

9^ο

ΠΑΝΕΛΛΗΝΙΟ ΣΥΝΕΔΡΙΟ ΔΙΔΑΚΤΙΚΗΣ ΤΩΝ ΦΥΣΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΚΑΙ ΝΕΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΣΤΗΝ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ

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




ΕΝΕΦΕΤ
Ένωση για την εκπαίδευση στις
Φυσικές Επιστήμες & την Τεχνολογία.

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

synedrioenephet-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

Οι δυσκολίες και ο βαθμός κατανόησης των βασικών αρχών της Γενικής Θεωρίας της Σχετικότητας και των συνεπειών τους από φοιτητές του Παιδαγωγικού Τμήματος

Καπότης Ευστράτιος¹ και Καλκάνης Γεώργιος²

¹Εργαστήριο Φυσικών Επιστημών, Τεχνολογίας και Περιβάλλοντος, Παιδαγωγικό Τμήμα Δ.Ε., Πανεπιστήμιο Αθηνών, <http://micro-kosmos.uoa.grstratosxkapotis@gmail.com>,

²Εργαστήριο Φυσικών Επιστημών, Τεχνολογίας και Περιβάλλοντος, Παιδαγωγικό Τμήμα Δ.Ε., Πανεπιστήμιο Αθηνών, <http://micro-kosmos.uoa.grstratosxkapotis@gmail.com>,
kalkanis@primedu.uoa.gr

Περίληψη

Ο σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να εντοπίσει και να παρουσιάσει μερικές από τις δυσκολίες που αντιμετωπίζουν προπτυχιακοί φοιτητές, που δεν έχουν τη Φυσική ως το κύριο αντικείμενο των σπουδών τους, όταν διδάσκονται τις βασικές αρχές και τις συνέπειες της Γενικής Θεωρίας της Σχετικότητας μέσω παραδοσιακής διδασκαλίας. Το δείγμα της έρευνας αποτέλεσαν 50 προπτυχιακοί φοιτητές του Παιδαγωγικού Τμήματος του Πανεπιστημίου Αθηνών οι οποίοι είχαν παρακολουθήσει μαθήματα Γενικής Σχετικότητας. Από τις απαντήσεις των φοιτητών σε ειδικά διαμορφωμένο ερωτηματολόγιο προκύπτουν οι δυσκολίες που αντιμετωπίζουν και αποτυπώνεται ο βαθμός κατανόησης των αρχών και των συνεπειών τους.

Abstract

The purpose of this paper is to identify and present a number of difficulties faced by undergraduate students, whose primary field of study is not relative to Physics, when they are being taught, by means of the traditional way of teaching, the basic principles and the consequences of the General Theory of Relativity. The sample was 50 undergraduate students of the Faculty of Pedagogical Science, who had attended courses of General Relativity in the University of Athens, Greece. The responses of the students were collected through a specialized questionnaire and on this basis, it was possible to arrive to conclusions with regards to the degree of comprehension of the principles and of their consequences.

Εισαγωγή

Αναγκαιότητα

Η ιδέα ότι η βαρύτητα είναι η γεωμετρία ενός καμπυλωμένου τετραδιάστατου χωροχρόνου και ότι ακριβώς αυτή η καμπύλωση είναι η αιτία της βαρύτητας, είναι ίσως μία από τις πιο επαναστατικές ιδέες που συνέβαλαν καθοριστικά στην ανάπτυξη της Φυσικής του 20^{ου}

αιώνα, αλλά και σε τεχνολογίες που έχουν άμεση επίπτωση και εφαρμογή στην καθημερινή μας ζωή όπως η χρήση του GPS. Η Γενική Σχετικότητα εκτός από το ότι επαληθεύει όλα τα αποτελέσματα και τις προβλέψεις της Νευτώνειας Φυσικής, εξηγεί και σημαντικές δυσκολίες της, παρέχοντας μία πλήρη και ικανοποιητική εξήγηση του Σύμπαντος (Rindler, 1994).

Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

Προκαλεί έκπληξη το γεγονός ότι η αναζήτηση στη βιβλιογραφία, σε σχέση με την κατανόηση των εννοιών της θεωρίας του Αϊνστάιν από τους μαθητές, κατέδειξε πως η έρευνα που έχει πραγματοποιηθεί είναι πολύ μικρή (Pittsetal., 2014). Τα άρθρα και οι έρευνες που υπάρχουν αφορούν κυρίως μεθόδους για τον τρόπο διδασκαλίας της Γενικής Θεωρίας της Σχετικότητας σε προπτυχιακούς και μεταπτυχιακούς φοιτητές σε τμήματα που έχουν ως κύριο γνωστικό αντικείμενο τη Φυσική και ελάχιστες έχουν ως στόχο τους μαθητές ή προπτυχιακούς φοιτητές που δεν έχουν τη Φυσική ως το βασικό γνωστικό αντικείμενο των σπουδών τους (Wald, 2005). Χαρακτηριστικό παράδειγμα του προαναφερθέντος ελλείμματος και στη χώρα μας αποτελεί το γεγονός ότι αναζητώντας στο Εθνικό Αρχείο Διδακτορικών Διατριβών (σε γενικό σύνολο 31.615) διατριβές σχετικές με τη Γ.Σ. θα εντοπίσει κανείς λιγότερες από δέκα και καμιά σχετική με την εκπαιδευτική της προσέγγιση.

Μεθοδολογία

Ερευνητικό Ερώτημα

Ποιες είναι οι δυσκολίες και ποιος ο βαθμός κατανόησης των βασικών αρχών της Γενικής Θεωρίας της Σχετικότητας και των συνεπειών τους, όταν αυτές διδάσκονται σε προπτυχιακούς φοιτητές που δεν έχουν τη Φυσική ως το κύριο αντικείμενο των σπουδών τους.

Έρευνα

Από τη Γενική Σχετικότητα επιλέχθηκε να διδαχθούν η Αρχή της Ισοδυναμίας και οι σημαντικότερες συνέπειές της (καμπύλωση της τροχιάς του φωτός και ο ρυθμός ρολογιών εντός βαρυτικών πεδίων), ο τρόπος με τον οποίο η ύλη ή η ενέργεια μεταβάλλει τη γεωμετρία του χωροχρόνου όταν είναι παρούσα και ο τρόπος με τον οποίο κινούνται τα αντικείμενα και το φως εντός του χωροχρόνου. Υπάρχουν δύο κυρίαρχοι τρόποι προσέγγισης για τη διδασκαλία της Γενικής Θεωρίας της Σχετικότητας, ο πρώτος που προτάσσει τα Μαθηματικά και δεύτερος βάζοντας τη Φυσική πρώτη (Hartle, 2006). Στην διδακτική μας πορεία ακλουθήσαμε τη δεύτερη οδό, επιμείναμε στις βασικές αρχές και τη φυσική της Γενικής Σχετικότητας όπως αυτή παρουσιάζεται και από τον ίδιο τον Einstein στο βιβλίο του *Relativity: The Special and the General Theory* (Einstein, 2015). Επιλέχθηκε να μη γίνει χρήση αυστηρού μαθηματικού φορμαλισμού αφού το δείγμα μας δεν ήταν εξοικειωμένο με τα μαθηματικά της Σχετικότητας και η χρονική διάρκεια της παρέμβασης μας δεν θα επέτρεπε κάτι τέτοιο.

Η παραδοσιακή διδασκαλία συνολικά διήρκησε 3 ώρες. Αναλυτικότερα, η καμπύλωση της τροχιάς του φωτός και ρυθμός των ρολογιών εντός πεδίου βαρύτητας είχε διάρκεια 1,5 ώρα και ο τρόπος με τον οποίο η ύλη και η ενέργεια παραμορφώνει το χωροχρόνο καθώς και οι κινήσεις στο χωροχρόνο 1,5 ώρα.

Με βάση τις παραπάνω θεματικές δημιουργήθηκε ένα ερωτηματολόγιο με ερωτήσεις που απαιτούσαν δηλωτική απλά γνώση της θεωρίας (Δώστε τον ορισμό της Αρχής της Ισοδυναμίας και να αναφέρετε όσες συνέπειες της γνωρίζετε.) αλλά ταυτόχρονα περιελάμβανε και ερωτήσεις που για να απαντηθούν σωστά ήταν απαραίτητη η κατανόηση

και η εφαρμογή των αρχών και των συνεπειών της Γενικής Σχετικότητας σε συνθέτες καταστάσεις. Ενδεικτικά παρουσιάζουμε δυο από τις ερωτήσεις μη απλά δηλωτικής γνώσης της θεωρίας:

A. Από έναν Πλανήτη μάζας ίση με της Γης (σημείο A στο σχήμα σας), εκπέμπονται έξι ακτίνες φωτός. Στο σημείο B υπάρχει ένας Πλανήτης αρκετά μεγαλύτερος σε μάζα (πολλαπλάσια της μάζας του Ήλιου).

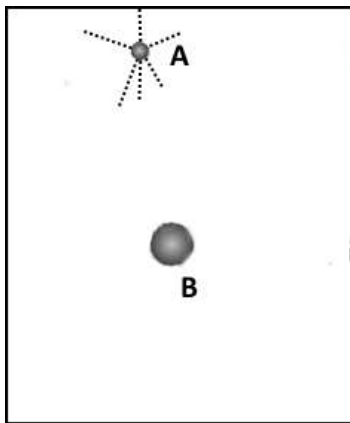
Σχεδιάστε την πορεία των έξι αυτών φωτεινών ακτινών εντός του πλαισίου της **Εικόνας 1** και αιτιολογήστε τον τρόπο που επιλέξατε να σχεδιάσετε την κάθε μια φωτεινή ακτίνα.

B. Υποθέστε ότι στον πλανήτη Άρη μπορεί υπάρχει ένα διαστημικό σκάφος, όπως αυτό της **Εικόνας 2** (μαύρο ορθογώνιο), και εσείς μπορείτε να μεταβάλετε την κινητική του κατάσταση. Ποια κίνηση θα πρέπει να εκτελέσει το σκάφος ώστε οι επιβάτες στο εσωτερικό του να βιώνουν μηδενική βαρύτητα στο σημείο A και στο σημείο B.

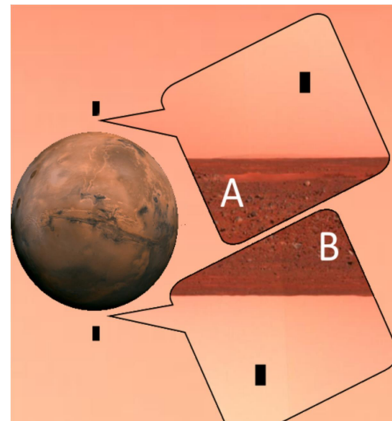
Η επιτάχυνση της βαρύτητας στον Πλανήτη Άρη είναι $g=3,7 \text{ m/s}^2$.

Να αιτιολογήσετε την απάντησή σας σχεδιάζοντας και στο διπλανό σχήμα το αντίστοιχο διάγραμμα.

Εικόνα 10: Ερώτηση A



Εικόνα 10: Ερώτηση B



Το ερωτηματολόγιο καθώς και το υλικό της διδασκαλίας δόθηκαν σε ομάδα επιστημόνων προκειμένου να ελεγχθεί η επιστημονική τους ορθότητα. Την ομάδα των ειδικών αποτέλεσαν δυο Φυσικοί με Μεταπτυχιακό τίτλο και ένας Διδάκτωρ σε αντικείμενα σχετικά με τη Γενική Θεωρία της Σχετικότητας.

Για να μπορέσουμε να καταστήσουμε τις ερωτήσεις του ερωτηματολογίου (στην πρώτη του αυτή αρχική μορφή) σαφέστερες και διερευνητικότερες, δόθηκε για συμπλήρωση σε δυο ομάδες, μια πτυχιούχων Φυσικής και μια μεταπτυχιακών φοιτητών της κατεύθυνσης «Φυσικές Επιστήμες στην Εκπαίδευση» του Παιδαγωγικού Τμήματος Δημοτικής Εκπαίδευσης του Πανεπιστημίου Αθηνών. Τα μέλη και των δυο ομάδων είχαν διδαχθεί τα αντικείμενα που θα διδάσκονταν στους προπτυχιακούς. Οι πτυχιούχοι του Φυσικού Τμήματος από μαθήματα επιλογής για τη λήψη του πτυχίου τους και οι μεταπτυχιακοί φοιτητές στο πλαίσιο των μαθημάτων του μεταπτυχιακού. Έπειτα από συζήτηση με τα άτομα και των δυο ομάδων επιβεβαιώθηκε πως όλα κατείχαν επαρκώς τις βασικές αρχές και τις συνέπειες της Γενικής Θεωρίας της Σχετικότητας ενώ ταυτόχρονα έγινε και υπενθύμισή τους. Έπειτα το ερωτηματολόγιο, στην πρώτη (αρχική) του μορφή, διανεμήθη για συμπλήρωση στα μέλη και των δυο ομάδων.

Από την ανάλυση των απαντήσεων και των δυο ομάδων, ορισμένες ερωτήσεις τροποποιήθηκαν, έγιναν σαφέστερες και τέλος προστέθηκαν ορισμένες ακόμη. Σε αυτή του τη δεύτερη, πλέον μορφή, το ερωτηματολόγιο δόθηκε ξανά στην ομάδα επιστημόνων ώστε να ελεγχθεί ξανά η επιστημονική του ορθότητα. Η δεύτερη (τελική) μορφή του ερωτηματολογίου δόθηκε στους προπτυχιακούς μετά τη διδασκαλία της Γενικής Σχετικότητας. Η **Εικόνα 3** παρουσιάζει σχηματικά την πορεία της διαμόρφωσης του ερωτηματολογίου και του υλικού της διδασκαλίας της έρευνας.

Εικόνα 12: Σχηματική πορεία διαμόρφωσης του ερωτηματολογίου

Εικόνα 11: Σχηματική πορεία διαμόρφωσης του ερωτηματολογίου



Στην προσπάθεια μας να καταστήσουμε την παρούσα έρευνα όσο το δυνατόν διερευνητική των δυσκολιών που αντιμετωπίζουν οι προπτυχιακοί φοιτητές επιλέξαμε πέραν του προαναφερθέντος ερωτηματολογίου να διενεργήσουμε και συνεντεύξεις. Το δείγμα μας αυτή τη φορά ήταν υποσύνολο του δείγματος που συμπλήρωσε το ερωτηματολόγιο (συγκεκριμένα το ένα πέμπτο των φοιτητών). Επιλέχθηκε η διενέργεια κατά μέτωπο ημι-δομημένης συνέντευξης ώστε να λάβουμε πληροφορίες σε βάθος (πώς σκεφτήκαν, τους συλλογισμούς που έκαναν,...) με έναν συνεντευξιαζόμενο κάθε φορά και με τη χρονική διάρκεια της συνεντεύξεως να είναι μια ώρα.

Το δείγμα της έρευνας αποτέλεσαν, όπως έχει αναφερθεί και στην περίληψη 50 προπτυχιακοί φοιτητές του Παιδαγωγικού Τμήματος του Πανεπιστημίου Αθηνών οι οποίοι είχαν παρακολουθήσει μαθήματα που αφορούσαν τη Γενική Θεωρία της Σχετικότητας.

Αποτελέσματα και συζήτηση

Από την ανάλυση των απαντήσεων διαπιστώνουμε πως, ενώ οι φοιτητές απαντούν σωστά σε δηλωτικού τύπου ερωτήσεις, δεν πράττουν το ίδιο σε ερωτήσεις που απαιτείται κατανόηση και εφαρμογή των αρχών και των συνεπειών τους.

Αναγνωρίζουν και εφαρμόζουν σωστά την Αρχή της Ισοδυναμίας σε περιοχές μακριά από βαρυτικά πεδία αλλά δεν συμβαίνει το ίδιο για περιοχές όπου υπάρχει μάζα. Οι φοιτητές απαντούν σωστά σε ερωτήσεις και προβλήματα που είναι απαραίτητο να μεταβληθεί η κινητική κατάσταση ενός συστήματος (εργαστήριο, πύραυλος, δωμάτιο) ώστε οι επιβαίνοντες σε αυτό να βιώνουν βαρύτητα ίση με κάποια ζητούμενη τιμή. Δίνουν τη σωστή επιτάχυνση (αλγεβρική τιμή και κατεύθυνση) που πρέπει να έχει το σύστημα ώστε να συμβεί αυτό, για τις περιπτώσεις που το σύστημα είναι εκτός βαρυτικού πεδίου. Στις περιπτώσεις, που το ίδιο σύστημα, είναι εντός ενός οποιουδήποτε βαρυτικού πεδίου αδυνατούν πολλές φορές να δώσουν τη σωστή τιμή της επιτάχυνσης ώστε οι επιβαίνοντες να βιώνουν τη ζητούμενη βαρύτητα. Θεωρούν ότι μια επιτάχυνση με αντίθετη φορά και ίδιο μετρό με το βαρυτικό πεδίο θα ισοδυναμούσε με απουσία βαρυτικού πεδίου για τον επιβαίνοντα στο σύστημα και μια επιτάχυνση με την ίδια φορά και ίδιο μετρό θα ισοδυναμούσε με διπλάσια τιμή του βαρυτικού πεδίου:

«αν επιταχύνω το κουτί προς τα κάτω στη γη, αυτοί που είναι μέσα θα νιώθουν διπλάσια επιτάχυνση από αυτούς που είναι στην επιφάνεια της. Το κουτί πρέπει να το επιταχύνουμε με επιτάχυνση $9,8 \text{ m/s}^2$ προς τα πάνω για να νοιώσουν στο εσωτερικό μηδενική βαρύτητα».

Το πρόβλημα αυτό καθίσταται εντονότερο όταν οι ερωτήσεις αφορούν την εύρεση της κινητικής κατάστασης που θα πρέπει να έχει το σύστημα σε διάφορες περιοχές ενός πλανήτη, αφού οι φοιτητές απαντούν με βάση την καθημερινή εμπειρία τους σχετικά με την «προς τα πάνω» ή «προς τα κάτω» κατεύθυνση (Velentzas & Halkia, 2013):

«Το κουτί θα πρέπει σε αυτή την περίπτωση να το επιταχύνουμε με αυτή τη φορά αντίθετα με την προηγούμενη γιατί είμαστε στην αποκάτω πλευρά του πλανήτη».

Ορισμένοι ακόμη φοιτητές πιστεύουν ότι η ταχύτητα είναι ισοδύναμη με ένα ομοιόμορφο βαρυτικό πεδίο:

«αφού το εργαστήριο κινείται με σταθερή ταχύτητα 12 m/s ο επιβάτης θα νιώθει βαρύτητα μεγαλύτερη από αυτή στη Γή για αυτόν θα είναι $g=12$ ».

Παρατηρείται μια βαθιά εδραιωμένη πίστη από τους φοιτητές στις αρχές και τους νόμους της Κλασικής Φυσικής που δημιουργεί δυσκολίες στη διδασκαλία της Γενικής Σχετικότητας. Προσπαθούν να ερμηνεύσουν και να απαντήσουν στις περισσότερες των περιπτώσεων με τους νόμους και τις αρχές της Κλασικής Φυσικής εφαρμόζοντας τους και σε περιπτώσεις που αυτοί δεν έχουν ισχύ. Ενώ απαντούν αρχικά σωστά σε προβλήματα ή ερωτήσεις που πρέπει να εφαρμόσουν Σχετικιστικές προβλέψεις αναιρούν την απάντησή τους επικαλούμενοι τις αρχές της Κλασικής Φυσικής. Χαρακτηριστικό παράδειγμα του προλεχθέντος είναι απάντηση και σχήμα **Εικόνα 4** φοιτήτριας στην ερώτηση Α, που ενώ απάντησε αρχικά σωστά αναίρεσε την απάντησή της:

«σωστές είναι οι γραμμές που δεν έχω σβήσει. Το φως δεν είναι δυνατό να μην ακολουθεί ευθύγραμμη διάδοση»

επιβεβαιώνοντας τη δυσκολία που αντιμετωπίζουν στο καμπυλόγραμμο σχήμα της διαδρομής του φωτός (Velentzas & Halkia, 2013).

Η εκτροπή των φωτεινών ακτίνων ερμηνεύεται με την υπόθεση ύπαρξης κάποιου φακού ή κάποιας διάταξης που την προκαλεί και που δεν απεικονίζεται στο σχήμα:

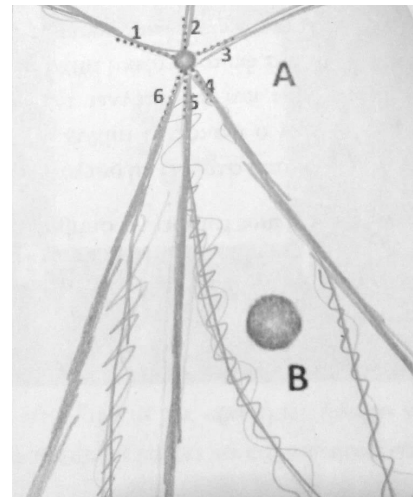
«στο δωμάτιο μπορεί υπάρχει κάποιος φακός που είναι διάφανος και δεν μπορεί να φανεί στην εικόνα και προκαλεί την κάμψη της δέσμης»

ή ως αποτέλεσμα της μάζας των φωτονίων (Bandyopadhyay & Kumar, 2010) και μόνοκάνοντας χρήση της Ισοδυναμίας Ενέργειας Μάζας $E=mc^2$, αγνοώντας οι περισσότεροι τη μεταβολή στο ρυθμό ροής του χρόνου.

Υπάρχει σαφής σύγχυση μεταξύ Γενικής και Ειδικής Σχετικότητας και ιδιαίτερα στο ρυθμό των ρολογιών εντός πεδίου βαρύτητας: σε ερωτήσεις που απαιτείται ο ερωτώμενος να συνδυάσει τη βαρυτική διαστολή του χρόνου και τη διαστολή του χρόνου λόγω τη μεγάλης ταχύτητας και οι απαντήσεις που δίνονται είναι σε πολύ μεγάλο ποσοστό λανθασμένες ή ελλιπείς:

«ο δορυφόρος αν έχει ταχύτητα σε αυτό το ύψος θα ισχύει η διαστολή του χρόνου που μάθαμε στην Ειδική Σχετικότητα, θα ήταν δυνατό να ισχύουν και η δυο επιπτώσεις ταυτόχρονα.»

Εικόνα 13: Απάντηση και σχήμα φοιτήτριας στην ερώτηση Α



οι φοιτητές φαίνεται εδώ να κάνουν άκριτη χρήση της πρότερης γνώσης της ειδικής σχετικότητας (Bandyopadhyay & Kumar, 2010).

Οι φοιτητές, ακόμη, αντιμετωπίζουν με σχετική ευκολία προβλήματα που έχουν να κάνουν με την στρέβλωση του χωροχρόνου (εύρεση τροχιών, μορφή που θα είχε η αναπαράσταση του χωροχρόνου, ισοδύναμες καταστάσεις και αναπαραστάσεις τους) μόνο όταν οι αναπαραστάσεις που υπάρχουν σε αυτά είναι σχεδόν πανομοιότυπες με αυτές που παρουσιάστηκαν στην προηγούμενη διδασκαλία. Σε αντίθετες περιπτώσεις δεν μπορούν να απαντήσουν σωστά και αρκετές φορές η απάντησή τους στο ίδιο ερώτημα είναι αλληλοαναιρούμενη. Το αποτέλεσμα αυτό δεν μας εκπλήσσει αφού και μαθητές που παρακολούθησαν βίντεο, διαλέξεις, και συμμετείχαν σε hands-on δραστηριότητες σε παρόμοιες, αλλά ποιο βατές θεματικές και έννοιες, εξακολούθησαν να έχουν αρκετές παρανοήσεις (Watkins, 2014).

Συγκεκριμένα τις απαντήσεις των φοιτητών από όλες τις θεματικές φαίνεται ότι μπορούν και απαντούν ή επιλύουν προβλήματα με ορθό τρόπο ποιο εύκολα όταν αυτά δεν αφορούν σύνθετες καταστάσεις.

Συμπεράσματα και προτάσεις

Από τα έως τώρα αποτελέσματα τις έρευνας εντοπίσαμε μερικές από τις δυσκολίες που συναντούν οι φοιτητές όταν διδάσκονται τις βασικές αρχές της Γενικής Θεωρίας της Σχετικότητας και ορισμένες συνέπειες τους. Αν και όπως έχει επισημανθεί προθύτερα η βιβλιογραφία είναι σχετικά περιορισμένη αρκετές από τις δυσκολίες που εντοπίσαμε έχουν επισημανθεί και από άλλους ερευνητές, ταυτόχρονα εντοπίσαμε και ορισμένες που δεν μπορούσαμε να βρούμε σχετικές αναφορές στη βιβλιογραφία.

Η διενέργεια των συνεντεύξεων ανέδειξε ότι μέρος των δυσκολιών των φοιτητών εδράζονται και στην ελλιπή κατανόηση των αρχών και νόμων της Φυσικής που έχουν διδαχτεί ήδη από τα γυμνασιακά τους χρόνια, εμποδίζοντας τους να δίνουν ορθές απαντήσεις και να κάνουν επιστημονικά ορθές υποθέσεις σε θεματικές της Γενικής Σχετικότητας. Ακόμη η περιορισμένη εμπειρία, λόγω της ζωής μας, στην επιφάνεια της γης μας δυσκολεύει να αντιληφθούμε φαινόμενα που σχετίζονται με τη Σχετικότητα. Ως εκ τούτου, αυτά καθίστανται αφηρημένα και πρέπει να τα οπτικοποιήσουμε στο μυαλό μας (Pittsetal., 2014). Η διαδικασία αυτή για πολλούς ανθρώπους είναι πάρα πολύ δύσκολη και για αυτό χρειάζονται μοντέλα, κινούμενες εικόνες προσομοιώσεις, παιχνίδια ρόλων ή άλλα εργαλεία αναλογιών και που θα τους επιτρέψουν να σκεφτούν τις αφηρημένες αυτές έννοιες με πιο συγκεκριμένους ή βιωματικούς τρόπους (Aubussonetal., 2006).

Προτείνουμε τη δημιουργία, την εφαρμογή και την αξιολόγηση μιας εκπαιδευτικής προσέγγισης των προαναφερθεισών αρχών και συνεπειών με την χρήση ενός μαθησιακού περιβάλλοντος το οποίο θα ενσωματώνει πλήρως διαδραστικές και παραμετροποιημένες προσομοιώσεις και οπτικοποιήσεις του τρισδιάστατου χωροχρόνου και των κινήσεων εντός αυτού και που θα λαμβάνει υπόψη του τις δυσκολίες που αντιμετωπίζουν οι φοιτητές. Σημαντική θεωρείται επίσης και η αξιοποίηση νοητικών πειραμάτων καθώς μπορούν να βοηθήσουν τους διδασκόμενους να φτάσουν νοητικά σε καταστάσεις που υπερβαίνουν σημαντικά τις καθημερινές τους εμπειρίες (Velentzas & Halkia, 2013). Η χρήση ήδη υπάρχοντων λογισμικών ενδέχεται να μην αρκεί για το σκοπό αυτό, αφού οι οπτικοποιήσεις και προσομοιώσεις που έως τώρα έχουν δημιουργηθεί, είναι συνήθως αποσπασματικές, αφορούν τις περισσότερες φορές εξειδικευμένες υποπεριπτώσεις της θεωρίας και απευθύνονται σε κοινό που είναι αρκετά εξοικειωμένο με τον αυστηρό μαθηματικό formalισμό της Σχετικότητας. Το γεγονός αυτό δεν αποτελεί εμπόδιο, αφού έχουν πλέον ωριμάσει οι τεχνολογίες και το υλικό δημιουργίας γραφικών σε τρεις διαστάσεις,

επιτρέποντας τη δημιουργία εκπαιδευτικού λογισμικού κατάλληλου για την προσομοίωση/οπτικοποίηση φαινομένων των Φυσικών Επιστημών (Τσάκωνας & Καλκάνης, 2013).

Τέλος, λαμβάνοντας υπόψη τις προκύπτουσες από τη διεξαχθείσα έρευνα δυσκολίες των φοιτητών αλλά και αυτές των έως τώρα δημοσιευμένων ερευνών, θα μπορούσαν να προταθούν ορισμένες αλλαγές ή τροποποιήσεις στην διδασκαλία της Φυσικής, τέτοιες που να τους βοηθήσουν να τις υπερβούν. Οι τροποποιήσεις αυτές μπορούν κάλλιστα να αναφέρονται στην υλη που ήδη διδάσκονται και δεν αφορά τη Σχετικότητα (Κλασική Μηχανική, Ηλεκτρομαγνητισμός) και να εξυπηρετούν ένα διπλό σκοπό, να λειτουργούν ως διαδικασία και γνώση που θα τους βοηθά στην μετέπειτα εισαγωγή της Σχετικότητας (αν αυτή ενσωματωθεί στο αναλυτικό τους πρόγραμμα) και να καθιστούν τη γνώση της Φυσικής που διδάσκονται λιγότερο αποσπασματική, τονίζοντας και αναδεικνύοντας τον ενοποιητικό χαρακτήρα της (αρχή ισοδυναμίας, αρχή ακροτάτων στη φύση).

Βιβλιογραφία

Τσάκωνας, Π., & Καλκάνης, Γ. (2013). Η τρίτη Διάσταση σε 3D Προσομοιώσεις / Οπτικοποιήσεις Πραγματικού Χρόνου για την (διαδικτυακή και επιτόπια) Εκπαίδευση - Προτάσεις και Εφαρμογές. ΕΝΕΦΕΤ (Ed.), *8ο Πανελλήνιο Συνέδριο Διδακτικής Φυσικών Επιστημών και Νέων Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση* (pp. 113-120). Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, Ελλάδα: ΕΝΕΦΕΤ & Παιδαγωγικό Τμήμα Ειδικής Αγωγής Θεσσαλίας

Einstein, A. (2015). *Relativity: The special and the general theory*. Princeton University Press.

Aubusson, P. J., Harrison, A. G., & Ritchie, S. M. (2006). *Metaphor and analogy in science education*. Springer, Netherlands.

Bandyopadhyay, A., Kumar, A., (2010). Probing students' understanding of some conceptual themes in general relativity. *Physical Review Special Topics-Physics Education Research*, 6(2), 020104

Hartle, J. (2006). General relativity in the undergraduate physics curriculum. *American Journal of Physics*, 74 (1)

Pitts, M., Venville, G., Blair, D., Zadnik, Z. (2014). An Exploratory Study to Investigate the Impact of an Enrichment Program on Aspects of Einsteinian Physics on Year 6 Students. *Research in Science Education*, 44 (3), 363-388

Rindler, W. (1994). General relativity before special relativity: An unconventional overview of relativity theory. *American Journal of Physics*, 62 (10), 887-893

Velentzas, A., Halkia, K. (2013). The Use of Thought Experiments in Teaching Physics to Upper Secondary-Level Students: Two examples from the theory of relativity. *International Journal of Science Education*, 35 (18), 3026-3049

Wald, R. (2005). Teaching General Relativity. *American Journal of Physics*. Retrieved from <http://arxiv.org/pdf/gr-qc/0511073v1.pdf>

Watkins, T.R. (2014). *Gravity & Einstein: Assessing the Rubber Sheet Analogy in Undergraduate Conceptual Physics* (MSc Thesis of Science in S.T.E.M. Education, Boise State University). Retrieved from <http://scholarworks.boisestate.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1889&context=td>