

# Η ανάπτυξη και εφαρμογή ενός πλαισίου συνδυασμού εικονικών και πραγματικών περιβαλλόντων πειραματισμού στις Φυσικές Επιστήμες

Γιώργος Ολυμπίου, Ζαχαρίας Χ. Ζαχαρία  
olympriog@ucy.ac.cy, zach@ucy.ac.cy  
Τμήμα Επιστημών της Αγωγής, Πανεπιστήμιο Κύπρου

## Περίληψη

Ο κύριος σκοπός της παρούσας ερευνητικής προσπάθειας ήταν η εφαρμογή και η εγκυροποίηση ενός πλαισίου συνδυασμού Πειραματισμού σε Πραγματικά Εργαστήρια (ΠΠΕ) και Πειραματισμού σε Εικονικά Εργαστήρια (ΠΕΕ) για την ανάπτυξη εννοιολογικής κατανόησης στις Φυσικές Επιστήμες. Η παράλληλη διερεύνηση των πειραματικών διαδικασιών, που εφαρμόστηκαν σε κάθε συνθήκη, κατέδειξε σημαντικά στοιχεία ως προς τις διαφοροποιήσεις που προέκυψαν σε σχέση με την επίτευξη εννοιολογικής κατανόησης ανάμεσα στις τρεις ομάδες. Το δείγμα αποτέλεσαν 114 Εκπαιδευόμενοι Εκπαιδευτικοί (ΕΕ) οι οποίοι χωρίστηκαν σε τρεις ομάδες που εφάρμοσαν ΠΠΕ (42 άτομα), ΠΕΕ (36 άτομα) και συνδυασμό ΠΠΕ και ΠΕΕ (36 άτομα). Οι ΕΕ συμμετείχαν σε ένα εισαγωγικό πρόγραμμα σπουδών που βασιζόταν στη διδακτική προσέγγιση της Φυσικής με Διερώτηση (βλ. Φως και Χρώμα). Τα αποτελέσματα κατέδειξαν πως ο συνδυασμός του ΠΠΕ και του ΠΕΕ στη βάση του μεθοδολογικού πλαισίου που εφαρμόστηκε είναι πιο αποτελεσματικός από την αποκλειστική εφαρμογή του ΠΠΕ ή του ΠΕΕ, στην οικοδόμηση εννοιολογικής κατανόησης και παρά τις ομοιότητες στις πειραματικές διαδικασίες που εφαρμόστηκαν προέκυψαν σημαντικές διαφοροποιήσεις ανάμεσα στις πειραματικές συνθήκες, οι οποίες ενδεχομένως να συνδέονται με τα αναφερόμενα μαθησιακά αποτελέσματα.

**Λέξεις κλειδιά:** εικονικά εργαστήρια, πραγματικά εργαστήρια, εννοιολογική κατανόηση, πειραματικές διαδικασίες

## Εισαγωγή

Τις τελευταίες τέσσερις δεκαετίες αρκετές έρευνες προσπάθησαν να διερευνήσουν και να τεκμηριώσουν τη συνεισφορά του Πειραματισμού σε Πραγματικό Εργαστήριο (ΠΠΕ) και του Πειραματισμού σε Εικονικό Εργαστήριο (ΠΕΕ) στις Φυσικές Επιστήμες (Finkelstein et al., 2005; Mikropoulos & Natsis, 2011; Olymπίου, Zacharia, & de Jong, 2013). Σε αυτές τις ερευνητικές προσπάθειες ο ΠΠΕ ορίζεται ως μια μαθησιακή εμπειρία, η οποία επιτρέπει στα πρόσωπα να αλληλεπιδρούν με πραγματικά υλικά και μοντέλα στο εργαστήριο, με σκοπό την παρατήρηση και την κατανόηση φαινομένων, ενώ ο ΠΕΕ ορίζεται ως μια μαθησιακή εμπειρία, η οποία επιτρέπει στα πρόσωπα να αλληλεπιδρούν με εικονικά υλικά και μοντέλα στον υπολογιστή, με σκοπό την παρατήρηση και την κατανόηση φαινομένων.

Σε αυτό το πλαίσιο αρκετές συγκριτικές μελέτες στην προσπάθεια διερεύνησης της αποτελεσματικότητας των δύο πειραματικών μέσων στον εργαστηριακό πειραματισμό (Finkelstein et al., 2005; Marshall and Young, 2006) κατέδειξαν αντιφατικά δεδομένα ως προς τα μαθησιακά αποτελέσματα και συγκεκριμένα ως προς την ανάπτυξη εννοιολογικής κατανόησης. Μέσα από αυτά τα αποτελέσματα προκύπτουν σημαντικά ερωτήματα όπως: Γιατί παρουσιάζονται τέτοια αντιφατικά αποτελέσματα; Πότε είναι προτιμότερη ή χρήση του ΠΠΕ και πότε του ΠΕΕ; Είναι προτιμότερος ο συνδυασμός των δύο μέσων ή η αποκλειστική εφαρμογή τους σε κάθε συγκείμενο;

Μέσα από τα ερευνητικά αποτελέσματα φαίνεται πως η γενική τάση υποδεικνύει προς τη συνδυασμένη χρήση του ΠΠΕ και του ΠΕΕ αξιοποιώντας τα συγκριτικά πλεονεκτήματα του κάθε μέσου πειρατισμού όπου αυτά ισχύουν. Συνεπώς, ο προβληματισμός της επιστημονικής κοινότητας οδηγείται προς τη διερεύνηση ενός πλαισίου συνδυασμού του ΠΠΕ και του ΠΕΕ, που να συνεισφέρει πρωτίστως στα αναμενόμενα μαθησιακά αποτελέσματα. Ταυτόχρονα, ο οποιοσδήποτε προτεινόμενος συνδυασμός των δύο πειραματικών μέσων, είναι χρήσιμο να συνοπολογίζει και τις πειραματικές διαδικασίες που λαμβάνουν χώρα κατά τη διάρκεια του πειρατισμού, ώστε να επιτυγχάνεται η ιδανική αντιστοίχιση δυνατοτήτων του ΠΠΕ και του ΠΕΕ με τα αναμενόμενα μαθησιακά αποτελέσματα.

Βασικός σκοπός της παρούσας προσπάθειας ήταν η εφαρμογή ενός πλαισίου στοχευμένου συνδυασμού του ΠΠΕ και του ΠΕΕ στη βάση συγκεκριμένων κριτηρίων, που να αξιοποιεί τα συγκριτικά πλεονεκτήματα του κάθε μέσου πειρατισμού και στη συνέχεια η διερεύνηση των πειραματικών διαδικασιών που εφαρμόζονται σε κάθε συνθήκη και που δύνανται να προκαλούν τα συγκεκριμένα μαθησιακά αποτελέσματα. Η συγκεκριμένη προσπάθεια βασίστηκε στη διερεύνηση της βιβλιογραφίας για την αρχική συσχέτιση των δυνατοτήτων των πειραματικών μέσων και των μαθησιακών επιδιώξεων όπως τεκμηριώνεται μέσα από εμπειρικά δεδομένα μιας σειράς συγκριτικών προσπαθειών των πειραματικών μέσων αλλά και του συνδυασμού τους. Τα ερευνητικά ερωτήματα που στοχεύει να απαντήσει η παρούσα έρευνα είναι:

- Πώς συγκρίνεται η βελτίωση της εννοιολογικής κατανόησης των ατόμων που εργάζονται με ΠΠΕ ή ΠΕΕ, με άτομα που χρησιμοποιούν στοχευμένο συνδυασμό του ΠΕΕ και του ΠΠΕ;
- Ποιες διαδικασίες ακολουθούν οι μαθητές κατά την εργασία σε ομάδες (ΠΠΕ, ΠΕΕ ή ΠΠΕ και ΠΕΕ) για την οικοδόμηση εννοιολογικής κατανόησης;

## Βιβλιογραφική επισκόπηση

Τα αντιφατικά αποτελέσματα που προκύπτουν μέσα από τη διεθνή βιβλιογραφία υπέρ του ΠΠΕ ή του ΠΕΕ φαίνεται να προκύπτουν κυρίως από την απουσία ελέγχου συγκεκριμένων παραμέτρων (π.χ. χρόνος παρέμβασης, διδακτικό υλικό κλπ.) με αποτέλεσμα να υπάρχουν μεθοδολογικές αδυναμίες στις συγκρίσεις που διεξάγονται. Συγκεκριμένα τα αποτελέσματα κάποιων προσπαθειών θεωρούνται παραπλανητικά ως προς την αποτελεσματικότητα του ΠΠΕ και του ΠΕΕ στα μαθησιακά αποτελέσματα. Η συγκεκριμένη αδυναμία φαίνεται να αντιμετωπίζεται μέσα από τη σύγκριση του ΠΠΕ και του ΠΕΕ στη βάση των μοναδικών τους δυνατοτήτων, διατηρώντας τις υπόλοιπες παραμέτρους σταθερές (διάρκεια παρέμβασης, διδακτικό υλικό, διδακτικό προσωπικό, διδακτική προσέγγιση κλπ).

Οι βασικότερες μοναδικές δυνατότητες του ΠΠΕ σε αυτό το πλαίσιο με βάση τη βιβλιογραφία θεωρούνται: α) η παράλληλη (πιθανή) εμπλοκή όλων των ανθρώπινων αισθήσεων, β) η παροχή χειροπιαστών εμπειριών αφής, όσφρησης και γεύσης (φυσικότητα των υλικών) και γ) η δυνατότητα ανάπτυξης πρακτικών και κιναισθητικών δεξιοτήτων (Millar, 1999). Από την άλλη, οι βασικότερες μοναδικές δυνατότητες του ΠΕΕ θεωρούνται: α) η εύκολη μεταφορά οποιουδήποτε φαινομένου στο εργαστήριο (φαινόμενα που δεν μπορούν να διερευνηθούν με πραγματικά υλικά), β) η ελαχιστοποίηση σφαλμάτων, γ) η διαχείριση ασύμβατων κλιμάκων, δ) η συμπερίληψη πολλαπλών εικονικών δυναμικά συσχετιζόμενων αναπαραστάσεων, ε) η ευέλικτη διαχείριση χρόνου, στ) η δυνατότητα παροχής υποστηρικτικών διεργασιών σε αφαιρετικές έννοιες και ζ) η εξιδανίκευση φαινομένων (Triona & Klahr, 2003; Zacharia, Olympiou, & Papaevripidou, 2008).

Στη βιβλιογραφία παρουσιάζεται μια σειρά από προσπάθειες συνδυασμών του ΠΠΕ και του ΠΕΕ στη βάση διαφορετικών μεθοδολογιών σε μια γκάμα συγκεκριμένων στις Φυσικές Επιστήμες. Συγκεκριμένα, παρουσιάζονται σειριακοί συνδυασμοί (Zacharia & Olympriou, 2011), παράλληλοι συνδυασμοί (Jaakkola, Nurmi, & Veermans, 2010) και στοχευμένοι συνδυασμοί του ΠΠΕ και του ΠΕΕ (Olympriou & Zacharia, 2012). Συγκρίνοντας τις μεθοδολογίες όλων των κατηγοριών συνδυασμών προκύπτει ότι, μόνο στην περίπτωση των στοχευμένων συνδυασμών η χρήση του ΠΠΕ στις Φυσικές Επιστήμες, επιλεγόταν όταν οι δυνατότητες του εξυπηρετούσαν τους μαθησιακούς στόχους, περισσότερο από τον ΠΕΕ και αντίστροφα. Για παράδειγμα, εάν ο στόχος ήταν η ανάπτυξη και η εφαρμογή κιναισθητικών δεξιοτήτων τότε εφαρμοζόταν ο ΠΠΕ. Από την άλλη, εάν ο στόχος ήταν η διερεύνηση φαινομένων μέσα από τη διαχείριση ασύμβατων κλιμάκων τότε εφαρμοζόταν ο ΠΕΕ. Στην παρούσα προσπάθεια, η ανάπτυξη (Olympriou & Zacharia, 2012) και εφαρμογή ενός πλαισίου συνδυασμού του ΠΠΕ και του ΠΕΕ, στηρίχθηκε στη γνώση των δυνατοτήτων του ΠΠΕ και του ΠΕΕ και την αντιστοίχιση τους με τους μαθησιακούς στόχους, όπως προέκυψε μέσα από την επισκόπηση της διεθνούς βιβλιογραφίας. Για την επίτευξη αυτής της προσπάθειας, πραγματοποιήθηκε η αναγνώριση των μοναδικών δυνατοτήτων που προωθούνται μέσα από τον ΠΠΕ και τον ΠΕΕ για την προώθηση εννοιολογικής κατανόησης στις Φυσικές Επιστήμες και εφαρμόστηκε το πλαίσιο συνδυασμού ΠΠΕ και ΠΕΕ που αναπτύχθηκε από τους Olympriou και Zacharia (2012).

Κατά την εφαρμογή οποιουδήποτε συνδυασμού ΠΠΕ και ΠΕΕ, προκύπτει η ανάγκη διερεύνησης των διαδικασιών που εφαρμόζονται κατά τη διάρκεια των διδακτικών παρεμβάσεων, οι οποίες ενδεχομένως να διαφοροποιούνται κατά την αποκλειστική εφαρμογή του ΠΠΕ ή του ΠΕΕ. Η αναφερόμενη ανάγκη προκύπτει από τα διαφορετικά αποτελέσματα που παρουσιάζονται στη διεθνή βιβλιογραφία υπέρ των στοχευμένων συνδυασμών του ΠΠΕ και του ΠΕΕ (Olympriou & Zacharia, 2012) στις Φυσικές Επιστήμες. Είναι προφανής η έλλειψη επαρκούς διερεύνησης των διαφορετικών πειραματικών διαδικασιών που εφαρμόζονται κατά την εφαρμογή του ΠΠΕ ή του ΠΕΕ, επιδρώντας στα μαθησιακά αποτελέσματα και ειδικότερα στην επίτευξη της εννοιολογικής κατανόησης στις Φυσικές Επιστήμες (Olympriou & Zacharia, 2012).

## **Μεθοδολογία**

### **Δείγμα**

Το δείγμα της έρευνας αποτέλεσαν 114 προπτυχιακοί Εκπαιδευόμενοι Εκπαιδευτικοί (ΕΕ) από το τμήμα Επιστημών της Αγωγής του Πανεπιστημίου Κύπρου οι οποίοι κατανεμήθηκαν σε τρεις ομάδες: Ομάδα Ελέγχου 1 (ΟΕ1, ΠΠΕ=42 ΕΕ), Ομάδα Ελέγχου 2 (ΟΕ2, ΠΕΕ=36 ΕΕ) και Πειραματική Ομάδα (ΠΟ, ΠΠΕ + ΠΕΕ =36 ΕΕ). Οι ΕΕ συμμετείχαν σε ένα εισαγωγικό μάθημα στις Φυσικές Επιστήμες στο Πανεπιστήμιο Κύπρου.

### **Διδακτικό υλικό**

Για τους σκοπούς της παρούσας ερευνητικής προσπάθειας χρησιμοποιήθηκε το διδακτικό υλικό Φως και Χρώμα από το πρόγραμμα «Φυσική με Διερώτηση» (McDermott et al., 1996). Το διδακτικό υλικό «Φως και Χρώμα» περιλάμβανε τα ακόλουθα κεφάλαια μετά την απαιτούμενη αναπροσαρμογή του υλικού στη χρονική διάρκεια διεξαγωγής της έρευνας (13 εβδομάδες): Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή στο φως, Κεφάλαιο 2: σκιές, Κεφάλαιο 3: βαφές, Κεφάλαιο 4: έγχρωμο φως.

### **Πειραματικά υλικά**

Ο ΠΠΕ περιλάμβανε τη χρήση πραγματικών οργάνων (π.χ. χάρακες), αντικειμένων (π.χ. κύβοι και μεταλλικοί δακτύλιοι) και υλικών (π.χ. φωτεινές πηγές όπως λαμπτήρες, φανάρια, διαφορετικά χρωματικά φίλτρα, επιδιασκόπεια) σε ένα συμβατικό εργαστήριο των Φυσικών Επιστημών. Ο ΠΠΕ περιλάμβανε τη χρήση εικονικών οργάνων (π.χ. χάρακες), αντικειμένων (π.χ. κύβοι και μεταλλικοί δακτύλιοι) και υλικών (π.χ. φωτεινές πηγές όπως λαμπτήρες, φανάρια, διαφορετικά χρωματικά φίλτρα και επιδιασκόπεια) για τη διεξαγωγή των πειραμάτων σε ένα εικονικό εργαστήριο στους ηλεκτρονικούς υπολογιστές. Τα πειράματα της έρευνας διεξάχθηκαν στο εικονικό εργαστήριο «Σκιές και Χρώματα» (Hatzikraniotis et al., 2007).

### **Συλλογή δεδομένων**

Σε όλες τις ομάδες (OE1, OE2 και ΠΟ) χορηγήθηκε αρχικά το ίδιο δοκίμιο (δοκίμιο Φως & Χρώμα). Επιπρόσθετα, πραγματοποιήθηκε η χορήγηση των ίδιων πειραματικών δοκιμών πριν και μετά από κάθε κεφάλαιο του διδακτικού υλικού. Τα δοκίμια που χορηγήθηκαν στο πλαίσιο της παρούσας έρευνας αναπτύχθηκαν και χρησιμοποιήθηκαν από την Ερευνητική Ομάδα Φυσικής στο Πανεπιστήμιο της Washington (McDermott et al., 1996).

Παράλληλα, με τη συλλογή των δεδομένων από τη χορήγηση των δοκιμών, διεξήχθησαν οπτικογραφήσεις σε όλες τις συνθήκες της έρευνας. Συγκεκριμένα, επελέγησαν τυχαία δύο ομάδες από κάθε συνθήκη της OE1, της OE2 και της ΠΟ, και οπτικογραφήθηκαν κατά τη διάρκεια διεξαγωγής των εργασιών τους στις συναντήσεις που πραγματοποίησαν στο πλαίσιο του ακαδημαϊκού εξαμήνου. Συνολικά, οπτικογραφήθηκαν έξι ομάδες (δύο από κάθε συνθήκη). Οι οπτικογραφήσεις στις ομάδες που εργάζονταν σε ηλεκτρονικούς υπολογιστές συνοδεύονταν και από την οπτικογράφιση των εργασιών τους στις οθόνες των υπολογιστών με την εφαρμογή ειδικού λογισμικού που χρησιμοποιήθηκε για αυτό το σκοπό (Screen Recorder Pro–Riverpast).

### **Ανάλυση δεδομένων**

#### **Ανάλυση δοκιμών**

Τα δεδομένα που προέκυψαν μέσα από τα πειραματικά δοκίμια αναλύθηκαν τόσο ποσοτικά όσο και ποιοτικά. Αρχικά, όλα τα δοκίμια κωδικοποιήθηκαν μέσα από τη χρήση των αντίστοιχων εντύπων κωδικοποίησης στη βάση προκαθορισμένων κριτηρίων και ακολούθως πραγματοποιήθηκαν οι στατιστικοί έλεγχοι: one-way ANOVA, paired samples t-test και one-way ANCOVA για τη σύγκριση της βελτίωσης της εννοιολογικής κατανόησης ανάμεσα στις διαφορετικές πειραματικές συνθήκες που έλαβαν μέρος σε κάθε φάση της έρευνας. Οι προϋπάρχουσες γνώσεις των συμμετεχόντων πριν από την εφαρμογή κάθε κεφαλαίου του διδακτικού υλικού, κωδικοποιήθηκαν μέσα από τις επιδόσεις τους στα πειραματικά δοκίμια και συνυπολογίστηκαν ως συμμεταβλητή στο στατιστικό έλεγχο one-way ANCOVA. Η ποσοτική ανάλυση των δεδομένων που συλλέχθηκαν από τα πειραματικά δοκίμια, συνοδεύτηκε από την ταυτόχρονη κωδικοποίηση των ιδεών των ατόμων τόσο πριν όσο και μετά την παρέμβαση σε όλες τις ομάδες που έλαβαν μέρος στην έρευνα ώστε να διεξαχθεί τόσο ποιοτικά όσο και ποσοτικά η σύγκριση των ιδεών τους πριν και μετά τις διδακτικές παρεμβάσεις. Με βάση τη μεθοδολογία της ανοικτής κωδικοποίησης εντοπίστηκαν και κωδικοποιήθηκαν, οι επιστημονικά αποδεκτές ιδέες και οι εναλλακτικές ιδέες που παρουσίασαν οι μανθάνοντες στα πειραματικά δοκίμια σε σχέση με τη διάδοση του φωτός και την πορεία που ακολουθεί, τις σκιές, τα χρώματα στις βαφές και τη διάδοση και ανάμειξη του έγχρωμου φωτός.

#### **Ανάλυση οπτικογραφημένων στιγμιότυπων**

Την επιλογή των απομαγνητοφωνημένων οπτικογραφημένων στιγμιότυπων, ακολούθησε η κωδικοποίηση τους (Πίνακας 1) με βάση σχετικό έντυπο κωδικοποίησης (Scherr, 2008; Scherr & Hammer, 2007) το οποίο καταρτίστηκε ειδικά για την αποτύπωση και κωδικοποίηση των διαδικασιών που εφάρμοσαν οι μανθάνοντες κατά τη διεξαγωγή των πειραμάτων στις διαφορετικές πειραματικές συνθήκες. Στην παρούσα προσπάθεια παρουσιάζεται η περιγραφική στατιστική που διεξάχθηκε σε ένα πείραμα του κεφαλαίου 4 για κάθε πειραματική συνθήκη (συνολική διάρκεια 343 λεπτών)

**Πίνακας 1. Απόσπασμα εντύπου κωδικοποίησης των διαδικασιών των εργασιών των ατόμων κατά τις διδακτικές παρεμβάσεις**

Κατηγορίες	Υποκατηγορίες
Που είναι στραμμένη η προσοχή των ΕΕ	Συμπλήρωση φύλλων εργασίας διδακτικού υλικού
	Χρησιμοποίηση εικονικού εργαστηρίου
	Εκτέλεση πραγματικού πειράματος
	Συζήτηση
	Άσχετο

Οι υποκατηγορίες των κεντρικών κατηγοριών καθορίστηκαν με βάση τις δραστηριότητες των ΕΕ κατά τη διεξαγωγή όλων των διδακτικών παρεμβάσεων.

### Αποτελέσματα

Τα αποτελέσματα των στατιστικών αναλύσεων paired samples t-test κατέδειξαν στατιστικά σημαντική βελτίωση στην εννοιολογική κατανόηση των ατόμων σε όλες τις ομάδες ( $p < 0,001$ ), γεγονός που καταδεικνύει την αποτελεσματικότητα της διδακτικής προσέγγισης που εφαρμόστηκε. Αναλυτικά, στο κεφάλαιο 1 όπου έγινε διερεύνηση των εισαγωγικών εννοιών για διάδοση του φωτός και τις προϋποθέσεις που πρέπει να ισχύουν για να είναι ορατό ένα αντικείμενο από κάποιο παρατηρητή, δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές στη βελτίωση που επιτεύχθηκε ανάμεσα στις ΟΕ1, ΟΕ2 και ΠΟ,  $F(2, 110)=0,967$ ,  $p=0,384$ ,  $\eta^2 = 0,017$ . Στα κεφάλαια 2, 3 και 4 του διδακτικού υλικού παρουσιάστηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές ανάμεσα στις τρεις ομάδες που έλαβαν μέρος στη διεξαγωγή των διδακτικών παρεμβάσεων (Πίνακας 2),  $F(2, 110)=6,96$ ,  $p=0,001$ ,  $\eta^2 = 0,11$ ,  $F(2, 110)=4,34$ ,  $p=0,015$ ,  $\eta^2 = 0,073$ ,  $F(2, 110)=9,55$ ,  $p=0,000$ ,  $\eta^2 = 0,148$ . Αντίστοιχα στο δοκίμιο Φως και Χρώμα όπου αξιολογήθηκε η εννοιολογική κατανόηση των μανθάνοντων σε όλο το περιεχόμενο του διδακτικού υλικού, προέκυψαν στατιστικά σημαντικές διαφοροποιήσεις υπέρ της ΠΟ,  $F(2, 110)=13,533$ ,  $p=0,000$ ,  $\eta^2 = 0,197$ .

**Πίνακας 2. Σύγκριση της βελτίωσης της εννοιολογικής κατανόησης στο Φως και Χρώμα για τις ομάδες ΟΕ1, ΟΕ2 και ΠΟ**

Κεφάλαια	df1	df2	F	Sig
Εισαγωγή στο φως	2	110	0,967	0,384
Σκιές	2	110	6,965	0,001
Βαφές	2	110	4,34	0,015
Έγχρωμο φως	2	110	9,55	0,000
Φως και Χρώμα	2	110	13,533	0,000

Οι επιπρόσθετοι post hoc έλεγχοι κατέδειξαν στατιστικά σημαντικές διαφορές υπέρ της ΠΟ, όπου εφαρμόστηκε ο στοχευμένος συνδυασμός του ΠΠΕ και του ΠΕΕ. Τα συγκεκριμένα αποτελέσματα ενισχύθηκαν και από την ποιοτική ανάλυση των ιδεών των ατόμων, όπου οι μεγαλύτερες συγκριτικά μετατοπίσεις από τις εναλλακτικές ιδέες προς τις επιστημονικά αποδεκτές ιδέες παρατηρήθηκαν στην ίδια ομάδα (ΠΟ).

**Πίνακας 3. Πείραμα 4.1 - Είδος διαλόγου στις τρεις πειραματικές συνθήκες**

Διαδικασίες	Κατηγορίες	ΠΠΕ		ΠΕΕ		ΠΠΕ & ΠΕΕ	
		ΟΜΑΔΑ Α	ΟΜΑΔΑ Β	ΟΜΑΔΑ Α	ΟΜΑΔΑ Β	ΟΜΑΔΑ Α	ΟΜΑΔΑ Β
Είδος Διαλόγου	Επιστημονικά αποδεκτή απάντηση για επιστημονικό περιεχόμενο	33	39	25	45	76	59
	Επιστημονικά μη αποδεκτή απάντηση για επιστημονικό περιεχόμενο	13	21	0	14	35	39
	Ερώτηση για επιστημονικό περιεχόμενο	63	77	37	93	165	139
	Επιστημονικά αποδεκτή δήλωση	39	61	56	64	132	150
	Επιστημονικά μη αποδεκτή δήλωση	24	35	7	19	66	75
	Σχόλιο επιστημονικού περιεχομένου	51	102	100	172	92	82
	Διάβασμα οδηγιών	9	13	16	14	7	10
	Άσχετο	34	182	48	118	20	95
	Διαδικαστικά - οργάνωση Εργασίας	54	106	61	78	103	128
	Ερώτηση για πειραματική διαδικασία	41	32	26	31	53	77
	Επιστημονικά αποδεκτή απάντηση για πειραματική διαδικασία	20	15	15	15	29	30
	Επιστημονικά μη αποδεκτή απάντηση για πειραματική διαδικασία	5	3	0	1	2	3
	Σχόλιο για πειραματική διαδικασία	63	81	85	86	131	133

Αναφορικά με τις διαδικασίες που ακολουθήθηκαν κατά την εργασία των ομάδων προέκυψαν αρκετές ομοιότητες, κυρίως λόγω της ίδιας διδακτικής προσέγγισης και του διδακτικού υλικού που εφαρμόστηκε σε όλες τις πειραματικές συνθήκες (π.χ. χρήση του διδακτικού υλικού, σχόλια για το επιστημονικό περιεχόμενο κλπ). Ταυτόχρονα παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφοροποιήσεις ανάμεσα στην ΠΟ και τις ΟΕ1 και ΟΕ2 (Πίνακας 3). Συγκεκριμένα, οι συμμετέχοντες στην ΠΟ διεξήγαγαν μεγαλύτερο αριθμό παρατηρήσεων στα 2 πειράματα που αναλύθηκαν αναφορικά με την ανάμειξη του έγχρωμου φωτός, χρησιμοποιώντας ταυτόχρονα την εναλλαγή των 2 πειραματικών μέσων του ΠΠΕ και του ΠΕΕ. Αυτό το γεγονός, τους οδήγησε στη διατύπωση περισσότερων ερωτήσεων επιστημονικού περιεχομένου και σε ορισμένες περιπτώσεις σε περισσότερες επιστημονικά αποδεκτές και μη αποδεκτές απαντήσεις καθώς και δηλώσεις που είχαν σχέση με το επιστημονικό περιεχόμενο, από τους συμμετέχοντες των ομάδων ελέγχου, ΟΕ1 και ΟΕ2.

Γενικότερα, οι προβλέψεις κατά τη διεξαγωγή των πειράματος σε όλες τις ομάδες διεξάγονταν ταυτόχρονα με το χειρισμό της πειραματικής διάταξης (ειδικότερα στο κεφάλαιο 4). Οι συζητήσεις με το διδακτικό προσωπικό αναφορικά με τα αποτελέσματα των πειραμάτων τηρήθηκαν στη βάση του διδακτικού υλικού (σημεία ελέγχου). Στο πλαίσιο του ΠΠΕ, οι παρεμβάσεις των διδασκόντων προέκυπταν για τον κατάλληλο χειρισμό της πειραματικής διάταξης και για το συντονισμό της διεξαγωγής των παρατηρήσεων. Ταυτόχρονα, η εμπλοκή με πειραματικά μέσα και υλικά διεξαγόταν σε συγκεκριμένα χρονικά σημεία, σε αντίθεση με τον ΠΕΕ, όπου η εφαρμογή του εκτεινόταν συνήθως σε όλη τη διάρκεια της διεξαγωγής των παρατηρήσεων. Στο πλαίσιο του ΠΕΕ, μέσω συνοπτικών διαδικασιών οι μανθάνοντες κατέληγαν σχετικά σύντομα σε ομοφωνία παρατηρήσεων.

## Συμπεράσματα

Μέσα από τα αποτελέσματα προκύπτει πως η στοχευμένη εφαρμογή του ΠΠΕ και του ΠΕΕ (Olymriou & Zacharia, 2012) αποτελεί την πιο αποτελεσματική συνθήκη (σε σύγκριση με την αποκλειστική εφαρμογή του ΠΠΕ ή του ΠΕΕ) για την ανάπτυξη εννοιολογικής κατανόησης στο συγκεκριμένο Φως και Χρώμα. Ταυτόχρονα, τα συγκεκριμένα αποτελέσματα ενδεχομένως να συνδέονται με τις διαφορετικές διαδικασίες που προκύπτουν στο πλαίσιο συνδυασμού του ΠΠΕ και του ΠΕΕ. Οι αναλύσεις των οπτικογραφήσεων σε συνδυασμό με τα αναστοχαστικά ημερολόγια κατέδειξαν πως οι ομάδες των μανθάνοντων που εφάρμοσαν και τα δύο πειραματικά μέσα ανέπτυξαν μια κουλτούρα αρχικής κατανόησης της πειραματικής διάταξης και του τρόπου που λειτουργεί και μετέπειτα προχώρησαν στη διεξαγωγή παρατηρήσεων. Παράλληλα η διεξαγωγή πολλαπλών δοκιμών και έπειτα η διεξαγωγή παρατηρήσεων με ταυτόχρονη συμπλήρωση των φύλλων εργασίας, φαίνεται να οδήγησε σε πιο ασφαλή αποτελέσματα τα οποία ενισχύονταν από τη δυνατότητα εφαρμογής και των δύο πειραματικών μέσων. Συγκεκριμένα, οι μανθάνοντες επιβεβαίωναν με το εικονικό πειραματικό μέσο τις παρατηρήσεις που διεξήγαγαν στο πλαίσιο του ΠΠΕ (χωρίς να τους ζητείται), με αποτέλεσμα να οικοδομούν επεξηγήσεις στη βάση ευρημάτων και να αναπτύσσουν τα αντίστοιχα εννοιολογικά μοντέλα. Επιπρόσθετα, μέσα από τα αποτελέσματα της ποσοτικής ανάλυσης, φαίνεται πως στο κεφάλαιο 4, όπου αναλύονται οι σύνθετες έννοιες για το έγχρωμο φως, οι διαφοροποιήσεις της ΠΟ από τις ΟΕ1 και ΟΕ2 αυξάνονται, γεγονός που ενδεχομένως να οφείλεται στις επιπρόσθετες δυνατότητες που παρέχονταν μέσω των πολλαπλών εικονικών δυναμικά συσχετιζόμενων αναπαραστάσεων που παρέχονταν από το εικονικό εργαστήριο σε συνδυασμό με τη χρήση πραγματικών υλικών.

Ο στοχευμένος συνδυασμός του ΠΠΕ και του ΠΕΕ, όταν θεμελιώνεται στο μεθοδολογικό πλαίσιο που εφαρμόστηκε στην παρούσα εργασία, φαίνεται να προκαλεί τις υφιστάμενες νόρμες στον εργαστηριακό πειραματισμό στις Φυσικές Επιστήμες. Συγκεκριμένα, προκαλεί τον εργαστηριακό πειραματισμό όπως είναι διαδεδομένος μέσω του ΠΠΕ ή του ΠΕΕ, με τρόπο που απαιτεί την αναδιοργάνωση και αναπροσαρμογή του ώστε να περιλαμβάνει στοχευμένους συνδυασμούς του ΠΠΕ και του ΠΕΕ, συνδυάζοντας τις εκάστοτε δυνατότητες π.χ. διαφορετικά κανάλια αισθήσεων και πολλαπλά κανάλια αξιοποίησης της εργαζόμενης μνήμης (Cook, 2006; Zacharia & Ολυμπίου, 2011). Για την κατανόηση όμως του τρόπου με τον οποίο διαφοροποιείται ο συνδυασμός του ΠΠΕ και του ΠΕΕ από την αποκλειστική εφαρμογή του κάθε πειραματικού μέσου θεωρείται αναγκαία η διερεύνηση και η κωδικοποίηση των εργασιών των μανθανόντων σε κάθε πειραματική συνθήκη. Το πλαίσιο συνδυασμού που εφαρμόστηκε στην παρούσα προσπάθεια είναι σημαντικό να εμπλουτιστεί μέσα από ανάλογες προσπάθειες που θα διερευνούν διαδικασίες που εφαρμόζονται κατά τον πειραματισμό με πραγματικά και εικονικά υλικά, τόσο σε άλλα συγκείμενα, όσο και σε άλλες ηλικίες μανθανόντων. Ταυτόχρονα, κρίνεται ουσιώδης η εμπειρική τεκμηρίωση της σύνδεσης συγκεκριμένων διαδικασιών, που ενισχύονται μέσω στοχευμένου συνδυασμού του ΠΠΕ και του ΠΕΕ, με τα μαθησιακά αποτελέσματα που προκύπτουν σε επίπεδο ανάπτυξης εννοιολογικής κατανόησης στις Φυσικές Επιστήμες.

## Αναφορές

- Cook, M. P. (2006). Visual representation in science education: the influence of prior knowledge and cognitive load theory on instructional design principles. *Science Education*, 90(6), 1073–1091
- Finkelstein, N. D., Adams, W. K., Keller, C. J., Kohl, P. B., Perkins, K. K., Podolefsky, N. S., Reid, S., & 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), 1–8.
- Hatzikraniotis, E., Bisdikian, G., Barbas, A., & Psillos, D. (2007). Optilab: Design and development of an integrated virtual laboratory for teaching optics. *Proceedings of the 7<sup>th</sup> International Conference on Computer Based Learning in Science*, CBLIS, Crete, Greece.
- Jaakkola, T., Nurmi, S., & Veermans, K. (2010). A Comparison of Students' Conceptual Understanding of Electric Circuits in Simulation Only and Simulation-Laboratory Contexts. *Journal of Research in Science Teaching*, 48(1), 1-15.
- Marshall, J. A., & Young, E.S. (2006). Preservice Teachers' Theory Development in Physical and Simulated Environments. *Journal of Research in Science Teaching*, 43(9), 907–937.
- McDermott and the Physics Education Group at the University of Washington, (1996). *Physics by Inquiry*, Volume II. Wiley: New York.
- Mikropoulos, T. A. & Natsis, A. (2011). Educational Virtual Environments: A Ten Year Review of Empirical Research (1999 – 2009). *Computers & Education*, 56(3), 769-780.
- Millar, S. (1999). Memory in touch. *Psicothema*, 11(4), 747-767.
- Olympiou, G., & Zacharia, Z. C. (2012). Blending physical and virtual manipulatives: An effort to improve students' conceptual understanding through science laboratory experimentation, *Science Education*, 96(1), 21-47.
- Olympiou, G., Zacharia, Z. C., de Jong, T. (2013). Making the invisible visible: Enhancing students' conceptual understanding by introducing representations of abstract objects in a simulation, *Instructional Science*, 41(3), 575–596.
- Scherr, R. E. (2008). Gesture analysis for physics education researchers. *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*, 4, 1.
- Scherr, R. E., & Hammer, D. (2007). Student Behavior and Epistemological Framing: Examples from Collaborative Active-Learning Activities in Physics Expert. *Cognition and Instruction*, 27(2), 147-174.



- Triona, L., & 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.
- Zacharia, Z. C., 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.
- Zacharia, Z. C. & Olympiou, G. (2011). Physical versus virtual manipulative experimentation in physics learning, *Learning & Instruction, 21*(3), 317 - 331.