

## Διδακτική προσέγγιση της Ειδικής Θεωρίας της Σχετικότητας στη Δευτεροβάθμια Εκπαίδευση

**Δημητριάδη Κ., Χαλκιά Κ., Σκορδούλης Κ.**

Π.Τ.Δ.Ε. Πανεπιστημίου Αθηνών,

kdimitr@primedu.uoa.gr, kxalkia@primedu.uoa.gr και kskordul@primedu.uoa.gr

Στην εργασία αυτή περιγράφεται μία ποιοτική έρευνα που έχει ως αντικείμενο τη διδασκαλία της Ειδικής Θεωρίας της Σχετικότητας (ΕΘΣ) σε μαθητές της Α' λυκείου. Ο στόχος ήταν να διερευνηθεί αν και ως ποιο σημείο οι μαθητές της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης είναι σε θέση να κατανοήσουν τις βασικές έννοιες της ΕΘΣ. Η διδασκαλία βασίστηκε στο μοντέλο του κοινωνικού κονστρουκτιβισμού και ως διδακτικό εργαλείο (και εργαλείο έρευνας) αξιοποιήθηκαν σύντομες ιστορίες, οι οποίες είχαν διατυπωθεί με απλό τρόπο. Οι ιστορίες αυτές βασίζονται σε καθημερινές καταστάσεις και εμπειρίες, νοητικά πειράματα, παράδοξα και πειραματικά δεδομένα. Κάθε ιστορία διαπραγματεύεται μία έννοια της θεωρίας, ώστε σταδιακά να "χτίσουν" οι μαθητές τα δύο αξιώματα της θεωρίας και στη συνέχεια να μπορέσουν να επεξεργαστούν κάποιες συνέπειες της θεωρίας (σχετικότητα του ταυτοχρονισμού, διαστολή του χρόνου και συστολή του μήκους). Οι μαθητές δουλεύουν σε ομάδες, όπου καλούνται να αναπτύξουν τα επιχειρήματά τους. Οι συζητήσεις αυτές ηχογραφούνται. Τα αποτελέσματα της έρευνας προκύπτουν από την ανάλυση των συζητήσεων και των ερωτηματολογίων.

### Εισαγωγή

Η Ειδική Θεωρία της Σχετικότητας (ΕΘΣ) αποτελεί μία από τις θεμελιώδεις θεωρίες της σύγχρονης φυσικής. Έχουν πραγματοποιηθεί πολλές έρευνες για το πώς η θεωρία αυτή μπορεί να προσεγγιστεί από φοιτητές και ποιες δυσκολίες αντιμετωπίζουν σε βασικές έννοιες (Hewson 1982, Villani and Pacca, 1987, Pietrocola and Zylbersztajn 1999, Scherr 2001). Οι αντίστοιχες έρευνες, ωστόσο, σε επίπεδο δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης είναι περιορισμένες και οι εκάστοτε στόχοι που τίθενται διαφέρουν σε σημαντικό βαθμό. Άλλωστε ακόμα και η αναγκαιότητα εισαγωγής της στο επίπεδο αυτό αμφισβητείται καθώς η αυξημένη ύλη από τη μία, και οι εγγενείς δυσκολίες του αντικειμένου από την άλλη, καθιστούν το εγχείρημα ιδιαίτερα δύσκολο. Στην Ελλάδα έχει πραγματοποιηθεί σχεδιασμός έρευνας για την εισαγωγή της θεωρίας της Σχετικότητας σε μαθητές δημοτικού (Τσαλαπάκης, 2005).

Οι Villani και Arruda (1998) υποστηρίζουν ότι μέσω της διδασκαλίας της ΕΘΣ οι μαθητές πρέπει να γνωρίσουν την εννοιολογική ρήξη μεταξύ νευτώνειας και σύγχρονης Φυσικής. Ο Machold (1983) στοχεύει στην κατανόηση των εννοιών που έχουν τεχνολογική εφαρμογή και στη δυνατότητα πνευματικής εκπαίδευσης των μαθητών. Οι Borghi et al (1993) πέρα από τα παραπάνω θεωρούν απαραίτητο να έρθουν οι μαθητές σε επαφή με παραμέτρους που έρχονται σε αντίθεση με την κοινή λογική και την καθημερινή εμπειρία. Σύμφωνα με τις Arriassecq και Greca (2007) η σύγχρονη φυσική γενικότερα, αλλά και η ΕΘΣ ειδικότερα, δίνει τη δυνατότητα στους μαθητές να συνειδητοποιήσουν τον τρόπο που αναπτύσσεται η επιστήμη και ότι η Φυσική αποτελεί ανθρώπινο δημιούργημα, καθώς και να κατανοήσουν έννοιες που συχνά ακούγονται στα ΜΜΕ, χωρίς να γίνονται κατανοητές ή ακόμα και με λανθασμένο τρόπο. Ταυτόχρονα, μέσα από την προσέγγιση της ΕΘΣ δίνεται η ευκαιρία στους μαθητές να αμφισβητήσουν την "προνομιακή" τους θέση στον κόσμο και να μάθουν να "βιώνουν



αβεβαιότητες” (Angotti et al, 1978). Αναμφισβήτητο είναι τέλος, ότι καθίσταται δυνατή η αξιοποίηση του ενδιαφέροντος των μαθητών, καθώς ο Einstein αποτελεί μία από τις πιο δημοφιλείς, αν όχι τη δημοφιλέστερη προσωπικότητα του επιστημονικού κόσμου.

Η προσέγγιση της θεωρίας αυτής, ωστόσο, σε επίπεδο δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης προϋποθέτει τον κατάλληλο μετασχηματισμό της επιστημονικής γνώσης σε σχολική. Η χρήση του μαθηματικού φορμαλισμού της ΕΘΣ, πέρα από τη δεδομένη δυσκολία (καθώς οι μαθητές δε διαθέτουν το κατάλληλο υπόβαθρο), τους απομακρύνει από το φυσικό περιεχόμενο της. Επίσης, η χρησιμοποίηση πολύπλοκης ορολογίας σε πολλές περιπτώσεις δυσκολεύει τους μαθητές, που τείνουν να χρησιμοποιούν τους όρους αυτούς με λανθασμένο τρόπο.

### Ταυτότητα της έρευνας

Στην εργασία αυτή περιγράφεται μία ποιοτική έρευνα που έγινε σε 10 μαθητές της Α' λυκείου σε δημόσιο σχολείο της περιφέρειας κατά το προηγούμενο σχολικό έτος (2007-2008). Ο στόχος ήταν να διερευνηθεί αν και ως ποιο σημείο οι μαθητές της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης είναι σε θέση να κατανοήσουν τις βασικές έννοιες της ΕΘΣ και συγκεκριμένα να “κατασκευάσουν” τα αξιώματα της θεωρίας και να διαχειριστούν κάποιες από τις συνέπειές της (σχετικότητα ταυτοχρονισμού, διαστολή χρόνου, συστολή μήκους).

Η όλη διδακτική παρέμβαση βασίζεται στο μοντέλο του κοινωνικού κονστρουκτιβισμού, καθώς μέσω της συζήτησης που πραγματοποιείται στις ομάδες και μέσω διαφόρων πολιτισμικών αντικειμένων (εκλαϊκευτικά κείμενα, dvd κ.λπ.) στα οποία εκτίθενται οι μαθητές, διευκολύνεται η διαμεσολάβηση της γνώσης από το κοινωνικό στο προσωπικό επίπεδο και ακολούθως, οι μαθητές σε προσωπικό πια επίπεδο κατασκευάζουν σταδιακά τη γνώση (Scott et al, 2007).

Το διδακτικό εργαλείο ήταν ερωτηματολόγια που αποτελούνταν από σύντομες ιστορίες οι οποίες λειτουργούσαν και ως πλαίσιο που εισήγαγε τους μαθητές στο σχετικό προβληματισμό και αποτελούσε το ερέθισμα για την εμπλοκή τους στην επεξεργασία των σχετικών εννοιών. Στις ιστορίες αυτές χρησιμοποιούνταν καθημερινές εμπειρίες, πειραματικά δεδομένα, νοητικά πειράματα, παράδοξα και αποσπάσματα από εκλαϊκευτικά κείμενα.

Οι ιστορίες βασίστηκαν στις δυσκολίες που συναντούν οι μαθητές σε βασικές έννοιες της ΕΘΣ, όπως είναι η σχετικότητα της κίνησης, τα συστήματα αναφοράς και οι ιδιότητες της ταχύτητας του φωτός. Οι δυσκολίες αυτές εντοπίστηκαν τόσο σε έρευνα που πραγματοποιήθηκε το 2005 όσο και στη σχετική βιβλιογραφία (Villani and Pacca 1987, Panse et al 1994, Sherr 2001)

Οι μαθητές δούλευαν σε 3 ομάδες (των 3-4 ατόμων) και καλούνταν να συζητήσουν και να απαντήσουν σε κάποιες ερωτήσεις. Οι συζητήσεις ηχογραφούνταν με στόχο να μπορούν να αναλυθούν τα επιχειρήματα που χρησιμοποιούσαν οι μαθητές και οι συλλογισμοί που ανέπτυσαν. Η κάθε ομάδα πραγματοποίησε 6 ωριαίες συναντήσεις που πραγματοποιήθηκαν εκτός διδακτικών ωρών και γι' αυτό η επιλογή των μαθητών έγινε ανάλογα με τη διαθεσιμότητά τους. Ωστόσο, η κάθε ομάδα ήταν μεικτών δυνατοτήτων. Πριν ξεκινήσουν οι συναντήσεις, οι μαθητές απάντησαν ατομικά σε ανοιχτές ερωτήσεις για το κατά πόσο γνωρίζουν τον Einstein και το έργο του και για το αν θέλουν να μάθουν περισσότερα πράγματα.

Στον πίνακα 1 φαίνεται το αντικείμενο της κάθε συνάντησης, η διδακτική πορεία που ακολουθήθηκε και το υλικό στο οποίο βασίστηκαν τα ερωτηματολόγια που επεξεργάστηκαν οι μαθητές.

**Πίνακας 1:** Παρατίθεται συνοπτικά το αντικείμενο της κάθε συνάντησης, η διδακτική πορεία που ακολουθήθηκε και το υλικό που χρησιμοποιήθηκε.

Συνάντηση	Αντικείμενο	Διδακτική πορεία	Διδακτικό υλικό
1 <sup>η</sup>	1 <sup>ο</sup> αξίωμα της ΕΘΣ	8. Κίνηση: Έννοια σχετική 9. Αναγκαιότητα εισαγωγής σημείου/συστήματος αναφοράς (ΣΑ) 10. Εφαρμογές με αλλαγές συστημάτων αναφοράς 11. Εισαγωγή της έννοιας του αδρανειακού ΣΑ (ΑΣΑ) 12. Ισοδυναμία των ΑΣΑ	Απλές ιστορίες της καθημερινής ζωής
2 <sup>η</sup>	2 <sup>ο</sup> αξίωμα της ΕΘΣ	6. Ταχύτητα του φωτός: πεπερασμένη 7. Ταχύτητα του φωτός: μέγιστη ταχύτητα στη φύση 8. Ταχύτητα του φωτός: ανεξάρτητη του συστήματος αναφοράς	9. Απόσπασμα από βιβλίο εκλαΐκευσης (“Ο χώρος και ο χρόνος του θείου Αλβέρτου”, Russell Stannard) 10. Διάλογος φίλων και χρησιμοποίηση πειραματικών δεδομένων 11. Υπολογισμός σχετικών ταχυτήτων μέσω παραδείγματος που παραβιάζονταν το μέγιστο της ταχύτητας του φωτός και χρήση εκλαϊκευτικού κειμένου (“Εικόνες της Σχετικότητας”, Epstein)
3 <sup>η</sup>	Σχετικότητα ταυτοχρονισμού	Νοητικό πείραμα με “το τρένο του Einstein”	Οπτικοποίηση του πειράματος (dvd: “Einstein, η ζωή και το έργο του”)
4 <sup>η</sup>	Διαστολή χρόνου	Υπολογισμός χρονικών διαστημάτων από δύο παρατηρητές που κινούνται με σταθερή ταχύτητα ο ένας ως προς τον άλλο	<ul style="list-style-type: none"> <li>Χρησιμοποίηση αποσπάσματος από βιβλίο εκλαΐκευσης (“Χώρος και χρόνος”, Strnad &amp; Podreka)</li> <li>Πειραματική απόδειξη (χρόνος ζωής των μιονίων) από κείμενο ημερήσιου τύπου</li> </ul>
5 <sup>η</sup>	Συστολή μήκους	Υπολογισμός μήκους από δύο παρατηρητές που κινούνται με σταθερή ταχύτητα ο ένας ως προς τον άλλο	Παράδειγμα από βιβλίο εκλαΐκευσης (“Εικόνες της Σχετικότητας”, Epstein)
6 <sup>η</sup>	Αξιολόγηση	4. Αναφορά στα βασικά σημεία της θεωρίας 5. Εντοπισμός διαφορών της ΕΘΣ με την κλασική φυσική 6. Αξιολόγηση της διαδικασίας	Απόσπασμα από βιβλίο εκλαΐκευσης (“Οι περιπέτειες του κ. Τόμπκινς”, Gamow)



## Αποτελέσματα και σχολιασμός της ποιοτικής έρευνας

### *Αποτελέσματα από τα ατομικά ερωτηματολόγια*

Από την ανάλυση των αρχικών ερωτηματολογίων προκύπτει ότι όλοι οι μαθητές γνωρίζουν τον Einstein ως εικόνα. 5 στους 10 μαθητές γνωρίζουν πότε περίπου έζησε. Οι υπόλοιποι δεν απαντούν παρόλο που υπάρχει σχετική ερώτηση. 3 μαθητές σχολιάζουν τις επιδόσεις του στο σχολείο (θέμα ιδιαίτερα δημοφιλές ανάμεσα στους μαθητές) και τις λειτουργίες του μυαλού του (αν ήταν δυσλεκτικός, ποιο τμήμα του εγκεφάλου του χρησιμοποιούσε). Δύο αναφέρονται στη σχέση του με τον Καραθεοδωρή. Όλοι γνωρίζουν ότι διατύπωσε την Ειδική Θεωρία της Σχετικότητας, κανένας όμως δεν είναι σε θέση να δώσει κάποια στοιχεία της θεωρίας. Ωστόσο 2 μαθητές αναφέρονται στη σχέση του με την ανακάλυψη της πυρηνικής βόμβας. Σε κάποιες περιπτώσεις συγγέουν την ειδική θεωρία της Σχετικότητας με άλλα θέματα σύγχρονης φυσικής (ένας μαθητής μιλά για την τυχειότητα) ενώ αρκετοί βγάζουν συμπεράσματα αποκλειστικά από το όνομά της (όλα είναι σχετικά κλπ.).

Παρά το μικρό δείγμα των μαθητών όλα αυτά δίνουν μία ένδειξη του πόσο δημοφιλής ως προσωπικότητα είναι ο Einstein, της παραφιλολογίας που σε πολλές περιπτώσεις έχει αναπτυχθεί, αλλά και της ταυτόχρονης άγνοιας του επιστημονικού του έργου.

Στις ερωτήσεις για το κατά πόσο θα ήθελαν να μάθουν κάποια στοιχεία όλοι απαντούν θετικά (γεγονός που αποδεικνύεται και από την παρουσία τους), αλλά ο λόγος για το ενδιαφέρον αυτό είναι κυρίως το γεγονός ότι αποτελεί μία δημοφιλή θεωρία που, όπως υποστηρίζουν, ακούν να αναφέρεται συχνά και “δε δικαιολογείται να μην ξέρουν τι λέει”. Ένας μόνο μαθητής απαντά ξεκάθαρα ότι τον ενδιαφέρει για να καταλάβει πώς λειτουργεί ο κόσμος.

### *Αποτελέσματα της 1<sup>ης</sup> συνάντησης*

Στην πρώτη ιστορία που ξεκινά η συζήτηση των μαθητών και έχουν να σχολιάσουν μέσω συγκεκριμένου παραδείγματος για το πότε ένα σώμα κινείται, εξαιτίας της καθημερινής τους εμπειρίας, η συζήτηση γίνεται ιδιαίτερα έντονη. Στην πλειονότητα των μαθητών υπάρχει η αντίληψη για απόλυτη κίνηση, υπονοώντας ως προνομιακό σύστημα αναφοράς τη γη. Άρα όταν κάποιο σώμα αλλάζει θέση στη γη, κινείται. Μόνο ένας μαθητής αναφέρθηκε απευθείας στην έννοια του συστήματος αναφοράς και μπόρεσε να πείσει τα μέλη της υπόλοιπης ομάδας του ότι η κίνηση είναι έννοια σχετική και ότι, για να αποφασίσουμε αν ένα σώμα κινείται, πρέπει να προσδιορίσουμε το σύστημα αναφοράς. Όταν στη συνέχεια τους ζητείται να δώσουν το παράδειγμα ενός σώματος που παραμένει ακίνητο, συνειδητοποιούν ότι τα σώματα που αναφέρουν βρίσκονται πάνω στη γη και άρα δεν μπορούν να θεωρηθούν ακίνητα. Οι άλλες δύο ομάδες, λοιπόν, εκείνη τη χρονική στιγμή αναρωτήθηκαν για το πότε ένα σώμα κινείται και συζητήθηκε η έννοια του συστήματος αναφοράς.

Στη συζήτηση αυτή γίνεται εμφανής και η έλλειψη κατανόησης των νόμων του Newton που έχουν διδαχτεί τόσο κατά την προηγούμενη σχολική χρονιά, όσο και στην αρχή της χρονιάς που πραγματοποιήθηκε η έρευνα. Εκφράζουν δηλαδή την άποψη ότι ένα σώμα κινείται όταν καταναλώνει ενέργεια (ή βενζίνη), συμπεριλαμβάνοντας και την ευθύγραμμη και ομαλή κίνηση. Στην επόμενη ιστορία με τις αλλαγές των συστημάτων αναφοράς δείχνουν να μην έχουν πρόβλημα να διαχειριστούν τις καταστάσεις που τους παρουσιάζονται. Γίνεται κάθε φορά μία συζήτηση για το ποιο σύστημα αναφοράς θα χρησιμοποιήσουν, αλλά τελικά μπορούν και απαντούν. Στην τελευταία όμως πρόταση για το αν η κίνηση του σταθμού είναι φαινομενική η μία ομάδα επανέρχεται και απαντά ότι δεν είναι φαινομενική, αφού η γη κινείται. Άρα δείχνουν ξανά την αντίληψή τους για απόλυτη κίνηση, μόνο που αυτή τη φορά ως προνομιακό σύστημα

αναφοράς θέτουν τον ήλιο. Το ίδιο τείνουν να κάνουν και άτομα μίας ακόμα ομάδας, όμως τα επαναφέρουν οι συμμαθητές τους, υποστηρίζοντας ότι δεν υπάρχει φαινομενική κίνηση και εξαρτάται ποιο σύστημα αναφοράς θα χρησιμοποιήσουμε.

Η επόμενη ιστορία που έχουν να διαπραγματευτούν για το πώς μπορούν να καταλάβουν αν κινούνται, αντιμετωπίζεται με τον ίδιο τρόπο από όλες τις ομάδες. Προσπαθούν να σκεφτούν τι βλέπουν ή τι ακούν και όταν αυτή η δυνατότητα αποκλείεται, σκέφτονται για αρκετή ώρα θέτοντας τους εαυτούς τους μέσα σε ένα μεταφορικό μέσο. Τότε θυμούνται πώς αισθάνονται όταν στρίβουν και σταδιακά συνειδητοποιούν ότι αυτό που αντιλαμβάνονται είναι οι μεταβολές της ταχύτητας. Έτσι σταδιακά καταλήγουν ότι δεν μπορούν να καταλάβουν αν βρίσκονται σε ένα σύστημα που είναι ακίνητο ή κινείται ευθύγραμμα και ομαλά και ότι τα συστήματα αυτά είναι ισοδύναμα.

#### *Αποτελέσματα της 2<sup>ης</sup> συνάντησης*

Σε σχέση με την ταχύτητα του φωτός, όλες οι ομάδες γνώριζαν ότι η ταχύτητα του φωτός στο κενό είναι 300.000km/s καθώς το έχουν διδαχτεί στη Β' γυμνασίου. Επίσης, υποστήριζαν ότι είναι η μεγαλύτερη ταχύτητα που υπάρχει. Έτσι δε δυσκολεύτηκαν να σχολιάσουν την ιστορία που διαπραγματευόταν το γεγονός ότι το φως δε διαδίδεται ακαριαία. Και οι τρεις ομάδες όμως υποστήριζαν ότι η ταχύτητα του φωτός ίσως και να ξεπεραστεί, αν αναπτυχθούν τα κατάλληλα τεχνολογικά μέσα. Γι' αυτό το λόγο κρίθηκε απαραίτητο να δοθούν στους μαθητές πειραματικά δεδομένα, διατυπωμένα σε απλή γλώσσα, που δείχνουν πως η ταχύτητα του φωτός δεν μπορεί να προσεγγιστεί όχι λόγω έλλειψης τεχνικών μέσων, αλλά εξαιτίας των νόμων της φύσης. Οι μαθητές δέχτηκαν την άποψη αυτή (αφού σχολίασαν ότι δεν μπορούν να αμφισβητήσουν το πείραμα) και απάντησαν σωστά σε μία απλή ιστορία όπου δύο ακτίνες φωτός κυνηγούν η μία την άλλη. Δεν μπορούμε να ισχυριστούμε ωστόσο ότι οι μαθητές είναι σε θέση να κατανοήσουν σε βάθος αυτή την ιδιότητα του φωτός, καθώς τα δεδομένα δεν επαρκούν για την εξαγωγή αυτού του συμπεράσματος.

Στην επόμενη ιστορία, τους ζητείται να υπολογίσουν την ταχύτητα του φωτός όταν η πηγή βρίσκεται πάνω σε ένα τρένο αρχικά ακίνητο, που όμως στη συνέχεια αρχίζει να κινείται. Έτσι φτάνουν στο σημείο εφαρμόζοντας τους μετασχηματισμούς του Γαλιλαίου να υπολογίζουν ότι υπάρχει μία ταχύτητα μεγαλύτερη από την ταχύτητα του φωτός. Καταλήγουν λοιπόν σε ένα παράδοξο γεγονός, που τους οδηγεί σε αδιέξοδο. Με αυτόν τον τρόπο δείχνουν έτοιμοι να δεχτούν μία παραδοχή που θα τους βοηθήσει να το ξεπεράσουν και η απάντηση δίνεται από το δεύτερο αξίωμα της ειδικής θεωρίας της σχετικότητας. Στο σημείο αυτό οι μαθητές δείχνουν να μπορούν να ακολουθούν τους συλλογισμούς που αναπτύσσονται καθώς τα επιχειρήματα τους φαίνονται λογικά. Αυτό όμως δε σημαίνει ότι τα αφομοιώνουν και τα κατανοούν πλήρως, καθώς η αντίθεση με την καθημερινή τους εμπειρία είναι δεδομένη. Γι' αυτό οι συζητήσεις σταματούν να είναι έντονες. Δυσκολεύονται, αλλά δεν είναι σε θέση να προβάλουν επιχειρήματα υπέρ μίας άλλης άποψης. Η στάση αυτή διατηρείται και κατά τη διαχείριση των συνεπειών.

#### *Αποτελέσματα της 3<sup>ης</sup> συνάντησης*

Οι μαθητές δείχνουν πολύ μεγάλο ενδιαφέρον όταν παρακολουθούν την οπτικοποίηση του νοητικού πειράματος με το τρένο του Einstein. Δυσκολεύονται όμως να φτάσουν στη διατύπωση του γενικότερου συμπεράσματος για τη σχετικότητα του ταυτοχρονισμού. Και στις τρεις ομάδες, δηλαδή, ακούγεται ισχυρά η άποψη ότι και οι δύο παρατηρητές έχουν δίκιο γι' αυτό που υποστηρίζουν, αφού αυτό βλέπουν, αλλά τα γεγονότα στην πραγματικότητα είναι ταυτόχρονα. Δηλαδή, υπάρχει στο βάθος η άποψη ότι ο ταυτοχρονισμός είναι έννοια απόλυτη, ανεξάρτητα από το γεγονός ότι οι παρατηρητές αντιλαμβάνονται διαφορετικά πράγματα.



#### *Αποτελέσματα της 4<sup>ης</sup> συνάντησης*

Στη συνάντηση για τη διαστολή του χρόνου οι μαθητές ακολουθούν το συλλογισμό που αναπτύσσεται. Είναι σε θέση να αντιστρέψουν τους παρατηρητές όταν αυτό τους ζητείται. Δυσκολεύονται όμως να συνειδητοποιήσουν ότι όλα όσα περιγράφονται είναι η πραγματικότητα και όχι μια λάθος αντίληψή της, καθώς κάτι τέτοιο έρχεται σε αντίθεση με τις εμπειρίες τους.

#### *Αποτελέσματα της 5<sup>ης</sup> συνάντησης*

Αντίστοιχα είναι τα αποτελέσματα και στην επόμενη συνάντηση για τη συστολή του μήκους. Στο σημείο αυτό οι μαθηματικοί υπολογισμοί δείχνουν να δυσκολεύουν τους μαθητές ακόμα περισσότερο, ενώ αξιολογημένο είναι το γεγονός ότι η φράση “διαστολή του χρόνου” που πρέπει να χρησιμοποιήσουν τους δημιουργεί πρόβλημα. Παρόλο που έχουν διαπραγματευτεί το θέμα αυτό στην προηγούμενη συνάντηση, όταν καλούνται να κάνουν κάποιους υπολογισμούς, τείνουν να θεωρούν ότι ο παρατηρητής, για τον οποίο συμβαίνει η διαστολή του χρόνου, θα μετρά με το ρολόι του μεγαλύτερο χρονικό διάστημα (ενώ στην πραγματικότητα συμβαίνει το αντίθετο).

#### *Αποτελέσματα της 6<sup>ης</sup> συνάντησης*

Στο τέλος, η ιστορία του κ. Τόμπκινς δείχνει να βοηθά σε σημαντικό βαθμό, καθώς τους δίνει τη δυνατότητα να σχηματίσουν εικόνες στο μυαλό τους με τις συνέπειες της ΕΘΣ. Μπορούν να διατυπώνουν τα αξιώματα και τις συνέπειες, δε φαίνεται όμως να είναι σε θέση να θυμηθούν τους αρχικούς συλλογισμούς, ώστε να τα δικαιολογήσουν. Πιθανόν αυτό να οφείλεται στη δυσκολία των συλλογισμών αυτών: ήταν σε θέση να τους ακολουθήσουν, αλλά όχι να τους αναπαράγουν. Τα πειραματικά δεδομένα αποτελούν ισχυρά εργαλεία για τους μαθητές προκειμένου να πειστούν ότι όλα όσα περιγράφονται από την ΕΘΣ συμβαίνουν στην πραγματικότητα. Σε σχέση με την επισήμανση βασικών διαφορών της νευτώνειας φυσικής και της ειδικής θεωρίας της σχετικότητας, η μία ομάδα απαντά με μεγάλη ακρίβεια δίνοντας κωδικοποιημένες απαντήσεις, η δεύτερη ομάδα εστιάζει στο πότε ισχύει η κάθε θεωρία, ενώ η τρίτη ομάδα δείχνει να μην μπορεί να τις εντοπίσει. Χαρακτηριστικά αναφέρει ότι “Οι νόμοι του Newton είναι πιο εύκολα αντιληπτοί”. Στην ερώτηση “τι σας εντυπωσίασε”, όπως ήταν αναμενόμενο, αναφέρουν τις συνέπειες. Μόνο η μία ομάδα τονίζει ότι η συστολή του μήκους τη δυσκόλεψε.

Ως προς τον τρόπο εργασίας, όλοι οι μαθητές ήταν θετικοί στο να δουλεύουν σε ομάδες, παρόλο που η μία ομάδα αρχικά είχε δυσκολευτεί στη συνεργασία. Το γεγονός ότι δε χρησιμοποιήθηκαν μαθηματικά για τους περισσότερους μαθητές ήταν θετικό, αν και υπήρξε ένας μαθητής που υποστήριξε ότι θα του ήταν πιο εύκολο να τα καταλάβει αν χρησιμοποιούνταν μαθηματικοί τύποι.

### **Συμπεράσματα**

Συνολικά, στην έρευνα αυτή ήταν προφανής η άποψη των μαθητών ότι η κίνηση είναι έννοια απόλυτη, ακόμα κι αν οι παρατηρητές αντιλαμβάνονται διαφορετικά τα πράγματα (Villani & Passa, 1987). Σε πολλές περιπτώσεις έδιναν σωστές απαντήσεις, υπονοώντας όμως ότι υπάρχει απόλυτο σύστημα αναφοράς (η γη ή ο ήλιος), κάτι που σημαίνει ότι πρέπει να διερευνήσουμε σε βάθος τα λεγόμενά τους, προκειμένου να εντοπίσουμε τις ιδέες τους. Παράλληλα, αν και είναι σε θέση να διατυπώνουν τους νόμους του Newton, στην πράξη τα όσα υποστηρίζουν ουσιαστικά αποτελούν αριστοτελικές αντιλήψεις (Palfreyman, 1994, Ireson, 1996)

Για την ταχύτητα του φωτός γνωρίζουν την τιμή της, αλλά πιστεύουν ότι είναι μέγιστη λόγω ανεπάρκειας της τεχνολογίας. Δείχνουν, δηλαδή, υπερβολική εμπιστοσύνη στην τεχνολογία και στο πού μπορεί να φτάσει.

Τα πειραματικά δεδομένα όπου χρησιμοποιήθηκαν ήταν πειστικά, ακόμα κι αν δε γίνονται πλήρως κατανοητά.

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, οι μαθητές ακολούθησαν τους συλλογισμούς που αναπτύσσονταν, χωρίς να μπαίνουν στη διαδικασία να τους αμφισβητήσουν. Γενικά, το κύρος του Einstein και το γεγονός ότι η θεωρία είναι δημοφιλής έδινε ένα “κίνητρο” στους μαθητές για να δεχτούν ότι ισχύουν όσα μελετούσαν, χωρίς να αμφισβητούν τα όσα τους παρουσιάζονταν. Αυτό ισχύει ακόμα και σε ανθρώπους που έχουν μελετήσει πιο επισταμένα Φυσική (Hewson 1982, Pietrocola & Zylbersztajn, 1999). Η αντιμετώπισή τους όμως φανερώνει ότι όλα αυτά ισχύουν “κάπου έξω από μας”. Άρα, πρέπει να τονιστεί σε μεγαλύτερο βαθμό ότι η ΕΘΣ ισχύει πάντα, αλλά οι συνέπειές της δεν είναι εμφανείς και ότι η νευτώνεια φυσική είναι αυτή που έχει περιορισμούς.

Αξιοσημείωτο είναι ότι έδειχναν περισσότερο πρόθυμοι να δεχτούν τη διαστολή του χρόνου, παρά τη συστολή του μήκους, κάτι που επιβεβαιώνεται και από τη βιβλιογραφία (Hewson 1982, Machold 1983). Πιθανόν αυτό να έχει να κάνει με το γεγονός ότι το μήκος των αντικειμένων αποτελεί μία πιο συγκεκριμένη και απτή ιδιότητα, σε σχέση με τη χρονική διάρκεια.

Γενικότερα, τις συνέπειες τις αντιμετωπίζουν ως διαφορετικές απόψεις των παρατηρητών. Δε θεωρούν ότι οι παρατηρητές κάνουν λάθος, υποστηρίζουν όμως ότι τελικά η πραγματικότητα βρίσκεται κάπου αλλού (Angotti et al 1978, Hewson 1982)

Σημαντικά εργαλεία στην προσέγγιση της θεωρίας αποδείχτηκαν τα νοητικά πειράματα (Velentzas et al, 2007) και τα εκλαϊκευτικά κείμενα που υπάρχουν. Ο τρόπος που είναι διατυπωμένα, δίνει την ευκαιρία στους μαθητές να τα επεξεργαστούν και να τα κατανοήσουν και να ασχοληθούν με θέματα που υπό διαφορετικές συνθήκες θα ήταν εξαιρετικά δύσκολο να προσεγγιστούν. Επίσης, οι οπτικοποιήσεις βοηθούν τους μαθητές να αποκτούν μία πιο ξεκάθαρη εικόνα όσων περιγράφονται (Angotti et al, 1978). Ως προς τη χρήση των μαθηματικών, ήταν φανερό ότι ειδικά οι μαθητές με τις καλύτερες επιδόσεις στο σχολείο έχουν μάθει να δουλεύουν με τον τρόπο αυτό και μία διαφορετική αντιμετώπιση φαίνεται να τους δυσκολεύει. Από την άλλη όμως, οι μαθητές που δυσκολεύονται με τα μαθηματικά έδειξαν αυξημένο ενδιαφέρον στο να προσεγγίσουν τη φυσική με περισσότερο ποιοτικό τρόπο και τελικά αποδεικνύεται ότι η ποιοτική αντιμετώπιση φανερώνει τις δυσκολίες που αντιμετωπίζουν οι μαθητές και που υπό άλλες συνθήκες “κρύβονται” πίσω από τα μαθηματικά (Angotti et al, 1978).

Η ανταλλαγή απόψεων μεταξύ των μαθητών βοήθησε στο να επεξεργαστούν και οι ίδιοι τα όσα υποστήριζαν, προκειμένου να βρουν επιχειρήματα για να πείσουν τους συμμαθητές τους. Επίσης, η συνεργασία τους έδειξε ότι δεν υπήρχαν οι διαχωρισμοί των “καλών” και “κακών” μαθητών, πιθανόν και λόγω του γεγονότος ότι οι συναντήσεις πραγματοποιούνταν εκτός σχολικού πλαισίου.

Τελικά, είναι γεγονός ότι η ειδική θεωρία της σχετικότητας αποτελεί ένα ιδιαίτερα απαιτητικό αντικείμενο, δύσκολο να προσεγγιστεί από μαθητές λυκείου, αλλά ταυτόχρονα πολύ ελκυστικό. Ακόμα και το γεγονός, όμως, ότι όλοι οι μαθητές προβληματίστηκαν στο κατά πόσο αυτό που παρατηρούμε είναι κι αυτό που συμβαίνει και στο αν είμαστε προνομαικοί παρατηρητές, αποτελεί ένα ιδιαίτερα θετικό σημείο για τον τρόπο σκέψης των μαθητών.

## Βιβλιογραφία

Erstein L., (1985). Εικόνες της Σχετικότητας – τόμ. 1. Ειδική Θεωρία, εκδόσεις Κάτοπτρο, (μετάφραση Αλ. Μάμαλης, 1990).



- Gamow G., (1995). Οι περιπέτειες του κ. Τόμπκινς, εκδόσεις Δίαυλος.
- Stannard R., (1989). Ο χρόνος και ο χώρος του θείου Αλβέρτου, εκδόσεις Κάτοπτρο.
- Strnad J. & Podreka E., (1993). Χώρος και χρόνος, (Απόδοση στα Ελληνικά Α.Ι.Κασσέτας), εκδόσεις Σαββάλας, 1996.
- Τσαλαπάκης Α., (2005). The theory of Relativity in Primary Education, paper presented in 2<sup>nd</sup> International Conference, Hands-on Science: Science in a changing Education, held in University of Crete campus at Rethymno-Greece.
- Angotti J. A. P., Caldas I. L, Delizoicov Neto D., Rüdinger E., Pernambuco M. M. C. A, (1978). Teaching Relativity with a different philosophy, Am. J. Phys. 46 (12).
- Arriasecq, I. & Greca, I. M., (2007). Approaches to the Teaching of Special Relativity Theory in High School and University Textbooks of Argentina, Science & Education 16: 65-86.
- Borghi, L., De Ambrossis, A. & Ghisolfi, E. (1993). Teaching Special Relativity in High School, Third Misconceptions Seminar Proceedings.
- Dimitriadi K., Halkia K. & Skordoulis C. (2005). Basic concepts of Special Theory of Relativity: Do students understand them?, Proceedings of ESERA Conference 2005, Barcelona, Spain.
- Hewson, P., (1982). A Case Study of Conceptual Change in Special Relativity: The Influence of Prior Knowledge in Learning, European Journal of Science Education, 4, 61-76.
- Ireson, G., (1996). Relativity at A-level: A looking glass approach, Physics Education 31 (65), 356-361.
- Machold, A., (1983). Zur qualitativen Behandlung der speziellen Relativitaetstheorie, Der Physikunterricht 1, s.39-49.
- Palfreyman, N., (1994). Relativity on a single sheet, Physics Education 29, p.217-221.
- Panse, S., Ramadas J. and Kumar A., (1994). Alternative Conceptions in Galilean Relativity: frames or reference. International Journal of Science Education, 16, no1, 63-82.
- Pietrocola, M. and 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, no3, 261-276.
- Scott, P., Asoko, H. and Leach, J., (2007). Student Conceptions and Conceptual Learning in Science. Handbook of Research on Science Education, Edited by S. Abell and N.G.Lederman, Lawrence Erlbaum Ass. Inc., pp31-56.
- Scherr, R. E., (2001). An Investigation of Student Understanding of Basic Concepts in Special Relativity, PHD Thesis.
- Taylor, S,P, (1993). Collaborating to reconstruct teaching: The influence of Researcher beliefs, in The Practice of Constructivism in Science Education, edit. Kenneth Tobin, Lawrence Erlbaum Associates, USA.

Veletzas, A., όνομα συγγραφέα 2 and όνομα συγγραφέα 3., (2007). Thought experiments in the Theory of Relativity and in Quantum Mechanics: Their Presence in Textbooks and in Popular Science Books, *Science & Education* 16:353-370.

Villani, A. and Arruda, S., (1998). Special Theory of Relativity, Conceptual Change and History of Science. *Science & Education*, 7, 85-100.

Villani, A. and Pacca, L., (1987). Students' spontaneous ideas about the speed of Light. *International Journal of Science Education*, 9, no1, 55-66.

Στοιχεία για το dvd που χρησιμοποιήθηκε:

“Einstein, η ζωή και το έργο του” 1996,2004 WGBH Educational Foundation.

A NOVA production by Green Umbrella Ltd. for WGBH/Boston in association with BBC-TV and Sveriges Television, Produced by Peter Jones and Thomas Levenson, written by Thomas Levenson, directed by Peter Jones.