ePublishing
ΕΘΝΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗΣ
NATIONAL DOCUMENTATION CENTRE

Πανελλήνιο Συνέδριο της Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών και Νέων Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση

Τόμ. 13 (2024)

13ο Πανελλήνιο Συνέδριο Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών και Νέων Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση: ΠΡΑΚΤΙΚΑ

Εισάγοντας την έννοια της βαρύτητας κατά τον Einstein στην πρωτοβάθμια εκπαίδευση: Σύγκριση επιδόσεων ανάλογα με το φύλο των μαθητών

Γεωργία Βακάρου, Κωνσταντίνος Θ. Κώτσης

doi: 10.12681/codiste.6813

https://epublishing.ekt.gr | **e-Εκδότης:** ΕΚΤ | **Πρόσβαση:** 17/12/2025 00:02:54

ΕΙΣΑΓΟΝΤΑΣ ΤΗΝ ΕΝΝΟΙΑ ΤΗΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΚΑΤΑ ΤΟΝ EINSTEIN ΣΤΗΝ ΠΡΩΤΟΒΑΘΜΙΑ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ: ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΕΠΙΔΟΣΕΩΝ ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΟ ΦΥΛΟ ΤΩΝ ΜΑΘΗΤΩΝ

Γεωργία Βακάρου[1], Κωνσταντίνος Θ. Κώτσης[2]

[1]Φυσικός, [2]Καθηγητής ΠΤΔΕ Παν. Ιωαννίνων

vakaroug@yahoo.com

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η πιο πρόσφατη θεωρία που περιγράφει την έννοια της βαρύτητας είναι η Γενική Θεωρία της Σχετικότητας που διατυπώθηκε από τον Albert Einstein. Η διδασκαλία αυτής της θεωρίας αγνοείται από τη σχολική πραγματικότητα. Η παρούσα έρευνα εξετάζει, μέσω ενός γραπτού ερωτηματολογίου, τις επιδόσεις 83 μαθητών/τριων της ΣΤ τάξης του Δημοτικού, πριν και μετά από μία διδακτική παρέμβαση που αφορά στην έννοια της βαρύτητας όπως αυτή διατυπώνεται στη Σύγχρονη Φυσική. Επιπλέον, γίνεται ανάλυση των αποτελεσμάτων ανάλογα με το φύλο των μαθητών. Τα αποτελέσματα υποδεικνύουν εννοιολογική κατανόηση και μη στατιστικά σημαντική διαφορά ανάλογα με το φύλο των μαθητών.

Λέξεις κλειδιά: Βαρύτητα κατά τον Einstein, Δημοτικό, Φύλο μαθητών

TEACHING EINSTEINIAN GRAVITY IN PRIMARY EDUCATION: A GENDER – BASED ANALYSIS REGARDING STUDENTS SCORES

Georgia Vakarou[1], Konstantinos Kotsis[2]

[1] Physicist, [2]Professor University of Ioannina

vakaroug@yahoo.com

ABSTRACT

The most recent theory describing the concept of gravity is the General Theory of Relativity formulated by Albert Einstein. The teaching of this theory is ignored by school reality. This research examines, through a written questionnaire, the performance of 83 students of the sixth grade of Primary School, before and after a teaching intervention concerning the concept of gravity as it is formulated in modern physics. In addition, the results are analyzed according to students' gender. The results indicate conceptual understanding and a non-statistically significant difference depending on the students' gender.

Keywords: Einsteinian Gravity, Primary education, Gender of students

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η διατύπωση της Θεωρίας της Σχετικότητας από τον Albert Einstein αποτελεί πυλώνα για την εξέλιξη της επιστήμης της Φυσικής αλλά και για την τεχνολογική πρόοδο η οποία έχει αλλάξει ριζικά τη ζωή του σύγχρονου ανθρώπου. Ως εκ τούτου, η διδασκαλία αυτής της νέας θεωρίας καθίσταται απαραίτητη, λαμβάνοντας υπόψιν τον γενικότερο σκοπό της διδασκαλίας των φυσικών επιστημών που είναι ο επιστημονικός γραμματισμός των σύγχρονων πολιτών (Foppoli et al., 2019). Πλήθος ερευνητών της διδασκαλίας των Φυσικών Επιστημών αλλά και Φυσικοί έχουν προσπαθήσει να ελέγξουν αν οι θεωρίες του Einstein μπορούν να εισαχθούν σε νέους μαθητές/τριες, χωρίς το απαραίτητο μαθηματικό υπόβαθρο (Dua et al., 2020). Μάλιστα, μέχρι στιγμής δεν υπάρχει σαφής τρόπος επιλογής μιας μεθόδου διδασκαλίας της Σύγχρονης Φυσικής, εξαιτίας του ότι ελάχιστες ερευνητικές προτάσεις έχουν ελεγχθεί πειραματικά (Greca & Freire, 2014· Kaur et al., 2017).

Γενικότερα, όμως, η *βαρύτητα* είναι μια έννοια της οποίας η κατανόηση δυσκολεύει ιδιαίτερα τους νέους μαθητές/τριες, ενώ, ταυτόχρονα, συνοδεύεται από πληθώρα εναλλακτικών ιδεών. Οι ιδέες αυτές αναγεννώνται είτε από τον τρόπο με τον οποίο τα παιδιά έχουν διδαχθεί κάποιες θεωρίες, είτε από την προσωπική καθημερινή εμπειρία τους. Η επιμονή στη διδασκαλία της Νευτώνειας Μηχανικής δεν βοηθάει τα παιδιά να γνωρίσουν τις νεότερες εξελίξεις στη Φυσική. Αναφορικά με τη βαρύτητα, ορισμένες από τις εναλλακτικές ιδέες που συναντώνται είναι ότι «Η βαρύτητα χρειάζεται αέρα για να υπάρχει», «Η βαρύτητα προκαλείται μόνο σε βαριά αντικείμενα», «Ο αέρας είναι αβαρής», «Η βαρύτητα ταυτίζεται με την έννοια της μάζας», «Η βαρύτητα επιδρά στα σώματα μόνο όταν πέφτουν προς τα κάτω και όχι όταν κινούνται προς τα πάνω», «Τα βαρύτερα σώματα πέφτουν πιο γρήγορα», «Στο κενό, άρα και στο διάστημα, δεν υπάρχει βαρύτητα» κ.α. (Κασσέτας, 2004· Baldy, 2007· Gönen, 2008· Kavanagh & Sneider, 2006· Nik Daud et. al., 2015· Pablico, 2010· Syuhendri, 2019· Williamson & Willoughby, 2012).

Ο Baldy (2007) υποστηρίζει ότι οι θεωρίες που διδάσκονται οι μαθητές/τριες στο σχολικό περιβάλλον, θα πρέπει να εξαλείψουν τις εναλλακτικές ιδέες τους, με την Νευτώνεια Μηχανική να αποδεικνύεται ανίσχυρη απέναντι σε αυτή την τοποθέτηση. Για παράδειγμα, ο ίδιος συγγραφέας αναφέρει ότι όσον αφορά τη βαρύτητα, θετικό θα ήταν να μην υπάρχει διαχωρισμός των διαφόρων φαινομένων όταν αυτά συμβαίνουν στη Γη ή σε κάποιο διαφορετικό μέρος του Σύμπαντος, δηλαδή η βαρύτητα να διδάσκεται ως φαινόμενο που εμφανίζεται σε όλο το Σύμπαν.

Επιπλέον, η ισότητα των φύλων στη διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών απασχολεί την εκπαιδευτική κοινότητα επί χρόνια. Η κοινή άποψη είναι ότι τα κορίτσια δεν επιθυμούν την ενασχόληση με τις Φυσικές Επιστήμες και παρουσιάζουν χαμηλότερες επιδόσεις στα ανάλογα μαθήματα. Τα τελευταία χρόνια, έρευνες έχουν αποδείξει ότι και τα δύο φύλα επιτυγχάνουν εξίσου στις Φυσικές Επιστήμες, με το πρόβλημα του διαχωρισμού να συναντάται στις στάσεις απέναντι σε αυτές. Με άλλα λόγια, τα κορίτσια δεν δηλώνουν τόσο θετικές στην ενασχόληση με την Επιστήμη σε σύγκριση με τα αγόρια (Kaur et al., 2020).

Στα πλαίσια μιας διεθνούς προσπάθειας βελτιστοποίησης και εκσυγχρονισμού των προγραμμάτων σπουδών των σχολείων αλλά και καλλιέργειας εγγενούς ενδιαφέροντος προς τις φυσικές επιστήμες κυρίως από το γυναικείο φύλο, προτείνεται η διδασκαλία της Θεωρίας της Σχετικότητας. Ειδικότερα, νέες έρευνες υποστηρίζουν ότι τα παιδιά μπορούν εύκολα να κατανοήσουν τις θεωρίες του Einstein, ενώ πολλές φορές τα αποτελέσματα βελτιώνονται εφόσον οι ιδέες αυτές εισαχθούν πριν τη διδασκαλία των νόμων του Νεύτωνα (Choudhary et al., 2018· Choudhary et al., 2020· Kaur et al., 2020). Προφανώς, από τη διδασκαλία της Θεωρίας της Σχετικότητας είναι απαραίτητο να απουσιάζουν οι δύσκολες μαθηματικές εξισώσεις που τη συνοδεύουν. Ο λόγος είναι ότι στην υποχρεωτική εκπαίδευση, οι μαθητές/τριες δεν έχουν τελειοποιήσει τις μαθηματικές τους δεξιότητες. Προτείνεται, λοιπόν, μία περισσότερο ποιοτική εισαγωγή της γνώσης (Kersting, et al., 2020· Olsen, 2002· Postiglione & Angelis, 2021· Velentzas & Halkia, 2013).

ΓΕΝΙΚΗ ΘΕΩΡΙΑ ΤΗΣ ΣΧΕΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

Η Γενική Θεωρία της Σχετικότητας αποτελεί μια νέα θεωρία της βαρύτητας που ισχύει και σε επιταχυνόμενα συστήματα και αποτελεί θεμέλιο λίθο για τον μακρόκοσμο, την κοσμολογία αλλά και άλλους τομείς της Φυσικής (Cherepashchuk & Chernin, 2008· Kersting et al., 2020). Σύμφωνα με αυτή, η βαρύτητα έχει γεωμετρική προσέγγιση αφού είναι η καμπύλωση του τετραδιάστατου οικοδομήματος του χωροχρόνου εξαιτίας της παρουσίας μαζών στο σύμπαν. Σύμφωνα με τη Νευτώνεια Μηχανική, η εξήγηση του ηλιακού συστήματος και των κινήσεων των πλανητών προέκυπτε από τη θεώρηση ότι αυτές συμβαίνουν πάνω σε ένα επίπεδο. Αντιθέτως, στη Γενική θεωρία της Σχετικότητας, η συμμετρία της Ευκλείδειας γεωμετρίας δεν υφίσταται. Με αυτή τη νέα θεωρία, μπορεί να εξηγηθεί η ύπαρξη των μαύρων τρυπών, το Big Bang και η διαστολή του σύμπαντος (Cherepashchuk & Chernin, 2008· Choudhary et al., 2018· Dua et al., 2020· Günther & Müller, 2020· Kavanagh & Sneider, 2006· Postiglione & Angelis, 2021). Η συγκεκριμένη θεωρία του Einstein είναι μία από τις σημαντικότερες θεωρίες που έχουν διατυπωθεί στη Σύγχρονη Φυσική.

Γενικότερα, τον τελευταίο αιώνα, η μελέτη της Σύγχρονης Φυσικής αποτελεί έναν πολύ ενεργό κλάδο διότι μέσω τον νεών θεωριών άλλαξε ριζικά ο τρόπος θέασης του σύμπαντος (Kamphorst et al., 2023). Οι επιστήμονες στοχεύουν να ανακαλύψουν τα μυστικά του σύμπαντος – τα οποία φαίνεται να μπορούν να εξηγηθούν μόνο με βάση τη Φυσική του Einstein – αλλά και να προσδιορίσουν τυχόν περιορισμούς (Ehlers, 2007· Greca & Freire, 2014).

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Ο σκοπός της παρούσας εργασίας, η οποία αποτελεί κομμάτι μιας ευρύτερης έρευνας, ήταν η μελέτη των αποτελεσμάτων της διδασκαλίας που αφορούσε στην βαρύτητα κατά τον Einstein και η σύγκριση των επιδόσεων των μαθητών/τριων ανάλογα με το φύλο. Συγκεκριμένα, τα ερευνητικά ερωτήματα ήταν τα εξής:

1) Τι ποσοστό των μαθητών δίνει ορθές απαντήσεις αναφορικά με τη βαρύτητα και το χωροχρόνο;
2) Υφίσταται διαφορά στο επίπεδο κατανόησης ανάλογα με το φύλο των μαθητών/τριων;

Το δείγμα των μαθητών/τριων που προέκυψε ήταν 83 μαθητές/τριες (38 κορίτσια και 45 αγόρια) της ΣΤ τάξης του Δημοτικού, που φοιτούσαν σε 3 διαφορετικά σχολεία του νομού Ιωαννίνων, Ελλάδα. Εξαιτίας ειδικών συνθηκών, λ.χ. περιορισμένη δυνατότητα πρόσβασης σε σχολεία άλλων περιοχών, το δείγμα της έρευνας συγκεντρώθηκε μέσω βολικής δειγματοληπτικής διαδικασίας. Η έρευνα πραγματοποιήθηκε κατά το σχολικό έτος 2022 – 2023 με δια ζώσης διδακτική παρέμβαση σχετικά με την έννοια της βαρύτητας. Η πραγματοποίηση της διδασκαλίας βασίστηκε στην καθοδηγούμενη διερευνητική μάθηση κατά την οποία αξιοποιήθηκαν πειραματικές δραστηριότητες (Kavanagh & Sneider, 2006). Η διάρκεια της παρέμβασης ήταν 1 διδακτική ώρα. Η διδακτική προσέγγιση ήταν ποιοτική ενώ χρησιμοποιήθηκαν παρουσιάσεις power point και πειραματικές δραστηριότητες για τους μαθητές/τριες. Τόσο πριν όσο και μετά το πέρας της παρέμβασης, οι συμμετέχοντες συμπλήρωσαν ένα γραπτό ερωτηματολόγιο που αφορούσε στην βαρύτητα, οι ερωτήσεις του οποίου προήλθαν από το ερωτηματολόγιο των Pablico (2010) και Postiglione & Angelis (2020) και ήταν πολλαπλής επιλογής. Η σύνθεση του τελικού ερωτηματολογίου προέκυψε από την ένωση ορισμένων ερωτήσεων των δύο προαναφερθέντων ερευνών. Οι ερωτήσεις επιλέχθηκαν με βάση τη συσχέτισή τους με το προς μελέτη θέμα της έρευνας.

Ως διδακτική τεχνική επιλέχθηκε η διδασκαλία με τη βοήθεια του μοντέλου του *προσομοιωτή του χωροχρόνου* (Foppoli et al., 2019· Kaur et al., 2017). Κατά το μοντέλο αυτό, ο χωροχρόνος αναπαρίσταται από ένα ελαστικό 'σεντόνι' πάνω στο οποίο τοποθετούνται σώματα διαφορετικών μαζών με στόχο οι μαθητές/τριες να παρατηρήσουν τις κινήσεις τους. Η καμπύλωση του χωροχρόνου δεν μπορεί να γίνει αντιληπτή στην καθημερινότητα, οπότε με το συγκεκριμένο μοντέλο, οι μαθητές/τριες έρχονται σε ουσιαστική επαφή με την

Φυσική. Ο στόχος της παρέμβασης δεν ήταν η παρατήρηση της εις βάθος κατανόησης των νέων εννοιών από τους μαθητές/τριες, αλλά η μελέτη των εγγενών δυσκολιών που πιθανόν παρουσιάζονται στην αντίληψη τους (Kaur et al., 2020).

Εικόνα 1: ο προσομοιωτής του χωροχρόνου

Κατά την εφαρμογή του μοντέλου αναφέρθηκαν στους μαθητές/τριες και οι εγγενείς περιορισμοί που το ίδιο ενέχει. Ειδικότερα, ειπώθηκε ότι τα αποτελέσματα του μοντέλου, παρόλο που το ίδιο αφορά στη Φυσική του Einstein, οφείλονται στη Νευτώνεια Μηχανική. Επίσης, η κατασκευή του γίνεται στις δύο (2) διαστάσεις, ενώ η βαρύτητα είναι η καμπύλωση του τετραδιάστατου χωροχρόνου (Kaur et al., 2017).

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Ο Πίνακας 1 παρουσιάζει το ποσοστό των μαθητών/τριων που έδωσε τη σωστή απάντηση σε κάθε ερώτηση του ερωτηματολογίου. Τα ποσοστά αυτά διακρίνονται ανάλογα με το φύλο των μαθητών και το αν είχε προηγηθεί η διδακτική παρέμβαση ή όχι. Όπως παρατηρείται, μετά την διδακτική παρέμβαση τα ποσοστά των ορθών απαντήσεων αυξάνονται κατά ικανοποιητικό βαθμό.

Πίνακας 1: Ποσοστό των μαθητών/τριων που απάντησε ορθά για κάθε ερώτηση του ερωτηματολογίου

	Πριν την παρέμβαση		Μετά την παρέμβαση	
	Κορίτσι (%)	Αγόρι (%)	Κορίτσι (%)	Αγόρι (%)
Q1) Υπάρχει βαρύτητα όταν στέκεσαι πάνω στη Γη;	84,2	80,0	100,0	97,8
Q2) Αν κάποιος πέσει από ένα αεροπλάνο, δέχεται βαρύτητα;	15,8	20,0	71,1	40,0
Q3) Αν κάποιος στέκεται στο φεγγάρι, δέχεται βαρύτητα;	13,2	26,7	76,3	62,2
Q4) Ένας άνθρωπος που κινείται κοντά σε δορυφόρο γύρω από τη Γη, δέχεται βαρύτητα;	15,8	26,7	44,7	37,8

Q5) Υπάρχει βαρύτητα όταν ένας άνθρωπος κολυμπάει κάτω από το νερό;	26,3	22,2	78,9	64,4
Q6) Τι είναι ο χωροχρόνος;	7,9	8,9	78,9	66,7
Q7) Τι πιστεύεις ότι μπορεί να παραμορφώσει το χωροχρόνο;	0,0	2,2	76,3	55,6

Στα πλαίσια των στατιστικών ελέγχων υποθέσεων υπολογίστηκε η μέση βαθμολογία (score) που συγκέντρωσε κάθε συμμετέχων στο ερωτηματολόγιο τόσο πριν όσο και μετά την παρέμβαση. Για την επιλογή των κατάλληλων στατιστικών ελέγχων έγινε, αρχικά, έλεγχος κανονικότητας των μεταβλητών του score οι οποίες ήταν συνεχής και εξαρτημένες. Ο έλεγχος έγινε με τη δημιουργία ιστογραμμάτων στο SPSS αλλά και με το test Kolmogorov-Smirnov. Εκ του αποτελέσματος προκύπτει ότι τα score πριν και μετά την παρέμβαση δεν ακολουθούν την κανονική κατανομή ($p < .05$). Επομένως, με το μη παραμετρικό Wilcoxon signed ranks test διερευνήθηκε αν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά στις βαθμολογίες ανάλογα με το φύλο των μαθητών/τριων.

Ως μηδενική υπόθεση ελέγχου H_0 θεωρήθηκε ότι μέση βαθμολογία γνώσεων των μαθητών Δημοτικού ήταν ίση με τη μέση βαθμολογία γνώσεων των μαθητριών Δημοτικού. Η ίδια υπόθεση ελέγχθηκε τόσο πριν όσο και μετά την παρέμβαση. Από το Wilcoxon test προκύπτει ότι τόσο πριν όσο και μετά την παρέμβαση $p = 1.000$ ($p > .05$) άρα δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των επιδόσεων των αγοριών και των κοριτσιών.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Σε γενικά πλαίσια, τα χαμηλά ποσοστιαία αποτελέσματα των σωστών απαντήσεων πριν την παρέμβαση θεωρούνται αναμενόμενα διότι η βαρύτητα είναι ένα θέμα στο οποίο οι μαθητές/τριες παρουσιάζουν πληθώρα εναλλακτικών ιδεών, ενώ, ταυτόχρονα, κατά κοινή αποδοχή, τα παιδιά δεν διδάσκονται Σύγχρονη Φυσική ώστε να είναι εξοικειωμένοι με την έννοια του χωροχρόνου. Οι συμμετέχοντες/ουσες είχαν χαμηλά ποσοστά γνώσεων σχετικά με την *βαρύτητα*. Η παραπάνω άποψη επιβεβαιώνεται από τα χαμηλά ποσοστά επιτυχίας των μαθητών/τριων, με μοναδική εξαίρεση την ερώτηση Q1. Σε αυτήν, η πλειοψηφία των μαθητών/τριων έδωσε εξ'αρχής ορθή απάντηση, αφού, ως γνωστόν, τα παιδιά διδάσκονται την έννοια της βαρύτητας ως η δύναμη που ασκείται από τη Γη σε άλλα σώματα. Το γεγονός αυτό περιορίζει ουσιαστικά τις γνώσεις και αντιλήψεις των νέων.

Αντίθετα, μετά την παρέμβαση, κατά την οποία τα παιδιά είχαν ενεργό ρόλο στη διαδικασία της μάθησης μέσω πειραμάτων, τα ποσοστά επιτυχίας βελτιώθηκαν και τα υποκείμενα φάνηκε να κατανοούν την έννοια της βαρύτητας κατά τον Einstein όπως διαπιστώθηκε και σε παρόμοια έρευνα από τους Kaur et. al (2020). Στην πλειοψηφία των ερωτήσεων, πάνω από τους μισούς μαθητές/τριες φάνηκε να ερμηνεύουν με διαφορετικό τρόπο, φαινόμενα που οφείλονται στη βαρύτητα. Εξαίρεση αποτέλεσε η ερώτηση Q4 τροφοδοτώντας σκέψεις περαιτέρω έρευνας. Πιο συγκεκριμένα τα χαμηλά ποσοστά επιτυχίας (κορίτσια: ≅45% , αγόρια: ≅38%) αποδεικνύουν ότι η εναλλακτική ιδέα περί παντελούς έλλειψης της βαρύτητας στο διάστημα, δύσκολα αναπλάθεται.

Επιπλέον, μελετήθηκε κατά πόσο οι επιδόσεις των μαθητών σχετίζονται με το φύλο, με τα αποτελέσματα να αποδεικνύουν ότι πριν αλλά και μετά την παρέμβαση δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά. Το αποτέλεσμα αυτό αντιτίθεται στην γενικότερη επικρατούσα άποψη ότι τα αγόρια έχουν υψηλότερες επιδόσεις στις φυσικές επιστήμες σε σύγκριση με τα κορίτσια. Ακόμα, από τη μελέτη κάθε επιμέρους ερώτησης προκύπτει ότι τα κορίτσια σημείωσαν υψηλότερα ποσοστά επιτυχίας από ότι τα αγόρια, χωρίς, όμως, η διαφορά να είναι στατιστικά σημαντική.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Κασσέτας, Α.Ι. (2004). Το μήλο και του κουάρκ: Διδακτική της Φυσικής. Αθήνα: Σαββάλας

Baldy, E. (2007). A New Educational Perspective for Teaching Gravity. *International Journal of Science Education, 29*(14), 1767-1788. https://doi.org/10.1080/09500690601083367

Cherepashchuk, A.M. & Chernin, A.D. (2008). Modern cosmology: Facts and ideas. *Moscow University Physics Bulletin, 63*(5), 299–314. https://doi.org/10.3103/S0027134908050019

Choudhary, R., Foppoli, A., Kaur, T., Blair, D., Zadnik, M. & Meagher, R. (2018). Can a short intervention focused on gravitational waves and quantum physics improve students' understanding and attitude?. *Physics Education, 5*3, 065020. https://doi.org/10.1088/1361-6552/aae26a

Dua, Y.S., Blair, D.G., Kaur, T. & Choudhary, R.K. (2020). Can Einstein's Theory of General Relativity be taught to Indonesian high school students?. *Jurnal Pendidikan IPA Indonesia – Indonesian Journal of Science Education, 9*(1), 50 – 58. https://doi.org/10.15294/jpii.v9i1.22468

Ehlers, J. (2007). General Relativity Theory. In: Stamatescu, IO., Seiler, E. (eds) *Approaches to Fundamental Physics.* Lecture Notes in Physics, 721. Berlin, Heidelberg: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-540-71117-9_5

Foppoli, A., Choudhary, R., Blair, D., Kaur, T., Moschilla, J. & Zadnik, M. (2019). Public and teacher response to Einsteinian physics in schools. *Physics Education, 54*, 015001. https://doi.org/10.1088/1361-6552/aae4a4

Gönen, S. (2008). A Study on Student Teachers' Misconceptions and Scientifically Acceptable Conceptions About Mass and Gravity. *Journal of Science Education and Technology, 17*, 70–81. https://doi.org/10.1007/s10956-007-9083-1

Greca, I.M. & Freire, O. (2014). Meeting the Challenge: Quantum Physics in Introductory Physics Courses. In M.R. Matthews (Eds.), *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching* (pp. 183 – 209). Dordrecht: Springer. https://doi.org/10.1007/978-94-007-7654-8_7

Günther, H. & Müller, V. (2020). *The Special Theory of Relativity: Einstein's World in New Axiomatics*. Singapore: Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-13-7783-9

Kamphorst, F., Vollebregt, M.J., Savelsbergh, E.R. & van Joolingen, W. R. (2023). An Educational Reconstruction of Special Relativity Theory for Secondary Education. *Science & Education, 32*, 57–100. https://doi.org/10.1007/s11191-021-00283-2

Kaur, T., Blair, D., Choudhary, R. K., Dua, Y. S., Foppoli, A., Treagust, D. & Zadnik, M. (2020). Gender response to Einsteinian physics interventions in school. *Physics Education, 55*(3), 035029. https://doi.org/10.1088/1361-6552/ab764d

Kaur, T., Blair, D., Moschilla, J., Stannard, W. & Zadnik, M. (2017). Teaching Einsteinian physics at schools: part 1, models and analogies for relativity. *Physics Education, 52*(6) 065012. https://doi.org/10.1088/1361-6552/aa83e4

Kavanagh, C. & Sneider, C.I. (2006). Learning about Gravity II. Trajectories and Orbits: A Guide for Teachers and Curriculum Developers. *Astronomy Education Review, 5*(2), 53-102. https://doi.org/10.3847/AER2006019

Kersting, M., Toellner, R., Blair, D. & Burman, R. (2020). Gravity and warped time—clarifying conceptual confusions in general relativity. *Physics Education, 55*(1) 015023. https://doi.org/10.1088/1361-6552/ab56d7

Nik Daud, N. S., Abd Karim, M. M., Wan Hassan, S. W. N., & Rahman, N. A. (2015). Misconception and Difficulties in Introductory Physics Among High School and University Students: An Overview in Mechanics. *EDUCATUM Journal of Science, Mathematics and Technology, 2*(1), 34–47. Retrieved from https://ejournal.upsi.edu.my/index.php/EJSMT/article/view/26

Olsen, R.V. (2002) Introducing quantum mechanics in the upper secondary school: A study in Norway. *International Journal of Science Education, 24*(6), 565–574. https://doi.org/10.1080/09500690110073982

Pablico, J.R. (2010). *Misconceptions on force and gravity among high school students*, Master's Theses, LSU. 2462.

Postiglione, A. & Angelis, I.D. (2021). Students' understanding of gravity using the rubber sheet analogy: an Italian experience. *Physics Education, 56*, 025020, (pp11). https://doi.org/10.1088/1361-6552/abd1c4

Syuhendri, S. (2019, April). Student teachers' misconceptions about gravity. *Journal of Physics: Conference Series, 1185*(1), p. 012047. IOP Publishing. https://doi.org/10.1088/1742-6596/1185/1/012047

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. https://doi.org/10.1080/09500693.2012.682182

Williamson, K.E. & Willoughby, S.D. (2012). Student Understanding of Gravity in Introductory College Astronomy. *Astronomy Education Review, 11*(1), 1-26. https://doi.org/10.3847/AER2011025