

Θέματα Επιστημών και Τεχνολογίας στην Εκπαίδευση

Τόμ. 7, Αρ. 1-2 (2014)

Ειδικό αφιέρωμα: «Νέοι επιστήμονες στο προσκήνιο - έρευνα σε εξέλιξη»



Συγκριτική μελέτη της επίδρασης πραγματικών και εικονικών πειραμάτων στη μάθηση για το φαινόμενο του βρασμού του νερού σε μαθητές Ε΄ και ΣΤ΄ Δημοτικού Σχολείου

Φίλιππος Β Ευαγγέλου, Κωνσταντίνος Θ Κώτσης

Βιβλιογραφική αναφορά:

Ευαγγέλου Φ. Β., & Κώτσης Κ. Θ. (2014). Συγκριτική μελέτη της επίδρασης πραγματικών και εικονικών πειραμάτων στη μάθηση για το φαινόμενο του βρασμού του νερού σε μαθητές Ε΄ και ΣΤ΄ Δημοτικού Σχολείου. *Θέματα Επιστημών και Τεχνολογίας στην Εκπαίδευση*, 7(1-2), 5-24. ανακτήθηκε από <https://ejournals.epublishing.ekt.gr/index.php/thete/article/view/44507>

Συγκριτική μελέτη της επίδρασης πραγματικών και εικονικών πειραμάτων στη μάθηση για το φαινόμενο του βρασμού του νερού σε μαθητές Ε΄ και ΣΤ΄ Δημοτικού Σχολείου

Φίλιππος Β. Ευαγγέλου, Κωνσταντίνος Θ. Κώτσης
me01019@cc.uoi.gr, kkotsis@cc.uoi.gr

Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων

Περίληψη: Η εργασία συγκρίνει τα μαθησιακά αποτελέσματα (εννοιολογική κατανόηση) των μαθητών που εκτελούν πραγματικά πειράματα με τα μαθησιακά αποτελέσματα (εννοιολογική κατανόηση) των μαθητών που εκτελούν εικονικά πειράματα σχετικά με το φαινόμενο του βρασμού. Το δείγμα της έρευνας αποτέλεσαν 222 μαθητές της Πέμπτης και Έκτης τάξης Δημοτικού Σχολείου. Στην Πέμπτη χωρίστηκαν τυχαία 55 μαθητές στην πειραματική ομάδα και 55 στην ελέγχου, ενώ στην Έκτη 56 μαθητές σε καθεμία από τις δυο ομάδες. Η ομάδα ελέγχου έκανε πειράματα με πραγματικά αντικείμενα, ενώ η πειραματική έκανε τα ίδια πειράματα με τη χρήση του λογισμικού προσομοίωσης Σ.Ε.Π. (Σύνθετο Εργαστηριακό Περιβάλλον) για τη Θερμότητα - Θερμοκρασία. Η συλλογή δεδομένων έγινε με φύλλα εργασίας που δόθηκαν και στις δυο ομάδες πριν και μετά από τα πειράματα και περιείχαν πέντε ίδιες ερωτήσεις. Η αξιολόγηση των απαντήσεων έγινε με την ταξινόμια SOLO. Η στατιστική ανάλυση των δεδομένων έδειξε ότι στις τρεις από τις πέντε ερωτήσεις οι μαθητές της ομάδας ελέγχου είχαν καλύτερα μαθησιακά αποτελέσματα σε σχέση με τους μαθητές της πειραματικής, ενώ στις υπόλοιπες δυο είχαν παρόμοια.

Λέξεις κλειδιά: Διδακτική Φυσικής, βρασμός, πραγματικά και εικονικά πειράματα, πρωτοβάθμια εκπαίδευση

Εισαγωγή

Η χρήση των Τεχνολογιών της Πληροφορίας και Επικοινωνιών (ΤΠΕ) στην εκπαίδευση χαρακτηρίζεται από καινοτόμες τεχνολογικές επινοήσεις και από την ανάπτυξη εικονικών πειραμάτων μέσα από τους υπολογιστές που έχουν συνεισφέρει σημαντικά στη διδασκαλία και μάθηση των Φυσικών Επιστημών (Jimoyiannis et. al., 2000; Jimoyiannis & Komis, 2001; Hofstein & Lunetta, 2004; Τζιμογιάννης, 2004; Μικρόπουλος, 2006; Ταραμόπουλος, 2011). Παράλληλα, αυτές οι εξελίξεις έχουν προκαλέσει συζητήσεις και έρευνες αναφορικά με τον επαναπροσδιορισμό του πειράματος στη διδασκαλία και μάθηση των Φυσικών Επιστημών με στόχο την ένταξη των εικονικών πειραμάτων και προσομοιώσεων στον εργαστηριακό πειραματισμό, γεγονός το οποίο πιστοποιείται από τη σύγχρονη ελληνική και διεθνή βιβλιογραφία (National Research Council, 2000; Bybee, 2000; Krajcik, et al., 2001; Heron & Meltzer, 2005; Ευαγγέλου, 2012; Ολυμπίου, 2012; Ταβέλη κ.α., 2012).

Πιο συγκεκριμένα, σε αυτές τις συζητήσεις και τις έρευνες υπάρχουν διαφορετικές απόψεις μεταξύ των ερευνητών σχετικά με την αποτελεσματικότητα των εικονικών και πραγματικών πειραμάτων στη διδασκαλία και μάθηση των Φυσικών Επιστημών. Ειδικότερα προκύπτουν ερωτήματα κατά πόσο ένα εικονικό πείραμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη θέση του πραγματικού αντικαθιστώντας το με επιτυχία.

Από τη μια πλευρά, λοιπόν, υπάρχουν οι υποστηρικτές των πραγματικών πειραμάτων που ισχυρίζονται πως ένα σημαντικό στοιχείο για τη μάθηση είναι η φυσικότητα των υλικών και των πειραματικών διατάξεων και τεκμηριώνουν αυτό το επιχειρήμα στη βάση της θεωρίας για το γνωστικό φορτίο (Sweller, 1994). Με βάση αυτή τη θεωρητική προοπτική, αναφέρεται η υπόθεση πως όταν οι μαθητές εκτελούν πραγματικά πειράματα υπάρχει μεγαλύτερη πιθανότητα να κατανοήσουν συγκεκριμένες έννοιες, όπως είναι η θερμότητα και η θερμοκρασία, στις οποίες η αίσθηση της ενεργούς αφής ενδεχομένως να διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο. Η αναφερόμενη προοπτική βασίζεται στο επιχειρήμα πως μέσα από την εφαρμογή του πραγματικού πειράματος το γνωστικό φορτίο μπορεί να μειωθεί λόγω της αυξημένης ικανότητας για κατανόηση η οποία παρέχεται από το κανάλι της ενεργούς αφής, ή λόγω του καναλιού της αφής περισσότερες πληροφορίες μεταφέρονται στην εργαζόμενη μνήμη των ατόμων μέσα από τη χρήση ενός επιπρόσθετου καναλιού χωρίς να αυξάνεται το γνωστικό φορτίο (Ολυμπίου, 2012).

Από την άλλη πλευρά, οι υποστηρικτές των εικονικών πειραμάτων επιχειρηματολογούν πως δεν είναι η φυσικότητα που επιδρά ως κύριο χαρακτηριστικό στη μάθηση, αλλά η χρήση και η εφαρμογή των υλικών και των πειραματικών διατάξεων. Το συγκεκριμένο επιχειρήμα βασίζεται στο γεγονός ότι η χρήση των υλικών στο εργαστήριο, είτε σε εικονική είτε σε πραγματική μορφή, περιλαμβάνει τις απαιτήσεις των εποικοδομητικών αλλά και των γνωστικών θεωριών μάθησης, οι οποίες αναφέρονται στον ενεργό ρόλο των ατόμων στη μαθησιακή διαδικασία, στην επεξεργασία των πληροφοριών και στην εξάσκηση συγκεκριμένων δεξιοτήτων (Triona & Klahr, 2003; Klahr et al., 2007).

Στα πλαίσια, λοιπόν, αυτών των συζητήσεων και των διαφορετικών απόψεων διενεργούνται και έχουν διενεργηθεί αρκετές συγκριτικές έρευνες σε μαθητές ή φοιτητές στοχεύοντας στη διερεύνηση της αποτελεσματικότητας του κάθε είδους πειραματισμού σε διάφορες έννοιες, όπως είναι η θερμότητα, ο ηλεκτρισμός κ.λπ. (Κώτσης & Ευαγγέλου, 2007; Zacharia & Constantinou, 2008; Ευαγγέλου & Κώτσης, 2009; Λεύκος κ.α., 2009; Ταραμόπουλος, 2010; Ευαγγέλου, 2012).

Τέτοιες συγκριτικές έρευνες έχουν οδηγήσει σε αντιφατικά αποτελέσματα ως προς τη σχετική επίδραση του εικονικού ή πραγματικού πειράματος στα μαθησιακά επιτεύγματα. Για παράδειγμα, έχουν διεξαχθεί έρευνες όπου ορισμένες περιπτώσεις εφαρμογής του εικονικού πειράματος να υπερτερούν του πραγματικού (Jaakkola & Nurmi, 2004; Ζαχαρία & Ευαγόρου, 2004; Finkelstein et al., 2005; Zacharia, 2007; Zacharia et al., 2008; Tarekegn, 2009), ενώ σε κάποιες άλλες περιπτώσεις να συμβαίνει ακριβώς το αντίθετο (Steinberg, 2003; Marshall & Young, 2006; Srinivasan et al., 2006; Ευαγγέλου & Κώτσης, 2013). Παράλληλα, υπάρχουν και περιπτώσεις ερευνών από τις οποίες προκύπτουν παρόμοια μαθησιακά αποτελέσματα μετά από την εκτέλεση εικονικών και πραγματικών πειραμάτων (Triona & Klahr, 2003; Keller et al., 2005; Klahr et al., 2007; Jaakkola & Nurmi, 2008; Zacharia & Constantinou, 2008; Ολυμπίου & Ζαχαρία, 2009; Başer & Durmuş, 2010; Zacharia & Olympiou, 2011). Αξίζει να σημειωθεί ότι οι παραπάνω έρευνες αφορούν κυρίως φοιτητές Πανεπιστημίου (60%) και λίγες μόνο αναφέρονται σε μαθητές Δημοτικού (20%) ή Γυμνασίου (20%) (Ευαγγέλου & Κώτσης, 2009).

Ταυτόχρονα, διαπιστώνεται ότι σε ελάχιστες από τις παραπάνω έρευνες γίνεται αποκλειστική σύγκριση της επίδρασης των εικονικών πειραμάτων έναντι μόνο των πραγματικών στη διδασκαλία και μάθηση της Φυσικής (Triona & Klahr, 2003; Klahr et al., 2007; Zacharia & Constantinou, 2008; Ευαγγέλου & Κώτσης, 2013), με την προϋπόθεση ότι ελέγχονται όλες οι παράμετροι που επηρεάζουν τη μάθηση, όπως είναι η διδακτική προσέγγιση, το λεκτικό πλαίσιο διδασκαλίας, το μαθησιακό περιβάλλον, ο χρόνος εκτέλεσης των πειραμάτων, το διδακτικό υλικό (φύλλα εργασίας, υλικό για πειράματα) και η προστιθέμενη αξία των εικονικών και πραγματικών πειραμάτων. Για παράδειγμα, όσον

αφορά την προστιθέμενη αξία στα εικονικά πειράματα αυτή σχετίζεται με δραστηριότητες που απεικονίζουν το μικρόκοσμο (π.χ. ροή του ηλεκτρικού ρεύματος), ενώ στα πραγματικά πειράματα η προστιθέμενη αξία σχετίζεται με δραστηριότητες που απαιτούν αποκλειστικά φυσικό χειρισμό και την αίσθηση της αφής, όπως είναι οι ανατομές (Zacharia et al., 2008, Zacharia & Constantinou, 2008).

Στο σημείο αυτό αξίζει να αναφερθεί ότι για να πραγματοποιηθούν συγκριτικές έρευνες είναι απαραίτητο να επιλεχθούν έννοιες και φαινόμενα που δίνουν τη δυνατότητα στους ερευνητές να χρησιμοποιήσουν όμοια εικονικά και πραγματικά αντικείμενα. Για παράδειγμα, τέτοιες έννοιες είναι τα ηλεκτρικά κυκλώματα (Κώτσης & Ευαγγέλου, 2010; Κώτσης & Ευαγγέλου, 2011), η δύναμη της τριβής (Ευαγγέλου & Κώτσης, 2012), η θερμότητα - θερμοκρασία, κλπ. Πιο συγκεκριμένα, σχετικά με τις έννοιες θερμοκρασία - θερμότητα οι πρόσφατες συγκριτικές έρευνες που πραγματοποιήθηκαν, και μάλιστα μόνο σε φοιτητές Πανεπιστημίου, κωδικοποιούνται σε τέσσερις κατηγορίες.

Οι Zacharia & Constantinou (2008) συνέκριναν την επίδραση των εικονικών και πραγματικών πειραμάτων σε προπτυχιακούς φοιτητές Παιδαγωγικού Τμήματος. Στην έρευνα συμμετείχαν 68 προπτυχιακοί φοιτητές Παιδαγωγικού Τμήματος, οι οποίοι χωρίστηκαν τυχαία στην πειραματική ομάδα (34 φοιτητές) και στην ομάδα ελέγχου (34 φοιτητές). Η ομάδα ελέγχου χρησιμοποιούσε πραγματικά αντικείμενα (π.χ. θερμόμετρο) για την εκτέλεση πειραμάτων στο εργαστήριο, ενώ η πειραματική ομάδα χρησιμοποιούσε το λογισμικό προσομοίωσης Σ.Ε.Π. και ειδικότερα το Εργαστήριο Θερμότητας του Σ.Ε.Π. ή ThermoLab για την εκτέλεση των ίδιων πειραμάτων (τα εικονικά αντικείμενα είναι ίδια με τα πραγματικά) στο εικονικό εργαστήριο. Ταυτόχρονα, πρέπει να σημειωθεί ότι σε αυτή την έρευνα ελέγχθηκαν όλοι οι παράγοντες που επηρεάζουν τη μάθηση, όπως είναι η διδακτική προσέγγιση, το διδακτικό υλικό, ο χρόνος πραγματοποίησης των πειραμάτων και η προστιθέμενη αξία του κάθε είδους πειραματισμού (εικονικού ή πραγματικού). Η ανάλυση των δεδομένων έδειξε πως η σχετική αξία του πραγματικού και του εικονικού πειραματισμού ήταν περίπου η ίδια όσον αφορούσε στην επίτευξη εννοιολογικής κατανόησης.

Οι Zacharia et al. (2008) πραγματοποίησαν μια έρευνα σε 62 προπτυχιακούς φοιτητές Παιδαγωγικού Τμήματος. Η μεθοδολογία ήταν ακριβώς ίδια με την παραπάνω έρευνα (Zacharia & Constantinou, 2008). Η ανάλυση των δεδομένων έδειξε πως οι συμμετέχοντες στην πειραματική ομάδα που χρησιμοποιούσαν το λογισμικό προσομοίωσης είχαν καλύτερα μαθησιακά αποτελέσματα σε σχέση με τους συμμετέχοντες στην ομάδα ελέγχου οι οποίοι χρησιμοποίησαν τα πραγματικά αντικείμενα.

Οι Ολυμπίου και Ζαχαρία (2009) συνέκριναν την επίδραση του πειραματισμού σε πραγματικό εργαστήριο και του πειραματισμού σε εικονικό εργαστήριο σε 182 προπτυχιακούς φοιτητές Παιδαγωγικού Τμήματος. Η μεθοδολογία ήταν ακριβώς ίδια με την παραπάνω έρευνα (Zacharia et al., 2008). Η ανάλυση έδειξε πως οι συμμετέχοντες στην ομάδα ελέγχου (πραγματικός πειραματισμός) σε σύγκριση με τους συμμετέχοντες στην πειραματική ομάδα (εικονικός πειραματισμός) βελτίωσαν, στον ίδιο βαθμό, την εννοιολογική κατανόηση τους.

Οι Zacharia και Ολυμπίου (2011) συνέκριναν επίσης την επίδραση του φυσικού και εικονικού χειρισμού κατά τον πειραματισμό σχετικά με την εννοιολογική κατανόηση προπτυχιακών φοιτητών Παιδαγωγικού Τμήματος. Οι συμμετέχοντες στην έρευνα ήταν 234 προπτυχιακοί φοιτητές. Η μεθοδολογία ήταν ακριβώς ίδια με την παραπάνω έρευνα (Ολυμπίου & Ζαχαρία, 2009). Η ανάλυση των δεδομένων έδειξε πως οι συμμετέχοντες στην ομάδα που χρησιμοποιούσε τα πραγματικά αντικείμενα σε σύγκριση με τους συμμετέχοντες

στην ομάδα που χρησιμοποιούσε το λογισμικό προσομοίωσης βελτίωσαν, στον ίδιο βαθμό, την εννοιολογική κατανόηση τους.

Παρά τις προσπάθειες που διεξήχθησαν με τις παραπάνω συγκριτικές έρευνες σχετικά με την αποτελεσματικότητα των εικονικών και πραγματικών πειραμάτων, μπορεί κανείς να ισχυρισθεί ότι δεν έχει ακόμη ξεκαθαρίσει σε ποιες περιπτώσεις και κάτω από ποιες συνθήκες μπορεί και είναι χρήσιμο να διεξάγονται είτε εικονικά είτε πραγματικά πειράματα στη διδασκαλία και μάθηση της Φυσικής. Κατά συνέπεια, με βάση τα παραπάνω, προκόπτει ένα σημαντικό έλλειμμα σχετικά με τη σύγκριση της επίδρασης μόνο των εικονικών έναντι μόνο των πραγματικών πειραμάτων σε μαθητές δημοτικών σχολείων της Ε' και ΣΤ' τάξης για το φαινόμενο του βρασμού του νερού με την προϋπόθεση ότι θα ελέγχονται όλοι οι παράγοντες που επηρεάζουν τη μάθηση.

Ο σκοπός και το διερευνητικό ερώτημα της έρευνας

Ο κύριος σκοπός της παρούσας έρευνας είναι να συγκρίνει τα μαθησιακά αποτελέσματα των μαθητών που εκτελούν πραγματικά πειράματα με τα μαθησιακά αποτελέσματα των μαθητών που εκτελούν εικονικά πειράματα σχετικά με το φαινόμενο του βρασμού του νερού, με ελεγχόμενους συγκεκριμένους παράγοντες που επηρεάζουν τη μάθηση, όπως είναι η διδακτική προσέγγιση, το διδακτικό υλικό και η προστιθέμενη αξία του κάθε είδους πειράματος. Με άλλα λόγια, επιδιώκεται να συγκριθεί η διδακτική αποτελεσματικότητα των εικονικών και πραγματικών πειραμάτων Φυσικής και ειδικότερα ποιο είδος πειράματος είναι αποτελεσματικότερο στην τροποποίηση των εναλλακτικών ιδεών των μαθητών προς τις επιστημονικά αποδεκτές σχετικά με το φαινόμενο του βρασμού του νερού.

Σχετικά με τις υποθέσεις της έρευνας αξίζει να σημειωθεί ότι από τη βιβλιογραφική ανασκόπηση και την πιλοτική έρευνα διαπιστώνεται ότι δεν είναι εφικτή η πρόβλεψη των αναμενόμενων αποτελεσμάτων της έρευνας, έτσι ώστε να διατυπωθούν συγκεκριμένες ερευνητικές υποθέσεις. Κατά συνέπεια, επειδή δεν είναι εφικτό να γίνουν εύλογες προβλέψεις για τα αναμενόμενα αποτελέσματα διατυπώνεται (δι)-ερευνητικό ερώτημα, στο οποίο αποτυπώνονται οι συγκεκριμένοι στόχοι της έρευνας απλώς ως τα ζητούμενα να ερευνηθούν, χωρίς να γίνεται καμιά αναφορά στα αναμενόμενα αποτελέσματα (Παρασκευόπουλος, 1993).

Πιο συγκεκριμένα, το διερευνητικό ερώτημα της παρούσας έρευνας είναι το εξής: «Το εικονικό ή πραγματικό πείραμα είναι αποτελεσματικότερο για τους μαθητές της Πέμπτης και Έκτης Δημοτικού σχετικά με την εννοιολογική κατανόηση του φαινομένου του βρασμού του νερού;».

Μέθοδος

Η ερευνητική διαδικασία και το δείγμα της έρευνας

Πρέπει να σημειωθεί ότι πριν από την υλοποίηση της έρευνας σχεδιάστηκαν οι πειραματικές δραστηριότητες (πραγματικά και εικονικά πειράματα) που θα εκτελούσαν οι μαθητές και τα φύλλα εργασίας που θα διανέμονταν στους μαθητές. Στη συνέχεια, υλοποιήθηκε μια πιλοτική έρευνα σε μαθητές της Πέμπτης και Έκτης του δημοτικού σχολείου Κατοικίας Ιωαννίνων από τις αρχές Οκτωβρίου έως τέλος Νοεμβρίου 2009. Μέσα από αυτή την πιλοτική έρευνα ελέγχθηκαν οι πειραματικές δραστηριότητες και τα φύλλα εργασίας ως προς τους παρακάτω στόχους: α) έλεγχος του διερευνητικού ερωτήματος, β) εξασφάλιση του κατάλληλου επιπέδου στην έκφραση και στη δυσκολία των ερωτήσεων, γ) έλεγχος της χρονικής διάρκειας που απαιτούνταν (ο στόχος ήταν να υλοποιηθούν οι παρεμβάσεις σε ένα διδακτικό δίωρο - ενενήντα λεπτά), δ) δυνατότητα κατηγοριοποίησης των απαντήσεων των

μαθητών με βάση την ταξινόμια SOLO (Biggs & Collis, 1982; Μπέλλου, 2003; Γεωργόπουλος κ.ά., 2009).

Αφού έγιναν οι απαραίτητες τροποποιήσεις στις πειραματικές δραστηριότητες και στα φύλλα εργασίας υλοποιήθηκε η κύρια έρευνα, η οποία έγινε από τις αρχές Ιανουαρίου έως το τέλος Μαΐου 2010 σε μαθητές της Πέμπτης και της Έκτης Δημοτικού στα εξής σχολεία της πόλης των Ιωαννίνων: 1^ο, 3^ο και 18^ο Δημοτικό Σχολείο. Η επιλογή του δείγματος (τριών δημοτικών σχολείων) έγινε μέσα από ένα κατάλογο των 27 Δημοτικών Σχολείων της πόλης των Ιωαννίνων με την «κατά συστάδες» τυχαία δειγματοληψία.

Το δείγμα της έρευνας αποτέλεσαν 222 μαθητές της Πέμπτης και Έκτης τάξης Δημοτικού Σχολείου, εκ των οποίων οι 110 ήταν της Πέμπτης και οι 112 της Έκτης. Το δείγμα διαχωρίστηκε σε κάθε τάξη σε δυο ισοδύναμες ομάδες, την πειραματική και την ομάδα ελέγχου. Στην Πέμπτη τάξη 55 μαθητές ήταν στην πειραματική ομάδα και 55 στην ομάδα ελέγχου, ενώ στην Έκτη 56 μαθητές σε κάθε μία από τις δυο ομάδες. Ο διαχωρισμός των δυο ομάδων σε κάθε τάξη έγινε με τη μέθοδο της τυχαίας δειγματοληψίας. Στη συνέχεια, η εξίσωση - ισοδυναμία των δυο ομάδων ως προς το γνωστικό επίπεδο διαπιστώθηκε και από τις απαντήσεις που έδωσαν οι μαθητές σε ίδιες ερωτήσεις πριν από την εκτέλεση τόσο των εικονικών και όσο και των πραγματικών πειραμάτων. Ο έλεγχος της ισοδυναμίας των δυο ομάδων έγινε με το στατιστικό κριτήριο ελέγχου Tukey HSD (Πίνακες 3, 4, 5, 6, 7, 8).

Η ομάδα ελέγχου χρησιμοποίησε τη σχολική τάξη και έκανε πειράματα με πραγματικά αντικείμενα, ενώ η πειραματική ομάδα χρησιμοποίησε το εργαστήριο Πληροφορικής για να εκτελέσει τα ίδια πειράματα με τη χρήση του λογισμικού προσομοίωσης Σ.Ε.Π. (Σύνθετο Εργαστηριακό Περιβάλλον) (Ψύλλος κ.ά., 2000). Οι μαθητές τόσο στην ομάδα ελέγχου όσο και στην πειραματική ομάδα εργάστηκαν σε ομάδες των δυο ατόμων.

Πρέπει να σημειωθεί ότι πριν από την υλοποίηση της έρευνας οι μαθητές της Πέμπτης Δημοτικού δεν είχαν διδαχθεί το φαινόμενο του βρασμού του νερού, ενώ οι μαθητές της Έκτης Δημοτικού το είχαν διδαχθεί από τον εκπαιδευτικό της τάξης την προηγούμενη σχολική χρονιά.

Το πειραματικό υλικό της έρευνας: Τα πραγματικά αντικείμενα

Τα πραγματικά αντικείμενα που χρησιμοποίησε κάθε ομάδα μαθητών για τα πραγματικά πειράματα ήταν: γυάλινο δοχείο ζέσης 250 ml, ένα γκαζάκι, ξύλινο μανταλάκι, θερμόμετρο οινόπνευματος (-20 °C έως 110 °C), νερό (αν υπάρχει η δυνατότητα αποσταγμένο, ρολόι (χρονόμετρο), θερμομονωτικά γάντια, αναπτήρας (Σχήμα 1). Για να υλοποιηθεί επιτυχώς η έρευνα, οι μαθητές της ομάδας ελέγχου πριν εκτελέσουν τα πειράματα εξοικειώθηκαν με τα πραγματικά αντικείμενα (το ίδιο έγινε και με τους μαθητές της πειραματικής ομάδας).

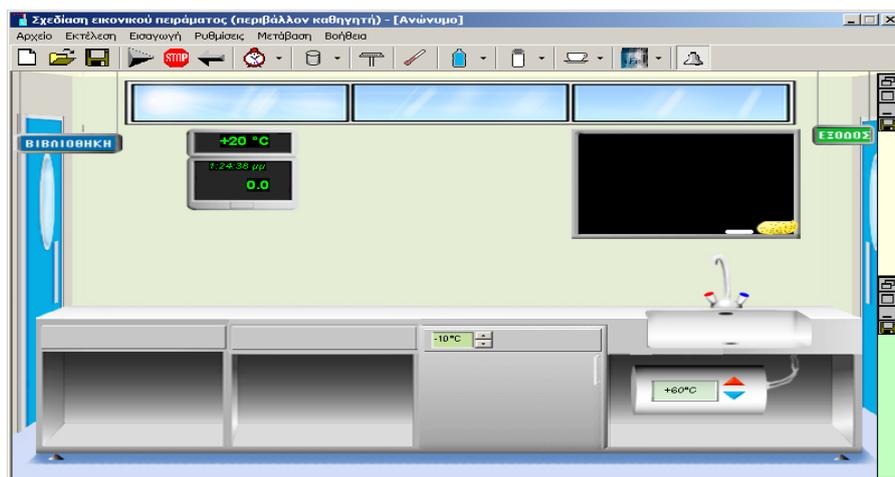
Το πειραματικό υλικό της έρευνας: Το λογισμικό προσομοίωσης Σ.Ε.Π.

Για την εκτέλεση των εικονικών πειραμάτων σχετικά με το φαινόμενο του βρασμού του νερού χρησιμοποιείται το λογισμικό προσομοίωσης Σ.Ε.Π. (Σύνθετο Εργαστηριακό Περιβάλλον). Για σκοπούς επιτυχούς υλοποίησης της έρευνας, οι μαθητές πριν από τη διεξαγωγή της έρευνας εξοικειώθηκαν με το λογισμικό προσομοίωσης Σ.Ε.Π..

Το λογισμικό προσομοίωσης Σ.Ε.Π. και ειδικότερα το εργαστήριο Θερμότητας (στο οποίο υπάρχουν παρόμοια εικονικά αντικείμενα με τα πραγματικά), απεικονίζεται στο Σχήμα 2.



Σχήμα 1. Τα πραγματικά αντικείμενα για την εκτέλεση των πειραμάτων σχετικά με την έννοια του βρασμού του νερού



Σχήμα 2. Οθόνη από το εργαστήριο Θερμότητας του λογισμικού προσομοίωσης Σ.Ε.Π.

Το λογισμικό προσομοίωσης Σ.Ε.Π. (Σύνθετο Εργαστηριακό Περιβάλλον) είναι ένα λογισμικό που επιτρέπει μέσω προσομοιώσεων τον πειραματισμό στα θέματα Θερμοδυναμικής και Θερμότητας. Αποτελεί ένα ανοιχτό μαθησιακό περιβάλλον που οπτικά προσομοιώνει το χώρο ενός πραγματικού σχολικού εργαστηρίου με τα απαραίτητα όργανα και διατάξεις (Σχήμα 2) και προσφέρει στο χρήστη τη δυνατότητα σύνθεσης εικονικών πειραματικών διατάξεων με έναν αληθοφανή τρόπο άμεσου χειρισμού των αντικειμένων αλλά και εκτέλεσης των αντίστοιχων πειραμάτων, σχετικά με θέματα Φυσικής της Θερμότητας (βρασμός, θερμικές ισορροπίες, ειδική θερμότητα, θερμοχωρητικότητα, νόμος ακτινοβολίας, αγωγιμότητα, κλπ.) και της Θερμοδυναμικής (όλες τις μεταβολές των αερίων) (Ψύλλος κ.α., 2000; 2002).

Στην παρούσα έρευνα χρησιμοποιείται το Εργαστήριο της Θερμότητας. Πιο συγκεκριμένα, ο χρήστης - μαθητής έχει στη διάθεσή του είτε μια προκατασκευασμένη πειραματική διάταξη (κλειστό ή παραμετρικό πείραμα) είτε μπορεί να επλέξει και να συνθέσει μια ελεύθερη διάταξη, στηριζόμενος στα διαθέσιμα σ' αυτόν όργανα, συσκευές και υλικά. Οι πειραματικές διατάξεις υλοποιούνται πάνω σε πάγκο εργασίας (Σχήμα 2). Ο πάγκος έχει ενσωματωμένες πηγές θέρμανσης (λύχνος Bunsen). Ο δείκτης στο ποντίκι αποκτά χαρακτηριστικά σχήματα,

που υποβοηθούν την οπτικοποίηση των χειρισμών, όπως «παλάμη» όταν μετακινείται ένα αντικείμενο, βρύση όταν μεταγγίζεται υγρό, κλπ.

Στο σημείο αυτό πρέπει να επισημανθεί, σύμφωνα με ερευνητές (Ψύλλος, 2007), ότι ένα από τα στοιχεία του Εργαστηρίου της Θερμότητας που συντελεί στην κατανόηση από τους μαθητές των φαινομένων είναι η αληθοφάνεια τόσο του χώρου και των οργάνων όσο και των χειρισμών και διαδικασιών. Πιο συγκεκριμένα, η αληθοφάνεια υπάρχει στην αναπαράσταση τόσο του χώρου του εργαστηρίου (υπάρχει ο πάγκος εργασίας, τα αποθηκευτικά ντουλάπια, η μπάρα εργαλείων) όσο και των οργάνων (γκαζάκι, φλόγα, θερμόμετρο, δοχεία). Οι διαδικασίες για το στήσιμο της πειραματικής διάταξης είναι ανάλογες με τις πραγματικές. Για παράδειγμα, για να ανάψει το γκαζάκι πρέπει να πατηθεί ένα κουμπί, για να μπει το θερμόμετρο μέσα στο δοχείο πρέπει να σηκωθεί και να ο συρθεί μέχρι το δοχείο.

Τα μέσα συλλογής δεδομένων

Η έρευνα χρησιμοποιεί ως μέσα συλλογής δεδομένων φύλλα εργασίας τόσο για τα εικονικά όσο και για τα πραγματικά πειράματα. Τα φύλλα εργασίας είναι δομημένα με βάση τις αρχές της εποικοδομητικής προσέγγισης και τις αρχές της επιστημονικής - εκπαιδευτικής μεθοδολογίας. Πιο συγκεκριμένα, η δομή των φύλλων εργασίας υλοποιείται με την εφαρμογή ενός συνδυασμού των πέντε (5) φάσεων του «μοντέλου εποικοδομητικής διδακτικής στρατηγικής» (Ψύλλος κ.α., 1993; Καριώτογλου, 2006) και των πέντε (5) βημάτων της επιστημονικής - εκπαιδευτικής μεθοδολογίας (Καλκάνης, 2010).

Πρέπει να σημειωθεί ότι τα φύλλα εργασίας που διανεμήθηκαν και στις δυο ομάδες είναι πανομοιότυπα ως προς τις ερωτήσεις και τις πειραματικές δραστηριότητες που εκτελούν οι μαθητές και διαφέρουν μόνο ως προς το μέσο με το οποίο εκτελούν τα πειράματα οι ομάδες των μαθητών. Επίσης, πρέπει να σημειωθεί ότι οι μαθητές εμπλέχθηκαν ατομικά στην υλοποίηση των πειραμάτων και στη συμπλήρωση των φύλλων εργασίας, μολονότι βρισκόταν ανά δυάδες στη τάξη και στο εργαστήριο υπολογιστών.

Πιο αναλυτικά, το κάθε φύλλο εργασίας που διανεμήθηκε σε κάθε μαθητή χωρίζεται σε τέσσερα επιμέρους φύλλα.

A) Αρχικό φύλλο εργασίας (1) (pre-test): Σε αυτό το φύλλο υπάρχουν έξι ερωτήσεις. Βασίζεται στη φάση «ανάδειξης των ιδεών» της εποικοδομητικής προσέγγισης («μοντέλο εποικοδομητικής διδακτικής στρατηγικής») και στο βήμα «ένανσμα ενδιαφέροντος» της επιστημονικής - εκπαιδευτικής μεθοδολογίας. Μέσα από αυτό το φύλλο επιχειρείται η ανάδειξη των ιδεών των μαθητών για το φαινόμενο του βρασμού του νερού.

B) Φύλλο εργασίας προβλέψεων (2): Σε αυτό το φύλλο υπάρχουν ερωτήσεις προβλέψεων πριν από την εκτέλεση των πειραμάτων. Οι μαθητές χρησιμοποιούν τις παρατηρήσεις τους και κάνουν προβλέψεις για το «τι θα συμβεί αν» (Κουλαϊδής, 2007) και στη συνέχεια με το πείραμα προβαίνουν στον έλεγχο τους, χρησιμοποιώντας το φύλλο εργασίας (3). Αυτό το φύλλο εργασίας προβλέψεων (2) στηρίζεται στη φάση «ανάδειξης των ιδεών» της εποικοδομητικής προσέγγισης και στο βήμα «διατύπωση υποθέσεων» της επιστημονικής - εκπαιδευτικής μεθοδολογίας.

Γ) Φύλλο εργασίας (3) - πειράματα: Σε αυτό το φύλλο υπάρχουν οδηγίες εκτέλεσης των πειραμάτων, ερωτήσεις παρατήρησης και ερωτήσεις κατανόησης των πειραμάτων. Αυτό το φύλλο εργασίας στηρίζεται στις φάσεις «δοκιμασίας των ιδεών των μαθητών, καταγραφής των αποτελεσμάτων» και «εισαγωγής του επιστημονικού προτύπου» της εποικοδομητικής προσέγγισης και στα βήματα «(αποδεικτικός) πειραματισμός» και «εξαγωγή συμπερασμάτων» της επιστημονικής - εκπαιδευτικής μεθοδολογίας.

Δ) Τελικό φύλλο εργασίας (4) - εφαρμογές (post-test): Σε αυτό το φύλλο υπάρχουν οι ίδιες ακριβώς έξι ερωτήσεις με το αρχικό φύλλο εργασίας (1). Βασίζεται στη φάση «εφαρμογής του επιστημονικού προτύπου» της εποικοδομητικής προσέγγισης και στα βήματα «εφαρμογές» και «γενίκευση» της επιστημονικής - εκπαιδευτικής μεθοδολογίας.

Πριν από την εκτέλεση των πειραμάτων δόθηκε σε όλες τις ομάδες το αρχικό φύλλο εργασίας (1) (pre-test) που ήταν πανομοιότυπο με το τελικό φύλλο εργασίας (4) (post-test) που δόθηκε μετά την εκτέλεση των πειραματικών δραστηριοτήτων. Αυτά, λοιπόν, τα φύλλα εργασίας χρησιμοποιήθηκαν για την αξιολόγηση και τη στατιστική ανάλυση των απαντήσεων των μαθητών.

Οι πέντε ερωτήσεις που περιέχονταν στα αρχικά και τελικά φύλλα εργασίας (στα pre-test και post-test) ήταν οι ακόλουθες:

1) Τι θα συμβεί με το νερό, αν αφήσουμε μια κατσαρόλα πολλή ώρα στο αναμμένο μάτι της κουζίνας;

2) Επίλεξε και κύκλωσε τη σωστή απάντηση στην παρακάτω ερώτηση:

Η στάθμη του νερού, αφού αυτό βράσει για αρκετά λεπτά:

α) ανεβαίνει

β) κατεβαίνει

γ) παραμένει σταθερή

Δικαιολόγησε την απάντησή σου

3) Επίλεξε και κύκλωσε τη σωστή απάντηση στην παρακάτω ερώτηση:

Αν κατά τη διάρκεια του βρασμού μιας ποσότητας νερού δυναμώσουμε ή αυξήσουμε απότομα το ρυθμό παροχής θερμότητας (για παράδειγμα τη φλόγα στο γκαζάκι ή την ένδειξη στο ηλεκτρικό μάτι), η θερμοκρασία του νερού:

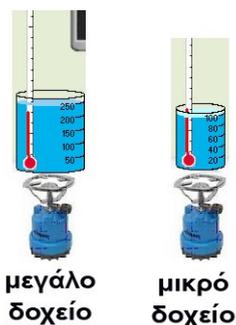
α) θα μεγαλώσει

β) θα μικρύνει

γ) θα παραμείνει η ίδια

Δικαιολόγησε την απάντησή σου

4) Έχουμε ένα μεγάλο (250ml) και ένα μικρό δοχείο (100ml), τα οποία γεμίζουμε με νερό. Βάζουμε μέσα στο καθένα από ένα ίδιο θερμόμετρο και τα θερμαίνουμε με δυο ίδια γκαζάκια (με την ίδια παροχή θερμότητας - ίδια φλόγα).

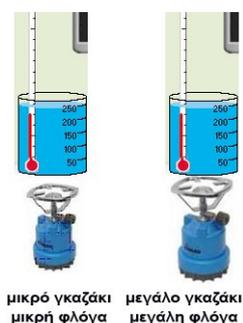


α) Ποια θερμοκρασία θα δείξει το θερμόμετρο (σε βαθμούς Κελσίου - °C) στο μεγάλο δοχείο και ποια στο μικρό δοχείο, όταν αρχίζει να βράζει το νερό στα δυο δοχεία;

β) Θα είναι ίδια ή διαφορετική η θερμοκρασία του νερού που θα δείχνουν τα θερμόμετρα σε καθένα από τα δυο δοχεία; Δικαιολόγησε την απάντησή σου.

5) Έχουμε δυο ίδια (σε όγκο) δοχεία τα οποία τα γεμίζουμε με την ίδια ποσότητα νερού. Μέσα στα δοχεία βάζουμε από ένα ίδιο θερμόμετρο.

Το ένα δοχείο το θερμαίνουμε με ένα μικρό γκαζάκι (δηλαδή του δίνουμε χαμηλή παροχή θερμότητας (φλόγα)) και το άλλο με ένα μεγάλο γκαζάκι (δηλαδή του δίνουμε περισσότερη - υψηλή παροχή θερμότητας (φλόγα)).



Στη συνέχεια, αφήνουμε για κάποια λεπτά να βράσει το νερό και στα δυο δοχεία.

α) Ποια θερμοκρασία θα δείξει το θερμόμετρο που βρίσκεται στο δοχείο που θερμαίνεται με το μικρό γκαζάκι (με τη μικρή φλόγα) και ποια στο δοχείο με το μεγάλο γκαζάκι (με τη μεγάλη φλόγα), όταν αρχίζει να βράζει το νερό στα δυο δοχεία;

β) Θα είναι ίδια ή διαφορετική η θερμοκρασία του νερού που θα δείχνουν τα θερμόμετρα σε καθένα από τα δυο δοχεία; Δικαιολόγησε την απάντησή σου.

Κριτήρια αξιολόγησης των απαντήσεων των μαθητών

Για να ελεγχθούν οι διαφοροποιήσεις των δυο ομάδων, η αξιολόγηση των απαντήσεων των μαθητών τόσο πριν όσο και μετά τα πραγματικά και εικονικά πειράματα έγινε σύμφωνα με τη ταξινόμια SOLO (Structure of the Observed Learning Outcomes) (Biggs & Collis, 1982). Η ταξινόμια SOLO στηρίζεται στη θεωρία σύμφωνα με την οποία η γνώση δομείται σε επίπεδα και αποτελεί ένα εργαλείο για το διδάσκοντα ώστε αυτός να αξιολογήσει σε ποιο βαθμό οι μαθητές κατανόησαν έννοιες, θεωρίες καθώς και τη δυνατότητα επίλυσης προβλημάτων. Με άλλα λόγια, αποτελεί ένα δυναμικό εργαλείο προσδιορισμού του τρέχοντος νοητικού επιπέδου λειτουργίας ενός ατόμου μέσω γραπτών ή προφορικών απαντήσεών του, μπορεί να εφαρμοστεί ανεξαρτήτως γνωστικού αντικειμένου και παρέχει τη δυνατότητα να αξιολογηθούν και να κατηγοριοποιηθούν οι επιδόσεις των μαθητών (Μπέλλου, 2003).

Κάθε απάντηση του μαθητή, πριν και μετά τις πειραματικές δραστηριότητες, προσδιορίζει το επίπεδο κατανόησης του υπό μελέτη θέματος και σύμφωνα με την ταξινόμια SOLO εντάσσεται σε ένα από τα επόμενα πέντε επίπεδα: *Προδομικό, Μονοδομικό, Πολυδομικό, Συσχετιστικό, Εκτεταμένης Θεώρησης*. Στην παρούσα εργασία βρέθηκαν απαντήσεις που αντιστοιχούν στα τέσσερα πρώτα επίπεδα.

Ως παράδειγμα ταξινόμησης απαντήσεων (Γεωργόπουλος κ.ά., 2009; 2010) αναφέρονται ενδεικτικά απαντήσεις στις δυο πρώτες ερωτήσεις (Πίνακας 1, Πίνακας 2).

Αποτελέσματα

Για την ανάλυση των δεδομένων χρησιμοποιήθηκαν γενικά γραμμικά μοντέλα και για την ανίχνευση στατιστικά σημαντικών διαφορών μεταξύ των κατηγοριών των ανεξάρτητων μεταβλητών που καταγράφηκαν διεξάχθηκαν έλεγχοι πολλαπλών συγκρίσεων Tukey's HSD. Η ανάλυση πραγματοποιήθηκε στο στατιστικό πακέτο STATISTICA 8.0. Σε όλες τις περιπτώσεις τα αποτελέσματα με παρατηρούμενο επίπεδο σημαντικότητας $\alpha < 0.05$ θεωρήθηκαν στατιστικά σημαντικά.

Πίνακας 1. Παράδειγμα ταξινόμησης των απαντήσεων στη δεύτερη ερώτηση σύμφωνα με την ταξινόμια SOLO

Επίπεδο SOLO	Απάντηση
1 ^ο Προδομικό	Δεν απαντά, απαντά λάθος χωρίς να δίνει κάποια ερμηνεία για την επιλογή του, απαντά λάθος κάνοντας άσχετο συνειρμό για το τι συμβαίνει με τη στάθμη του νερού αφού αυτό βράσει για αρκετά λεπτά.
2 ^ο Μονοδομικό	Επικεντρώνεται σε ένα παράγοντα - στοιχείο από τους δυο που απαιτούνται σχετικά με το τι συμβαίνει με τη στάθμη του νερού, αφού αυτό βράσει για αρκετά λεπτά. Επικεντρώνεται ή στη στάθμη του νερού (ανεβαίνει ή κατεβαίνει ή παραμένει σταθερή) ή στη μετατροπή (αλλαγή φυσικής κατάστασης) του νερού από υγρό σε αέριο (υδρατμοί) σε όλη του τη μάζα (γενικά στο φαινόμενο του βρασμού).
3 ^ο Πολυδομικό	Επιλέγει δυο παράγοντες και τους παραθέτει, αναφέροντας τους απλώς σε μια σειρά και αγνοώντας τις σχέσεις τους.
4 ^ο Συσχετιστικό	Αναφέρει όλους τους παράγοντες - στοιχεία, κάνει τους κατάλληλους συσχετισμούς και καταλήγει σε συμπέρασμα, κατανοώντας ότι κατά το βρασμό του νερού η στάθμη του μειώνεται γιατί το νερό μετατρέπεται σιγά σιγά από υγρό σε αέριο.
5 ^ο Εκτεταμένης Θεώρησης	Δεν βρέθηκαν απαντήσεις.

Πίνακας 2. Παράδειγμα ταξινόμησης των απαντήσεων στην τρίτη ερώτηση σύμφωνα με την ταξινόμια SOLO

Επίπεδο SOLO	Απάντηση
1 ^ο Προδομικό	Δεν απαντά, απαντά λάθος χωρίς να δίνει κάποια ερμηνεία για την επιλογή του, απαντά λάθος κάνοντας άσχετο συνειρμό για το τι συμβαίνει με τη θερμοκρασία του νερού αν κατά τη διάρκεια του βρασμού μιας ποσότητας νερού δυναμώσουμε (ή αυξήσουμε) απότομα το ρυθμό παροχής θερμότητας.
2 ^ο Μονοδομικό	Επικεντρώνεται σε ένα παράγοντα - στοιχείο από τους τρεις που απαιτούνται σχετικά με το τι συμβαίνει με τη θερμοκρασία του νερού αν κατά τη διάρκεια του βρασμού μιας ποσότητας νερού δυναμώσουμε (ή αυξήσουμε) απότομα το ρυθμό παροχής θερμότητας. Επικεντρώνεται ή στη θερμοκρασία του νερού (θα μεγαλώσει ή θα μικρύνει ή θα παραμείνει η ίδια στους 100 °C) ή στην ποσότητα θερμότητας που παρέχεται ή στη μετατροπή (αλλαγή φυσικής κατάστασης) του νερού από υγρό σε αέριο (υδρατμοί) σε όλη του τη μάζα (γενικά στο φαινόμενο του βρασμού).
3 ^ο Πολυδομικό	Επιλέγει δυο ή περισσότερους παράγοντες και τους παραθέτει, αναφέροντας τους απλώς σε μια σειρά και αγνοώντας τις σχέσεις τους.
4 ^ο Συσχετιστικό	Αναφέρει όλους τους παράγοντες - στοιχεία, κάνει τους κατάλληλους συσχετισμούς και καταλήγει σε συμπέρασμα. Πιο συγκεκριμένα, κατανοεί ότι κατά το βρασμό του νερού η θερμοκρασία του παραμένει η ίδια (στους 100 °C) , χωρίς να ανεβαίνει, όσο και να αυξήσουμε την ποσότητα θερμότητας που δέχεται. Αυτό συμβαίνει γιατί η πρόσθετη ποσότητα θερμότητας που μεταφέρεται στο νερό, χρησιμεύει για να μετατραπεί το νερό από υγρό σε αέριο.
5 ^ο Εκτεταμένης Θεώρησης	Δεν βρέθηκαν απαντήσεις.

Πιο αναλυτικά, για τους μαθητές της Πέμπτης τάξης, στην ερώτηση (1) η μέση τιμή της επίδοσης για την ομάδα ελέγχου, στο τεστ που δόθηκε μετά από τα πειράματα, είναι 3,2909 και για την πειραματική ομάδα 2,3818 (Πίνακας 3). Η διαφορά αυτή, σύμφωνα με το κριτήριο ελέγχου Tukey HSD, προέκυψε ότι είναι στατιστικά σημαντική [$p=0,000032<0,05$] (Πίνακας 3). Κατά συνέπεια, η ομάδα ελέγχου έχει στατιστικά σημαντικά υψηλότερες επιδόσεις (καλύτερα μαθησιακά αποτελέσματα) από ότι η πειραματική ομάδα μετά από την εκτέλεση των πειραμάτων. Για τους μαθητές της Έκτης τάξης, στην ερώτηση (1) η μέση τιμή της επίδοσης για την ομάδα ελέγχου, στο τεστ που δόθηκε μετά από τα πειράματα, είναι 3,2857 και για την πειραματική ομάδα 2,1964 (Πίνακας 3). Η διαφορά αυτή, σύμφωνα με το κριτήριο ελέγχου Tukey HSD, προέκυψε ότι είναι στατιστικά σημαντική [$p=0,000032<0,05$] (Πίνακας 3). Με άλλα λόγια, η ομάδα ελέγχου έχει στατιστικά σημαντικά υψηλότερες επιδόσεις (καλύτερα μαθησιακά αποτελέσματα) από ότι η πειραματική ομάδα μετά από την εκτέλεση των πειραμάτων.

Από τη στατιστική ανάλυση της ερώτησης (2) για τους μαθητές της Πέμπτης και της Έκτης τάξης προέκυψε ότι δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των δυο ομάδων (Πίνακας 4). Κατά συνέπεια, στην ερώτηση (2) τα μαθησιακά αποτελέσματα είναι παρόμοια και για τις δυο ομάδες.

Από τη στατιστική ανάλυση της ερώτησης (3) για τους μαθητές της Πέμπτης και της Έκτης τάξης προέκυψε ότι υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των δυο ομάδων (Πίνακας 5). Πιο συγκεκριμένα, στην ερώτηση (3) η ομάδα ελέγχου έχει στατιστικά σημαντικά υψηλότερες επιδόσεις (καλύτερα μαθησιακά αποτελέσματα) από ότι η πειραματική ομάδα μετά από την εκτέλεση των πειραμάτων.

Από τη στατιστική ανάλυση της ερώτησης (4) για τους μαθητές της Πέμπτης και της Έκτης τάξης προέκυψε ότι δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των δυο ομάδων (Πίνακας 6). Κατά συνέπεια, στην ερώτηση (4) τα μαθησιακά αποτελέσματα είναι παρόμοια και για τις δυο ομάδες.

Τέλος, από τη στατιστική ανάλυση της ερώτησης (5) για τους μαθητές της Πέμπτης και της Έκτης τάξης προέκυψε ότι υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των δυο ομάδων (Πίνακας 7). Πιο συγκεκριμένα, στην ερώτηση (5) η ομάδα ελέγχου έχει στατιστικά σημαντικά υψηλότερες επιδόσεις (καλύτερα μαθησιακά αποτελέσματα) από ότι η πειραματική ομάδα μετά από την εκτέλεση των πειραμάτων.

Πίνακας 3. Σύγκριση των δύο ομάδων με το στατιστικό κριτήριο Tukey HSD στην ερώτηση (1)

Cell				Tukey HSD test; Pooled MSE=,44182, df=416,25							
No.	Είδος_ομάδα	Τάξη	Ερ. 1	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}	{8}
				1,6909	2,3818	1,9643	2,1964	1,6545	3,2909	1,9643	3,2857
1	Πειραματική	Πέμπτη	προ		0,000032	0,372262	0,001599	0,999992	0,000032	0,372262	0,000032
2	Πειραματική	Πέμπτη	μετά	0,000032		0,021061	0,824011	0,000032	0,000032	0,021061	0,000032
3	Πειραματική	Έκτη	προ	0,372262	0,021061		0,421593	0,215252	0,000032	1,000000	0,000032
4	Πειραματική	Έκτη	μετά	0,001599	0,824011	0,421593		0,000483	0,000032	0,586952	0,000032
5	Ελέγχου	Πέμπτη	προ	0,999992	0,000032	0,215252	0,000483		0,000032	0,215252	0,000032
6	Ελέγχου	Πέμπτη	μετά	0,000032	0,000032	0,000032	0,000032	0,000032		0,000032	1,000000
7	Ελέγχου	Έκτη	προ	0,372262	0,021061	1,000000	0,586952	0,215252	0,000032		0,000032
8	Ελέγχου	Έκτη	μετά	0,000032	0,000032	0,000032	0,000032	0,000032	1,000000	0,000032	

Πίνακας 4. Σύγκριση των δύο ομάδων με το στατιστικό κριτήριο Tukey HSD στην ερώτηση (2)

Cell				Tukey HSD test; Pooled MSE=1,1704, df=424,49							
No.	Είδος_ομάδα	Τάξη	Ερ. 2	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}	{8}
				1,7455	3,3818	2,2857	3,7679	1,7222	3,6111	2,3158	3,7895
1	Πειραματική	Πέμπτη	προ		0,000032	0,144908	0,000032	1,000000	0,000032	0,097618	0,000032
2	Πειραματική	Πέμπτη	μετά	0,000032		0,000034	0,564993	0,000032	0,955673	0,000036	0,486140
3	Πειραματική	Έκτη	προ	0,144908	0,000034		0,000032	0,113311	0,000032	1,000000	0,000032
4	Πειραματική	Έκτη	μετά	0,000032	0,564993	0,000032		0,000032	0,995027	0,000032	1,000000
5	Ελέγχου	Πέμπτη	προ	1,000000	0,000032	0,113311	0,000032		0,000032	0,074727	0,000032
6	Ελέγχου	Πέμπτη	μετά	0,000032	0,955673	0,000032	0,995027	0,000032		0,000032	0,988806
7	Ελέγχου	Έκτη	προ	0,097618	0,000036	1,000000	0,000032	0,074727	0,000032		0,000032
8	Ελέγχου	Έκτη	μετά	0,000032	0,486140	0,000032	1,000000	0,000032	0,988806	0,000032	

Πίνακας 5. Σύγκριση των δύο ομάδων με το στατιστικό κριτήριο Tukey HSD στην ερώτηση (3)

Cell No.	Ομάδα	Τάξη	Ερ. 3	Tukey HSD test; Pooled MSE=,55092, df=435,64							
				{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}	{8}
				1,1636	2,6727	1,2143	2,7143	1,2037	3,1111	1,2456	3,2632
1	Πειραματική	Πέμπτη	προ		0,000032	0,999964	0,000032	0,999993	0,000032	0,999064	0,000032
2	Πειραματική	Πέμπτη	μετά	0,000032		0,000032	0,999991	0,000032	0,042840	0,000032	0,000692
3	Πειραματική	Έκτη	προ	0,999964	0,000032		0,000032	1,000000	0,000032	0,999999	0,000032
4	Πειραματική	Έκτη	μετά	0,000032	0,999991	0,000032		0,000032	0,094114	0,000032	0,002172
5	Ελέγχου	Πέμπτη	προ	0,999993	0,000032	1,000000	0,000032		0,000032	0,999990	0,000032
6	Ελέγχου	Πέμπτη	μετά	0,000032	0,042840	0,000032	0,094114	0,000032		0,000032	0,961328
7	Ελέγχου	Έκτη	προ	0,999064	0,000032	0,999999	0,000032	0,999990	0,000032		0,000032
8	Ελέγχου	Έκτη	μετά	0,000032	0,000692	0,000032	0,002172	0,000032	0,961328	0,000032	

Πίνακας 6. Σύγκριση των δύο ομάδων με το στατιστικό κριτήριο Tukey HSD στην ερώτηση (4)

Cell No.	Ομάδα	Τάξη	Ερ. 4	Tukey HSD test; Pooled MSE=,73260, df=399,29							
				{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}	{8}
				1,3091	2,9273	1,6607	2,9821	1,2963	3,1852	1,7193	3,2807
1	Πειραματική	Πέμπτη	προ		0,000032	0,373805	0,000032	1,000000	0,000032	0,180440	0,000032
2	Πειραματική	Πέμπτη	μετά	0,000032		0,000032	0,999976	0,000032	0,766724	0,000032	0,360988
3	Πειραματική	Έκτη	προ	0,373805	0,000032		0,000032	0,332162	0,000032	0,999961	0,000032
4	Πειραματική	Έκτη	μετά	0,000032	0,999976	0,000032		0,000032	0,918795	0,000032	0,582884
5	Ελέγχου	Πέμπτη	προ	1,000000	0,000032	0,332162	0,000032		0,000032	0,154848	0,000032
6	Ελέγχου	Πέμπτη	μετά	0,000032	0,766724	0,000032	0,918795	0,000032		0,000032	0,999029
7	Ελέγχου	Έκτη	προ	0,180440	0,000032	0,999961	0,000032	0,154848	0,000032		0,000032
8	Ελέγχου	Έκτη	μετά	0,000032	0,360988	0,000032	0,582884	0,000032	0,999029	0,000032	

Πίνακας 7. Σύγκριση των δύο ομάδων με το στατιστικό κριτήριο Tukey HSD στην ερώτηση (5)

Cell No.	Ομάδα	Τάξη	Ερ. 5	Tukey HSD test; Pooled MSE=,47774, df=433,44							
				{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}	{8}
				1,1273	2,5273	1,2909	2,7818	1,1111	3,1296	1,3158	3,2632
1	Πειραματική	Πέμπτη	προ		0,000032	0,919533	0,000032	1,000000	0,000032	0,837204	0,000032
2	Πειραματική	Πέμπτη	μετά	0,000032		0,000032	0,529170	0,000032	0,000170	0,000032	0,000033
3	Πειραματική	Έκτη	προ	0,919533	0,000032		0,000032	0,876208	0,000032	1,000000	0,000032
4	Πειραματική	Έκτη	μετά	0,000032	0,529170	0,000032		0,000032	0,146249	0,000032	0,005625
5	Ελέγχου	Πέμπτη	προ	1,000000	0,000032	0,876208	0,000032		0,000032	0,774629	0,000032
6	Ελέγχου	Πέμπτη	μετά	0,000032	0,000170	0,000032	0,146249	0,000032		0,000032	0,972008
7	Ελέγχου	Έκτη	προ	0,837204	0,000032	1,000000	0,000032	0,774629	0,000032		0,000032
8	Ελέγχου	Έκτη	μετά	0,000032	0,000033	0,000032	0,005625	0,000032	0,972008	0,000032	

Συζήτηση

Αναφορικά με τον έλεγχο του διερευνητικού ερωτήματος της έρευνας για τους μαθητές της Πέμπτης τάξης δημοτικού, τα μαθησιακά αποτελέσματα που πρόέκυψαν από την ανάλυση των απαντήσεων των μαθητών συνοψίζονται ως εξής:

- Στις τρεις από τις πέντε ερωτήσεις υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των μαθητών των δυο ομάδων. Πιο συγκεκριμένα, ως προς τα μαθησιακά αποτελέσματα, οι μαθητές που εκτελούν πραγματικά πειράματα υπερέχουν έναντι των μαθητών που εκτελούν εικονικά στην επίτευξη εννοιολογικής αλλαγής. Ειδικότερα, οι μαθητές που εκτελούν πραγματικά πειράματα υπερέχουν στην ερώτηση (1) η οποία σχετίζεται με το τι συμβαίνει στο νερό κατά τη διάρκεια του βρασμού, καθώς επίσης στις ερωτήσεις (3) και (5) οι οποίες αναφέρονται στη σχέση της θερμοκρασίας του νερού και στην απότομη αύξηση του ρυθμού παροχής θερμότητας κατά τη διάρκεια του βρασμού του νερού.
- Στις υπόλοιπες δυο ερωτήσεις δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των μαθητών των δυο ομάδων στην επίτευξη εννοιολογικής αλλαγής. Ειδικότερα, αυτό συμβαίνει στην ερώτηση (2) η οποία αναφέρεται στη στάθμη του νερού κατά τη διάρκεια του βρασμού, καθώς επίσης στην ερώτηση (4) η οποία αναφέρεται στη σχέση της θερμοκρασίας του νερού και στην αύξηση της ποσότητας του νερού που θερμαίνεται κατά τη διάρκεια του βρασμού.

Με βάση τα παραπάνω, όσον αφορά το διερευνητικό ερώτημα για τους μαθητές της Πέμπτης τάξης δημοτικού, διαπιστώνεται ότι υπάρχει διαφορά στην επίτευξη εννοιολογικής αλλαγής (εννοιολογική κατανόηση) μεταξύ των μαθητών των δυο ομάδων. Πιο συγκεκριμένα, ως προς τα μαθησιακά αποτελέσματα, οι μαθητές που εκτελούν πραγματικά πειράματα υπερέχουν έναντι των μαθητών που εκτελούν εικονικά σχετικά με το φαινόμενο του βρασμού του νερού. Αυτό μπορεί να σημαίνει ότι περισσότερες εναλλακτικές ιδέες των μαθητών που εκτελούν πραγματικά πειράματα πλησιάζουν και γίνονται συμβατές με το επιστημονικό πρότυπο, σε σχέση με τις εναλλακτικές ιδέες των μαθητών που εκτελούν εικονικά πειράματα.

Αναφορικά με τον έλεγχο του διερευνητικού ερωτήματος της έρευνας για τους μαθητές της Έκτης τάξης δημοτικού, τα μαθησιακά αποτελέσματα που πρόέκυψαν από την ανάλυση των απαντήσεων των μαθητών συνοψίζονται ως εξής:

- Στις τρεις από τις πέντε ερωτήσεις και ειδικότερα στις ερωτήσεις (1), (3) και (5), όπως ακριβώς και με τους μαθητές της Πέμπτης, υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των μαθητών των δυο ομάδων. Πιο συγκεκριμένα, ως προς τα μαθησιακά αποτελέσματα, οι μαθητές που εκτελούν πραγματικά πειράματα υπερέχουν έναντι των μαθητών που εκτελούν εικονικά στην επίτευξη εννοιολογικής αλλαγής.
- Στις υπόλοιπες δυο ερωτήσεις και ειδικότερα στις ερωτήσεις (2) και (4), όπως ακριβώς και με τους μαθητές της Πέμπτης, δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των μαθητών των δυο ομάδων στην επίτευξη εννοιολογικής αλλαγής.

Με βάση τα παραπάνω, όσον αφορά το διερευνητικό ερώτημα για τους μαθητές της Έκτης τάξης δημοτικού, διαπιστώνεται ότι υπάρχει διαφορά στην επίτευξη εννοιολογικής αλλαγής (εννοιολογική κατανόηση) μεταξύ των μαθητών των δυο ομάδων. Πιο συγκεκριμένα, ως προς τα μαθησιακά αποτελέσματα, οι μαθητές που εκτελούν πραγματικά πειράματα υπερέχουν έναντι των μαθητών που εκτελούν εικονικά σχετικά με το φαινόμενο του βρασμού του νερού. Αυτό μπορεί να σημαίνει ότι περισσότερες εναλλακτικές ιδέες των μαθητών που εκτελούν πραγματικά πειράματα πλησιάζουν και γίνονται συμβατές με το

επιστημονικό πρότυπο, σε σχέση με τις εναλλακτικές ιδέες των μαθητών που εκτελούν εικονικά πειράματα.

Ολοκληρώνοντας τη συζήτηση, αξίζει να σημειωθεί ότι προκειμένου να διαπιστωθεί ότι οι διαφορές της πειραματικής ομάδας με την ομάδα ελέγχου δεν θα επηρεαστούν από ατομικές διαφορές των υποκειμένων, ο πειραματικός σχεδιασμός στην παρούσα έρευνα στηρίχθηκε στις εξής δυο βασικές αρχές. Αρχικά, η συμμετοχή των υποκειμένων στις ομάδες να γίνεται με τυχαίο τρόπο. Ειδικότερα, στην παρούσα έρευνα η πειραματική παρέμβαση περιελάμβανε το χωρισμό του δείγματος με την μέθοδο της τυχαίας δειγματοληψίας σε δυο ισοδύναμες ομάδες οι οποίες ακολούθησαν το πειραματικό σχέδιο «προ - ελέγχου, μετά - ελέγχου (pre - test, post - test) τυχαιοποιημένης ελεγχόμενης δοκιμής (Βάμβουκας, 1998; Robson, 2007). Με τον τρόπο αυτό μπορεί να υποθέσει κανείς ότι τα υποκείμενα με τα διαφορετικά χαρακτηριστικά κατανέμονται πάντα με την ίδια συχνότητα στη μία ή την άλλη ομάδα και ότι οι πιθανές διαφορές εξισορροπούνται τελικά από μόνες τους (Πυργιωτάκης, 2000). Πιο συγκεκριμένα, με τον αμερόληπτο αυτόν τρόπο συγκρότησης των δυο ομάδων αναδεικνύεται ότι οι ομάδες ως σύνολα είναι ισότιμες ως προς όλα τα χαρακτηριστικά των μελών τους (νοημοσύνη, μορφωτικό - οικονομικό επίπεδο της οικογένειας, σωματική και ψυχική υγεία, κλπ.). Στη συνέχεια, οι ομάδες να είναι αρχικά ισοδύναμες ως προς το γνωστικό επίπεδο. Στην παρούσα έρευνα, όπως προαναφέρθηκε, η ισοδυναμία των δυο ομάδων διαπιστώθηκε ως προς το γνωστικό επίπεδο έλεγχου από τις απαντήσεις που έδωσαν οι μαθητές σε ίδιες ερωτήσεις πριν από την εκτέλεση τόσο των εικονικών όσο και των πραγματικών πειραμάτων.

Ωστόσο, παρότι εφαρμόστηκε η παραπάνω μεθοδολογική προσέγγιση αξίζει να αναφερθεί ότι υπάρχουν ορισμένοι περιορισμοί στην έρευνα. Πιο συγκεκριμένα, παρότι σε κάποιες περιπτώσεις δεν υπάρχουν διαφορές στους μέσους όρους μεταξύ της πειραματικής ομάδας και της ομάδας ελέγχου, είναι πιθανό να προκύψουν υποομάδες υποκειμένων που χαρακτηρίζονται από συγκεκριμένη ατομική διαφορά (π.χ. γνωστικό ύψος) και ειδικότερα να προτιμούν τον έναν ή τον άλλον τρόπο διδασκαλίας και μάθησης (εικονικό ή πραγματικό πείραμα).

Συμπεράσματα

Από τη στατιστική ανάλυση και επεξεργασία των απαντήσεων των μαθητών διαπιστώνεται ότι στη πλειοψηφία των ερωτήσεων, τόσο για τους μαθητές της Πέμπτης όσο και για τους μαθητές της Έκτης τάξης δημοτικού σχολείου, οι μαθητές της ομάδας ελέγχου είχαν καλύτερα μαθησιακά αποτελέσματα σε σχέση με τους μαθητές της πειραματικής. Με άλλα λόγια, από αυτή την έρευνα διαπιστώνεται ότι τα πραγματικά πειράματα υπερτερούν έναντι των εικονικών στην εννοιολογική κατανόηση και μάθηση της έννοιας του φαινομένου του βρασμού του νερού, γεγονός το οποίο προκύπτει και από έρευνες που υλοποιήθηκαν για άλλες θεματικές περιοχές (Steinberg, 2003; Marshall & Young, 2006; Srinivasan et al., 2006; Ευαγγέλου & Κώτσης, 2013). Επιπρόσθετα, αυτά τα μαθησιακά αποτελέσματα επιβεβαιώνουν και τις απόψεις των υποστηρικτών των πραγματικών πειραμάτων, οι οποίοι ισχυρίζονται ότι τα πραγματικά πειράματα επιτρέπουν στους μαθητές να βιώνουν, να παρατηρούν και να σχεδιάζουν άμεσα τα φυσικά φαινόμενα, γεγονός το οποίο θεωρείται ουσιαστικό στοιχείο για τη μάθηση (Sweller, 1994; Kirschner & Huisman, 1998; Chinn & Malhotra, 2002; Hofstein & Lunetta, 2004; Zacharia & Olympiou, 2011). Ταυτόχρονα, η υπεροχή των πραγματικών πειραμάτων έναντι των εικονικών στο φαινόμενο του βρασμού του νερού, δίνει τη δυνατότητα να ισχυρισθεί κανείς ότι οφείλεται στο γεγονός ότι με τη χρήση των πραγματικών αντικειμένων εκτελούνται με μεγαλύτερη ρεαλιστικότητα και αμεσότητα τα πραγματικά πειράματα σε σύγκριση με τα εικονικά

(Ευαγγέλου, 2012). Κατά συνέπεια, σε έννοιες και φαινόμενα που απαιτούν άμεση παρατήρηση, όπως είναι το φαινόμενο του βρασμού του νερού, είναι αποτελεσματικότερη η χρήση πραγματικών αντικειμένων για την πραγματοποίηση των αντίστοιχων πειραμάτων κατά τη διδασκαλία και μάθηση της Φυσικής.

Παράλληλα, θα πρέπει να σημειωθεί ότι μολονότι η χρήση των Τεχνολογιών της Πληροφορίας και Επικοινωνιών έχει συμβάλει αποφασιστικά στη βελτίωση της μάθησης και διδασκαλίας των Φυσικών Επιστημών, είναι αναγκαίο η χρήση τους να γίνεται μόνο σε περιπτώσεις όπου τα πραγματικά αντικείμενα δεν μπορούν να συμβάλλουν αποφασιστικά στη βελτίωση των μαθησιακών αποτελεσμάτων. Με άλλα λόγια, τα εικονικά πειράματα δεν θα πρέπει να αποτελούν πανάκεια στη μαθησιακή διαδικασία, αλλά ένα ισχυρό συμπληρωματικό εργαλείο για τη δημιουργική εργασία των μαθητών και την οικοδόμηση της γνώσης σε καταστάσεις που δεν είναι δυνατόν να υλοποιηθούν στο φυσικό κόσμο (Καλκάνης, 2000; Μικρόπουλος, 2006). Για παράδειγμα, τα εικονικά αντικείμενα θα πρέπει να χρησιμοποιούνται και να αντικαθιστούν τα πραγματικά μόνο για την εκτέλεση πειραμάτων στα οποία τα πραγματικά αντικείμενα και οι συσκευές κάνουν πιο πολύπλοκη τη διδασκαλία και δεν βοηθούν τους μαθητές να λαμβάνουν ακριβείς μετρήσεις και παρατηρήσεις (Marshall & Young, 2006; Ευαγγέλου, 2012).

Τέλος, είναι αναγκαίο να σημειωθεί ότι η συγκριτική μελέτη των εικονικών και πραγματικών πειραμάτων είναι ένα επίκαιρο αλλά και σημαντικό ζήτημα για τη διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών που χρήζει περαιτέρω διερεύνησης διότι μέσα από αυτές τις συγκρίσεις είναι δυνατόν να προκύψουν χρήσιμα συμπεράσματα, τα οποία θα βοηθήσουν ώστε να επιτευχθεί αποτελεσματικότερη διδασκαλία και μάθηση των εννοιών και φαινομένων των Φυσικών Επιστημών αφού θα εντοπισθούν κριτήρια που θα καθορίζουν τη χρήση του ενός είδους πειράματος ή του άλλου ή συνδυασμού τους σε διάφορες θεματικές ενότητες της Φυσικής (Ευαγγέλου & Κώτσης, 2012).

Αναφορές

- Başer, M., & Durmuş, S. (2010). The effectiveness of computer supported versus real laboratory inquiry learning environments on the understanding of direct current electricity among pre-service elementary school teachers. *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education*, 6(1), 47-61.
- Biggs, J. B., & Collis, K. F. (1982). *Evaluating the quality of learning. The SOLO taxonomy*. NY: Academic Press.
- Bybee, R. (2000). Teaching science as inquiry. In J. Minstrel & E. H. Van Zee (eds.), *Inquiring into Inquiry Learning and Teaching in Science* (pp. 20-46). Washington DC: American Association for the Advancement of Science.
- Chinn, C. A., & Malhotra, B. A. (2002). Epistemologically authentic inquiry in schools: A theoretical framework for evaluating inquiry tasks. *Science Education*, 86(2), 175-218.
- Finkelstein, N. D., Perkins, K., Adams, W., Keller, K., Kohl, P., Podolefsky, N., 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, 1-8.
- Heron, P. R. L., & Meltzer, D. E. (2005). The future of physics education research: Intellectual challenges and practical concerns. *American Journal of Physics*, 73, 390-394.
- Hofstein, A., & Lunetta, V. N. (2004). The laboratory in science education: Foundations for the twenty-first century. *Science Education*, 88(1), 28-54.
- Jaakkola, T., & 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. Retrieved 20 August 2014, from <http://www.leeds.ac.uk/educol/documents/00003702.htm>.
- Jaakkola, T., & Nurmi, S. (2008). Fostering elementary school students' understanding of simple electricity by combining simulation and laboratory activities. *Journal of Computer Assisted Learning*, 24(1), 271-283.
- Jimoyiannis, A., Mikropoulos, T. A., & Ravanis, K. (2000). Students' performance towards computer simulations on kinematics. *Themes in Education*, 1(4), 357-372.
- Jimoyiannis, A., & Komis, V. (2001). Computer simulations in physics teaching and learning: a case study on students' understanding of trajectory motion. *Computers & Education*, 36, 183-204.

- Keller, C., Finkelstein, N. D., Perkins, K. K., & Pollock, S. J. (2005). Assessing the effectiveness of a computer simulation in conjunction with tutorials in introductory Physics in undergraduate Physics recitations. *AIP Conference Proceedings*, 818(1), 109-112.
- Kirschner, P., & Huisman, W. (1998). Dry laboratories' in science education; computer-based practical work. *International Journal of Science Education*, 20(6), 665-682.
- Klahr, D., Triona, L., & 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.
- Krajcik, J., Mamlok, R., & Hug, B. (2001). Modern content and the enterprise of science: Science education in the twentieth century. In L. Corno (ed.), *Education across a Century: The Centennial Volume* (pp. 205-238), Chicago: University of Chicago Press.
- Marshall, J. A., & 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.
- National Research Council (2000). *Inquiry and the National Science Education Standards*. Washington DC: National Academy Press.
- Robson, C. (2007). *Η έρευνα του πραγματικού κόσμου*. Αθήνα: Gutenberg.
- Srinivasan, S., Perez, L. C., Palmer, R. D., Brooks, D. W., Wilson, K., & Fowler, D. (2006). Reality versus simulation. *Journal of Science Education and Technology*, 15(2), 137-141.
- 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.
- Sweller, J. (1994). Cognitive load theory, learning difficulty and instructional design. *Learning and Instruction*, 4, 295-312.
- Tarekegn, G. (2009). Can computer simulations substitute real laboratory apparatus? *Latin American Journal of Physics Education*, 3(3), 506 - 517.
- Triona, L. M., & 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. (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(4), 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.
- Zacharia, Z. C., & Olympiou, G. (2011). Physical versus virtual manipulative experimentation in physics learning. *Learning & Instruction*, 21(3), 317 - 331.
- Βάμβουκας, Μ. (1988). *Εισαγωγή στην ψυχολογική έρευνα και μεθοδολογία* (5^η έκδ.). Αθήνα: Γρηγόρη.
- Γεωργόπουλος, Κ., Μπέλλου, Ι., & Μικρόπουλος, Τ. Α. (2009). Μελέτη της μετάβασης σε διαφορετικές αναπαραστάσεις μεταβαλλόμενης κίνησης με την εφαρμογή μαθηματικών εννοιών. Στο Π. Καριώτογλου, Α. Σπύρτου, & Α. Ζουπίδης (επιμ.), *Πρακτικά 6^{ου} Πανελληνίου Συνεδρίου Διδακτικής των Φυσικών επιστημών και Νέων Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση - Οι πολλαπλές προσεγγίσεις της διδασκαλίας και της μάθησης των Φυσικών Επιστημών* (σ. 267-275). Ανακτήθηκε στις 16 Φεβρουαρίου 2009, από <http://www.uowm.gr/kodifeet>.
- Γεωργόπουλος, Κ. (2010). *Ο ρόλος των αναπαραστάσεων στην κατανόηση των μαθηματικών εννοιών που εμφανίζονται σε φαινόμενα του φυσικού κόσμου μέσα από περιβάλλοντα ΤΠΕ*. Αδημοσίευτη διδακτορική διατριβή. Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων.
- Ευαγγέλου, Β. Φ., & Κώτσης, Θ. Κ. (2009). Γνωρίσματα ερευνών της Διεθνούς Βιβλιογραφίας σχετικά με τα μαθησιακά αποτελέσματα από τη σύγκριση εικονικών και πραγματικών πειραμάτων στη διδασκαλία και μάθηση της Φυσικής. Στο Π. Καριώτογλου, Α. Σπύρτου, & Α. Ζουπίδης (επιμ.), *Πρακτικά 6^{ου} Πανελληνίου Συνεδρίου Διδακτικής των Φυσικών επιστημών και Νέων Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση - Οι πολλαπλές προσεγγίσεις της διδασκαλίας και της μάθησης των Φυσικών Επιστημών* (σ. 335-342). Ανακτήθηκε στις 16 Φεβρουαρίου 2009, από <http://www.uowm.gr/kodifeet>.
- Ευαγγέλου, Β. Φ., & Κώτσης, Θ. Κ. (2012). Σύγκριση μαθησιακών αποτελεσμάτων μαθητών Ε' και ΣΤ' Δημοτικού Σχολείου, μετά από πραγματικά ή εικονικά πειράματα για τη δύναμη της τριβής. *Θέματα Επιστημών και Τεχνολογίας στην Εκπαίδευση*, 5(1-2), 27-43.
- Ευαγγέλου, Β. Φ. (2012). *Η επίδραση πραγματικών και εικονικών πειραμάτων Φυσικής στη μάθηση*. Αδημοσίευτη διδακτορική διατριβή. Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων.
- Ευαγγέλου, Β. Φ., & Κώτσης, Θ. Κ. (2013). Μαθησιακά αποτελέσματα από τη σύγκριση των πραγματικών και εικονικών πειραμάτων Φυσικής σε μαθητές Ε' Δημοτικού σχετικά με την ανάκλαση του φωτός. Στο Δ. Βαβουγιός & Σ. Παρασκευόπουλος (επιμ.), *Πρακτικά 8^{ου} Πανελληνίου Συνεδρίου Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών και Νέων Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση* (σ. 292-299). Ανακτήθηκε στις 27 Νοεμβρίου 2013, από <http://www.8sefepet.uth.gr>.

- Ζαχαρία, Ζ., & 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 4^{ου} Πανελληνίου Συνεδρίου για τη Διδακτική των Φυσικών Επιστημών και τις Νέες Τεχνολογίες στην Εκπαίδευση - Φυσικές Επιστήμες: Διδασκαλία, Μάθηση & Εκπαίδευση* (τ. Α, σ. 343-349). Αθήνα: Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών.
- Καλκάνης, Γ. (2000). Οι Τεχνολογίες της Πληροφόρησης στην Εκπαιδευτική Διαδικασία (και) των Φυσικών Επιστημών. Στο Π. Κόκκοτας (επιμ.), *Διδακτικές Προσεγγίσεις στις Φυσικές Επιστήμες: Σύγχρονοι προβληματισμοί* (σ. 237-278). Αθήνα: Τυπωθήτω.
- Καλκάνης, Θ. Γ. (2010). *ΕκΠαιδευτικό ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ Φυσικών Επιστημών. ΕκΠαιδευτικές ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ και οι εφαρμογές τους Ι. το Εργαστήριο*. Αθήνα.
- Καριώτογλου, Π. (2006). *Παιδαγωγική Γνώση Περιεχομένου Φυσικών Επιστημών*. Θεσσαλονίκη: Γράφημα.
- Κουλαϊδής, Β. (επιμ.) (2007). *Σύγχρονες Διδακτικές Προσεγγίσεις για την Ανάπτυξη Κριτικής - Δημιουργικής Σκέψης (Για τη δευτεροβάθμια εκπαίδευση)*. Αθήνα: Οργανισμός Επιμόρφωσης Εκπαιδευτικών (ΟΕΠΕΚ).
- Κώτσος, Θ. Κ., & Ευαγγέλου, Β. Φ. (2007). Εικονικό ή πραγματικό πείραμα στη διδασκαλία της Φυσικής για την αλλαγή των εναλλακτικών ιδεών των μαθητών και φοιτητών: Μια βιβλιογραφική ανασκόπηση. *Επιστημονική Επετηρίδα ΠΤΔΕ Πανεπιστημίου Ιωαννίνων*, 20, 57-90.
- Κώτσος, Θ. Κ., & Ευαγγέλου, Β. Φ. (2011). Σύγκριση μαθησιακών αποτελεσμάτων μαθητών Ε' Δημοτικού Σχολείου, μετά από πραγματικά ή εικονικά πειράματα για το απλό ηλεκτρικό κύκλωμα. Στο Γ. Παπαγεωργίου, & Γ. Κουντουριώτης (επιμ.), *Πρακτικά 7^{ου} Πανελληνίου Συνεδρίου Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών και Νέων Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση - Αλληλεπιδράσεις Εκπαιδευτικής Έρευνας και Πράξης στις Φυσικές Επιστήμες* (σ. 228-237), Ανακτήθηκε στις 12 Μαΐου 2011, από <http://www.7sefepet.gr>.
- Λεός, Ι., Ψύλλος, Δ., & Χατζηκρανιώτης, Ε. (2009). Ανάπτυξη πειραματικών δεξιοτήτων μέσα από ένα εικονικό περιβάλλον στην περιοχή των θερμικών φαινομένων. Στο Π. Καριώτογλου, Α. Σπύρτου, & Α. Ζουπίδης (επιμ.), *Πρακτικά 6^{ου} Πανελληνίου Συνεδρίου Διδακτικής των Φυσικών επιστημών και Νέων Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση - Οι πολλαπλές προσεγγίσεις της διδασκαλίας και της μάθησης των Φυσικών Επιστημών* (σ. 495-503). Ανακτήθηκε στις 16 Δεκεμβρίου 2009, από <http://www.uowm.gr/kodifeet>.
- Μικρόπουλος, Τ. Α. (2006). *Ο Υπολογιστής ως γνωστικό εργαλείο*. Αθήνα: Ελληνικά Γράμματα.
- Μπέλλου, Ι. (2003). Ποιοτική αξιολόγηση μαθησιακών αποτελεσμάτων μαθητών μετά την αλληλεπίδρασή τους με εκπαιδευτικό λογισμικό. Στο Μ. Ιωσηφίδου, & Ν. Τζιμόπουλος (επιμ.), *Πρακτικά 2^{ου} Πανελληνίου Συνεδρίου των Εκπαιδευτικών για τις ΤΠΕ «Αξιοποίηση των Τεχνολογιών της Πληροφορίας και της Επικοινωνίας στη Διδακτική Πράξη»* (τ. Β, σ. 85-95). Αθήνα: Εκδόσεις Νέων Τεχνολογιών.
- Ολυμπίου, Γ., & Ζαχαρία, Ζ. (2009). Συγκριτική μελέτη της αποτελεσματικότητας του Πειραματισμού σε Πραγματικό ή Εικονικό Εργαστήριο ως προς την Επίτευξη Εννοιολογικής Κατανόησης στη Φυσική. Στο Π. Καριώτογλου, Α. Σπύρτου, & Α. Ζουπίδης (επιμ.), *Πρακτικά 6^{ου} Πανελληνίου Συνεδρίου Διδακτικής των Φυσικών επιστημών και Νέων Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση - Οι πολλαπλές προσεγγίσεις της διδασκαλίας και της μάθησης των Φυσικών Επιστημών* (σ. 621- 629). Ανακτήθηκε στις 16 Δεκεμβρίου 2009, από <http://www.uowm.gr/kodifeet>.
- Ολυμπίου, Γ. (2012). Ανάπτυξη ενός πλαισίου συνδυασμού εικονικών και πραγματικών περιβαλλόντων πειραματισμού στις Φυσικές Επιστήμες. *Δημοσίευτη διδακτορική διατριβή*. Τμήμα Επιστημών της Αγωγής, Πανεπιστήμιο Κύπρου.
- Παρασκευόπουλος, Ι. Ν. (1993). *Μεθοδολογία Επιστημονικής Έρευνας, Τόμος 1*. Αθήνα.
- Πυργιωτάκης, Ι. (2000). *Εισαγωγή στην Παιδαγωγική Επιστήμη*. Αθήνα: Ελληνικά Γράμματα.
- Ταβέλη, Ε., Ολυμπίου Γ., & Ζαχαρία, Ζ. (2012). Σύγκριση της επίδρασης του πραγματικού και εικονικού πειραματισμού στις επεξηγήσεις που δίνουν φοιτητές για φαινόμενα που αφορούν στο συγκεκριμένο «Φως και Χρώμα» μετά τη διατύπωση προβλέψεων και την παρατήρηση των συγκεκριμένων φαινομένων. Στο Ν. Τσαγγαρίδου, Κ. Μαύρου, Σ. Συμεωνίδου, Ε. Φτιάκα, Λ. Συμεού, Ι. Ηλία (επιμ.), *Πρακτικά 12^{ου} Συνεδρίου Παιδαγωγικής Εταιρείας Κύπρου* (σ. 79-89). Λευκωσία: Πανεπιστήμιο Κύπρου.
- Ταραμόπουλος, Α., Ψύλλος, Δ., & Χατζηκρανιώτης, Ε. (2010). Διδασκαλία ηλεκτρικών κυκλωμάτων με το εικονικό εργαστήριο και τα applets του Ανοικτού Μαθησιακού Περιβάλλοντος (ΑΜΑΠ). Στο Α. Τζιμογιάννης (επιμ.), *Πρακτικά 7^{ου} Πανελληνίου Συνεδρίου με Διεθνή Συμμετοχή «Οι ΤΠΕ στην Εκπαίδευση»* (τ. ΙΙ, σ. 355-363). Κόρινθος: ΕΤΠΕ.
- Ταραμόπουλος, Α., Ψύλλος, Δ., & Χατζηκρανιώτης, Ε. (2011). Μπορούν τα ανοικτά εικονικά περιβάλλοντα να χρησιμοποιηθούν στη θέση των πραγματικών εργαστηρίων; Η εμπειρία του ΑΜΑΠ στο χώρο του ηλεκτρισμού. Στο Γ. Παπαγεωργίου, & Γ. Κουντουριώτης (επιμ.), *Πρακτικά 7^{ου} Πανελληνίου Συνεδρίου Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών και Νέων Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση - Αλληλεπιδράσεις Εκπαιδευτικής Έρευνας και Πράξης στις Φυσικές Επιστήμες* (σ. 658-665). Ανακτήθηκε στις 12 Μαΐου 2011, από <http://www.7sefepet.gr>.
- 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* (σ. 240-254). Θεσσαλονίκη: Α.Π.Θ. και Πανεπιστήμιο Μακεδονίας.
- Ψύλλος, Δ., Κουμαράς, Π., & Καριώτογλου, Π. (1993). Εποικοδόμηση της γνώσης στην τάξη με συνέρευνα δασκάλου και μαθητή. *Σύγχρονη Εκπαίδευση*, 70, 34-42.

- Ψύλλος, Δ., Αργυράκης, Π., Βλαχάβας, Ι., Χατζηκρανιώτης, Ε., Μπισδικιάν, Γ., Ρεφανίδης, Ι., Λεύκος, Ι., Κορομπίλης, Κ., Βράκας, Δ., Γάλλος, Λ., Πετρίδου, Ε., & Νικολαΐδης, Ι. (2000). Σύνθετο Εικονικό Περιβάλλον για τη διδασκαλία Θερμότητας - Θερμοδυναμικής. Στο Β. Κόμης (επιμ.), *Πρακτικά 2^{οο} Πανελληνίου Συνεδρίου ΤΠΕ στην Εκπαίδευση* (σ. 331-340). Πάτρα: ΕΤΠΕ.
- Ψύλλος, Δ., Χατζηκρανιώτης, Ε., & Λεύκος, Ι. (2002). Ενεργητική μάθηση με τη χρήση εικονικού εργαστηρίου. *Πρακτικά 2^{οο} Διεθνούς Συνεδρίου της Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών* (σ.1-16). Λευκωσία: Παιδαγωγικό Ινστιτούτο Κύπρου.
- Ψύλλος, Δ. (2007). Μοντέλα και κόσμοι στους εικονικούς χώρους. Στο Α. Κατσίκης, Κ. Κώτσης, Α. Μικρόπουλος, & Γ. Τσαπαρλής (επιμ.), *Πρακτικά 5^{οο} Πανελληνίου Συνεδρίου «Διδακτική των Φυσικών Επιστημών και Νέες Τεχνολογίες στην Εκπαίδευση»* (τ. Α, σ. 30-41). Ιωάννινα: Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων.

Αναφορά στο άρθρο ως: Ευαγγέλου Β. Φ. & Κώτσης Θ. Κ. (2014). Συγκριτική μελέτη της επίδρασης πραγματικών και εικονικών πειραμάτων στη μάθηση για το φαινόμενο του βρασμού του νερού σε μαθητές Ε΄ και ΣΤ΄ Δημοτικού Σχολείου. *Θέματα Επιστημών και Τεχνολογίας στην Εκπαίδευση*, 7(1-2), 5-24.

<http://earthlab.uoi.gr/thete/index.php/thete>