος ήταν να βρουν οι μαθητές ποιος συνδυασμός των μερών του αυτοκινήτου θα οδηγούσε στην κατασκευή ενός αυτοκινήτου που θα διάνυε την μέγιστη απόσταση. Στη συνέχεια, αφού οι μαθητές είδαν ένα αυτοκίνητο να συναρμολογείται από τα φυσικά τμήματά του, τους ζητήθηκε να αναφέρουν πώς θα έφτιαχναν τα αυτοκίνητα με τη χρησιμοποίηση των φυσικών αντικειμένων ή με τη χρησιμοποίηση του υπολογιστή.

Στην δεύτερη φάση, λοιπόν, οι μαθητές κατευθύνθηκαν είτε στα φυσικά μέρη των αυτοκινήτων είτε στον υπολογιστή. Πέρα από τις άλλες δραστηριότητες, τους ζητήθηκε, σε περιορισμένο χρόνο, να συναρμολογήσουν και να δοκιμά-

σουν σε 20 λεπτά όσο περισσότερα αυτοκίνητα ήταν δυνατόν. Ταυτόχρονα, τους ζητήθηκε, χωρίς τον περιορισμό του χρόνου, να συναρμολογήσουν και να δοκιμάσουν 6 διαφορετικά αυτοκίνητα.

Στην τρίτη φάση, ενώ οι μαθητές τελείωσαν τον πειραματισμό, τους δόθηκε ένα μετατεστ, υπενθυμίζοντάς τους ότι θα μπορούσαν να χρησιμοποιήσουν όλα τα αποτελέσματα από τα φύλλα δεδομένων για να απαντήσουν σε οποιαδήποτε από τις ερωτήσεις. Με την ολοκλήρωση του μετατεστ, όλα τα παιδιά κλήθηκαν να υλοποιήσουν μία δραστηριότητα (ανοιχτή ερώτηση) και πιο συγκεκριμένα να φτιάξουν ένα φυσικό αυτοκίνητο που πίστευαν ότι θα διάνυε την μεγαλύτερη απόσταση (Klahr et al. 2007:192-193).

Συνοπτικά, τα μέσα συλλογής δεδομένων που χρησιμοποιήσαν οι ερευνητές ήταν το ερωτηματολόγιο αξιολόγησης για τις γνώσεις των μαθητών (πριν και μετά την συναρμολόγηση), οι συνεντεύξεις, τα προτεστ και μετατεστ και μια τελική ανοιχτή ερώτηση – δραστηριότητα. Η ανάλυση των δεδομένων έγινε με την ανάλυση διακύμανσης (ANOVA) και το στατιστικό κριτήριο χ^2 .

Σε μια άλλη έρευνα οι Keller et al. (2005) συνέκριναν την απόδοση των φοιτητών χρησιμοποιώντας είτε μια διαδραστική προσομοίωση (Circuit Construction Kit, CCK) είτε τον πραγματικό εργαστηριακό εξοπλισμό σχετικά με την κατανόηση των κυκλωμάτων συνεχούς τάσης. Η προσομοίωση διαθέτει εικονικό εξοπλισμό, όπως μπαταρίες, καλώδια, αντιστάσεις, λαμπτήρες, διακόπτες, αμπερόμετρο και βολτόμετρο, ο οποίος είναι ίδιος με τον πραγματικό εξοπλισμό. Ακόμη, η προσομοίωση δοκιμάστηκε από την ομάδα Physics Education Technology (PhET) στο Πανεπιστήμιο του Colorado.

Η έρευνα υλοποιήθηκε σε 364 φοιτητές τριτοβάθμιας εκπαίδευσης. Οι φοιτητές χωρίστηκαν σε δυο ομάδες. Στην πειραματική ομάδα (N=184 φοιτητές) που χρησιμοποίησε την προσομοίωση και στην ομάδα ελέγχου (N=180 φοιτητές) που χρησιμοποίησε τον πραγματικό εξοπλισμό.

Ως μέσο συλλογής δεδομένων χρησιμοποιήθηκε ο διαγωνισμός Brief Electricity and Magnetism Assessment (BEMA), ο οποίος περιείχε 31 ερωτήσεις πολλαπλής επιλογής. Η αξιολόγηση και η ανάλυση των στοιχείων για την εννοιολογική κατανόηση των φοιτητών έγινε με βάση την βαθμολογία των φοιτητών σε τέσσερις διαγωνισμούς κατά τη διάρκεια εξαμήνου.

Με βάση τα αποτελέσματα διαπιστώθηκε ότι δεν παρατηρήθηκε καμία σημαντική διαρκή ή περιοδική διαφορά στην εννοιολογική κατανόηση μεταξύ των φοιτητών που χρησιμοποιούν είτε μια προσομοίωση υπολογιστών είτε τον πραγματικό εργαστηριακό εξοπλισμό, υποθέτοντας ότι στα κατάλληλα πλαίσια, οι προσομοιώσεις μπορούν να είναι εξίσου παραγωγικές με τον πραγματικό εξοπλισμό.

Σε μια διδακτορική διατριβή (Wilson 2001) ο ερευνητής συνέκρινε, αξιοποιώντας φοιτητές τριτοβάθμιας εκπαίδευσης, την εργαστηριακή προσομοίωση με την παραδοσιακή πρακτική εργαστηριακή διδασκαλία στην ενότητα της δυνα-

μικής των ρευστών. Σε αυτήν τη διατριβή συμμετείχαν τέσσερα τμήματα, της ίδιας σειράς μαθημάτων κολεγίων, με συνολικά 70 φοιτητές. Μετά από την ίδια διάλεξη στον ίδιο χρόνο, οι φοιτητές χωρίστηκαν τυχαία σε δύο ομάδες επεξεργασίας. Η ομάδα Β ολοκλήρωσε τις πρώτες δύο εργαστηριακές αναθέσεις χρησιμοποιώντας τους παραδοσιακούς τρόπους διδασκαλίας δυναμικής των ρευστών, ενώ η ομάδα Α ολοκλήρωσε τις πρώτες δύο εργαστηριακές αναθέσεις χρησιμοποιώντας το αυτοματοποιημένο πρόγραμμα προσομοίωσης δυναμικής των ρευστών.

Ο ερευνητής για να καθορίσει την σχέση των δύο μεθόδων χρησιμοποίησε ως μέσα συλλογής δεδομένων ένα γνωστικό γραπτό όργανο (τεστ) και ένα ψυχοκινητικό όργανο επίδοσης (ψυχομετρικό τεστ). Όταν ολοκληρώθηκε η σειρά μαθημάτων, χορηγήθηκε η δοκιμασία Group Embedded Figures Test (ή GEFT) σε όλους τους φοιτητές για να καθοριστούν οι μορφές της γνωστικής μάθησης για κάθε θέμα. Για την ανάλυση των δεδομένων χρησιμοποιήθηκε το t - test.

Από τα συμπεράσματα της διατριβής προκύπτει ότι μπορούν να επιτευχθούν παρόμοια αποτελέσματα σε μια ψυχοκινητική αξιολόγηση απόδοσης (ψυχομετρικό τεστ) εάν η διδασκαλία γίνεται είτε με ένα αυτοματοποιημένο πρόγραμμα προσομοίωσης είτε με έναν παραδοσιακό εκπαιδευτή για να διδάξει τα βασικά στοιχεία κυκλώματος δυναμικής των ρευστών.

Σε μια άλλη διδακτορική διατριβή (Arshadi 1992) σχεδιάστηκε μια μελέτη με σκοπό να συγκρίνει και να αξιολογήσει την αποτελεσματικότητα της προσομοίωσης της εργαστηριακής εκπαίδευσης με ηλεκτρονικό υπολογιστή με την παραδοσιακή εργαστηριακή διδασκαλία (χρησιμοποιώντας πραγματικούς παράγοντες ηλεκτρονικής) για την εκπαίδευση φοιτητών πάνω στα ηλεκτρονικά κυκλώματα στερεάς κατάστασης. Στο πείραμα αυτής της μελέτης σχεδιάστηκε και χρησιμοποιήθηκε μια ομάδα ελέγχου πριν και μετά τη δοκιμασία. Ο ερευνητής ανέθεσε τυχαία θέματα σε συγκεκριμένες ομάδες και πιο συγκεκριμένα στην πειραματική ομάδα (χρησιμοποίησε την προσομοίωση) και στην ομάδα ελέγχου (χρησιμοποίησε την παραδοσιακή εργαστηριακή διδασκαλία). Στους φοιτητές δόθηκαν προτεστ και μετατεστ για τη συλλογή δεδομένων. Τέλος, τα ευρήματα δεν έδειξαν σημαντική διαφορά μεταξύ της διδασκαλίας με προσομοίωση και της παραδοσιακής μεθόδου διδασκαλίας.

ii) Έρευνες στις οποίες τα εικονικά πειράματα είναι αποτελεσματικότερα σε σχέση με τα πραγματικά πειράματα στη διδασκαλία της Φυσικής:

Στη δεύτερη κατηγορία (ii), οι Jaakkola και Nurmi (2004) πραγματοποίησαν μια πειραματική μελέτη που εξέτασε αν η προσομοίωση σε συνδυασμό με το εργαστήριο μπορούν να συμβάλλουν ώστε μαθητές δημοτικών σχολείων να κατανοήσουν τα απλά κυκλώματα συνεχούς τάσης σε σχέση με τους μαθητές (συνολικά 66 μαθητές), οι οποίοι χρησιμοποιούν προσομοιώσεις ή δουλεύουν με παραδοσιακές μεθόδους πειραμάτων. Παράλληλα, πραγματοποιήθηκε σύ-

γκριση της απόδοσης των μαθητών μεταξύ της ομάδας που χρησιμοποίησε την προσομοίωση (The Electricity Exploration Tool) και της ομάδας που χρησιμοποίησε τα πραγματικά κυκλώματα με τις μπαταρίες, τις λάμπες, τα καλώδια και τους διακόπτες, και μετρημένο ρεύμα με ένα πολύμετρο (εργαστηριακή ομάδα). Στην αρχή της μελέτης, δόθηκε στους μαθητές προτεστ, στο οποίο κλήθηκαν να συμπληρώσουν τα ερωτηματολόγια ηλεκτρισμού και τα τεστ του Raven (Raven 1958). Η βαθμολογία για τα τεστ του Raven ήταν 0 για τη λάθος απάντηση και 0,5 - 1 για τη σωστή απάντηση.

Με βάση τα αποτελέσματα του προτεστ, οι μαθητές αντιστοιχίστηκαν σε τρεις διαφορετικές καταστάσεις - ομάδες: 1) στην εργαστηριακή ομάδα ($n = 24$ μαθητές), όπου οι μαθητές δημιούργησαν τα πραγματικά κυκλώματα με πραγματικά αντικείμενα.

2) στην ομάδα προσομοίωσης ($n = 20$ μαθητές).

3) στη μικτή ομάδα ($n = 22$ μαθητές), όπου οι μαθητές χρησιμοποίησαν το εργαλείο προσομοίωσης και τα πραγματικά κυκλώματα.

Στην μελέτη αυτή έγιναν τρεις διαφορετικές συγκρίσεις μεταξύ των ομάδων, μία εκ των οποίων ήταν η σύγκριση της ομάδας προσομοίωσης με την εργαστηριακή ομάδα.

Σε κάθε κατάσταση - ομάδα οι μαθητές διαιρέθηκαν σε δύο υποομάδες (10-12 μαθητές σε κάθε υποομάδα). Σε αυτές τις υποομάδες οι μαθητές εργάζονταν ανά ζευγάρια. Ο ίδιος δάσκαλος δίδασκε κάθε ομάδα. Τα ζευγάρια σε κάθε κατάσταση έλαβαν ακριβώς την ίδια οδηγία.

Μια ημέρα μετά από τις δραστηριότητες χορηγήθηκε το μετατεστ. Περιλάμβανε τα ίδια τέσσερα τμήματα με το προτεστ, αλλά είχε τέσσερα πρόσθετα τμήματα με δυσκολότερες ερωτήσεις. Όλες οι ερωτήσεις στο τεστ είχαν ως σκοπό να είναι εξίσου δίκαιες για κάθε κατάσταση - ομάδα. Επίσης, αν και οι μαθητές εργάστηκαν ανά ζευγάρια, ολοκλήρωσαν όλα τα τεστ χωριστά.

Η ανάλυση των δεδομένων έγινε με την ανάλυση διακύμανσης (ANOVA) για το προτεστ και για το μετατεστ με την μέθοδο της ανάλυσης περιεχομένου και με την ανάλυση συνδιακύμανσης (ANCOVA). Και για το προτεστ και το μετατεστ χρησιμοποιήθηκε ο έλεγχος του McNemar (McNemar test). Σύμφωνα με τα αποτελέσματα αυτής της μελέτης η προσομοίωση κατάφερε να βελτιώσει τα αποτελέσματα της μάθησης σε σχέση με την εργαστηριακή δουλειά (Jaakkola and Nurmi 2004:7).

Σε μια άλλη μελέτη ο ερευνητής (Keller 2004) εξέτασε το πώς μία ιδιαίτερη προσομοίωση υπολογιστών, γνωστή ως Circuit Construction Kit, CCK (εξετάστηκε και από τους Keller et al. 2005), είχε επιπτώσεις στην κατανόηση των ηλεκτρικών κυκλωμάτων σε φοιτητές Φυσικής, έναντι των συμφοιτητών τους που χρησιμοποίησαν τον πραγματικό εξοπλισμό. Οι 1120 φοιτητές χωρίστηκαν στην πειραματική ομάδα και στην ομάδα ελέγχου.

Αρχικά, στην μελέτη αυτή διερευνήθηκε αν οι φοιτητές τόσο της πειραματι-

κής ομάδας όσο και της ομάδας ελέγχου έχουν το ίδιο επίπεδο κατανόησης των συνεχών κυκλωμάτων, πριν από οποιαδήποτε παρέμβαση. Έτσι, πριν οι φοιτητές λάβουν οδηγίες, δόθηκε σε όλη την τάξη ένα προτεστ, το ερωτηματολόγιο πολλαπλής επιλογής Brief Electricity and Magnetism Assessment (BEMA), το οποίο περιέχει 31 ερωτήσεις πολλαπλής επιλογής για διάφορα θέματα, από τις οποίες 6 είναι σχετικές με τα συνεχή κυκλώματα. Μετά από στατιστική ανάλυση βρέθηκε ότι δεν υπάρχει καμία στατιστική διαφορά μεταξύ των δυο ομάδων σε όλες τις ερωτήσεις.

Μετά από τέσσερις εβδομάδες έγινε ένας διαγωνισμός BEMA που περιείχε 15 ερωτήσεις πολλαπλής επιλογής και 2 ανοικτές ερωτήσεις. Η ανάλυση των δεδομένων έγινε με τον έλεγχο Fischer (Fischer test).

Με βάση τα αποτελέσματα διαπιστώθηκε ότι οι φοιτητές που χρησιμοποίησαν προσομοίωση υπολογιστών απέδωσαν καλύτερα στην απάντηση των ερωτήσεων πολλαπλής επιλογής του διαγωνισμού Brief Electricity and Magnetism Assessment (BEMA), σε σχέση με τους φοιτητές παρόμοιου επιπέδου που χρησιμοποίησαν μόνο τον πραγματικό εργαστηριακό εξοπλισμό.

Παρόμοια αποτελέσματα βρήκαν άλλοι ερευνητές (Finkelstein et al. 2005) που εξέτασαν τα αποτελέσματα της αντικατάστασης μιας προσομοίωσης υπολογιστών με τον πραγματικό εργαστηριακό εξοπλισμό (πραγματικοί ηλεκτρικοί λαμπτήρες, μετρητές και καλώδια) στο δεύτερο εξάμηνο μιας μεγάλης κλίμακας εισαγωγικής σειράς μαθημάτων φυσικής. Στην έρευνα αυτή συμμετείχαν 231 φοιτητές Τριτοβάθμιας Εκπαίδευσης. Συγκρίθηκαν, λοιπόν, δύο ομάδες φοιτητών. Πιο συγκεκριμένα, η μια ομάδα ήταν αυτή που χρησιμοποίησε τον πραγματικό εξοπλισμό (TRAD, traditional conditions) και αποτελούνταν από 132 φοιτητές και η άλλη ομάδα ήταν αυτή που χρησιμοποίησε την προσομοίωση υπολογιστών (CCK, Circuit Construction Kit) και αποτελούνταν από 99 φοιτητές.

Όσον αφορά την διαδικασία – μέθοδο - που ακολουθήθηκε πρέπει να σημειώσουμε ότι το εργαστήριο συνεχών κυκλωμάτων ήταν σχεδόν ίδιο για τις δύο ομάδες. Η γραπτή εισαγωγή στο φυσικό εξοπλισμό ήταν η ίδια και για τις δύο ομάδες. Πρόσθετες οδηγίες για τη λειτουργία της προσομοίωσης δόθηκαν στην ομάδα της προσομοίωσης (CCK). Οι φοιτητές εργάζονταν σε ομάδες από δυο έως πέντε άτομα.

Κατά τη διάρκεια της έρευνας συλλέχθηκαν και αναλύθηκαν τα ακόλουθα στοιχεία:

- α) σημειώσεις από την παρατήρηση των συνεδριών.
- β) στοιχεία συγχρονισμού (για παράδειγμα, πόσο χρόνο πήρε στους φοιτητές να δημιουργήσουν ένα κύκλωμα ως ομάδα).
- γ) η επίδοση στην τελική εξέταση για τις τρεις ερωτήσεις στα συνεχή κυκλώματα.

Η ανάλυση των δεδομένων έγινε με βάση την βαθμολογία των φοιτητών στις

ερωτήσεις που τους δόθηκαν. Οι απαντήσεις αξιολογήθηκαν με βάση την αριθμητική κλίμακα μηδέν (0) έως τρία (3). Ειδικότερα, μηδέν (0) έλαβαν οι φοιτητές που οι απαντήσεις τους δεν έδειχναν ορθή επιστημονική γνώση και τρία (3) οι φοιτητές που οι απαντήσεις τους έδειχναν ορθή επιστημονική γνώση.

Σε συνάφεια με την παραπάνω έρευνα (βρέθηκαν τα ίδια αποτελέσματα) οι ερευνητές εξετάζουν, πάλι, τα αποτελέσματα της αντικατάστασης των προσομοιώσεων υπολογιστών (CCK, Circuit Construction Kit) αντί του πραγματικού εργαστηριακού εξοπλισμού στο δεύτερο εξάμηνο μιας εισαγωγικής σειράς μαθημάτων φυσικής (Finkelstein et al. 2004). Η έρευνα αυτή κινείται στο ίδιο μεθοδολογικό και διδακτικό πλαίσιο με την έρευνα των Finkelstein et al. (2005).

Επιπρόσθετα, δύο ερευνητές (Ζαχαρίας και Ευαγόρου 2004) υλοποίησαν μια έρευνα με σκοπό τη σύγκριση της επίδρασης του πειραματισμού μέσω των αλληλεπιδραστικών προσομοιώσεων και του εργαστηριακού πειραματισμού στην εννοιολογική κατανόηση των φοιτητών του δεύτερου κανόνα του Kirchhoff στα ηλεκτρικά κυκλώματα.

Οι συμμετέχοντες στην έρευνα ήταν 88 προπτυχιακοί φοιτητές Παιδαγωγικού Τμήματος. Οι φοιτητές κατανεμήθηκαν σε δυο ισοδύναμες ομάδες, την πειραματική ομάδα (45 φοιτητές) και την ομάδα ελέγχου (43 φοιτητές), με βάση την επίδοσή τους στην ενδιάμεση εξέταση του μαθήματος.

Οι δυο ομάδες της έρευνας χρησιμοποίησαν διαφορετική μέθοδο πειραματισμού. Η ομάδα ελέγχου συναντιόταν στο Εργαστήριο και χρησιμοποιούσε πραγματικά υλικά, ενώ η πειραματική ομάδα εργάστηκε στο Εργαστήριο Ηλεκτρονικών Υπολογιστών για να εκτελέσει τα ίδια πειράματα μέσω του λογισμικού Virtual Labs Electricity, το οποίο επιτρέπει τη δημιουργία αλληλεπιδραστικών προσομοιώσεων.

Ο σχεδιασμός της έρευνας συμπεριλάμβανε τη χρήση του ίδιου διδακτικού υλικού και για τις δυο ομάδες. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκε το Κεφάλαιο 8 από τα ηλεκτρικά κυκλώματα του εγχειριδίου «Φυσική με διερώτηση» (McDermott 1996). Επίσης, ο ερευνητικός σχεδιασμός συμπεριλάμβανε τη χορήγηση διαγνωστικών δοκιμών πριν και μετά τη διδακτική παρέμβαση της κάθε ομάδας. Και στις δυο ομάδες χορηγήθηκαν τα ίδια προπειραματικά και μεταπειραματικά δοκίμια. Το περιεχόμενο των προπειραματικών και μεταπειραματικών δοκιμών ήταν πανομοιότυπο (Ζαχαρίας και Ευαγόρου 2004: 345 - 346).

Για τη συλλογή, λοιπόν, των δεδομένων χρησιμοποιήθηκαν διαγνωστικά δοκίμια τα οποία αναπτύχθηκαν και εγκυροποιήθηκαν από το Physics Education Group του Πανεπιστημίου της Washington.

Τα δεδομένα που συλλέχθηκαν μέσα από τα διαγνωστικά δοκίμια αναλύθηκαν τόσο ποσοτικά όσο και ποιοτικά. Αρχικά όλα τα δοκίμια βαθμολογήθηκαν από τους δύο ερευνητές με βάση συγκεκριμένα κριτήρια, τα οποία προκαθορίστηκαν. Για σκοπούς εγκυρότητας 25% των δοκιμών βαθμολογήθηκαν από έναν τρίτο ανεξάρτητο ερευνητή (το ποσοστό συμφωνίας ήταν μεγαλύτερο από

90%). Οι βαθμολογίες που προέκυψαν μέσα από τη βαθμολόγηση των προπειραματικών και μεταπειραματικών δοκιμίων καταχωρήθηκαν στο πακέτο στατιστικής ανάλυσης SPSS και αναλύθηκαν με βάση τα στατιστικά κριτήρια Independent Samples t-test και Paired Samples t-test.

Από τα αποτελέσματα προκύπτει ότι η σύγκριση ανάμεσα στον πειραματισμό μέσω των αλληλεπιδραστικών προσομοιώσεων και τον εργαστηριακό πειραματισμό φανέρωσε πως η πρώτη μέθοδος πειραματισμού αποδεικνύεται αποτελεσματικότερη από τη δεύτερη ως προς την επίτευξη εννοιολογικής αλλαγής.

Παράλληλα, σε μια πρόσφατη έρευνα (Zacharia 2007) μολονότι ο αρχικός σκοπός ήταν να ερευνηθεί η αξία του συνδυασμού του πραγματικού πειραματισμού με τον εικονικό πειραματισμό όσον αφορά στις αλλαγές στην εννοιολογική κατανόηση των φοιτητών για τα ηλεκτρικά κυκλώματα, ερευνήθηκαν και οι διαφορές στην απόδοση μεταξύ εκείνων των φοιτητών που χρησιμοποίησαν τον πραγματικό πειραματισμό και εκείνων που χρησιμοποίησαν τον εικονικό πειραματισμό.

Οι συμμετέχοντες σε αυτή την έρευνα ήταν 88 προπτυχιακοί φοιτητές Τριτοβάθμιας Εκπαίδευσης που παρακολουθούσαν μια σειρά μαθημάτων Φυσικής για δασκάλους δημοτικών σχολείων. Οι φοιτητές ορίστηκαν τυχαία σε μια πειραματική ομάδα (N= 45) και μια ομάδα ελέγχου (N= 43).

Οι συμμετέχοντες στην ομάδα ελέγχου χρησιμοποίησαν τον Πραγματικό πειραματισμό για να πραγματοποιήσουν τα πειράματα της μελέτης, ενώ οι συμμετέχοντες στην πειραματική ομάδα χρησιμοποίησαν στα δυο πρώτα μέρη της μελέτης τον συνδυασμό του Πραγματικού και του εικονικού πειραματισμού και στο τρίτο (τελευταίο) μέρος τον εικονικό πειραματισμό.

Ο πραγματικός πειραματισμός περιλάμβανε τη χρήση των πραγματικών συσκευών και αντικειμένων σε ένα συμβατικό εργαστήριο φυσικής, ενώ ο εικονικός πειραματισμός περιλάμβανε τη χρήση εικονικών συσκευών και αντικειμένων για να πραγματοποιηθούν τα πειράματα της μελέτης σ' έναν υπολογιστή. Σ' αυτή την έρευνα, το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε ήταν το Virtual Laboratories Electricity (Riverdeep Interactive Learning 2003). Το λογισμικό αυτό είναι ένα ανοικτό περιβάλλον στο οποίο οι φοιτητές μπορούν να σχεδιάσουν και να δοκιμάσουν ηλεκτρικά κυκλώματα χρησιμοποιώντας τα ίδια τμήματα των κυκλωμάτων όπως χρησιμοποιούνται από τους φοιτητές της ομάδας ελέγχου.

Όσον αφορά την διδακτική προσέγγιση, πρέπει να υπογραμμίσουμε ότι και οι δύο ομάδες χρησιμοποίησαν την ίδια εκπαιδευτική οδηγία (μέθοδο έρευνας) και το ίδιο πρόγραμμα σπουδών αναφορικά με τα ηλεκτρικά κυκλώματα, το οποίο στηρίζεται στο ερευνητικό πρόγραμμα «Φυσική με διερώτηση» (McDermott and The Physics Education Group 1996). Σύμφωνα με αυτό το πρόγραμμα, οι φοιτητές και στις δυο ομάδες ορίστηκαν τυχαία σε υποομάδες των τριών.

Για την συλλογή των δεδομένων διανεμήθηκαν εννοιολογικά τεστ και στις δυο ομάδες, με στόχο την αξιολόγηση των φοιτητών στην εννοιολογική κατανόηση

των ηλεκτρικών κυκλωμάτων, πριν από την διδακτική παρέμβαση, κατά τη διάρκεια της και μετά την υλοποίησή της. Αυτά περιείχαν ανοικτές ερωτήσεις που απαιτούσαν από τους φοιτητές να εξηγήσουν τους συλλογισμούς τους. Το υλικό που περιλαμβάνονταν στα εννοιολογικά τεστ αναπτύχθηκε και χρησιμοποιήθηκε σε προηγούμενες ερευνητικές μελέτες από την ερευνητική ομάδα Φυσικής του Πανεπιστημίου της Ουάσιγκτον (McDermott and Shaffer 1992).

Για το τρίτο (τελευταίο) μέρος του προγράμματος που έγινε η σύγκριση ανάμεσα στον Πραγματικό και Εικονικό Πειραματισμό η ανάλυση δεδομένων έγινε ποιοτικά και ποσοτικά. Η ποσοτική ανάλυση έγινε με βάση την ανάλυση συνδιακύμανσης μίας (ή μονής) κατεύθυνσης (one-way ANCOVA) και το στατιστικό κριτήριο one sample t-test. Για την ποιοτική ανάλυση χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της φαινομενογραφίας.

Στα συμπεράσματα της έρευνας αναφέρεται χαρακτηριστικά ότι «από μια περαιτέρω ανάλυση σ' εκείνο το μέρος του προγράμματος σπουδών στο οποίο η πειραματική ομάδα χρησιμοποίησε τον εικονικό πειραματισμό και η ομάδα ελέγχου τον πραγματικό πειραματισμό προέκυψε ότι οι διαφορές μεταξύ των δυο ομάδων ήταν υπέρ του εικονικού πειραματισμού» (Zacharia 2007:10).

Τα ίδια αποτελέσματα βρήκαν και οι Gandole et al. (2006) που πραγματοποίησαν μια σύγκριση της συμπεριφοράς των προπτυχιακών φοιτητών ηλεκτρονικής επιστήμης μεταξύ της υποστηρίξις λογισμικού ηλεκτρονικού υπολογιστή και παραδοσιακής πρακτικής εκπαίδευσης σε περιβάλλον εργαστηρίου. Πιο συγκεκριμένα, σε αυτή τη μελέτη υπήρξαν δύο ομάδες, η πειραματική ομάδα (150 φοιτητές) και η ομάδα ελέγχου (150 φοιτητές). Η πειραματική ομάδα επέλεξε τα πειράματα υποστηριζόμενη από λογισμικό Ηλεκτρονικού Υπολογιστή για επιλεγμένες πρακτικές στην ηλεκτρονική, ενώ η ομάδα ελέγχου μελετήθηκε με την παραδοσιακή μέθοδο (τυπωμένο υλικό και επίδειξη πειραμάτων). Αρχικά δόθηκε στους φοιτητές ένα προτεστ για να βρεθούν τυχόν διαφορές μεταξύ της πειραματικής ομάδας και της ομάδας ελέγχου. Για την ανάλυση των δεδομένων χρησιμοποιήθηκε το t-test. Η ανάλυση έδειξε ότι δεν υπήρξαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των δυο ομάδων. Κατά συνέπεια, οι δυο ομάδες ήταν σχεδόν ισοδύναμες. Τέλος, η συλλογή και η ανάλυση των δεδομένων έγινε με μια κλίμακα στάσεων τύπου Likert.

Σε μια συναφή έρευνα (Zacharia and Anderson 2003) οι συγγραφείς ερευνούν τα αποτελέσματα των διαδραστικών προσομοιώσεων που παρουσιάζονται πριν από τα ερευνητικά εργαστηριακά πειράματα για την εννοιολογική κατανόηση της μηχανικής, της κυματικής οπτικής και της θερμοδυναμικής φυσικής από τους φοιτητές.

Οι συμμετέχοντες σ' αυτήν την έρευνα ήταν 13 μεταπτυχιακοί φοιτητές. Οι φοιτητές ορίστηκαν τυχαία είτε στην πειραματική ομάδα (συνθήκες προσομοίωσης) είτε στην ομάδα ελέγχου (με επιπλέον προβλήματα από εγχειρίδια και με συνθήκες χωρίς προσομοίωση), σ' ένα εναλλασσόμενο σχέδιο με ακολουθία 12

επιμέρους θεμάτων (υποθεμάτων).

Οι προσομοιώσεις επιλέχθηκαν με βάση ορισμένα κριτήρια από το Διαδίκτυο και πιο συγκεκριμένα σχετίζονταν με έννοιες όπως είναι η μάζα ενός σώματος και η βαρύτητα, ο δεύτερος και ο τρίτος Νόμος του Νεύτωνα και γενικά η μηχανική, η κυματική, η οπτική και η θερμοδυναμική. Ταυτόχρονα, τα πειράματα επιλέχθηκαν από δυο βιβλιογραφικές πηγές: i) το εγχειρίδιο της L. C. McDermott (1996), με τίτλο *Physics by Inquiry* και ii) το εγχειρίδιο των L. C. McDermott, Peter S. Shaffer and the Physics Education Group at the University of Washington (2002), με τίτλο *Tutorials in Introductory*. Πρέπει να επισημάνουμε ότι οι δραστηριότητες της έρευνας (δραστηριότητες των προσομοιώσεων και των πειραμάτων) έδιναν έμφαση στις εναλλακτικές ιδέες των φοιτητών.

Η συλλογή των δεδομένων προήλθε από εννοιολογικά τεστ που δόθηκαν στους φοιτητές (είτε συλλέχθηκαν στην τάξη με τη συμπλήρωσή τους από τους φοιτητές είτε συλλέχθηκαν ως φύλλα εργασίας μέσω Διαδικτύου) με στόχο να αξιολογηθεί η εννοιολογική κατανόηση τους αναφορικά με τα επιμέρους θέματα. Η ίδια μορφή του τεστ δόθηκε 3 φορές για κάθε επιμέρους θέμα ως εξής: i) προτεστ πριν την εισαγωγική δραστηριότητα, ii) ενδιάμεσο τεστ (inter-test) μετά την εισαγωγική δραστηριότητα και iii) μετατεστ μετά το πείραμα.

Τα ενδιάμεσα τεστ και τα μετατεστ ομαδοποιήθηκαν βασισμένα στις ομάδες και αναλύθηκαν στατιστικά για να προσδιοριστεί εάν υπήρχαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ της πειραματικής ομάδας και της ομάδας ελέγχου. Τα τεστ βαθμολογήθηκαν με βάση την αριθμητική κλίμακα από το μηδέν (0) έως το εκατό (100). Για την ανάλυση των δεδομένων χρησιμοποιήθηκε το t - test.

Παράλληλα, χρησιμοποιήθηκαν δυο ημι -δομημένες συνεντεύξεις για να ερευνηθούν οι προβλέψεις και οι εξηγήσεις των φοιτητών σχετικά με τα φυσικά φαινόμενα των πειραμάτων. Για την εκτίμηση της ποιότητας των απαντήσεων χρησιμοποιήθηκε μια αριθμητική κλίμακα από το μηδέν (0) έως το δυο (2), στην οποία το μηδέν (0) ήταν η ελάχιστη ακριβής απάντηση, το ένα (1) ήταν η μερικώς ακριβής απάντηση και το δύο (2) ήταν η πιο ακριβής απάντηση. Για την ανάλυση των δεδομένων χρησιμοποιήθηκε το t - test.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η χρήση των προσομοιώσεων βελτίωσε την ικανότητα των φοιτητών να κάνουν αποδεκτές προβλέψεις και εξηγήσεις των φαινομένων στα πειράματα. Επίσης, η χρήση των προσομοιώσεων ενθάρρυνε μια σημαντική εννοιολογική αλλαγή στις περιοχές φυσικής που μελετήθηκαν.

Παρόμοια έρευνα με την παραπάνω υλοποίησε ο Zacharia (2003) στην οποία εξέτασε τα αποτελέσματα των αλληλοεπιδραστικών προσομοιώσεων (ICBS) στη δυνατότητα του φοιτητή να δώσει τις «επιστημονικά αποδεκτές» εξηγήσεις σχετικά με τα φυσικά φαινόμενα στη μηχανική, τα κύματα, την οπτική και την θερμοδυναμική. Η έρευνα αυτή χρησιμοποιεί το ίδιο μεθοδολογικό και διδακτικό πλαίσιο με την παραπάνω, καταλήγοντας στα ίδια αποτελέσματα (Zacharia and Anderson 2003).

Ταυτόχρονα, σε μια άλλη μελέτη (Ronen and Eliahu 1999) διερευνήθηκε η αποτελεσματικότητα της προσομοίωσης στη διδασκαλία της Φυσικής.

Αυτή η πειραματική μελέτη πραγματοποιήθηκε σ' ένα αστικό σχολείο μέσης εκπαίδευσης, όπου οι περισσότεροι εκ των μαθητών είχαν προσωπικούς υπολογιστές (περίπου 75%). Το δείγμα ήταν 71 μαθητές (30 αγόρια και 41 κορίτσια). Όλοι μαθητές είχαν ολοκληρώσει μαθήματα βασικής εκπαίδευσης στους ηλεκτρονικούς υπολογιστές.

Πρέπει να αναφέρουμε ότι χρησιμοποιήθηκε ένα λογισμικό γνωστό ως DC-Kid που σχεδιάστηκε ειδικά για τις δραστηριότητες προσομοίωσης σε ηλεκτρικά κυκλώματα. Το DC-Kid είναι ένα λογισμικό ανοικτού τύπου όπου ο μαθητής μπορεί να φτιάξει και να ενεργοποιήσει μοντέλα οποιουδήποτε συνεχούς κυκλώματος χρησιμοποιώντας μπαταρίες, πηγές, αντιστάσεις, λάμπες, διακόπτες και όργανα μέτρησης.

Τα μέσα συλλογής των δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν ήταν: α) ένα ερωτηματολόγιο συμπληρωμένο από όλους τους μαθητές μετά από το τέλος της μελέτης, β) προσωπικές συνεντεύξεις με έξι μαθητές, γ) συνεντεύξεις με τους δασκάλους πριν από το πείραμα, κατά τη διάρκεια του πειράματος και μετά από το πείραμα και δ) ένας τελικός διαγωνισμός που εστίασε στα ζητήματα που είναι προβληματικά για τους μαθητές και σχετίζονται με την κατανόηση της λειτουργίας των ηλεκτρικών κυκλωμάτων.

Εκτός των παραπάνω, πρέπει να επισημάνουμε ότι προκύπτουν σημαντικά ευρήματα από ένα ανοιχτό ερώτημα που έθεσαν οι ερευνητές στους μαθητές αναφορικά με τις διαφορές μεταξύ της προσομοίωσης και των πραγματικών κυκλωμάτων. Πιο συγκεκριμένα, το ανοιχτό ερώτημα διατυπώθηκε ως εξής: «Περιγράψτε όσες διαφορές μπορείτε μεταξύ της προσομοίωσης και των πραγματικών κυκλωμάτων». Έτσι, σχετικά με τα πλεονεκτήματα των προσομοιώσεων το 35% των μαθητών απάντησε ότι με τη χρήση των προσομοιώσεων δεν προκαλείται καμία ζημιά στα συστατικά στοιχεία των κυκλωμάτων και ότι δεν υπάρχει περιορισμός όπως στο εργαστήριο. Ακόμη, το 52% των μαθητών απάντησε ότι με την προσομοίωση είναι δυνατόν κάποιος να δει τις τιμές χωρίς να χρησιμοποιηθούν όργανα μέτρησης, να κατασκευάσει και να εξετάσει πολλά κυκλώματα με οποιεσδήποτε τιμές και φυσικά να διορθώνει τα λάθη αμέσως. Αντίθετα, όσον αφορά τα μειονεκτήματα των προσομοιώσεων το 6% των μαθητών θεωρεί ότι με την χρήση της προσομοίωσης ασχολούνται μόνο με την εικονική διάσταση, με το μη πραγματικό και το 10% θεωρεί ότι το κύκλωμα φαίνεται διαφορετικό σε σχέση με το πραγματικό.

Ταυτόχρονα, οι ερευνητές υπογραμμίζουν το εξής: «φαίνεται ότι δεν υπάρχει κανένας πραγματικός κίνδυνος ότι οι μαθητές μπορούν να συγχύσουν μια προσομοίωση με την πραγματικότητα» (Ronen and Eliahu 1999:267).

Τα συμπεράσματα, λοιπόν, αυτής της μελέτης αποκαλύπτουν ότι οι περισσότεροι μαθητές τάσσονται υπέρ της χρησιμοποίησης της προσομοίωσης ως οικιακό

μαθησιακό περιβάλλον και το βρίσκουν πιο ενδιαφέρον και αποτελεσματικό από τις άλλες δραστηριότητες εργασίας.

Επιπρόσθετα, δύο άλλοι ερευνητές σε μια βιβλιογραφική τους έρευνα (Wieman and Perkins 2005) εξετάζουν την αποτελεσματικότητα των προσομοιώσεων στη διδασκαλία Φυσικής. Ειδικότερα, αναφέρουν ότι η ερευνητική ομάδα του Πανεπιστημίου του Κολοράντο (Physics Education Technology – Colorado, <http://phet.colorado.edu>.) έχει δημιουργήσει και έχει μελετήσει την αποτελεσματικότητα περίπου 45 προσομοιώσεων και πιο συγκεκριμένα έχει ερευνηθεί η χρήση τους ως εργαστηριακές αντικαταστάσεις με τον πραγματικό εξοπλισμό. Στο συγκεκριμένο άρθρο παρουσιάζεται μια προσομοίωση κατασκευής κυκλωμάτων (Circuit construction kit simulation). Αυτή η προσομοίωση επιτρέπει σε κάποιον να φτιάξει κυκλώματα που περιλαμβάνουν τις αντιστάσεις, τους ηλεκτρικούς λαμπτήρες, τα καλώδια, τις μπαταρίες και τους διακόπτες, μετρητές τάσεων και τα ρεύματα με τους μετρητές (και ακόμα τους ηλεκτρικούς λαμπτήρες αναμμένους).

Στα συμπεράσματά τους οι ερευνητές (Wieman and Perkins 2005:7) αναφέρουν ότι «οι μελέτες έχουν βρει ότι αυτή η προσομοίωση βοηθά τους φοιτητές να καταλάβουν τις βασικές έννοιες του ηλεκτρικού ρεύματος και της τάσης και, όταν αντικαθίσταται από ένα ισοδύναμο εργαστήριο με τα πραγματικά εξαρτήματα, βελτιώνεται τόσο πολύ η μάθηση με αποτέλεσμα οι φοιτητές να μπορούν να φτιάξουν και να εξηγήσουν τα πραγματικά κυκλώματα».

Τέλος, σε ένα άρθρο (Redish 1993α) ο συγγραφέας στον τίτλο θέτει το ερώτημα: «Είναι ο υπολογιστής κατάλληλος για τη διδασκαλία Φυσικής;» και στο τέλος του άρθρου απαντά: «Ναι, ο υπολογιστής μπορεί να βοηθήσει τους φοιτητές να μάθουν τη Φυσική, αλλά όχι σε όλες τις περιπτώσεις και όχι γενικά», προσθέτοντας ότι η κρίσιμη ερώτηση είναι: «Ποια Φυσική θα διδάξουμε και σε ποιους φοιτητές;».

iii) Έρευνες στις οποίες τα πραγματικά πειράματα είναι αποτελεσματικότερα σε σχέση με τα εικονικά πειράματα στη διδασκαλία της Φυσικής:

Πιο συγκεκριμένα, στην τρίτη κατηγορία (iii) εντάσσονται οι Marshall και Young (2006) οι οποίοι υλοποίησαν μια μελέτη σε υποψήφιους καθηγητές θετικών επιστημών με στόχο να εξερευνήσουν τις στάσεις τους σχετικά με τις κρούσεις σωμάτων, χρησιμοποιώντας φυσικά αντικείμενα (μπάλες του χόκεϋ) και προσομοίωση υπολογιστών (λογισμικό Interactive Physics).

Σε αυτή την έρευνα οι φοιτητές εργάζονταν σε ατομικές ομάδες των τριών. Σε κάθε ομάδα ένας φοιτητής ορίστηκε ως ο «σχεδιαστής του πειράματος» που αποφάσιζε τι πειράματα θα εκτελεστούν, ο άλλος ως ο «χειριστής» που θα πραγματοποιούσε τα πειράματα και τις συνδέσεις με τον εξοπλισμό και ο τρίτος ως ο «γραμματέας» που θα κατέγραφε τα αποτελέσματα. Αυτοί οι ρόλοι εναλλάσσονταν κατά διαστήματα στην διάρκεια της δραστηριότητας.

Πρέπει να αναφερθεί ότι αυτή η έρευνα εστίασε σε τρεις φοιτητές που εργάζονταν σε μια ομάδα. Αυτό έγινε διότι: α) αυτή η ομάδα ήταν ένα «βολικό» δείγμα που επιλέχθηκε τυχαία με βάση τους περιορισμούς που προέκυψαν από τη βιντεοσκοπήση (δεν έδωσαν όλοι οι φοιτητές άδεια για να βιντεοσκοπηθούν) και β) η πληθώρα των πληροφοριών που προέκυπτε από την καταγραφή των δραστηριοτήτων των μελών μιας ομάδας απαγόρευσε την καταγραφή παραπάνω από μιας ομάδας. Ταυτόχρονα, επισημαίνεται από τους ερευνητές ότι ένας περιορισμός της έρευνας είναι ότι αυτή η ομάδα δεν είναι αντιπροσωπευτική. Ωστόσο υπογραμμίζουν ότι «δεν υπάρχει κανένας λόγος που να πιστεύουμε ότι οι φοιτητές αυτής της ομάδας δεν έχουν τα ίδια χαρακτηριστικά όπως οι άλλοι που φοιτούν στο ίδιο Πανεπιστημιακό τμήμα» (Marshall and Young 2006:912).

Οι δραστηριότητες της έρευνας ξεκίνησαν με συζήτηση με όλη την τάξη για τις κρούσεις. Στη συνέχεια, δόθηκε στους φοιτητές μια δραστηριότητα για το σπίτι ζητώντας τους να παρακολουθήσουν μια βιντεοταινία μιας τάξης Λυκείου που πραγματοποιεί την ίδια δραστηριότητα και να καταγράψουν τους συλλογισμούς των δικών τους εμπειριών καθώς και των μαθητών του Λυκείου.

Στην επόμενη φάση, η τάξη εργάστηκε σε μικρές ομάδες, χρησιμοποιώντας φυσικά αντικείμενα και μετά το λογισμικό Interactive Physics. Τα φυσικά αντικείμενα ήταν μπάλες του χόκεϋ που γλιστρούσαν σε ένα κηρωμένο πάγκο εργαστηρίου ή στο πάτωμα. Όσον αφορά την προσομοίωση δόθηκε η δυνατότητα φοιτητές να έχουν πρόσβαση στο λογισμικό Interactive Physics και σε έναν συνοπτικό οδηγό λειτουργίας του, καθώς επίσης τους δόθηκε ένα φύλλο εργασίας για να καταγράφουν τις παραμέτρους και τα αποτελέσματα των πειραμάτων που πραγματοποίησαν. Επιπλέον, όσον αφορά την χρήση του λογισμικού πρέπει να σημειωθεί ότι κατά την εκτέλεση μιας δραστηριότητας (π.χ. μιας ανελαστικής κρούσης) τις παραμέτρους για τη δημιουργία της προσομοίωσης (μάζες, ταχύτητες, κατεύθυνση) έπρεπε να τις ρυθμίζουν οι φοιτητές. Τέλος, χορηγήθηκε μέσα στην τάξη ένα μετατεστ.

Όσον αφορά τη συλλογή και την ανάλυση των δεδομένων πρέπει να αναφερθεί ότι βιντεοσκοπήθηκε ολόκληρη η συζήτηση μέσα στην τάξη σχετικά με τη δραστηριότητα και ειδικότερα η ομάδα – στόχος των τριών φοιτητών που εργάζονταν μαζί. Ακόμη, απομαγνητοφωνήθηκαν οι διάλογοι, κωδικοποιήθηκαν όλες οι δηλώσεις των μελών της ομάδας και αναλύθηκαν με βάση το μοντέλο «θεωρίες της δράσης» («theories-in-action») των ερευνητών Karmiloff-Smith και Inhelder (1975). Επιπλέον, ένας τρίτος ερευνητής κωδικοποίησε και αυτός τα δεδομένα και συμφώνησε με τους ερευνητές.

Οι ερευνητές στα συμπεράσματα τους αναφέρουν ορισμένα αρνητικά σημεία της αποτελεσματικότητας της προσομοίωσης σε σχέση με τα πραγματικά αντικείμενα. Πιο συγκεκριμένα:

α) Διαπίστωσαν ότι η ομάδα που μελετήθηκε κατανάλωσε δυο φορές περισσότερο χρόνο όταν χρησιμοποίησε την προσομοίωση σε σχέση με τα πραγματι-

κά αντικείμενα.

β) Βρήκαν ότι τα περιβάλλοντα προσομοίωσης δεν ανταποκρίνονται απαραίτητα στην προσδοκία ότι θα επιτρέψουν στους χρήστες να μεταβάλλουν τις παραμέτρους, να λάβουν μετρήσεις, και να επιδείξουν τα αποτελέσματα γρηγορότερα, ευκολότερα και ακριβέστερα σε σχέση με αυτά που θα μπορούσαν να επιτύχουν με τα φυσικά πειράματα.

γ) Διαπίστωσαν ότι οι φοιτητές είχαν τη δυσκολία στη χρήση αυτού του συστήματος προσομοίωσης, παρά τη γενική ικανότητά τους και τον ενθουσιασμό που επέδειξαν στη λειτουργία των υπολογιστών.

δ) Παρατήρησαν ότι η προσομοίωση λειτούργησε ως ένα εργαλείο που εφιστά όλη την προσοχή επάνω του και μακριά από το στόχο της εξερεύνησης.

ε) Οι ερευνητές αναφέρουν χαρακτηριστικά ότι «ο υπολογιστής θα μπορούσε να έχει βοηθήσει δυο μέλη της ομάδας σχετικά με την ορμή των σωμάτων στις κρούσεις, αλλά η δυσκολία στη πραγματοποίηση της προσομοίωσης το απέκλεισε» (Marshall and Young 2006:934).

στ) Διαπίστωσαν ότι «η θεώρηση του υπολογιστή ως αλάνθαστη πηγή πληροφοριών (πρότυπο) οδήγησε σε προβλήματα όταν δεν ανταποκρινόταν στις προσδοκίες των φοιτητών.

Πιο συγκεκριμένα, ένα μέλος της ομάδας θεωρούσε τον υπολογιστή ως μια αλάνθαστη πηγή πληροφοριών. Όταν τον «πρόδωσε», ορκίστηκε να μη τον χρησιμοποιήσει ποτέ στην τάξη του» (Marshall and Young 2006:934).

Τέλος, στα συμπεράσματα προκύπτει ότι η προσομοίωση υπολογιστών προκαλεί προβλήματα στους φοιτητές όσον αφορά στην κατανόηση των κρούσεων και οι ερευνητές επισημαίνουν χαρακτηριστικά ότι «οι καλύτερες πρακτικές θα περιλάμβαναν πρώτα τη χρήση των φυσικών αντικειμένων, για να παρακινήσουν την ανάγκη για τις κατάλληλες προϋποθέσεις του προσομοιωμένου περιβάλλοντος, και να προωθήσουν την αποδοχή των περιορισμών του» (Marshall and Young 2006:935).

Να σημειώσουμε ακόμη ότι ο σκοπός μιας άλλης έρευνας (Park 1993) ήταν να καθοριστεί εάν η χρήση των προσομοιώσεων υπολογιστών είχε οποιαδήποτε επιρροή στο χρόνο που πήρε τους μαθητές για να ανταποκριθούν σε ένα δεδομένο θέμα. Οι συμμετέχοντες σε αυτήν τη μελέτη ήταν μαθητές τετάρτης τάξης δημοτικού σχολείου που χωρίστηκαν σε τέσσερις ομάδες. Τους δόθηκε ένας στόχος λήψης αποφάσεων που απαιτούσε είτε χειρισμό αντικειμένων στην πράξη είτε προσομοίωση αντικειμένων στον υπολογιστή.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι στους μαθητές πήρε περισσότερο (χρόνο) για να ολοκληρώσουν μια υποχρέωση όταν έπρεπε να την χειριστούν χρησιμοποιώντας την προσομοίωση υπολογιστών.

Ο Steinberg (2003) σε μια έρευνα του διερεύνησε με ποια μέθοδο πειραματισμού οι φοιτητές διαφορετικών τμημάτων Φυσικής πραγματοποιούν αποτελεσματικότερα το ίδιο πείραμα, αναφορικά με την κίνηση των σωμάτων (απόστα-

ση, ταχύτητα, επιτάχυνση). Η μια μέθοδος πειραματισμού που χρησιμοποιήσε ήταν οι μικροϋπολογιστές (microcomputer-based laboratories, MBL) και οι αισθητήρες κίνησης και η άλλη μέθοδος ήταν ο πραγματικός εξοπλισμός (χάρακας για μέτρηση αποστάσεων και μπάλες).

Στην έρευνα συμμετείχαν 323 φοιτητές από έξι διαφορετικά τμήματα Φυσικής. Τα τέσσερα τμήματα χρησιμοποίησαν πραγματικό εξοπλισμό (139 φοιτητές) και τα άλλα δυο χρησιμοποίησαν τους μικροϋπολογιστές και τους αισθητήρες κίνησης (184 φοιτητές).

Για τη συλλογή των δεδομένων πραγματοποιήθηκαν συνεντεύξεις στα έξι τμήματα (με δείγμα φοιτητών από κάθε τμήμα).

Όσον αφορά τα αποτελέσματα της έρευνας ο Steinberg (2003) επισημαίνει το γεγονός ότι επειδή υπάρχουν διαφορετικοί πληθυσμοί είναι πολύ δύσκολο να γίνουν λεπτομερείς συγκρίσεις. Ωστόσο, αναφέρει χαρακτηριστικά ότι «τα τμήματα των φοιτητών που χρησιμοποίησαν τα πραγματικά αντικείμενα φάνηκαν να ξεπερνούν τα τμήματα που χρησιμοποίησαν το Εργαστήριο Μικροϋπολογιστών σχετικά με την εννοιολογική κατανόηση της κίνησης» (Steinberg 2003:200).

Τέλος, στα συμπεράσματα της έρευνας του τονίζει ότι «με την χρησιμοποίηση μικροϋπολογιστών στα εργαστήρια η δυνατότητα αυτών των φοιτητών να ερμηνεύσουν τα πραγματικά φυσικά στοιχεία μπορεί να γίνει αδύναμη μετά από την διδασκαλία. Για παράδειγμα, όταν ο μικροϋπολογιστής είναι αρμόδιος για το σύνολο της συλλογής και επεξεργασίας δεδομένων, οι φοιτητές μπορούν να αφηθούν χωρίς να ερμηνεύσουν την πειραματική αβεβαιότητα» (Steinberg 2003:202-203).

Ταυτόχρονα, ορισμένοι ερευνητές (Li et al. 2006) σε πρόσφατο άρθρο (στην εισαγωγή) τους ασκούν κριτική στην αποτελεσματικότητα των προσομοιώσεων και πιο συγκεκριμένα σημειώνουν ότι «μολονότι οι προσομοιώσεις έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως για να διευκολύνουν την εννοιολογική αλλαγή στην μάθηση της επιστήμης, τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η σημαντική διαφορά ή το χάσμα μεταξύ των προγενέστερων αντιλήψεων των μαθητών και των επιστημονικών αντιλήψεων υπάρχει ακόμα».

Οι ίδιοι αναφέρουν ότι «παρότι οι προσομοιώσεις σε υπολογιστή χρησιμοποιούνται συχνά για να προσφέρουν ευκαιρίες στους φοιτητές να ερευνήσουν τα επιστημονικά πρότυπα, δεν τους δίνουν το χρονικό διάστημα για να ερευνήσουν τις ιδέες τους, και δεν μπορούν έτσι να εξετάσουν αποτελεσματικά την πρόκληση των εναλλακτικών ιδεών τους» (Li et al. 2006:406).

iv) Έρευνες στις οποίες δεν δίνονται οριστικές απαντήσεις για το αν τα πραγματικά πειράματα είναι αποτελεσματικότερα σε σχέση με τα εικονικά πειράματα στη διδασκαλία της Φυσικής:

Πιο αναλυτικά στην τέταρτη κατηγορία (iv) οι Rosenquist et al. (2000) υλοποιή-

ησαν μια έρευνα με σκοπό να αξιολογηθεί η απόδοση των μαθητών σχετικά με την ανταλλαξιμότητα των εμπράγματων και προσομοιούμενων (χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή) δραστηριοτήτων για τη γνωστική περιοχή των ηλεκτρικών κυκλωμάτων και ειδικότερα των δραστηριοτήτων (φύλλο εργασιών) με τίτλο: «Ηλεκτρικά μυστήρια» (αναφέρονται και από τον Baxter 1995).

Πρωταρχικά, σε αυτή την έρευνα εξετάστηκαν 40 μαθητές γυμνασίου σε δυο τάξεις Φυσικής που είχαν ολοκληρώσει μια ενότητα στον ηλεκτρισμό. Ένας τυχαίος αριθμός (κατά το ήμισυ) εκτέλεσε πρώτα την εμπράγματη έκδοση των «Ηλεκτρικών Μυστηρίων» και περίπου δύο εβδομάδες αργότερα ο άλλος μισός αριθμός ατόμων εκτέλεσε την προσομοίωση υπολογιστών. Η αλληλουχία της κάθε μεθόδου ισορροπήθηκε για τις δύο τάξεις.

Στη συνέχεια η έρευνα έγινε και σε 56 μαθητές πέμπτης και έκτης Δημοτικού Σχολείου στην περιοχή της Αριζόνα. Σε αυτή την περίπτωση οι μαθητές εξετάστηκαν και στις δυο μεθόδους πειραματισμού (που χωρίζονται μεταξύ τους από ένα μήνα).

Η συλλογή των δεδομένων προήλθε από δύο φύλλα αξιολόγησης που χορηγήθηκαν στους μαθητές. Βέβαια, είναι αναγκαίο να επισημάνουμε ότι τα φύλλα αξιολόγησης ήταν ίδια τόσο για την εμπράγματη δραστηριότητα όσο και για τη δραστηριότητα με υπολογιστή.

Ειδικότερα, το πρώτο φύλλο αξιολόγησης περιλάμβανε δραστηριότητες σχετικά με το περιεχόμενο κάθε κιβωτίου και το σχεδιασμό κάθε κυκλώματος που υπήρχε σε αυτό. Για τη βαθμολόγηση του πρώτου φύλλου αξιολόγησης χρησιμοποιήθηκε το σύστημα πόντων των Shavelson et al. (1991), το οποίο προαναφέρθηκε παραπάνω στην έρευνα του Baxter (1995).

Στη συνέχεια, στο δεύτερο φύλλο αξιολόγησης (παρόμοιο περίπου με το πρώτο), οι μαθητές έπρεπε για το περιεχόμενο κάθε κιβωτίου να συμπληρώσουν 4 κατηγορίες δραστηριοτήτων, οι οποίες σχετιζόνταν με το περιεχόμενο κάθε κιβωτίου, με τον σχεδιασμό του σωστού κυκλώματος, με την παρατήρηση αναφορικά με την ένταση του φωτός της λάμπας που υπήρχε στο κύκλωμα κάθε κιβωτίου και τέλος με την επεξήγηση από πλευράς των μαθητών αναφορικά με τη σχέση της παρατήρησης που έκαναν και της απάντησης που έδωσαν για το περιεχόμενο κάθε κιβωτίου. Στο δεύτερο φύλλο αξιολόγησης για κάθε κατηγορία η μέγιστη βαθμολογία ήταν δυο πόντοι και κατ' επέκταση οκτώ πόντοι για κάθε κιβώτιο. Για τη συνολική αξιολόγηση η μέγιστη βαθμολογία ήταν 48 πόντοι.

Η ανάλυση των δεδομένων έγινε με την ανάλυση διακύμανσης (ANOVA).

Από τα αποτελέσματα προκύπτει ότι το ερώτημα της ανταλλαξιμότητας των δύο μεθόδων πειραματισμού παραμένει αναπάντητο (Rosenquist et al. 2000).

Άλλο ένα άρθρο (Marshall 2005) περιγράφει μια μελέτη (υπό εξέλιξη) που σχεδιάστηκε με σκοπό να συγκρίνει τα αποτελέσματα της χρήσης φυσικών ή εικονικών αντικειμένων στη μάθηση για το θέμα: «ισορροπία ζυγαριάς», μέσα από τη συνεργασία και την ανακάλυψη.

Πιο συγκεκριμένα, ο ερευνητής ζητά από το μαθητή να προβλέψει και να εξηγήσει την κατεύθυνση κίνησης (είτε αριστερά κάτω, δεξιά κάτω, είτε παραμένοντας στην ισορροπία) μιας κλίμακας ισορροπίας με διαφορετικά βάρη που τοποθετούνται είτε σε μία είτε σε πολλές θέσεις σε κάθε πλευρά του υπομόχλιου.

Οι συμμετέχοντες ολοκλήρωσαν αρχικά ένα προτεστ, το οποίο περιλάμβανε είκοσι επτά θέματα διαφορετικών τύπων σχετικά με την ισορροπία ζυγαριάς.

Στη συνέχεια, ανά ζευγάρια, τους δόθηκαν τριάντα λεπτά για να καθορίσουν τον κανόνα με βάση τον οποίο η ζυγαριά θα ισορροπούσε, θα έγερνε προς τα δεξιά ή προς τα αριστερά. Τα ζευγάρια εργάστηκαν είτε με φυσικές είτε με εικονικές εκδόσεις των ίδιων συσκευών. Ειδικότερα, η φυσική ζυγαριά ισορροπίας κατασκευάστηκε από ξύλο και τα βάρη κατασκευάστηκαν από μεταλλικά κουτιά πλαστικών ταινιών γεμισμένα με μόλυβδο. Η εικονική ζυγαριά κατασκευάστηκε στο πρόγραμμα Macromedia Director, χρησιμοποιώντας τις φωτογραφίες των φυσικών συσκευών.

Οι συμμετέχοντες βιντεοσκοπήθηκαν σε όλη τη τριαντάλεπτη πειραματική φάση της συνεδρίας. Τέλος, συμπλήρωσαν ξεχωριστά ένα μετατεστ, το οποίο περιλάμβανε είκοσι επτά νέα θέματα διαφορετικών τύπων σχετικά με την ισορροπία ζυγαριάς.

Όσον αφορά τα αποτελέσματα αυτής της μελέτης πρέπει να αναφερθεί ότι δεν ανακοινώθηκαν στο παρόν άρθρο.

Ταυτόχρονα, οι Kocijancic και O'Sullivan (2004) πραγματοποίησαν μια μελέτη σε μαθητές Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης με τίτλο: «Πραγματικά ή εικονικά εργαστήρια στη διδασκαλία της επιστήμης; Είναι αυτό πραγματικά ένα δίλημμα;».

Σε αυτή την μελέτη, με τη χρήση του πραγματικού και του εικονικού εργαστηρίου μελετώνται ο ήχος (τα κύματα και η ταχύτητα του) και η κίνηση ενός μικρού αυτοκινήτου σε μια διάσταση (η ταχύτητα και η επιτάχυνση του). Το πραγματικό εργαστήριο περιλαμβάνει πείραμα στον πάγκο εργασίας χρησιμοποιώντας συστήματα καταγραφής δεδομένων, ενώ το εικονικό εργαστήριο περιλαμβάνει τις διαδραστικές προσομοιώσεις και τις κινούμενες εικόνες. Χρησιμοποιούνται τα δυο εργαστήρια (συμπληρώνοντας το ένα το άλλο) από τους μαθητές κατά την διάρκεια των πειραματικών δραστηριοτήτων.

Για τη συλλογή των δεδομένων πραγματοποιήθηκαν οι συνεντεύξεις (συζητήσεις) με τους μαθητές.

Στο τέλος της μελέτης οι ερευνητές σημειώνουν ότι «μπορεί να συναχθεί το συμπέρασμα ότι δεν αποτελεί ερώτηση το εάν είναι καλύτερο να χρησιμοποιηθούν τα πραγματικά πειράματα ή το εικονικό εργαστήριο στη διδασκαλία της επιστήμης δεδομένου ότι και οι δύο προσεγγίσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν με έναν συμπληρωματικό τρόπο για να συμβάλλουν στην αποτελεσματικότερη ενεργή μάθηση» (Kocijancic and O'Sullivan 2004).

Άλλο ένα άρθρο εκθέτει δυο μελέτες, μια προκαταρκτική και μια αναλυτική,

που υλοποιήθηκαν σε ένα μάθημα Στατικού Ηλεκτρισμού στο οποίο συμμετείχαν Φοιτητές Παιδαγωγικών Τμημάτων (Goldberg and Otero 2001).

Στη προκαταρκτική μελέτη μια ομάδα φοιτητών εξετάστηκε σε δυο ώρες αναφορικά με τη κατανόηση του φαινομένου της πόλωσης. Στην αναλυτική μελέτη, που η διάρκεια της ήταν πέντε εβδομάδες, καταγράφηκαν οι προσπάθειες δυο ομάδων φοιτητών να αναπτύξουν εννοιολογικά μοντέλα με τα οποία θα μπορούν να εξηγήσουν μια ποικιλία φαινομένων Στατικού Ηλεκτρισμού.

Οι φοιτητές έκαναν προβλέψεις, πραγματοποίησαν πειράματα χρησιμοποιώντας απλές εργαστηριακές συσκευές (και αντικείμενα) και τις προσομοιώσεις, καθώς επίσης κατέγραψαν τις προβλέψεις, τις παρατηρήσεις και τις εξηγήσεις τους στον υπολογιστή.

Οι προσομοιώσεις για Στατικό Ηλεκτρισμό (και Μαγνητισμό) προέρχονται από το πρόγραμμα «Constructing Physics Understanding Project» (Goldberg, 1997, Hickman et. al. 1999). Τα πραγματικά αντικείμενα είναι το καλαμάκι, το μαλλί, το μεταλλικό κουτί, η κούπα και το χρυσόχαρτο. Ο προσομοιωτής του Στατικού Ηλεκτρισμού παρείχε αντικείμενα (ηλεκτρικά στοιχεία) που συμπεριφέρονταν όμοια με τα αντίστοιχα αντικείμενα του πραγματικού εργαστηρίου, επιτρέποντας στους φοιτητές να κατασκευάσουν ανάλογα πειράματα.

Από τα δεδομένα της προκαταρκτικής μελέτης διαπιστώθηκε ότι οι φοιτητές δεν έδειξαν μεγάλη πρόοδο στην κατανόηση του φαινομένου της πόλωσης όταν εκτελούσαν μόνο τα εργαστηριακά πειράματα. Από τα δεδομένα της αναλυτικής μελέτης φάνηκε ότι στις πρώτες δραστηριότητες η ομάδα όταν πραγματοποίησε τα πειράματα με τον προσομοιωτή ξόδεψε περισσότερο χρόνο σε σχέση με τα πραγματικά πειράματα. Η κατάσταση αντιστράφηκε κατά την διάρκεια των τελευταίων δραστηριοτήτων.

Στα συμπεράσματα οι ερευνητές αναφέρουν ότι «όταν ο προσομοιωτής συνδυάζεται με τα εργαστηριακά πειράματα, οι ρόλοι του εργαστηρίου και του προσομοιωτή φαίνονται να αλλάζουν όσον αφορά την εννοιολογική κατανόηση του Στατικού Ηλεκτρισμού. Στις αρχικές δραστηριότητες ο προσομοιωτής φαίνεται να εξυπηρετεί έναν παραγωγικό ρόλο, ενώ ο εργαστηριακός ρόλος τείνει να είναι επικυρωτικός. Κατά τη διάρκεια του τελευταίου μέρους της μεθόδου, όταν τα εξελισσόμενα πρότυπα των φοιτητών γίνουν πιο αναπτυγμένα, τα εργαστηριακά πειράματα εξυπηρετούν έναν πιο παραγωγικό ρόλο, ενώ οι φοιτητές μπορούν να δουν τα πειράματα προσομοιωτών ως επικυρωτικά».

Με βάση τα συμπεράσματα δεν δίνονται οριστικές απαντήσεις για την αποτελεσματικότητα των εργαστηριακών πειραμάτων και των πειραμάτων προσομοίωσης.

Δε θα πρέπει να παραλειφθεί μια ιδιαίτερος σημαντική συγκριτική βιβλιογραφική επισκόπηση για τα πρακτικά, προσομοιωμένα και εξ' αποστάσεως εργαστήρια (Ma and Nickerson 2006). Σύμφωνα με τους συγγραφείς «τα όρια μεταξύ των τριών εργαστηρίων είναι θολωμένα υπό την έννοια ότι στα περιω-

σότερα εργαστήρια μεσολαβούν οι υπολογιστές, και ότι η ψυχολογία της φυσικής παρουσίας μπορεί να είναι τόσο σημαντική όσο η τεχνολογία». Τέλος, η συζήτηση για την αποτελεσματικότητα των τριών τύπων εργαστηρίων είναι συγκεχυμένη και για άλλους λόγους. Για παράδειγμα, ακόμη και στα πρακτικά εργαστήρια μεσολαβούν συχνά υπολογιστές, και επομένως υπάρχει σπάνια μια καθαρή πρακτική εμπειρία για τους φοιτητές.

Ο Kulik (2003:60) στα συμπεράσματα μιας βιβλιογραφικής ερευνάς του λέει ότι «δεν είναι ακόμα σαφές το κατά πόσο τα βασισμένα σε υπολογιστή προγράμματα μπορούν να συμβάλλουν στη βελτίωση της διδασκαλίας στα αμερικανικά σχολεία». Κλείνοντας την έρευνα του αναφέρει ότι «αν και πολλοί ερευνητές έχουν πραγματοποιήσει τις ελεγχόμενες αξιολογήσεις των αποτελεσμάτων τεχνολογίας κατά τη διάρκεια των τελευταίων τριών δεκαετιών, η βιβλιογραφία αξιολόγησης φαίνεται ακόμα ετερόκλητη».

Τέλος, οι Καλογιαννάκης και Caillot (2003) πραγματοποίησαν μια έρευνα για να επισημάνουν την δυναμική των Τεχνολογιών της Πληροφορίας και Επικοινωνίας (ΤΠΕ) στην εκπαιδευτική διαδικασία.

Πραγματοποίησαν δώδεκα ημικατευθυνόμενες συνεντεύξεις με καθηγητές Φυσικής, χρήστες των νέων τεχνολογιών στην τάξη, καθώς και δύο συνεντεύξεις με δύο νεοδιοριστούς καθηγητές.

Όσον αφορά την ανάλυση των δεδομένων έγινε με την μέθοδο της ανάλυσης περιεχομένου.

Εκτός των άλλων ερωτήσεων που έθεσαν στην ερευνά τους, έθεσαν την εξής ερώτηση σχετικά με το πείραμα: «Ποια είναι η σχέση πειράματος - ΤΠΕ και τι πιστεύετε για τη συνύπαρξή τους; Η πειραματική διαδικασία αντικαθίσταται από τις ΤΠΕ;».

Στα συμπεράσματα επισημαίνονται τα εξής: «Η ευρεία χρήση των πειραμάτων προσομοίωσης αποτελεί μια καινοτομία αν και παραμένει πάντα το ερώτημα πότε η προσομοίωση θα πρέπει να αντικαταστήσει ένα πείραμα» (Καλογιαννάκης και Caillot 2003:67).

Κατά συνέπεια, και σε αυτή την έρευνα δεν δίνεται οριστική απάντηση για το αν τα εικονικά πειράματα είναι αποτελεσματικότερα σε σχέση με τα πραγματικά πειράματα.

Συμπεράσματα

Η βιβλιογραφική ανασκόπηση για την αποτελεσματικότητα του εικονικού ή πραγματικού πειράματος Φυσικής ανέδειξε ότι παρότι έχουν υλοποιηθεί σημαντικές έρευνες σε μαθητές δημοτικού σχολείου, μέσης εκπαίδευσης και σε φοιτητές, δεν έχει εξαντληθεί η ερευνητική αντιμετώπιση του θέματος.

Στη παραπάνω διαπίστωση συγκλίνουν και πολλοί ερευνητές, οι οποίοι στα συμπεράσματα των μελετών τους επισημαίνουν την αναγκαιότητα για περαιτέρω έρευνα του συγκεκριμένου ζητήματος. Για παράδειγμα, οι Triona και Klahr

τονίζουν ότι το 2003 δεν υπήρχε ούτε θεωρητικό ούτε εμπειρικό έδαφος για την πρόβλεψη του αν η εικονική ή η φυσική παρουσίαση των εκπαιδευτικών αντικειμένων θα είναι αποτελεσματικότερη. Όπως αναφέρουν «υπάρχουν εκπληκτικά λίγες μελέτες που αξιολογούν ευθέως την επίδραση της χρήσης υπολογιστή ή φυσικών αντικειμένων κατά την διάρκεια της διδασκαλίας» (Triona and Klahr: 151). Στο τέλος της έρευνάς τους προτείνουν ότι υπάρχει χώρος για να γίνουν πάρα πολλές έρευνες για να εξεταστεί λεπτομερώς το ζήτημα της σύγκρισης των πραγματικών πειραμάτων με τα εικονικά πειράματα.

Παρόμοιες αναφορές καταγράφονται και σε ένα άλλο άρθρο όπου για παράδειγμα επισημαίνεται από τους ερευνητές ότι «παρά τις πολλές έρευνες στη διδακτική των φυσικών επιστημών για αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας και του τρόπου αξιοποίησης του πειραματισμού μέσω των αλληλεπιδραστικών προσομοιώσεων και του εργαστηριακού πειραματισμού, διαπιστώνεται ότι υπάρχει σημαντική ανάγκη για σύγκριση της επίδρασης των δυο αυτών μεθόδων πειραματισμού στη διαδικασία μάθησης και διδασκαλίας» (Ζαχαρίας και Ευαγόρου 2004:345). Ακόμη, στα συμπεράσματα της μελέτης τους τονίζουν ότι «επιβάλλεται η συνέχιση της συγκεκριμένης έρευνας, εάν θέλουμε να εφαρμόσουμε αποτελεσματικά τις δυο αυτές μεθόδους πειραματισμού στη διαδικασία μάθησης (Ζαχαρίας και Ευαγόρου 2004:349).

Σε συνάφεια με τα παραπάνω υπογραμμίζεται (Ολυμπίου κ.ά. 2007:1060) ότι «υπάρχει σημαντική ανάγκη για σύγκριση της επίδρασης του Πειραματισμού σε Πραγματικό Εργαστήριο και του Πειραματισμού σε Εικονικό Εργαστήριο».

Σε μια άλλη εργασία οι συγγραφείς τονίζουν ότι το ζήτημα της «ανταλλαξιμότητας» των πραγματικών πειραμάτων με τα εικονικά πειράματα συγχέεται και προτείνουν περαιτέρω έρευνες που μπορούν να δώσουν περισσότερο οριστικές απαντήσεις (Rosenquist et al. 2000:17). Επιπλέον, ένας άλλος ερευνητής (Kocijancic 2002:32) επειδή διαπιστώνει ότι υπάρχουν διαφορετικές απόψεις σχετικά με το ποιο είδος πειράματος είναι αποτελεσματικότερο προτείνει περαιτέρω έρευνα και μάλιστα επισημαίνει ότι πρέπει να «προσδιοριστεί ποιοι στόχοι επιτυγχάνονται καλύτερα με το παραδοσιακό εργαστήριο και ποιοι με ένα βασισμένο σε υπολογιστή εργαστήριο».

Επιπρόσθετα, ο Keller (2004:8), σημειώνοντας την αναγκαιότητα περαιτέρω έρευνας σχετικά με την αποτελεσματικότητα των εικονικών πειραμάτων – προσομοιώσεων -, αναφέρει χαρακτηριστικά στα συμπεράσματα της εργασίας του το εξής: «το καλύτερο που μπορούμε να κάνουμε είναι να εξετάσουμε τις προσομοιώσεις σε διάφορα περιβάλλοντα και να μελετήσουμε τι κερδίζουν και τι δεν κερδίζουν οι φοιτητές με τη χρήση τους».

Ακόμη, σε μια μελέτη σχετικά με τις Τεχνολογίες της Πληροφορίας και Επικοινωνίας στην Εκπαίδευση Γάλλων Εκπαιδευτικών (Καλογιαννάκης και Caillot 2003:67) στα συμπεράσματα επισημαίνεται η αναγκαιότητα διερεύνησης του ζητήματος με την εξής χαρακτηριστική αναφορά: «μολονότι η ευρεία χρήση

των πειραμάτων προσομοίωσης αποτελεί μια καινοτομία παραμένει πάντα το ερώτημα πότε η προσομοίωση θα πρέπει να αντικαταστήσει ένα πείραμα».

Επίσης, σε μια πρόσφατη έρευνα που υλοποιήθηκε και αναφέρεται «στην σχετική αποτελεσματικότητα φυσικών εναντίον των εικονικών αντικειμένων σε ένα πρόγραμμα σχεδίου εφαρμοσμένης μηχανικής από τους μαθητές μέσης εκπαίδευσης» οι ερευνητές θεωρούν ότι πρέπει να εξερευνηθεί και άλλο η αποτελεσματικότητα των φυσικών και εικονικών αντικειμένων στην κατανόηση εννοιών της Φυσικής (Klahr et al. 2007:185,198).

Με βάση, λοιπόν, την βιβλιογραφική ανασκόπηση των ερευνών και τις απόψεις των ερευνητών που παρατέθηκαν παραπάνω διαπιστώνεται ότι δεν υπάρχουν σαφείς και οριστικές απαντήσεις σχετικά με την αποτελεσματικότητα (ή με τα πλεονεκτήματα) του εικονικού ή του πραγματικού πειράματος στη διδασκαλία Φυσικής για την αλλαγή των εναλλακτικών ιδεών των μαθητών ή των φοιτητών προς τις αντίστοιχες επιστημονικές. Κατά συνέπεια, παρά τις πολλές και αξιολογικές έρευνες για αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας και του τρόπου αξιοποίησης των εικονικών και πραγματικών πειραμάτων, προβάλλει επιτακτική η ανάγκη περαιτέρω μελέτης για τον προσδιορισμό των κριτηρίων για ποιες έννοιες και σε ποιους μαθητές θα πρέπει να χρησιμοποιούνται αυτά τα δυο είδη πειραμάτων στη διδασκαλία της Φυσικής με στόχο την αποτελεσματικότερη εφαρμογή και χρήση τους στη διδασκαλία της Φυσικής.

Βιβλιογραφικές αναφορές

Ελληνική

- Αποστολάκης, Ε., Παναγοπούλου, Ε., Σάββας, Σ., Τσαγλιώτης, Ν., Μακρή, Β., Παναταζής, Γ., Πετρέα, Κ., Σωτηρίου, Σ., Τόλιας, Β., Τσαγκογέωργα και Καλκάνης, Γ. (2006), *Ερευνά και Ανακαλύπτω Ε' τάξης, Βιβλίο για το δάσκαλο*, Αθήνα: ΟΕΔΒ
- Ζαχαρίας, Ζ. και Ευαγόρου, Μ. (2004), Η επίδραση του εργαστηριακού πειραματισμού και του πειραματισμού μέσω αλληλεπιδραστικών προσομοιώσεων στην εννοιολογική κατανόηση των φοιτητών στα ηλεκτρικά κυκλώματα, στο Β. Τσελφές, Π. Καριώτογλου, Μ. Πατσαδάκης (επιμ.) *Πρακτικά 4ου Πανελληνίου Συνεδρίου για τη Διδακτική των Φυσικών Επιστημών και τις Νέες Τεχνολογίες στην Εκπαίδευση*, 343-349, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Προσχολικής Εκπαίδευσης και Αγωγής στην Προσχολική Ηλικία
- Καλογιαννάκης, Μ. και Caillot, M. (2003), Εφαρμογές ΤΠΕ στην εκπαίδευση: μελέτη των κοινωνικών αναπαραστάσεων Γάλλων εκπαιδευτικών φυσικών επιστημών, *Θέματα στην Εκπαίδευση*, 1(4), 47-68
- Μικρόπουλος, Τ.Α. (2002), Προσομοιώσεις και Οπτικοποιήσεις στην Οικοδόμηση Εννοιών στις Φυσικές Επιστήμες, στο Α. Μαργετουσάκη, Π.Γ.Μιχαηλίδης (επιμ.) *Πρακτικά 3ου Πανελληνίου Συνεδρίου: «Διδακτική των Φυσικών Επιστημών και Εφαρμογή Νέων Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση»*, 371- 376, Ρέθυμνο
- Μικρόπουλος, Τ.Α. (2003), Οι Τεχνολογίες Πληροφορίας και Επικοινωνιών στη διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών: κριτική θεώρηση και προτάσεις, *Πρακτικά 8ου Κοινού συνεδρίου Ένωσης Ελλήνων και Κυπρίων Φυσικών: «Προοπτικές, εξελίξεις και διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών»*, τ. Α, 22 – 28, Προσκεκλημένη Ομιλία, Καλαμάτα
- Μικρόπουλος, Τ.Α. (2006), *Ο Υπολογιστής ως γνωστικό εργαλείο*, Αθήνα: Ελληνικά Γράμματα
- Μιχαηλίδης, Π. (2007), Νέες Τεχνολογίες και Διδακτική των Φυσικών Επιστημών, *Πρακτικά 5ου Πανελληνίου Συνεδρίου: «Διδακτική των Φυσικών Επιστημών και Νέες Τεχνολογίες στην Εκπαίδευση»*, 55-72, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων, Π.Τ.Δ.Ε, Χημικό, Φυσικό
- Ολυμπίου, Γ., Ζαχαρίας, Χ.Ζ. και Παπαευριπίδου, Μ. (2007), Διερεύνηση της βελτίωσης της εννοιολογικής κατανόησης προπτυχιακών φοιτητών για τη θερμοότητα και τη θερμοκρασία μέσα από εικονικά και πραγματικά περιβάλλοντα πειραματισμού, *Πρακτικά 5ου Πανελληνίου Συνεδρίου «Διδακτική των Φυσικών Επιστημών και Νέες Τεχνολογίες στην Εκπαίδευση»*, 1059-1068, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων, Π.Τ.Δ.Ε, Χημικό, Φυσικό

- Παναγιωτακόπουλος,Χ., Πιερρή,Ε., Σαρής,Μ. και Νικολόπουλος,Π. (2004), Η επίδραση της Προσομοίωσης στην Κατανόηση της Ευθύγραμμης Ομαλής Κίνησης: Μια Μελέτη Περίπτωσης, *Θέματα στην Εκπαίδευση*, 5:1/3, 59 - 74
- Τζιμογιάννης, Α (2004), Οι προσομοιώσεις στη Διδασκαλία της Φυσικής, στο Ι. Βλαχάβας, Β. Δαγδιλέλης, Γ. Ευαγγελίδης, Γ. Παπαδόπουλος, Μ. Σατρατζέμη, Δ. Ψύλλος (επιμ.) *Οι τεχνολογίες της πληροφορίας και των επικοινωνιών στην ελληνική εκπαίδευση: απολογισμός και προοπτικές*, 240 - 254, Θεσσαλονίκη
- Τζιμογιάννης, Α και Μικρόπουλος, Τ.Α. (2000), Η χρήση των προσομοιώσεων πειραμάτων στη διδασκαλία της Φυσικής: η έννοια της επιτάχυνσης, *Σύγχρονη Εκπαίδευση*, 112, 127 - 134
- Τζιμογιάννης, Α. και Μικρόπουλος, Τ. Α. (1998), Η συμβολή των προσομοιώσεων στη διδασκαλία της κινηματικής, στο Π. Κουμαράς, Π. Καριώτογλου, Β. Τσελφές, Δ. Ψύλλος (επιμ.) *Πρακτικά 1ου Πανελληνίου Συνεδρίου Διδακτικής Φυσικών Επιστημών και Εφαρμογής Νέων Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση*, 317-323, Θεσσαλονίκη, Μάιος
- Τζιμογιάννης, Α., Κωσταδήμας, Ε. και Μικρόπουλος, Τ. Α. (1998), Διδασκαλία Φυσικής και Υπολογιστές. Μελέτη της συμβολής των προσομοιώσεων στη διδασκαλία της κινηματικής, στο Α. Τζιμογιάννης (επιμ.) *1η Πανεπιστημιακή Ημερίδα: Πληροφορική και Εκπαίδευση*, 64-78, Ιωάννινα, Μάιος
- Τζιμογιάννης,Α. (1999), Διδασκαλία Φυσικής και Υπολογιστές: Μια εναλλακτική διδακτική προσέγγιση, *Σύγχρονη Εκπαίδευση*, 105, 115 – 122

Ξενογλώσση

- Alliance for Childhood (2000), *Fool's Gold: A critical look at computers in childhood [Online]*, Ανακτήθηκε στις 16/10/06 από URL: [http:// www.allianceforchildhood.net/projects/computers/computers_reports.htm](http://www.allianceforchildhood.net/projects/computers/computers_reports.htm)
- Arshadi, N. M. (1992), A Comparison and Evaluation of the Effectiveness of Computer Simulated Laboratory Instruction Versus Traditional Laboratory Instruction in Solid State Electronics Circuitry, *Thesis (Ph.D.)*, IOWA STATE UNIVERSITY
- Baxter, G. P. (1995), Using computer simulations to assess hands-on science learning, *Journal of Science Education and Technology*, 4 , 21-27
- Choi, B and Gennaro, E. (1987), The effectiveness of using computer simulated experiments on junior high students' understanding of the volume displacement concept, *Journal of Research in Science Teaching*, 24(6), 539-552
- Clements, D.H. and Sarama, J. (2003), Strip mining for gold: Research and policy in educational technology - A response to "Fool's Gold.", *Educational Technology Review*, 11. Ανακτήθηκε στις 16/10/06 από URL: <http://www.aace>.

- org/pubs/etr /issue4/clements.cfm
- Corter, J.E., Nickerson, J.V., Esche, S.K. and Chassapis C.(2004), Remote versus hands-on labs:A comparative study, *34th ASEE/IEEE Frontiers in Education Conference*,Savannah
- Finkelstein, N.D., Perkins, K. K., Adams, W., Kohl, P. and Podolefsky, N.(2004), Can Computer Simulations Replace Real Equipment in Undergraduate Laboratories?, *Physics Education Research Conference. Sacramento CA*
- Finkelstein, N.D., Perkins,K., Adams, W., Keller, K., Kohl,P., Podolefsky, N., Reid,S. and LeMaster,R.(2005),When learning about the real world is better done virtually: a study of substituting computer simulations for laboratory equipment, *Physical Review, Special Topics: Physics Education Research*, 1, 1-8
- Gandole, Y. B., Khandewale, S. S. and Mishra, R. A.(2006), A Comparison of Students' Attitudes Between Computer Software Support and Traditional Laboratory Practical Learning Environments in Undergraduate Electronics Science, *e-Journal of Instructional Science and Technology*,9(1),1-13
- Goldberg, F. (1997), Constructing physics understanding in a computer-supported learning Environment, In Rigden, J. (ed.) *Proceedings of the International Conference on Undergraduate Physics Education Volume II*. American Institute of Physics.
- Goldberg, F.and Otero, V. (2001), The Roles of Laboratory and Computer Simulator Experiments in Helping Students Develop a Conceptual Model of Static Electricity, *Synopsis of paper presented at 2001 meeting of the European Science Education Research Association*, Thessoloniki, Greece
- Hennessya,S., Wisharth, J.,Whitelockc, D., Deaney, R.,Brawn, R.,Velle, L. L., McFarlane, A., Ruthven, K. and Winterbottom, M.(2007), Pedagogical Approaches for Technology-Integrated Science Teaching,*Computers and Education*,48(1),131-152
- Hickman, P., Morse, R.A., Otero, V., Johnson, A. and Goldberg, F. (1999), Static Electricity and Magnetism, In *Constructing Physics Understanding: Curriculum Units and Simulation Software* (two separate CDs). The Learning Team, New York.
- Hofstein, A. and Lunetta, V.N. (2004), The laboratory in science education: Foundations for the Twenty-First Century, *Science Education*, 88 (1), 28-54.
- Jaakkola, T. and Nurmi, S. (2004), Academic impact of learning objects: The case of electric circuits, *Paper presented at the British Educational Research Association Annual Conference (BERA)*, University of Manchester
- Karmiloff-Smith, A. and Inhelder, B. (1975), If you want to get ahead, get a theory, *Cognition*, 3, 195–212
- Keller, C.(2004), Substituting Traditional Hands-On Laboratories with Computer Simulations:What's gained and what's lost? , *Department of Physics, University*

- of Colorado at Boulder*
- Keller, C., Finkelstein, N. D., Perkins, K.K. and Pollock, S.J. (2005), Assessing The Effectiveness Of A Computer Simulation In Conjunction with Tutorials In Introductory Physics In Undergraduate Physics Recitations, *Proceedings of the 2005 Physics Education Research Conference*, AIP Press. Melville NY
- Klahr, D., Triona, L. and Williams, C. (2007), Hands On What? The Relative Effectiveness of Physical vs. Virtual Materials in an Engineering Design Project by Middle School Children, *Journal of Research in Science Teaching*, 44 (1), 183-203
- Kocijancic, S. (2002), Online Experiments in Physics and Technology Teaching, *IEEE transactions on education*, 45(1), 26-32
- Kocijancic, S. and O'Sullivan, C. (2004), Real or Virtual Laboratories in Science Teaching – is this Actually a Dilemma?, *Informatics in Education*, 3 (2), 239-249
- Kulik, J. (2003), Effects of Using Instructional Technology in Elementary and Secondary Schools: What Controlled Evaluation Studies Say. Tutorials and Simulations (Final Report), Arlington, Virginia: SRI International, 51-61
- Li, S. C., Law, N. and Lui, K. F. A. (2006), Cognitive perturbation through dynamic modelling: a pedagogical approach to conceptual change in science, *Journal of Computer Assisted Learning*, 22 (6), 405-422
- Ma, J. and Nickerson, J. V. (2006), Hands-on, Simulated and Remote Laboratories: A Comparative Literature Review, *ACM Computing Surveys*, 38(3)
- Marshall, J. and Young, E.S. (2006), Pre-service teacher's theory development in physical and simulated environments, *Journal of Research in Science Teaching*, 43 (9), 907-937
- Marshall, P. (2005), Tangibles in the balance: a comparison of physical and screen versions of the balance beam task, *Proceedings of 8th Human-Centred Technology Postgraduate Workshop*, Cognitive Science Research Paper 576, University of Sussex
- McDermott, L. C., Shaffer, P. S. and the Physics Education Group at the University of Washington (2002), *Tutorials in Introductory Physics*, Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ
- McDermott, L.C. (1996), *Physics by Inquiry*, Wiley, New York
- McDermott, L.C. and Shaffer, P. (1992), Research as a guide for curriculum development: an example from introductory electricity, Part I: investigation of student understanding, *American Journal of Physics*, 60, 994–1002
- McDermott, L.C. and The Physics Education Group (1996), *Physics by Inquiry*, Wiley, New York.
- National Science Teachers Association of Virginia (1999), *Position statement on the use of computers in science education*, Ανακτήθηκε στις 20/12/06 από URL:

- <http://www.nsta.org/positionstatement&psid=4>
- Park, J. C. (1993), Time studies of fourth graders generating alternative solutions in a decision-making task using models and computer simulations, *Journal of Computing in Childhood Education*, 4(1), 57-76
- Raven, J.C. (1958), *Standard progressive matrices. Sets A, B, C, D and E.*, Cambridge: H.K. Lewis & Co. Ltd
- Redish, E. (1993α), Is the Computer Appropriate for Teaching Physics?, *Computers in Physics*, 7(6), 613
- Redish, E. (1993β), What can a physics teacher do with a computer? *Invited talk presented at Robert Resnick Symposium RPI*, Troy NY
- Reiner, M. and Gilbert, J. (2004), The symbiotic roles of empirical experimentation and thought experimentation in the learning of physics, *International Journal of Science Education*, 26, 1819-1834
- Riverdeep Interactive Learning (2003), *Virtual Laboratories Electricity*, Ανακτήθηκε στις 16/10/2006 από URL: http://www.riverdeep.net/product/virtual_labs/index.jhtml
- Ronen, M. and Eliahu, M. (1999), Simulation as a home learning environment - students' views, *Journal of Computer Assisted Learning*, 15, 258-268
- Rosenquist, A., Shavelson, R.J. and Ruiz-Primo, M.A. (2000), On The "Exchangeability" of hands-on and computer simulated science performance assessments (CSE Tech. Rep. No 531), *Los Angeles: University of California, National Center for Research on Evaluation, Standards, and Student Testing*
- Shavelson, R. J., Baxter, G. P. and Pine, J. (1991), Performance assessment in science, *Applied Measurement in Education*, 4, 347-362
- Steinberg, R. N. (2000), Computers in teaching science: to simulate or not to simulate?, *American Journal of Physics*, 68 (7), 37-41
- Steinberg, R.N. (2003), Effects of Computer-based Laboratory Instruction on Future Teachers' Understanding of the Nature of Science, *International of Computer in Mathematics and Science Teaching*, 22(3), 185-205
- Triona, L. M. and Klahr, D. (2003), Point and Click or Grab and Heft: Comparing the influence of physical and virtual instructional materials on elementary school students' ability to design experiments, *Cognition and Instruction*, 21 (2), 149-173
- Wieman, C.E. and Perkins, K.K. (2005), Transforming Physics Education, *Physics Today*, 58 (11), 1- 36
- Wilson, S.B. (2001), Computer assisted fluid power instruction: a comparison of hands-on and computer-simulated laboratory experiences for post-secondary students, *Thesis*, University of Missouri, Columbia
- Zacharia, Z. (2003), Using Interactive Simulations To Enhance Students' Explanations Regarding Physical Phenomena, *Sixth International Conference*

- on Computer Based Learning in Science*, University of Cyprus, 471-476
- Zacharia, Z. and Anderson, O.R. (2003), The effects of an interactive computer-based simulation prior to performing a laboratory inquiry-based experiment on students' conceptual understanding of physics, *American Journal of Physics*, 71(6), 618–629
- Zacharia, Z.C. (2007), Comparing and combining real and virtual experimentation: an effort to enhance students' conceptual understanding of electric circuits, *Journal of Computer Assisted Learning*, 23