



Συγκριτική μελέτη της αποτελεσματικότητας του Πειραματισμού σε Πραγματικό ή Εικονικό Εργαστήριο ως προς την Επίτευξη Εννοιολογικής Κατανόησης στη Φυσική

Ολυμπίου Γ., Ζαχαρία Ζ.

Ερευνητική Ομάδα Μάθησης στις Φυσικές και Περιβαλλοντικές Επιστήμες,
Πανεπιστήμιο Κύπρου, olympriog@ucy.ac.cy, sep6og1@ucy.ac.cy

Η παρούσα έρευνα αποσκοπούσε στη σύγκριση της επίδρασης του Πειραματισμού σε Πραγματικό Εργαστήριο (ΠΠΕ) και του Πειραματισμού σε Εικονικό Εργαστήριο (ΠΕΕ) στην εννοιολογική κατανόηση προπτυχιακών φοιτητών στο συγκείμενο της Θερμότητας και της Θερμοκρασίας. Οι συμμετέχοντες στην έρευνα ήταν 182 προπτυχιακοί φοιτητές παιδαγωγικού τμήματος, οι οποίοι χωρίστηκαν σε τέσσερις ομάδες: την ομάδα ελέγχου (56 φοιτητές), την πειραματική ομάδα 1 (59 φοιτητές), την πειραματική ομάδα 2 (33 φοιτητές) και την πειραματική ομάδα 3 (34 φοιτητές). Η ομάδα ελέγχου χρησιμοποιούσε πραγματικά υλικά σε εργαστήριο για την εκτέλεση των πειραμάτων. Η πειραματική ομάδα 1 εργάστηκε σε εικονικό εργαστήριο για την εκτέλεση των ίδιων πειραμάτων. Οι πειραματικές ομάδες 2 και 3 χρησιμοποίησαν συνδυασμό πραγματικών και εικονικών υλικών, σε πραγματικό και εικονικό εργαστήριο αντίστοιχα. Η συλλογή δεδομένων έγινε μέσα από τη χορήγηση πειραματικών δοκιμών πριν και μετά τη διδακτική παρέμβαση. Η ανάλυση των δεδομένων έδειξε πως οι συμμετέχοντες και των τεσσάρων ομάδων βελτίωσαν, στον ίδιο βαθμό, την εννοιολογική κατανόηση τους στο συγκείμενο της Θερμότητας και της Θερμοκρασίας.

Εισαγωγή

Μέσα από τα αποτελέσματα πρόσφατων ερευνών καταδεικνύεται πως η χρήση των εικονικών υλικών σε εικονικό εργαστήριο (Πειραματισμός σε Εικονικό Εργαστήριο - ΠΕΕ) και συγκεκριμένα η χρήση αλληλεπιδραστικών προσομοιώσεων στον ηλεκτρονικό υπολογιστή έχουν θετική επίδραση τόσο στις γνώσεις περιεχομένου για το υπό μελέτη θέμα όσο και στο συναισθηματικό τομέα (Bell & Trundle 2008, Tao & Gunstone 1999, Vreman-de Olde & de Jong 2004, Zacharia et al. 2008). Μέσα από τέτοια αποτελέσματα αμφισβητείται συνεπώς η θέση πως η μάθηση στις Φυσικές Επιστήμες μπορεί να επιτευχθεί μόνο μέσω του Πειραματισμού σε Πραγματικό Εργαστήριο (ΠΠΕ). Τα αποτελέσματα αυτά καταδεικνύουν την ανάγκη για αναθεώρηση και αναδιοργάνωση του υπάρχοντος πλαισίου στη διδακτική των Φυσικών Επιστημών, με τρόπο που να περιλαμβάνει τη χρήση εικονικών υλικών σε εικονικό εργαστήριο (Πειραματισμός σε Εικονικό Εργαστήριο - ΠΕΕ).

Απαιτείται γενικότερα η δημιουργία ενός συγκεκριμένου πλαισίου που να υποστηρίζει την τροποποίηση των υφιστάμενων αναλυτικών προγραμμάτων των Φυσικών Επιστημών, με τρόπο που να καθορίζεται επακριβώς η διδακτική προσέγγιση και το περιεχόμενο στο οποίο θα μπορούσε να εφαρμοστεί ένα τέτοιο εγχείρημα (π.χ. χρήση ΠΠΕ ή ΠΕΕ, χρήση συνδυασμού του ΠΠΕ και του ΠΕΕ, σε ποιο περιεχόμενο και σε ποιο συγκείμενο). Σε μια τέτοια προσπάθεια, ιδιαίτερα ελκυστικός φαίνεται ο συνδυασμός



των εικονικών με τα πραγματικά περιβάλλοντα πειραματισμού στο πλαίσιο αξιοποίησης της προστιθέμενης αξίας νέων τεχνολογικών εργαλείων, όπως είναι οι προσομοιώσεις.

Θεωρητικό Υπόβαθρο

Πολλές έρευνες στο χώρο της διδακτικής των Φυσικών Επιστημών έχουν εντοπίσει ως βασικό πλεονέκτημα, τόσο του ΠΠΕ όσο και του ΠΕΕ, το γεγονός ότι επιτρέπουν στα πρόσωπα να αλληλεπιδρούν με υλικά και μοντέλα και να κάνουν δοκιμές (Pearsall et al. 1997, Zacharia et al. 2008). Σε αυτό το πλαίσιο ο ΠΠΕ¹ αποτελεί μια μαθησιακή εμπειρία, η οποία επιτρέπει στα άτομα να αλληλεπιδρούν με πραγματικά υλικά και φυσικά μοντέλα στο εργαστήριο, με σκοπό την άμεση παρατήρηση και κατανόηση φαινομένων. Αντίστοιχα, ο ΠΕΕ¹ αποτελεί μια μαθησιακή εμπειρία, η οποία επιτρέπει στα άτομα να αλληλεπιδρούν με εικονικά υλικά και μοντέλα στον υπολογιστή, με σκοπό τη (γρήγορη) συλλογή στοιχείων και την κατανόηση φαινομένων. Τα δύο αυτά περιβάλλοντα παρέχουν τη δυνατότητα στα πρόσωπα α) να διερευνήσουν το φαινόμενο που τους παρουσιάζεται μεταβάλλοντας πραγματικά ή εικονικά τις τιμές των παραμέτρων, β) να ενεργοποιήσουν και να εφαρμόσουν διαδικασίες, γ) να παρατηρήσουν τα αποτελέσματα των δράσεων αυτών (Hofstein & Lunetta 2004, Tao & Gunstone 1999).

Σε αντίθεση με τα πιο πάνω στοιχεία, κάποιοι ερευνητές αμφισβητούν την αναθεώρηση και αναδιοργάνωση του υπάρχοντος πλαισίου μάθησης στις Φυσικές Επιστήμες με τρόπο που να περιλαμβάνει τον ΠΕΕ (NSTA 1990). Οι λόγοι αυτής της διαφοροποίησης, ανάμεσα στα αποτελέσματα των ερευνών, είναι πρώτα η στέρηση χειροπιαστών εμπειριών που να περιλαμβάνουν άμεσες εμπειρίες με φυσικά και πραγματικά υλικά και φαινόμενα, οι οποίες θεωρούνται ουσιαστικές για τη μάθηση, και έπειτα η διαδεδομένη θεώρηση πως η χρήση του ΠΕΕ θεωρείται ως μια τελείως διαφορετική μέθοδος πειραματισμού από τον τρόπο που εργάστηκαν αρχικά οι επιστήμονες στα αντίστοιχα φαινόμενα (Steinberg 2000). Τυπικά, η χρήση του ΠΕΕ εισάγεται από την πλειονότητα των εκπαιδευτικών μόνο όταν α) το αντίστοιχο πραγματικό εργαστήριο δεν είναι διαθέσιμο, συνοδεύεται από μεγάλο κόστος ή θεωρείται πολύπλοκη η χρήση του, β) το πείραμα που θα διεξαχθεί είναι επικίνδυνο, γ) οι τεχνικές που πρέπει να εφαρμοστούν είναι πολύπλοκες για τους μαθητάνοντες και δ) όταν υπάρχουν σοβαροί χρονικοί περιορισμοί. Με άλλα λόγια, ο ΠΕΕ και κατ' επέκταση τα εικονικά εργαστήρια θεωρούνται ως υποκατάστατο των πραγματικών εργαστηρίων, ειδικά στις περιπτώσεις όπου η χρήση πραγματικών υλικών σε πραγματικό εργαστήριο θεωρείται δύσκολη ή επικίνδυνη, αν όχι αδύνατη.

Από την άλλη, κάποιοι ερευνητές ισχυρίζονται πως δεν είναι η απλή επαφή με τα πραγματικά υλικά που καθορίζει την επίτευξη της μάθησης, αλλά είναι η χρήση και διαχείριση των αντίστοιχων υλικών, πραγματικών ή εικονικών, στο πλαίσιο του πειραματισμού στο κατάλληλο διδακτικό πρότυπο, που αποτελούν το ουσιαστικό χαρακτηριστικό μιας επιτυχημένης διδακτικής παρέμβασης (Clements 1999, Zacharia & Constantinou 2008). Ο Clements (1999) επιχειρηματολογεί πως ο ΠΕΕ μπορεί να παρέχει αναπαραστάσεις οι οποίες είναι εξίσου ουσιαστικές με τα πραγματικά υλικά για

¹ Υπάρχουν περιορισμοί στον ΠΠΕ (π.χ. δεν μπορεί να περιλάβει συμβολικές αναπαραστάσεις) και άλλοι περιορισμοί στον ΠΕΕ (π.χ. δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για επαλήθευση ή διάψευση).

τους μανθάνοντες και ακόμη μπορεί να είναι ευκολότερες στη χρήση τους, πιο «καθαρές» και επεκτάσιμες από τα πραγματικά αντικείμενα που αντικαθιστούν (σελ. 49). Επιπρόσθετα, ο Clements (1999) εξέφρασε την ανάγκη αναθεώρησης του υπάρχοντος πλαισίου των πραγματικών εργαστηρίων με τρόπο που να περιλαμβάνουν τις εικονικές/ψηφιακές αναπαραστάσεις που διατηρούν σχεδόν όλα τα χαρακτηριστικά των πραγματικών υλικών και φαινομένων.

Μέσα από το υπάρχον θεωρητικό πλαίσιο διαπιστώνεται πως δεν υπάρχουν έρευνες που να διερευνούν το συνδυασμό των δύο περιβαλλόντων ως προς την επίτευξη εννοιολογικής κατανόησης στις Φυσικές Επιστήμες. Οι πλείστες συγκρίσεις που έγιναν ανάμεσα στα εικονικά και τα πραγματικά εργαστήρια δεν διατηρούσαν σταθερή τη διδακτική προσέγγιση και τη μέθοδο διδασκαλίας που χρησιμοποιήθηκε. Στόχος της παρούσας έρευνας ήταν η σύγκριση της επίδρασης του ΠΠΕ, του ΠΕΕ και δύο συνδυασμών του ΠΠΕ και του ΠΕΕ (ΠΠΕ+ΠΕΕ, ΠΕΕ+ΠΠΕ) στην εννοιολογική κατανόηση προϋπηρεσιακών εκπαιδευτικών στο συγκεκριμένο Θερμότητα-Θερμοκρασία. Το ερευνητικό ερώτημα αυτής της ερευνητικής προσπάθειας ήταν το εξής:

Πώς συγκρίνεται η εννοιολογική κατανόηση προϋπηρεσιακών εκπαιδευτικών στο συγκεκριμένο θερμότητα-θερμοκρασία που πειραματίζονται με πραγματικά υλικά, εικονικά υλικά ή συνδυασμό εικονικών και πραγματικών υλικών, όταν ελέγχονται όλες οι άλλες παράμετροι που επηρεάζουν τη μάθηση;

Ο σκοπός αυτής της προσπάθειας ήταν η διερεύνηση της ισοδυναμίας των διαφορετικών περιπτώσεων εργαστηριακού πειραματισμού στην επίτευξη εννοιολογικής κατανόησης, όταν ελέγχονται συνειδητά η διδακτική προσέγγιση, το διδακτικό υλικό και η προστιθέμενη αξία του κάθε μέσου πειραματισμού. Η προσπάθεια για έλεγχο των μεταβλητών που επηρεάζουν τα μαθησιακά αποτελέσματα, προέκυψε ως ανάγκη από τους περιορισμούς των υφιστάμενων ερευνών προς αυτή την κατεύθυνση (Klahr et al. 2007). Το συγκεκριμένο της θερμότητας και της θερμοκρασίας επιλέγηκε λόγω των έντονων δυσκολιών που αντιμετωπίζουν οι μανθάνοντες σε όλα τα επίπεδα της εκπαίδευσης στην κατανόηση των εννοιών της θερμότητας και της θερμοκρασίας. Ταυτόχρονα, οι καθημερινές εμπειρίες τους με θέματα θερμότητας και θερμοκρασίας έχουν οδηγήσει στην ανάπτυξη εναλλακτικών εννοιολογικών μοντέλων για την ερμηνεία καθημερινών φαινομένων (Vosniadou, 1994).

Μεθοδολογία

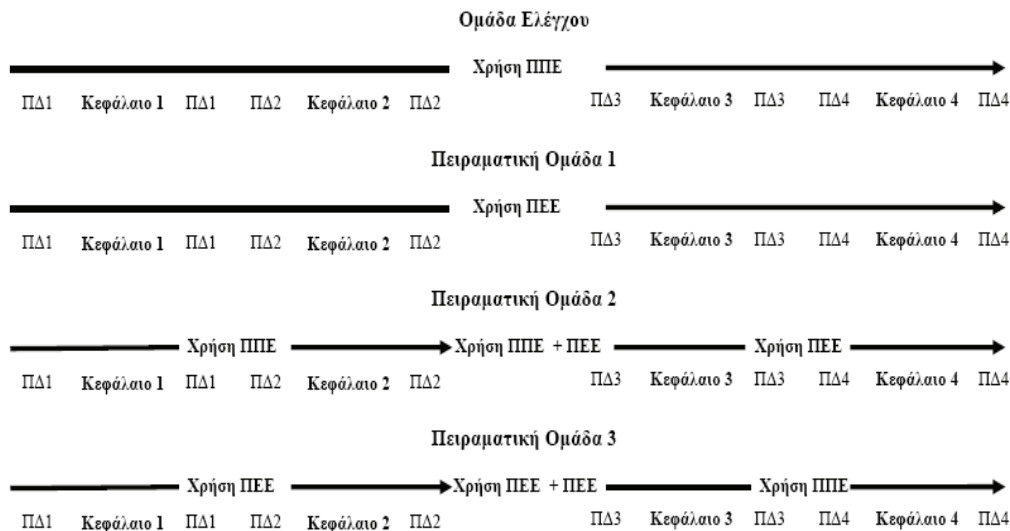
Το δείγμα αποτέλεσαν 182 προπτυχιακοί φοιτητές από το τμήμα Επιστημών της Αγωγής του Πανεπιστημίου Κύπρου. Οι φοιτητές κατανεμήθηκαν σε 4 ομάδες εκ των οποίων η πρώτη ομάδα (56 φοιτητές) αποτέλεσε την ομάδα ελέγχου (χρήση ΠΠΕ), η δεύτερη ομάδα (59 φοιτητές) αποτέλεσε την πειραματική ομάδα 1 (χρήση ΠΕΕ), η τρίτη ομάδα (33 φοιτητές) αποτέλεσε την πειραματική ομάδα 2 (χρήση ΠΠΕ+ΠΕΕ) και η τέταρτη ομάδα (34 φοιτητές) αποτέλεσε την πειραματική ομάδα 3 (χρήση ΠΕΕ+ΠΠΕ).

Η ομάδα ελέγχου συναντιόταν στο εργαστήριο και χρησιμοποιούσε πραγματικά υλικά για την εκτέλεση των πειραμάτων. Αντίστοιχα, η πειραματική ομάδα 1 εργάστηκε σε εικονικό εργαστήριο με εικονικά υλικά για την εκτέλεση των ίδιων πειραμάτων. Οι πειραματικές ομάδες 2 και 3 χρησιμοποίησαν τόσο πραγματικά όσο και εικονικά υλικά



σε πραγματικό και εικονικό εργαστήριο αντίστοιχα. Συγκεκριμένα, η πειραματική ομάδα 2 χρησιμοποίησε αρχικά ΠΠΕ και στη συνέχεια ΠΕΕ, ενώ η πειραματική ομάδα 3 χρησιμοποίησε αρχικά ΠΕΕ και μετέπειτα ΠΠΕ (βλ. διάγραμμα 1). Τα μέσα εργαστηριακού πειραματισμού που επιλέχθηκαν (εικονικό και πραγματικό περιβάλλον) παρείχαν τις ίδιες δυνατότητες πειραματισμού στους μανθάνοντες.

Διάγραμμα 1. Ερευνητικός σχεδιασμός και χορήγηση πειραματικών δοκιμών



Ως εικονικό εργαστήριο χρησιμοποιήθηκε το εργαστήριο του λογισμικού Thermolab (Psilos et al. 2000). Για σκοπούς επιτυχούς υλοποίησης της έρευνας, δόθηκε ιδιαίτερη έμφαση πριν από τη διεξαγωγή της έρευνας στην εξοικείωση των φοιτητών όλων των ομάδων τόσο με το λογισμικό Thermolab όσο και με τον εξοπλισμό και τα υλικά του πραγματικού εργαστηρίου (π.χ. μέτρηση θερμοκρασίας υλικού με θερμόμετρο).

Η διδακτική προσέγγιση που χρησιμοποιήθηκε σε όλες τις ομάδες βασιζόταν στις αρχές και τη φιλοσοφία της προσέγγισης Φυσική με Διερώτηση (McDermott et al. 1996). Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκαν: το κεφάλαιο 1 (Θερμοκρασία), το κεφάλαιο 2 (Αλλαγές στη Θερμοκρασία), το κεφάλαιο 3 (Διάδοση της Θερμότητας) και το κεφάλαιο 4 (Θερμοχωρητικότητα και Ειδική Θερμοχωρητικότητα) από τη Θερμότητα και Θερμοκρασία του εγχειριδίου «Φυσική με Διερώτηση» (McDermott et al. 1996). Η ομάδα ελέγχου εκτέλεσε τα πειράματα στο πραγματικό εργαστήριο, ενώ η πειραματική ομάδα 1 εκτέλεσε τα πειράματα στο εικονικό εργαστήριο Thermolab. Η πειραματική ομάδα 2 εκτέλεσε τα πειράματα των κεφαλαίων 1 και 2 στο πραγματικό εργαστήριο, και τα πειράματα των κεφαλαίων 3 και 4 στο εικονικό εργαστήριο. Η πειραματική ομάδα 3 εκτέλεσε τα πειράματα των κεφαλαίων 1 και 2 σε εικονικό εργαστήριο και τα πειράματα των κεφαλαίων 3 και 4 σε πραγματικό εργαστήριο. Για τη συλλογή των δεδομένων, χορηγήθηκαν στους συμμετέχοντες πειραματικά δοκίμια πριν, κατά τη διάρκεια και μετά τη διεξαγωγή των διδακτικών παρεμβάσεων.

Τα δεδομένα που προέκυψαν από τη συμπλήρωση των πειραματικών δοκιμών αναλύθηκαν τόσο ποσοτικά όσο και ποιοτικά. Συγκεκριμένα, για την ποσοτική ανάλυση χρησιμοποιήθηκαν οι στατιστικοί ελέγχοι one-way ANCOVA και Paired Samples t-test. Η ποιοτική ανάλυση αφορούσε στις απαντήσεις των φοιτητών σε κάθε ερώτημα των

πειραματικών δοκιμίων, οι οποίες κωδικοποιήθηκαν και κατηγοριοποιήθηκαν με βάση τις ιδέες των φοιτητών με τη μέθοδο της ανοικτής κωδικοποίησης (open coding). Μετά από την ποιοτική ανάλυση υπολογίστηκε το ποσοστό των φοιτητών της κάθε ομάδας που παρουσίαζε τις αντίστοιχες ιδέες, πριν και μετά τη διδακτική παρέμβαση για σκοπούς σύγκρισης.

Αποτελέσματα

Η εφαρμογή του στατιστικού κριτηρίου Paired Samples t-test, η οποία έγινε με στόχο να διαφανεί κατά πόσο επήλθε βελτίωση της εννοιολογικής κατανόησης των φοιτητών μετά από τη διδακτική παρέμβαση, έδειξε ότι υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά στην επίδοση των φοιτητών της ομάδας ελέγχου πριν και μετά τη διδακτική παρέμβαση σε όλες τις ομάδες όπως φαίνεται στον Πίνακα 1.

Πίνακας 1. Αποτελέσματα Paired Samples t-test για τις 4 ομάδες σε όλα τα δοκίμια.

Ομάδες	Δοκίμια Κεφαλαίων	t	Df	Sig
Ελέγχου	Μεταπειραματικό 1-Προπειραματικό 1	28,5	55	.000
Πειραματική 1	Μεταπειραματικό 1-Προπειραματικό 1	26.5	58	.000
Πειραματική 2	Μεταπειραματικό 1-Προπειραματικό 1	22	32	.000
Πειραματική 3	Μεταπειραματικό 1-Προπειραματικό 1	27.5	33	.000
Ελέγχου	Μεταπειραματικό 2-Προπειραματικό 2	28.2	55	.000
Πειραματική 1	Μεταπειραματικό 2-Προπειραματικό 2	27.6	58	.000
Πειραματική 2	Μεταπειραματικό 2-Προπειραματικό 2	16.6	32	.000
Πειραματική 3	Μεταπειραματικό 2-Προπειραματικό 2	17.5	33	.000
Ελέγχου	Μεταπειραματικό 3-Προπειραματικό 3	25.3	55	.000
Πειραματική 1	Μεταπειραματικό 3-Προπειραματικό 3	23.8	58	.000
Πειραματική 2	Μεταπειραματικό 3-Προπειραματικό 3	20.6	32	.000
Πειραματική 3	Μεταπειραματικό 3-Προπειραματικό 3	22.1	33	.000
Ελέγχου	Μεταπειραματικό 4-Προπειραματικό 4	22.7	55	.000
Πειραματική 1	Μεταπειραματικό 4-Προπειραματικό 4	21.2	58	.000
Πειραματική 2	Μεταπειραματικό 4-Προπειραματικό 4	17.2	32	.000
Πειραματική 3	Μεταπειραματικό 4-Προπειραματικό 4	20.2	33	.000

Αντίστοιχα, ο στατιστικός έλεγχος one – way ANCOVA έδειξε πως η βελτίωση της επίδοσης των φοιτητών στα πειραματικά δοκίμια (η οποία μετριέται ως η διαφορά ανάμεσα στην αρχική και την τελική επίδοση τους στα πειραματικά δοκίμια) δεν επηρεάζεται από τη μέθοδο που χρησιμοποιήθηκε στη διδακτική παρέμβαση, δηλαδή από τη χρήση του ΠΠΕ, του ΠΕΕ, και των συνδυασμών τους, ΠΠΕ+ΠΕΕ και ΠΕΕ+ΠΠΕ αντίστοιχα, όταν ελέγχεται η επίδραση των προηγούμενων τους γνώσεων. Σε κανένα από τα τέσσερα κεφάλαια δεν φάνηκε να υπάρχουν διαφορές στη βελτίωση της επίδοσης των φοιτητών σε σχέση με την πειραματική μέθοδο που εφαρμόστηκε (βλ. Πίνακα 2).



Πίνακας 2. Σύγκριση της βελτίωσης της επίδοσης των πειραματικών ομάδων σε κάθε κεφάλαιο με το στατιστικό κριτήριο one - way ANCOVA.

Συγκρίσεις	df1	df2	F	Sig
Κεφάλαιο 1	3	177	1.07	0.36
Κεφάλαιο 2	3	177	0.04	0.9
Κεφάλαιο 3	3	177	1.09	0.35
Κεφάλαιο 4	3	177	0.74	0.52

Τον εντοπισμό των ιδεών που παρουσιάστηκαν στα πειραματικά δοκίμια ακολούθησε η ομαδοποίηση τους μέσα από την οποία αναγνωρίστηκαν οι ιδέες των φοιτητών για έννοιες που αφορούσαν στο περιεχόμενο της θερμότητας και της θερμοκρασίας. Στον Πίνακα 3, παρουσιάζονται μερικές από τις κατηγορίες ιδεών (θεματικές ενότητες) που προέκυψαν μέσω της τεχνικής της ανοικτής κωδικοποίησης σε κάθε ομάδα, μαζί με τις πιο αντιπροσωπευτικές ιδέες που παρουσιάστηκαν από τους φοιτητές που έλαβαν μέρος στην έρευνα (παρουσιάζονται οι ιδέες με τα ψηλότερα ποσοστά σε κάθε κατηγορία). Σε όλα τα κεφάλαια παρατηρήθηκε μετατόπιση των ιδεών των φοιτητών από τις εναλλακτικές και ελλιπείς ιδέες προς τις επιστημονικά αποδεκτές ιδέες. Στις μετατοπίσεις που έγιναν δεν παρουσιάστηκαν μεγάλες διαφοροποιήσεις ανάμεσα στη βελτίωση που επέδειξαν οι ομάδες. Η ανάλυση που έγινε για τις ιδέες των φοιτητών ενισχύει τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την ποσοτική ανάλυση, ενώ παράλληλα κατέδειξε ορισμένα στοιχεία του διδακτικού υλικού που σε συνδυασμό με τις πειραματικές μεθόδους που χρησιμοποιήθηκαν, χρήζουν περαιτέρω έρευνας (π.χ. αναλογικός συλλογισμός στο συγκεκριμένο της θερμότητας και της θερμοκρασίας).

Συμπεράσματα

Τα αποτελέσματα που προκύπτουν τόσο από την ποσοτική ανάλυση όσο και από την ποιοτική, ενισχύουν το επιχείρημα που θέτει ως ισοδύναμες τις 4 μεθόδους εργαστηριακού πειραματισμού που εφαρμόστηκαν (ΠΠΕ, ΠΕΕ, ΠΠΕ+ΠΕΕ, ΠΕΕ+ΠΠΕ). Αυτά τα αποτελέσματα ενισχύονται από τη βιβλιογραφία, η οποία αναφέρεται στη σημαντική συνεισφορά των προσομοιώσεων και κατ' επέκταση των εικονικών εργαστηρίων (Goldberg 1997, Zacharia 2007) καθώς και στη συνεισφορά των πραγματικών εργαστηρίων στην κατανόηση συγκεκριμένων εννοιών στις Φυσικές Επιστήμες (Hofstein & Lunetta 2004). Το γεγονός ότι τα μαθησιακά αποτελέσματα (εννοιολογική κατανόηση) και των τεσσάρων ομάδων ήταν παρόμοια, παρέχει σαφείς ενδείξεις ότι ο ισχυρισμός ότι ο ΠΕΕ δεν έχει κάποια συνεισφορά στην ανάπτυξη εννοιολογικής κατανόησης σε σχέση με τον ΠΠΕ δεν ισχύει. Άρα το επιχείρημα ότι ο εργαστηριακός πειραματισμός στις Φυσικές Επιστήμες χρειάζεται αναθεώρηση και αναδιοργάνωση με τρόπο που να περιλαμβάνει πραγματικά και εικονικά περιβάλλοντα πειραματισμού είναι βάσιμο, δεδομένου ότι ο ΠΕΕ μπορεί να παρέχει και δυνατότητες/πλεονεκτήματα οι οποίες δεν είναι διαθέσιμες μέσω του ΠΠΕ (π.χ., πρόσβαση στο μικρόκοσμο). Στη συγκεκριμένη έρευνα αυτές οι δυνατότητες είχαν αφαιρεθεί για μεθοδολογικούς σκοπούς. Υπάρχουν άλλες έρευνες, στις οποίες ο ΠΕΕ παρουσιάζεται να υπερέχει του ΠΠΕ ως προς συγκεκριμένα μαθησιακά αποτελέσματα λόγω των πρόσθετων δυνατοτήτων (π.χ. παρουσίαση γραφικών παραστάσεων, εξοικονόμηση χρόνου) που μπορεί να προσφέρει (π.χ. Zacharia 2007). Μια τέτοια αναδιοργάνωση, όμως, απαιτεί τη δημιουργία ενός πλαισίου καθορισμού εφαρμογής του ΠΠΕ ή του



ΠΕΕ, καθώς τότε και πώς μπορούν να συνδυαστούν ο ΠΠΕ και ο ΠΕΕ. Ο εντοπισμός των κριτηρίων που να καθορίζουν τη χρήση είτε της μιας μεθόδου είτε της άλλης, προκειμένου να επιτυγχάνονται οι μαθησιακές επιδιώξεις στο καλύτερο δυνατό βαθμό, μπορεί να συνεισφέρει προς αυτή την κατεύθυνση. Για αυτό το λόγο θεωρείται σημαντική η επέκταση της εμπειρικής βάσης των πραγματικών εργαστηρίων μέσα από μελλοντική έρευνα, ώστε να τεθούν οι προοπτικές στις οποίες μπορούν να συνεισφέρουν τα εικονικά εργαστήρια. Απαιτείται ταυτόχρονα η θεμελίωση της θεωρητικής προοπτικής στο πλαίσιο ενός διδακτικού προτύπου, στο οποίο θα ορίζεται ο συνδυασμός του ΠΠΕ με τον ΠΕΕ στο μαθησιακό περιβάλλον των Φυσικών Επιστημών.

Πίνακας 3. Οι κατηγορίες ιδεών που προέκυψαν μέσα από τη συλλογή των δεδομένων

	ΟΜΑΔΑ ΕΛΕΓΧΟΥ		ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΟΜΑΔΑ 1		ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΟΜΑΔΑ 2		ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΟΜΑΔΑ 3	
	Πριν την παρέμβαση % (n)	Μετά την παρέμβαση % (n)	Πριν την παρέμβαση % (n)	Μετά την παρέμβαση % (n)	Πριν την παρέμβαση % (n)	Μετά την παρέμβαση % (n)	Πριν την παρέμβαση % (n)	Μετά την παρέμβαση % (n)
Οι πιο αντιπροσωπευτικές ιδέες που εντάσσονται σε κάθε κατηγορία								
Κατηγορία 1								
Διαφορετικά υλικά που βρίσκονται στο ίδιο περιβάλλον για αρκετή ώρα δεν έχουν την ίδια θερμοκρασία και για να βρούμε τη θερμοκρασία τους θα πρέπει να παίρνουμε διαφορετικές μετρήσεις.	71% (40)	5% (3)	70% (41)	7% (4)	73% (24)	15% (5)	71% (24)	12% (4)
Κατηγορία 2								
Η θερμοκρασία εξαρτάται από τη μάζα του δείγματος (θερμοκρασία ανάλογη της μάζας).	23% (13)	0% (0)	39% (23)	12% (7)	21% (7)	3% (1)	15% (5)	0% (0)
Κατηγορία 4								
Το νερό και ο πάγος δεν μπορούν να συνυπάρχουν στην ίδια θερμοκρασία.	70% (39)	16% (9)	76% (45)	24% (14)	15% (5)	6% (2)	32% (11)	12% (4)
Κατηγορία 6								
Μια μικρή ποσότητα νερού αυξάνει λιγότερο τη θερμοκρασία της σχέση με μια μεγαλύτερη ποσότητα νερού, όταν οι δύο ποσότητες βρίσκονται πάνω από την ίδια φλόγα για το ίδιο χρονικό διάστημα.	71% (40)	20% (11)	80% (47)	17% (10)	55% (18)	12% (4)	56% (19)	6% (2)
Κατηγορία 7								
Η τελική θερμοκρασία του σιδήρου θα είναι η μεγαλύτερη σε σχέση με ίσες μάζες αλουμινίου και νερού, όταν αυτά λαμβάνουν το ίδιο ποσό θερμότητας, γιατί ο σίδηρος χρειάζεται τη λιγότερη θερμότητα για να μεταβάλει τη θερμοκρασία του κατά 1° C.	32% (18)	66% (37)	24% (14)	64% (38)	18% (6)	73% (24)	6% (2)	44% (15)

Βιβλιογραφία

- Psilos, D., Argirakis, P., Vlahavas, I., Hatzikraniotis, E., Bisdikian, G., Refanidis, I., Lefkos, I., Korobilis, K., Vrakas, D., Galos, L., Petridou, E., & Nicolaidis, I. (2000). Complex Simulated Environment for Teaching Heat-Thermodynamics. Proceedings of the 2nd National Conference with International Participation, The Technology of Information and Communication in Education, Patra, University of Patra (in Greek).
- Bell, L. R., & Trundle, C. K. (2008). The Use of a Computer Simulation to Promote Scientific Conceptions of Moon Phases. *Journal of Research in Science Teaching*, 45, (3), 346-372.
- Clements, D. H. (1999). The future of educational computing research: The case of computer programming. *Information Technology in Childhood Education Annual*. Norfolk, VA: Association for the Advancement of Computing in Education, 147 – 179.
- Goldberg, F. (1997). Constructing physics understanding in a computer - supported learning environment. *AIP Conference Proceedings*, 399, 903- 911.
- Hofstein, A., & Lunetta, V. N. (2004). The laboratory in science education: Foundations for the Twenty-First Century, *Science Education*, 88 (1), 28-54.
- Klahr, D., Triona, L. M., & Williams, C. (2007). Hands on What? The Relative Effectiveness of Physical Versus Virtual Materials in an Engineering Design Project by Middle School Children. *Journal of Research in Science Teaching*, 44, 183-203.
- McDermott and the Physics Education Group at the University of Washington, (1996). *Physics by Inquiry, Volume II*. Wiley : New York.
- National Science Teachers Association. (1990). Position statement on laboratory science, Retrieved July 6, 2005 from: <http://www.nsta.org/positionstatement&psid'O16> (1990).
- Pearsall, N. R., Skipper, J. E., & Mintzes, J. J. (1997). Knowledge restructuring in the life sciences: a longitudinal study of conceptual change in biology. *Science Education*, 81, 193–215.
- Steinberg, R. N. (2000). Computers in teaching science: To simulate or not to simulate; *Physics Education Research, American Journal of Physics Supplement*, 68, 16- 24.
- Tao, P., & Gunstone, R.(1999). The process of conceptual change in force and motion during computer- supported physics instruction. *Journal of Research in Science Teaching*, 36, 859- 882.
- Vosniadou, S. (1994). Capturing and modeling the process of conceptual change *Learning and Instruction*, 4, 45–69.
- Vreman-de Olde, C., & de Jong, T. (2004). Student-generated assignments about electrical circuits in a computer simulation. *International Journal of Science Education*, 26, 859-873.
- Zacharia (2007). Comparing and Combining Real and Virtual Experimentation: An Effort to Enhance Students' Conceptual Understanding of Electric Circuits. *Journal of Computer Assisted Learning*, 23 (2), 120-132.
- Zacharia, C. Z., & Constantinou, P. C. (2008). Comparing the influence of physical and virtual manipulatives in the context of the Physics by Inquiry curriculum: The case of undergraduate students' conceptual understanding of heat and temperature. *American Journal of Physics*, 76, 425 – 430.
- Zacharia, C. Z., Olympiou, G., & Papaevripidou, M. (2008). Effects of Experimenting with Physical and Virtual Manipulatives on Students' Conceptual Understanding in Heat and Temperature. *Journal of Research in Science Teaching*, 45, 9, 1021–1035.