

Εκπαιδευτική εφαρμογή και αξιολόγηση πρωτοτύπων πειραματισμών και προσομοιώσεων για την διδασκαλία της Αρχής της Ισοδυναμίας

Περίληψη

Η εργασία αυτή παρουσιάζει και αξιολογεί μια εκπαιδευτική πρόταση για τη διδασκαλία της Αρχής της Ισοδυναμίας. Για το σκοπό αυτό έχει δημιουργηθεί ένα ψηφιακό φύλλο εργασίας, το οποίο ενσωματώνει κατάλληλα στα βήματα της επιστημονικής – εκπαιδευτικής μεθοδολογίας με διερεύνηση, εικόνες, βίντεο, πειραματισμούς, και προσομοιώσεις. Ειδικότερα στο βήμα του πειραματισμού έχουν ενταχθεί πρωτότυποι πειραματισμοί και προσομοιώσεις με σκοπό την άρση των δυσκολιών (όπως αυτές αποτυπώνονται από σχετικές έρευνες) που αντιμετωπίζουν οι εκπαιδευόμενοι. Η εφαρμογή της πρότασης πραγματοποιήθηκε σε προπτυχιακούς φοιτητές χωρίς βασικό αντικείμενο σπουδών τη φυσική και τα αποτελέσματα της εκπαιδευτικής αξιολόγησης που ακολούθησε παρουσιάζουν στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των ομάδων πειραματισμού και ελέγχου, εύρημα που καταδεικνύει τη βελτίωση του επιπέδου κατανόησης της Αρχής της Ισοδυναμίας.

Abstract

This paper presents and evaluates an educational proposal for teaching the Equivalence Principle. For this cause, there has been created a worksheet, which incorporates suitably, to the steps of scientific - educational method, pictures, videos, experimentation and simulations. Specifically, in the step of experimentation, there have been integrated original experimentation and simulations, aiming to obviate the difficulties (as they are recorded from relevant studies) of trainees. The proposal was implemented on undergraduate students, whose major subject is not Physics and the results of educational evaluation that followed show a statistically significant difference between the experimental and control groups, a finding that demonstrates improving the level of understanding of the Principle of Equivalence.

1. Εισαγωγή

Αναγκαιότητα

Η Αρχή της Ισοδυναμίας ήταν σημαντικής σημασίας τόσο για την ανάπτυξη της Γενικής Σχετικότητας από τον ίδιο τον Albert Einstein όσο και στη διδασκαλία της. Η παρατήρηση του γεγονότος ότι δεν μπορεί να υπάρξει διάκριση μεταξύ ενός επιταχυνόμενου συστήματος και ενός ομογενούς βαρυτικού πεδίου θεωρήθηκε από τον Einstein ως η ευτυχέστερη σκέψη της ζωής του (Pais 1982). Η Αρχή της Ισοδυναμίας υπάρχει σε όλα τα συγκράματα που πραγματεύονται τη Γενική Σχετικότητα (Casola, Liberati & Sonogo 2015) ως εισαγωγικό κεφάλαιο για να καταδειχθεί ότι η ελεύθερη πτώση και η αδρανειακή κίνηση είναι φυσικά ισοδύναμες. Ακόμη είναι ο τρόπος για να εξηγήσουν και να ερμηνεύσουν την καμπύλωση της τροχιάς του φωτός, το ρυθμό ροής του χρόνου σε περιοχές βαρυτικών πεδίων και την ερυθρά βαρυτική μετατόπιση.

Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

Ερευνητές που προσπαθούν να προάγουν την κατανόηση της σύνδεσης μεταξύ Ειδικής και Γενικής Θεωρίας της Σχετικότητας (Drake 2006) ή να εισάγουν τη Γενική Σχετικότητα, τόσο

στη δευτεροβάθμια όσο και στην τριτοβάθμια εκπαίδευση, προτείνουν πως η αρχή της ισοδυναμίας, οι συνέπειες της και το νοητικό πείραμα του ανελκυστήρα (που δεν απαιτούν δύσκολο μαθηματικό φορμαλισμό) είναι αρκετά να δώσουν στους μαθητές τη φυσική και πολιτισμική αξία της Σχετικότητας (Levini 2001). Θεωρούν δε ότι η εξαγωγή συμπερασμάτων από την αρχή της ισοδυναμίας (η εκτροπή του φωτός και η βαρυτική διαστολή του χρόνου) απαιτεί απαραίτητα την εισαγωγή νοητικών πειραμάτων (Zahn & Kraus 2014). Δυστυχώς η θεματική αυτή δεν είναι απαλλαγμένη δυσκολιών κατανόησης. Οι εκπαιδευόμενοι δεν μπορούν να εφαρμόσουν σωστά την αρχή της ισοδυναμίας (Bandyopadhyay & Kumar 2010), ιδιαίτερα σε περιοχές όπου υπάρχει βαρυτικό πεδίο (Gousopoulos et al. 2015), αφού απαντούν με βάση την καθημερινή εμπειρία ή την ιδέα ότι ένα σώμα σε ένα δωμάτιο εκτός από οποιοδήποτε πεδίο βαρύτητας «αιωρείται», ανεξάρτητα από την κίνηση του δωματίου (Velentzas & Halkia 2013).

2. Μεθοδολογία

Ερευνητικό Ερώτημα

Η χρήση πρωτότυπου αποδεικτικού πειραματισμού με απλά μέσα και ο ταυτόχρονος πειραματισμός με διαδραστικές προσομοιώσεις, οι οποίες ενσωματώνουν ελέγχους μεταβλητών, οι οποίες βάση ερευνών, δυσκολεύουν τους εκπαιδευόμενους σε σχέση με την αρχή της ισοδυναμίας, προάγει θετικά μαθησιακά αποτελέσματα, υψηλότερα των έως τώρα τρόπων διδασκαλίας;

Στόχοι

Στόχοι της παρουσιαζόμενης εκπαιδευτικής πρότασης και παρέμβασης μας είναι:

- η δημιουργία πραγματικού πειραματισμού με απλά υλικά, σε μια θεματική της φυσικής η οποία έως τώρα θεραπεύετο μόνο με τη χρήση προσομοιώσεων και νοητικών πειραμάτων,
- η δημιουργία ψηφιακών προσομοιώσεων με στόχο την άρση των δυσκολιών των εκπαιδευόμενων και ταυτόχρονα τεχνικά ικανών να εκτελούνται σε όλες της σύγχρονες συσκευές,
- η σύνθεση μια εκπαιδευτικής ακολουθίας - φύλου εργασίας με αξιοποίηση ψηφιακών εκπαιδευτικών εργαλείων (βίντεο, εικόνων, ήχων, κειμένων με δυνατότητα ταυτόχρονης εξεργασίας, υπερσυνδέσεων, ηλεκτρονικών αξιολογικών εργαλείων),
- η διεξαγωγή και η αξιολόγηση μιας εκπαιδευτικής παρέμβασης βασισμένης στους προτεινόμενους πειραματισμούς.

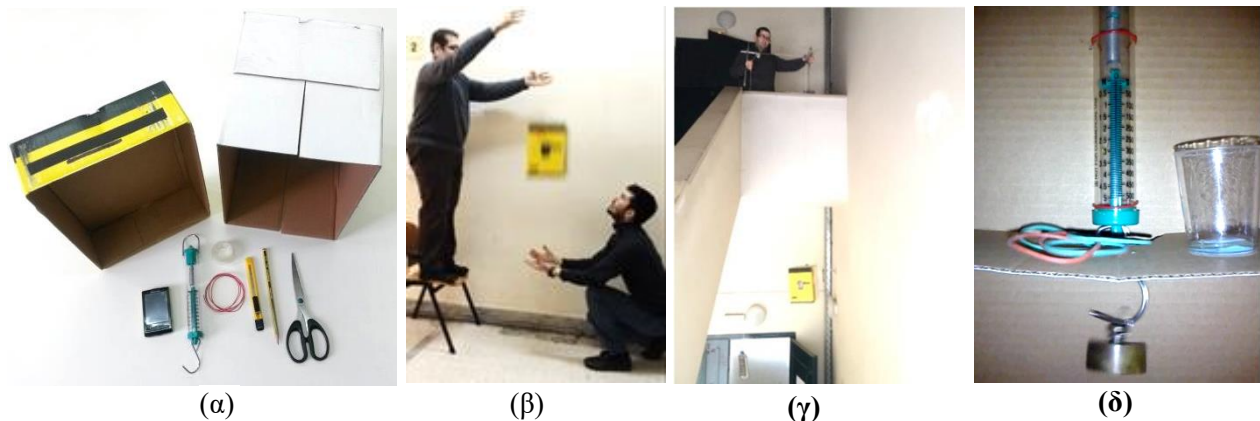
Έρευνα

Με τη χρήση ενός απλού χάρτινου κουτιού δημιουργήσαμε έναν αυτοσχέδιο ανελκυστήρα (Εικόνα 1) ο οποίος εκτελώντας ελεύθερη πτώση ή κινούμενος με σταθερές επιταχύνσεις με τη βοήθεια ενός απλού συστήματος τροχαλιών φανερώνει στους φοιτητές αρκετά αποτελέσματα, σχετικά με την αρχή της ισοδυναμίας, μέσω της καταγραφής του εσωτερικού του από μια κάμερα (διαφορετικές ενδείξεις μια ζυγαριάς ελατηρίου, αλλαγή ροής φλέβας ύδατος από παράπλευρη επιφάνεια δοχείου).

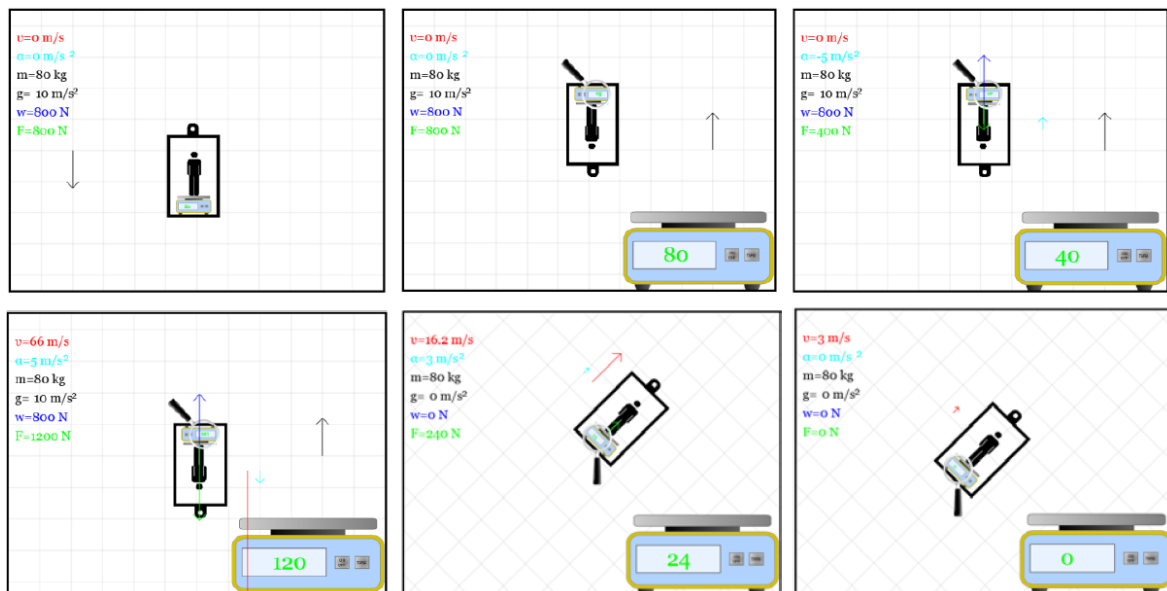
Οι περιορισμοί αυτής της διάταξης είναι η μη δυνατότητα λήψης μετρήσεων για διαφορετικούς προσανατολισμούς κίνησης και η αδυναμία πειραματισμών σε χώρους μακριά από βαρυτικά πεδία. Το εμπόδιο αυτό το άρουμε με τη χρήση προσομοίωσης (Εικόνα 2) που παρέχει δυνατότητες πειραματισμού σε τέτοιου είδους συνθήκες και ταυτόχρονα έλεγχο

μεταβλητών (κίνηση ανελκυστήρα με σταθερή ταχύτητα, πλήρη έλεγχο της θέσης και του προσανατολισμού του) για υπερκέραση μαθησιακών δυσκολιών των φοιτητών (Καπότσης & Καλκάνης 2015). Ο παραπάνω συνδυασμός είναι χαρακτηριστικός της βέλτιστης ένταξης και χρήσης προσομοιώσεων στην εκπαιδευτική διαδικασία που, επιτυγχάνετε με την επιπρόσθετη και συμπληρωματική χρήση τους και όχι ως μοναδικού πυλώνα (Guy & Lownes-Jackson 2015).

Εικόνα 1. Αυτοσχέδιος ανελκυστήρας για πειραματισμούς σχετικούς με την αρχή της ισοδυναμίας. Τα υλικά για την κατασκευή της πειραματικής συσκευής (α), ο ανελκυστήρας σε ελεύθερη πτώση (β), επιταχυνόμενος προς τα πάνω (γ) και η ένδειξη της ζυγαριάς τη στιγμή της ελεύθερης πτώσεως καταγράφει 0 N και 0g (δ).



Εικόνα 2. Ενδεικτικά στιγμιότυπα της προσομοίωσης με τον ανελκυστήρας να εκτελεί διαφορετικά είδη κινήσεων (κινήσεις με διαφορετική επιτάχυνση και κατεύθυνση) και ταυτόχρονα να μετρούνται τιμές δυνάμεων, βάρους, μάζας, επιταχύνσεων και διανυσμάτων φυσικών μεγεθών.



Αρχικά για τον έλεγχο της επιστημονικής εγκυρότητά του υλικού (εκπαιδευτικού και αξιολογικού) και όλης της εκπαιδευτικής προσέγγισης κλήθηκε μια ομάδα επιστημόνων, κατόπιν διενεργήσαμε διαμορφωτική - πιλοτική έρευνα σε 10 φοιτητές/τριες του Παιδαγωγικού Τμήματος του Πανεπιστημίου Αθηνών. Τελικά συντέθηκε το ψηφιακό φύλλο

εργασίας στην τελική του μορφή, με ενσωματωμένο το υλικό και λογισμικό στα στάδια της εκπαιδευτικής / επιστημονικής μεθοδολογίας με διερεύνηση (Καλκάνης κ.α., 2013). Πραγματοποιήθηκε έλεγχος του επιπέδου των σχετικών με την αρχή της ισοδυναμίας γνώσεων που φανέρωσε το ισοδύναμο των δυο ομάδων και εν τέλει προχωρήσαμε στην παρέμβαση. Προπτυχιακοί φοιτητές του Παιδαγωγικού Τμήματος του Πανεπιστημίου Αθηνών αποτέλεσαν το δείγμα της κύριας έρευνας. Το σύνολο των φοιτητών (N=60) χωρίστηκε σε δυο ισάριθμες ομάδες, την Ομάδα Πειραματισμού (εφαρμόστηκε η εκπαιδευτική μας πρόταση) και την Ομάδα Ελέγχου (εφαρμόστηκε παραδοσιακή διδασκαλία). Ως εργαλείο αποτύπωσης των γνώσεων και του επιπέδου κατανόησης επιλέξαμε και συνθέσαμε ερωτηματολόγιο αποτελούμενο από ερωτήσεις ανοικτού τύπου.

3. Αποτελέσματα

Η στατιστική επεξεργασία των απαντήσεων που έδωσαν οι φοιτητές στα αξιολογικά ερωτηματολόγια, τα οποία διανεμήθηκαν προ και κατόπιν των παρεμβάσεων, μας πληροφορεί ότι οι δυο ομάδες ήταν ισοδύναμες πριν τη διδακτική μας παρέμβαση (καμία στατιστικά σημαντική διαφορά στα pre-tests) και πως μετά τη διδακτική παρέμβαση η ομάδα πειραματισμού βελτίωσε το επίπεδο κατανόησης όσον αφορά την Αρχή της Ισοδυναμίας (ύπαρξη στατιστικά σημαντικής διαφοράς στα αποτελέσματα των post - test, με υψηλότερη βαθμολογία να λαμβάνει η ομάδα πειραματισμού).

4. Συμπεράσματα

Συνεκτιμώντας την πορεία υλοποίησης και εκπαιδευτικής χρήσης ενός πραγματικού πειραματισμού με απλά υλικά και μέσα από τους φοιτητές, τη δημιουργία προσομοίωσης και σύνθεσης ενός ολοκληρωμένου τρόπου εκπαιδευτικής προσέγγισης της αρχής της ισοδυναμίας, τη συγκριτική αξιολόγηση της πρότασης μας σε σχέση με τις έως τώρα προτεινόμενες και ακολουθούμενες από τους εκπαιδευτικούς, κρίνουμε ότι η μικρή αυτή έρευνα κατορθώνει να απαντά το ερευνητικό ερώτημα που έθεσε και να επιτυγχάνει τους στόχους της.

5. Βιβλιογραφία

Καλκάνης, Γ., Γκικοπούλου, Ο. Καπότης, Ε., Γουσόπουλος, Δ., Πατρινόπουλος, Μ., Τσάκωνας, Π., Δημητριάδης, Π., Παπασιμίπα, Α., Μιτζήθρας, Κ., Καπόγιαννης, Α., Σωτηρόπουλος, Δ., Πολίτης Σ. (2013). Η Φυσική με Πειράματα Α' Γυμνασίου Βιβλίο Μαθητή. Υπουργείο Παιδείας, Ινστιτούτο Εκπαιδευτικής Πολιτικής, ΙΤΥΕ Διόφαντος, ISBN 978-960-06-4416-6, Αθήνα 2013

Καπότης, Ε., Καλκάνης, Γ. (2015). Οι δυσκολίες και ο βαθμός κατανόησης των βασικών αρχών της Γενικής Θεωρίας της Σχετικότητας και των συνεπειών τους από φοιτητές του Παιδαγωγικού Τμήματος. *Πρακτικά 9^{ου} Πανελληνίου Συνεδρίου ΕΝΕΦΕΤ Διδακτικής Φυσικών Επιστημών και Νέων Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση – Διδασκαλία και Μάθηση στις Φυσικές Επιστήμες και την Τεχνολογία: Έρευνες, Καινοτομίες και Πρακτικές* (σελ. 604-610), Επιμέλεια Έκδοσης: Ψύλλος Δημ., Μολοχίδης Αν. & Καλλέρη Μ., <http://synedrioenephet-2015.web.auth.gr/>

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.

Di Casola, E., Liberati, S., & Sonogo, S. (2015). Nonequivalence of equivalence principles. *American Journal of Physics*, 83(1), 39-46.

Drake, S. P. (2006). The equivalence principle as a stepping stone from special to general relativity: A Socratic dialog. *American journal of physics*, 74(1), 22-25.

Gousopoulos D. , Kapotis E. & Kalkanis G. (2015). Students' difficulties in understanding the basic principles of Relativity after standard instruction. In J. Lavonen, K. Juuti, J. Lampiselkä, A. Uitto & K. Hahl (Eds.), *Electronic Proceedings of the ESERA 2015 Conference. Science education research: Engaging learners for a sustainable future, Part 1*(co-ed. [O. Finlayson & R. Pinto]) (pp. [169 – 175]). Helsinki, Finland: University of Helsinki. ISBN 978-951-51-1541-6. (Available on-line at http://www.esera.org/media/eBook%202015/eBook_Part_1_links.pdf).

Guy, R., & Lownes-Jackson, M. (2015). The use of computer simulation to compare student performance in traditional versus distance learning environments. *Issues in Informing Science & Information Technology*, 12, 95-110.

Levrini, O. (2001). Reconstructing the basic concepts of general relativity from an educational and cultural point of view. In *Science Education and Culture* (pp. 311-326). Springer Netherlands.

Pais, A. (1982). *Subtle is the Lord: The science and the life of Albert Einstein*. Oxford University Press.

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.

Zahn, C., & Kraus, U. (2010). Workshops zur Allgemeinen Relativitätstheorie im Schülerlabor Raumzeitwerkstatt an der Universität Hildesheim. *Tagungsbeitrag zur Frühjahrstagung Didaktik der Physik, Hannover*.