

# **ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ**

ΣΧΟΛΗ ΑΝΘΡΩΠΙΣΤΙΚΩΝ & ΚΟΙΝΩΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΠΑΙΔΑΓΩΓΙΚΟ ΤΜΗΜΑ ΔΗΜΟΤΙΚΗΣ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗΣ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ

**«ΣΥΓΧΡΟΝΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΑ ΜΑΘΗΣΗΣ & ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΔΙΔΑΚΤΙΚΟΥ  
ΥΛΙΚΟΥ»**

## **ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**«Ανά-γνωση της γαλιλαϊκής σχετικότητας από υποψήφιους δασκάλους:  
δυσκολίες και μαθησιακή πορεία»**

**του**

**ΥΦΑΝΤΗ ΧΡΗΣΤΟΥ**

**Α' Επιβλέπων Καθηγητής : Ασημόπουλος Στέφανος**

**Β' Επιβλέπων Καθηγητής: Τριανταφυλλίδης Α. Τριαντάφυλλος**

**Γ' Επιβλέπων Καθηγητής: Κόλλιας Βασίλειος**

**ΒΟΛΟΣ, 2016**

# **ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ**

ΣΧΟΛΗ ΑΝΘΡΩΠΙΣΤΙΚΩΝ & ΚΟΙΝΩΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΠΑΙΔΑΓΩΓΙΚΟ ΤΜΗΜΑ ΔΗΜΟΤΙΚΗΣ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗΣ

**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ**

**«ΣΥΓΧΡΟΝΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΑ ΜΑΘΗΣΗΣ & ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΔΙΔΑΚΤΙΚΟΥ  
ΥΛΙΚΟΥ»**

## **ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**«Ανά-γνωση της γαλιλαϊκής σχετικότητας από υποψήφιους δασκάλους:  
δυσκολίες και μαθησιακή πορεία»**

**του**

**ΥΦΑΝΤΗ ΧΡΗΣΤΟΥ**

**Α΄ Επιβλέπων Καθηγητής : Ασημόπουλος Στέφανος**

**Β΄ Επιβλέπων Καθηγητής: Τριανταφυλλίδης Α. Τριαντάφυλλος**

**Γ΄ Επιβλέπων Καθηγητής: Κόλλιας Βασίλειος**

**ΒΟΛΟΣ, 2016**

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	5
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	6
ABSTRACT.....	7
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	8

### Μέρος Α΄

1. Τα αδρανειακά συστήματα αναφοράς και η γαλιλαϊκή σχετικότητα.....	10
1.1. Τα αδρανειακά συστήματα αναφοράς.....	10
1.2. Η γαλιλαϊκή σχετικότητα.....	11
2. Οι εναλλακτικές ιδέες για τις έννοιες της γαλιλαϊκής κινηματικής.....	14
3. Το διδακτικό υλικό των συναντήσεων/διδακτικών παρεμβάσεων.....	17
3.1. Το θεωρητικό πλαίσιο της κατασκευής του διδακτικού υλικού.....	17
3.2. Η περιγραφή του διδακτικού υλικού.....	22
4. Προκαταρκτική ανίχνευση των ιδεών των φοιτητών.....	25
5. Τα ερευνητικά ερωτήματα της εμπειρικής έρευνας.....	27

### Μέρος Β΄

6. Μεθοδολογία της έρευνας.....	28
6.1. Συμμετέχοντες.....	29
6.2. Εργαλεία συλλογής δεδομένων.....	30
6.3. Ερευνητικός σχεδιασμός.....	31
6.4. Ανάλυση των δεδομένων.....	34
7. Τα αποτελέσματα της κυρίως εμπειρικής έρευνας.....	36
7.1. Τα αποτελέσματα της πρώτης δραστηριότητας.....	37
7.2. Τα αποτελέσματα της δεύτερης μέχρι και την πέμπτη δραστηριότητα.....	38
7.2.1. Η αμεταβλητότητα των στιγμιαίων αποστάσεων.....	38
7.2.2. Η αμεταβλητότητα των χρονικών διαστημάτων.....	39
7.2.3. Προσδιορισμός, μετασχηματισμός και σχετικότητα των αποστάσεων.....	40
7.2.4. Υπολογισμός, μετασχηματισμός και σχετικότητα της ταχύτητας.....	45
7.3. Τα αποτελέσματα της έκτης δραστηριότητας.....	49
7.4. Τα αποτελέσματα των δομημένων συνεντεύξεων.....	51

8. Συζήτηση των αποτελεσμάτων, περιορισμοί της έρευνας, προτάσεις για μελλοντική έρευνα.....	53
8.1. Συζήτηση των αποτελεσμάτων της κυρίως εμπειρικής έρευνας.....	54
8.2. Περιορισμοί της έρευνας.....	56
8.3. Προτάσεις για μελλοντική έρευνα.....	57
9. Βιβλιογραφικές αναφορές.....	59
10. Παράρτημα.....	62
10.1. Το ερωτηματολόγιο της αρχικής ανίχνευσης των ιδεών.....	62
10.2. Το διδακτικό υλικό της κυρίως εμπειρικής έρευνας.....	64

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Για την ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής, θέλω πρωτίστως να ευχαριστήσω τον κ. Στέφανο Ασημόπουλο, Επίκουρο Καθηγητή του Παιδαγωγικού Τμήματος Δημοτικής Εκπαίδευσης του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας. Στις πολύωρες συναντήσεις μας λύθηκαν πολλά από τα προβλήματα που μου φάνταζαν ανυπέρβλητα. Η συνεχής του καθοδήγηση, υποστήριξη, ενθάρρυνση και ενίσχυση της προσπάθειάς μου, ήταν πολύτιμη για τη συνέχιση και την ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας.

Θα ήθελα ακόμα, να ευχαριστήσω τους κ. Τριαντάφυλλο Α. Τριανταφυλλίδη, Αναπληρωτή Καθηγητή και κ. Βασίλη Κόλλια, Επίκουρο Καθηγητή, για τις ουσιαστικές μας συζητήσεις. Η υποστήριξή τους σε πολύ κρίσιμα σημεία της όλης διαδικασίας διευκόλυνε σημαντικά την περάτωση της εργασίας.

Ένα ακόμη, μεγάλο ευχαριστώ σε όλους εκείνους τους φοιτητές που πρόθυμα συμμετείχαν στις δίωρες συναντήσεις, αλλά και στη συμπλήρωση των αρχικών ερωτηματολογίων. Η διάθεσή τους να συμμετάσχουν στην έρευνα βοήθησε στην ομαλή υπέρβαση όλων εκείνων των εμποδίων αναφορικά με τη διαθεσιμότητά τους.

Παράλειψη θα ήταν η παραγνώριση της συμβολής των ερευνητών που συμμετείχαν στην εργασία ως μη συμμετοχικοί παρατηρητές. Ευχαριστώ λοιπόν, τη Γεωργία Μπαμπάτσικου, τη Βάνα Μπακάλη, τη Δέσποινα Σπύρου και τον Παναγιώτη Ταμπάκη για τη διάθεση του χρόνου και ιδίως για τις επισημάνσεις και τα σχόλια τους.

Κλείνοντας, θέλω να ευχαριστώ τους γονείς μου, Παναγιώτη και Βασιλική, τον αδερφό μου, Βαγγέλη και όλους τους φίλους μου για τη συνεχή συμπαράσταση σε όλα τα επίπεδα.

Ευχαριστώ.

Χρήστος Υφαντής

Τυμφρηστός, 2016

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσας έρευνας ήταν η διερεύνηση και η αποτύπωση των διαδικασιών διδασκαλίας και μάθησης υποψήφιων δασκάλων για να κατανοήσουν τις έννοιες της γαλιλαϊκής κινηματικής. Στην έρευνα συμμετείχαν δευτεροετείς φοιτητές του Παιδαγωγικού Τμήματος Δημοτικής Εκπαίδευσης. Τα δεδομένα συλλέχθηκαν μέσω της μεθόδου του διδακτικού πειράματος. Η ποιοτική ανάλυση των δεδομένων μέσω της συνεχούς συγκριτικής μεθόδου κατέδειξε ότι οι συμμετέχοντες είναι σε θέση να διαχειριστούν τις βασικές έννοιες της γαλιλαϊκής σχετικότητας. Ωστόσο, απαιτείται η αρχική εισαγωγή της αναγκαιότητας προσδιορισμού του συστήματος αναφοράς, καθώς και η προώθηση της εννοιολογικής κατανόησης για την ταχύτητα. Η τελική αναστοχαστική ανάλυση ανέδειξε επισημάνσεις για τη μελλοντική αξιοποίηση του διδακτικού υλικού το οποίο κατασκευάστηκε για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας.

*Λέξεις κλειδιά:* γαλιλαϊκή σχετικότητα, σχετικότητα, αναλλοίωτο, υποψήφιοι εκπαιδευτικοί, διδακτικό πείραμα.

## ABSTRACT

The purpose of this study was to investigate and to document the teaching and learning processes of pre-service teachers to understand basic concepts of Galilean kinematics. The participants were sophomores of the Department of Primary Education. Data obtained through the teaching experiment method. Qualitative analysis of data through the constant comparative method of analysis showed that the participants are able to manage the basic concepts of Galilean Relativity. However, prerequisites are the introduction of the need to define a reference frame and the promotion of conceptual understanding of velocity. The final retrospective analysis indicated some implications for the future use of the teaching materials constructed for carrying out the teaching experiment.

*Key-words:* Galilean relativity, relativity, invariance, pre-service teachers, teaching experiment method

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι θεωρίες της Φυσικής του 20ου αιώνα ανέτρεψαν ριζικά την κλασσική θεώρηση του κόσμου η οποία ήταν σε μεγάλο βαθμό συμβατή με την ανθρώπινη εμπειρία (Ford, 1980). Η συμπερίληψη των θεωριών αυτών στις προσπάθειες αναθεώρησης των προγραμμάτων σπουδών των Φυσικών Επιστημών, αποτελεί αντικείμενο συνεχούς διαλόγου της επιστημονικής κοινότητας (Arriassecq & Greca, 2012). Καίριας σημασίας ρόλο στην προώθηση του διαλόγου δύναται να επιτελέσει η έρευνα της Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών. Η δυνατότητα εισαγωγής των θεωριών στις διάφορες βαθμίδες μπορεί να διαφανεί από τα αποτελέσματα της διερεύνησης του βαθμού στον οποίο οι μαθητές μπορούν να διαχειριστούν τις βασικές έννοιες των θεωριών, έπειτα βέβαια από την εμπλοκή σε μαθησιακές διαδικασίες (Scherr, Shaffer, & Vokos, 2001). Η έρευνα ακόμα, μπορεί να αναδείξει τους τρόπους εκείνους με τους οποίους μπορεί να υποστηριχθεί η εμβάθυνση της κατανόησης των εννοιών (Scherr και συν., 2001).

Στη βιβλιογραφία που αφορά στη Σχετικότητα, έχει ήδη καταγραφεί η δυνατότητα μαθητών οι οποίοι φοιτούν στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση να διαχειριστούν τις βασικές έννοιες και ιδέες της Ειδικής Θεωρίας της Σχετικότητας (Δημητριάδη, 2012). Ωστόσο, στη διδακτορική αυτή διατριβή υπογραμμίζεται η επιτακτικότητα της κατάκτησης των προ-απαιτούμενων εννοιών της γαλιλαϊκής κινηματικής και της μη-σχετικιστικής μηχανικής, γνώσεις που μπορούν να ενισχύσουν τη μάθηση της Ειδικής Θεωρίας.

Η ανασκόπηση των ερευνών που αφορούν στη γαλιλαϊκή κινηματική αναδεικνύει έρευνες των οποίων ο βασικός σκοπός ήταν η καταγραφή των εναλλακτικών ιδεών πληθυσμών της δευτεροβάθμιας και της τριτοβάθμιας εκπαίδευσης. Η μαθησιακή ανταπόκριση στην προαναφερθείσα θεματική δεν έχει αποτελέσει αντικείμενο έρευνας. Στην παρούσα λοιπόν, εργασία κεφαλαιοποιείται η προ-υπάρχουσα ερευνητική βάση και επιχειρείται η διερεύνηση των διαδικασιών διδασκαλίας και μάθησης υποψήφιων εκπαιδευτικών για τις βασικές έννοιες των γαλιλαϊκής κινηματικής. Ως σκοπός δηλαδή, της παρούσας εργασίας τέθηκε η μελέτη της ανάπτυξης των ιδεών των φοιτητών, των δυσκολιών που αντιμετωπίζουν στην προσπάθεια χειρισμού των εννοιών και των τρόπων υπέρβασης-αντιμετώπισης των δυσκολιών αυτών.

Το θεωρητικό πλαίσιο για τη μάθηση προσδιορίζεται από την εννοιολογική αλλαγή, καθώς εκείνη «αναδεικνύει τα μαθησιακά μονοπάτια από τις προ-διδασκαλίας έννοιες προς τις προς μάθηση επιστημονικές» (Duit & Treagust, 2003, σελ. 673). Βάσει αυτού, επιλέχθηκε ως εργαλείο συλλογής των δεδομένων της κυρίως εμπειρικής έρευνας, το διδακτικό πείραμα



(teaching experiment) το οποίο «εξυπηρετεί την κατασκευή μοντέλων εννοιολογικής αλλαγής» (Steffe & Thompson, 2000, σελ. 673). Το διδακτικό υλικό το οποίο κατασκευάστηκε για τις ανάγκες της υλοποίησης του διδακτικού πειράματος βασίστηκε σημαντικά στις αρχές σχεδίασης περιβαλλόντων μάθησης που προωθούν την εννοιολογική αλλαγή (Vosniadou, Ioannides, Dimitrakopoulou, & Papadimitriou, 2001).

Στα κεφάλαια που ακολουθούν σκιαγραφείται ο όλος ερευνητικός σχεδιασμός. Πιο συγκεκριμένα, στο πρώτο κεφάλαιο παρουσιάζονται συνοπτικά οι βασικές έννοιες και ιδέες της θεματικής της γαλιλαϊκής κινηματικής. Αρχικά, γίνεται λόγος για τα συστήματα αναφοράς η εργαλειακή χρήση των οποίων επιτρέπει την εφαρμογή της αρχής της σχετικότητας (Panse, Ramadas, & Kumar, 1994). Στη συνέχεια, παρατίθενται και επεξηγούνται οι βασικές έννοιες της προαναφερθείσας θεματικής. Στο δεύτερο κεφάλαιο, συνοψίζονται τα αποτελέσματα των προηγούμενων ερευνών σχετικά με τις εναλλακτικές ιδέες μαθητών για τις έννοιες αυτές. Οι έρευνες αυτές υλοποιήθηκαν σε μαθητικούς πληθυσμούς οι οποίοι φοιτούν στη δευτεροβάθμια και στην τριτοβάθμια εκπαίδευση. Στο τρίτο κεφάλαιο, αναλύεται το θεωρητικό πλαίσιο βάσει του οποίου καταρτίστηκε το διδακτικό υλικό των συναντήσεων. Στο τέταρτο κεφάλαιο, σχολιάζονται τα αποτελέσματα της προκαταρκτικής ανίχνευσης των ιδεών του πληθυσμού της παρούσας εργασίας. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν ενημέρωσαν το σχεδιασμό του υλικού. Στο πέμπτο κεφάλαιο διατυπώνεται ο βασικός σκοπός της έρευνας, καθώς και τα ερευνητικά ερωτήματα. Στο δεύτερο μέρος της εργασίας, παρουσιάζεται η μεθοδολογία και τα αποτελέσματα της κυρίως έρευνας. Η εργασία ολοκληρώνεται με τη συζήτηση των αποτελεσμάτων των συνεντεύξεων και την παράθεση των περιορισμών και των προτάσεων για μελλοντική έρευνα.

## Μέρος Α΄

### 1. Τα αδρανειακά συστήματα αναφοράς και η γαλιλαϊκή σχετικότητα

#### 1.1. Τα αδρανειακά συστήματα αναφοράς.

Στους νόμους της κλασσικής μηχανικής υποβόσκει η αρχή της σχετικότητας της κίνησης (Ford, 1980· Hewitt, 2009). Η αποδοχή αυτής της αρχής αναδεικνύει την ανάγκη προσδιορισμού της θέσης από την οποία παρατηρείται η κίνηση και μετρούνται τα κινηματικά μεγέθη (Klinaku, 2014· Saltiel & Malgrange, 1980). Η θέση αυτή η οποία κατά τη μελέτη της κίνησης θεωρείται ότι βρίσκεται σε ηρεμία, ονομάζεται σύστημα αναφοράς (Hewitt, 2009). Ένας ακόμη, ορισμός του συστήματος αναφοράς, επισημαίνει την υιοθέτηση της ίδιας χρονικής κλίμακας για όλους τους παρατηρητές και ορίζει ότι ένα σύστημα περιλαμβάνει το σύνολο των σημείων του χώρου (Blandford & Thorne, 2002· Kumar & Barve, 2003· Salencon, 2001). Συχνά, χρησιμοποιείται ως συνώνυμος του όρου αυτού, ο όρος παρατηρητής (Kumar & Barve, 2003).

Ένα σύστημα αναφοράς προσδιορίζεται από ένα οποιοδήποτε υλικό σώμα και αποτελείται από ένα «σύστημα συντεταγμένων και ένα χρονόμετρο», τα οποία μετακινούνται όπως το σώμα που τα ορίζει (Young, 1994, σελ. 47). Το σύστημα συντεταγμένων, συνήθως απαρτίζεται από τρεις (ορθοκανονικούς καρτεσιανούς) άξονες συντεταγμένων του χώρου και από μία μέτρηση του χρόνου (Blandford & Thorne, 2002). Εφόσον μηδενιστεί το χρονόμετρο και επιλεχθεί αυθαίρετα το σημείο τομής και ο προσανατολισμός των τριών αξόνων συντεταγμένων του χώρου, καθίσταται δυνατή η περιγραφή οποιουδήποτε φαινομένου ως προς τον εκάστοτε παρατηρητή (Kumar & Barve, 2003). Όπως γίνεται φανερό, τα συστήματα αναφοράς είναι αφηρημένα εργαλεία τα οποία δεν έχουν τις ιδιότητες των υλικών σωμάτων από τα οποία προσδιορίζονται, παρά μονάχα κινούνται όπως τα εκάστοτε σώματα αναφοράς (Castells, Konstantinidou, Cervero, & Cabellos, 2009· Kumar & Barve, 2003· Salencon, 2001). Τρεις συντεταγμένες επαρκούν για να οριστεί ένα σημείο-αντικείμενο και τέσσερις για να οριστεί ένα σημείο-συμβάν (Jammer, 1970). Συνεπώς, ως σύστημα αναφοράς ορίζεται μία διευθέτηση παρατηρητών και συσκευών μέτρησης που προσδιορίζουν τη θέση και το χρόνο ενός συμβάντος.

Για την υπολογισμό της ταχύτητας ενός αντικειμένου στην περίπτωση της απλής κίνησης, αρχικά επιλέγεται ένα σύστημα αναφοράς και γίνεται αποδεκτή η παραδοχή ότι το σύστημα αυτό είναι εκείνο που ηρεμεί (Hewitt, 2009). Έπειτα, υπολογίζεται η ταχύτητα με την οποία κινείται το αντικείμενο σε σχέση με το σύστημα αναφοράς. Η κατάσταση

διαφοροποιείται στην περίπτωση της σχετικής κίνησης, καθώς η επεξήγησή της βασίζεται στην ύπαρξη δύο συστημάτων αναφοράς. Ως σχετική κίνηση ορίζεται η κίνηση κατά την οποία ένα σύστημα αναφοράς, ως προς το οποίο μπορεί να κινείται ένα σώμα κατά αυθαίρετο τρόπο, κινείται με σταθερή ταχύτητα ως προς ένα άλλο σύστημα αναφοράς το οποίο θεωρείται σε ηρεμία (Klinaku, 2014). Στη σχετική κίνηση, οι μετρήσεις/υπολογισμοί των σχετικών κινηματικών μεγεθών εξαρτώνται από το εκάστοτε επιλεγθέν σύστημα αναφοράς και δύναται να εκφραστούν συναρτήσει μετρήσεων από διαφορετικά του πρώτου συστήματα (Klinaku, 2014).

Υπάρχουν δύο είδη συστημάτων αναφοράς, τα αδρανειακά τα οποία αξιοποιούνται στη γαλιλαϊκή κινηματική που σκιαγραφείται στη συνέχεια και τα μη-αδρανειακά. «Ένα σύστημα αναφοράς για το οποίο ισχύει ο πρώτος νόμος του Νεύτωνα λέγεται αδρανειακό σύστημα αναφοράς [ΑΣΑ]» (Young, 1994, σελ. 89). Οποιοδήποτε άλλο σύστημα το οποίο κινείται με σταθερή ταχύτητα ως προς το πρώτο, είναι και εκείνο αδρανειακό σύστημα αναφοράς. Συνακόλουθα, δεν υπάρχει ένα απόλυτο ΑΣΑ που να επιτρέπει αυτό και μόνο αυτό τη διατύπωση των νόμων του Νεύτωνα, αλλά αυτοί δύναται να εφαρμοστούν σε κάθε ΑΣΑ, όπως εκείνα ορίστηκαν παραπάνω. Όπως γίνεται εμφανές, δεν υποστηρίζεται κανένα κινηματικό κριτήριο αναφορικά με την απόφαση για τον αδρανειακό ή μη-αδρανειακό χαρακτήρα ενός συστήματος (Ramadas, Barve, & Kumar, 1996b).

## **1.2. Η γαλιλαϊκή σχετικότητα**

Στο πλαίσιο της αρχής της σχετικότητας της κίνησης, δύο διαφορετικοί παρατηρητές συμφωνούν ως προς τις μετρήσεις συγκεκριμένων μεγεθών και πτυχών ενός φαινομένου και διαφωνούν ως προς άλλες. Η διαφωνία των μετρήσεων στις όψεις ενός φαινομένου μεταξύ των διαφορετικών αδρανειακών συστημάτων αναφοράς αποδίδεται με τον όρο «σχετικότητα», ενώ η συμφωνία τους προσδιορίζεται ως «το αναλλοίωτο» των μετρήσεων (Ford, 1980). Στο πλαίσιο της κινηματικής και της κλασσικής μηχανικής, στις περιοχές διαφωνίας περιλαμβάνονται η θέση του κινούμενου αντικειμένου που προσδιορίζεται από τις συντεταγμένες του και η ταχύτητά του. Οι περιοχές συμφωνίας εντοπίζονται στη μέτρηση της μάζας του κινούμενου σώματος, στην επιτάχυνσή του, στις δυνάμεις που ασκούνται, στο χρόνο και στους νόμους της κίνησης. Η συμφωνία των μετρήσεων από τα διαφορετικά αδρανειακά συστήματα αναφοράς ως προς τους νόμους της κίνησης αναφέρεται ως Σχετικότητα του Γαλιλαίου (Ford, 1980). Η ιδέα αυτή συνεπάγεται την ισοδυναμία των διάφορων αδρανειακών

συστημάτων αναφοράς και συνακόλουθα οδηγεί στην απόρριψη της ιδέας της απόλυτης κίνησης.

Πέρα όμως από αναγνώριση της σχετικότητας της παρατήρησης αναγκαία είναι και η ποσοτικοποίηση της διαφοράς των μετρήσεων μεταξύ των διαφορετικών αδρανειακών συστημάτων αναφοράς. Οι μετασχηματισμοί του Γαλιλαίου, λοιπόν, είναι ένα σύνολο εξισώσεων οι οποίες μετασχηματίζουν την κίνηση ενός αντικειμένου παρατηρούμενη ως προς ένα αδρανειακό σύστημα αναφοράς, έτσι ώστε να περιγράφεται όπως αυτή παρατηρείται από ένα άλλο αδρανειακό σύστημα αναφοράς (Ford, 1980). Στις παραγράφους που ακολουθούν επιχειρείται η παράθεση και η επεξήγηση των μετασχηματισμών του Γαλιλαίου.

Έστω ένα αδρανειακό σύστημα αναφοράς  $O$  και ένα άλλο  $O'$  κινούμενο με σταθερή ταχύτητα  $u$  ως προς τον άξονα  $x x'$  του πρώτου. Με την προϋπόθεση ότι οι τρεις χωρικοί άξονες  $x$ ,  $y$  και  $z$  του αδρανειακού συστήματος αναφοράς  $O$  είναι παράλληλοι ως προς τους αντίστοιχους  $x'$ ,  $y'$  και  $z'$  του άλλου αδρανειακού συστήματος αναφοράς  $O'$ , ένα συμβάν το οποίο προσδιορίζεται από τις συντεταγμένες  $x'$ ,  $y'$ ,  $z'$  και  $t'$  στο αδρανειακό σύστημα αναφοράς  $O'$ , θα δίνεται στο  $O$  από τις εξής εξισώσεις:

$$x = x' + ut'$$

$$y = y'$$

$$z = z'$$

$$t = t'$$

Η θεώρηση του χρόνου στο πλαίσιο της γαλιλαϊκής κινηματικής της σχετικότητας καθώς και της νευτώνειας μηχανικής συνοψίζεται στην ιδέα περί του απόλυτου χρόνου (Young, 1994). Με άλλα λόγια, ο χρόνος θεωρείται ποσότητα ανεξάρτητη του συστήματος αναφοράς μέτρησής της. Δεδομένου αυτού, οι παραπάνω εξισώσεις διαμορφώνονται στην πιο γενική τους μορφή ως εξής:

$$\Delta x = \Delta x' + u\Delta t'$$

$$\Delta y = \Delta y'$$

$$\Delta z = \Delta z'$$

$$\Delta t = \Delta t'$$

Εάν  $v'$  η ταχύτητα ενός σώματος στο σύστημα αναφοράς  $O'$ ,  $v$  η ταχύτητά του στο  $O$  και  $u$  η ταχύτητα του πρώτου συστήματος ως προς το δεύτερο, ο μετασχηματισμός του Γαλιλαίου για την ταχύτητα του κινούμενου σώματος από το σύστημα αναφοράς  $O'$  στο  $O$  δίνεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$v = v' + u$$

## 2. Οι εναλλακτικές ιδέες για τις έννοιες της γαλιλαϊκής κινηματικής

Στη βιβλιογραφία της Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών έχουν δημοσιευτεί εδώ και σαράντα περίπου χρόνια, έρευνες στις οποίες διερευνώνται οι εναλλακτικές ιδέες για τη γαλιλαϊκή κινηματική. Οι έρευνες αυτές έχουν υλοποιηθεί σε πληθυσμούς δευτεροβάθμιας και τριτοβάθμιας εκπαίδευσης. Στο παρόν κεφάλαιο επιχειρείται η παρουσίαση των αποτελεσμάτων των σχετικών ερευνών τα οποία οργανώθηκαν βάσει των εννοιών υπό διερεύνηση. Αρχικά, παρατίθενται τα αποτελέσματα για τα συστήματα αναφοράς τα οποία αποτελούν το εννοιολογικό εργαλείο που επιτρέπει τη διαμόρφωση και την εφαρμογή της αρχής της σχετικότητας. Στη συνέχεια, συνοψίζονται τα αποτελέσματα αναφορικά με τις εναλλακτικές ιδέες για το χρόνο, το χώρο και την ταχύτητα στο πλαίσιο της γαλιλαϊκής κίνησης.

Οι Panse, Ramadas, & Kumar (1994), παραθέτουν επτά κυρίαρχουσες εναλλακτικές ιδέες προπτυχιακών φοιτητών για τα **συστήματα αναφοράς**. Σύμφωνα, λοιπόν με τα όσα αναφέρουν, οι φοιτητές συζητούν για τα συστήματα αναφοράς ως συμπαγή αντικείμενα τα οποία είναι προσδεδεμένα στα σώματα αναφοράς και περιορίζονται από τις φυσικές τους διαστάσεις. Παραγνωρίζουν την κίνηση ενός σώματος μικρών διαστάσεων, όταν εκείνο θεωρούν ότι βρίσκεται στο σύστημα αναφοράς ενός μεγαλύτερου, ενώ αποδίδουν συγκεκριμένα φαινόμενα σε συγκεκριμένα συστήματα. Ασυνείδητα υιοθετούν ένα «απόλυτο» σύστημα αναφοράς βάσει του οποίου διακρίνουν τις περιπτώσεις της «πραγματικής» από τη «φαινόμενη» κίνηση (Saltiel & Malgrange, 1980). Συνάμα, εξακριβώνουν την κίνηση από την οπτική της εμφάνιση και όχι από το μετασχηματισμό των ταχυτήτων μεταξύ των αδρανειακών συστημάτων. Η συνύπαρξη της ιδέας αυτής, με την παραγνώριση της αναγκαιότητας προσδιορισμού του συστήματος μελέτης της κίνησης και την αρχή της σχετικότητάς της, οδηγεί στον «ψευδο-σχετικισμό» (pseudorelativism). Με τον όρο αυτό, αποδίδεται η συνύπαρξη διαφορετικών μετρήσεων των κινηματικών μεγεθών στο ίδιο σύστημα αναφοράς, αποκλίσεις οι οποίες οφείλονται στους διαφορετικούς τρόπους με τους οποίους παρατηρείται η κίνηση. Σημείο σύγκλισης όλων των παραπάνω εναλλακτικών ιδεών είναι η παραγνώριση της εργαλειακής χρήσης των συστημάτων αναφοράς για την περιγραφή και ερμηνεία της κλασικής κινηματικής. Οι εναλλακτικές ιδέες περί του αδρανειακού ή μη αδρανειακού χαρακτήρα ενός συστήματος αναφοράς συνοψίζονται στην απόδοση του ενός ή του άλλου χαρακτηρισμού βάσει κινηματικών κριτηρίων, δηλαδή ως ιδιότητα «σχετική» παρά «εγγενής» (Ramadas, Barve, & Kumar, 1996b).

Σύμφωνα με τα όσα αναφέρουν οι Ramadas, Barve, & Kumar (1996a), οι εναλλακτικές ιδέες φοιτητών για το **χρόνο** στο πλαίσιο της γαλιλαϊκής κινηματικής συνοψίζονται στο μη συνειδητό χειρισμό του ως μέγεθος ανεξάρτητο του παρατηρητή. Μάλιστα, επισημαίνεται πως καταγράφηκαν διαφοροποιημένοι βαθμοί συμμόρφωσης στο αξίωμα του αναλλοίωτου του χρόνου, στις διαβαθμισμένης δυσκολίας προβληματικές καταστάσεις στις οποίες κλήθηκαν να απαντήσουν οι συμμετέχοντες. Η μη σαφής αναγνώριση του χρόνου ως απόλυτη ποσότητα επιτρέπει την εμφάνιση περιπτώσεων παραβίασης της αμεταβλητότητας των χρονικών διαστημάτων. Η απόκλιση μεταξύ της λανθάνουσας αποδοχής του αξιώματος και της παραβίασης του συχνά δεν γίνεται αντιληπτή.

Σύμφωνα με την «περιγραφική» συνιστώσα του «φυσικού» μοντέλου των Saltiel & Malgrange (1980), οι εναλλακτικές ιδέες για το **χώρο** περιλαμβάνουν την εξάλειψη του χρονικού παράγοντα και συνεπώς της κίνησης, για τη μέτρηση αποστάσεων και τη θέασή του ως αποκλειστικά γεωμετρικό χώρο, ανεξάρτητο των παρατηρητών. Η παραγνώριση της διάστασης του χρόνου συνεπάγεται το χειρισμό των στιγμιαίων αποστάσεων και των αποστάσεων μετακίνησης ενός σώματος στη ροή του χρόνου με τους ίδιους όρους. Σύμφωνα με τα όσα αναφέρονται από τους Ramadas, Barve, & Kumar, (1996a), η επί ίσοις όροις διαπραγμάτευσή τους δύναται να ενισχύσει τόσο την παραβίαση της αμεταβλητότητας των στιγμιαίων αποστάσεων η οποία αποτελεί συνέπεια των μετασχηματισμών του Γαλιλαίου, όσο και την παραβίαση του αξιώματος του «αναλλοίωτου» του χρόνου. Η σκιαγραφηθείσα λοιπόν, εννοιολόγηση του χώρου, συνήθως αποτελεί τροχοπέδη στον ορθό μετασχηματισμό των αποστάσεων μεταξύ των διαφορετικών συστημάτων αναφοράς (Ramadas, Barve, & Kumar, 1996a).

Οι Saltiel & Malgrange (1980), υποστηρίζουν την ύπαρξη ενός «φυσικού μοντέλου» περιγραφής και ερμηνείας της κίνησης και της **ταχύτητας**. Το μοντέλο αυτό βρίσκεται στον αντίποδα του επιστημονικού «κινηματικού μοντέλου», ενώ συγκροτείται από δύο αλληλεπιδρούσες συνιστώσες, την «αιτιακή» και την προαναφερθείσα «περιγραφική». Η «αιτιακή συνιστώσα» αφορά στην ερμηνεία των αιτιών της κίνησης και συνακόλουθα της ταχύτητας. Η κίνηση, αλλά και η ταχύτητα, υποστηρίζεται ότι αποτελούν διαρκή και εγγενή χαρακτηριστικά των κινούμενων σωμάτων. Το ερμηνευτικό αυτό πλαίσιο, ανατρέπει και εξαλείφει την ανάγκη προσδιορισμού του συστήματος από το οποίο μελετάται η ταχύτητα και η κίνηση εν γένει, ενώ ενισχύει την ανάγκη του σαφούς προσδιορισμού των αιτιών τους. Τα δυσδιάκριτα όρια μεταξύ της δύναμης, ως αίτιο κίνησης, και της ταχύτητας οδηγούν στη σύνθεση δυνάμεων σε αντιστοιχία με το μετασχηματισμό ταχυτήτων του «κινηματικού

μοντέλου». Σύμφωνα με τους Ramadas, Barve, & Kumar (1996a), η σύνθεση των δυνάμεων η οποία αποδίδεται και ως μηχανισμός της «προσέλκυσης» (physical drag) δύναται να οδηγήσει και σε πολλές των περιπτώσεων οδηγεί, σε ορθούς υπολογισμούς της ταχύτητας από τα διαφορετικά συστήματα αναφοράς. Η κατάκτηση των μετασχηματισμών του χρόνου και των αποστάσεων μεταξύ των διαφορετικών αδρανειακών συστημάτων αναφοράς δεν αποτελούν προϋπόθεση για την εφαρμογή του μηχανισμού της «προσέλκυσης».

Συνοψίζοντας τις εναλλακτικές ιδέες που αναφέρονται στις παραγράφους που προηγήθηκαν μπορούν να εξαχθούν μερικά συμπεράσματα ως προς τις έννοιες που συζητήθηκαν. Τα συστήματα αναφοράς γίνεται εμφανές ότι στερούνται της λειτουργικής τους αξίας και της ερμηνευτικής τους δυνατότητας για την περιγραφή και μελέτη της κίνησης (Panse, Ramadas, & Kumar, 1994). Οι διαισθητικές ιδέες αναφορικά με το χρόνο και το χώρο ως απόλυτα μεγέθη, ανεξάρτητα του συστήματος μέτρησής τους, δυσχαιρένουν τη σαφή αναγνώριση της αμεταβλητότητας του ενός και της σχετικότητας του άλλου (Ramadas, Barve, & Kumar, 1996a). Τέλος, η θεώρηση της ταχύτητας ως εγγενές χαρακτηριστικό του κινητού υποστηρίζει τους «μετασχηματισμούς» της μεταξύ των διαφορετικών αδρανειακών συστημάτων αναφοράς, ωστόσο αντιβαίνει την ουσία της αρχής της σχετικότητας της κίνησης (Ramadas, Barve, & Kumar, 1996a).



### 3. Το διδακτικό υλικό των συναντήσεων/διδακτικών παρεμβάσεων

#### 3.1. Το θεωρητικό πλαίσιο κατασκευής του διδακτικού υλικού.

Η κατασκευή του διδακτικού υλικού των συναντήσεων της κυρίως εμπειρικής έρευνας ακολούθησε τη διαδικασία η οποία περιγράφεται αναλυτικά στο κεφάλαιο της Μεθοδολογίας. Στο παρόν κεφάλαιο επιχειρείται η υπογράμμιση της θεωρητικής και εμπειρικής υποστήριξης που απολαμβάνουν οι αποφάσεις και οι επιλογές οι οποίες συνετέλεσαν στη διαμόρφωση της τελικής εκδοχής του υλικού. Στην κατασκευή του διδακτικού υλικού αξιοποιήθηκαν:

α) οι αρχές για τη σχεδίαση περιβαλλόντων μάθησης τα οποία προωθούν την εννοιολογική αλλαγή, η οποία αποτελεί το θεωρητικό πλαίσιο για τη μάθηση (Vosniadou και συν., 2001),

β) οι προτάσεις της βιβλιογραφίας για τη διδασκαλία της γαλιλαϊκής κινηματικής (Bowden και συν., 1992· McDermott, 2009· Saltiel & Malgrange, 1980),

γ) τα αποτελέσματα και τα συμπεράσματα ερευνών αναφορικά με τις εναλλακτικές ιδέες για τις υπό διαπραγμάτευση έννοιες (βλ. κεφάλαιο 2),

δ) οι γενικοί σκοποί του επιστημονικού περιεχομένου που αναδείχθηκαν ύστερα από την επισκόπησή του (βλ. κεφάλαιο 1),

ε) τα αποτελέσματα της προκαταρκτικής ανίχνευσης των εναλλακτικών ιδεών των δευτεροετών φοιτητών, πληθυσμού της έρευνας (βλ. κεφάλαιο 4),

στ) τα αποτελέσματα της αξιολόγησης του προσχεδίου του διδακτικού πλάνου από δύο εξωτερικούς ερευνητές (βλ. κεφάλαιο 6, Ερευνητικός σχεδιασμός) και

ζ) τα αποτελέσματα της πιλοτικής εφαρμογής του διδακτικού υλικού σε ζευγάρι φοιτητριών (βλ. κεφάλαιο 6, Ερευνητικός σχεδιασμός).

Στις παραγράφους που ακολουθούν αναλύονται οι αρχικές αποφάσεις και οι επιμέρους μεθοδολογικές επιλογές, βάσει των προτάσεων, των αποτελεσμάτων και των συμπερασμάτων των παραπάνω ερευνών. Η παρουσίαση του ευρύτερου θεωρητικού πλαισίου υλοποιείται βάσει των αρχών που παραθέτουν οι Vosniadou και συν., (2001).

Η πρώτη αρχή αφορά στον περιορισμό των εννοιών υπό διαπραγμάτευση, ώστε να διευκολυνθεί η ενδελεχής μελέτης τους. Η επισκόπηση του επιστημονικού περιεχομένου της θεματικής της παρούσας έρευνας ανέδειξε αρκετές αλληλεπιδρούσες έννοιες. Μερικές εξ'

αυτών είναι οι: θέση, απόσταση, χρονική στιγμή, χρονικό διάστημα, συμβάν, μέση ταχύτητα, στιγμιαία ταχύτητα, (αδρανειακό) σύστημα αναφοράς. Με σκοπό τη βαθιά κατανόηση των τελικώς επιλεχθέντων εννοιών και λόγω του περιορισμένου χρόνου για τη διεξαγωγή των συναντήσεων, επιλέχθηκε η κατασκευή δραστηριοτήτων στις οποίες δίνονταν οι διαφορετικές στη ροή του χρόνου στιγμιαίες θέσεις κινητών και ζητούνταν: α) ο προσδιορισμός των αποστάσεων μεταξύ των διαφορετικών χρονικών στιγμών από τα διαφορετικά αδρανειακά συστήματα αναφοράς, β) ο υπολογισμός των ταχυτήτων από αυτά, και γ) η υποστήριξη ή όχι της συμφωνίας μεταξύ των μετρήσεων των διαφορετικών παρατηρητών. Η επιλογή αυτή επέτρεψε την εξάλειψη της ανάγκης διαπραγμάτευσης των εννοιών:

α) συμβάν, καθώς ο προσδιορισμός των θέσεων των κινητών υλοποιούνταν αρχικά, βάσει των δεδομένων χρονικών στιγμών και στη συνέχεια από τις συντεταγμένες του εκάστοτε παρατηρητή,

β) της στιγμιαίας και μέσης ταχύτητας, καθώς ταυτίζονταν, αφού τα διάφορα κινητά κινούνταν με σταθερές ταχύτητες ως προς τους παρατηρητές,

γ) της αποφυγής του όρου (αδρανειακό) σύστημα αναφοράς και της αντικατάστασή του από τους όρους «(θεωρούμενος) ακίνητος παρατηρητής» και «κινούμενος (ως προς τον πρώτο) παρατηρητής», λόγω της προβληματικής που αναδεικνύει η βιβλιογραφία για την έννοια αυτή (Castells και συν., 2009· Dimitriadi & Halkia, 2012).

Η αξιολόγηση του προσχεδίου των δραστηριοτήτων από εξωτερικούς ερευνητές οδήγησε στην παράλειψη ακόμα, των εννοιών της «μετατόπισης» και του «διαστήματος», καθώς η χρήση των όρων αυτών υποδεικνύει προτιμητέο σύστημα αναφοράς. Συνεπώς, οι έννοιες οι οποίες αποτέλεσαν το περιεχόμενο της διδασκαλίας συνοψίζονται στις: θέση, χρονική στιγμή, χρονικό διάστημα, απόσταση, ταχύτητα, παρατηρητής, σχετικότητα, αναλλοίωτο, συμφωνία παρατηρητών.

Η δεύτερη αρχή αναφέρεται στη διαμόρφωση της σειράς με την οποία υλοποιήθηκε η διδακτική διαπραγμάτευση των εννοιών που επιλέχθηκαν. Η επισκόπηση του επιστημονικού περιεχομένου, των προηγούμενων ερευνών για τις εναλλακτικές ιδέες και των αποτελεσμάτων της προκαταρκτικής ανίχνευσης των ιδεών του πληθυσμού της παρούσας έρευνας ανέδειξε την ανάγκη διάρθρωσης του διδακτικού περιεχομένου σε τέσσερα επίπεδα. Πιο συγκεκριμένα, ο μη συνειδητός χειρισμός του χρόνου ως απόλυτο μέγεθος, η αντίληψη του χώρου ως αποκλειστικά Ευκλείδειο χώρο ανεξάρτητο των παρατηρητών και της ταχύτητας ως εγγενές χαρακτηριστικό (Saltiel & Malgrange, 1980), υπογράμμισε την επιτακτικότητα της

συνειδητοποίησης της σχετικότητας της κίνησης. Στο πλαίσιο αυτό συμπεριλήφθηκε και η πρόταση των ίδιων ερευνητών για την ανάδειξη της αναγκαιότητας προσδιορισμού του συστήματος μελέτης της κίνησης. Συνεπώς, στο πρώτο επίπεδο στόχων τέθηκε η αναγνώριση της σχετικότητας και του εργαλείου εφαρμογής της. Τα αποτελέσματα των παραπάνω ερευνών επαληθεύθηκαν και από την προκαταρκτική ανίχνευση των ιδεών των φοιτητών. Σε δεύτερο επίπεδο, τέθηκε ο ποιοτικός χειρισμός των διάφορων μετρήσεων του χώρου, του χρόνου και της ταχύτητας, ο οποίος ακολουθείται από το μετασχηματισμό των σχετικών μεγεθών μεταξύ των διαφορετικών παρατηρητών. Το τέταρτο επίπεδο περιλαμβάνει τη συζήτηση για τη συμφωνία ή τη διαφωνία των μετρήσεων μεταξύ των διαφορετικών συστημάτων αναφοράς, η οποία αποτελεί την ουσία της σχετικότητας. Συνεπώς, οι **γενικοί σκοποί** διαμορφώθηκαν ως εξής:

Με το πέρας των διδακτικών παρεμβάσεων/συναντήσεων αναμένεται οι φοιτητές:

A) να συνειδητοποιήσουν το αναλλοίωτο του χρόνου και τη σχετικότητα της παρατήρησης της θέσης, της απόστασης και της ταχύτητας,

B) να προσδιορίζουν τα διάφορα κινηματικά μεγέθη από το εκάστοτε αδρανειακό σύστημα αναφοράς,

Γ) να μετασχηματίζουν τα σχετικά μεγέθη από ένα αδρανειακό σύστημα αναφοράς σε άλλο και

Δ) να συμφωνούν ως προς την ισοδυναμία των μετρήσεων των (απόλυτων και σχετικών) κινηματικών μεγεθών μεταξύ των διαφορετικών αδρανειακών συστημάτων αναφοράς.

Οι παραπάνω γενικοί σκοποί εξειδικεύτηκαν σε επιμέρους **διδακτικούς στόχους** ως εξής:

Με το πέρας των διδακτικών παρεμβάσεων/συναντήσεων αναμένεται οι φοιτητές:

A1) να αναγνωρίσουν την αναγκαιότητα προσδιορισμού παρατηρητή για τη μελέτη της κίνησης,

A2) να συνειδητοποιήσουν την αμεταβλητότητα των χρονικών διαστημάτων η οποία αποτελεί συνέπεια του αξιόματου του αναλλοίωτου του χρόνου,

A3) να συνειδητοποιήσουν την αμεταβλητότητα των στιγμιαίων αποστάσεων μεταξύ δύο κινητών η οποία αποτελεί συνέπεια των μετασχηματισμών του Γαλιλαίου,

A4) να αναγνωρίσουν ότι οι μετρήσεις της θέσης και της απόστασης που μετακινήθηκε ένα κινητό σε ένα δεδομένο χρονικό διάστημα διαφοροποιούνται μεταξύ των διαφορετικών παρατηρητών,

A5) να αναγνωρίζουν ότι οι μετρήσεις της ταχύτητας ενός κινητού διαφοροποιούνται μεταξύ των διαφορετικών παρατηρητών,

B1) να προσδιορίζουν τη θέση και την απόσταση που μετακινήθηκε ένα κινητό σε δεδομένο χρονικό διάστημα από τους διαφορετικούς παρατηρητές,

B2) να υπολογίζουν την ταχύτητα ενός κινητού από συγκεκριμένο παρατηρητή,

Γ1) να μετασχηματίζουν τις μετρήσεις της θέσης και της απόστασης που μετακινήθηκε ένα κινητό σε δεδομένο χρονικό διάστημα μεταξύ των διαφορετικών παρατηρητών,

Γ2) να μετασχηματίζουν τους υπολογισμούς/μετρήσεις της ταχύτητας ενός κινητού μεταξύ των διαφορετικών παρατηρητών,

Δ1) να συμφωνούν ως προς την ισοδυναμία των μετρήσεων της θέσης και της απόστασης που μετακινήθηκε ένα κινητό σε δεδομένο χρονικό διάστημα από τους διαφορετικούς παρατηρητές και

Δ2) να συμφωνούν ως προς την ισοδυναμία των μετρήσεων της ταχύτητας ενός κινητού μεταξύ των διαφορετικών παρατηρητών.

Με σκοπό την εισαγωγή, τη διδακτική διαπραγμάτευση και τη μάθηση της θεματικής των σχετικών κινήσεων όπως διαφαίνεται από την παραπάνω στοχοθεσία, αναγκαία είναι η αντιμετώπιση των παγιωμένων ιδεών των συμμετεχόντων, η οποία αποτελεί το περιεχόμενο της τρίτης αρχής. Σύμφωνα με τη McDermott (2009), στο πλαίσιο της γαλιλαϊκής κινηματικής, η αντιμετώπιση των επίμονων δυσκολιών που αποτελούν συνέπεια των εναλλακτικών ιδεών, καθίσταται δυνατή μέσω της διδακτικής και μαθησιακής διαπραγμάτευσης των εννοιών σε πολλαπλά πλαίσια. Κάθε πλαίσιο προτείνεται να είναι διαφορετικό από τα προηγούμενα, υποστηρίζοντας με αυτό τον τρόπο την ανταπόκριση στην προβληματική κατάσταση βάσει της υποκειμενικής κατανόησης των εννοιών (Bowden και συν., 1992). Ο Camp και συν., (1994), όπως αναφέρεται από τους Monaghan & Clement, (1999), ταξινομεί σε αύξουσα σειρά τα διάφορα πλαίσια ως προς την ένταση των δυσκολιών διαχείρισης της σχετικής κίνησης, ξεκινώντας από την κίνηση ως προς το έδαφος, συνεχίζοντας με την κίνηση ως προς το ποτάμι και τελειώνοντας με την κίνηση ως προς τον αέρα.

Για την εστίαση στην κατανόηση, ακόμη προτείνεται η αξιοποίηση ερωτημάτων τα οποία απαντώνται ποιοτικά, καθώς ο φορμαλιστικός χειρισμός των εννοιών δύναται να υποκρύψει τη χαμηλή εννοιολογική κατανόηση (Bowden και συν., 1992· McDermott, 2009). Στην αποφυγή του μαθηματικού φορμαλισμού, αλλά και του βερμπαλισμού συγκατατίθεται και η τέταρτη αρχή, μέσω της παροχής μοντέλων και εξωτερικών αναπαραστάσεων τα οποία μπορούν να υποστηρίξουν με ευνοϊκότερους όρους την εννοιολογική αλλαγή, εφόσον βέβαια οι μαθητάνοντες σκέφτονται με όρους μοντέλων. Οι Saltiel & Malgrange (1980), προτείνουν ακόμη, την αποφυγή εκείνων των προβληματικών καταστάσεων στις οποίες είναι πιθανό οι απαντήσεις των συμμετεχόντων να βασίζονται σε δυναμικές ιδέες για την κίνηση. Πιο συγκεκριμένα, υποστηρίζουν ότι δραστηριότητες στις οποίες διαφαίνεται μια «προσέγκυση» ενός σώματος από την κίνηση ενός άλλου, υποκρύπτουν τις αναντιστοιχίες του «φυσικού» από το «κινηματικό» μοντέλο. Η απόκρυψη των αποκλίσεων τους μπορεί να συμβάλλει στην ενίσχυση του προ-υπάρχοντος εννοιολογικού πλαισίου ερμηνείας της κίνησης. Βάσει αυτών, επιλέχθηκε η χρήση μόνο του πρώτου πλαισίου, δηλαδή της κίνησης σχετικά με το έδαφος. Ωστόσο, πέραν αυτής (βλ. Παράρτημα, τέταρτη δραστηριότητα, σελ. 68), επιλέχθηκε και η κίνηση σωμάτων ως προς την ακίνητη για εκείνο θάλασσα η οποία αποτελεί φυσική του συνέχεια (βλ. Παράρτημα, τρίτη δραστηριότητα, πέμπτη δραστηριότητα, σελ. 66-70).

Η προώθηση της συνειδητοποίησης των συμμετεχόντων για τις αναπαραστάσεις και τις ιδέες τους, αποτελεί την πέμπτη αρχή. Η προσέγγιση αυτού υλοποιήθηκε μέσω α) της διατύπωσης ερωτημάτων πρόβλεψης της εξέλιξης της κίνησης ενός σώματος, β) ατομικής επεξήγησης των ιδεών περί της σχετικότητας ή του αναλλοίωτου των κινηματικών μεγεθών και γ) ερωτημάτων γενίκευσης της επιτευχθείσας στην παρέμβαση μάθησης. Η αξιοποίηση των τύπων των παραπάνω ερωτημάτων βασίστηκε σε προηγούμενη εφαρμογή του διδακτικού πειράματος σε θεματικές των Φυσικών Επιστημών (Komorek & Duit, 2004).

Η υποστήριξη για την ανάπτυξη της μεταγνωστικής επίγνωσης των συμμετεχόντων η οποία αποτελεί την έκτη αρχή, υλοποιήθηκε με δύο τρόπους. Κατά τη διάρκεια της διεξαγωγής των διδακτικών συναντήσεων/παρεμβάσεων, επιλέχθηκε η εργασία σε εταιρικές ομάδες, ώστε να δοθεί η δυνατότητα στους συμμετέχοντες να εκφράσουν προφορικά τις ιδέες τους και να τις αντιπαραβάλουν με εκείνες του άλλου μέλους της ομάδας (Komorek & Duit, 2004). Ακόμη, κατασκευάστηκε μια δραστηριότητα αποτελούμενη από δύο μέρη (βλ. Παράρτημα, πρώτη δραστηριότητα, έκτη δραστηριότητα, σελίδα 64 και 71) στην οποία ζητείται από τους συμμετέχοντες να εκφράσουν τις ιδέες τους για την κίνηση ενός συγκεκριμένου κινητού, πριν και έπειτα από τη διεξαγωγή της διδασκαλίας. Για τη διευκόλυνση της επίτευξης του ίδιου

σκοπού, με το πέρας της συνάντησης, υλοποιήθηκαν σύντομης διάρκειας συνεντεύξεις με την παρουσία και των δύο μελών της ομάδας. Οι συμμετέχοντες απάντησαν ατομικά σε ερωτήματα σχετικά με την αλλαγή ή όχι των ιδεών τους για τις υπό διδακτική διαπραγμάτευση έννοιες, τον προσδιορισμό εκείνων στις οποίες εντοπίζουν αλλαγή ή σταθερότητα και την κατεύθυνση της αλλαγής.

Η έβδομη αρχή σχεδιασμού αφορά στην κινητοποίηση για την διευκόλυνση της προώθησης της εννοιολογικής κατανόησης. Για την κινητοποίηση των συμμετεχόντων πέρα από τη διατύπωση των παραπάνω τύπων ερωτημάτων με σκοπό την επικοινωνία των ιδεών τους, οι δραστηριότητες συνοδεύονταν από μοντέλα και εξωτερικές αναπαραστάσεις τα οποία παρουσιάζονται στην επόμενη ενότητα. Η παροχή τους είχε διττό σκοπό, αφενός για την υποστήριξη στην ανταπόκριση στις δραστηριότητες και τα ερωτήματα και αφετέρου, την ανάδειξη των αναντιστοιχιών των προ-υπαρχουσών τους ιδεών και των δεδομένων των δραστηριοτήτων.

### **3.2. Η περιγραφή του διδακτικού υλικού.**

Βάσει όλων όσων αναφέρθηκαν στην προηγούμενη υποενότητα, οι δραστηριότητες του διδακτικού υλικού διαμορφώθηκαν ως εξής (βλ. Παράρτημα, σελ. 64). Η πρώτη δραστηριότητα περιελάμβανε την προβολή ενός video στο οποίο ένα κινούμενο ως προς το έδαφος σώμα εκτόξευε ένα μικρότερον διαστάσεων σώμα προς την αντίθετη της κίνησής του κατεύθυνση. Τα δεδομένα που δίνονταν στους συμμετέχοντες υπογράμμιζαν τη σταθερότητα της ταχύτητας των δύο κινητών (του πρώτου σώματος ως προς το έδαφος, του δεύτερου ως προς το πρώτο σώμα τη στιγμή που το εγκαταλείπει), χωρίς ωστόσο να προσδιορίζεται το σύστημα αναφοράς του υπολογισμού τους. Η επιλογή αυτή έγινε στη βάση της αποφυγής νύξεων για τον προσδιορισμό του παρατηρητή, με σκοπό την ανάδειξη των ιδεών των φοιτητών πριν την μαθησιακή εμπλοκή με τις μετέπειτα δραστηριότητες. Στόχευση, ακόμα, της παρούσας δραστηριότητας ήταν και η γνωσιολογική και ψυχολογική προετοιμασία των μελών της εταιρικής ομάδας για τη διδασκαλία. Ζητούμενο της πρώτης αυτής δραστηριότητας ήταν η ερμηνεία της απεικονιζόμενης στο video κίνησης του δεύτερου σώματος, παρατηρούμενη από σύστημα αναφοράς του εδάφους, χωρίς ωστόσο το σύστημα αυτό να προσδιορίζεται με σαφήνεια.

Στόχευση της δεύτερης δραστηριότητας αποτέλεσε η εισαγωγή της αμεταβλητότητας των στιγμιαίων αποστάσεων (διδακτικός στόχος Α3), η παραβίαση της οποίας υλοποιείται στη

βάση της απογύμνωσης των χωρικών μετρήσεων από την χρονική παράμετρο και τη συνακόλουθη θέαση του χώρου ως αποκλειστικά γεωμετρικά χώρο (Saltiel & Malgrange, 1980). Στόχευση ακόμα, της δραστηριότητας αυτής είναι η εισαγωγή του όρου «παρατηρητή» και η συζήτηση των χαρακτηριστικών που του αποδίδονται από τους συμμετέχοντες (διδακτικός στόχος A1). Η δραστηριότητα οργανώθηκε γύρω από τέσσερις σειρές ζευγαριών φωτογραφιών οι οποίες απεικόνιζαν τις σχετικές θέσεις δύο κινητών σε δύο διακριτές χρονικές στιγμές τραβηγμένες από τέσσερις διαφορετικούς παρατηρητές. Οι φοιτητές κλήθηκαν να αναγνωρίσουν τις αναντιστοιχίες της απεικόνισης των στιγμιαίων αποστάσεων από τους διαφορετικούς παρατηρητές μεταξύ των εικόνων των δύο στιγμών, καθώς και να αναφέρουν όσα μεγέθη παραμένουν σταθερά.

Η τρίτη δραστηριότητα αφορούσε στην ανάδειξη και διαπραγμάτευση των ιδεών των φοιτητών ως προς α) την αμεταβλητότητα ή τη σχετικότητα ενός συγκεκριμένου χρονικού διαστήματος μετρημένο από διαφορετικούς παρατηρητές (διδακτικός στόχος A2), β) τον προσδιορισμό της απόστασης μετακίνησης ενός κινητού σε ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα από τους διαφορετικούς παρατηρητές (διδακτικός στόχος B1), γ) τη μεταβλητότητα ή το αναλλοίωτο των αποστάσεων μεταξύ των μετρήσεων των διαφορετικών παρατηρητών (διδακτικός στόχος A4), δ) την προτίμηση ενός συστήματος αναφοράς έναντι των άλλων (διδακτικός στόχος Δ1) και ε) την ισοδυναμία των μετρήσεων της απόστασης από τους διαφορετικούς παρατηρητές (διδακτικός στόχος Δ1). Το προβληματικό πλαίσιο της συγκεκριμένης κίνησης περιελάμβανε την κίνηση ενός σώματος μικρών διαστάσεων ως προς το σύστημα αναφοράς ενός σώματος το οποίο κινείται ευθύγραμμα και ομαλά ως τον θεωρούμενο ακίνητο παρατηρητή. Η δραστηριότητα συνοδεύονταν από τρεις εικόνες-στιγμιότυπα από εξωτερικό, των δύο συστημάτων που προαναφέρθηκαν, σύστημα αναφοράς. Οι τρεις χρονικές στιγμές και οι αντίστοιχες θέσεις των δύο σωμάτων ως προς τους διάφορους παρατηρητές υποστήριζαν τη συζήτηση για τα χρονικά διαστήματα και τις αποστάσεις μετακίνησης του κινητού σε αυτά από τους διαφορετικούς παρατηρητές.

Ζητούμενα της τέταρτης δραστηριότητας αποτέλεσαν α) ο υπολογισμός της ταχύτητας δύο κινητών ως προς το σύστημα αναφοράς του εδάφους (διδακτικός στόχος B2), β) ο «μετασχηματισμός» των στιγμιαίων σχετικών θέσεων με την αλλαγή του συστήματος από το εκείνο του εδάφους σε ένα εκ των δύο κινητών (διδακτικός στόχος Γ1), γ) τη μεταβλητότητα ή το αναλλοίωτο της ταχύτητας μεταξύ των μετρήσεων των διαφορετικών παρατηρητών (διδακτικός στόχος A5) και δ) η διερεύνηση και προώθηση της κατανόησης του μετασχηματισμού της ταχύτητας από το πρώτο στο δεύτερο σύστημα αναφοράς (διδακτικός

στόχος Γ2). Οι εικόνες που συνόδευαν την παρούσα δραστηριότητα αποτύπωναν τις στιγμιαίες σχετικές θέσεις από ένα σύστημα εξωτερικό των δύο προαναφερθέντων. Με σκοπό την υποστήριξη του τρίτου ζητούμενου δόθηκαν στους συμμετέχοντες τρεις εικόνες στις οποίες απεικονίζεται το περιβάλλον από το δεύτερο σύστημα αναφοράς. Σε κάθε μια από αυτές οι συμμετέχοντες κλήθηκαν να σχεδιάσουν στις τρεις χρονικές στιγμές το δεύτερο κινητό σχετικά με το πρώτο.

Στόχευση της πέμπτης δραστηριότητας είναι α) ο «μετασχηματισμός» των θέσεων και των αποστάσεων μετακίνησης τριών κινητών από το σύστημα αναφοράς του εδάφους στο σύστημα του ενός εξ' αυτών (διδασκτικός στόχος Γ1), β) ο υπολογισμός της ταχύτητας του ενός κινητού ως προς το σύστημα αναφοράς του εδάφους, αλλά και τα συστήματα των υπόλοιπων δύο κινητών (διδασκτικός στόχος Β2), γ) η διερεύνηση και η προώθηση της κατανόησης του μετασχηματισμού της ταχύτητας από το εκάστοτε σύστημα αναφοράς σε διαφορετικό αυτού (διδασκτικός στόχος Γ2), δ) η διερεύνηση της προτίμησης ενός συστήματος αναφοράς έναντι των άλλων (διδασκτικός στόχος Δ2) και ε) η διαπραγμάτευση των ιδεών των συμμετεχόντων ως προς την ισοδυναμία των μετρήσεων της ταχύτητας από τους διαφορετικούς παρατηρητές (διδασκτικός στόχος Δ2). Η δραστηριότητα συνοδεύονταν από εικόνες στις οποίες απεικονίζονταν από εξωτερικό των προαναφερθέντων σύστημα αναφοράς οι θέσεις τριών κινούμενων σωμάτων ως προς το έδαφος σε δύο διακριτές χρονικές στιγμές.

Η έκτη και τελευταία δραστηριότητα αποτελεί οργανική συνέχεια της πρώτης και ως στόχο έχει τη διευκόλυνση της μεταγνωστικής επίγνωσης των συμμετεχόντων σχετικά με την πιθανολογούμενη ανάπτυξη των ιδεών τους. Σε αυτή, αρχικά ζητούνταν από τους συμμετέχοντες να θυμηθούν τις απαντήσεις στην πρώτη δραστηριότητα και ύστερα από την επαναπροβολή του video, να υποστηρίξουν τη σταθερότητα ή την τροποποίησή τους. Στη συνέχεια, οι συμμετέχοντες κλήθηκαν να προσδιορίσουν τα συστήματα αναφοράς για τις ταχύτητες που αναφέρονται στα δεδομένα, με απώτερο σκοπό την ερμηνεία της εικονιζόμενης στο video κίνησης.



#### 4. Προκαταρκτική ανίχνευση των ιδεών των φοιτητών

Στην παρούσα ενότητα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης των 64 ερωτηματολογίων αρχικής ανίχνευσης των εννοιολογήσεων των δευτεροετών φοιτητών για τις έννοιες της γαλιλαϊκής κινηματικής. Μέσα από τα ανοιχτού τύπου ερωτήματα των δύο δραστηριοτήτων του ερωτηματολογίου, οι ερωτηθέντες κλήθηκαν να σχολιάσουν τη συμφωνία ή τη διαφωνία των μετρήσεων του χρόνου, της απόστασης και της ταχύτητας από τους διαφορετικούς παρατηρητές. Η παρουσίαση των αποτελεσμάτων οργανώθηκε με άξονες τις παραπάνω έννοιες.

Σχετικά με τη μεταβλητότητα ή το αναλλοίωτο ενός συγκεκριμένου **χρονικού διαστήματος** μετρημένο από διαφορετικά συστήματα αναφοράς, καταγράφηκαν οι παρακάτω ιδέες. Το αναλλοίωτο του χρόνου υποστηρίχθηκε στις 35 εκ των 42 απαντήσεων. Σε αυτές συγκαταλέγονται και οι 9 απαντήσεις στις οποίες έγινε αναφορά σε διαφοροποίηση των μετρήσεων λόγω λαθών κατά τη διαδικασία της μέτρησης. Στην πλειονότητα των απαντήσεων αυτών, τα λάθη αποδόθηκαν σε καθυστερήσεις κατά την έναρξη ή τη λήξη της χρονομέτρησης, λόγω της μεγάλης απόστασης του κινητού από τον παρατηρητή. Στη σχετικότητα του δοσμένου χρονικού διαστήματος συμφώνησαν 7 άτομα, αποδίδοντας τη διαφοροποίηση στη σχετικότητα της κίνησης.

Αναφορικά με το ερώτημα περί της διαφοροποίησης της μέτρησης της **απόστασης** μετακίνησης ενός κινητού σε συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, αλλά και του μετασχηματισμού της απόστασης μεταξύ των αδρανειακών συστημάτων αναφοράς, συγκεντρώθηκαν 40 απαντήσεις. Στην πλειοψηφία των απαντήσεων (31 απαντήσεις), αναφέρθηκε η ιδέα της μετακίνησης ενός κινητού σώματος ως ποσότητα απόλυτη, ανεξάρτητη παρατηρητή. Για τη διαφοροποίηση των μετρήσεων της απόστασης μετακίνησης ενός κινούμενου σώματος μεταξύ των διαφορετικών συστημάτων αναφοράς, έγινε λόγος σε 6 απαντήσεις. Μόλις 3 ερωτηθέντες αναφέρθηκαν σε ποιοτικό «μετασχηματισμό» των αποστάσεων με την αλλαγή παρατηρητή.

Στο ερώτημα που αφορούσε στη διερεύνηση των ιδεών των συμμετεχόντων ως προς τη διαφοροποίηση της μέτρησης/υπολογισμού της **ταχύτητας** και το μετασχηματισμό της τιμής της από ένα αδρανειακό σύστημα αναφοράς σε άλλο, απάντησαν 56 ερωτηθέντες. Από το σύνολο των απαντήσεων αναδείχθηκαν δύο κυριαρχούσες ιδέες για την ταχύτητα. Η πρώτη αφορά στην ταχύτητα ως αναλλοίωτη ιδιότητα του κινούμενου σώματος (22 απαντήσεις). Η δεύτερη περιλαμβάνει την αναγνώριση της διαφοροποίησης της τιμής της με την αλλαγή του συστήματος αναφοράς. Αρκετοί μάλιστα, συμπεριέλαβαν στην απάντησή τους μια ποιοτική

εκτίμηση της τιμής της ταχύτητας από το νέο παρατηρητή, μεταχειριζόμενοι ωστόσο τις διαφορετικές τιμές ως απόλυτες ποσότητες (32 απαντήσεις). Η σαφής αναφορά στον ποσοτικό μετασχηματισμό των ταχυτήτων μεταξύ των διαφορετικών αδρανειακών συστημάτων αναφοράς εμφανίστηκε σε 2 απαντήσεις. Παρ' ότι, όμως, αναγνωρίζεται μια πρωτόλεια κατανόηση της σχετικότητας των ταχυτήτων στις δύο τελευταίες κατηγορίες, υποβόσκει στις απαντήσεις των ερωτηθέντων η ιδέα της απόλυτης κίνησης ως μόνης «πραγματικής». Η διαφοροποίηση δηλαδή, αποδίδεται ως αποτέλεσμα του αντιληπτικού συστήματος του παρατηρητή. Δείκτης αυτού, αποτελεί το γεγονός ότι για την αναφορά στην ταχύτητα που θα παρατηρούνταν από το νέο σύστημα αναφοράς χρησιμοποιούνταν φράσεις στις οποίες, ο παρατηρητής «πίστευε», «νόμιζε» ή «θεώρησε» μια διαφοροποίηση στην ταχύτητα. Τα παρόντα ευρήματα επιβεβαιώνουν εκείνα των Saltiel & Malgrange (1980), περί της ύπαρξης ενός «φυσικού μοντέλου» κατανόησης της κίνησης, τόσο ως προς την «αιτιακή» επεξήγηση της κίνησης ως μόνιμη φυσική ιδιότητα του κινούμενου σώματος, όσο και ως προς την περιγραφική διάκριση της «πραγματικής» από τη «φαινόμενη» κίνηση και ταχύτητα.

Από τα παραπάνω συμπεραίνεται ότι η πλειονότητα των ατόμων που απάντησε στις δραστηριότητες, αναγνωρίζει άμεσα ή έμμεσα τα χρονικά διαστήματα και το χρόνο εν γένει, ως ποσότητα ανεξάρτητη από το σύστημα αναφοράς μέτρησής της. Η ιδέα αυτή συνάδει με την εννοιολόγηση του χρόνου στο πλαίσιο της Σχετικότητας του Γαλιλαίου. Ανεξάρτητη του συστήματος αναφοράς μέτρησής της, είναι σύμφωνα με την πλειοψηφία των απαντήσεων και η απόσταση την οποία μετακινήθηκε ένα αντικείμενο σε δεδομένο χρονικό διάστημα. Η εικόνα διαφοροποιείται αρκετά στο ερώτημα περί της ταχύτητας. Αν και η συντριπτική πλειοψηφία απάντησε στο ερώτημα με υποβόσκουσα την ιδέα της απόλυτης κίνησης, ένα σημαντικό μέρος των απαντήσεων αυτών αναγνωρίζει μια «οιωνεί» σχετικότητα της ταχύτητας. Υποστηρίζεται δηλαδή, η διαφοροποίηση της μέτρησης/υπολογισμού της ταχύτητας με την υιοθέτηση ενός συστήματος αναφοράς διαφορετικού του εδάφους. Υλοποιείται ακόμη, μια ποιοτική εκτίμηση της τιμής της στο νέο σύστημα αναφοράς σε σχέση με το αρχικό, χωρίς όμως να γίνεται σαφής διάκριση μεταξύ τους. Ωστόσο, η μέτρηση αυτή αποδίδεται ως αποτέλεσμα της επεξεργασίας του αντιληπτικού συστήματος και αντιπαραβάλλεται ως λιγότερη πραγματική σε σχέση με την «απόλυτη» ταχύτητα. Τέλος, ελάχιστες είναι οι απαντήσεις στις οποίες επιχειρήθηκε ο προσδιορισμός της απόστασης ή της ταχύτητας σε νέο σύστημα αναφοράς μέσω ενός ποσοτικού μετασχηματισμού των αντίστοιχων δοθέντων τιμών από το αρχικό σύστημα.

## 5. Τα ερευνητικά ερωτήματα της εμπειρικής έρευνας

Από τις αρχές της δεκαετίας του 1980, καταγράφεται η δημοσίευση ερευνών (Saltiel & Malgrange 1980, Bowden et al. 1992, Panse, Ramadas, & Kumar 1994, Ramadas, Barve & Kumar 1996a, 1996b κ.ά.) στις οποίες διερευνώνται οι εννοιολογήσεις μαθητών της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης, καθώς και φοιτητών, για τη γαλιλαϊκή σχετικότητα. Στις έρευνες αυτές, παρατίθενται οι εναλλακτικές ιδέες των συμμετεχόντων για τις έννοιες «σύστημα αναφοράς», «απόσταση», «χρόνος», «ενέργεια», «νόμοι της κίνησης» κ.ά. Μάλιστα, σε μερικές έρευνες εξ' αυτών προτείνονται γενικού χαρακτήρα αρχές και κατευθύνσεις για τη διδασκαλία των προαναφερθέντων εννοιών.

Όπως γίνεται φανερό και από την ανασκόπηση της σχετικής βιβλιογραφίας που παρατίθεται σε προηγούμενη ενότητα, το ερευνητικό ενδιαφέρον γύρω από τη θεματική κυρίως επικεντρώθηκε στις εναλλακτικές ιδέες. Η μελέτη των σχετικών ερευνών δεν ανέδειξε κάποια έρευνα στην οποία να εξετάζεται η ανταπόκριση των παραπάνω πληθυσμών σε μαθησιακά έργα που αφορούν στις προαναφερθείσες έννοιες, τουλάχιστον στο πλαίσιο της Γαλιλαϊκής Σχετικότητας. Στην παρούσα, λοιπόν, έρευνα επιχειρείται η πλήρωση αυτού του κενού. Ως σκοπός, δηλαδή, της παρούσας εργασίας τέθηκε η διερεύνηση των διαδικασιών διδασκαλίας και μάθησης υποψήφιων εκπαιδευτικών προκειμένου να κατανοήσουν τις έννοιες της γαλιλαϊκής κινηματικής. Με άλλα λόγια, επιδιώκεται η ανάδυση των ιδεών και η μελέτη της ανάπτυξής τους, η αποτύπωση των δυσκολιών και η ανάδειξη των τρόπων αντιμετώπισης/ υπέρβασής τους .

Βάσει αυτών, τα ερευνητικά ερωτήματα της έρευνας διαμορφώθηκαν ως εξής:

- Ποιες είναι οι ιδέες των υποψήφιων εκπαιδευτικών για τις έννοιες της γαλιλαϊκής σχετικότητας «σχετικότητα του χώρου», «αναλλοίωτο του χρόνου», «σχετικότητα της ταχύτητας» και «μετασχηματισμοί του Γαλιλαίου»;
- Αναπτύσσεται η κατανόηση των συμμετεχόντων για αυτές τις έννοιες;
- Με ποιους τρόπους αναπτύσσεται η κατανόηση των υποψήφιων εκπαιδευτικών για τις έννοιες αυτές;
- Ποιες είναι οι δυσκολίες που ανακύπτουν κατά τη μαθησιακή διαχείριση των παραπάνω εννοιών από υποψήφιους εκπαιδευτικούς;
- Με ποιους τρόπους επιχειρούν να υπερβούν ή/και υπερβαίνουν τις δυσκολίες οι υποψήφιοι εκπαιδευτικοί;

## **Μέρος Β΄**

### **6. Μεθοδολογία της έρευνας**

Σκοπός της παρούσας ενότητας είναι η περιγραφική παράθεση της μεθοδολογίας της έρευνας. Στις σελίδες που έπονται παρουσιάζονται οι συμμετέχοντες και τα εργαλεία που επιλέχθηκαν με σκοπό τη συλλογή των δεδομένων. Ακόμη, περιγράφεται ο ερευνητικός σχεδιασμός και οι μέθοδοι ανάλυσης των δεδομένων στις διάφορες φάσεις της έρευνας.

## 6.1. Συμμετέχοντες.

Για τις ανάγκες της έρευνας, ως δείγμα επιλέχθηκαν οι φοιτητές του δεύτερου έτους του Παιδαγωγικού Τμήματος Δημοτικής Εκπαίδευσης του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας του ακαδημαϊκού έτους 2015-2016. Η συγκεκριμένη επιλογή, κυρίως βασίστηκε στη δυνατότητα πρόσβασης στο συγκεκριμένο πληθυσμό. Συνεπώς ως μέθοδος δειγματοληψίας επιλέχθηκε η βολική (Cohen, Manion, & Morrison, 2007). Οι δευτεροετείς φοιτητές στα πλαίσια της φοίτησής τους στο τμήμα παρακολούθησαν κατά το προηγούμενο ακαδημαϊκό έτος το εισαγωγικό μάθημα «Βασικές έννοιες των Φυσικών Επιστημών», ενώ κατά τη διεξαγωγή της παρούσας έρευνας παρακολουθούσαν το μάθημα «Διδακτική των Φυσικών Επιστημών». Στους συμμετέχοντες της έρευνας συγκαταλέγονται ακόμη, ο ερευνητής-εκπαιδευτικός και οι πέντε ερευνητές-παρατηρητές (2 μεταπτυχιακοί φοιτητές, 2 υποψήφιοι διδάκτορες, 1 Αναπληρωτής Καθηγητής), οι οποίοι συμμετείχαν ως μη συμμετοχικοί παρατηρητές στην πιλοτική εφαρμογή της διδακτικής παρέμβασης, καθώς και στις συναντήσεις της κυρίως εμπειρικής έρευνας. Η συμμετοχή διαφορετικών ερευνητών-παρατηρητών επιδιώχθηκε, ώστε μέσω της συνεισφοράς του ο κάθε ερευνητή, να εμπλουτίσει και συνάμα να βελτιώσει την ποιότητα της ερευνητικής διαδικασίας (Molina, Castro, & Castro, 2007).

Αναλυτικότερα, στη συμπλήρωση του ερωτηματολογίου προκαταρκτικής ανίχνευσης των ιδεών των φοιτητών εθελοντικά συμμετείχαν εξήντα τέσσερις φοιτητές οι οποίοι παρακολουθούσαν διάλεξη του μαθήματος «Διδακτική των Φυσικών Επιστημών». Στην πιλοτική εφαρμογή της διδακτικής παρέμβασης συμμετείχαν ο ερευνητής-εκπαιδευτικός, ένας ερευνητής-παρατηρητής και δύο φοιτήτριες οι οποίες είχαν απαντήσει στο παραπάνω ερωτηματολόγιο. Η εργασία σε εταιρικές ομάδες επιλέχθηκε με σκοπό τη διαπραγμάτευση, κυρίως μεταξύ των συμμετεχόντων, των προσωπικών τους ιδεών για τις υπό συζήτηση έννοιες (Komorek & Duit, 2004). Στην επιλογή αυτή συνέβαλαν τόσο η δυνατότητα υπέρβασης της κριτικής που λαμβάνουν οι έρευνες που υλοποιούνται σε εργαστηριακές συνθήκες, όσο και η δυνατότητα συγκερασμού των πλεονεκτημάτων τους με εκείνα της έρευνας σε αυθεντικές συνθήκες τάξης (Komorek & Duit, 2004). Η επιλογή των δύο φοιτητριών έγινε βάσει της δυνατότητας παρουσίας τους στη συνάντηση. Στην κυρίως εμπειρική έρευνα πέραν του ερευνητή-εκπαιδευτικού και του εκάστοτε ερευνητή-παρατηρητή, συμμετείχαν εθελοντικά από το σύνολο των φοιτητών, είκοσι δύο φοιτητές (20 κορίτσια και 2 αγόρια) σε ζευγάρια των δύο ατόμων. Η συγκρότηση των εταιρικών ομάδων υλοποιήθηκε ύστερα από συνεννόηση με τους φοιτητές, βάσει της διαθεσιμότητάς τους για τη συμμετοχή στις συναντήσεις.

## 6.2. Εργαλεία συλλογής δεδομένων.

Για τη συλλογή των δεδομένων στις διάφορες φάσεις της έρευνας αξιοποιήθηκαν τα κάτωθι εργαλεία:

Με σκοπό την προκαταρκτική ανίχνευση των (εναλλακτικών) ιδεών των συμμετεχόντων, ως προς έννοιες της κινηματικής της σχετικότητας και ιδίως τους μετασχηματισμούς του Γαλιλαίου, καταρτίστηκε και διανεμήθηκε ερωτηματολόγιο αποτελούμενο από δύο δραστηριότητες (βλ. Παράρτημα, σελ. 62). Με την πρώτη δραστηριότητα επιδιώχθηκε α) η διερεύνηση των ιδεών των συμμετεχόντων ως προς το αναλλοίωτο ή τη μεταβλητότητα ενός συγκεκριμένου χρονικού διαστήματος μετρημένο από διαφορετικά συστήματα αναφοράς. Στην ίδια δραστηριότητα β) διερευνήθηκαν οι ιδέες των συμμετεχόντων ως προς τη σχετικότητα στην παρατήρηση και το μετασχηματισμό των αποστάσεων μεταξύ των αδρανειακών συστημάτων αναφοράς. Στη δεύτερη δραστηριότητα και σε συνέχεια της πρώτης, επιδιώχθηκε γ) η ανάδειξη των ιδεών των φοιτητών ως προς τη σχετικότητα των ταχύτητας μεταξύ των διαφορετικών παρατηρητών, αλλά και το μετασχηματισμό των ταχυτήτων με την αλλαγή του αδρανειακού συστήματος αναφοράς.

Ως εργαλείο συλλογής των δεδομένων κατά την πιλοτική εφαρμογή, αλλά και την κυρίως εμπειρική έρευνα αξιοποιήθηκε το διδακτικό πείραμα (teaching experiment) το οποίο αποτελεί μέθοδο «διερεύνησης της διαδικασίας διδασκαλίας και μάθησης εκ των έσω» (Χρονάκη, 2010, σελ. 609). Σύμφωνα με τους Komorek & Duit (2004), η εφαρμογή της μεθόδου αυτής ενδείκνυται σε εκείνες τις περιπτώσεις στις οποίες αναζητείται η ολιστική θέαση των ιδεών και των δυσκολιών σε μια θεματική. Το διδακτικό πείραμα αποτελείται από μια σειρά διδακτικών επεισοδίων στα οποία εμπλέκονται ένας μαθητής ή μια ομάδα μαθητών, ένας ερευνητής-εκπαιδευτικός και ένας ερευνητής-παρατηρητής, ενώ απαραίτητη είναι η καταγραφή του επεισοδίου μέσω μαγνητοσκόπησης ή μαγνητοφώνησης (Steffe & Thompson, 2000). Δύο ακόμα βασικά μέρη, σύμφωνα με τους ίδιους ερευνητές, αποτελούν η προκαταρκτική ανάλυση (preliminary analysis) η οποία υλοποιείται μεταξύ των διδακτικών επεισοδίων και η τελική αναστοχαστική ανάλυση (final retrospective analysis) που πραγματοποιείται με την ολοκλήρωσή τους. Βασικός στόχος του συγκεκριμένου τύπου σχεδιαστικών ερευνών είναι η εθνογραφική μελέτη των ιδεών, των εργαλείων και των μοντέλων των μαθητών (Molina, Castro, & Castro, 2007). Στο επίκεντρο, δηλαδή, της μελέτης τίθεται η ανάπτυξη της μάθησης των μαθητών ή/και των εκπαιδευτικών ή η εξέλιξη του διδακτικού πλαισίου και των δραστηριοτήτων, και όχι η μάθηση ως επίδοση σε μαθησιακά

έργα (Molina, Castro, & Castro, 2007). Οι θεωρητικές του καταβολές εντοπίζονται στην κοινωνικο-ιστορικο-πολιτισμική Ψυχολογία και στην κονστρουκτιβιστική επιστημολογία (Χρονάκη, 2010).

Ως βασικά χαρακτηριστικά της συγκεκριμένης μεθοδολογίας, αναφέρονται η δράση του ερευνητή-εκπαιδευτικού ως διδάσκοντα και συμμετέχοντα παρατηρητή, αλλά και η προοδευτική βελτίωση (progressive refinement) η οποία αναφέρεται στην επαναληψιμότητα του σχεδιασμού (διατύπωση υποθέσεων, σχεδιασμός παρέμβασης, εφαρμογή της παρέμβασης, ανάλυση δεδομένων, αναθεώρηση των υποθέσεων, σχεδιασμός νέας παρέμβασης) και την αναθεώρησή του βάσει των δεδομένων που ανακύπτουν από την προκαταρκτική ανάλυση (Molina, Castro, & Castro, 2007). Η διάρκεια της υλοποίησης ενός διδακτικού πειράματος ποικίλλει από διδακτικές ώρες μέχρι και έτη, ενώ δύναται να υλοποιηθεί σε διαφορετικά πλαίσια ανάλογα με τις επιδιώξεις του εκάστοτε ερευνητή (Molina, Castro, & Castro, 2007).

Στην παρούσα έρευνα, η έννοια της προοδευτικής βελτίωσης προσεγγίζεται μέσω της πολλαπλής εφαρμογής του ίδιου διδακτικού υλικού σε διαφορετικά ζευγάρια συμμετεχόντων και της πρότασης για προσαρμογή του υλικού βάσει των αποτελεσμάτων της τελικής αναστοχαστικής ανάλυσης (final retrospective analysis). Στο πλαίσιο της εφαρμογής της παραπάνω μεθοδολογίας στις δύο φάσεις (πιλοτική και κυρίως έρευνα), οι συμμετέχοντες ερευνητές-παρατηρητές πραγματοποίησαν μη δομημένη παρατήρηση, κρατώντας κατά βούληση, ελεύθερες χειρόγραφες σημειώσεις.

Με σκοπό τόσο τη διερεύνηση των αντιλήψεων των συμμετεχόντων ως προς τη μεταβολή του τρόπου με τον οποίο σκέφτονται για την κίνηση, όσο και για την ανάπτυξη της μεταγνωστικής επίγνωσης, υλοποιήθηκε σύντομης διάρκειας δομημένη συνέντευξη με το πέρας της κάθε συνάντησης (Komorek & Duit, 2004). Από τους συμμετέχοντες ζητήθηκε να αναστοχαστούν ως προς το βαθμό ταύτισης των ιδεών τους για τις κινηματικές έννοιες πριν και μετά την ολοκλήρωση της διδακτικής παρέμβασης, καθώς και να προσδιορίσουν τις περιοχές εκείνες στις οποίες εντοπίζουν αλλαγή ή πλήρη ταύτιση.

### **6.3. Ερευνητικός σχεδιασμός.**

Η ανασκόπηση της βιβλιογραφίας της Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών ανέδειξε ένα κενό που αφορά στη μαθησιακή διαχείριση των εννοιών της γαλιλαϊκής κινηματικής από φοιτητές των παιδαγωγικών σχολών και εν γένει φοιτητές της τριτοβάθμιας εκπαίδευσης. Η

συσσωρευμένη γνώση γύρω από τις εναλλακτικές ιδέες φοιτητών για τις έννοιες της σχετικότητας του Γαλιλαίου αποτέλεσε τη βάση στην οποία στηρίχτηκε η κατασκευή του διδακτικού υλικού των παρεμβάσεων της κυρίως εμπειρικής έρευνας (Komorek & Duit, 2004· Molina, Castro, & Castro, 2007). Ωστόσο, κρίθηκε απαραίτητη η συμπερίληψη στο σχεδιασμό του υλικού των εναλλακτικών ιδεών και της κατανόησης των συμμετεχόντων της παρούσας έρευνας για τις υπό διαπραγμάτευση έννοιες. Για την αρχική αυτή διερεύνηση καταρτίστηκε ερωτηματολόγιο (βλ. Παράρτημα, σελ. 62) στο οποίο εξετάζονταν άμεσα οι ιδέες των φοιτητών για βασικές κινηματικές έννοιες και τους μετασχηματισμούς τους μεταξύ των διαφορετικών αδρανειακών συστημάτων αναφοράς και έμμεσα η εργαλειακή χρήση της έννοιας του «συστήματος αναφοράς». Η χορήγηση και η συγκέντρωση των ερωτηματολογίων υλοποιήθηκε με το πέρας διάλεξης του μαθήματος του δεύτερου έτους «Διδακτική των Φυσικών Επιστημών» στην αρχή του εαρινού ακαδημαϊκού εξαμήνου (Μάρτιος 2016). Συγκεντρώθηκαν 64 ερωτηματολόγια. Οι απαντήσεις των φοιτητών στις δύο δραστηριότητες του ερωτηματολογίου αναλύθηκαν μέσω της συνεχούς συγκριτικής μεθόδου (constant comparative method of data analysis) των Glaser & Strauss (1967), όπως αυτή περιγράφεται από τη Merriam (2009).

Η συνέργεια των αποτελεσμάτων αυτών, με τη βιβλιογραφικά τεκμηριωμένη εμπειρική βάση, καθώς και τους γενικούς διδακτικούς σκοπούς της συγκεκριμένης θεματικής, συνέβαλλε στη διαμόρφωση των ειδικών διδακτικών στόχων. Οι ειδικότεροι διδακτικοί στόχοι, όπως και οι γενικότεροι σκοποί, οργανώθηκαν σε τρία επίπεδα. Στο κατώτατο επίπεδο επιδιώχθηκε η συνειδητοποίηση της σχετικότητας της κίνησης, λόγω της κυριαρχούσας ιδέας περί απόλυτης κίνησης, όπως καταγράφηκε από την ανάλυση των ερωτηματολογίων. Ως περιεχόμενο του δεύτερου επιπέδου καθορίστηκε ο προσδιορισμός και ο χειρισμός των διάφορων κινηματικών ποσοτήτων μεταξύ των διαφορετικών συστημάτων αναφοράς. Περιεχόμενο του τρίτου επιπέδου αποτέλεσε η συνειδητοποίηση της συμφωνίας των μετρήσεων των κινηματικών ποσοτήτων από τα διαφορετικά συστήματα αναφοράς. Η επιλογή της σειράς προσέγγισης των διδακτικών στόχων υλοποιήθηκε στη συνηθέστερη πορεία που συναντάται στα σχολικά εγχειρίδια η οποία ξεκινά από τη μέτρηση αποστάσεων και συνεχίζει με τον υπολογισμό των ταχυτήτων.

Βάσει των τεθέντων στόχων, των αρχών σχεδιασμού περιβάλλοντος μάθησης προώθησης της εννοιολογικής αλλαγής (Vosniadou και συν., 2001) και με την αξιοποίηση των κατευθύνσεων των προηγούμενων ερευνών (Bowden και συν., 1992· McDermott, 2009· Saltiel & Malgrange, 1980) ως προς την κατασκευή του διδακτικού υλικού, προετοιμάστηκε το



προσχέδιο των δραστηριοτήτων (Komorek & Duit, 2004). Μεθοδολογικού χαρακτήρα επιλογές, όπως η αξιοποίηση ερωτημάτων πρόβλεψης, ατομικής επεξήγησης και γενίκευσης βασίστηκαν σε προηγούμενες εφαρμογές του διδακτικού πειράματος στην έρευνα της Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών (Komorek & Duit, 2004). Η αρχική αυτή εκδοχή του διδακτικού υλικού αξιολογήθηκε από δύο ερευνητές (οι οποίοι στη συνέχεια συμμετείχαν στην έρευνα ως παρατηρητές) ως προς την επιστημονική του εγκυρότητα, την πληρότητα της κάλυψης του περιεχομένου της επιλεχθείσας θεματικής, καθώς και ως προς την συνέπεια των τεθέντων διδακτικών στόχων και των τελικών δραστηριοτήτων. Η αξιολόγηση αρχικά, ανέδειξε την ανάγκη διάθεσης περισσότερου διδακτικού χρόνου στη συζήτηση περί συμφωνίας των μετρήσεων μεταξύ των διαφορετικών παρατηρητών και των προϋποθέσεων για την επίτευξή της. Ακόμη, αναδείχθηκε η επιτακτικότητα της αποφυγής της χρήσης όρων που δεν συνάδουν με τη σχετικότητα της κίνησης. Παράδειγμα αυτού, αποτελεί η αποφυγή των όρων «μετατόπιση» και «διάστημα» των οποίων η χρήση υποκρύπτει ιδέες περί προτιμητέου συστήματος αναφοράς και απόλυτης κίνησης. Τα αποτελέσματα της αξιολόγησης αυτής ενημέρωσαν τον αρχικό σχεδιασμό.

Στη συνέχεια, υλοποιήθηκε η πιλοτική εφαρμογή του διδακτικού υλικού με ένα ζευγάρι φοιτητριών οι οποίες είχαν απαντήσει στο ερωτηματολόγιο. Πέρα από την ανάδειξη σημείων τα οποία έρχιζαν αλλαγής ή τροποποίησης, η πιλοτική εφαρμογή επιδιώχθηκε ώστε να εξοικειωθεί ο ερευνητής-εκπαιδευτικός με το χειρισμό των εννοιών από τους συμμετέχοντες στην έρευνα, σημείο καίριας σημασίας σύμφωνα με τους Steffe & Thompson (2000). Το ζευγάρι των φοιτητριών συγκροτήθηκε βάσει της διαθεσιμότητας των 2 φοιτητριών για την παρουσία τους στη συνάντηση. Η συλλογή των δεδομένων υλοποιήθηκε με την μαγνητοσκόπηση και μαγνητοφώνηση της συνάντησης, τη συλλογή των φωτοαντιγράφων του διδακτικού υλικού που διανεμήθηκε στις συμμετέχουσες, καθώς και τη συλλογή των ελεύθερων σημειώσεων του ερευνητή-παρατηρητή. Η ανάλυση της αυτολεξεί απομαγνητοφώνησης και των σημειώσεων του ερευνητή-παρατηρητή κατέδειξε την ανάγκη περιορισμού του αριθμού των δραστηριοτήτων, καθώς δεν κατέστη δυνατή η επεξεργασία όλων στο διαθέσιμο χρονικό διάστημα των δύο ωρών. Στα συμπεράσματα της ανάλυσης αυτής, συγκαταλέγεται η τροποποίηση του οπτικού υλικού που συνόδευε τις δραστηριότητες με την αποτύπωση των στιγμιαίων θέσεων των εικονιζόμενων κινητών σε διαφορετικές εικόνες. Η αρχική επιλογή για παρουσίαση των διαφορετικών στιγμιότυπων στην ίδια εικόνα δεν διευκόλυνε τις συμμετέχουσες στην προσπάθεια να αντιληφθούν τη συνέχεια της κίνησης των δύο κινητών. Τέλος, αποφασίστηκε η αφαίρεση της δραστηριότητας με τα αεροπλάνα,

λόγω των χρονικών περιορισμών ως προς την έκταση των διδακτικών παρεμβάσεων και της ιδιαίτερα αυξημένης δυσκολίας αντίληψης της κίνησης ως προς τον αέρα (δηλαδή με απουσία απεικόνισης του εδάφους). Το συγκεκριμένο πλαίσιο το οποίο αποτελεί το πιο απαιτητικό σε σύγκριση με την κίνηση ως προς το έδαφος ή το ποτάμι, συνάμα με τις εννοιολογικές δυσκολίες ως προς τις σχετικές έννοιες, δυσχέραναν επιπρόσθετα το χειρισμό των κινηματικών ποσοτήτων (Monaghan, & Clement, 1999).

Έπειτα από την προσαρμογή του διδακτικού υλικού βάσει των συμπερασμάτων της πιλοτικής του εφαρμογής, ακολούθησε η ενημέρωση των φοιτητών του δεύτερου έτους για συμμετοχή τους σε έρευνα που αφορά στις κινήσεις, καθώς και για την ανάγκη παραχώρησης δύο ωρών για τη συμμετοχή αυτή. Οι συναντήσεις-διδακτικές παρεμβάσεις προγραμματίστηκαν ύστερα από συνεννόηση των επιθυμούντων για συμμετοχή μεταξύ τους και με τον ερευνητή-εκπαιδευτικό. Η συγκρότηση των εταιρικών ομάδων των φοιτητών υλοποιήθηκε βάσει της διαθεσιμότητάς τους. Οι έντεκα συναντήσεις πραγματοποιήθηκαν στο Εργαστήριο της Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών του Παιδαγωγικού Τμήματος Δημοτικής Εκπαίδευσης στο διάστημα 12 Μαΐου 2016 με 1 Ιουνίου 2016. Οι παρεμβάσεις πραγματοποιήθηκαν με την παρουσία ενός ερευνητή-παρατηρητή, ενώ μαγνητοσκοπήθηκαν και μαγνητοφωνήθηκαν. Στη συνέχεια ακολούθησε η αυτολεξεί απομαγνητοφώνηση και η ανάλυση των απομαγνητοφωνήσεων, όπως αυτή περιγράφεται στην επόμενη υποενότητα.

#### **6.4. Ανάλυση των δεδομένων.**

Στην παρούσα έρευνα, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, επιχειρήθηκε η πολλαπλή εφαρμογή του ενός κύκλου της μεθόδου του διδακτικού πειράματος. Συνεπώς, δεν κρίθηκε ως αναγκαία η προκαταρκτική ανάλυση των δεδομένων από τη μια συνάντηση-διδακτική παρέμβαση στην επόμενη. Η ανάλυση των αυτολεξεί απομαγνητοφωνήσεων, των ελεύθερων σημειώσεων των ερευνητών-παρατηρητών, των σημειώσεων του ερευνητή-εκπαιδευτικού με το πέρας της κάθε συνάντησης και των σημειώσεων των συμμετεχόντων πάνω στα φωτοαντίγραφα του διδακτικού υλικού έλαβε τη μορφή της τελικής αναστοχαστικής ανάλυσης (final retrospective analysis). Σκοπός της ανάλυσης αυτής, είναι η συγκρότηση μιας συνεκτικής πορείας της ανάπτυξης της μάθησης των συμμετεχόντων (Molina, Castro, & Castro, 2007).

Η ανάλυση στις διάφορες φάσεις της ερευνητικής διαδικασίας (αρχική διερεύνηση των ιδεών των φοιτητών, πιλοτική εφαρμογή του διδακτικού υλικού, παρεμβάσεις στο πλαίσιο της

κυρίως εμπειρική έρευνας, τελική αναστοχαστική συνέντευξη) υλοποιήθηκε βάσει της συνεχούς συγκριτικής μεθόδου (constant comparative method of data analysis) των Glaser & Strauss (1967), όπως αυτή περιγράφεται από τη Merriam (2009). Βασικός σκοπός της συγκεκριμένης μεθόδου είναι ο εντοπισμός και η διασύνδεση των κανονικοτήτων των δεδομένων που αναδεικνύονται από την εφαρμογή της. Συνοπτικά, η μέθοδος αυτή περιλαμβάνει τη συγκριτική αντιπαραβολή των δεδομένων με κριτήριο την ομοιότητα ή τη διαφοροποίησή τους και τη συγκρότηση «ομάδων» δεδομένων στη βάση κοινής διάστασης. Εν συνεχεία, η κοινή διάσταση ονοματοδοτείται και μετατρέπεται σε κατηγορία. Η βασική αυτή διαδικασία ανάλυσης των δεδομένων ολοκληρώνεται με τον καθορισμό των αριθμών των κατηγοριών, αλλά και τον προσδιορισμό του τρόπου συμπερίληψης των δεδομένων στις κατηγορίες.

## **7. Τα αποτελέσματα της κυρίως εμπειρικής έρευνας**

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της έρευνας. Αρχικά, παρατίθενται τα αποτελέσματα αναφορικά με τους τρόπους με τους οποίους οι συμμετέχοντες περιγράφουν και ερμηνεύουν την κίνηση. Έπονται, τα αποτελέσματα της ανάλυσης των δεδομένων των διδακτικών παρεμβάσεων/συναντήσεων, ενώ το κεφάλαιο ολοκληρώνεται με την παράθεση των αποτελεσμάτων των δομημένων συνεντεύξεων.

### **7.1. Τα αποτελέσματα της πρώτης δραστηριότητας.**

Στην εισαγωγική δραστηριότητα των διδακτικών παρεμβάσεων επιδιώχθηκε η διερεύνηση των τρόπων με τους οποίους περιγράφεται και ερμηνεύεται η κίνηση από τους συμμετέχοντες. Στην πρώτη αυτή δραστηριότητα, οι συμμετέχοντες κλήθηκαν να εξηγήσουν την σε video εμφανιζόμενη κίνηση μιας μπάλας με δεδομένο τη σταθερότητα της ταχύτητας του κινητού από το οποίο εκείνη εκτοξεύεται με σταθερή ταχύτητα. Η παράλειψη του προσδιορισμού των συστημάτων αναφοράς βασίστηκε στην ιδέα της εξάλειψης των νύξεων που ίσως να κατεύθυναν τις απαντήσεις των συμμετεχόντων. Η ανάλυση των δεδομένων ανέδειξε τρεις ομάδες απαντήσεων.

Η πρώτη ομάδα απαρτίζεται από εκείνους τους συμμετέχοντες οι οποίοι χρησιμοποίησαν δυναμικού χαρακτήρα μεγέθη για να επεξηγήσουν την κίνηση. Αξιοποίησαν δηλαδή, μεγέθη τα οποία αποδίδουν ως αιτίες της κίνησης δυνάμεις ή χρησιμοποιούν τη λέξη «δύναμη» αποτυπώνοντας το εννοιολογικό περιεχόμενο άλλων μεγεθών της μηχανικής. Μερικές ενδεικτικές απαντήσεις εμπλέκουν τους όρους: «σύγκρουση δυνάμεων», «βάρος», «ατμοσφαιρική πίεση», «δύναμη» ως δυναμική ενέργεια, «δύναμη» ως ορμή κ.ά.

Στη δεύτερη ομάδα συγκαταλέγονται εκείνες οι απαντήσεις στις οποίες η περιγραφή και η ερμηνεία της κίνησης υλοποιήθηκε με κινηματικού χαρακτήρα ποσότητες, όπως «απόσταση», «ταχύτητα», «ταχύτητα» ως δυναμική ενέργεια, «φόρα» ως ταχύτητα, «ταχύτητα» ως ορμή, «σύνθεση ταχυτήτων». Κοινή συνιστώσα των απαντήσεων αυτών αποτελεί η ιδέα περί της κίνησης και της ταχύτητας ως αναλλοίωτες ποσότητες μεταξύ των διαφορετικών συστημάτων αναφοράς. Στο πλαίσιο αυτό, ως απόλυτο και προνομιακό σύστημα υπονοείται ή αναφέρεται σαφώς το έδαφος.

Η τρίτη ομάδα περιλαμβάνει τις απαντήσεις εκείνες στις οποίες χρησιμοποιήθηκαν, τόσο δυναμικού χαρακτήρα όροι και μεγέθη, όσο και κινηματικού χαρακτήρα.

## **7.2. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης της δεύτερης μέχρι και την πέμπτη δραστηριότητα.**

### **7.2.1. Η αμεταβλητότητα των στιγμιαίων αποστάσεων.**

Η πορεία της μάθησης η οποία σκιαγραφεί τη μάθηση της πλειονότητας των συμμετεχόντων παρουσιάζεται βάσει της σειράς προσέγγισης των εννοιών η οποία διαφαίνεται από τη στοχοθεσία.

Η πλειοψηφία των συμμετεχόντων βάσει της λανθάνουσας/διαισθητικής γνώσης για τη σταθερότητα της στιγμιαίας απόστασης μεταξύ δύο ταυτόχρονων συμβάντων και της διαφοροποίησης στην παρατήρησή της, δύναται να εκτιμήσει την πιθανή θέση του παρατηρητή. Με άλλα λόγια, οι συμμετέχοντες αναγνωρίζοντας τη διαφοροποίηση στην παρατήρηση προτείνουν έναν παρατηρητή, η θέση του οποίου θα επέτρεπε την παραπάνω παρατήρηση. Οι παρεχόμενες απεικονίσεις της στιγμιαίας απόστασης από τους διαφορετικούς παρατηρητές ενίσχυσαν την προσπάθεια προσδιορισμού των τελευταίων.

### **Βινιέτα 1**

EE: Θέλω να μου πείτε αν νομίζετε ότι αυτές οι φωτογραφίες αντιστοιχούν σε αυτό που είδε η φοιτήτρια.

2B: Ναι, ίσως αντιστοιχούν, αλλά τις έχουν πάρει από διαφορετική θέση.

2A: Ναι και εγώ αυτό νομίζω.

2B: Από δω και πέρα ας πούμε θα ήτανε (ο παρατηρητής), για να το βλέπει προς τα δεξιά, όπως εδώ.

Από την άλλη πλευρά, ο προσδιορισμός ενός συστήματος αναφοράς ή σύμφωνα με μερικούς συμμετέχοντες, η υιοθέτηση της «οπτικής γωνίας» ενός άλλου παρατηρητή, οδηγεί σε διαφοροποίηση της παρατήρησης της στιγμιαίας απόστασης, με ή χωρίς τη συνειδητή γνώση της αμεταβλητότητάς της. Η προσπάθεια των συμμετεχόντων για προσδιορισμό της φαινόμενης απόστασης από τον εκάστοτε παρατηρητή αναδεικνύει μια αρχική σαφή αναφορά της «διαφωνίας» της παρατήρησης.

## **Βινιέτα 2**

ΕΕ: Γίνεται να βρίσκει ίδια απόσταση εδώ και εδώ διαφορετική;

6B: Ναι, αν δεν είναι στην ίδια θέση με αυτό το άτομο. Αλλά να μην έχει μετακινηθεί, να είναι σε ένα σημείο, αλλά να είναι σε διαφορετικό σημείο από αυτό το άτομο. (...)

6A: Από τη στιγμή που είναι σε διαφορετική θέση, θα βγάζει διαφορετικές φωτογραφίες. (εννοείται διαφοροποίηση στην παρατήρηση της απόστασης)

Παρά όμως, την εναλλαγή των συστημάτων αναφοράς και τη συνακόλουθη διαφοροποίηση στην παρατήρηση της στιγμιαίας απόστασης των δύο συμβάντων, σχεδόν όλοι οι συμμετέχοντες σαφώς υποστηρίζουν και συμφωνούν ως προς την αμεταβλητότητά της.

## **Βινιέτα 3**

ΕΕ: Αν παίρναμε ένα χάρακα και μετρούσαμε την απόσταση των δύο, την απόσταση αυτών, τι θα βρίσκαμε;

1A: Θα ήταν η ίδια, αλλά η οπτική του παρατηρητή θα ήταν διαφορετική. (...)

1B: Ισχύει το ίδιο και σε αυτή τη στήλη και σε αυτή τη στήλη. Δηλαδή, τα αντικείμενα δεν αλλάζουν, αλλά αλλάζει η οπτική του παρατηρητή. (...) Αλλάζει δηλαδή μόνο το πού στέκεται ο άνθρωπος, όχι η απόστασή τους.

### ***7.2.2. Η αμεταβλητότητα των χρονικών διαστημάτων.***

Περισσότεροι από τους μισούς ερωτηθέντες υποστηρίζουν με σαφήνεια την ταύτιση των μετρήσεων ενός συγκεκριμένου χρονικού διαστήματος μεταξύ των διαφορετικών παρατηρητών. Συνεπώς, αναγνωρίζεται από αυτούς το αναλλοίωτο του χρόνου, καθώς ο απόλυτος χρόνος είναι «λογικός».

## **Βινιέτα 4**

ΕΕ: Τα πενήντα δευτερόλεπτα θα τα μετρούσε και ο ακίνητος παρατηρητής στο λιμάνι ή θα μετρούσε ένα χρόνο διαφορετικό; (...)

2B: Εγώ πιστεύω θα είναι το ίδιο. Δεν λαμβάνω υπόψη μου καν ότι κινείται το καράβι. Σκέφτομαι ότι ίσως επειδή είναι μακριά να φαίνεται πιο μικρό και αυτό επηρέαζε, αλλά δεν νομίζω. Νομίζω τον ίδιο χρόνο.

Το ένα τρίτο όμως, περίπου των ερωτηθέντων αναφέρει διαφοροποίηση στη μέτρηση ενός συγκεκριμένου χρονικού διαστήματος αιτιολογώντας την άποψη αυτή, σε λάθη κατά τη διαδικασία της μέτρησης ή λάθη που οφείλονται στις αντιληπτικές ικανότητες του παρατηρητή. Αποδίδονται δηλαδή, τα λάθη αυτά στα ανθρωπομορφικά χαρακτηριστικά των παρατηρητών. Με άλλα λόγια, αντανakλάται στον όρο «παρατηρητής» η εννοιολόγησή του στα πλαίσια της καθημερινής ζωής. Η εξάλειψη της κυριολεκτικής σημασίας του όρου «παρατηρητή» και η αντικατάστασή του με όργανα μέτρησης του χρόνου, αποτελεί την προϋπόθεση για την ανατροπή της ιδέας της διαφοροποίησης της μέτρησης ενός χρονικού διαστήματος από τα διαφορετικά αδρανειακά συστήματα αναφοράς και τη συμφωνία με την ιδέα του χρόνου ως απόλυτο μέγεθος.

## **Βινιέτα 5**

7B: Για να έβρισκαν τον ίδιο (χρόνο) δεν θα έπρεπε να αρχίσουν να μετράνε ταυτόχρονα;

ΕΕ: Εάν μετρούσαν ταυτόχρονα, δηλαδή τη στιγμή που ο επιβάτης ξεκινάει να περπατάει πάνω στο κατάστρωμα, πατάει το κουμπί και την ίδια στιγμή και ο παρατηρητής πατάει το κουμπί...

7B: Ναι, το ίδιο δεν θα έβρισκαν;

7A: Ναι, λογικά το ίδιο. (...)

### ***7.2.3. Προσδιορισμός, μετασχηματισμός και σχετικότητα των αποστάσεων.***

Ο προσδιορισμός της απόστασης μετακίνησης ενός σώματος από συγκεκριμένο σύστημα αναφοράς βάσει δύο δεδομένων χρονικών στιγμών, ζητήθηκε αρκετές φορές από



τους συμμετέχοντες. Οι μισοί περίπου από αυτούς σταθερά ανταποκρίνονταν στον προσδιορισμό της απόστασης στην απλή κίνηση, άμεσα και ορθά. Οι απαντήσεις των υπολοίπων ανέδειξαν σε κάποια στιγμή της διδακτικής παρέμβασης, το χειρισμό των στιγμιαίων αποστάσεων και των διανυθέντων μεταξύ των δύο στιγμών με τους ίδιους όρους, όπως φαίνεται από την παρακάτω βινιέτα. Η διδακτική ωστόσο, επισήμανση των στιγμιαίων θέσεων του κινητού αποδείχτηκε ως επαρκής συνθήκη για την υποστήριξη της προσπάθειας επιτυχούς προσδιορισμού της απόστασης.

### **Βινιέτα 6**

ΕΕ: Ο επιβάτης πόση απόσταση μετράει ότι μετακινήθηκε; (ο επιβάτης στις δύο χρονικές στιγμές βρισκόταν στο ίδιο σημείο ως προς το σύστημα αναφοράς του πλοίου) (...)

ΙΦ: Εγώ πιστεύω είναι εκατό, εκατό να πάει στην μια άκρη και εκατό να γυρίσει. Άρα διακόσια. (...)

Σχεδόν όλοι οι συμμετέχοντες αντιμετώπισαν δυσκολίες στον προσδιορισμό της απόστασης στην περίπτωση της σχετικής κίνησης. Ο προσδιορισμός της απόστασης την οποία μετακινήθηκε ένα κινητό βάσει των στιγμιαίων θέσεων του ως προς το θεωρούμενο «ακίνητο» σύστημα αναφοράς στη σχετική κίνηση ανέδειξε τρεις βασικούς τρόπους υπέρβασης των δυσκολιών.

Το ένα τέταρτο περίπου των συμμετεχόντων για την ανταπόκριση στο ζητούμενο αυτό μετέτρεψε τη σχετική κίνηση σε απλή. Πιο συγκεκριμένα, «σβήστηκε» το σώμα το οποίο προσδιόριζε το «κινούμενο» σύστημα αναφοράς και συνεπώς «σβήστηκε» και το αντίστοιχο σύστημα αναφοράς. Έπειτα, η μέτρηση της απόστασης πραγματοποιήθηκε όπως στην περίπτωση της απλής κίνησης, δηλαδή της κίνησης ενός σώματος ως προς ένα «θεωρούμενο» σε ηρεμία σύστημα αναφοράς.

### **Βινιέτα 7**

ΕΕ: Θέλω να μου δείξετε με μια γραμμή από πού ξεκινάει η απόσταση και πού τελειώνει. (...) Για να συγκρίνουμε λίγο αυτά που σχεδιάσατε.

9B: Εγώ το πήρα από εδώ.

9A: Εντάξει, εγώ είπα η κίνηση, θα ξεκινήσει το πλοίο από εκεί να αλλάζει θέση. Έβαλα μια νοητή γραμμή.

9B: Εγώ σκέφτηκα τον παρατηρητή, δεν σκέφτηκα το πλοίο. Αρχικά, τον είδε εδώ πέρα. (...) Εγώ τον είδα εδώ πέρα την πρώτη στιγμή και τη δεύτερη εδώ πέρα.

Σε κάποια στιγμή της συνέντευξης, οι μισοί περίπου συμμετέχοντες αντιμετώπισαν δυσκολία στη μέτρηση της απόστασης λόγω του ότι τα κινητά είχαν διαστάσεις. Τα σώματα που επιλέχθηκαν για την κατασκευή του οπτικού υλικού που συνόδευε τις δραστηριότητες δεν ήταν σημειακά κινητά, αλλά γεωμετρικά σχήματα. Οι συμμετέχοντες επέλεξαν ένα αυθαίρετο σημείο στο ένα εκ των δύο σχημάτων που απεικόνιζε τη μια στιγμιαία θέση του κινητού στο εκάστοτε σύστημα αναφοράς και διαφορετικό στο δεύτερο σχήμα που υποδείκνυε τη δεύτερη στιγμιαία θέση του κινητού στο ίδιο σύστημα. Η επιλογή αυτή οδηγούσε σε λανθασμένη μέτρηση. Για την υπέρβαση της δυσκολίας αυτής αρκετή ήταν η επισήμανση του ορθού τρόπου μέτρησης αποστάσεων μετακίνησης μη σημειακών κινητών.

## **Βινιέτα 8**

6A: Εμείς λέμε την απόσταση μεταξύ αυτής και αυτής της στιγμής;

EE: Ναι.

6A: Της στιγμής αυτής και μέχρι να πάει εδώ.

EE: Ποια απόσταση εννοείς; Θες λίγο να τη σχεδιάσεις;

6A: Όχι;

EE: Κοίτα, όταν μετράμε αποστάσεις μετράμε από το ίδιο σημείο.

6A: Α, ναι. Εγώ μέτρησα από το τέλος την... Άρα από εδώ μέχρι εδώ.

EE: Ωραία.

Ένας τρίτος τρόπος υπέρβασης των δυσκολιών που αντιμετώπισε η συντριπτική πλειοψηφία των συμμετεχόντων σε κάποια από τις διαφορετικές δραστηριότητες αφορά στην εμπύθιση στο σύστημα αναφοράς. Πιο συγκεκριμένα, αφορά στην υιοθέτηση της οπτικής του παρατηρητή, στη νοερή δηλαδή, απεικόνιση των στιγμιαίων θέσεων του κινητού από τη θέση του παρατηρητή. Με άλλα λόγια, η επισήμανση των στιγμιαίων θέσεων του κινητού στο σύστημα αναφοράς από το οποίο μελετάται η κίνηση υποστήριξε την ορθή ανταπόκριση στο ζητούμενο της δραστηριότητας. Η εφαρμογή αυτού κατέστησε δυνατό τον προσδιορισμό της απόστασης, ακόμα και στις περιπτώσεις εκείνες στις οποίες η αρχική απάντηση των συμμετεχόντων υποδείκνυε ιδέες για το χώρο και τις χωρικές μετρήσεις ως μεγέθη ανεξάρτητα των παρατηρητών.

### **Βινιέτα 9**

EE: Πόσο έχει μετακινηθεί από αυτή την εικόνα σε αυτή εδώ ως προς το έδαφος; Αν εσύ ήσουν εδώ ο παρατηρητής, και έβλεπες την πρώτη στιγμή τον κολυμβητή εδώ, μετά από ένα δευτερόλεπτο, πού τον βλέπεις;

10B: Εδώ;

EE: Θέλω να μου δείξεις την αρχική θέση του πράσινου σε αυτή την εικόνα. Ζωγράφισέ το.

10B: Εδώ; Δεν κατάλαβα.

EE: Σε αυτό εδώ θέλω να μου δείξεις πού θα είναι ο κολυμβητής τη στιγμή μηδέν;

10B: Εδώ.

EE: Ωραία. Μέσα σε ένα δευτερόλεπτο ο κολυμβητής πήγε από εδώ, εδώ. Τι απόσταση έχει διανύσει;

10B: Ένα κουτάκι.

EE: Ωραία.

Σε συνέχεια του προσδιορισμού της απόστασης από τα δύο συστήματα που χρησιμοποιήθηκαν, ώστε να προσεγγιστεί η έννοια της σχετικής κίνησης, καταγράφεται η σαφής αναγνώριση της διαφοροποίησης των μετρήσεων μεταξύ των διαφορετικών

παρατηρητών. Η σχετικότητα των μετρήσεων των αποστάσεων μεταξύ των διαφορετικών συστημάτων αναφοράς επιβεβαιώθηκε από την πλειοψηφία των συμμετεχόντων. Μάλιστα, σταδιακά οι μισοί περίπου συμμετέχοντες προσδιόρισαν τη μέτρηση από το ένα σύστημα αναφοράς σε συνάρτηση με τη μέτρηση στο άλλο.

### **Βινιέτα 10**

ΕΕ: Πόσο έχει μετακινηθεί ο επιβάτης ως προς το πλοίο;

9B: Εκατό.

9A: Διένυσε τα εκατό μέτρα που είχε το κατάστρωμα του πλοίου. (...)

ΕΕ: Μπορείς να μου δείξεις το πόσο μετακινήθηκε ο επιβάτης ως προς τον παρατηρητή. Γιατί τώρα, όπως σωστά είπες, δείχνεις την κίνηση του πλοίου.

9B: Θα είναι σαν να διένυσε μεγαλύτερη απόσταση από ότι το πλοίο, γιατί κινείται και πάνω στο πλοίο.

9A: Είναι επιπλέον τα εκατό μέτρα του πλοίου.

Οι μισοί συμμετέχοντες επέλεξαν το σύστημα του εδάφους για τη μελέτη της κίνησης. Η επιλογή του συστήματος αυτού ως προνομιακό βασίστηκε σε λόγους που αφορούν στην καθολική (μη συνειδητή) χρήση του στην καθημερινό λόγο και στην εξοικείωση που συνεπάγεται από αυτή. Βάσει του προτιμητέου αυτού συστήματος, οι μισοί εξ αυτών έμμεσα υποστήριξαν πως δεν είναι δυνατή η συμφωνία για την ισότητα των αδρανειακών συστημάτων αναφοράς. Σταδιακά όμως, ισχυρίστηκαν πως με την προϋπόθεση του προσδιορισμού του παρατηρητή είναι δυνατή η αναγνώριση της ισοδυναμίας των αδρανειακών συστημάτων αναφοράς για τη μελέτη της κίνησης.

### **Βινιέτα 11**

ΕΕ: Θα μπορούσατε εσείς να συνεννοηθείτε ότι μιλάτε για το ίδιο πράγμα;

11B: Αν πούμε ως προς τι τα βλέπαμε.

11A: Ναι, και εγώ το ίδιο.

Το ένα τρίτο περίπου των συμμετεχόντων υποστήριξε πως δεν προτιμάται κάποιο σύστημα έναντι των άλλων. Στην επιλογή αυτή φαίνεται να υποβόσκει η ιδέα της σχετικότητας των συστημάτων. Η με σαφήνεια διατύπωση της ισοδυναμίας των αδρανειακών συστημάτων, σύμφωνα με αυτούς τους συμμετέχοντες, προϋποθέτει την αναφορά του παρατηρητή από τον οποίο υλοποιήθηκε η κάθε μέτρηση. Συνεπώς, η συντριπτική πλειοψηφία των συμμετεχόντων, είτε ανέφεραν αρχικά πως προτιμάται κάποιος παρατηρητής, είτε όχι, αναγνωρίζει τη σχετικότητα των μετρήσεων και των συστημάτων στις οποίες έγιναν με την προϋπόθεση της αναφοράς τους.

### **Βινιέτα 12**

7B: Κανονικά ο καθένας θα έλεγε τη δική του απόσταση, απλώς τώρα αν το πήγαιναν στο θέμα της φυσικής, ότι δεν είναι όπως τα βλέπουν τα πράγματα, θα είχαν διαφορετική άποψη.

EE: Τι εννοείς δεν είναι όπως τα βλέπουν;

7B: Όχι, εντάξει. Αυτός θα έλεγε ότι έκανε εκατό μέτρα και ο άλλος ένα άλλο νούμερο. Εν των μεταξύ, αν το δούμε από τη σκοπιά της φυσικής ότι και οι δύο έχουν εν μέρει δίκιο με τον τρόπο που μελέτησαν το φαινόμενο.

#### **7.2.4. Υπολογισμός, μετασχηματισμός και σχετικότητα της ταχύτητας.**

Η πλειονότητα των συμμετεχόντων στις περιπτώσεις που τους ζητήθηκε να υπολογίσουν την ταχύτητα ενός κινητού ως προς ένα σύστημα αναφοράς, σταθερά εμφάνισε μια κατανόηση για την έννοια αυτή που περιορίζεται στο μαθηματικό φορμαλιστικό χειρισμό της. Μάλιστα σε πολλές των περιπτώσεων εκείνη στηρίζονταν στην ανάκληση συγκεκριμένων πληροφοριών οι οποίες ωστόσο, εμπεριείχαν τα κατάλληλα μεγέθη.

### **Βινιέτα 13**

EE: Για να υπολογίσετε τις ταχύτητες, τι πληροφορίες χρειάζεστε;

7K: Την απόσταση και το χρόνο. Βασικά ανάλογα, ναι αυτά τα δύο, ναι.

ΕΕ: Ωραία, απόσταση μπορούμε να μετράμε με βάση τα πλακάκια.

7Κ: Ναι.

ΕΕ: (...) Μπορείτε τώρα με αυτές τις πληροφορίες να υπολογίσετε την ταχύτητα;

7Κ: Πρέπει να χρησιμοποιήσουμε τύπο για να βρούμε την ταχύτητα;

ΕΕ: Δηλαδή, τι σκέφτεσαι;

7Κ: Να πολλαπλασιάσουμε την απόσταση επί το χρόνο, αυτό.

Οι παραπάνω εννοιολογικές δυσκολίες υπογραμμίστηκαν από τη μετέπειτα ανάδυση δύο ιδεών οι οποίες δυσχέραιναν τη συζήτηση για την ταχύτητα και τους μετασχηματισμούς της μεταξύ των διαφορετικών αδρανειακών συστημάτων αναφοράς. Η πρώτη αφορά στην εννοιολογική εξίσωση της ταχύτητας με την απόσταση. Περίπου οι μισοί συμμετέχοντες, σε κάποια στιγμή της συνέντευξης-διδασκτικής παρέμβασης, ανταποκρίθηκαν στο ερώτημα υπολογισμού της ταχύτητας με τη μέτρηση και την αναφορά των αποστάσεων, παραγνωρίζοντας τον παράγοντα χρονικό διάστημα. Μάλιστα σε μερικές περιπτώσεις αναφέρονταν σε ταχύτητες αποδίδοντας ως μονάδες μέτρησης της ταχύτητας, μονάδες μέτρησης της απόστασης.

#### **Βινιέτα 14**

ΕΕ: Τι ταχύτητα θα έχει σε αυτή την περίπτωση εδώ, το κόκκινο μυρμήγκι ως προς το μπλε;

0Α: Ένα παρακάτω.

ΕΕ: Πάνε προς την ίδια κατεύθυνση. Ένα πλακάκι;

0Α: Ναι.

ΕΕ: Δηλαδή;

0Α: Αφού αυτό έχει πέντε και αυτό τέσσερα. (ως προς το σύστημα αναφοράς του εδάφους)

0Β: Μετά ένα πλακάκι.

0A: Ναι, μετά ένα πλακάκι. Η διαφορά τους δεν είναι;

Η δεύτερη ιδέα αφορά στην ποιοτική σύγκριση των ταχυτήτων δύο κινητών με χωρικούς όρους. Πιο συγκεκριμένα, περισσότεροι από τους μισούς συμμετέχοντες επιχειρήσαν να προσδιορίσουν ή να συγκρίνουν ποιοτικά τις ταχύτητες δύο σωμάτων (χωρίς σαφή αναφορά στο σύστημα αναφοράς) με τη σχετική θέση του ενός έναντι του άλλου. Για παράδειγμα, όταν ένα κινητό προπορεύεται από ένα δεύτερο, το πρώτο αναμένεται να έχει μεγαλύτερο μέτρο ταχύτητα έναντι του δεύτερου, όταν στιγμιαία βρίσκονται το ένα δίπλα στο άλλο θα έχουν τις ίδιες ταχύτητες (χωρίς να αναφέρεται σαφώς το σύστημα αναφοράς) κ.λπ.

### **Βινιέτα 15**

EE: Είμαστε σε ένα αυτοκίνητο το οποίο κινείται με πενήντα χιλιόμετρα την ώρα και δίπλα μας, μάλλον εδώ είναι ένα άλλο αυτοκίνητο το οποίο κινείται με εξήντα χιλιόμετρα την ώρα ως προς το έδαφος. Κινούμαστε στην ίδια κατεύθυνση. (...) Όταν έρχεται να μας φτάσει, να φτάσει το σημείο που είμαστε και εμείς. Θα βλέπουμε να κινείται με την ίδια ταχύτητα που έχει ως προς το έδαφος;

9B: Όχι, πάλι θα το βλέπουμε ότι θα είναι, μηδενική η ταχύτητά του ως προς εμάς.

EE: Πότε και πού;

9B: Τη στιγμή που θα μας προσπεράσει. Για κάποια δευτερόλεπτα θα κινούμαστε με την ίδια.

Πέραν της εννοιολογικής δυσκολίας που καταγράφηκε παραπάνω, παρόμοιας έντασης δυσκολίας καταγράφηκαν και στο μετασχηματισμό των ταχυτήτων μεταξύ των διαφορετικών αδρανειακών συστημάτων αναφοράς. Στην κίνηση δύο σωμάτων προς την ίδια κατεύθυνση, το ένα τέταρτο περίπου των συμμετεχόντων ανέδειξε μια διαισθητική κατανόηση του μετασχηματισμού, μη προσδιορίζοντας, όμως τα ξεχωριστά συστήματα αναφοράς. Οι μισοί περίπου συμμετέχοντες φαίνεται να αντιλήφθηκαν τον αριθμητικό μετασχηματισμό των ταχυτήτων, χωρίς ωστόσο συνεπή αναφορά του συστήματος.

## Βινιέτα 16

ΕΕ: Άρα τι ταχύτητα έχει;

8Α: Ένα.

8Β: Άρα για να έχει αυτό ένα, πρέπει εγώ να έχω πάνω από ένα. Δύο. Όχι. Έχει ένα.

ΕΕ: Έχει ένα ως προς το μπλε.

8Α: Ως προς το πλακάκι, το μπλε έχει πέντε.

8Β: Πέντε μείον τέσσερα κάνει ένα. Γιατί τόσο πολύ, τόση ώρα το ψειρίζουμε το θέμα; Εφόσον το μπλε έχει πέντε και το κόκκινο τέσσερα, η διαφορά τους θα είναι ένα.

Στην κίνηση δύο σωμάτων προς αντίθετες κατευθύνσεις, η κατάσταση διαφοροποιείται σημαντικά. Μόλις το ένα τέταρτο των συμμετεχόντων ανέδειξε είτε μια διαισθητική κατανόηση του μετασχηματισμού είτε μία αριθμητική. Οι συμμετέχοντες αυτοί ήταν εξίσου μοιρασμένοι σε κάθε κατηγορία.

## Βινιέτα 17

6Α: Επειδή μετακινούμαστε και εμείς και το άλλο το αυτοκίνητο, η απόσταση που θα βλέπουμε θα είναι μεγαλύτερη, άρα θα νομίζουμε...

6Β: Επειδή θα φαίνεται, όταν θα φεύγει από εμάς...

6Α: Ναι, όταν θα φεύγει. Θα νομίζουμε ότι η ταχύτητα είναι μεγαλύτερη.

Η ιδέα της ταχύτητας ως αναλλοίωτης ποσότητας αναδείχθηκε σχεδόν σε όλους τους συμμετέχοντες. Ωστόσο, περίπου όλοι υποστήριξαν ότι απαραίτητη προϋπόθεση για τη συμφωνία της ισότητας των συστημάτων αναφοράς αποτελεί ο προσδιορισμός του συστήματος της κάθε μέτρησης.

## Βινιέτα 18



EE: Προτιμάμε κάποια από τις τρεις μετρήσεις, όταν θέλουμε να μιλήσουμε για την κίνηση του κολυμβητή;

5B: Για την κίνηση του κολυμβητή; Το ένα πλακάκι το δευτερόλεπτο;

5A: Το ένα πλακάκι το δευτερόλεπτο;

EE: Αυτή ως προς το έδαφος δηλαδή.

5B: Αυτή ως προς το έδαφος, ναι.

EE: Θα μπορούσαμε αντί για αυτή από το έδαφος να χρησιμοποιήσουμε κάποια άλλη από τις δύο που υπολογίσαμε;

5B: Και τα δύο.

5A: Ναι.

EE: Τι θα έπρεπε να μην ξεχάσουμε. Τι είναι σημαντικό να πούμε όταν αναφέρουμε την κάθε μέτρηση;

5A: Ως προς ποιο, είναι αυτή η μέτρηση. Ας πούμε ως προς το έδαφος ή τους άλλους κολυμβητές.

### **7.3. Τα αποτελέσματα της έκτης δραστηριότητας.**

Η έκτη δραστηριότητα αποτελεί συνέχεια της πρώτης. Σε αυτήν οι συμμετέχοντες κλήθηκαν να επεξηγήσουν την κίνηση της πρώτης δραστηριότητας. Στόχος της δραστηριότητας ήταν η καταγραφή της πιθανής αλλαγής των αρχικών απαντήσεων των συμμετεχόντων.

Εν αντιθέσει με τα αποτελέσματα της ανάλυσης της πρώτης δραστηριότητας στην οποία καταγράφηκαν αρκετές δυναμικές ιδέες για την κίνηση, οι προσπάθειες της συντριπτική πλειοψηφία των συμμετεχόντων να επεξηγήσουν την κίνηση της μπάλας περιορίστηκαν σε κινηματικούς όρους. Στις επεξηγήσεις τους αναφέρθηκαν τόσο στη σχετικότητα της ταχύτητας από τα διαφορετικά συστήματα αναφοράς μελέτης της, όσο και στους μετασχηματισμούς της.

Περίπου οι μισοί συμμετέχοντες σε κάποια στιγμή της προσπάθειας επεξήγησης της κίνησης, αναφέρθηκαν στη διαφοροποίηση του υπολογισμού της ταχύτητας μεταξύ των διαφορετικών παρατηρητών οι οποίοι περιγράφουν την κίνηση.

## **Βινιέτα 19**

ΕΕ: Θα αλλάζατε κάτι από αυτό που είπατε στην αρχή;

6B: Είναι ανάλογα με τον παρατηρητή, όπως λέγαμε, πώς το παρατηρούμε, δηλαδή αν το παρατηρήσουμε μέσα από το αυτοκίνητο θα φαίνεται ότι φεύγει η μπάλα. Ενώ αν το παρατηρήσουμε έτσι, φαίνεται ότι πέφτει κάτω.

Οι μισοί συμμετέχοντες στους οποίους συγκαταλέγονται και μερικοί από τους παραπάνω, ήταν σε θέση να προσδιορίσουν ή να αποδώσουν ορθά συγκεκριμένη τιμή της ταχύτητας στο σύστημα αναφοράς μέτρησής της.

## **Βινιέτα 20**

ΕΕ: Εμείς που είμαστε στο έδαφος, τι ταχύτητα μετράμε για τη μπάλα;

9B: Μηδέν, αν είμαστε, όχι...

ΕΕ: Εμείς είμαστε ακίνητοι στο έδαφος.

9A: Το ότι πέφτει δεν είναι μια κίνηση όμως, γιατί να έχει μηδέν.

ΕΕ: Ας πούμε ότι δεν έπεφτε.

9A: Ναι, τότε θα ήταν στην ίδια θέση, δεν θα υπήρχε ταχύτητα.

Όσοι από αυτούς αναφέρθηκαν σε «μετασχηματισμό» των ταχυτήτων μεταξύ των διαφορετικών παρατηρητών δεν προσδιόριζαν με σαφήνεια το σύστημα, αλλά χειρίζονταν τις διαφορετικές τιμές ως αναλλοίωτα μεγέθη.

## **Βινιέτα 21**

ΕΕ: Ξέρουμε ότι το αυτοκίνητο κινείται με σταθερή ταχύτητα. Με μια σταθερή ταχύτητα φεύγει και η μπάλα από το κανόνι. Θα αλλάζατε την αρχική σας απάντηση;

8A: Η μπάλα θα έχει την ίδια ταχύτητα που θα έχει, μπορούμε να μετρήσουμε την ταχύτητα της μπάλας, γιατί θα έχει την ίδια ταχύτητα που έχει το αυτοκίνητο.

#### **7.4. Τα αποτελέσματα των δομημένων συνεντεύξεων.**

Με το πέρας της διδακτικής παρέμβασης υλοποιήθηκε η δομημένη συνέντευξη με την παρουσία και των δύο μελών της κάθε εταιρικής ομάδας. Στόχευσή των συνεντεύξεων ήταν η διευκόλυνση της ανάπτυξης της μεταγνωστικής επίγνωσης για τα αποτελέσματα της διεξαχθείσας διδακτικής και μαθησιακής διαπραγμάτευσης των εννοιών της γαλιλαϊκής κινηματικής. Επιδιώχθηκε δηλαδή, μέσω των ερωτημάτων, οι συμμετέχοντες να συνειδητοποιήσουν μέσω του αναστοχασμού την ταύτιση ή την αλλαγή των ιδεών τους για τις σχετικές κινήσεις, πριν και έπειτα από τη διεξαγωγή της διδασκαλίας. Πέραν αυτού όμως, οι απαντήσεις των συμμετεχόντων στα δύο ερωτήματα αποτελούν μια πηγή άντλησης δεδομένων επιπρόσθετη της ανάλυσης των απαντήσεών τους στις δραστηριότητες, για την πιθανολογούμενη αλλαγή και ιδίως για τις περιοχές στις οποίες αυτή εντοπίζεται.

Η ανάλυση των αυτολεξεί απομαγνητοφωνήσεων των απαντήσεων στις συνεντεύξεις ανέδειξε δύο κυριαρχούσες περιοχές αλλαγής. Η πρώτη αφορά στην αναγκαιότητα του προσδιορισμού του συστήματος αναφοράς από το οποίο μελετάται η κίνηση. Η νέα αυτή γνώση αντιπαραβάλλεται έμμεσα, αλλά και άμεσα, με τη προ-διδασκαλίας θεώρηση ενός απόλυτου συστήματος. Σύμφωνα λοιπόν, με περίπου το ένα τρίτο των συμμετεχόντων, η διδασκαλία που προηγήθηκε της συνέντευξης ανέδειξε την επιτακτικότητα της ανάγκης εντοπισμού του παρατηρητή από τον οποίο περιγράφεται και ερμηνεύεται η κίνηση και υπολογίζονται τα σχετικά κινηματικά μεγέθη. Η παρακάτω βινιέτα είναι ενδεικτική των απαντήσεων της κατηγορίας αυτής.

#### **Βινιέτα 22**

ΕΕ: Αυτά που σκεφτόσασταν για τις κινήσεις, τις ταχύτητες, τις αποστάσεις κ.λπ., πριν έρθετε εδώ με αυτά που σκέφτεστε τώρα είναι τα ίδια; (...)

11B: Όχι. Κάποια έμειναν ίδια, κάποια άλλαξαν. Νομίζω πριν αν μου έλεγαν να πω μια απόσταση δεν θα διευκρίνιζα να πω ως προς τι. Θα έλεγα απλά την απόσταση. Λογικά ως προς τον παρατηρητή, αλλά δεν θα το έλεγα. Μπορεί να ήταν λάθος, γιατί θα εννοούσα κάτι άλλο. Νομίζω αυτά. (...)

Η δεύτερη κατηγορία απαντήσεων δεν εστιάζει στην ανάγκη προσδιορισμού του συστήματος αναφοράς, αλλά αναφέρεται στη σχετικότητα της κίνησης. Συνεπώς, στην κατηγορία αυτή φαίνεται να κεφαλαιοποιείται η γνώση της προηγούμενης κατηγορίας. Πιο

συγκεκριμένα, τα δύο τρίτα των συμμετεχόντων υπογράμμισαν στις απαντήσεις τους τη μετατόπιση των ιδεών τους από την αντίληψη της κίνησης ως εγγενή ιδιότητα του κινούμενου σώματος, στην αναγνώριση της σχετικότητάς της, όπως φαίνεται από την παρακάτω βινιέτα. Στις απαντήσεις αυτές, επισημαίνουν είτε την ισοδυναμία των διαφορετικών συστημάτων αναφοράς, είτε τη σχετικότητα στην παρατήρηση της απόστασης μετακίνησης ενός σώματος σε συγκεκριμένο χρονικό διάστημα και της ταχύτητάς του από τα διαφορετικά συστήματα. Η διαφωνία ως προς την παρατήρηση της ταχύτητας αναφέρθηκε τρεις φορές περισσότερο από τη διαφωνία στην παρατήρηση των αποστάσεων.

### **Βινιέτα 23**

ΕΕ: Σκέφτεστε τα ίδια; Έχει αλλάξει κάτι; (...)

8B: (...) Η ταχύτητα είναι πάντα σχετικό. Δηλαδή το σημείο αναφοράς είναι πάντα σχετικό και απλά το λάθος ήτανε ότι ξεκινάγαμε στις ασκήσεις και στο δημοτικό γενικότερα έχουμε το έδαφος, δεν έχουμε από μια οπτική γωνία από εκεί. Εκεί μπερδευόμαστε.

## **8. Συζήτηση των αποτελεσμάτων, περιορισμοί της έρευνας, προτάσεις για μελλοντική έρευνα**

Στο κεφάλαιο αυτό συνοψίζονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης των συνεντεύξεων της κυρίως εμπειρικής έρευνας και παρατίθενται τα συμπεράσματα αυτών. Ακόμη, προτείνονται κάποια σημεία για τη μελλοντική αξιοποίηση του υλικού σε νέο πλαίσιο. Στη συνέχεια, συζητούνται οι περιορισμοί που προέκυψαν στα διάφορα στάδια της διεξαγωγής της έρευνας. Το κεφάλαιο ολοκληρώνεται με την παράθεση κατευθύνσεων για τη μελλοντική έρευνα στην υπό διαπραγμάτευση θεματική, κατευθύνσεις οι οποίες αναδείχθηκαν στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας.

### 8.1. Συζήτηση των αποτελεσμάτων της κυρίως εμπειρικής έρευνας.

Η μαθησιακή πορεία της πλειοψηφίας των συμμετεχόντων η οποία αποτυπώθηκε στην προηγούμενη ενότητα καταδεικνύει ότι εκείνοι είναι σε θέση να διαχειριστούν τις βασικές έννοιες της κινηματικής της γαλιλαϊκής σχετικότητας.

Το αναλλοίωτο του χρόνου και συνεπώς η συμφωνία στην παρατήρηση των χρονικών διαστημάτων από τα διαφορετικά αδρανειακά συστήματα αναφοράς, αποτελεί κοινό τόπο σχεδόν για όλους τους συμμετέχοντες. Η πιθανή «σχετικότητα» των μετρήσεων ενός χρονικού διαστήματος αποτελεί απόρροια της προσωπικής αντιληπτικής ικανότητας του παρατηρητή η οποία εμπλέκεται στη διαδικασία της μέτρησης. Φαίνεται λοιπόν, ότι η χρήση του όρου «παρατηρητής» ο οποίος χρησιμοποιείται στο πλαίσιο της καθημερινότητας για να αποδώσει εκείνον που «βλέπει με προσοχή» (Τεγόπουλος-Φυτράκης Ελληνικό Λεξικό, 1999, σελ. 575), μεταφέρεται στο πλαίσιο της διδασκαλίας. Η σημασία του όρου όμως, «παρατηρητής» ο οποίος συχνά χρησιμοποιείται ως συνώνυμος του όρου «σύστημα αναφοράς», έχει σαφώς διακριτή σημασία στο πλαίσιο των Φυσικών Επιστημών (Kumar & Barve, 2003). Η εξάλειψη της υποκειμενικότητάς του με την επισήμανση της υλοποίησης της παρατήρησης με τα κατάλληλα όργανα μέτρησης, συνέβαλε στην καθολική αναφορά της αποδοχής του χρόνου ως μέγεθος ανεξάρτητο της παρατήρησης.

Η ιδέα της σχετικότητας στην παρατήρηση των αποστάσεων μετακίνησης ενός κινητού μεταξύ των διαφορετικών παρατηρητών αποτέλεσε κτήμα της συντριπτικής πλειοψηφίας των συμμετεχόντων. Η παραδοχή αυτή συνέβαλε στην αναγνώριση της ισοδυναμίας των συστημάτων αναφοράς με την προϋπόθεση της σαφούς αναφοράς τους. Η κοινή δυσκολία μεταξύ της μέτρησης της απόστασης στην απλή κίνηση και στη σχετική, αφορά στον επί ίσοις όροις χειρισμό των στιγμιαίων και των διανυθέντων μεταξύ των δύο στιγμών αποστάσεων (Saltiel & Malgrange, 1980). Η υπέρβαση της δυσκολίας αυτής και στις δύο περιπτώσεις κατέστη δυνατή χάρη στην επισήμανση των στιγμιαίων θέσεων του υπό μελέτη κινητού από το εκάστοτε σύστημα αναφοράς. Ένας δεύτερος τρόπος υπέρβασης των δυσκολιών που προέκυψαν «απλοποιεί» τη σχετική κίνηση. Στην απλούστερη και συχνότερα χρησιμοποιούμενη αναφορά στη σχετική κίνηση γίνεται λόγος για δύο συστήματα αναφοράς. Όπως προαναφέρθηκε, η σχετική κίνηση αποδίδεται με ένα σύστημα αναφοράς, ως προς το οποίο κινείται ένα σώμα κατά αυθαίρετο τρόπο, που κινείται ως προς ένα δεύτερο σύστημα με σταθερή ταχύτητα (Klinaku, 2014). Η «απλοποίηση» της σχετικής κίνησης αφορά στη διαγραφή του κινούμενου συστήματος και η μέτρηση της απόστασης όπως στην απλή κίνηση.

Κοινό τόπο των συμμετεχόντων αποτέλεσε και η σχετικότητα των συστημάτων αναφοράς υπολογισμού της ταχύτητας, παρ' όλες τις σημαντικές και εκτεταμένες δυσκολίες ως προς την εννοιολόγηση της ταχύτητας η οποία διαφέρει από εκείνη του ρυθμού μεταβολής της θέσης. Όπως και στη μελέτη των αποστάσεων, η αναφορά του συστήματος αποτελεί την προϋπόθεση αποδοχής της ισοδυναμίας τους. Οι δυσκολίες που αναδύθηκαν πηγάζουν αφενός από το φορμαλιστικό χειρισμό της ταχύτητας και αφετέρου, από την υιοθέτηση χωρικών κριτηρίων για τον προσδιορισμό των σχετικών ταχυτήτων. Τα ασαφή όρια μεταξύ της ταχύτητας και της απόστασης έχουν καταγραφεί σε πληθυσμούς τριτοβάθμιας εκπαίδευσης και από τους Throwbridge και McDermott (1980). Οι δυσκολίες αυτές δυσχεραίνουν την κατανόηση των μετασχηματισμών της ταχύτητας περισσότερο στην περίπτωση της κίνησης των σωμάτων σε αντίθετες κατευθύνσεις από ότι στην ίδια.

Συμπερασματικά, γίνεται εμφανές ότι είναι δυνατή η διαπραγμάτευση των εννοιών και των ιδεών της γαλιλαϊκής κινηματικής από τους υποψήφιους εκπαιδευτικούς. Η διαπίστωση αυτή ενισχύει τη δυνατότητα εισαγωγής της θεματικής αυτής στο περιεχόμενο του προγράμματος σπουδών των Φυσικών Επιστημών προπτυχιακών προγραμμάτων σπουδών βάσει της ομοιότητας και των διαφορών με το πλαίσιο υλοποίησης της παρούσας έρευνας. Ωστόσο, απαιτείται η συνεχής επισήμανση της αναγκαιότητας του προσδιορισμού του συστήματος αναφοράς, καθώς αν και οι φοιτητές αναγνωρίζουν την επιτακτικότητα της αναφοράς και τη σχετικότητα των μετρήσεων, οι ιδέες της απόλυτης κίνησης είναι κραταιές, ακόμα και έπειτα από τη διδασκαλία. Προ-απαιτούμενη, είναι ακόμη η πριν τη διδασκαλία των σχετικών εννοιών, προώθηση της κατανόησης της ταχύτητας ως ρυθμό μεταβολής της θέσης. Η εννοιολόγηση αυτή συνάμα με τον προσδιορισμό της θέσης μελέτης της κίνησης πιθανόν να υποστηρίξει καταλληλότερα την οικοδόμηση της σχετικής ταχύτητας.

Η ανάλυση των απομαγνητοφωνήσεων των συνεντεύξεων της κυρίως έρευνας ανέδειξε μερικά σημεία τα οποία θα πρέπει να ληφθούν υπόψη σε πιθανή μελλοντική αξιοποίηση του παρόντος διδακτικού υλικού. Αρχικά, η υιοθέτηση της αντικατάστασης του όρου «σύστημα αναφοράς» από τον όρο «παρατηρητή», λόγω των δυσκολιών που ανακύπτουν από τη χρήση του δεύτερου, επιβάλλει την εισαγωγή της σημασίας του όρου στο πλαίσιο της Φυσικής (Castells και συν., 2009· Dimitriadi & Halkia, 2012). Προτείνεται δηλαδή, η παρουσίαση των παρατηρητών ως εκείνους που φέρουν τα όργανα μέτρησης της απόστασης και του χρόνου, και όχι ως παρατηρητών οι οποίοι «βλέπουν» τα συμβάντα. Η απόδοση ανθρωπομορφικών χαρακτηριστικών στους παρατηρητές συμβάλλει και ενισχύει την εμφάνιση αρκετών από τις

εναλλακτικές ιδέες που καταγράφονται στη βιβλιογραφία για τα συστήματα αναφοράς (Kumar & Barve, 2003).

Για την επιτυχέστερη αξιοποίηση των δραστηριοτήτων σε νέο διδακτικό πλαίσιο κρίνεται ως σημαντική η ανάπτυξη των δεξιοτήτων μέτρησης αποστάσεων μετακίνησης μη σημειακών γεωμετρικών ή μη γεωμετρικών σχημάτων πριν την εφαρμογή τους. Αν και αυτή η δυσκολία δεν αποτελεί τροχοπέδη στην προώθηση της κατανόησης για τη σχετικότητα των αποστάσεων, η υπέρβασή της μπορεί να συμβάλλει τόσο στην ομαλότερη διεξαγωγή της διδασκαλίας, όσο και στην εξοικονόμηση χρόνου ο οποίος μπορεί να διατεθεί στη συζήτηση για τη σχετικότητα.

Στην παρούσα εφαρμογή του υλικού υπογραμμίστηκε η αμεταβλητότητα των στιγμιαίων αποστάσεων με στόχο την διάκριση της στιγμιαίας απόστασης από την απόσταση η οποία διανύεται στη ροή του χρόνου. Η ενασχόληση με τη διαπραγμάτευση αυτού υλοποιήθηκε νωρίς στη διδασκαλία, όμως το συμπέρασμα που προέκυψε δεν αποτέλεσε λειτουργική γνώση. Σε επόμενη εφαρμογή του υλικού προτείνεται η αντιπαράθεση της αμεταβλητότητας των στιγμιαίων αποστάσεων και του κανόνα σύνθεσης των διανυθέντων αποστάσεων (Saltiel & Malgrange, 1980).

## **8.2. Περιορισμοί της έρευνας.**

Στους περιορισμούς της έρευνας αρχικά, περιλαμβάνεται η αδυναμία γενικευσιμότητας των αποτελεσμάτων της, ως συνέπεια της εφαρμογής της βολικής δειγματοληψίας για τον εντοπισμό των συμμετεχόντων της κυρίως εμπειρικής έρευνας (Cohen, Manion, & Morrison, 2007). Τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας μπορούν, ωστόσο, να μεταφερθούν σε άλλα πλαίσια βάσει της ομοιότητας και της διαφοροποίησής τους από το πλαίσιο στο οποίο υλοποιήθηκε η εργασία. Η έννοια αυτή αποδίδεται στο πλαίσιο της ποιοτικής έρευνας με τον όρο «μεταφερσιμότητα» (transferability) (Merriam, 2009).

Η δυνατότητα για μια μόνο δίωρη συνάντηση με κάθε ζευγάρι συμμετεχόντων αποτελεί μια δεύτερη πηγή περιορισμών. Βάσει αυτής, περιορίστηκε το εύρος των υπό διαπραγμάτευση εννοιών, καθώς και το εύρος των πλαισίων τα οποία αξιοποιήθηκαν στην κατασκευή των δραστηριοτήτων/προβληματικών καταστάσεων. Ένας ακόμη περιορισμός αφορά στην κατασκευή των εικόνων που συνόδευαν τις δραστηριότητες με την απεικόνιση των κινητών από



εξωτερικό (προτιμητέο) σύστημα αναφοράς, επιλογή η οποία βασίστηκε στην παροχή της δυνατότητας για ολοκληρωμένη επίβλεψη της κάθε κίνησης.

### **8.3. Προτάσεις για μελλοντική έρευνα.**

Το περιεχόμενο της θεματικής της γαλιλαϊκής κινηματικής εμπλέκει αρκετές έννοιες. Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας, στο επίκεντρο τέθηκε η μάθηση των βασικών εννοιών της σχετικότητας. Ο απαραίτητος περιορισμός της ερευνητικής εστίασης αναδεικνύει περιοχές του γνωστικού αντικείμενου οι οποίες μπορούν να αποτελέσουν το περιεχόμενο νέων ερευνητικών προσπαθειών. Προτείνεται λοιπόν, η ένταξη σε νέες πιθανές ερευνητικές προσπάθειες στη θεματική της γαλιλαϊκής κινηματικής των εννοιών της επιτάχυνσης, της μάζας και της δύναμης, αλλά και των Νόμων της Κίνησης, η συμφωνία των οποίων μεταξύ των διαφορετικών συστημάτων αναφοράς αποδίδεται με τον όρο Σχετικότητα του Γαλιλαίου. Η προτεινόμενη έρευνα μπορεί να αποτελέσει το πρώτο βήμα μιας μελλοντικής έρευνας κατασκευής μια πορείας μάθησης (learning progression) για τις έννοιες αυτές.

Μια δεύτερη θεματική αφορά στα ζητούμενα και τα δεδομένα των δραστηριοτήτων του υλικού το οποίο κατασκευάστηκε για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας. Το υλικό, κυρίως αποτελούνταν από δραστηριότητες στις οποίες ζητούνταν ο προσδιορισμός αποστάσεων βάσει δεδομένων στιγμιαίων θέσεων ενός σώματος από τα διαφορετικά συστήματα αναφοράς. Ένα λοιπόν, ζήτημα το οποίο μπορεί να αποτελέσει θέμα μελλοντικών ερευνών είναι η εφαρμογή της μεθοδολογίας της παρούσας εργασίας, με διδακτικό υλικό στο οποίο θα δίνονται οι σταθερές αποστάσεις μετακίνησης περισσότερων του ενός σωμάτων και θα ζητείται ο προσδιορισμός του χρονικού διαστήματος μετακίνησης του κάθε σώματος από τους διαφορετικούς παρατηρητές.

Μια τρίτη θεματική η οποία μπορεί να αποτελέσει αντικείμενο μελλοντικής διερεύνησης είναι η διδασκαλία και η μάθηση της έννοιας του συστήματος αναφοράς. Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενη ενότητα, τα συστήματα αναφοράς αποτελούν το εργαλείο εκείνο που επιτρέπει την εφαρμογή της αρχής της σχετικότητας της κίνησης. Στη βιβλιογραφία εντοπίζονται έρευνες στις οποίες διερευνώνται οι εναλλακτικές ιδέες μαθητών της δευτεροβάθμιας και της τριτοβάθμιας εκπαίδευσης. Ωστόσο, η διερεύνηση αποτελεί δευτερεύουσα στόχευση. Η αποτύπωση της μαθησιακής πορείας των μαθητών για την έννοια αυτή καθαυτή, μπορεί να ενημερώσει τις προσπάθειες μάθησης της γαλιλαϊκής κινηματικής.

Μια ακόμα περιοχή που μπορεί να αποτελέσει πεδίο των νέων ερευνητικών προσπαθειών είναι η ανάδυση και η καταγραφή της μαθησιακής πορείας μαθητών ή φοιτητών για τις έννοιες της Γενικής Θεωρίας της Σχετικότητας. Η νέα αυτή θεματική εμπλουτίζει την προηγούμενη πρόταση για έρευνα μέσα από τη συμπερίληψη της έννοιας του αδρανειακού ή μη αδρανειακού συστήματος αναφοράς.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- Arriasecq, I. & Greca, I. M. (2012). A teaching-learning sequence for the Special Relativity Theory at high school level historically and epistemologically contextualized. *Science & Education*, 21, 827-851.
- Blandford, R. D. & Thorne, K. S. (2002). *Applications of classical physics*. California: California Institute of Technology.
- Bowden, J., Dall'Alba, G., Martin, E., Laurillard, D., Marton, F., Masters, G., Ramsden, P., Stephanou, A., & Walsh, E. (1992). Displacement, velocity, and frames of reference: phenomenographic studies of students' understanding and some implications for teaching and assessment. *American Journal of Physics*, 60 (3), 262-269.
- Castells, M., Konstantinidou, A., Cervero, J. M., & Cabellos, M. (2009). A dialogical and convincing approach for the teaching of the Galilean Relativity of motion: From transparencies to video and multimedia resources. Στο M. Michellini (Επιμ.), *Multimedia in Physics Teaching and Learning*, Udine: University of Udine.
- Cohen, L., Manion, L., & Morrison, K. (2007). *Μεθοδολογία εκπαιδευτικής έρευνας, Νέα συμπληρωμένη και αναθεωρημένη έκδοση*. (Κυρανάκης, Σ., Μαυράκη, Μ., Μητσοπούλου, Χ., Μπιθάρα, Π., & Φιλοπούλου, Μ., Μετ.). Αθήνα: Μεταίχιμο.
- Dimitriadi, K., & Halkia, K. (2012). Secondary students' understanding of basic ideas of special relativity. *International Journal of Science Education*, 34 (16), 2565-2582.
- Duit, R., & Treagust, D. F. (2003). Conceptual change: a powerful framework for improving science teaching and learning. *International Journal of Science Education*, 25 (6), 671-688.
- Δημητριάδη, Κ. (2012). *Διδασκαλία βασικών εννοιών της Ειδικής Θεωρίας της Σχετικότητας στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση: διερεύνηση διαδικασιών μάθησης*. Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών.
- Ford, K. W. (1980). *Κλασική και σύγχρονη φυσική*. [Classical and modern physics, volume 3, A textbook for students of science and engineering.] (Γ. Θεοδώρου, & Α. Θεοδώρου, Μετ.). Έκδοση Γ. Πνευματικού: Αθήνα.
- Hewitt, P. G. (2009). *Οι έννοιες της Φυσικής*. (Παπαδόγγονας, Γ., Επιμ.). Ηράκλειο: Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης.

- Jammer, M. (1970). *CONCEPTS OF SPACE, The History of Theories of Space in Physics, Third Enlarged Edition*. Εκδόσεις: DOVER Publications.
- Klinaku, S. (2014). Condition for the existence of relative motion. *Physics Essays*, 27 (4), 511-514.
- Komorek, M., & Duit, R. (2004). The teaching experiment as a powerful method to develop and evaluate teaching and learning sequences in the domain of non-linear systems. *International Journal of Science Education*, 26, (5), 619-633.
- Kumar, A., & Barve, S. (2003). *How and why in basic mechanics*. Hyderabad: Universities Press (India) Private Limited.
- McDermott, L. (1997). Students' conceptions and problem solving in mechanics. Στο A. Tiberghien, E. L. Jossem, & J. Barojas (Επιμ.), *Connecting Research in Physics Education with Teacher Education: an I.C.P.E. book*. OH: ICPE Books.
- Merriam, S. B. (2009). *Qualitative Research: A guide to design and implementation*. San Francisco, Calif.: Jossey-Bass.
- Molina, M., Castro, E., & Castro, E. (2007). Teaching experiments within design research. *The International Journal of Interdisciplinary Social Sciences*, 2 (4), 435-440.
- Monaghan, J. M., & Clement, J. (1999). Use of a computer simulation to develop mental simulations for understanding relative motion concepts. *International Journal of Science Education*, 21 (9), 921-944.
- Panse, S., Ramadas, J., & Kumar, A. (1994). Alternative conceptions in Galilean relativity: frames of reference. *International Journal of Science Education*, 16 (1), 63-82.
- Ramadas, J., Barve, S., & Kumar, A. (1996a). Alternative conception in Galilean relativity: distance, time, energy and laws. *International Journal of Science Education*, 18, 4, σελ. 463-477.
- Ramadas, J., Barve, S., & Kumar, A. (1996b). Alternative conception in Galilean relativity: inertial and non-inertial observers. *International Journal of Science Education*, 18 (5), 615-619.

- Salencon, J. (2001). *Handbook of Continuum Mechanics, General Concepts Thermoelasticity, volume 1*. [Μέcanique des milieux continus, Tome I-III (S. Lyle, Μετ.). New York: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Saltiel, E., & Malgrange, J. L. (1980). “Spontaneous” ways of reasoning in elementary kinematics. *American Journal of Physics*, 1, 73-80.
- Scherr, R. E., Shaffer, P. S., & Vokos, S. (2002). The challenge of changing deeply held student beliefs about the relativity of simultaneity. *American Journal of Physics*, 70 (12), 1238-1248.
- Steffe, L. P., & Thompson, P. W. (2000). Teaching experiment methodology: Underlying principles and essential elements. Στο R. Lesh & A. E. Kelly (Επιμ.), *Research design in mathematics and science education* (σελ. 267-307). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Trowbridge, D. E., & McDermott, L. C. (1980). Investigation of student understanding of the concept of velocity in one dimension. *American Journal of Physics*, 48 (12), 1020-1028.
- Τεγόπουλου-Φυτράκη Ελληνικό λεξικό. (1999). Αθήνα: Τεγόπουλος- Φυτράκης.
- Young, H. D. (1994). *Πανεπιστημιακή Φυσική 1 & 2*. Εκδόσεις: Παπαζήση.
- Vosniadou, S., Ioannides, C., Dimitrakopoulou, A., & Papademetriou, E. (2001). Designing learning environments to promote conceptual change in science. *Learning and Instruction*, 11, 381-419.
- Χρονάκη, Α. (2010). Το Διδακτικό Πείραμα: Η ποιοτική μελέτη της μαθησιακής διαδικασίας στο πλαίσιο της διδακτικής πράξης. Στο Μ. Πουρκός και Μ. Δαφέρμος (Επιμ.), *Ποιοτική Έρευνα στην Ψυχολογία και στην Εκπαίδευση: Επιστημολογικά, μεθοδολογικά και ηθικά ζητήματα*. Αθήνα. Τόπος, 605-628.





## 10.2. Το διδακτικό υλικό της κυρίως εμπειρικής έρευνας

### Δραστηριότητα 1:

Στην καρότσα ενός αυτοκινήτου που κινείται ευθύγραμμα και με σταθερή ταχύτητα προς τη δύση έχει κολληθεί ένα κανόνι το οποίο είναι παράλληλο με το έδαφος και κοιτάζει ανατολικά. Το κανόνι διώχνει τη μπάλα με μια σταθερή ταχύτητα.

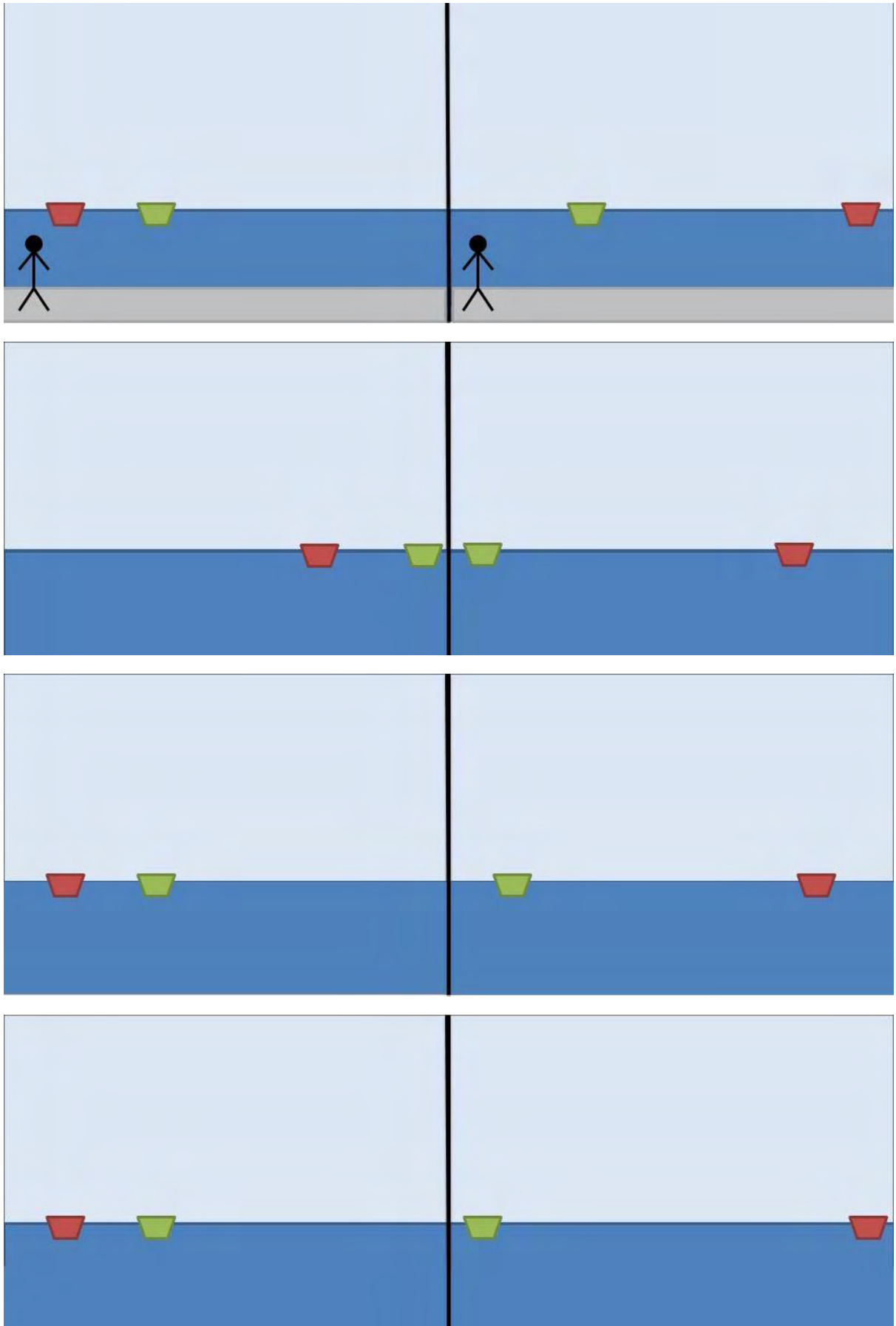
- Πώς θα κινηθεί η μπάλα από τη στιγμή που θα φύγει από το κανόνι;
- Υπό ποιες συνθήκες η κίνηση της μπάλας είναι όμοια με αυτή που εμφανίζεται στο βίντεο;

### Δραστηριότητα 2:

Σε ένα λιμάνι μια φοιτήτρια καθόταν σε ένα παγκάκι και ατένιζε τη θάλασσα. Την προσοχή της τράβηξε η κίνηση δύο κανό που κινούνταν το ένα πίσω από το άλλο. Τη στιγμή που τα είδε για πρώτη φορά είχαν τις θέσεις που φαίνονται στην αριστερή εικόνα της πρώτης σειράς της επόμενης σελίδας. Έπειτα από λίγη ώρα, ο κωπηλάτης από το δεύτερο κανό προσπέρασε το πρώτο. Τη στιγμή που τα δύο κανό πέρασαν τον κυματοθραύστη του λιμανιού είχαν τις θέσεις που φαίνονται στη δεξιά εικόνα. Τη σκηνή αυτή παρατήρησαν και άλλα άτομα και για τις αποστάσεις των δύο κανό στις δύο στιγμές σχεδίασαν τις παρακάτω τρεις σειρές εικόνων. Παρουσιάζουν οι εικόνες αυτές την κατάσταση που απεικονίζεται στην πρώτη σειρά εικόνων;

- Για ποιο λόγο κάποια σειρά εικόνων δεν απεικονίζει αυτό που σχεδίασε η φοιτήτρια;
- Τι αλλάζει και τι μένει σταθερό από την αρχική εικόνα στην κάθε επόμενη;
- Μεταξύ των εικόνων που αναπαριστούν αυτό που σχεδίασε η φοιτήτρια και του αρχικού τι μένει σταθερό; Τι μεταβάλλεται;



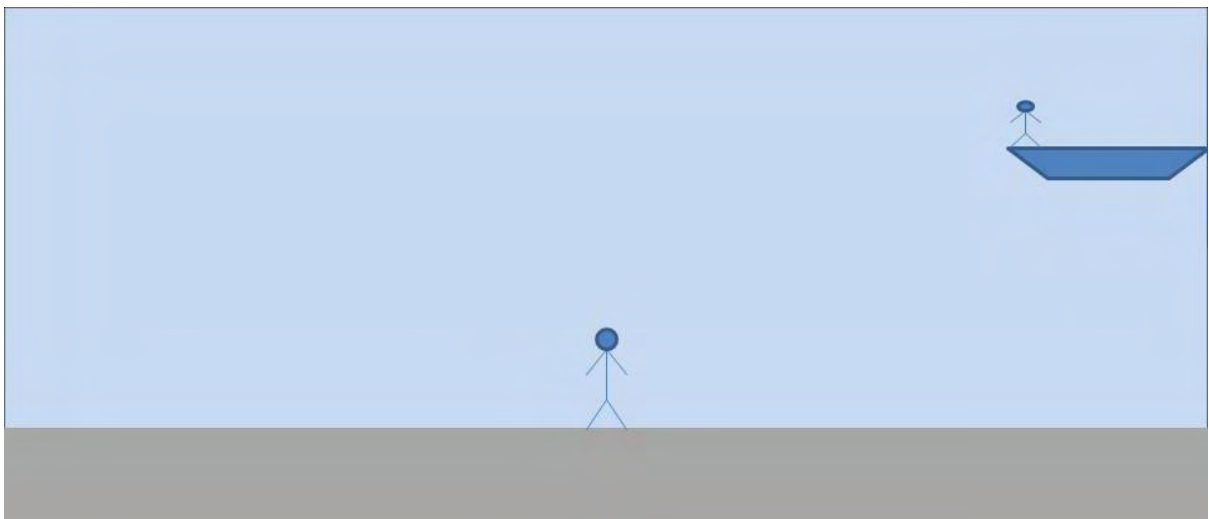
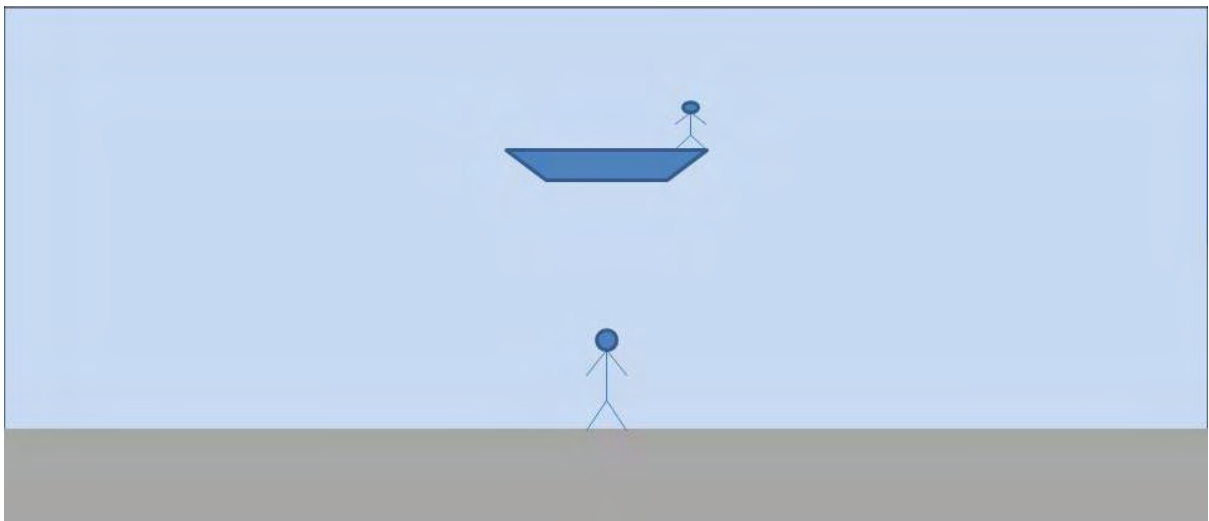
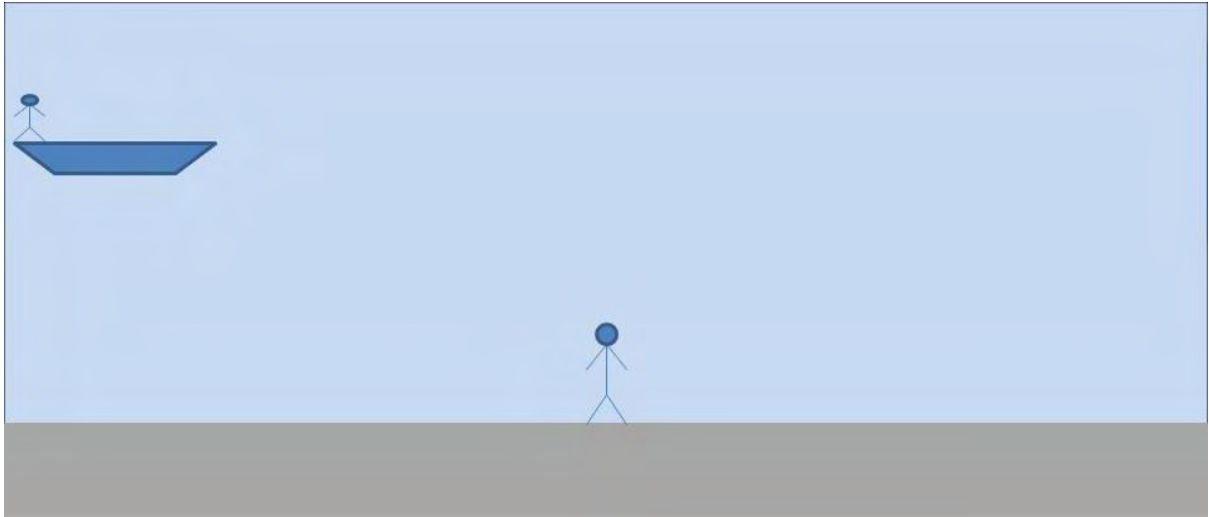


### Δραστηριότητα 3:

Ένα πλοίο με κατάστρωμα 100 μέτρων κινείται με σταθερή ταχύτητα παράλληλα προς το λιμάνι μίας πόλης. Ένας επιβάτης του ο οποίος βρίσκεται στο πίσω μέρος του μετράει το χρόνο που θα του πάρει για να φτάσει στο μπροστινό μέρος και το βρίσκει 50 δευτερόλεπτα. Επιστρέφοντας στο πίσω μέρος του πλοίου χρονομετρεί και πάλι και το βρίσκει 50 δευτερόλεπτα.

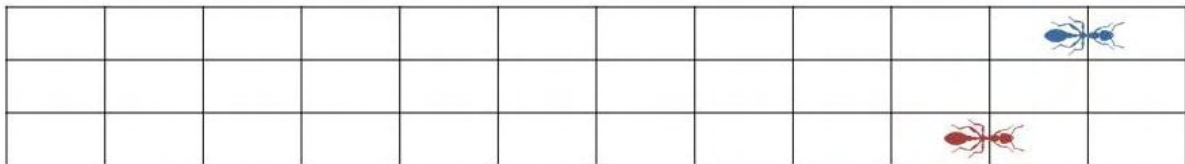
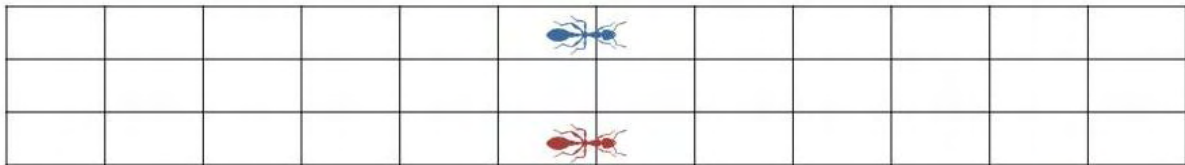
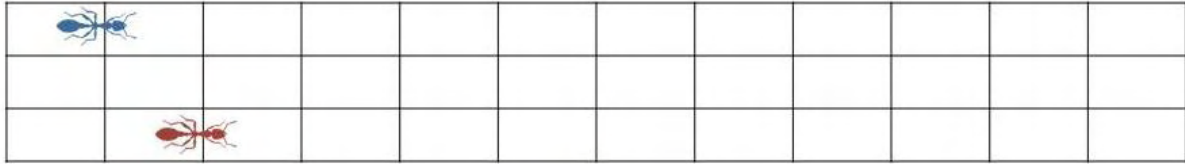
- Τι χρόνους θα έβρισκε κάποιος που στεκόταν ακίνητος στο λιμάνι και χρονομετρούσε τις κινήσεις του επιβάτη;
- Πόσο μετακινήθηκε ο επιβάτης ως προς το πλοίο και πόσο ως προς τον ακίνητο παρατηρητή στο λιμάνι;
- Πόσο μετακινήθηκε το πλοίο ως προς τον επιβάτη και πόσο ως προς τον ακίνητο παρατηρητή στο λιμάνι;
- Τι διαφορές έχουν οι παραπάνω αποστάσεις μεταξύ τους;
- Προτιμούμε κάποια από τις παραπάνω αποστάσεις για να μιλήσουμε για την κίνηση του επιβάτη ή του πλοίου;
- Οι δύο παρατηρητές μπορούν τελικά να συμφωνήσουν ως προς τη διαφοροποίηση στη μέτρηση αλλά και ως προς την ισοδυναμία των μετρήσεων;

Δικαιολόγησε τις απαντήσεις σου.

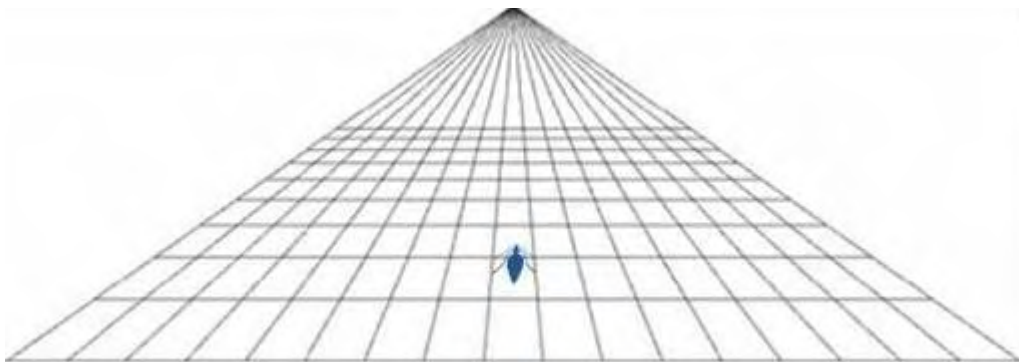
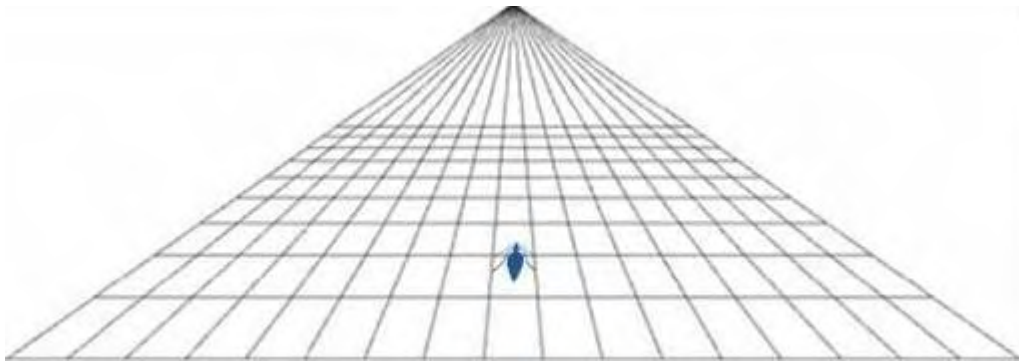
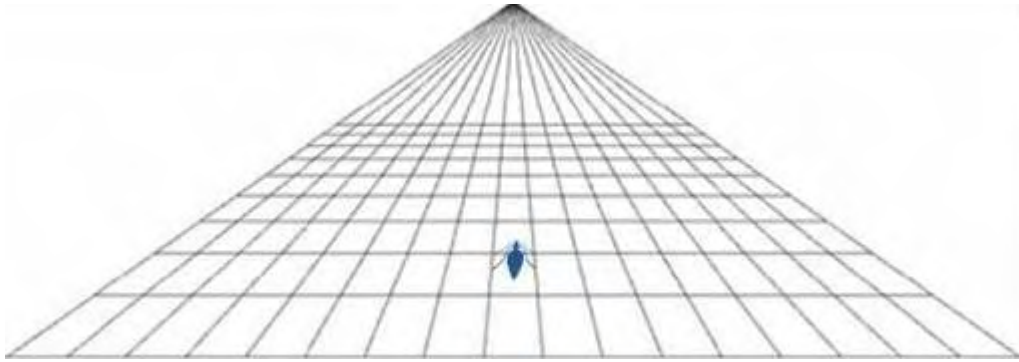


#### Δραστηριότητα 4:

Δύο μυρμήγκια περπατούν με σταθερή ταχύτητα πάνω σε ένα ευθύγραμμο μονοπάτι. Οι θέσεις τους δείχνονται σε τρεις στιγμές. Το χρονικό διάστημα μεταξύ της πρώτης και της δεύτερης στιγμής είναι ίσο με εκείνο της δεύτερης από την τρίτη.



- Προσδιόρισε τις ταχύτητες των δύο μυρμηγκιών ως προς το έδαφος.
- Σχεδιάσε στις παρακάτω εικόνες τις θέσεις του κόκκινου μυρμηγκιού στις χρονικές στιγμές 1, 2 και 3 σαν να τις παρατηρούσες από την πλάτη του μπλε μυρμηγκιού.
- Τι ταχύτητα θα έχει το κόκκινο μυρμήγκι ως προς το μπλε την κάθε στιγμή;



### Δραστηριότητα 5:

Τρεις κολυμβητές κολυμπούν στους διαδρόμους της πισίνας του αθλητικού κέντρου της περιοχής τους. Η πρώτη εικόνα δείχνει τις θέσεις τους τη χρονική στιγμή 1 κατά την οποία ο κολυμβητής με το πορτοκαλί μαγιό και σκουφάκι προσπερνάει τον κολυμβητή με το πράσινο. Τη χρονική στιγμή 2 ο κολυμβητής με το κόκκινο μαγιό είναι εκείνος που προσπερνάει αυτόν με το πράσινο.



- Εάν ήσουν ο κολυμβητής με το κόκκινο μαγιό σε ποιες θέσεις και αποστάσεις θα έβλεπες τον κολυμβητή με το πράσινο μαγιό στις δύο στιγμές.
- Εάν ήσουν ο κολυμβητής με το κόκκινο μαγιό, τι ταχύτητα θα μετρούσες για τον κολυμβητή με το πράσινο μαγιό τη δεύτερη στιγμή;
- Εάν ήσουν ο κολυμβητής με το πορτοκαλί μαγιό, τι ταχύτητα θα μετρούσες για τον κολυμβητή με το πράσινο μαγιό τη δεύτερη στιγμή;
- Ποια είναι η ταχύτητα του κολυμβητή με το πράσινο μαγιό ως προς την πισίνα;
- Σύγκρινε τις απαντήσεις σου στα παραπάνω τρία ερωτήματα ως προς τις ταχύτητες του πράσινου κολυμβητή. Τι παρατηρείς; Γιατί συμβαίνει αυτό; Με ποιο τρόπο διαφέρουν οι τρεις ταχύτητες;
- Από τις διάφορες ταχύτητες που υπολόγισες για κάθε κολυμβητή προτιμούμε κάποια περισσότερο από τις άλλες όταν θέλουμε να αναφερθούμε σε αυτόν;

### **Δραστηριότητα 6:**

Προσπάθησε πάλι να εξηγήσεις την κίνηση της μπάλας της πρώτης δραστηριότητας; Θα άλλαζες την αρχική απάντηση;