ePublishing
ΕΘΝΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗΣ
NATIONAL DOCUMENTATION CENTRE

Θέματα Επιστημών και Τεχνολογίας στην Εκπαίδευση

Τόμ. 5, Αρ. 1-2 (2012)

Ειδικό Αφιέρωμα: «Αλληλεπιδράσεις Εκπαιδευτικής Έρευνας και Πράξης στις Φυσικές Επιστήμες»

Σύγκριση μαθησιακών αποτελεσμάτων μαθητών Ε' και ΣΤ' Δημοτικού μετά από πραγματικά ή εικονικά πειράματα για τη δύναμη της τριβής

Φίλιππος Β. Ευαγγέλου, Κωνσταντίνος Κώτσης

Βιβλιογραφική αναφορά:

Ευαγγέλου Φ. Β., & Κώτσης Κ. (2012). Σύγκριση μαθησιακών αποτελεσμάτων μαθητών Ε' και ΣΤ' Δημοτικού μετά από πραγματικά ή εικονικά πειράματα για τη δύναμη της τριβής. *Θέματα Επιστημών και Τεχνολογίας στην Εκπαίδευση*, *5*(1-2), 27–43. ανακτήθηκε από https://ejournals.epublishing.ekt.gr/index.php/thete/article/view/44575

https://epublishing.ekt.gr | **e-Εκδότης:** EKT | **Πρόσβαση:** 20/02/2026 03:03:48

Σύγκριση μαθησιακών αποτελεσμάτων μαθητών Ε' και ΣΤ' Δημοτικού μετά από πραγματικά ή εικονικά πειράματα για τη δύναμη της τριβής

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 την έννοια της δύναμης της τριβής. 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 Interactive Physics. Η συλλογή δεδομένων έγινε με φύλλα εργασίας που δόθηκαν και στις δυο ομάδες πριν και μετά από τα πειράματα και περιείχαν έξι ίδιες ερωτήσεις. Η αξιολόγηση των απαντήσεων έγινε με την ταξινομία SOLO. Η στατιστική ανάλυση των δεδομένων έδειξε ότι προέκυψαν παρόμοια μαθησιακά αποτελέσματα μετά από την εκτέλεση των εικονικών και πραγματικών πειραμάτων για τους μαθητές της Πέμπτης και Έκτης τάξης Δημοτικού Σχολείου.

Λέξεις κλειδιά: πραγματικά πειράματα, εικονικά πειράματα ,σύγκριση, μαθησιακά αποτελέσματα, μαθητές Ε' και ΣΤ' Δημοτικού Σχολείου

Εισαγωγή

Η εισαγωγή των εικονικών πειραμάτων στη διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών έχει οδηγήσει σε μια συζήτηση επαναπροσδιορισμού του ρόλου του πειράματος στην επιστημονική διαδικασία (Hofstein & Lunetta, 2004; Zacharia & Constantinou, 2008; Zacharia et al., 2008; Ευαγγέλου & Κώτσης, 2009; Ολυμπίου & Ζαχαρία, 2009; Ταραμόπουλος κ.ά., 2011; Zacharia & Olympiou, 2011). Αυτή η συζήτηση στηρίζεται και στο γεγονός ότι η αποτελεσματικότητα των εικονικών πειραμάτων στη διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών έχει αποτελέσει αντικείμενο πολλών ερευνητικών εργασιών (Ταραμόπουλος κ.ά., 2010). Πιο συγκεκριμένα, από τα αποτελέσματα πρόσφατων ερευνών προκύπτει πως η χρήση των εικονικών αντικειμένων σε εικονικό εργαστήριο και συγκεκριμένα η χρήση αλληλεπιδραστικών προσομοιώσεων στον ηλεκτρονικό υπολογιστή έχει θετική επίδραση τόσο στις γνώσεις περιεχομένου για το υπό μελέτη θέμα όσο και στην αλλαγή των εναλλακτικών ιδεών των μαθητών ή φοιτητών προς τις επιστημονικά ορθές απόψεις (Τζιμογιάννης & Μικρόπουλος, 1998; Τζιμογιάννης κ.ά., 1998; Τζιμογιάννης, 1999; Tao & Gunstone, 1999; Τζιμογιάννης & Μικρόπουλος, 2000α; Τζιμογιάννης & Μικρόπουλος, 2000β; Jimoyiannis et. al., 2000; Jimoyiannis & Komis, 2001; Τζιμογιάννης, 2004; Μικρόπουλος, 2006; de Jong, 2006; Zacharia, 2007; Zacharia et al., 2008; Ψύλλος κ.ά., 2008; Ταραμόπουλος κ.ά., 2010).

Ταυτόχρονα, μέσα από ενδελεχή βιβλιογραφική ανασκόπηση, διαφαίνεται ότι από την εποχή που πρωτοεμφανίστηκαν τα προσομοιωμένα αυτά περιβάλλοντα, εμφανίστηκε και η επιχειρηματολογία υπέρ ή κατά της χρήσης των εικονικών πειραμάτων στην εκπαίδευση

των Φυσικών Επιστημών. Ιδιαίτερα απασχόλησε την έρευνα η συζήτηση σχετικά με τη σύγκριση των εικονικών πειραμάτων έναντι των πραγματικών (Λεύκος κ.ά., 2009). Η συζήτηση αυτή εντάσσεται σε μια ευρύτερη προβληματική, σχετικά με τον ρόλο που μπορεί να διαδραματίσει στη μάθηση η εμπλοκή των μαθητών κατά την εκτέλεση εικονικών πειραμάτων σε σχέση με την εμπλοκή τους κατά την εκτέλεση πραγματικών (φυσικών) πειραμάτων (Zacharia & Olympiou, 2011). Χαρακτηριστικό είναι ,βέβαια, το γεγονός ότι τα εικονικά και πραγματικά πειράματα αντιμετωπίζονται από ερευνητές ως «ανταγωνιστικές μέθοδοι» πειραματισμού (Jaakkola & Nurmi, 2008).

Αυτή η συζήτηση σχετικά με την αποτελεσματικότητα των εικονικών πειραμάτων έναντι των πραγματικών είχε ως αποτέλεσμα, ιδιαίτερα, κατά τα τελευταία χρόνια να εμφανίζονται έρευνες στο χώρο της Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών που συγκρίνουν αυτές τις διαφορετικές πειραματικές προσεγγίσεις, μελετώντας και αξιολογώντας τα αποτελέσματά τους αναφορικά με τη διδασκαλία και μάθηση της Φυσικής. Η σύγκριση, λοιπόν, της επίδρασης των πραγματικών πειραμάτων σε σχέση με τα εικονικά στη μάθηση αποτελεί ένα καινούργιο, σύγχρονο και ενδιαφέρον θέμα στη Διδακτική της Φυσικής (Μιχαηλίδης,2006; Van Joolingen et al., 2007; Başer & Durmuş, 2010; Zacharia & Olympiou, 2011).

Μέσα από μια λεπτομερή βιβλιογραφική ανασκόπηση (Κώτσης & Ευαγγέλου, 2007; Ευαγγέλου & Κώτσης,2009) διαπιστώθηκε ότι υπάρχουν πολλές έρευνες που συγκρίνουν τις επιδόσεις μαθητών ή φοιτητών μετά από την εκτέλεση πραγματικών ή εικονικών πειραμάτων (Finkelstein et al., 2005; Jaakkola & Nurmi, 2008; Zacharia et al., 2008; Λεύκος κ..ά., 2009; Ολυμπίου & Ζαχαρία, 2009). Για παράδειγμα, από αυτές τις πρόσφατες έρευνες φαίνεται ότι το πείραμα μπορεί να εκτελεσθεί εξίσου αποτελεσματικά τόσο με πραγματικά όσο και με εικονικά αντικείμενα (Choi & Gennaro, 1987; 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; Κώτσης & Ευαγγέλου, 2011).

Ταυτόχρονα, σε άλλες έρευνες, τα αποτελέσματα δείχνουν ότι τα εικονικά πειράματα υπερτερούν έναντι των πραγματικών (Zacharia & Anderson, 2003; Ζαχαρία & Ευαγόρου, 2004; Παναγιωτακόπουλος κ.ά., 2004; Jaakkola & Nurmi, 2004; Keller, 2004; Finkelstein et al., 2005; Zacharia, 2007; Zacharia et al., 2008; Tarekegn, 2009). Ωστόσο, υπάρχουν και άλλες έρευνες, στις οποίες τα εικονικά πειράματα υστερούν των πραγματικών (Steinberg, 2003; Marshall & Young, 2006; Srinivasan et al., 2006). Φυσικά, υπάρχουν και έρευνες στις οποίες δεν δίνονται οριστικές απαντήσεις για το είδος του πειράματος που υπερτερεί (Rosenquist et al., 2000; Kocijancic & O'Sullivan, 2004; Marshall, 2005; Chini et al., 2010).

Οι παραπάνω έρευνες αφορούν κυρίως φοιτητές ή μαθητές Γυμνασίων και Λυκείων. Αξίζει να σημειωθεί ότι ελάχιστες από αυτές τις έρευνες, ακόμη και σε διεθνές επίπεδο, υλοποιούνται σε μαθητές δημοτικών σχολείων (Triona & Klahr, 2003; Jaakkola & Nurmi, 2004; Jaakkola & Nurmi, 2008). 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), 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 των εικονικών πειραμάτων, διαπιστώνεται ότι υπάρχουν πολλές έρευνες στις οποίες τα εικονικά πειράματα εμφανίζονται να υπερέχουν των πραγματικών λόγω των πρόσθετων δυνατοτήτων (προστιθέμενη αξία) που μπορούν να προσφέρουν τα εικονικά πειράματα, όπως είναι η οπτική αναπαράσταση του μικρόκοσμου

και ειδικότερα της ροής των ηλεκτρονίων (Keller, 2004; Jaakkola & Nurmi, 2004; Finkelstein et al., 2005; Tarekegn, 2009; Başer & Durmuş, 2010), οι γραφικές παραστάσεις (Zacharia, 2007; Chini et al., 2010), η εξοικονόμηση χρόνου (Zacharia, 2007; Zacharia et al., 2008), κλπ.

Παράλληλα, πρέπει να σημειωθεί ότι σε όλες τις παραπάνω έρευνες που σχετίζονται με τη σύγκριση των εικονικών έναντι των πραγματικών πειραμάτων, καμία δεν αναφέρεται στην έννοια της δύναμης της τριβής.

Με βάση τα παραπάνω, προκύπτει 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 σχετικά με την έννοια της δύναμης της τριβής, 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 την έννοια της δύναμης της τριβής, με ελεγχόμενους συγκεκριμένους παράγοντες που επηρεάζουν τη μάθηση, όπως είναι η διδακτική προσέγγιση, το διδακτικό υλικό και η προστιθέμενη αξία του κάθε είδος 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 την έννοια της δύναμης της τριβής.

Σχετικά με τις υποθέσεις της έρευνας αξίζει να σημειωθεί ότι μέσα 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 της έννοιας της δύναμης της τριβής;».

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 Κατσικάς 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 ταξινομία 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 δημοτικά σχολεία της πόλης των Ιωαννίνων: 1ο, 3ο και 18ο Δημοτικό Σχολείο.

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. 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 διαχωρίστηκε σε κάθε τάξη σε δυο ισοδύναμες ομάδες, την πειραματική ομάδα και την ομάδα ελέγχου. Στην Πέμπτη τάξη 55 μαθητές ήταν στην πειραματική ομάδα και 55 στην ομάδα ελέγχου, ενώ στην Έκτη 56 μαθητές και στις δυο ομάδες. Ειδικότερα, 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.

Η Πειραματική ομάδα και η ομάδα ελέγχου

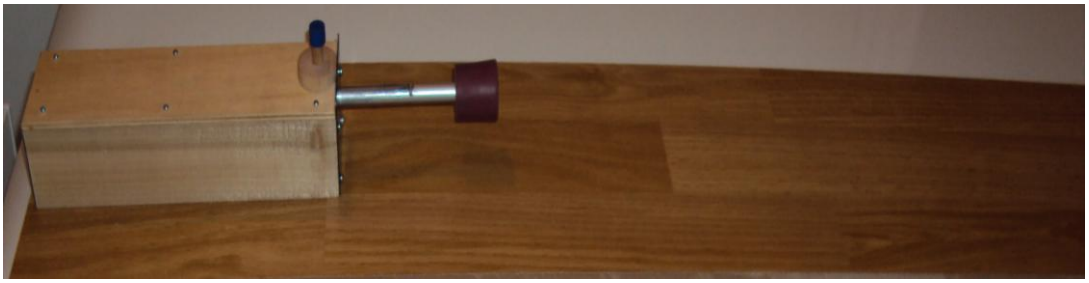
Η ομάδα ελέγχου χρησιμοποίησε τη σχολική τάξη και έκανε πειράματα με πραγματικά αντικείμενα, ενώ η πειραματική ομάδα χρησιμοποίησε το εργαστήριο ηλεκτρονικών υπολογιστών για να εκτελέσει τα ίδια πειράματα με τη χρήση του λογισμικού προσομοίωσης Interactive Physics. Οι μαθητές τόσο στην ομάδα ελέγχου 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 την έννοια της δύναμης της τριβής, ενώ οι μαθητές της Έκτης Δημοτικού την 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 δυάδα μαθητών για τα πραγματικά πειράματα ήταν:

- Συσκευή (Μηχανισμός) εκτίναξης αντικειμένων (Σχήμα 1)
- Δύο ίδια ξύλινα παραλληλεπίπεδα
- Γυαλόχαρτο (τραχιά επιφάνεια)
- Μια άσπρη και μια χρωματιστή κιμωλία.



Σχήμα 1. Συσκευή (μηχανισμός) εκτίναξης αντικειμένων

Η συσκευή αποτελείται από δύο μέρη:

1. Από ένα μηχανικό σύστημα ενός μεταλλικού άξονα με ελατήριο. Στο άκρο του άξονα υπάρχει ένα ελαστικό πώμα, στο οποίο φέρουμε σε επαφή το ξύλινο παραλληλεπίπεδο (ή οποιοδήποτε αντικείμενο). Αρχικά, συσπειρώνεται το ελατήριο και στη συνέχεια απελευθερώνεται, πατώντας προς τα κάτω το μπλε κουμπί που βρίσκεται πάνω στη συσκευή.
2. Από ένα λείο διάδρομο (από μελαμίνη), στον οποίο είναι στερεωμένη η συσκευή εκτίναξης. Ο διάδρομος μπορεί να καλυφθεί με διαφορετικά υλικά – επιφάνειες, που είναι πιο τραχιές (όπως το γυαλόχαρτο), έτσι ώστε να διαπιστώσουμε τις διαφορετικές θέσεις που σταματούν τα αντικείμενα.

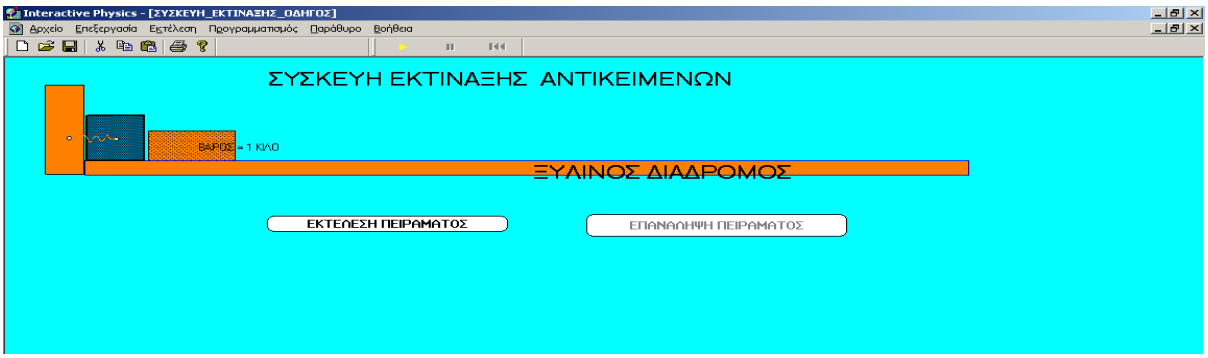
Αναφορικά με τη συσκευή εκτίναξης (Σχήμα 1) πρέπει να σημειωθεί ότι αποτελεί μια αυτοσχέδια κατασκευή (κατασκευάστηκε από τον ερευνητή) και βοηθά τους μαθητές να δεχθούν ότι ασκείται η ίδια δύναμη σε κάθε αντικείμενο (σώμα) που εκτινάσσεται, με αποτέλεσμα να περιορίζεται η εμφάνιση εναλλακτικών ιδεών σχετικά με την κίνηση των αντικειμένων. Για παράδειγμα, αρκετοί μαθητές αποδίδουν τις διαφορές των αποστάσεων τις οποίες διανύουν τα σώματα όταν τα ωθούμε στη διαφορετική αρχική δύναμη που δέχονται. Είναι γνωστό ότι η διαισθητική σκέψη οδηγεί ακόμα και μαθητές των δυο τελευταίων τάξεων του δημοτικού σχολείου σε ένα συλλογισμό σύμφωνα με τον οποίο: «η ποσότητα της κίνησης είναι ανάλογη με την ποσότητα της δύναμης» (Ραβάνης & Κολιόπουλος, 2006). Όταν, λοιπόν, χρησιμοποιείται αυτή η συσκευή όλοι οι μαθητές δέχονται ότι ασκείται η ίδια αρχική δύναμη στο κινούμενο σώμα.

Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι 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).

Τα εικονικά αντικείμενα - Το λογισμικό προσομοίωσης Interactive Physics

Για την εκτέλεση των εικονικών πειραμάτων σχετικά με την έννοια της δύναμης της τριβής χρησιμοποιείται το λογισμικό προσομοίωσης Interactive Physics. Ωστόσο, για σκοπούς επιτυχούς υλοποίησης της έρευνας, οι μαθητές πριν από τη διεξαγωγή της έρευνας εξοικειώθηκαν με το λογισμικό προσομοίωσης Interactive Physics.

Στην παρούσα έρευνα για την εκτέλεση των εικονικών πειραμάτων κατασκευάστηκε παρόμοια συσκευή (Μηχανισμός) εκτίναξης αντικειμένων με αυτή των πραγματικών αντικειμένων, χρησιμοποιώντας το λογισμικό προσομοίωσης Interactive Physics. Αυτή η συσκευή απεικονίζεται στο Σχήμα 2 και αποτελείται, όπως και στα πραγματικά αντικείμενα, από δύο μέρη:



Σχήμα 2. Συσκευή (Μηχανισμός) εκτίναξης αντικειμένων στην οθόνη του λογισμικού προσομοίωσης Interactive Physics

1. Από ένα μηχανικό σύστημα ενός σώματος με ελατήριο. Αρχικά, συσπειρώνεται το ελατήριο και στη συνέχεια απελευθερώνεται, πατώντας το κουμπί Εκτέλεση πειράματος.
2. Από ένα ξύλινο διάδρομο, στον οποίο είναι στερεωμένη η συσκευή εκτίναξης. Ο διάδρομος μπορεί να καλυφθεί με διαφορετικά υλικά – επιφάνειες, που είναι πιο τραχιές (όπως το γυαλόχαρτο), έτσι ώστε να διαπιστώσουμε τις διαφορετικές θέσεις που σταματούν τα αντικείμενα.

Αναφορικά με τη συσκευή εκτίναξης πρέπει να σημειωθεί ότι αποτελεί μια αυτοσχέδια κατασκευή (κατασκευάστηκε από τον ερευνητή) με τη χρήση του λογισμικού προσομοίωσης Interactive Physics (Νιτσόπουλος & Ζιάκη – Τσαμπίκα, 2008) και βοηθά ,όπως και η συσκευή με τα πραγματικά αντικείμενα, τους μαθητές να δεχθούν ότι ασκείται η ίδια δύναμη σε κάθε αντικείμενο (σώμα) που εκτινάσσεται, με αποτέλεσμα να περιορίζεται η εμφάνιση εναλλακτικών ιδεών σχετικά με την κίνηση των αντικειμένων.

Τέλος, πρέπει να σημειωθεί ότι με τη χρήση του λογισμικού Interactive Physics σχεδιάστηκαν από τον ίδιο τον δάσκαλο - ερευνητή οι προσομοιώσεις σχετικά με την έννοια της δύναμης της τριβής. Στη συνέχεια, εγκαταστάθηκαν ως αρχεία στην επιφάνεια εργασίας των ηλεκτρονικών υπολογιστών για να εκτελεστούν τα εικονικά πειράματα από τους μαθητές.

Τα μέσα συλλογής δεδομένων

Η συγκεκριμένη 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.ά., 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, τα οποία είναι τα εξής:

Α) Αρχικό φύλλο εργασίας (1) (pre-test): Σε αυτό το φύλλο υπάρχουν έξι ερωτήσεις. Αυτό το φύλλο εργασίας στηρίζεται στη φάση «ανάδειξης των ιδεών» της εποικοδομιστικής προσέγγισης («μοντέλο εποικοδομητικής διδακτικής στρατηγικής») και στο βήμα «έναυσμα ενδιαφέροντος» της επιστημονικής – εκπαιδευτικής μεθοδολογίας. Μέσα από αυτό το φύλλο επιχειρείται η ανάδειξη των ιδεών των μαθητών για την έννοια της δύναμης της τριβής

Β) 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

εποικοδομιστικής 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 εποικοδομιστικής προσέγγισης και στα βήματα «(Αποδεικτικός) Πειραματισμός» και «Εξαγωγή συμπερασμάτων» της επιστημονικής – εκπαιδευτικής μεθοδολογίας.

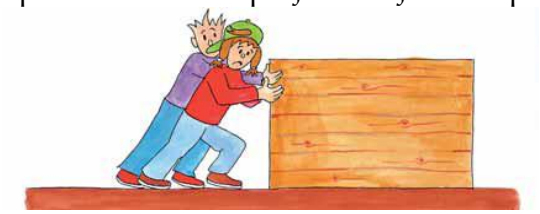
Δ) Τελικό φύλλο εργασίας (4) - Εφαρμογές (post-test): Σε αυτό το φύλλο υπάρχουν οι ίδιες ακριβώς έξι ερωτήσεις με το αρχικό φύλλο εργασίας (1). Αυτό το φύλλο εργασίας στηρίζεται στη φάση «Εφαρμογής του επιστημονικού προτύπου» της εποικοδομιστικής προσέγγισης και στα βήματα «Εφαρμογές» και «Γενίκευση» της επιστημονικής – εκπαιδευτικής μεθοδολογίας.

Πρέπει να σημειωθεί ότι πριν 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 έξι ερωτήσεις που περιέχονταν στα αρχικά και τελικά φύλλα εργασίας (στα pretest και posttest) ήταν οι ακόλουθες:

«1) Υπόθεσε ότι πρόκειται να κάνεις ορειβασία σε βουνά στα οποία έχει χιονίσει. Θα επέλεγες να φορέσεις παπούτσια των οποίων οι σόλες είναι λείες ή παπούτσια των οποίων οι σόλες έχουν τραχιά (ανώμαλη) επιφάνεια; Δικαιολόγησε την απάντησή σου……

2) Στο παρακάτω σχήμα ο μαθητής με το καπέλο λέει στον συμμαθητή του με τον οποίο προσπαθούν να σπρώξουν το ξύλινο κιβώτιο:



«Αδύνατο να το σπρώξουμε».
Ο συμμαθητής του απαντά:
«Έχω μια ιδέα! Θα γυρίσουμε το κιβώτιο όρθιο.
Έτσι, θα ακουμπά στο πάτωμα η μικρή επιφάνεια, με αποτέλεσμα η τριβή να είναι πιο μικρή από πριν που ακουμπούσε με την μεγάλη επιφάνεια. Αυτό, λοιπόν, θα μας βοηθήσει να σπρώξουμε το ξύλινο κιβώτιο».
Μπορείς να σχολιάσεις την ιδέα του συμμαθητή; Είναι ορθή ή λανθασμένη;

Δικαιολόγησε την απάντησή σου. ……

3) Γιατί τα λάστιχα του αυτοκινήτου πρέπει να είναι καινούργια; Τι πρόβλημα δημιουργείται αν έχουμε παλιά λάστιχα με λεία επιφάνεια; …….

4) Για ποιο λόγο όταν οδηγούμε και χιονίζει σταματούμε για να τοποθετήσουμε αλυσίδες στα λάστιχα των αυτοκινήτων;…….

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

«Πότε αναπτύσσεται μεγαλύτερη δύναμη τριβής»:
α) Όταν ένα αυτοκίνητο κινείται σε άσφαλτο.
β) Όταν κινείται σε δρόμο με πάγο.
γ) Δεν γνωρίζω.

Δικαιολόγησε την απάντησή σου:……..

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

«Ένα αυτοκίνητο πότε κινείται με περισσότερη ασφάλεια σε παγωμένο δρόμο»:
α) Όταν είναι άδειο.
β) Όταν είναι φορτωμένο.
γ) Δεν γνωρίζω.

Δικαιολόγησε την απάντησή σου: ……..»

Κριτήρια αξιολόγησης των απαντήσεων των μαθητών

Για να ελέγξουμε τις διαφοροποιήσεις των δυο ομάδων η αξιολόγηση των απαντήσεων των μαθητών, τόσο πριν όσο και μετά τα πραγματικά και εικονικά πειράματα, έγινε σύμφωνα με τη ταξινομία SOLO (Structure of the Observed Learning Outcomes) (Biggs & Collis, 1982). Στους Πίνακες 1 και 2 αναφέρονται ενδεικτικά οι δυο πρώτες ερωτήσεις ως παράδειγμα ταξινόμησης απαντήσεων.

Πίνακας 1. Παράδειγμα ταξινόμησης των απαντήσεων στην ερώτηση 1 σύμφωνα με την ταξινομία SOLO

Επίπεδο	Απάντηση
Προδομικό	Δεν απαντά, απαντά λάθος χωρίς να δίνει κάποια ερμηνεία για την επιλογή του, απαντά λάθος κάνοντας άσχετο συνειρμό για το είδος (φύση) επιφάνειας των παπουτσιών (λεία ή τραχιά επιφάνεια) που πρέπει να φορέσουμε όταν κάνουμε ορειβασία σε βουνά στα οποία έχει χιονίσει ώστε να είναι μικρότερος ο κίνδυνος να ολισθήσουμε (γλιστρήσουμε).
Μονοδομικό	Στην απάντησή του για το είδος (φύση) επιφάνειας των παπουτσιών (λεία ή τραχιά επιφάνεια) που πρέπει να φορέσουμε όταν κάνουμε ορειβασία σε βουνά στα οποία έχει χιονίσει ώστε να είναι μικρότερος ο κίνδυνος να ολισθήσουμε (γλιστρήσουμε), επικεντρώνεται σε ένα παράγοντα – στοιχείο από τους τρεις που απαιτούνται. Πιο συγκεκριμένα, επικεντρώνεται ή στο είδος (φύση) επιφάνειας των παπουτσιών (λεία ή τραχιά επιφάνεια) ή στη δύναμη της τριβής ή στη λεία επιφάνεια (χιονισμένη) που ακουμπούν τα παπούτσια.
Πολυδομικό	Στην απάντησή του επιλέγει δύο ή περισσότερους παράγοντες και τους παραθέτει, αναφέροντας τους απλώς σε μια σειρά και αγνοώντας τις σχέσεις τους.
Συσχετιστικό	Στην απάντησή του αναφέρει όλους τους παράγοντες - στοιχεία, κάνει τους κατάλληλους συσχετισμούς και καταλήγει σε συμπέρασμα, κατανοώντας ότι η δύναμη της τριβής είναι μεγαλύτερη όταν φοράμε παπούτσια με σόλα από τραχιά επιφάνεια από όταν φοράμε παπούτσια με σόλα από λεία επιφάνεια με αποτέλεσμα ο κίνδυνος να ολισθήσουμε (γλιστρήσουμε) να είναι μικρότερος.
Εκτεταμένης Θεώρησης	Δεν βρέθηκαν απαντήσεις σε αυτό το επίπεδο.

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

Επίπεδο	Απάντηση
Προδομικό	Δεν απαντά, απαντά λάθος χωρίς να δίνει κάποια ερμηνεία για την επιλογή του, απαντά λάθος κάνοντας άσχετο συνειρμό για το εάν η ιδέα του μαθητή να γυρίσουν το ξύλινο κιβώτιο όρθιο ώστε να το σπρώξουν πιο εύκολα είναι ορθή ή λανθασμένη.
Μονοδομικό	Στην απάντησή του για το εάν η ιδέα του μαθητή να γυρίσουν το ξύλινο κιβώτιο όρθιο ώστε να το σπρώξουν πιο εύκολα είναι ορθή ή λανθασμένη επικεντρώνεται σε ένα παράγοντα – στοιχείο από τους τρεις που απαιτούνται. Πιο συγκεκριμένα, επικεντρώνεται ή στο μέγεθος επιφάνειας (πλευρά) του ξύλινου κιβωτίου ή στη δύναμη της τριβής ή στο βάρος του ξύλινου κιβωτίου.
Πολυδομικό	Στην απάντησή του επιλέγει δύο ή περισσότερους παράγοντες και τους παραθέτει, αναφέροντας τους απλώς σε μια σειρά και αγνοώντας τις σχέσεις τους.
Συσχετιστικό	Στην απάντησή του αναφέρει όλους τους παράγοντες - στοιχεία, κάνει τους κατάλληλους συσχετισμούς και καταλήγει σε συμπέρασμα, κατανοώντας ότι η ιδέα του μαθητή είναι λανθασμένη γιατί η τριβή είναι η ίδια και δεν εξαρτάται από το μέγεθος της επιφάνειας του ξύλινου κιβωτίου που ακουμπά (εφάπτεται) στο έδαφος (καθώς και ότι το βάρος του στη συγκεκριμένη περίπτωση δεν αλλάζει και δεν επηρεάζει τη δύναμη της τριβής).
Εκτεταμένης Θεώρησης	Δεν βρέθηκαν απαντήσεις σε αυτό το επίπεδο.

Η ταξινομία SOLO στηρίζεται στη θεωρία βάσει της οποίας 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 αξιολογήσουμε και να κατηγοριοποιήσουμε τις επιδόσεις των μαθητών Γεωργόπουλος, 2010; Μπέλλου, 2003).

Κάθε απάντηση του μαθητή, πριν και μετά τις πειραματικές δραστηριότητες, προσδιορίζει το επίπεδο κατανόησης του υπό μελέτη θέματος και σύμφωνα με την ταξινομία SOLO εντάσσεται σε ένα από τα επόμενα πέντε επίπεδα: α) Προδομικό, β) Μονοδομικό, γ)Πολυδομικό, δ) Συσχετιστικό και ε) Εκτεταμένης αφαίρεσης. Στην παρούσα εργασία βρέθηκαν τα τέσσερα πρώτα επίπεδα.

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

Cell No.	Ομάδα	Τάξη	Ερ.1	Tukey HSD test; Pooled MSE=,53479, df=422,14							
				{1} 1,9636	{2} 3,1273	{3} 2,1429	{4} 3,4643	{5} 1,9818	{6} 3,5818	{7} 2,1429	{8} 3,6250
1	Πειραματική	Ε΄	προ		0,000032	0,902540	0,000032	1,000000	0,000032	0,902540	0,000032
2	Πειραματική	Ε	μετα	0,000032		0,000032	0,227845	0,000032	0,024733	0,000032	0,008102
3	Πειραματική	Στ΄	προ	0,902540	0,000032		0,000032	0,943073	0,000032	1,000000	0,000032
4	Πειραματική	Στ΄	μετα	0,000032	0,227845	0,000032		0,000032	0,990370	0,000032	0,942325
5	Ελέγχου	Ε΄	προ	1,000000	0,000032	0,943073	0,000032		0,000032	0,943073	0,000032
6	Ελέγχου	Ε΄	μετα	0,000032	0,024733	0,000032	0,990370	0,000032		0,000032	0,999986
7	Ελέγχου	Στ΄	προ	0,902540	0,000032	1,000000	0,000032	0,943073	0,000032		0,000032
8	Ελέγχου	Στ΄	μετα	0,000032	0,008102	0,000032	0,942325	0,000032	0,999986	0,000032	

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

Cell No.	Ομάδα	Τάξη	Ερ. 2	Tukey HSD test; Pooled MSE=,57611, df=435,22							
				{1} 1,1455	{2} 3,7455	{3} 1,6964	{4} 3,9286	{5} 1,1273	{6} 2,9818	{7} 1,6964	{8} 2,7857
1	Πειραματική	Ε΄	προ		0,000032	0,003306	0,000032	1,000000	0,000032	0,003306	0,000032
2	Πειραματική	Ε΄	μετα	0,000032		0,000032	0,909707	0,000032	0,000035	0,000032	0,000032
3	Πειραματική	Στ΄	προ	0,003306	0,000032		0,000032	0,002007	0,000032	1,000000	0,000032
4	Πειραματική	Στ΄	μετα	0,000032	0,909707	0,000032		0,000032	0,000032	0,000032	0,000032
5	Ελέγχου	Ε΄	προ	1,000000	0,000032	0,002007	0,000032		0,000032	0,002007	0,000032
6	Ελέγχου	Ε΄	μετα	0,000032	0,000035	0,000032	0,000032	0,000032		0,000032	0,874891
7	Ελέγχου	Στ΄	προ	0,003306	0,000032	1,000000	0,000032	0,002007	0,000032		0,000032
8	Ελέγχου	Στ΄	μετα	0,000032	0,000032	0,000032	0,000032	0,000032	0,874891	0,000032	

Πιο συγκεκριμένα, για τους μαθητές της Πέμπτης τάξης, στην ερώτηση 1 η μέση τιμή της επίδοσης για την ομάδα ελέγχου, στο μετατεστ που δόθηκε μετά από τα πειράματα, είναι 3,5818 και για την πειραματική ομάδα 3,1273 (Πίνακας 3). Η διαφορά αυτή, σύμφωνα με το κριτήριο ελέγχου Tukey HSD, προέκυψε ότι είναι στατιστικά σημαντική [p=0,024733<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 μετατεστ που δόθηκε μετά από τα πειράματα, είναι 3,6250 και για την πειραματική ομάδα 3,4643 (Πίνακας 3). Η διαφορά αυτή, σύμφωνα με το κριτήριο ελέγχου Tukey HSD, προέκυψε ότι δεν είναι στατιστικά σημαντική [p=0,942325>0,05] (Πίνακας 3). Με άλλα λόγια, η ομάδα ελέγχου έχει τις ίδιες επιδόσεις (ίδια μαθησιακά αποτελέσματα) με την πειραματική ομάδα μετά από την εκτέλεση των πειραμάτων.

Στην ερώτηση 2 για τους μαθητές της Πέμπτης τάξης η μέση τιμή της επίδοσης για την ομάδα ελέγχου, στο μετατεστ που δόθηκε μετά από τα πειράματα, είναι 2,9818 και για την πειραματική ομάδα 3,7455 (Πίνακας 4). Η διαφορά αυτή, σύμφωνα με το κριτήριο ελέγχου Tukey HSD, προέκυψε ότι είναι στατιστικά σημαντική [p=0,000035<0,05] (Πίνακας 4). Με άλλα λόγια, η πειραματική ομάδα έχει στατιστικά σημαντικά υψηλότερες επιδόσεις (καλύτερα μαθησιακά αποτελέσματα) από ότι η ομάδα ελέγχου μετά από την εκτέλεση των πειραμάτων. Για τους μαθητές της Έκτης τάξης, στην ερώτηση (2) η μέση τιμή της επίδοσης για την ομάδα ελέγχου, στο μετατεστ που δόθηκε μετά από τα πειράματα, είναι 2,7857 και για την πειραματική ομάδα 3,9286 (Πίνακας 4). Η διαφορά αυτή, σύμφωνα με το κριτήριο ελέγχου Tukey HSD, προέκυψε ότι είναι στατιστικά σημαντική [p=0,000032<0,05] (Πίνακας 4). Με άλλα λόγια, η πειραματική ομάδα έχει στατιστικά σημαντικά υψηλότερες επιδόσεις (καλύτερα μαθησιακά αποτελέσματα) από ότι η ομάδα ελέγχου μετά από την εκτέλεση των πειραμάτων.

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=,68756, df=421,02							
				{1} 1,4182	{2} 3,0727	{3} 1,8393	{4} 2,9643	{5} 1,4182	{6} 3,2727	{7} 1,8393	{8} 3,3929
1	Πειραματική	Ε΄	προ		0,000032	0,130147	0,000032	1,000000	0,000032	0,130147	0,000032
2	Πειραματική	Ε΄	μετα	0,000032		0,000032	0,997305	0,000032	0,911768	0,000032	0,458872
3	Πειραματική	Στ΄	προ	0,130147	0,000032		0,000032	0,130147	0,000032	1,000000	0,000032
4	Πειραματική	Στ΄	μετα	0,000032	0,997305	0,000032		0,000032	0,509641	0,000032	0,112185
5	Ελέγχου	Ε΄	προ	1,000000	0,000032	0,130147	0,000032		0,000032	0,130147	0,000032
6	Ελέγχου	Ε΄	μετα	0,000032	0,911768	0,000032	0,509641	0,000032		0,000032	0,994885
7	Ελέγχου	Στ΄	προ	0,130147	0,000032	1,000000	0,000032	0,130147	0,000032		0,000032
8	Ελέγχου	Στ΄	μετα	0,000032	0,458872	0,000032	0,112185	0,000032	0,994885	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=,74671, df=422,68							
				{1} 1,3091	{2} 2,8182	{3} 1,6964	{4} 2,8571	{5} 1,3091	{6} 3,0364	{7} 1,6964	{8} 3,2857
1	Πειραματική	Ε΄	προ		0,000032	0,260693	0,000032	1,000000	0,000032	0,260693	0,000032
2	Πειραματική	Ε΄	μετα	0,000032		0,000032	0,999998	0,000032	0,889988	0,000032	0,083108
3	Πειραματική	Στ΄	προ	0,260693	0,000032		0,000032	0,260693	0,000032	1,000000	0,000032
4	Πειραματική	Στ΄	μετα	0,000032	0,999998	0,000032		0,000032	0,958573	0,000032	0,147058
5	Ελέγχου	Ε΄	προ	1,000000	0,000032	0,260693	0,000032		0,000032	0,260693	0,000032
6	Ελέγχου	Ε΄	μετα	0,000032	0,889998	0,000032	0,958573	0,000032		0,000032	0,796898
7	Ελέγχου	Στ΄	προ	0,260693	0,000032	1,000000	0,000032	0,260693	0,000032		0,000032
8	Ελέγχου	Στ΄	μετα	0,000032	0,083108	0,000032	0,147058	0,000032	0,796898	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=,96383, df=406,23							
				{1} 1,6182	{2} 3,0727	{3} 2,7321	{4} 3,4821	{5} 1,6182	{6} 3,3273	{7} 2,7321	{8} 3,7500
1	Πειραματική	Ε΄	προ		0,000032	0,000032	0,000032	1,000000	0,000032	0,000032	0,000032
2	Πειραματική	Ε΄	μετα	0,000032		0,601216	0,353559	0,000032	0,875441	0,601216	0,006781
3	Πειραματική	Στ΄	προ	0,000032	0,601216		0,000087	0,000032	0,030545	1,000000	0,000033
4	Πειραματική	Στ΄	μετα	0,000032	0,353559	0,000087		0,000032	0,991393	0,001379	0,836844
5	Ελέγχου	Ε΄	προ	1,000000	0,000032	0,000032	0,000032		0,000032	0,000032	0,000032
6	Ελέγχου	Ε΄	μετα	0,000032	0,875441	0,030545	0,990370	0,991393		0,030545	0,311318
7	Ελέγχου	Στ΄	προ	0,000032	0,601216	1,000000	0,001379	0,000032	0,030545		0,000032
8	Ελέγχου	Στ΄	μετα	0,000032	0,006781	0,000033	0,836844	0,000032	0,311318	0,000032	

Από τη στατιστική ανάλυση της ερώτησης 3 για τους μαθητές της Πέμπτης και της Έκτης τάξης προέκυψε ότι δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των δυο ομάδων (Πίνακας 5). Κατά συνέπεια, στην ερώτηση 3 τα μαθησιακά αποτελέσματα είναι παρόμοια και για τις δυο ομάδες.

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.

Από τη στατιστική ανάλυση της ερώτησης 5 για τους μαθητές της Πέμπτης και της Έκτης τάξης προέκυψε ότι δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των δυο ομάδων (Πίνακας 7). Κατά συνέπεια, στην ερώτηση 5 τα μαθησιακά αποτελέσματα είναι παρόμοια και για τις δυο ομάδες.

Πίνακας 8. Σύγκριση των δύο ομάδων με το στατιστικό κριτήριο Tukey HSD στην ερώτηση 6

Cell No.	Ομάδα	Τάξη	Ερ. 6	Tukey HSD test; Pooled MSE=,53479, df=422,14							
				{1} 1,6364	{2} 3,1091	{3} 2,1429	{4} 3,2679	{5} 1,6364	{6} 3,6727	{7} 2,1429	{8} 3,6250
1	Πειραματική	Ε΄	προ		0,000032	0,078699	0,000032	1,000000	0,000032	0,078699	0,000032
2	Πειραματική	Ε΄	μετα	0,000032		0,000033	0,786175	0,000032	0,031859	0,000033	0,067958
3	Πειραματική	Στ΄	προ	0,078699	0,000033		0,000032	0,078699	0,000032	1,000000	0,000032
4	Πειραματική	Στ΄	μετα	0,000032	0,986175	0,000032		0,000032	0,296545	0,000032	0,459305
5	Ελέγχου	Ε΄	προ	1,000000	0,000032	0,078699	0,000032		0,000032	0,078699	0,000032
6	Ελέγχου	Ε΄	μετα	0,000032	0,031859	0,000032	0,295545	0,000032		0,000032	0,999995
7	Ελέγχου	Στ΄	προ	0,078699	0,000033	1,000000	0,000032	0,078699	0,000032		0,000032
8	Ελέγχου	Στ΄	μετα	0,000032	0,067958	0,000032	0,459305	0,000032	0,999995	0,000032	

Τέλος, για τους μαθητές της Πέμπτης τάξης, στην ερώτηση 6 η μέση τιμή της επίδοσης για την ομάδα ελέγχου, στο μετατεστ που δόθηκε μετά από τα πειράματα, είναι 3,6727 και για την πειραματική ομάδα 3,1091 (Πίνακας 8). Η διαφορά αυτή, σύμφωνα με το κριτήριο ελέγχου Tukey HSD, προέκυψε ότι είναι στατιστικά σημαντική [p=0,031859<0,05] (Πίνακας 8). 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. Για τους μαθητές της Έκτης τάξης, στην ερώτηση 6 η μέση τιμή της επίδοσης για την ομάδα ελέγχου, στο μετατεστ που δόθηκε μετά τα πειράματα, είναι 3,6250 και για την πειραματική ομάδα 3,2679 (Πίνακας 8). Η διαφορά αυτή, σύμφωνα με το κριτήριο ελέγχου Tukey HSD, προέκυψε ότι δεν είναι στατιστικά σημαντική [p=0,459305>0,05] (Πίνακας 8). Με άλλα λόγια, η ομάδα ελέγχου έχει τις ίδιες επιδόσεις (ίδια μαθησιακά αποτελέσματα) με την πειραματική ομάδα μετά από την εκτέλεση των πειραμάτων.

Συζήτηση

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

- Στις ερωτήσεις 1 και 6 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 ερώτηση 2 υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των μαθητών των δυο ομάδων. Πιο συγκεκριμένα, ως προς τα μαθησιακά αποτελέσματα, οι μαθητές που εκτελούν εικονικά πειράματα υπερέχουν έναντι των μαθητών που εκτελούν πραγματικά.
- Στις ερωτήσεις 3, 4 και 5 δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των μαθητών των δυο ομάδων στην επίτευξη εννοιολογικής αλλαγής.

Με βάση τα παραπάνω, όσον αφορά το διερευνητικό ερώτημα της έρευνας για τους μαθητές της Πέμπτης τάξης δημοτικού, διαπιστώνεται ότι δεν υπάρχει (ουσιαστική) διαφορά στην εννοιολογική κατανόηση μεταξύ των μαθητών που εκτελούν εικονικά πειράματα και των μαθητών που εκτελούν πραγματικά πειράματα σχετικά με την έννοια της δύναμης της τριβής. Με άλλα λόγια, το πείραμα, είτε εκτελεσθεί με εικονικά αντικείμενα είτε με πραγματικά, είναι εξίσου αποτελεσματικό στην τροποποίηση των εναλλακτικών ιδεών των μαθητών προς τις επιστημονικά αποδεκτές.

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

- Στην ερώτηση 2 υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των μαθητών των δυο ομάδων. Πιο συγκεκριμένα, ως προς τα μαθησιακά αποτελέσματα, οι μαθητές που εκτελούν εικονικά πειράματα υπερέχουν έναντι των μαθητών που εκτελούν πραγματικά.
- Στις ερωτήσεις 1, 3, 4, 5 και 6 δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των μαθητών των δυο ομάδων.

Με βάση τα παραπάνω, όσον αφορά το διερευνητικό ερώτημα της έρευνας για τους μαθητές της Έκτης τάξης δημοτικού, διαπιστώνεται ότι δεν υπάρχει (ουσιαστική) διαφορά στην εννοιολογική κατανόηση μεταξύ των μαθητών που εκτελούν εικονικά πειράματα και των μαθητών που εκτελούν πραγματικά πειράματα σχετικά με την έννοια της δύναμης της τριβής. Με άλλα λόγια, το πείραμα, είτε εκτελεσθεί με εικονικά αντικείμενα είτε με πραγματικά, είναι εξίσου αποτελεσματικό στην τροποποίηση των εναλλακτικών ιδεών των μαθητών προς τις επιστημονικά αποδεκτές.

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: α) 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 – μετα – 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 βεβαιωνόμαστε 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.).

β) 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 με προ-έλεγχο 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 πιθανόν να προκύψουν υπό-ομάδες υποκειμένων που χαρακτηρίζονται από συγκεκριμένη ατομική διαφορά (π.χ. γνωστικό ύφος) και ειδικότερα να προτιμούν τον έναν ή τον άλλον τρόπο διδασκαλίας και μάθησης (εικονικό ή πραγματικό πείραμα).

Συμπεράσματα

Μέσα 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, τα μαθησιακά αποτελέσματα και των δυο ομάδων είναι παρόμοια.

Με άλλα λόγια, μέσα από αυτή την έρευνα διαπιστώνεται η ισοδυναμία των πραγματικών και εικονικών πειραμάτων στην εννοιολογική κατανόηση και μάθηση της έννοιας της δύναμης της τριβής, γεγονός το οποίο προκύπτει και σε πρόσφατες έρευνες που υλοποιήθηκαν σε μαθητές δημοτικών σχολείων για άλλες θεματικές περιοχές όπως είναι ο ηλεκτρισμός (Jaakkola & Nurmi, 2008) και η μηχανική (Triona & Klahr, 2003). Επιπρόσθετα, το γεγονός ότι στην πλειοψηφία των ερωτήσεων υπάρχει μια ισοδυναμία μεταξύ των δυο ειδών πειράματος ενισχύει τις απόψεις ερευνητών που αναγνωρίζουν τη σπουδαιότητα τόσο των εικονικών όσο και των πραγματικών πειραμάτων στην κατανόηση εννοιών και φαινομένων της Φυσικής (Hofstein & Lunetta, 2004; Başer & Durmuş, 2010; Zacharia & Olympiou, 2011).

Ταυτόχρονα, μολονότι ότι το εικονικό και το πραγματικό πείραμα έχουν την ίδια αποτελεσματικότητα στην εννοιολογική κατανόηση της έννοιας της δύναμης της τριβής πρέπει να σημειωθεί ότι η χρήση είτε του ενός είτε του άλλου πειράματος δεν είναι αυτονόητη στην καθημερινή σχολική πρακτική. Η χρήση των δυο ειδών πειράματος δεν εξαρτάται μόνο από τον εκπαιδευτικό αλλά και από άλλους παράγοντες, όπως είναι για παράδειγμα η ύπαρξη στις σχολικές μονάδες των εικονικών ή πραγματικών αντικειμένων. Πιο συγκεκριμένα, εάν δεν υπάρχουν τα πραγματικά αντικείμενα στις σχολικές μονάδες ο εκπαιδευτικός θα πρέπει να κάνει χρήση του λογισμικού προσομοίωσης, χωρίς να φοβάται τον κίνδυνο δημιουργίας εναλλακτικών ιδεών από τους μαθητές μετά από την εκτέλεση των εικονικών πειραμάτων αφού, όπως προέκυψε από την παρούσα έρευνα, το πείραμα είναι εξίσου αποτελεσματικό είτε εκτελεσθεί με εικονικά είτε με πραγματικά αντικείμενα.

Παράλληλα, με βάση τα παρόμοια αποτελέσματα της παρούσας έρευνας μπορεί κανείς να ισχυρισθεί ότι τα δυο είδη πειράματος δεν πρέπει να αντιμετωπίζονται πλέον από τους εκπαιδευτικούς ως «ανταγωνιστικές μέθοδοι» πειραματισμού (Jaakkola & Nurmi, 2008), δηλαδή δεν πρέπει να θεωρούν ότι είναι αναγκαίο να κάνουν αποκλειστική χρήση είτε του εικονικού είτε του πραγματικού πειράματος στη διδασκαλία και μάθηση εννοιών και φαινομένων της Φυσικής. Αντίθετα, στην παρούσα εργασία από τα μαθησιακά αποτελέσματα των απαντήσεων προκύπτει ότι, εκτός από την πλειοψηφία των ερωτήσεων όπου προκύπτουν παρόμοια μαθησιακά αποτελέσματα, υπάρχουν και ερωτήσεις στις οποίες είναι αποτελεσματικότερα τα εικονικά πειράματα (ερώτηση (2)) αλλά και άλλες ερωτήσεις στις οποίες είναι αποτελεσματικότερα τα πραγματικά πειράματα (ερώτηση (1)). Τα αποτελέσματα, λοιπόν, αυτά δίνουν τη δυνατότητα να ισχυρισθεί κανείς ότι για μια αποτελεσματική διδασκαλία σχετικά με την έννοια της δύναμης της τριβής είναι εφικτός και ο συνδυασμός των δυο ειδών πειράματος.

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 διότι μέσα από αυτές τις συγκρίσεις είναι δυνατόν να προκύψουν χρήσιμα συμπεράσματα, τα οποία θα βοηθήσουν ώστε να επιτευχθεί μια αποτελεσματικότερη διδασκαλία και μάθηση των εννοιών και φαινομένων των Φυσικών Επιστημών. Κατά συνέπεια, απαιτείται μια περαιτέρω έρευνα και σε άλλες έννοιες και φαινόμενα της Φυσικής, όπως είναι η ανάκλαση του φωτός, ο βρασμός του νερού κλπ., έτσι ώστε να εντοπισθούν τα κριτήρια που θα καθορίζουν τη χρήση του ενός είδους πειράματος ή του άλλου ή συνδυασμού τους και σε άλλες θεματικές ενότητες της Φυσικής.

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.

Chini, J. J., Carmichael, A., Rebello, N. S., & Gire, E. (2010). *Comparing Students' Performance with Physical and Virtual Manipulatives in a Simple Machines Curriculum*. Paper presented at the Annual Meeting of the American Educational Research Association, Denver. Retrieved 12 July 2010 from http://web.phys.ksu.edu/papers/2010/chini-aera.pdf.

Choi, B., & Gennaro, E. (1987). The effectiveness of using computer simulated experiments on junior high students' understanding of the volume displacement concept. *Journal of Research in Science Teaching*, 24(6), 539-552.

de Jong, T. (2006). Computer simulations: technological advances in inquiry learning. *Science,* 312, 532-533.

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.

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 12 July 2010 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 and Education,* 36, 183-204.

Keller, C. (2004). *Substituting traditional hands-on laboratories with computer simulations: What's gained and what's lost?* Physics Report 4810/7810, Department of Physics, University of Colorado at Boulder. Retrieved 12 July 2010 from http://www.colorado.edu/physics/phys4810/phys4810_fa04/final_projects/keller.pdf

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. *Proceedings of the 2005 Physics Education Research Conference* (pp. 109-112), Melville NY: AIP Press. Retrieved 12 July 2010 from http://www.per-central.org/items/detail.cfm?ID=8939

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.

Kocijancic, S., & O'Sullivan, C. (2004). Real or virtual laboratories in science teaching. Is this actually a dilemma? *Informatics in Education,* 3(2), 239-249.

Marshall, P. (2005).Tangibles in the balance: a comparison of physical and screen versions of the balance beam task. *Proceedings of 8th Human-Centred Technology Postgraduate Workshop*, Cognitive Science Research Paper 576, University of Sussex.

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.

Robson, C. (2007). *Η έρευνα του πραγματικού κόσμου* (Β. Νταλάκου, & Κ. Βασιλικού, Μτφ). Αθήνα: Gutenberg.

Rosenquist, A., Shavelson, R. J., & Ruiz-Primo, M. A. (2000). *On the 'exchangeability' of hands-on and computer simulated science performance assessments*. CSE Technical Report No 531. Los Angeles: University of California.

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.

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.

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.

Van Joolingen, W. R., de Jong, T., & Dimitrakopoulou, A. (2007). Issues in computer supported inquiry learning in science. *Journal of Computer Assisted Learning*, 23(2), 111-119.

Zacharia, Z., & Anderson, O. R. (2003). The effects of an interactive computer-based simulation prior to performing a laboratory inquiry-based experiment on students' conceptual understanding of physics. *American Journal of Physics*, 71(6), 618-629.

Zacharia, Z. C. (2007). Comparing and combining real and virtual experimentation: an effort to enhance students' conceptual understanding of electric circuits. *Journal of Computer Assisted Learning*, 23(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 ψυχοπαιδαγωγική έρευνα και μεθοδολογία*. Αθήνα: Εκδόσεις Γρηγόρη.

Γεωργόπουλος, Κ., Μπέλλου, Ι., & Μικρόπουλος, Α. (2009). Μελέτη της μετάβασης σε διαφορετικές αναπαραστάσεις μεταβαλλόμενης κίνησης με την εφαρμογή μαθηματικών εννοιών. Στο Π. Καριώτογλου, Α. Σπύρτου, & Α. Ζουπίδης (επιμ.), *Πρακτικά 6ου 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 16/12/2009 από http://www.uowm.gr/kodifeet.

Γεωργόπουλος, Χ. 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 6ου 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 16/12/2009 από http://www.uowm.gr/kodifeet.

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 4ου 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, Τμήμα Προσχολικής Εκπαίδευσης και Αγωγής στην Προσχολική Ηλικία.

Καλκάνης, Θ. Γ. (2010). *ΕκΠαιδευτικό ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ Φυσικών Επιστημών. ΕκΠαιδευτικές ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ και οι εφαρμογές τους Ι. το Εργαστήριο*. Αθήνα: Αυτοέκδοση.

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).

Κώτσης, 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.

Κώτσης, 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 7ου Πανελλήνιου Συνεδρίου Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών και Νέων Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση – Αλληλεπιδράσεις Εκπαιδευτικής Έρευνας και Πράξης στις Φυσικές Επιστήμες* (σ.228 - 237). Ανακτήθηκε στις 12/05/2011 από http://www.7sefepet.gr.

Λεύκος, 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 6ου 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 16/12/2009 http://www.uowm.gr/kodifeet.

Μικρόπουλος, Τ.Α. (2006). *Ο Υπολογιστής ως γνωστικό εργαλείο*. Αθήνα: Ελληνικά Γράμματα.

Μιχαηλίδης, Π. (2006). Εξελίξεις στη Διδακτική των φυσικών επιστημών. *Πρακτικά 11ου Πανελληνίου Συνεδρίου με Διεθνή Συμμετοχή της Ένωσης Ελλήνων Φυσικών «Οι νέοι ορίζοντες της Φυσικής Επιστήμης στον Αιώνα μας, στην Έρευνα, στην Τεχνολογία και στην Εκπαίδευση»*. Λάρισα: ΕΕΦ.

Μπέλλου, Ι. (2003). Ποιοτική αξιολόγηση μαθησιακών αποτελεσμάτων μαθητών μετά την αλληλεπίδρασή τους με εκπαιδευτικό λογισμικό. Στο Μ. Ιωσηφίδου, & Ν. Τζιμόπουλος (επιμ.), *Πρακτικά 2ου Πανελλήνιου 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.

Νιτσόπουλος, Γ., & Ζιάκη – Τσαμπίκα, Α. (2008). Παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται η τριβή. *Εργασία στο Interactive Physics (εικονικό εργαστήριο) για το Μάθημα: «Ανάλυση διδακτικού υλικού στις θετικές επιστήμες»*

(Διδάσκων: Ψυχάρης, Σ.) του Μεταπτυχιακού Πρόγραμματος Σπουδών με τίτλο: «Επιστήμες της Αγωγής - Εκπαίδευση με Χρήση Νέων Τεχνολογιών». ΠΤΔΕ, Πανεπιστήμιο Αιγαίου. Ανακτήθηκε στις 20/05/2009 από http://www.rhodes.aegean.gr/ptde/labs/lab-fe/lab.html.

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 6ου 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 16/12/2009 από http://www.uowm.gr/kodifeet.

Παναγιωτακόπουλος, Χ., Πιερρή, Ε., Σαρρής, Μ., & Νικολόπουλος, Π. (2004). Η επίδραση της Προσομοίωσης στην Κατανόηση της Ευθύγραμμης Ομαλής Κίνησης: Μια Μελέτη Περίπτωσης. *Θέματα στην Εκπαίδευση*, 5(1/3), 59–74.

Παρασκευόπουλος, Ι. Ν. (1993). *Μεθοδολογία Επιστημονικής Έρευνας. Τόμος 1*. Αθήνα: Αυτοέκδοση.

Πυργιωτάκης, Ι. (2000). *Εισαγωγή στην Παιδαγωγική Επιστήμη*. Αθήνα: Ελληνικά Γράμματα.

Ραβάνης, Κ., & Κολιόπουλος, Δ. (2006). Μια συνθετική προσέγγιση της έννοιας της τριβής ολίσθησης για την προσχολική ηλικία: Βιωματικές νοητικές παραστάσεις, διδακτικές αλληλεπιδράσεις και πρόδρομα μοντέλα. Στο Δ. Κολιόπουλος (επιμ.), *Θέματα Διδακτικής Φυσικών Επιστημών* (σ. 155-174). Αθήνα: Μεταίχμιο.

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 7ου Πανελλήνιου 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 ΑΜΠΑ στο χώρο του ηλεκτρισμού. Στο Γ. Παπαγεωργίου, & Γ. Κουντουριώτης (επιμ.), *Πρακτικά 7ου Πανελλήνιου Συνεδρίου Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών και Νέων Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση – Αλληλεπιδράσεις Εκπαιδευτικής Έρευνας και Πράξης στις Φυσικές Επιστήμες* (σ. 658-665). Ανακτήθηκε στις 12/05/2011 από http://www.7sefepet.gr.

Τζιμογιάννης, Α., & Μικρόπουλος, Τ. Α. (1998). Η συμβολή των προσομοιώσεων στη διδασκαλία της κινηματικής. Στο Π. Κουμαράς, Π. Καριώτογλου, Β. Τσελφές, & Δ. Ψύλλος (επιμ.), *Πρακτικά 1ου Πανελλήνιου Συνεδρίου Διδακτικής Φυσικών Επιστημών & Εφαρμογής Νέων Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση* (σ.317-323). Θεσσαλονίκη.

Τζιμογιάννης, Α., Κωσταδήμας, Ε., & Μικρόπουλος, Τ. Α. (1998). Διδασκαλία Φυσικής και Υπολογιστές. Μελέτη της συμβολής των προσομοιώσεων στη διδασκαλία της κινηματικής. Στο Α. Τζιμογιάννης (επιμ.), *Πρακτικά 1ης Πανηπειρωτικής Ημερίδας «Πληροφορική και Εκπαίδευση»* (σ. 64-78). Ιωάννινα.

Τζιμογιάννης, Α. (1999). Διδασκαλία Φυσικής και Υπολογιστές: Μια εναλλακτική διδακτική πρόταση. *Σύγχρονη Εκπαίδευση, 105,* 115-122.

Τζιμογιάννης, Α., & Μικρόπουλος, Τ. Α. (2000α). Η συμβολή των προσομοιώσεων πειραμάτων στη διδασκαλία της Φυσικής: η έννοια της ταχύτητας. *Σύγχρονη Εκπαίδευση*, 111, 120-131.

Τζιμογιάννης, Α., & Μικρόπουλος, Τ. Α. (2000β). Η συμβολή των προσομοιώσεων πειραμάτων στη διδασκαλία της Φυσικής: η έννοια της επιτάχυνσης. *Σύγχρονη Εκπαίδευση*, 112, 127-134.

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: Εκδόσεις Πανεπιστημίου Α.Π.Θ. - 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., Ταραμόπουλος, Α., Χατζηκρανιώτης, Ε., Μπάρμπας, Α., Μολοχίδης, Α., & Μπισδικιάν, Γ. (2008). Ένα Ανοικτό Μαθησιακό Περιβάλλον (ΑΜΑΠ) στην περιοχή του Ηλεκτρισμού. Στο Χ. Αγγέλη, & Ν. Βαλανίδης (επιμ.), *Πρακτικά 6ου Πανελλήνιου Συνεδρίου «Οι ΤΠΕ στην Εκπαίδευση»* (σ. 384-391). Λεμεσός.

Αναφορά στο άρθρο ως: 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.

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