

# Η ΔΙΔΑΣΚΑΛΙΑ ΒΑΣΙΚΩΝ ΕΝΝΟΙΩΝ ΤΗΣ ΕΙΔΙΚΗΣ ΘΕΩΡΙΑΣ ΤΗΣ ΣΧΕΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΣΤΗΝ ΔΕΥΤΕΡΟΒΑΘΜΙΑ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ

Δημήτριος Κακουλίδης

Καθηγητής Β'θμιας Εκπαίδευσης και Μεταπτ.  
Φοιτητής ΚΦΕ/ΣΘΕΤ, ΕΑΠ

kakoulman@gmail.com

Κωνσταντίνος Σκορδούλης

Καθηγητής Φυσικής & Επιστημολογίας, ΕΚΠΑ και  
Μέλος ΣΕΠ ΚΦΕ/ΣΘΕΤ, ΕΑΠ

k.skordoulis@gmail.com

*Περίληψη* – Σκοπός της εργασίας είναι η παρουσίαση του σχεδιασμού, της εφαρμογής και της αξιολόγησης μιας διδακτικής παρέμβασης για τη διδασκαλία των βασικών εννοιών της Ειδικής Θεωρίας της Σχετικότητας (ΕΘΣ) στην Β' Λυκείου. Η διδακτική παρέμβαση σχεδιάστηκε βασισμένη στις αρχές της Μάθησης Μέσω Σχεδιασμού σε συνδυασμό με ομαδική συνεργασία.

Αρχικά, παρουσιάζεται η ΕΘΣ όπως εμφανίζεται στα εγχειρίδια της τριτοβάθμιας εκπαίδευσης (Young, 1994; Serway, 2014; Beiser, 2002), που αποτέλεσε και τη βάση της διδακτικής παρέμβασης. Στη συνέχεια, αναλύονται οι λόγοι και παρουσιάζονται τα επιχειρήματα που αναπτύχθηκαν υπέρ της εισαγωγής βασικών εννοιών της ΕΘΣ στη Δευτεροβάθμια Εκπαίδευση. Η ενότητα αυτή ολοκληρώνεται με την διερεύνηση των εννοιολογικών εμποδίων που αντιμετωπίζουν οι μαθητές/τριες της Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης για την κατανόηση της ΕΘΣ.

Ακολούθως, παρατίθενται οι βασικές αρχές της Μάθησης μέσω Σχεδιασμού και τα πλεονεκτήματα της. Ακολουθεί ο σχεδιασμός της διδακτικής παρέμβασης και των φύλλων εργασίας που δόθηκαν στους μαθητές/τριες και των ερωτηματολογίων που δόθηκαν πριν και μετά από τις διδασκαλίες.

Στο τελευταίο μέρος της εργασίας αναλύονται τα αποτελέσματα της διδακτικής παρέμβασης. Από την ανάλυση των ερωτηματολογίων προκύπτει ότι η συγκεκριμένη διδακτική παρέμβαση είναι δυνατόν να συμβάλλει στην αντιμετώπιση των εννοιολογικών παρανοήσεων και στην υπέρβαση των επιστημολογικών εμποδίων των μαθητών της Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης.

**Λέξεις-Κλειδιά:** Διδασκαλία, Σχετικότητα, Μάθηση μέσω Σχεδιασμού

## Ι. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η παρούσα εργασία παρουσιάζει μια διδακτική παρέμβαση για την διδασκαλία βασικών εννοιών της Ειδικής Θεωρίας της Σχετικότητας (ΕΘΣ) στη Δευτεροβάθμια Εκπαίδευση. Η συγκεκριμένη θεωρία της Σύγχρονης Φυσικής δεν συμπεριλαμβάνεται στο Πρόγραμμα Σπουδών και γι' αυτό το λόγο η εργασία διερευνά κατά πόσο είναι εφικτή η διδασκαλία της στη Δευτεροβάθμια Εκπαίδευση.

Οι λόγοι που καθιστούν αναγκαία την εισαγωγή της ΕΘΣ στο Πρόγραμμα Σπουδών είναι οι εξής:

1<sup>ον</sup>: Η ΕΘΣ παρουσιάζει μια σχετικιστική αντίληψη του κόσμου, διαφορετική από τη μηχανιστική αντίληψη της κλασικής φυσικής.

2<sup>ον</sup>: Αναπτύσσει την κριτική ικανότητα των μαθητών/τριών.

3<sup>ον</sup>: Απαιτεί υψηλή αφαιρετική ικανότητα από την πλευρά των μαθητών/τριών και ως εκ τούτου παρέχει στους εκπαιδευτικούς τη δυνατότητα να διαπιστώσουν τις επεξηγηματικές δεξιότητες- ικανότητες των μαθητών/τριών που απαιτούνται για την διδασκαλία εννοιών της Σύγχρονης Φυσικής.

4<sup>ον</sup>: Λόγω του ντετερμινιστικού της χαρακτήρα η ΕΘΣ μπορεί να αποτελέσει τη γέφυρα μεταξύ Κλασικής και Σύγχρονης Φυσικής.

Διάφορες έρευνες στην Ελλάδα (Δημητριάδη, 2012) και διεθνώς (Arriasecq&Greca, 2012; Scherr, 2001; Borghi, DeAmbrossis&Ghisolfi, 1993; Villani, &Pacca, 1987) στα πλαίσια της διδακτικής των Φυσικών Επιστημών ανέδειξαν τις δυσκολίες που αντιμετωπίζουν οι μαθητές/τριες στην κατανόηση εννοιών της ΕΘΣ. Οι δυσκολίες αυτές εντοπίζονται στην κατανόηση της εξάρτησης της ταχύτητας από το σύστημα αναφοράς, στη μη εξάρτηση της ταχύτητας του φωτός από το σύστημα αναφοράς καθώς και στην έννοια του ταυτοχρονισμού.

Ως εκ τούτου τα βασικά σημεία της ΕΘΣ που αποτέλεσαν τη βάση της διδακτικής μας παρέμβασης είναι: η Γαλιλαϊκή Σχετικότητα, το 1<sup>ο</sup> και το 2<sup>ο</sup> Αξίωμα της ΕΘΣ, η σχετικότητα του ταυτοχρονισμού, η διαστολή του χρόνου και η συστολή του μήκους.

Ο σχεδιασμός της διδακτικής παρέμβασης στηρίχθηκε στις αρχές της Μάθησης μέσω Σχεδιασμού (Kalantzis&Cope, 2013) και συνδυάστηκε με ομαδική συνεργασία.

## II. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Η διδακτική παρέμβαση αποτελείται από πέντε ενότητες, η κάθε μια από τις οποίες πραγματεύεται μια από τις βασικές έννοιες της ΕΘΣ και σχεδιάστηκαν με βάση τις αρχές της Μάθησης μέσω Σχεδιασμού σε συνδυασμό με ομαδική συνεργασία.

### A. Μάθηση μέσω Σχεδιασμού (*Learning by Design*)

Η μάθηση μέσω Σχεδιασμού αποτελεί μια νέα μέθοδο σχεδιασμού της διδασκαλίας που στηρίζεται στην κοινωνιογνωστική προσέγγιση, δίνοντας έμφαση στην πολυτροπικότητα (multimodality) δηλαδή στους διάφορους τρόπους με τους οποίους το υποκείμενο αποκτά τη γνώση, λαμβάνοντας υπόψη την διαφορετικότητα σε πολιτισμικό, γλωσσολογικό επίπεδο κλπ.

Η Μάθηση μέσω Σχεδιασμού αξιοποιεί ένα μεγάλο εύρος μαθησιακών προσεγγίσεων βασιζόμενη σε συγκεκριμένες γνωσιακές διαδικασίες: το βίωμα, την εννοιολόγηση, την ανάλυση και την εφαρμογή. Οι δραστηριότητες διδασκαλίας που σχεδιάστηκαν βασίζονται στις παραπάνω τέσσερις γνωσιακές διαδικασίες.

Στην περίπτωση μας η Μάθηση μέσω Σχεδιασμού συνδυάστηκε με την λειτουργία των μαθητών σε ομάδες στην προσπάθεια μας να καλλιεργήσουμε την κουλτούρα της συνεργασίας και να συμβάλλουμε στην ανάπτυξη της προσωπικότητας του μαθητή/τριας μέσα από την λειτουργία του μέσα σε αυτή την ομάδα.

## III. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΔΙΔΑΚΤΙΚΗΣ ΠΑΡΕΜΒΑΣΗΣ

Η διδακτική μας παρέμβαση έγινε σε 20 μαθητές/τριες της Β' Λυκείου Θετικού Προσανατολισμού του Γενικού Λυκείου Ν. Μουδανιών. Οι μαθητές/τριες χωρίστηκαν σε πέντε ομάδες και ελήφθη πρόνοια ώστε οι ομάδες να είναι ισοδύναμες όσον αφορά τις επιδόσεις των μαθητών/τριών. Η διδακτική παρέμβαση έγινε το Β' τετράμηνο του 2015 και η διάρκεια της ήταν 5 διδακτικές ώρες.

Πριν την διδακτική παρέμβαση οι μαθητές συμπλήρωσαν ατομικά ερωτηματολόγια (pretest) με σκοπό να διαπιστωθούν οι παρανοήσεις σε έννοιες της ΕΘΣ και συγκεκριμένα στην έννοια του συστήματος αναφοράς, στην εξάρτηση της ταχύτητας από αυτό, στην ανεξαρτησία της ταχύτητας του φωτός από τον παρατηρητή και στην έννοια του ταυτοχρονισμού.

Σύμφωνα με την ανάλυση των απαντήσεων στο ερωτηματολόγιο προέκυψε ότι οι δυσκολίες που αντιμετωπίζουν οι μαθητές/τριες εντοπίζονται στην έννοια του αδρανειακού συστήματος αναφοράς, καθώς και στην πεποίθηση τους για την ύπαρξη ενός προνομιακού παρατηρητή. Επίσης, προβλήματα παρουσιάζονται σε καταστάσεις που πραγματεύονται την έννοια του ταυτοχρονισμού, αλλά και σε ερωτήσεις που έχουν σχέση με την ταχύτητα διάδοσης του φωτός. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από το pretest συμπιπτουν και με πολλές άλλες έρευνες (DeHosson, Kermen&Parizot, 2010; Dimitriadi, Halkia, & Skordoulis, 2009; Dimitriadi, Halkia, & Stavrou, 2011) για τα

εννοιολογικά εμπόδια που αντιμετωπίζουν οι μαθητές/τριες στην διδασκαλία της ΕΘΣ.

Με βάση τα αποτελέσματα του ερωτηματολογίου και τη διεθνή βιβλιογραφία σχεδιάστηκε η διδακτική μας παρέμβαση που αποτελείται από πέντε ενότητες όπως περιγράφονται παρακάτω. Σε κάθε ενότητα οι δραστηριότητες σχεδιάστηκαν με βάση τις αρχές της Μάθησης μέσω Σχεδιασμού. Οι περισσότερες δραστηριότητες βασίστηκαν σε νοητικά πειράματα (Velentzas, Halkia, Skordoulis, 2005; Matthews, 1994) και οι καταστάσεις που πραγματεύονταν ήταν οικείες στους μαθητές/τριες. Έγινε χρήση σχετικών με το αντικείμενο βίντεο, καθώς και διαδικτυακών προσομοιώσεων των καταστάσεων που πραγματεύονταν η κάθε ενότητα. Μαθηματικός φορμαλισμός χρησιμοποιήθηκε όπου ήταν απαραίτητος και έγινε προσπάθεια να κρατηθεί στο ελάχιστο δυνατό.

Αναλυτικότερα παρουσιάζονται οι τίτλοι των δραστηριοτήτων ανά διδακτική ενότητα και τα αναμενόμενα μαθησιακά αποτελέσματα:

### - 1<sup>η</sup> ενότητα: 1<sup>ο</sup> αξίωμα της ΕΘΣ

#### 1.1 Προσδιορισμός της θέσης των μαθητών στην αωλή του σχολείου (βιωματική)

Σκοπός: Να αντιληφθούν οι μαθητές ότι η θέση ενός σημείου καθορίζεται σε σχέση με ένα σύστημα αναφοράς.

#### 1.2 Σχετική κίνηση σε πλοίο (βιωματική)

Σκοπός: Να αντιληφθούν οι μαθητές ότι η ταχύτητα είναι ένα σχετικό μέγεθος.

#### 1.3 Σχετική κίνηση στο μετρό (αναλυτική)

Σκοπός: Να κατανοήσουν οι μαθητές ότι η θέση τους εξαρτάται πάντα από ένα άλλο σημείο.

#### 1.4 Υπολογισμός ταχυτήτων στο μετρό (εφαρμογή)

Σκοπός: Να είναι σε θέση οι μαθητές να εφαρμόσουν τη σχετικότητα της ταχύτητας για την επίλυση προβλημάτων που αφορούν στον υπολογισμό της ταχύτητας ενός σώματος σε σχέση με το σύστημα αναφοράς ως προς το οποίο το μελετούν.

#### 1.5 Το 1<sup>ο</sup> αξίωμα της ΕΘΣ (η σκοτεινή σήραγγα) (εννοιολόγηση)

Σκοπός: Να διατυπώσουν το 1<sup>ο</sup> αξίωμα της ΕΘΣ, να αποδομήσουν τις έννοιες της απόλυτης κίνησης και να μπορούν να περιγράψουν την έννοια της ταχύτητας σε σχέση με το σύστημα αναφοράς.

### - 2<sup>η</sup> ενότητα: 2<sup>ο</sup> αξίωμα της ΕΘΣ

#### 2.1 Η μέγιστη ταχύτητα στη φύση (βιωματική)

Σκοπός: Να αντιληφθούν οι μαθητές ότι η ταχύτητα του φωτός στο κενό είναι μια σταθερά και όριο της φύσης για όλες τις ταχύτητες.

#### 2.2 Η διάλεξη του Feynman (αναλυτική)

Σκοπός: Να μπορούν οι μαθητές να αιτιολογήσουν ότι το 2<sup>ο</sup> αξίωμα της ΕΘΣ είναι απόρροια της εφαρμογής του 1<sup>ου</sup> αξιώματος.

#### 2.3 Το νοητικό πείραμα για την ταχύτητα του φωτός (εννοιολόγηση) (βλ. Landau & Rumer, 1959).

Σκοπός: Να είναι σε θέση οι μαθητές να διατυπώνουν το 2<sup>ο</sup> αξίωμα της ΕΘΣ και να κατανοήσουν ότι το 2<sup>ο</sup> αξίωμα είναι πειραματικά επιβεβαιωμένο.

#### 2.4 Το κυνήγι των φωτεινών ακτίνων (εφαρμογή)

Σκοπός: Να εφαρμόζουν το 2<sup>ο</sup> αξίωμα σε προβλήματα τα οποία σχετίζονται με την διάδοση του φωτός στο κενό.

### - 3<sup>η</sup> ενότητα: ο ταυτοχρονισμός στην ΕΘΣ

### 3.1 Ταυτοχρονισμός δύο γεγονότων (βιωματική)

Σκοπός: Να αντιληφθούν οι μαθητές την έννοια του ταυτοχρονισμού μεταξύ δύο γεγονότων

### 3.2 Τι είναι το νοητικό πείραμα(εννοιολόγηση)

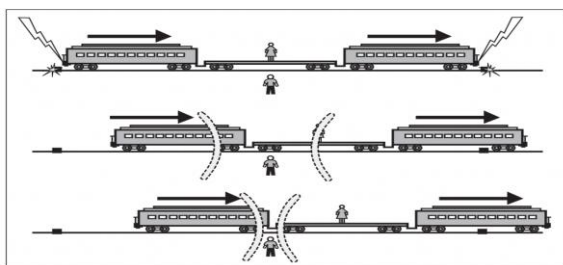
Σκοπός: Να είναι σε θέση οι μαθητές να αντιληφθούν την συμβολή των νοητικών πειραμάτων στην κατανόηση των εννοιών της ΕΘΣ.

### 3.3 Το τρένο του Einstein(βίωμα - ανάλυση - εννοιολόγηση) (βλ. εικόνα 1)

Σκοπός:Να αντιληφθούν ότι ο ταυτοχρονισμός είναι μια έννοια σχετική και εξαρτάται από την επιλογή του παρατηρητή που περιγράφει τα γεγονότα. Να μπορούν να κατανοήσουν ότι αν δύο γεγονότα είναι ταυτόχρονα για έναν παρατηρητή τότε είναι ταυτόχρονα και για οποιονδήποτε άλλο παρατηρητή που είναι ακίνητος ως προς τον πρώτο. Να μπορούν να αιτιολογήσουν με επιχειρήματα μέσα από τα δύο αξιώματα της ΕΘΣ γιατί ο ταυτοχρονισμός δυο γεγονότων είναι έννοια σχετική και να μπορούν να περιγράψουν πότε δυο γεγονότα χαρακτηρίζονται ταυτόχρονα ανάλογα με το σύστημα αναφοράς που χρησιμοποιείται κάθε φορά.

### 3.4 Ταυτοχρονισμός στη γέφυρα(εφαρμογή)

Σκοπός: να είναι σε θέση να εφαρμόζουν την συνέπεια της ΕΘΣ για τον ταυτοχρονισμό σε νοητικά προβλήματα που εμπλέκουν παρατηρητές που κινούνται με σχετικιστικές ταχύτητες



Σχήμα 1. Το τρένο του Einstein

### - 4<sup>η</sup> ενότητα: διαστολή του χρόνου

#### 4.1 Η διάρκεια ενός αγώνα μπάσκετ(βιωματική)

Σκοπός: Να κατανοήσουν την ισοδυναμία των παρατηρητών σε σχέση με το φαινόμενο της διαστολής του χρόνου.

#### 4.2 Το ρολόι του Einstein(ανάλυση - εννοιολόγηση)(βλ. σχήμα 2)

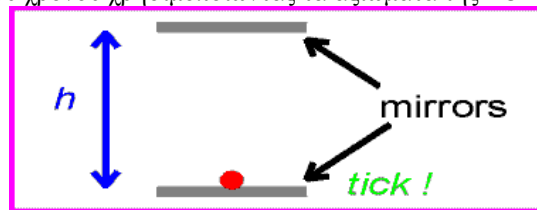
Σκοπός: Να κατανοήσουν ότι ο χρόνος κάθε παρατηρητή μετράται από το δικό του ρολόι και ότι όλα τα άλλα ρολόγια που είναι κινούμενα σχέση με αυτόν λειτουργούν με πιο αργό ρυθμό. Να περιγράψουν το φαινόμενο της διαστολής του χρόνου ως απόρροια των αξιωμάτων της ΕΘΣ.

#### 4.3 Το ρολόι του Einstein σε προσομοίωση (βιωματική - εφαρμογή)

Σκοπός: Να κατανοήσουν ότι το φαινόμενο της διαστολής του χρόνου είναι ένα πραγματικό φαινόμενο και δεν γίνεται αντιληπτό στην καθημερινή ζωή μας για τεχνικούς λόγους. Να είναι σε θέση να εφαρμόσουν την διαστολή του χρόνου ώστε να εξηγήσουν φαινόμενα που προκύπτουν σε πειράματα που εμπλέκουν σωματίδια που κινούνται με σχετικιστικές ταχύτητες.

#### 4.4 Το πρόβλημα του Ρίνγκο (κόμικς φυσικής) (ανάλυση, Huffman&Gonick, 1998)

Σκοπός:Να μπορούν να αιτιολογήσουν την διαστολή του χρόνου χρησιμοποιώντας τα αξιώματα της ΕΘΣ.



Σχήμα 2. Το ρολόι του Einstein

### - 5<sup>η</sup> ενότητα: συστολή του μήκους

#### 5.1 Η ΕΘΣ σε animation(βιωματική - ανάλυση)

Σκοπός: Να αντιληφθούν ότι το φαινόμενο της συστολής του μήκους είναι πραγματικό φαινόμενο και δεν γίνεται αντιληπτό στην καθημερινή μας ζωή για τεχνικούς λόγους. Να κατανοήσουν ότι κάθε παρατηρητής μετράει τη μήκη με το δικό του σύστημα και τις δικές του πρότυπες μονάδες(ιδιομήκος).

#### 5.2 Εξηγώντας το φαινόμενο της συστολής του μήκους(ανάλυση)

Σκοπός: Να μπορούν να αιτιολογήσουν την συστολή του μήκους χρησιμοποιώντας τα αξιώματα της ΕΘΣ

#### 5.3 Συγχρονίζοντας τα κινούμενα ρολόγια(εφαρμογή)

Σκοπός: Να διερευνήσουν την συστολή του μήκους μέσα από πειράματα που εμπλέκουν σωματίδια, τα οποία κινούνται με σχετικιστικές ταχύτητες.

Μετά το πέρας της διδακτικής παρέμβασης οι μαθητές/τριες απάντησαν σε ατομικά ερωτηματολόγια (posttest) με σκοπό να διαπιστωθεί κατά πόσο η διδακτική παρέμβασησυνέβαλεστην αλλαγή των παρανοήσεων που είχαν στις συγκεκριμένες έννοιες της ΕΘΣ αλλά και αν είναι σε θέση να εφαρμόσουν όσα διδάχθηκαν.

## IV. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Αναλύοντας το ερωτηματολόγιο που δόθηκε στους μαθητές/τριες μετά το πέρας της διδακτικής παρέμβασης προέκυψε ότι οι μαθητές/τριες στην πλειοψηφία τους:

- Κατανοούν τα δύο αξιώματα της ΕΘΣ και μπορούν να απαντούν σωστά σε ερωτήσεις που αφορούν τις συνέπειες της όπως η διαστολή του χρόνου και η συστολή του μήκους.
- Ακόμα και μετά την διδακτική παρέμβαση αντιμετωπίζουν προβλήματα που εστιάζονται στη μη κατανόηση της σχετικής ταχύτητας των παρατηρητών σε σχέση με τον ταυτοχρονισμό. Ως εκ τούτου, δεν λαμβάνουν υπόψη τους την σχετική κίνηση των αδρανειακών παρατηρητών όταν ερωτούνται για το πώς κρίνουν διάφοροι αδρανειακοί παρατηρητές δύο γεγονότα ως προς τον ταυτοχρονισμό τους.
- Είναι θετικά διακείμενοι στην εισαγωγή κεφαλαίων της Σύγχρονης Φυσικής στο Πρόγραμμα Σπουδών του Λυκείου.
- Εξέφρασαν την ικανοποίησή τους για τον νέο τρόπο διδασκαλίας και την επιθυμία τους για επέκταση του και σε άλλα μαθήματα

Μετά το πέρας της διδακτικής παρέμβασης προκύπτει ότι η πλειονότητα των μαθητών/τριών είναι σε θέση να κατανοήσουν τις βασικές αρχές της ΕΘΣ καθώς και τις συνέπειες που απορρέουν από αυτές. Αντιμετωπίζουν

διάφορες καταστάσεις και προβλήματα που αναφέρονται στην ΕΘΣ και είναι ικανοί να απαντήσουν σε ερωτήσεις.

Οι περισσότεροι από τους μαθητές/τριες αντιλαμβάνονται πλέον ότι όλα όσα διδάχθηκαν δεν είναι στρεβλώσεις της αντίληψης αλλά η φυσική πραγματικότητα.

Ο πολυτροπικός χαρακτήρας των δραστηριοτήτων έδωσε στους μαθητές/τριες την δυνατότητα να εκμεταλλευτούν τις διαφορετικές δεξιότητες τους και να αναπτύξουν την κριτική τους ικανότητα και την φαντασία τους.

Οι μέθοδοι που εφαρμόστηκαν στη συγκεκριμένη διδακτική παρέμβαση κατάφεραν να βάλουν στο περιθώριο τον δασκαλοκεντρικό χαρακτήρα της διδασκαλίας που αποτελεί ένα διαχρονικό πρόβλημα της εκπαίδευσης.

Ένας επιπρόσθετος παράγοντας που συνέβαλε καθοριστικά στην κατανόηση της διδαχθείσας ύλης ήταν η λειτουργία των μαθητών/τριών σε ομάδες όπου μέσω του διαλόγου και της λήψης πρωτοβουλιών οδηγήθηκαν στα επιθυμητά αποτελέσματα.

Αξιοσημείωτη είναι η καθολική ικανοποίηση που εξέφρασαν όλοι οι μαθητές/τριες τόσο για την μέθοδο διδασκαλίας όσο και για το συγκεκριμένη ενότητα της Φυσικής.

Με την βοήθεια της συγκεκριμένης διδακτικής παρέμβασης μπορούμε να καλλιεργήσουμε τις επεξηγηματικές δεξιότητες που απαιτούνται για να γίνει αποτελεσματική η διδασκαλία θεμάτων Φυσικής που παρουσιάζουν ιδιαίτερη δυσκολία.

Η παρούσα εργασία δείχνει ότι με τον κατάλληλο σχεδιασμό και την κατάλληλη διδακτική μεθοδολογία είναι δυνατόν οι μαθητές/τριες της Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης να κατανοήσουν έννοιες της Φυσικής που απαιτούν ιδιαίτερη αφαιρετική ικανότητα. Έτσι, μπορεί να επεκταθεί η εφαρμογή των νέων μεθόδων διδασκαλίας σε όλα τα κεφάλαια της Φυσικής και κυρίως σε αυτά που ανήκουν στην Σύγχρονη Φυσική (Θεωρία Σχετικότητας, Κβαντομηχανική) ώστε οι μαθητές/τριες της Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης να έρθουν σε επαφή με τις σημαντικότερες ανακαλύψεις του 20<sup>ου</sup> αιώνα στον τομέα των Φυσικών Επιστημών.

## ΑΝΑΦΟΡΕΣ

Arriasecq, I., & Greca, I. (2012). A Teaching-Learning Sequence for the Special Relativity Theory at High School Level Historically and Epistemologically Contextualized. *Science and Education*, DOI 10.1007/s11191-010-9231-5.

Beiser, A. (2002), *Σύγχρονη Φυσική*, Εκδόσεις Τυποθήτω, Αθήνα.

Borghi, L., De Ambrossis, A., & Ghisolfi, E. (1993). Teaching Special Relativity in High School. *In proceedings of the III seminar misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics, Ithaca, NY in press.*

De Hosson, C., Kermen, I., & Parizot, E. (2010). Exploring students' understanding of reference frames and time in Galilean and Special Relativity. *European Journal of Physics*, 31, 1525-1538.

Dimitriadi, K., Halkia, K., & Skordoulis, C. (2009). An Attempt to teach the Theory of Special Relativity to Students of Upper Secondary

Education, *eproceedings of ESERA conference held in Instabul, 31 August-4 September, 2009*, pp.183-187.

Dimitriadi, K., Halkia, K., & Stavrou, D. (2011). Students' Learning Processes in the field of Special Relativity. *Paper presented in ESERA Conference, held in Lyon 5-10 September, 2011.*

Huffman, A., Gonick, L. (1998), *Τα πάντα για τη Φυσική σε κόμικς*, Εκδόσεις Κάτοπτρο, Αθήνα.

Kallantzis, M., Cope, B. (2013), *NEA ΜΑΘΗΣΗ: Βασικές Αρχές για την Επιστήμη της Εκπαίδευσης*, Εκδόσεις ΚΡΙΤΙΚΗ, Αθήνα.

Landau, L., & Rumer, Y. (1959). *What is Relativity*. Basicbooks, New York. Στα ελληνικά: *Τι είναι η Θεωρία της Σχετικότητας*, μετάφραση Ν. Κιάος, Α. Μαργαρίτης, εκδόσεις Γ.Α. Πνευματικού, Αθήνα.

Mathews, M.: (1994) *Thought experiments in Science Teaching. The Role of History and Philosophy of Science*, Routledge, New York-London, 99-105.

Panse, S., Ramadas, J., & Kumar, A. (1994). Alternative conceptions in Galilean Relativity: frames of reference. *International Journal of Science Education*, 16, 1, 63-82.

Pietrocola, M., & Zylbersztajn, A. (1999). The use of the Principle of Relativity in the interpretation of phenomena by undergraduate physics students. *International Journal of Science Education*, 21, 3, 261-276.

Ramadas, J., Barve, S., & Kumar, A. (1996a). Alternative conceptions in Galilean Relativity: Inertial and non-inertial observers. *International Journal of Science Education*, 18, 5, 615-629.

Serway, R. (2014). *Physics for Scientists & Engineers, with Modern Physics, Ninth Edition*. Brooks/Cole Cengage Learning.

Scherr, R. (2001). *An Investigation of Student Understanding of Basic Concepts In Special Relativity* (Doctoral dissertation, university of Washington).

Scherr, R., Shaffer, P., & Vokos, S. (2001). Student understanding of time in special relativity: Simultaneity and reference frames. *American Journal of Physics*, 69, 7, 24-35.

Velentzas, A., & Halkia, K. (2011). The 'Heisenberg's Microscope' as an Example of Using Thought Experiments in Teaching Physics Theories to Students of the Upper Secondary School. *Research in Science Education*, 41, 525-539.

Velentzas A., Halkia K., Skordoulis C. (2005). Thought experiments in physics theories of the 20<sup>th</sup> century: a tool for popularization and teaching in secondary education, *Proceedings of ESERA 2005 Conference: Contributions of Research to Enhancing Students' Interest in Learning Science, August 28 - September 1, 2005, Barcelona, p.1334 - 1338.*

Villani, A., & Pacca, L. (1987). Students' spontaneous ideas about the speed of light. *International Journal of Science Education*, 9, 1, 55-66.

Young, H. (1994). *Πανεπιστημιακή Φυσική, Τόμος Β', Ηλεκτρομαγνητισμός- Οπτική-Σύγχρονη Φυσική*. Εκδόσεις Παπαζήση, Αθήνα.

Δημητριάδη, Κ. (2012), *Διδασκαλία Βασικών Εννοιών της ΕΘΣ στη Δευτεροβάθμια Εκπαίδευση: Διερεύνηση Διαδικασιών Μάθησης*, (Διδακτορική Διατριβή, Εθνικό Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών).