

# 9<sup>ο</sup>

## ΠΑΝΕΛΛΗΝΙΟ ΣΥΝΕΔΡΙΟ ΔΙΔΑΚΤΙΚΗΣ ΤΩΝ ΦΥΣΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΚΑΙ ΝΕΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΣΤΗΝ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ

Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής  
Εκπαίδευσης  
Παιδαγωγική Σχολή, Α.Π.Θ.



Ένωση για την εκπαίδευση στις  
Φυσικές Επιστήμες & την Τεχνολογία.

# ΕΝΕΦΕΤ

«ΔΙΔΑΣΚΑΛΙΑ ΚΑΙ ΜΑΘΗΣΗ ΣΤΙΣ ΦΥΣΙΚΕΣ  
ΕΠΙΣΤΗΜΕΣ ΚΑΙ ΤΗΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ:  
ΕΡΕΥΝΕΣ ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΕΣ ΚΑΙ ΠΡΑΚΤΙΚΕΣ»

[synedrioenepfet-2015.web.auth.gr](http://synedrioenepfet-2015.web.auth.gr)

Θεσσαλονίκη,  
8-10.5.2015

Επιμέλεια:

Ψύλλος Δημήτρης,

Μολοχίδης Αναστάσιος,

Καλλέρη Μαρία

ΥΠΟ ΤΗΝ ΑΙΓΙΔΑ



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ

Υπουργείο Πολιτισμού, Παιδείας και Θρησκευμάτων

## Διερεύνηση των Σχετικιστικών και Κλασικών Ορίων – – Μια Εκπαιδευτική Προσέγγιση με τη χρήση αυτοσχέδιου Αλληλεπιδραστικού Λογισμικού

Γουσόπουλος Δημήτριος<sup>1</sup>, Καπότης Ευστράτιος<sup>2</sup>, Καλκάνης Γεώργιος Θεοφ.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Εργαστήριο Φυσικών Επιστημών, Τεχνολογίας και Περιβάλλοντος,  
Παιδαγωγικό Τμήμα Δ.Ε., Πανεπιστήμιο Αθηνών, <http://micro-kosmos.uoa.gr> , [dimgouso@gmail.com](mailto:dimgouso@gmail.com)

<sup>2</sup>Εργαστήριο Φυσικών Επιστημών, Τεχνολογίας και Περιβάλλοντος,  
Παιδαγωγικό Τμήμα Δ.Ε., Πανεπιστήμιο Αθηνών, <http://micro-kosmos.uoa.gr> ,  
[stratosxkapotis@gmail.com](mailto:stratosxkapotis@gmail.com)

<sup>3</sup>Εργαστήριο Φυσικών Επιστημών, Τεχνολογίας και Περιβάλλοντος,  
Παιδαγωγικό Τμήμα Δ.Ε., Πανεπιστήμιο Αθηνών, <http://micro-kosmos.uoa.gr> ,  
[kalkanis@primedu.uoa.gr](mailto:kalkanis@primedu.uoa.gr)

### Περίληψη

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζουμε ένα αλληλεπιδραστικό λογισμικό με τη βοήθεια του οποίου οι μαθητές διερευνούν τα όρια όπου οι προβλέψεις των Σχετικιστικών Θεωριών αρχίζουν να διαφέρουν από αυτές της Κλασικής Φυσικής. Το λογισμικό αυτό αποτέλεσε το κύριο εργαλείο της διδακτικής μας παρέμβασης. Το δείγμα μας αποτελούνταν από προπτυχιακούς φοιτητές του Παιδαγωγικού Τμήματος του Πανεπιστημίου Αθηνών, οι οποίοι είχαν χωριστεί σε μια ομάδα ελέγχου και μια ομάδα πειραματισμού. Τα αποτελέσματα έδειξαν στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των ομάδων ελέγχου και πειραματισμού στις συγκρίσεις των post – test, γεγονός που σημαίνει ότι το λογισμικό που αναπτύξαμε βοηθά τους φοιτητές στην κατανόηση των ορίων μεταξύ των προβλέψεων της Σχετικότητας και της Κλασικής Φυσικής.

### Abstract

In this paper we present interactive software that can help students investigate the confines where the predictions of the Theory of Relativity differentiate from these of the Classical Physics. The aforementioned software was the main instrument of our instructional intervention. Our sample consisted of undergraduate students of the Pedagogical Department at the University of Athens that have been divided into two groups, control & experimental. Results showed significant differences between experimental and control groups in the post-test comparisons, which means that the use of the software developed by our team help students perceive the confines between the predictions of the Theory of Relativity and the Classical Physics.

## Εισαγωγή

### *Αναγκαιότητα*

Έχει περάσει ένας αιώνας από την εμφάνιση των Σχετικιστικών Θεωριών στη Φυσική που αποτελούν από τις σημαντικότερες εξελίξεις της φυσικής του 20<sup>ου</sup> αιώνα (Hartle, 2006). Στον αιώνα αυτό ερμήνευσαν φαινόμενα που ήταν αδύνατο να ερμηνευτούν στα πλαίσια της Κλασικής Φυσικής, προέβλεψαν φαινόμενα με απόλυτη ακρίβεια και πέρασαν με επιτυχία όλες τις εξετάσεις στις οποίες υποβλήθηκαν. Ειδικότερα, η Ειδική Σχετικότητα ενοποιεί το χώρο και το χρόνο, τη μάζα και την ενέργεια και θέτει την ταχύτητα του φωτός ως μια παγκόσμια φυσική σταθερά. Η Γενική Σχετικότητα είναι μια από τις πιο όμορφες και επαναστατικές ιδέες στη σύγχρονη επιστήμη - η ιδέα ότι η βαρύτητα είναι η γεωμετρία του καμπυλωμένου τεσσάρων - διαστάσεων χωροχρόνου. Εξάλλου, όπως αναφέρουν οι Arriasecq & Greca (2010) η έκταση και οι συνέπειες μιας επιστημονικής θεωρίας μπορεί να γίνουν αντιληπτές με το να κατανοήσει κανείς τα στοιχεία της θεωρίας και το όριο μέχρι το οποίο διαφέρουν από τους άλλους τρόπους κατανόησης των φυσικών φαινομένων. Επίσης, από έρευνα που πραγματοποιήσαμε στο Εργαστήριο Φυσικών Επιστημών του Πανεπιστημίου Αθηνών, προέκυψε ότι οι φοιτητές / φοιτήτριες δυσκολεύονται να προσδιορίσουν τα όρια που οι προβλέψεις των Σχετικιστικών Θεωριών αρχίζουν να διαφέρουν σημαντικά από αυτές τις προβλέψεις της Κλασικής Φυσικής.

### *Φυσική και Νέες Τεχνολογίες*

Σύμφωνα με τους Wegener et al (2012) πολλά φαινόμενα της Φυσικής παρουσιάζονται συχνά σαν μια συλλογή εξισώσεων που διαμορφώνουν έναν απλουστευμένο μοντέλο της πραγματικότητας. Οι μαθητές / φοιτητές με πιο αδύνατο μαθηματικό υπόβαθρο εμφανίζουν πολλές δυσκολίες όταν διδάσκονται με αυτόν τον τρόπο. Ένας ψηφιακός κόσμος μοντελοποιημένος με βάση του φυσικούς νόμους παρέχει μια άμεση οπτική πρόσβαση σε διάφορους τομείς του φυσικού κόσμου, συμπεριλαμβανομένων και φαινομένων που βρίσκονται εκτός της καθημερινής μας εμπειρίας (φαινόμενα που περιγράφονται στα πλαίσια της κβαντικής μηχανικής και της σχετικότητας). Εξάλλου, ένας γενικός κανόνας είναι ότι η τεχνολογία θα πρέπει να χρησιμοποιείται στη διδασκαλία των φυσικών επιστημών και των μαθηματικών μόνο όταν αυτή επιτρέπει να γίνονται διερευνήσεις που είναι αδύνατο να συμβούν χωρίς αυτήν ή είναι αδύνατον να συμβούν με πιο αποτελεσματικό τρόπο (Bryan, 2006). Επίσης, οι μαθητές μέσω των νέων τεχνολογιών αναπτύσσουν την κατανόηση/ αντίληψή τους για διάφορα φαινόμενα μέσα από μια μέθοδο υπόθεσης και δοκιμής αυτής της υπόθεσης και τους δίνεται η δυνατότητα να μελετήσουν φαινόμενα τα οποία είναι δύσκολο να μελετηθούν στο εργαστήριό τους, τέτοια φαινόμενα είναι και τα σχετικιστικά φαινόμενα. Επίσης, οι εκπαιδευόμενοι μπορούν να πραγματοποιήσουν εύκολα και γρήγορα έλεγχο μεταβλητών. Μέσα από αυτή τη διαδικασία οι μαθητές διερευνούν την επίδραση της ανεξάρτητης μεταβλητής στην εξαρτημένη και δημιουργούν ένα σύνολο σχέσεων μεταξύ μεγεθών που χαρακτηρίζουν και περιγράφουν το φαινόμενο που μελετούν. Τα παραπάνω πλεονεκτήματα των προσομοιώσεων ενεργοποιούνται μόνο όταν αποτελούν μέρος μιας επαρκούς εκπαιδευτικής μεθόδου/ προσέγγισης του υπό εξέταση φαινομένου. (Esquembre, 2001).

### *Βιβλιογραφική Ανασκόπηση*

Η ανασκόπηση στην διεθνή βιβλιογραφία, αν και πλουσιότερη από την ελληνική, παραμένει πολύ περιορισμένη.

Εκπαιδευτικές έρευνες που αφορούν τις σχετικιστικές θεωρίες και ειδικά την Ειδική Θεωρία της Σχετικότητας παρουσιάζουν μια σειρά από δυσκολίες που αντιμετωπίζουν τόσο οι

φοιτητές/φοιτήτριες (Scherr R.E., Shaffer P.S., Vokos S. 2001, Villani A. & Pacca J.L. 1990), όσο και οι μαθητές της ύστερης δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης στην κατανόηση των βασικών αρχών και συνεπειών της (Arriasecq & Greca, 2010, Dimitriadi, K., & Halkia, K. 2012).

Επιπλέον, έχουν διεξαχθεί έρευνες που μελετούν τρόπους και μεθόδους προκειμένου οι σχετικιστικές θεωρίες να ενταχθούν είτε στη δευτεροβάθμια, είτε στην τριτοβάθμια εκπαίδευση. Αρκετοί από τους παραπάνω ερευνητές έχουν προσπαθήσει να διδάξουν τη Σχετικότητα κάνοντας χρήση νέων τεχνολογιών (πχ δυναμικές προσομοιώσεις). Ενδεικτικά αναφέρουμε τις παρακάτω προσπάθειες:

Οι Savage et al (2007) δημιούργησαν προσομοίωση που αναπαριστά πως θα αντιλαμβανόταν κάποιος τον περιβάλλοντα χώρο του αν κινούταν με ταχύτητα κοντά στη ταχύτητα του φωτός. Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν πως οι μαθητές που έλαβαν μέρος ανέπτυξαν το ενδιαφέρον τους για τα σχετικιστικά φαινόμενα, βελτιώθηκε η κατανόηση τους σε αυτά. Οι μαθητές αποδίδουν την βελτίωση στην κατανόηση σχετικιστικών φαινομένων στην οπτικοποίηση τους.

Οι Berloni et al (2004) δημιούργησαν μια σειρά από προσομοιώσεις φαινομένων της Ειδικής Θεωρίας Σχετικότητας προκειμένου να βελτιώσουν την κατανόηση των μαθητών στις έννοιες της. Πολλές προσομοιώσεις σχετικιστικών φαινομένων συνοδεύονταν από τα αντίστοιχα χωροχρονικά διαγράμματα.

Οι Carr και Bossomaier (2011) ενσωμάτωσαν τη φυσική της σχετικότητας σε έναν ηλεκτρονικό παιχνίδι. Το εν λόγω παιχνίδι δίνει τη δυνατότητα στον χρήστη να «αλληλεπιδράσει» με τη φυσική του παιχνιδιού, να παρατηρήσει τα σχετικιστικά φαινόμενα (διαστολή χρόνου, συστολή μήκους) και να συγκρίνει τις παρατηρήσεις του με τις αντίστοιχες στα πλαίσια της νευτώνειας μηχανικής.

Η δημιουργία ενός ψηφιακού κόσμου βασιζόμενου στους φυσικούς νόμους παρέχει μια άμεση οπτική πρόσβαση σε διάφορα φυσικά φαινόμενα τα οποία βρίσκονται εντός αλλά και εκτός της καθημερινής μας εμπειρίας (Wegener et al, 2012). Στο άρθρο αυτό οι φοιτητές θεώρησαν την εμπειρία της προσομοίωσης ως θετική. Μετά τη χρήση της προσομοίωσης οι φοιτητές βελτίωσαν την επίδοσή τους στα τεστ.

## **Μεθοδολογία**

### *Ερευνητικό Ερώτημα*

Μετά τη διδακτική παρέμβαση οι μαθητές βελτιώνουν τις επιδόσεις τους σε ερωτήσεις και προβλήματα που αφορούν τη διερεύνηση των ορίων που οι προβλέψεις των Σχετικιστικών Θεωριών αρχίζουν να διαφέρουν σημαντικά από αυτές τις προβλέψεις της Κλασικής Φυσικής;

### *Στόχοι εκπαιδευτικής παρέμβασης*

Στόχος της εκπαιδευτικής παρέμβασης, με κεντρικό στοιχείο της ένα αλληλεπιδραστικό λογισμικό, ήταν να θεραπεύσει τις δυσκολίες που αντιμετωπίζουν οι φοιτητές, χωρίς κύριο αντικείμενο σπουδών τη φυσική, στο να κατανοήσουν τα όρια όπου η κλασική φυσική σταματά να ερμηνεύει διάφορα φυσικά φαινόμενα. Επίσης, η εκπαιδευτική παρέμβαση είχε σαν στόχο να οδηγήσει του φοιτητές να ανακαλύψουν τις ταχύτητες, μάζες κ.α. στις οποίες τα σχετικιστικά φαινόμενα γίνονται αντιληπτά από τα διάφορα τεχνολογικά ή βιολογικά όργανα που διαθέτουμε.

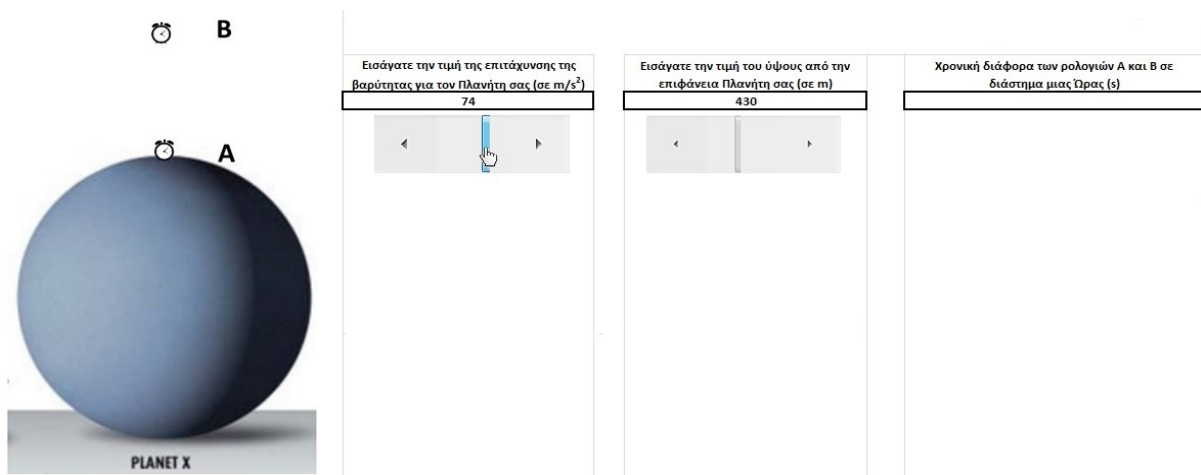
### *Έρευνα*

Αρχικά δημιουργήσαμε ένα αλληλεπιδραστικό λογισμικό με τη βοήθεια του Microsoft Office Excel, το οποίο είναι προσφιλές και εύκολα προσβάσιμο σε πολλούς εκπαιδευτικούς.

Με βάση τη βιβλιογραφία το λογισμικό αυτό σχεδιάστηκε στη βάση του να μπορούν οι εκπαιδευόμενοι να πραγματοποιήσουν εύκολα και γρήγορα έλεγχο μεταβλητών. Μέσα από αυτή τη διαδικασία οι εκπαιδευόμενοι διερευνούν την επίδραση της ανεξάρτητης μεταβλητής στην εξαρτημένη και δημιουργούν ένα σύνολο σχέσεων μεταξύ μεγεθών που χαρακτηρίζουν και περιγράφουν το φαινόμενο που μελετούν.

Ειδικότερα, στο λογισμικό αυτό, οι μαθητές μπορούν να μεταβάλλουν φυσικά μεγέθη (χρόνος, μήκος, μάζα, ταχύτητα, συχνότητα κτλ) με τη βοήθεια μιας κινούμενης μπάρας και να βλέπουν ταυτόχρονα την επίδραση των μεταβολών αυτών σε μεγέθη με τα οποία μελετάμε σχετικιστικά φαινόμενα, όπως ο χρόνος, το μήκος, η ακτίνα καμπυλότητας (Εικόνα1). Ανάλογα με το όργανο μέτρησης που έχει επιλέξει ο μαθητής και τις τιμές της/των ανεξάρτητων μεταβλητών (φυσικών ποσοτήτων) που έχει εισάγει στο λογισμικό, τον ενημερώνει αν υπάρχουν ανιχνεύσιμες μεταβολές των εξαρτημένων μεταβλητών (φυσικών ποσοτήτων) λόγω σχετικιστικών φαινομένων.

Εικόνα 7: Στιγμιότυπο από τμήμα του Αλληλεπιδραστικού Λογισμικού



Για παράδειγμα, για έναν πλανήτη ο μαθητής μπορεί να επιλέξει την τιμή της επιτάχυνσης της βαρύτητας στον πλανήτη και ταυτόχρονα την απόσταση ενός ρολογιού B από την επιφάνειά του. Το λογισμικό θα του εμφανίσει τη χρονική διαφορά των ρολογιών A (το οποίο είναι ακίνητο στην επιφάνεια του πλανήτη) και B. Ταυτόχρονα τον πληροφορεί αν αυτή η χρονική διαφορά είναι ανιχνεύσιμη από το όργανο που έχει επιλέξει (πχ ρολόι χειρός, ατομικό ρολόι).

Μια ενδεικτική ερώτηση που συνδέει το προηγούμενο τμήμα του λογισμικού είναι η εξής: «Στη γη η τιμή της επιτάχυνση της βαρύτητας στην επιφάνεια του Πλανήτη είναι  $g=9,81 \text{ m/s}^2$  και το υψηλότερο κτίσμα σε αυτή 830 m. Δυο παρατηρητές A και B στη γη συγχρονίζουν τα ρολόγια τους ευρισκόμενοι ο A στην επιφάνεια και ο B στην κορυφή του υψηλότερου κτίσματος. Η διαφορά χρόνων μεταξύ των παρατηρητών A και B, όταν το ρολόι του A έχει καταγράψει 1 ώρα είναι ανιχνεύσιμη;».

Το λογισμικό δόθηκε για έλεγχο της επιστημονικής εγκυρότητάς του σε ομάδα ειδικών (φυσικοί / εκπαιδευτικοί / ερευνητές). Στη συνέχεια, σχεδιάστηκε και υλοποιήθηκε φύλλο εργασίας με σκοπό τη διερεύνηση των ορίων των σχετικιστικών φαινομένων. Το φύλλο εργασίας είναι βασισμένο στην εκπαιδευτική / επιστημονική μεθοδολογία με διερεύνηση που αποτελεί μια παιδαγωγική προσέγγιση της ιστορικά καταξιωμένης επιστημονικής ερευνητικής μεθόδου, της μεθόδου με την οποία ο επιστήμονας, ο ερευνητής, ο άνθρωπος ερεύνησε και ερευνά το φυσικό κόσμο (Καλκάνης κ.α., 2013).

Έπειτα, διενεργήθηκε διαμορφωτική - πιλοτική έρευνα με τη συμμετοχή 5 φοιτητών/φοιτητριών του Παιδαγωγικού Τμήματος Αθηνών προκειμένου να βελτιστοποιηθεί το λογισμικό, το φύλλο εργασίας και η εκπαιδευτική πορεία.

Για την πραγματοποίηση της κύριας έρευνας οι φοιτητές/ φοιτήτριες που συμμετείχαν στην έρευνα χωρίστηκαν σε δύο ομάδες: μία ομάδα ελέγχου και μία ομάδα πειραματισμού αποτελούμενες από 28 φοιτητές φοιτήτριες η καθεμία. Οι φοιτητές / φοιτήτριες που αποτέλεσαν το δείγμα της κύριας έρευνας είχαν παρακολουθήσει μαθήματα σχετικά με τις αρχές και συνέπειες της Ειδικής και Γενικής Θεωρίας της Σχετικότητας και είχαν απαντήσει ορθά σε ερωτήσεις εφαρμογής των αρχών της σχετικότητας κατά τη διάρκεια εξαμηνιαίας εξέτασης.

Το επίπεδο των γνώσεών τους στην εν λόγω θεματική ελέγχθηκε με κατάλληλο τεστ το οποίο περιείχε ερωτήσεις ανοιχτού τύπου. Προκειμένου να σχεδιάσουμε το εν λόγω τεστ βασιστήκαμε στη διεθνή και ελληνική βιβλιογραφία, αλλά και σε έρευνα διεθνών (κυρίως) πανεπιστημιακών εγχειριδίων φυσικής, έρευνα ερωτήσεων κριτικής σκέψης και κατανόησης σχετικές με την Ειδική Θεωρία της Σχετικότητας τόσο πανεπιστημιακών εγχειριδίων, όσο και διαφόρων πανεπιστημιακών διαγωνισμάτων ή εργασιών. Επίσης, οι θεματικές που ελέγχθηκαν με το εν λόγω τεστ ήταν οι ακόλουθες:

α) Σχετικότητα του Ταυτοχρονισμού

β) Διαστολή Χρόνου

γ) Συστολή Μήκους

δ) Βαρυτική μετατόπιση στο ερυθρό

ε) Βαρυτική Διαστολή του χρόνου

Τέλος, το τεστ αυτό ελέγχθηκε για την αξιοπιστία του από ομάδα ειδικών στη Φυσική και την εκπαιδευτική έρευνα.

Στην ομάδα ελέγχου εφαρμόστηκε παραδοσιακή διδασκαλία προσανατολισμένη στην διερεύνηση των ορίων των σχετικιστικών θεωριών, ενώ στην ομάδα πειραματισμού κύριο εργαλείο της διδακτικής διαδικασίας αποτέλεσε το αλληλεπιδραστικό λογισμικό που δημιουργήσαμε, το οποίο είχε ενταχθεί σε κατάλληλη εκπαιδευτική μεθοδολογία, σύμφωνα με τη διεθνή βιβλιογραφία.

Η σύγκριση της επίδοσης στο τεστ κάθε ομάδας πραγματοποιήθηκε με τη χρήση στατιστικών ελέγχων (Mann – Whitney Test).

### **Αποτελέσματα και συζήτηση**

Μετά την ανάλυση των ερευνητικών δεδομένων, παρατηρήσαμε ότι οι δύο ομάδες πριν τη διδακτική παρέμβαση είναι ισοδύναμες (τα αποτελέσματα των pre-tests έδειξαν ότι δεν υπάρχουν στατιστικά σημαντικές οι διαφορές μεταξύ των δύο ομάδων). Επίσης, με βάση τα δεδομένα της έρευνας, στην πειραματική ομάδα βελτιώνεται η επίδοση των φοιτητών / τριών στο τεστ της έρευνας μετά τη διδακτική παρέμβαση η οποία είχε ως κύριο εργαλείο το αλληλεπιδραστικό λογισμικό που δημιουργήσαμε. Τα αποτελέσματα έδειξαν στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των ομάδων ελέγχου και πειραματισμού στις συγκρίσεις των post – test, γεγονός που σημαίνει ότι η εκπαιδευτική παρέμβαση με κεντρικό στοιχείο το αλληλεπιδραστικό λογισμικό που αναπτύξαμε φαίνεται να βοηθά τους φοιτητές στην κατανόηση των ορίων των σχετικιστικών θεωριών. Αναλυτικά τα αποτελέσματα των στατιστικών συγκρίσεων μεταξύ των ομάδων ελέγχου και πειραματισμού, με τη βοήθεια μη παραμετρικών ελέγχων παρουσιάζονται στον πίνακα 1.

**Πίνακας 1:** Στατιστική έλεγχοι μεταξύ ομάδας ελέγχου και ομάδας πειραματισμού

Υπό Εξέταση Θεματική	Mann – Whitney U	Wilcoxon W	Z	Asymp.Sig (2- tailed)
<i>Σχετικότητα του Ταυτοχρονισμού</i>	98,000	504,000	-5,566	0,000
<i>Διαστολή Χρόνου</i>	196,000	602,000	-4,282	0,000
<i>Συστολή Μήκους</i>	112,000	518,000	-5,311	0,000
<i>Βαρυτική μετατόπιση στο ερυθρό</i>	308,000	714,000	-2,271	0,023
<i>Βαρυτική Διαστολή του χρόνου</i>	210,000	616,000	-3,556	0,000
<i>Σύνολο</i>	33,000	439,000	-6,203	0,000

### Συμπεράσματα και προτάσεις

Επανέρχοντας εκ νέου στο ερευνητικό μας ερώτημα το οποίο ήταν «Μετά τη διδακτική παρέμβαση οι μαθητές βελτιώνουν τις επιδόσεις τους σε ερωτήσεις και προβλήματα που αφορούν τη διερεύνηση των ορίων που οι προβλέψεις των Σχετικιστικών Θεωριών αρχίζουν να διαφέρουν σημαντικά από αυτές τις προβλέψεις της Κλασικής Φυσικής;» παρατηρήσαμε μέσα από την πειραματικού χαρακτήρα έρευνα που πραγματοποιήσαμε ότι οι φοιτητές / φοιτήτριες, χωρίς κύριο γνωστικό αντικείμενο τη φυσική, βελτίωσαν τις επιδόσεις τους σε ερωτήσεις και προβλήματα σχετικά με τη διερεύνηση των ορίων που οι προβλέψεις των σχετικιστικών θεωριών αρχίζουν να διαφέρουν σημαντικά από αυτές τις προβλέψεις της Κλασικής Φυσικής. Τα αποτελέσματα μας επιβεβαιώνουν τη βιβλιογραφία σύμφωνα με την οποία όταν αλληλεπιδραστικά λογισμικά εντάσσονται σε μια κατάλληλη εκπαιδευτική μεθοδολογία οδηγούν σε μαθησιακά αποτελέσματα. Επίσης, το λογισμικό που δημιουργήσαμε μοντελοποιούσε φαινόμενα τα οποία είναι εκτός της καθημερινής εποπτείας με αποτέλεσμα να βοηθά τους φοιτητές/ φοιτήτριες να αντιληφθούν τα εν λόγω φαινόμενα, ειδικά αυτούς / αυτές οι οποίοι δεν έχουν ιδιαίτερα καλό μαθηματικό υπόβαθρο, σε συμφωνία με τη διεθνή βιβλιογραφία. Τέλος, το λογισμικό σχεδιάστηκε ώστε οι εκπαιδευόμενοι να πραγματοποιούν γρήγορα και εύκολα έλεγχο μεταβλητών, να βλέπουν τις επιδράσεις των διαφόρων ανεξαρτήτων μεταβλητών στις εξαρτημένες και τελικά να δημιουργήσουν ένα σύνολο σχέσεων μεταξύ των μεγεθών που περιγράφουν τα φαινόμενα που μελετήσαμε. Τα αποτελέσματα της έρευνας μας έρχονται να ενισχύσουν την άποψη αρκετών ερευνητών ότι οι εκπαιδευτικές προσεγγίσεις της Θεωρίας της Σχετικότητας θα πρέπει να περιλαμβάνουν αλληλεπιδραστικά περιβάλλοντα.

Σύμφωνα με την άποψη μας, η εκπαιδευτική έρευνα που σχετίζεται με τη Θεωρία της Σχετικότητας θα πρέπει να κατευθυνθεί προς το σχεδιασμό διδακτικών προσεγγίσεων προκειμένου να αντιμετωπιστούν οι δυσκολίες που αντιμετωπίζουν τόσο φοιτητές όσο και μαθητές τις ύστερης δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης. Τα αποτελέσματα της έρευνας μας, δείχνουν πως οι διδακτικές αυτές προσεγγίσεις θα πρέπει να έχουν ως κεντρικό σημείο αλληλεπιδραστικές προσομοιώσεις των σχετικιστικών φαινομένων.

Επιπλέον τα αποτελέσματα τόσο της δικής μας έρευνας όσο και άλλων ερευνητών που ασχολούνται με την ένταξη των σχετικιστικών θεωριών στην εκπαίδευση, θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν από δημιουργούς αναλυτικών προγραμμάτων τόσο στην Ελλάδα όσο και στο εξωτερικό προκειμένου να εντάξουν με τον κατάλληλο τρόπο την Σχετικότητα είτε στα πανεπιστήμια είτε στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση.

Επιπρόσθετα, προτείνουμε η εκπαιδευτική προσέγγιση που προτείνουμε να εφαρμοστεί και σε άλλες περιοχές της Ελλάδας, αλλά και του κόσμου έτσι ώστε να μπορέσουμε να ενισχύσουμε τη γενικευσιμότητα της έρευνας μας.

Τέλος, προτείνουμε την εφαρμογή της εκπαιδευτικής προσέγγισης που παρουσιάσαμε σε αυτή την εργασία και σε μαθητές ανώτερης δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης, αλλά και σε φοιτητές φυσικών ή / και πολυτεχνικών τμημάτων προκειμένου να ερευνήσουμε αν θα οδηγήσει τους μαθητές και φοιτητές σε μαθησιακά αποτελέσματα σχετικά με τα όρια όπου οι προβλέψεις των Σχετικιστικών Θεωριών αρχίζουν να διαφέρουν σημαντικά από αυτές τις προβλέψεις της Κλασικής Φυσικής.

## Βιβλιογραφία

- Γ.Θ. Καλκάνης, Ο. Γκικοπούλου, Ε. Καπότης, Δ. Γουσόπουλος, Μ. Πατρινόπουλος, Π. Τσάκωνας, Π. Δημητριάδης, Λ. Παπατσιμπα, Κ. Μιτζήθρας, Α. Καπόγιαννης, Δ. Ι. Σωτηρόπουλος, Σ. Πολίτης (2013), Η Φυσική με Πειράματα Α' Γυμνασίου, Βιβλίο Μαθητή, Υπουργείο Παιδείας, Ινστιτούτο Εκπαιδευτικής Πολιτικής, ΙΤΥΕ Διόφαντος, Αθήνα.
- Arriasecq I. & Greca M. I. (2010). A teaching – learning sequence for the special relativity theory at high school level historically and epistemologically contextualized. *Science and Education*, First Article. doi: 10.1007/s11191-010-9231-5.
- Berloni M. , Wolfgang C. , Melissa H.D. (2004) Teaching Special Relativity Using Physlets® *The Physics Teacher* 42,284; doi 10.1119/1.1737963.
- Bryan, J. (2006). Technology for physics instruction. *Contemporary Issues in Technology and Teacher Education*, 6(2), 230-245.
- Carr, D., & Bossomaier, T. (2011). Relativity in a rock field: A study of physics learning with a computer game. *Australasian Journal of Educational Technology*, 27(6), 1042-1067.
- Dimitriadi, K., & Halkia, K. (2012). Secondary students' understanding of basic ideas of special relativity. *International Journal of Science Education*, 34(16), 2565-2582.
- Esquembre F. (2001) Computers in Physics Education. Computer Physics Communications Elsevier
- Hartle, J. B. (2006). General relativity in the undergraduate physics curriculum. *American journal of physics*, 74(1), 14-21.
- Savage C. , Searle A. , McCalman L. (2007) . Real Time Relativity: exploration learning of special relativity. ArXiv: physics / 0701200v1.
- Scherr R.E. , Shaffer P.S. , Vokos S. (2001) Student understanding of time in special relativity: simultaneity and reference frames. *Phys.Educ. Am.J.Phys.* , Suppl.,69, S24-S35.
- Villani A. & Pacca J.L. (1990). Spontaneous reasoning of graduate students. *International Journal of Science Education*, 12:5, 589-600.
- Wegener, M., McIntyre, T. J., McGrath, D., Savage, C. M., & Williamson, M. (2012). Developing a virtual physics world. *Australasian Journal of Educational Technology*, 28(3), 504-521.