



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΑΝΘΡΩΠΙΣΤΙΚΩΝ &
ΚΟΙΝΩΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΤΗΣ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗΣ
ΚΑΙ ΤΗΣ ΑΓΩΓΗΣ ΣΤΗΝ ΠΡΟΣΧΟΛΙΚΗ ΗΛΙΚΙΑ

**Σχεδίαση και αξιολόγηση ακολουθίας διδακτικών ενοτήτων στα πλαίσια της
καινοτομικής και εποικοδομητικής αντίληψης για το αναλυτικό πρόγραμμα**

Φυσικών Επιστημών: η περίπτωση της διδασκαλίας του εκκρεμούς στο

Γυμνάσιο

Σωτήρης Δόσης

Διδακτορική διατριβή

Επιβλέπων Καθηγητής: Δημήτρης Κολιόπουλος

Τμήμα Επιστημών της Εκπαίδευσης & της Αγωγής στην Προσχολική Ηλικία

Πανεπιστημίου Πατρών

ΠΑΤΡΑ, 2014

Εξεταστική επιτροπή

Ευάγγελος Βιτωράτος, Καθηγητής, *Φυσικό Τμήμα Παν/μίου Πατρών*

Κωνσταντίνος Ζαχάρος, Αναπληρωτής Καθηγητής, *ΤΕΕΑΠΗ Παν/μίου Πατρών*

Πέτρος Καριώτογλου, Καθηγητής, *ΠΤΝ Παν/μίου Δυτικής Μακεδονίας*

Δημήτρης Κολιόπουλος, Καθηγητής, *ΤΕΕΑΠΗ Παν/μίου Πατρών*

Βασίλειος Κόμης, Καθηγητής, *ΤΕΕΑΠΗ Παν/μίου Πατρών*

Κωνσταντίνος Ραβάνης, Καθηγητής, *ΤΕΕΑΠΗ Παν/μίου Πατρών*

Φανή Σέρογλου, Επίκουρος Καθηγήτρια, *ΠΤΔΕ ΑΠΘεσσαλονίκης*

Συμβουλευτική επιτροπή

Δημήτρης Κολιόπουλος, Καθηγητής, *ΤΕΕΑΠΗ Παν/μίου Πατρών (επιβλέπων)*

Κωνσταντίνος Ραβάνης, Καθηγητής, *ΤΕΕΑΠΗ Παν/μίου Πατρών*

Φανή Σέρογλου, Επίκουρος Καθηγήτρια, *ΠΤΔΕ ΑΠΘεσσαλονίκης*

Στη Ρούλα
το Φίλιππο και το Χρήστο

Περίληψη

Στόχος της παρούσας διατριβής είναι η σχεδίαση και η αξιολόγηση μιας διδακτικής ακολουθίας για την κίνηση του απλού εκκρεμούς, στα πλαίσια της καινοτομικής και εποικοδομητικής αντίληψης για το αναλυτικό πρόγραμμα Φυσικών Επιστημών. Πρόκειται για έρευνα εφικτότητας η οποία διενεργείται σε τρία επίπεδα: της ανάλυσης, του σχεδιασμού και της εφαρμογής.

Το επίπεδο ανάλυσης περιλαμβάνει την επιστημολογική ανάλυση του Γαλιλαϊκού πλαισίου μελέτης της κίνησης του απλού εκκρεμούς, την ανάλυση των νοητικών παραστάσεων των μαθητών για την κίνηση του απλού εκκρεμούς και την ανάλυση των απαιτήσεων της καινοτομικής και εποικοδομητικής αντίληψης για το αναλυτικό πρόγραμμα Φυσικών Επιστημών.

Το επίπεδο σχεδιασμού περιλαμβάνει τη διατύπωση των διδακτικών στόχων και τη διαμόρφωση του περιεχομένου της διδακτικής ακολουθίας. Δομικά χαρακτηριστικά της ακολουθίας συνιστούν (α) η πολιτισμική επιλογή του τεχνολογικού πλαισίου λειτουργίας του ρολογιού-εκκρεμούς, (β) η εννοιολογική επιλογή της Γαλιλαϊκής προσέγγισης της μελέτης του απλού εκκρεμούς και (γ) η μεθοδολογική επιλογή της σχολικής εκδοχής της υποθετικο - παραγωγικής προσέγγισης της επιστημονικής γνώσης. Η προτεινόμενη ακολουθία απαρτίζεται από τέσσερις διδακτικές ενότητες και υλοποιείται μέσω δραστηριοτήτων - προβλημάτων, οι οποίες βασίζονται σε μετασχηματισμένο ή αυθεντικό υλικό προερχόμενο από την Ιστορία της Επιστήμης.

Το επίπεδο εφαρμογής περιλαμβάνει την πειραματική εφαρμογή της διδακτικής ακολουθίας σε 36 μαθητές της Γ΄ Γυμνασίου και την αξιολόγηση της γνωστικής προόδου που υποθέτουμε ότι θα σημειώσουν. Χρησιμοποιείται η τεχνική του ερωτηματολογίου για να ανιχνευθούν οι νοητικές παραστάσεις των μαθητών πριν και μετά τη συμμετοχή τους στην εφαρμογή του προγράμματος.

Η ανάλυση των δεδομένων πραγματοποιείται σε τρία επίπεδα. Στο πρώτο επίπεδο καταδεικνύεται η θετική συμβολή των δραστηριοτήτων της διδακτικής ακολουθίας στη μετακίνηση των απαντήσεων των μαθητών προς την κατεύθυνση της αποδεκτής σχολικής γνώσης για τη κίνηση του εκκρεμούς. Στο δεύτερο επίπεδο καταδεικνύεται η συνολική σημαντική γνωστική πρόοδος των μαθητών στις τρεις συνιστώσες της επιστημονικής γνώσης, την πολιτισμική, την εννοιολογική και τη μεθοδολογική. Τέλος, στο τρίτο επίπεδο καταδεικνύεται η θετική συμβολή της διδακτικής ακολουθίας στη συγκρότηση ομάδων μαθητών που χρησιμοποιούν με επαρκή και συνεκτικό τρόπο τόσο την εννοιολογική όσο και τη μεθοδολογική συνιστώσα της επιστημονικής γνώσης.

Λέξεις κλειδιά: Απλό εκκρεμές, ρολόι-εκκρεμές, διδακτική ακολουθία, μικρά ιστορικά κείμενα, καινοτομική διδασκαλία, εποικοδομητική διδασκαλία

Abstract

The aim of this thesis is the design and evaluation of a teaching sequence for the motion of the simple pendulum, under the innovative and constructive approach of the science curriculum. This study belongs to the ‘feasibility’ research current and was carried out at three levels: analysis, design and implementation.

The level of analysis involves the analysis of Galilean epistemological framework about the motion of the pendulum, the analysis of mental representations of students about the motion of the simple pendulum and the analysis of the requirements of innovative and constructive approaches for the science curriculum.

The level of design includes the formulation of learning objectives and the content development of the teaching sequence. The structural features of the sequence concern (a) the cultural dimension of scientific knowledge (the relationship between the simple pendulum and the timekeeping problem), (b) the conceptual dimension of scientific knowledge (a Galilean semi-quantitative approach of the isochronal motion of the simple pendulum) and (c) the methodological dimension of scientific knowledge (a hypothetico-deductive approach of the relation between the period of the simple pendulum, its string length and its gravitational acceleration) The proposed sequence is composed of four modules and is implemented through problem – solving activities, which are based on transformed or authentic material from the History of Science.

The application level includes the experimental implementation of the teaching sequence to 36 students aged 14-15 y.o. and the evaluation of their cognitive progress that we assume took place during the teaching. A questionnaire is used to detect mental representations of students before and after having participated in the teaching intervention.

Data analysis was carried out on three levels. The first level shows the positive contribution of the activities of the teaching sequence to a transformation of student responses towards the acceptable scientific school knowledge about the motion of the simple pendulum. The second level shows the overall significant cognitive progress of students in the three components of scientific knowledge, cultural, conceptual and methodological. Finally, the third level shows the positive contribution of the teaching sequence in the formation of groups of pupils using in an efficient and coherent manner both conceptual and methodological aspects of scientific knowledge.

Keywords: Simple pendulum, pendulum–clock, teaching sequence, sort historical texts, innovative teaching, constructive teaching

Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση αυτής της διατριβής θα ήθελα να ευχαριστήσω τους ανθρώπους που μου συμπαραστάθηκαν και βοήθησαν με οποιονδήποτε τρόπο στην πραγμάτωσή της.

Πρώτα από όλους θα ήθελα να ευχαριστήσω και να εκφράσω τη βαθιά ευγνωμοσύνη μου στον επιβλέποντα Καθηγητή ΤΕΕΑΠΗ Παν/μίου Πατρών κ. Δημήτρη Κολιόπουλο για την ουσιαστική βοήθεια που μου παρείχε σε όλη τη διάρκεια της εκπόνησής της. Χωρίς αυτή τη βοήθεια, την επιστημονική καθοδήγηση, το μακροχρόνιο και ειλικρινές ενδιαφέρον του η εργασία αυτή δεν θα είχε περατωθεί.

Πολλές ευχαριστίες οφείλω, επίσης, στα άλλα δύο μέλη της Τριμελούς Συμβουλευτικής Επιτροπής, τον Καθηγητή ΤΕΕΑΠΗ Παν/μίου Πατρών κ. Κώστα Ραβάνη για τις εύστοχες υποδείξεις του και την Επίκουρο Καθηγήτρια ΠΤΔΕ ΑΠΘ κ. Φανή Σέρογλου για την έγκυρη παιδαγωγική συμβολή της στα πλαίσια του προγράμματος HIPST.

Ένα θερμό ευχαριστώ οφείλω στους φίλους και συναδέλφους Νίκο Κανδεράκη για την ουσιαστική του βοήθεια στη διάδοση της διδακτικής ακολουθίας και Γιώργο Φασουλόπουλο για τα «δύσκολα» ερωτήματα που κατά καιρούς μου απεύθυνε.

Ευχαριστίες οφείλω στους φίλους και συνοδοιπόρους Διδάκτορες Ειρήνη Γκούσκου και Νίκο Δελέγκο και υποψήφιους Διδάκτορες Νίκη Σισσαμπέρη και Βασίλη Σταυρόπουλο, για τις χρήσιμες συζητήσεις και κυρίως για την αδιάκοπη ενθάρρυνση που μου πρόσφεραν.

Θα αποτελούσε παράλειψη η απουσία ευχαριστιών προς τους συναδέλφους εκπαιδευτικούς που βοήθησαν στη διακίνηση του πειραματικού υλικού της εργασίας και τους μαθητές που αποτέλεσαν τα υποκείμενα της ερευνητικής διαδικασίας.

Θερμό ευχαριστώ οφείλω, επίσης, στις φίλες Μαριάννα Τζοβάρα και Χριστίνα Παναγοπούλου για την απαραίτητη «φιλολογική» τους παρέμβαση στο τελικό κείμενο της διατριβής.

Τέλος, ένα μεγάλο ευχαριστώ στη Ρούλα που ήταν πάντα εκεί, στο Φίλιππο και το Χρήστο για όσα τους στέρησα όλα αυτά τα χρόνια.

Περιεχόμενα

Περίληψη	iv
Abstract	v
Ευχαριστίες	vi

Κεφάλαιο 1^ο

Το θεωρητικό και μεθοδολογικό πλαίσιο της έρευνας	1
1.1 Το πρόβλημα της διδασκαλίας του απλού εκκρεμούς	2
1.2 Το μοντέλο ανάλυσης, σχεδιασμού και εφαρμογής της έρευνας	4
i. Το γενικό πλαίσιο ανάλυσης και σχεδιασμού του εννοιολογικού περιεχομένου διδακτικού υλικού	4
ii. Το πλαίσιο ανάλυσης και σχεδιασμού του εννοιολογικού περιεχομένου της διδακτικής ακολουθίας για την κίνηση του απλού εκκρεμούς	7
1.3 Οι ερευνητικοί στόχοι, τα όρια και τα περιεχόμενα της διατριβής	9
i. Οι ερευνητικοί στόχοι	9
ii. Τα όρια της διατριβής	11
iii. Τα περιεχόμενα της διατριβής	12
Ανακεφαλαίωση	15

Κεφάλαιο 2

Η γνώση αναφοράς: η εξέλιξη της έννοιας της περιόδου του απλού εκκρεμούς	17
2.1 Η μελέτη του απλού εκκρεμούς στο Μεσαίωνα	20
2.2 Η μελέτη της περιόδου του απλού εκκρεμούς: Η προσέγγιση του Galileo και οι τροποποιήσεις του Huygens	22
2.3 Η εμπλοκή του απλού εκκρεμούς στο πρόβλημα της ακριβούς μέτρησης του χρόνου: ο σχεδιασμός και η κατασκευή του ρολογιού – εκκρεμούς	30
2.4 Από το ρολόι – εκκρεμές, ξανά στη μελέτη του απλού εκκρεμούς	36
Ανακεφαλαίωση	39

Κεφάλαιο 3

Βιωματική γνώση: οι νοητικές παραστάσεις των μαθητών για το απλό εκκρεμές	40
3.1 Βιβλιογραφική επισκόπηση των νοητικών παραστάσεων των μαθητών για το απλό εκκρεμές	44
i. Οι νοητικές παραστάσεις της εννοιολογικής συνιστώσας της επιστημονικής γνώσης	45
ii. Οι νοητικές παραστάσεις της μεθοδολογικής συνιστώσας της επιστημονικής γνώσης	52
iii. Οι νοητικές παραστάσεις της πολιτισμικής συνιστώσας της επιστημονικής γνώσης	55
3.2 Διερεύνηση των νοητικών παραστάσεων μαθητών του ελληνικού Γυμνασίου για το απλό εκκρεμές	56
i. Οι νοητικές παραστάσεις της πολιτισμικής συνιστώσας της επιστημονικής γνώσης	59
ii. Οι νοητικές παραστάσεις της εννοιολογικής συνιστώσας της επιστημονικής γνώσης	63
iii. Οι νοητικές παραστάσεις της μεθοδολογικής συνιστώσας της επιστημονικής γνώσης	67
Ανακεφαλαίωση	72

Κεφάλαιο 4

Ο διδακτικός μετασχηματισμός της επιστημονικής γνώσης σε σχολική γνώση: τα καινοτομικά και εποικοδομητικά χαρακτηριστικά της διδακτικής ακολουθίας	74
4.1 Οι αντιλήψεις αναλυτικών προγραμμάτων Φ.Ε.	78
i. Η «παραδοσιακή» αντίληψη	78
ii. Η «καινοτομική» αντίληψη	81
iii. Η «εποικοδομητική» αντίληψη	85
4.2 Η σχολική γνώση για το απλό εκκρεμές στο ισχύον ΑΠ ΦΕ της Γ΄ Γυμνασίου	88
Ανακεφαλαίωση	90

Κεφάλαιο 5

Η διδακτική ακολουθία	93
5.1 Οι διδακτικοί στόχοι της ακολουθίας	97

i. Οι πολιτισμικοί διδακτικοί στόχοι	98
ii. Οι εννοιολογικοί διδακτικοί στόχοι	99
iii. Οι μεθοδολογικοί διδακτικοί στόχοι	101
5.2 Το περιεχόμενο της διδακτικής ακολουθίας	103
i. Οι δραστηριότητες-προβλήματα της ακολουθίας	103
ii. Το διδακτικό υλικό της ακολουθίας	105
5.3 Οι διδακτικές ενότητες της ακολουθίας	109
i. 1η διδακτική ενότητα	109
ii. 2η διδακτική ενότητα	110
iii. 3η διδακτική ενότητα	112
iv. 4 ^η διδακτική ενότητα	114
Ανακεφαλαίωση	116

Κεφάλαιο 6

Η μεθοδολογική προσέγγιση της εφαρμογής και αξιολόγηση της διδακτικής ακολουθίας	118
6.1 Η ερευνητική στρατηγική της εφαρμογής της ακολουθίας	120
i. Η ερευνητική μέθοδος	121
ii. Η ανεξάρτητη μεταβλητή: η διδακτική ακολουθία	122
iii. Η εξαρτημένη μεταβλητή: οι νοητικές παραστάσεις των μαθητών	128
iv. Το δείγμα και οι συνθήκες εφαρμογής της ακολουθίας	128
v. Οι ερευνητικές τεχνικές και τα ερευνητικά εργαλεία	131
6.2 Η αξιολόγηση των δεδομένων	131
i. Οι τεχνικές αξιολόγησης των δεδομένων	132
ii. Τα στατιστικά εργαλεία αξιολόγησης	138
Ανακεφαλαίωση	141

Κεφάλαιο 7

Η γνωστική πρόοδος των μαθητών	143
7.1 Οι απαντήσεις των μαθητών πριν και μετά την ακολουθία: Ανάλυση ανά ερώτηση	144
i. Οι απαντήσεις, ανά ερώτηση, πριν την ακολουθία	144
ii. Οι απαντήσεις, ανά ερώτηση, μετά την ακολουθία	156
iii. Οι διαφορές των απαντήσεων, ανά ερώτηση, πριν και μετά την ακολουθία	169
7.2 Οι νοητικές παραστάσεις των μαθητών πριν και μετά την ακολουθία: Ανάλυση ανά ενότητα	187
i. Οι νοητικές παραστάσεις, ανά ενότητα, πριν την ακολουθία	187
ii. Οι νοητικές παραστάσεις, ανά ενότητα, μετά την ακολουθία	192
iii. Οι διαφορές των νοητικών παραστάσεων, ανά ενότητα, πριν και μετά την ακολουθία	198
7.3 Οι συσχετίσεις των νοητικών παραστάσεων	202
i. Οι συσχετίσεις των εννοιολογικών με τις αντίστοιχες μεθοδολογικές απαντήσεις	203
ii. Οι συσχετίσεις των κατηγοριών των αιτιολογήσεων με τις επιλογές της αντίστοιχης ερώτησης	214
iii. Η συσχέτιση νοητικών παραστάσεων της εννοιολογικής και μεθοδολογικής συνιστώσας της επιστημονικής γνώσης	221
Ανακεφαλαίωση	225

Κεφάλαιο 8

Συμπεράσματα	227
8.1 Σχετικά με την ανάλυση και το σχεδιασμό της διδακτικής ακολουθίας	228
8.2 Σχετικά με την εφαρμογή και την αξιολόγηση της διδακτικής ακολουθίας	230
8.3 Σχετικά με τις επιπτώσεις της έρευνας στη διδασκαλία και την επιμόρφωση των εκπαιδευτικών	232
8.4 Σχετικά με τους περιορισμούς και τις δυνατές κατευθύνσεις της έρευνας	235
Βιβλιογραφία / ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ	237 / 250

Ευρετήριο σχημάτων

Σχήμα 1.1: Το πλαίσιο ανάλυσης και σχεδιασμού διδακτικών ακολουθιών	5
Σχήμα 2.1: Σχέδιο βασισμένο στην κατασκευή του Galileo το 1600	26
Σχήμα 2.2: Η κυκλοειδής καμπύλη	29
Σχήμα 4.1: Τα επίπεδα του διδακτικού μετασχηματισμού	77
Σχήμα 4.2: Πρότυπο ταξινόμησης Αναλυτικών Προγραμμάτων Φ.Ε.	78
Σχήμα 4.3: Τα βασικά χαρακτηριστικά του καινοτομικής αντίληψης αναλυτικού προγράμματος Φυσικών Επιστημών	85
Σχήμα 4.4: Η εποικοδομητική αντίληψη ως εργαλείο διδακτικού μετασχηματισμού	88
Σχήμα 5.1: Τα δομικά χαρακτηριστικά της ακολουθίας του απλού εκκρεμούς	96
Σχήμα 6.1: Η μεθοδολογική προσέγγιση της εφαρμογής και αξιολόγησης της διδακτικής ακολουθίας	119
Σχήμα 6.2: Το σχέδιο διπλής μέτρησης	121

Ευρετήριο Εικόνων

Εικόνα 2.1: Σχέδιο του μηχανισμού διαφυγής του Galileo	32
Εικόνα 2.2: Το σχέδιο ρολογιού – εκκρεμούς του Galileo	33
Εικόνα 2.3: Η κυκλοειδής ανάρτηση του Huygens	34
Εικόνα 2.4: Ο μηχανισμός διαφυγής με τον οριζόντιο οδοντωτό τροχό του Huygens	35
Εικόνα 2.5: Το τυπικό ρολόι του Huygens	35

Ευρετήριο Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 7.1: Η σύγκριση των απαντήσεων στην ερώτηση 1	169
---	-----

Διάγραμμα 7.2: Η σύγκριση των απαντήσεων στην ερώτηση 2α	170
Διάγραμμα 7.3: Η σύγκριση των απαντήσεων στην ερώτηση 2β	171
Διάγραμμα 7.4: Η σύγκριση των απαντήσεων στην ερώτηση 3	172
Διάγραμμα 7.5: Η σύγκριση των κατηγοριών των αιτιολογήσεων στην ερώτηση 3	174
Διάγραμμα 7.6: Η σύγκριση των απαντήσεων στην ερώτηση 4	175
Διάγραμμα 7.7: Η σύγκριση των απαντήσεων στην ερώτηση 5	176
Διάγραμμα 7.8: Η σύγκριση των κατηγοριών των αιτιολογήσεων στην ερώτηση 5	178
Διάγραμμα 7.9: Η σύγκριση των απαντήσεων στην ερώτηση 6	180
Διάγραμμα 7.10: Η σύγκριση των απαντήσεων στην ερώτηση 7	181
Διάγραμμα 7.11: Η σύγκριση των κατηγοριών των αιτιολογήσεων στην ερώτηση 7	183
Διάγραμμα 7.12: Η σύγκριση των απαντήσεων στην ερώτηση 8	184
Διάγραμμα 7.13: Η σύγκριση των απαντήσεων στην ερώτηση 9	186
Διάγραμμα 7.14: Οι σχετικές συχνότητες των νοητικών παραστάσεων της πολιτισμικής συνιστώσας της επιστημονικής γνώσης (Πριν)	188
Διάγραμμα 7.15: Οι σχετικές συχνότητες των νοητικών παραστάσεων της εννοιολογικής συνιστώσας της επιστημονικής γνώσης (Πριν)	190
Διάγραμμα 7.16: Οι σχετικές συχνότητες των νοητικών παραστάσεων της μεθοδολογικής συνιστώσας της επιστημονικής γνώσης (Πριν)	191
Διάγραμμα 7.17: Οι σχετικές συχνότητες των νοητικών παραστάσεων της πολιτισμικής συνιστώσας της επιστημονικής γνώσης (Μετά)	193
Διάγραμμα 7.18: Οι σχετικές συχνότητες των νοητικών παραστάσεων της εννοιολογικής συνιστώσας της επιστημονικής γνώσης (Μετά)	194
Διάγραμμα 7.19: Οι σχετικές συχνότητες των νοητικών παραστάσεων της μεθοδολογικής συνιστώσας της επιστημονικής γνώσης (Μετά)	196
Διάγραμμα 7.20: Η σύγκριση των νοητικών παραστάσεων της πολιτισμικής συνιστώσας της επιστημονικής γνώσης	198
Διάγραμμα 7.21: Η σύγκριση των νοητικών παραστάσεων της εννοιολογικής συνιστώσας της επιστημονικής γνώσης	200
Διάγραμμα 7.22: Η σύγκριση των νοητικών παραστάσεων της μεθοδολογικής συνιστώσας της επιστημονικής γνώσης	201
Διάγραμμα 7.23: Οι συνδέσεις της σχέσης Περιόδου – Βάρους (Πριν)	205

Διάγραμμα 7.24: Οι συνδέσεις της σχέσης Περιόδου – Βάρους (Μετά)	206
Διάγραμμα 7.25: Οι συνδέσεις της σχέσης Περιόδου – Πλάτους (Πριν)	208
Διάγραμμα 7.26: Οι συνδέσεις της σχέσης Περιόδου – Πλάτους (Μετά)	210
Διάγραμμα 7.27: Οι συνδέσεις της σχέσης Περιόδου – Μήκους (Πριν)	211
Διάγραμμα 7.28: Οι συνδέσεις της σχέσης Περιόδου – Μήκους (Μετά)	213
Διάγραμμα 7.29: Οι συσχετίσεις των κατηγοριών των αιτιολογήσεων με τις απαντήσεις στην ερώτηση 5 (Πριν)	216
Διάγραμμα 7.30: Οι συσχετίσεις των κατηγοριών των αιτιολογήσεων με τις απαντήσεις στην ερώτηση 5 (Μετά)	217
Διάγραμμα 7.31: Οι συσχετίσεις των κατηγοριών των αιτιολογήσεων με τις απαντήσεις στην ερώτηση 7 (Πριν)	219
Διάγραμμα 7.32: Οι συσχετίσεις των κατηγοριών των αιτιολογήσεων με τις απαντήσεις στην ερώτηση 7 (Μετά)	221
Διάγραμμα 7.33: Οι συνδέσεις των εννοιολογικών κατηγοριών με τις μεθοδολογικές (Μετά)	224

Ευρετήριο πινάκων

Πίνακας 3.1: Οι απαντήσεις των μαθητών στην ερώτηση 1	59
Πίνακας 3.2: Οι απαντήσεις των μαθητών στην ερώτηση 2α	60
Πίνακας 3.3: Οι απαντήσεις των μαθητών στην ερώτηση 2β	61
Πίνακας 3.4: Οι απαντήσεις των μαθητών στην ερώτηση 3	62
Πίνακας 3.5: Οι απαντήσεις των μαθητών στην ερώτηση 4	64
Πίνακας 3.6: Οι απαντήσεις των μαθητών στην ερώτηση 5	65
Πίνακας 3.7: Οι απαντήσεις των μαθητών στην ερώτηση 6	67
Πίνακας 3.8: Οι απαντήσεις των μαθητών στην ερώτηση 7	68
Πίνακας 3.9: Οι απαντήσεις των μαθητών στην ερώτηση 8	69
Πίνακας 3.10: Οι απαντήσεις των μαθητών στην ερώτηση 9	71
Πίνακας 5.1: Οι κατηγορίες των διδακτικών στόχων	98

Πίνακας 5.2: Οι πολιτισμικοί διδακτικοί στόχοι της ακολουθίας, ανά ενότητα	99
Πίνακας 5.3: Οι εννοιολογικοί διδακτικοί στόχοι της ακολουθίας, ανά ενότητα	101
Πίνακας 5.4: Οι μεθοδολογικοί διδακτικοί στόχοι της ακολουθίας, ανά ενότητα	102
Πίνακας 5.5: Η συνολική σχεδίαση της ακολουθίας του απλού εκκρεμούς	108
Πίνακας 5.6: Το σχέδιο δραστηριοτήτων εκπαιδευτικού της 1ης διδακτικής ενότητας	110
Πίνακας 5.7: Το σχέδιο δραστηριοτήτων εκπαιδευτικού της 2ης διδακτικής ενότητας	112
Πίνακας 5.8: Το σχέδιο δραστηριοτήτων εκπαιδευτικού της 3ης διδακτικής ενότητας	114
Πίνακας 5.9: Το σχέδιο δραστηριοτήτων εκπαιδευτικού της 4ης διδακτικής ενότητας	116
Πίνακας 6.1: Το ερευνητικό πρωτόκολλο της 1ης διδακτικής ενότητας	124
Πίνακας 6.2: Το ερευνητικό πρωτόκολλο της 2ης διδακτικής ενότητας	125
Πίνακας 6.3: Το ερευνητικό πρωτόκολλο της 3ης διδακτικής ενότητας	126
Πίνακας 6.4 Το ερευνητικό πρωτόκολλο της 4ης διδακτικής ενότητας	127
Πίνακας 6.5: Η κατανομή του δείγματος ανά σχολείο και φύλο	130
Πίνακας 6.6: Η δομή του ερωτηματολογίου	132
Πίνακας 6.7: Η κατηγοριοποίηση των αιτιολογήσεων	135
Πίνακας 6.8: Οι κατηγορίες του ερωτηματολογίου και τα αντίστοιχα σκορ ανά ενότητα	136
Πίνακας 6.9: Η ανάλυση των δεδομένων του ερωτηματολογίου	138
Πίνακας 7.1: Απαντήσεις μαθητών στην ερώτηση 1 (Πριν)	144
Πίνακας 7.2: Απαντήσεις μαθητών στην ερώτηση 2α (Πριν)	145
Πίνακας 7.3: Απαντήσεις μαθητών στην ερώτηση 2β (Πριν)	145
Πίνακας 7.4: Απαντήσεις μαθητών στην ερώτηση 3 (Πριν)	146
Πίνακας 7.5: Οι κατηγορίες των αιτιολογήσεων των μαθητών στην ερώτηση 3 (Πριν)	147

Πίνακας 7.6: Απαντήσεις μαθητών στην ερώτηση 4 (Πριν)	148
Πίνακας 7.7: Απαντήσεις μαθητών στην ερώτηση 5 (Πριν)	149
Πίνακας 7.8: Οι κατηγορίες των αιτιολογήσεων των μαθητών στην ερώτηση 5 (Πριν)	150
Πίνακας 7.9: Απαντήσεις μαθητών στην ερώτηση 6 (Πριν)	151
Πίνακας 7.10: Απαντήσεις μαθητών στην ερώτηση 7 (Πριν)	152
Πίνακας 7.11: Οι κατηγορίες των αιτιολογήσεων των μαθητών στην ερώτηση 7 (Πριν)	153
Πίνακας 7.12: Απαντήσεις μαθητών στην ερώτηση 8 (Πριν)	154
Πίνακας 7.13: Απαντήσεις μαθητών στην ερώτηση 9 (Πριν)	155
Πίνακας 7.14: Απαντήσεις μαθητών στην ερώτηση 1 (Μετά)	157
Πίνακας 7.15: Απαντήσεις μαθητών στην ερώτηση 2α (Μετά)	157
Πίνακας 7.16: Απαντήσεις μαθητών στην ερώτηση 2β (Μετά)	158
Πίνακας 7.17: Απαντήσεις μαθητών στην ερώτηση 3 (Μετά)	159
Πίνακας 7.18: Οι κατηγορίες των αιτιολογήσεων των μαθητών στην ερώτηση 3 (Μετά)	160
Πίνακας 7.19: Απαντήσεις μαθητών στην ερώτηση 4 (Μετά)	161
Πίνακας 7.20: Απαντήσεις μαθητών στην ερώτηση 5 (Μετά)	162
Πίνακας 7.21 Οι κατηγορίες των αιτιολογήσεων των μαθητών στην ερώτηση 5 (Μετά)	162
Πίνακας 7.22: Απαντήσεις μαθητών στην ερώτηση 6 (Μετά)	164
Πίνακας 7.23: Απαντήσεις μαθητών στην ερώτηση 7 (Μετά)	164
Πίνακας 7.24: Οι κατηγορίες των αιτιολογήσεων των μαθητών στην ερώτηση 7 (Μετά)	165
Πίνακας 7.25: Απαντήσεις μαθητών στην ερώτηση 8 (Μετά)	167
Πίνακας 7.26: Απαντήσεις μαθητών στην ερώτηση 9 (Μετά)	168
Πίνακας 7.27: Η ιεράρχηση των απαντήσεων στην πολιτισμική ενότητα (Πριν)	188
Πίνακας 7.28: Η ιεράρχηση των απαντήσεων στην εννοιολογική ενότητα (Πριν)	189

Πίνακας 7.29 Η ιεράρχηση των απαντήσεων στη μεθοδολογική ενότητα (Πριν)	190
Πίνακας 7.30: Η ιεράρχηση των απαντήσεων στην πολιτισμική ενότητα (Μετά)	192
Πίνακας 7.31: Η ιεράρχηση των απαντήσεων στην εννοιολογική ενότητα (Μετά)	194
Πίνακας 7.32 Η ιεράρχηση των απαντήσεων στη μεθοδολογική ενότητα (Μετά)	195
Πίνακας 7.33: Η διασταύρωση των απαντήσεων των ερωτήσεων 4 και 9 (Πριν)	204
Πίνακας 7.34: Η διασταύρωση των απαντήσεων των ερωτήσεων 4 και 9 (Μετά)	205
Πίνακας 7.35: Η διασταύρωση των απαντήσεων των ερωτήσεων 5 και 7 (Πριν)	207
Πίνακας 7.36: Η διασταύρωση των απαντήσεων των ερωτήσεων 5 και 7 (Μετά)	209
Πίνακας 7.37 Η διασταύρωση των απαντήσεων των ερωτήσεων 6 και 8 (Πριν)	211
Πίνακας 7.38 Η διασταύρωση των απαντήσεων των ερωτήσεων 6 και 8 (Μετά)	212
Πίνακας 7.39: Η διασταύρωση των κατηγοριών των αιτιολογήσεων με τις απαντήσεις στην ερώτηση 5 (Πριν)	215
Πίνακας 7.40: Η διασταύρωση των κατηγοριών των αιτιολογήσεων με τις απαντήσεις στην ερώτηση 5 (Μετά)	216
Πίνακας 7.41 Η διασταύρωση των κατηγοριών των αιτιολογήσεων με τις απαντήσεις στην ερώτηση 7 (Πριν)	218
Πίνακας 7.42 Η διασταύρωση των κατηγοριών των αιτιολογήσεων με τις απαντήσεις στην ερώτηση 7 (Μετά)	219
Πίνακας 7.43: Η διασταύρωση των κατηγοριών των εννοιολογικών με τις μεθοδολογικές νοητικές παραστάσεις (Πριν)	222
Πίνακας 7.44: Η διασταύρωση των κατηγοριών των εννοιολογικών με τις μεθοδολογικές νοητικές παραστάσεις (Μετά)	223

Κεφάλαιο 1^ο

Το θεωρητικό και μεθοδολογικό πλαίσιο της έρευνας

1.1 Το πρόβλημα της διδασκαλίας του απλού εκκρεμούς

Η μελέτη του απλού εκκρεμούς διαδραμάτισε σημαντικό ρόλο στη γέννηση και ανάπτυξη των Φυσικών Επιστημών του 17ου αιώνα, καθότι παρείχε τον πρώτο αποτελεσματικό τρόπο ακριβούς μέτρησης του χρόνου, γεγονός απαραίτητο στην εξέλιξη της επιστημονικής επανάστασης. Ο Galileo χρησιμοποίησε την κίνηση του εκκρεμούς στη μελέτη της ελεύθερης πτώσης, στη θεμελίωση του νόμου του για τη διατήρηση της ενέργειας και στην αμφισβήτηση της Αριστοτελικής εννοιολογικής διάκρισης των κινήσεων σε βίαιες και φυσικές. Στη συνέχεια, ο Newton χρησιμοποίησε το εκκρεμές στην ερμηνεία του πεπλατυσμένου σχήματος της Γης, στον προσδιορισμό της τιμής της έντασης του γήινου βαρυτικού πεδίου, στην απόδειξη της ανυπαρξίας του αιθέρα των φιλοσόφων, στον προσδιορισμό του συντελεστή ελαστικότητας των σωμάτων, στη διερεύνηση των νόμων της κρούσης, στη μέτρηση της ταχύτητας του ήχου και στην απόδειξη της αναλογίας του βάρους των σωμάτων με τη μάζα τους. Επιπλέον, η ενσωμάτωση του εκκρεμούς στα ρολόγια και η επακόλουθη επίλυση του προβλήματος του προσδιορισμού του γεωγραφικού μήκους επέτρεψε την ανάπτυξη της ναυσιπλοΐας, των ευρωπαϊκών εξερευνήσεων, του εμπορίου και της αποίκησης, γεγονότα που διαμόρφωσαν την εξέλιξη της βιομηχανικής επανάστασης, τη δημόσια ζωή και τον πολιτισμό (Matthews, 2000).

Το απλό εκκρεμές, ως αντικείμενο διδασκαλίας, περιλαμβάνεται στη συντριπτική πλειοψηφία των αναλυτικών προγραμμάτων Φυσικής, σε όλο τον κόσμο, σε όλες σχεδόν τις εκπαιδευτικές βαθμίδες. Σε αντίθεση με την πολύπλευρη ιστορία του, η παραδοσιακή διδασκαλία του εκκρεμούς δεν λαμβάνει υπόψη τις ιστορικές και πολιτισμικές διαστάσεις της κίνησής του και σχεδόν πάντα σχετίζεται με τη Νευτωνική ανάλυση των δυνάμεων ή/και την ενεργειακή ανάλυση, στα πλαίσια της παραδειγματικής εφαρμογής της μελέτης των ταλαντώσεων. Η εφαρμογή της

ισοχρονικής ιδιότητας του εκκρεμούς στην κατασκευή του πρώτου αξιόπιστου ρολογιού, ο ρόλος του ρολογιού στην επίλυση του προβλήματος του γεωγραφικού μήκους και οι επιστημονικές ανακαλύψεις που βασίστηκαν σε αυτό, συνήθως αγνοούνται στο σύνολο των αναλυτικών προγραμμάτων όλων των βαθμίδων. Επιπλέον, η τυπική μεθοδολογική προσέγγιση της μελέτης του εκκρεμούς σχετίζεται με την εμπειριστική παράδοση και αφορά στην παράθεση μιας σειράς εντολών, που πρέπει να εκτελεστούν από του μαθητές, προκειμένου να επιβεβαιωθεί η μαθηματική σχέση της περιόδου του εκκρεμούς με τους παράγοντες που την επηρεάζουν (μήκος νήματος, επιτάχυνση της βαρύτητας). Η εμπειριστική προσέγγιση δεν λαμβάνει υπόψη τα προβλήματα των μαθητών τόσο ως προς την επιλογή των κατάλληλων μεταβλητών στη διερεύνηση μιας σχέσης, όσο και στην εφαρμογή της επιστημονικής πειραματικής τεχνικής. Η παραδοσιακή προσέγγιση στη διδασκαλία του απλού εκκρεμούς φαίνεται να παρουσιάζει όχι μόνο ελάχιστο ενδιαφέρον για τους μαθητές αλλά και να μην οδηγεί σε αποτελεσματική γνώση των βασικών εννοιολογικών και μεθοδολογικών στοιχείων ειδικά σε σχέση με τη φύση και τα χαρακτηριστικά της περιόδου (Δόσης, 2006). Η σχεδίαση και εφαρμογή μιας διδακτικής ακολουθίας του απλού εκκρεμούς που θα βασίζεται στο πλούσιο εννοιολογικό, μεθοδολογικό και πολιτισμικό περιεχόμενό του, μπορεί να συμβάλλει στην καλύτερη κατανόηση της έννοιας της περιόδου, των επιστημονικών διαδικασιών, των διασυνδέσεων της επιστημονικής με την κοινωνικο/τεχνολογική γνώση και στην πρόκληση του ενδιαφέροντος των μαθητών για τις Φυσικές Επιστήμες (Matthews, 2000) .

1.2 Το μοντέλο ανάλυσης, σχεδιασμού και εφαρμογής της έρευνας

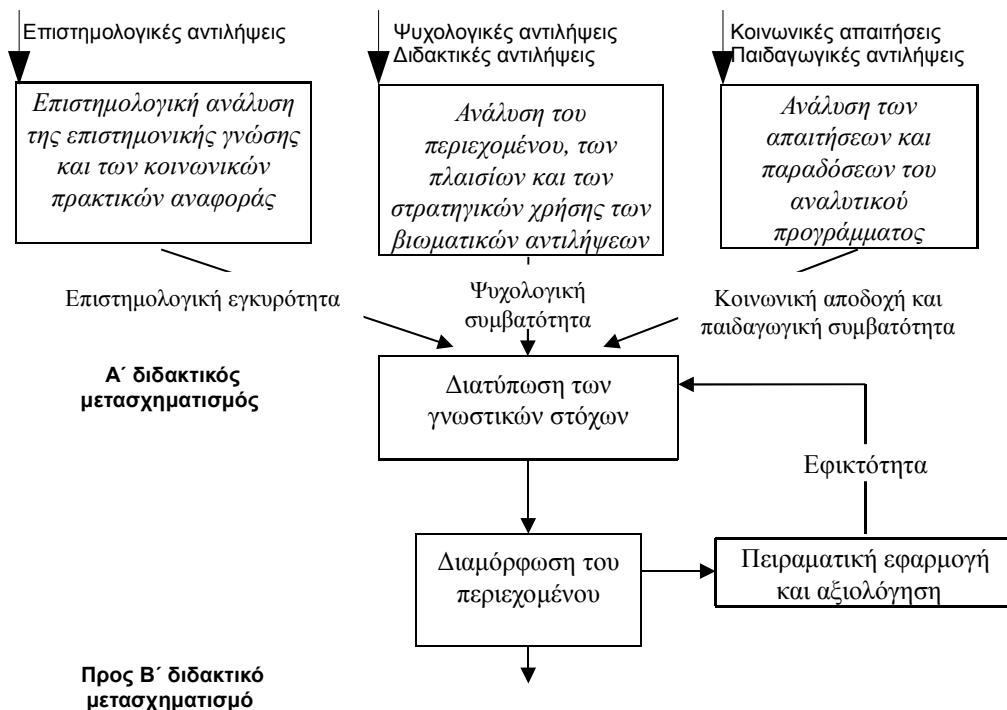
ι. Το γενικό πλαίσιο ανάλυσης και σχεδιασμού του εννοιολογικού περιεχομένου διδακτικού υλικού

Το μεθοδολογικό πρότυπο ανάλυσης, σχεδιασμού και εφαρμογής της παρούσας έρευνας βασίζεται στο λειτουργικό πλαίσιο ανάλυσης και σχεδίασης διδακτικών ακολουθιών που προτείνεται στο επιστημονικό έργο του Κολιόπουλου, το οποίο, όπως τονίζει ο δημιουργός του «...οδηγεί σε μορφές σχολικής γνώσης που θα συγκροτούνται ως μετασχηματισμός ενός συνδυασμού της επιστημονικής και της βιωματικής γνώσης» (Κολιόπουλος, 2006, σελ. 146). Το συγκεκριμένο πλαίσιο έχει τις ρίζες του στη γαλλόφωνη παράδοση της διδακτικής των Μαθηματικών, στοιχεία της οποίας μεταφέρθηκαν και στο χώρο της διδακτικής των Φυσικών Επιστημών (Ραβάνης, 2003α; Meheut & Psillos, 2004; Meheut, 2004). Επιπλέον, η εξωτερική εγκυρότητα του προτύπου έχει ενισχυθεί μέσω της εφαρμογής του σε αναπτυξιακές πειραματικές έρευνες, από τις οποίες κρίνεται ως αρκούντως κατάλληλο προς εφαρμογή σε συνθήκες διδασκαλίας (Κολιόπουλος, 2001; Δελέγκος, 2012).

Όπως φαίνεται και στη συνοπτική αναπαράσταση στο σχήμα 1.1, το πρότυπο είναι δομημένο και λειτουργεί σε τρία επίπεδα: (α) στο επίπεδο της ανάλυσης, (β) στο επίπεδο του σχεδιασμού και (γ) στο επίπεδο της εφαρμογής και αξιολόγησης.

Ειδικότερα, το επίπεδο της ανάλυσης περιέχει τρία στοιχεία που διαμορφώνουν τους γνωστικούς διδακτικούς σκοπούς του αναλυτικού προγράμματος. Το πρώτο στοιχείο, που εξασφαλίζει την επιστημολογική εγκυρότητα του περιεχομένου της νέας σχολικής γνώσης, αφορά στην επιστημολογική ανάλυση του εννοιολογικού περιεχομένου της επιστημονικής γνώσης και των κοινωνικών πρακτικών στο συγκεκριμένο θεματικό πεδίο. Το δεύτερο στοιχείο, που εξασφαλίζει την ψυχολογική συμβατότητα του περιεχομένου με τις γνωστικές δυνατότητες και απαιτήσεις των

μαθητών/τριών που πρόκειται να αλληλεπιδράσουν με το συγκεκριμένο περιεχόμενο, αφορά στην ανάλυση του περιεχομένου και των διδακτικών στρατηγικών χρήσης των νοητικών παραστάσεων των μαθητών, πριν τη διδασκαλία του σχετικού θεματικού πεδίου.



Σχήμα 1.1: Το πλαίσιο ανάλυσης και σχεδιασμού διδακτικών ακολουθιών (Κολιόπουλος, 2006)

Το τρίτο στοιχείο, που καταδεικνύει την κοινωνική αναγκαιότητα (ισχύον αναλυτικό πρόγραμμα) και επιτυγχάνει την παιδαγωγική συμβατότητα, αφορά στην ανάλυση των απαιτήσεων μιας καινοτομικής και εποικοδομητικής αντίληψης του αναλυτικού προγράμματος των Φυσικών Επιστημών, η οποία υποθέτουμε ότι αφ' ενός οδηγεί στην υπέρβαση των προβλημάτων που δημιουργεί η παραδοσιακή αντίληψη για το αναλυτικό πρόγραμμα και αφ' ετέρου σε πραγματική γνωστική πρόοδο των μαθητών. Κάθε στοιχείο του επιπέδου ανάλυσης συμβάλλει, με τη δική του

ιδιαιτερότητα, στη διαδικασία της διατύπωσης των γνωστικών διδακτικών σκοπών του αναλυτικού προγράμματος και στη συνέχεια, στη διαδικασία μετατροπής των σκοπών αυτών, μέσω των διδακτικών ακολουθιών, σε συγκεκριμένο αντικείμενο προς διδασκαλία.

Το επίπεδο του σχεδιασμού περιλαμβάνει δύο στοιχεία: (α) το στοιχείο της διατύπωσης των γνωστικών διδακτικών σκοπών και (β) το στοιχείο της διαμόρφωσης του περιεχομένου του νέου αναλυτικού προγράμματος, αυτό που ονομάζεται α' διδακτικός μετασχηματισμός της επιστημονικής σε σχολική γνώση. Σε αυτό το επίπεδο, ο βαθμός εξειδίκευσης στον οποίο μπορεί να προχωρήσει η οργάνωση του περιεχομένου της σχολικής γνώσης, συναρτάται με τις βασικές επιλογές που αφορούν στην εννοιολογική οργάνωση, τη φύση και το πεδίο εφαρμογής του περιεχομένου, με βάση τις επιδιώξεις και τους διδακτικούς σκοπούς που διατυπώνονται. Οι επιλογές αυτές δεν είναι δυνατόν να τροποποιηθούν σε ενδεχόμενη εφαρμογή του αναλυτικού προγράμματος, αλλά μόνο να συμπληρωθούν και να προσαρμοστούν στα δεδομένα της διδασκαλίας.

Τέλος, το επίπεδο της εφαρμογής και αξιολόγησης του περιεχομένου του συγκεκριμένου προτύπου περιλαμβάνει την πειραματική εφαρμογή και αξιολόγηση του περιεχομένου, η οποία λειτουργεί ως τέταρτη είσοδος ανατροφοδότησης πληροφοριών στη διαμόρφωση των διδακτικών σκοπών και της οργάνωσης του περιεχομένου και διασφαλίζει τη δυνατότητα εφαρμογής του νέου αναλυτικού προγράμματος σε πραγματικές συνθήκες διδασκαλίας, δηλαδή το μετασχηματισμό του αντικειμένου προς διδασκαλία, σε αντικείμενο διδασκαλίας (β' διδακτικός μετασχηματισμός) (Κολιόπουλος, 2006).

ii. Το πλαίσιο ανάλυσης και σχεδιασμού του περιεχομένου της διδακτικής ακολουθίας για την κίνηση του απλού εκκρεμούς

Το πλαίσιο ανάλυσης και σχεδιασμού της υπό παρουσίαση διδακτικής ακολουθίας για τη μελέτη της κίνησης του απλού εκκρεμούς βασίστηκε στο μετασχηματισμό, την προσαρμογή και επέκταση του προαναφερθέντος προτύπου.

Το επίπεδο της ανάλυσης περιέχει τρία στοιχεία που διαμορφώνουν τους γνωστικούς διδακτικούς σκοπούς της ακολουθίας. Το πρώτο στοιχείο, που εξασφαλίζει την επιστημολογική εγκυρότητα του νέου περιεχομένου, αφορά στην επιστημολογική ανάλυση του Γαλιλαϊκού πλαισίου της κίνησης του απλού εκκρεμούς (Matthews, 2000 & 2005), όπως αυτή θα αναλυθεί στο κεφάλαιο 2 της παρούσας διατριβής (Η γνώση αναφοράς: η εξέλιξη της έννοιας της περιόδου του απλού εκκρεμούς). Το δεύτερο στοιχείο, που εξασφαλίζει την ψυχολογική συμβατότητα του περιεχομένου με τις γνωστικές δυνατότητες και απαιτήσεις των μαθητών/τριών που πρόκειται να αλληλεπιδράσουν με το συγκεκριμένο περιεχόμενο, αφορά στην ανάλυση των νοητικών παραστάσεων των μαθητών πριν τη διδασκαλία του απλού εκκρεμούς (Δόσης, 2006), όπως αυτή θα αναλυθεί στο κεφάλαιο 3 (Βιωματική γνώση: οι νοητικές παραστάσεις των μαθητών για το απλό εκκρεμές). Το τρίτο στοιχείο, που καταδεικνύει την παιδαγωγική συμβατότητα της προτεινόμενης ακολουθίας, αφορά στην ανάλυση των απαιτήσεων του συγκεκριμένου, καινοτομικής – εποικοδομητικής αντίληψης αναλυτικού προγράμματος (Κολιόπουλος, 2006) εντός του οποίου πρόκειται να λειτουργήσει η επιδιωκόμενη σχολική γνώση, όπως αυτή θα αναλυθεί στο κεφάλαιο 4 (Ο διδακτικός μετασχηματισμός της επιστημονικής γνώσης σε σχολική γνώση: τα καινοτομικά και εποικοδομητικά χαρακτηριστικά της διδακτικής ακολουθίας).

Το επίπεδο του σχεδιασμού περιλαμβάνει δύο στοιχεία: (α) το στοιχείο της διατύπωσης των γνωστικών διδακτικών στόχων και (β) το στοιχείο της διαμόρφωσης

του περιεχομένου της ακολουθίας διδακτικών ενοτήτων για τη διδασκαλία της κίνησης του απλού εκκρεμούς. Οι αποφάσεις που λαμβάνονται σε αυτό το επίπεδο, οι οποίες δεν μπορούν να τροποποιηθούν στην εφαρμογή της προτεινόμενης διδακτικής ακολουθίας, αφορούν και στα δύο στοιχεία. Ειδικότερα, στο στοιχείο της διατύπωσης των διδακτικών στόχων, επιλέγεται η συμπερίληψη μεθοδολογικών και πολιτισμικών διδακτικών στόχων, επιπλέον των εννοιολογικών, έτσι ώστε να καταστεί δυνατή η οργάνωση του περιεχομένου στα πλαίσια της καινοτομικής και επικοινωνιακής αντίληψης για το αναλυτικό πρόγραμμα Φυσικών Επιστημών. Όσον αφορά στο στοιχείο της διαμόρφωσης του περιεχομένου της προτεινόμενης ακολουθίας, επιλέγεται το Γαλιλαϊκό εννοιολογικό πλαίσιο ως το μόνο εννοιολογικό πλαίσιο διαπραγμάτευσης της κίνησης του απλού εκκρεμούς, στη συγκεκριμένη ακολουθία. Η πρόκριση του Γαλιλαϊκού εννοιολογικού πλαισίου, σε σχέση με άλλα εννοιολογικά πλαίσια και κυρίως το Νευτώνικό πλαίσιο της Μηχανικής, σχετίζεται πρωτίστως με την απόφαση οργάνωσης του περιεχομένου της ακολουθίας στα πλαίσια της καινοτομικής αντίληψης για το διδακτικό μετασχηματισμό της επιστημονικής σε σχολική γνώση. Η αντίληψη αυτή προκρίνει την εις βάθος ανάλυση ενός εννοιολογικού πλαισίου (Κολιόπουλος, 2006), τη χρήση στοιχείων της υποθετικο-παραγωγικής εικόνας της επιστήμης (Chalmers, 2000; Κουλαϊδής, 2001b) καθώς και την εισαγωγή στοιχείων της Ιστορίας των Φυσικών Επιστημών ως βασικό πολιτισμικό πλαίσιο (Matthews, 2000; Βιτωράτος & Σακόπουλος, 2001; Κολιόπουλος, 2012). Η ανάλυση και διαμόρφωση τόσο των διδακτικών στόχων της ακολουθίας όσο και του περιεχομένου της θα λάβει χώρα στο κεφάλαιο 5 της παρούσας διατριβής (Η διδακτική ακολουθία του απλού εκκρεμούς).

Τέλος, το επίπεδο της εφαρμογής και αξιολόγησης του περιεχομένου της συγκεκριμένης ακολουθίας, περιλαμβάνει την πειραματική εφαρμογή και αξιολόγηση

του περιεχομένου, η οποία μπορεί να λειτουργήσει ως τέταρτη είσοδος ανατροφοδότησης στη διαμόρφωση των διδακτικών στόχων και της οργάνωσης του περιεχομένου της ακολουθίας, έτσι ώστε να ενισχύεται η δυνατότητα διάδοσης της ακολουθίας σε πραγματικές συνθήκες διδασκαλίας. Η μεθοδολογική στρατηγική της πειραματικής εφαρμογής της ακολουθίας θα αναλυθεί στο κεφάλαιο 6 (Η μεθοδολογική στρατηγική της εφαρμογής), ενώ η ανάλυση και αξιολόγηση της γνωστικής προόδου των μαθητών του δείγματος θα παρουσιαστούν στο κεφάλαιο 7 (Η γνωστική πρόοδος των μαθητών).

1.3 Οι ερευνητικοί στόχοι, τα όρια και τα περιεχόμενα της διατριβής

Το κεντρικό πρόβλημα το οποίο καλείται να αντιμετωπίσει αυτή η διατριβή είναι η διερεύνηση των όρων υπό τους οποίους είναι δυνατή η σχεδίαση, εφαρμογή και αξιολόγηση μιας διδακτικής ακολουθίας για την κίνηση του απλού εκκρεμούς, στα πλαίσια του ελληνικού αναλυτικού προγράμματος της Γ' Γυμνασίου, έτσι ώστε οι μαθητές να οδηγούνται σε μια πιο πλούσια και ουσιαστική μάθηση τόσο στη γνώση του εννοιολογικού περιεχομένου και της επιστημονικής μεθόδου, όσο και στην πολιτισμική γνώση σχετικά με το απλό εκκρεμές. Όπως έχει αναφερθεί στην ενότητα 1.2, το μεθοδολογικό πρότυπο ανάλυσης, σχεδιασμού και εφαρμογής της διδακτικής ακολουθίας αντιμετωπίζει το πρόβλημα σε τρία επίπεδα: το επίπεδο της ανάλυσης, το επίπεδο του σχεδιασμού και το επίπεδο της εφαρμογής. Οι ερευνητικοί στόχοι που διατυπώνονται αφορούν και στα τρία επίπεδα ανάπτυξης της έρευνας.

i. Οι ερευνητικοί στόχοι

Για το επίπεδο ανάλυσης διατυπώνονται οι παρακάτω ερευνητικοί στόχοι:

(α) Να γίνει ανάλυση της ιστορικής εξέλιξης της έννοιας της περιόδου του απλού εκκρεμούς και της διασύνδεσής της με την προσπάθεια της ακριβούς χρονομέτρησης,

έτσι ώστε να προσδιοριστεί το Γαλιλαϊκό εννοιολογικό και πολιτισμικό περιεχόμενο της ερευνητικής διδακτικής ακολουθίας του απλού εκκρεμούς. Ο στόχος αυτός αναφέρεται στο πρώτο στοιχείο του μοντέλου ανάλυσης και σχεδιασμού της διδακτικής ακολουθίας και προσεγγίζεται στο κεφάλαιο 2.

(β) Να γίνει καταγραφή, ανάλυση και αξιολόγηση των παραστάσεων των μαθητών για την έννοια της περιόδου του απλού εκκρεμούς, έτσι ώστε να προσδιοριστεί το εννοιολογικό, μεθοδολογικό και πολιτισμικό περιεχόμενο της ερευνητικής διδακτικής ακολουθίας. Ο στόχος αυτός αναφέρεται στο δεύτερο στοιχείο του μοντέλου ανάλυσης και σχεδιασμού της διδακτικής ακολουθίας του απλού εκκρεμούς και προσεγγίζεται στο κεφάλαιο 3.

(γ) Να γίνει ανάλυση των καινοτομικών και εποικοδομητικών χαρακτηριστικών των αναλυτικών προγραμμάτων Φυσικής, καθώς και ανάλυση του τρέχοντος αναλυτικού προγράμματος διδασκαλίας στη Γ' Γυμνασίου του απλού εκκρεμούς, έτσι ώστε να προσδιοριστούν τα αντίστοιχα χαρακτηριστικά της προτεινόμενης διδακτικής ακολουθίας. Ο στόχος αυτός αναφέρεται στο τρίτο στοιχείο του μοντέλου ανάλυσης και σχεδιασμού της διδακτικής ακολουθίας του απλού εκκρεμούς και προσεγγίζεται στο κεφάλαιο 4.

Η ανάλυση της ιστορικής εξέλιξης της έννοιας της περιόδου, των νοητικών παραστάσεων των μαθητών, των γενικών χαρακτηριστικών των καινοτομικών και εποικοδομητικών αναλυτικών προγραμμάτων Φυσικής και των χαρακτηριστικών του ελληνικού αναλυτικού προγράμματος Φυσικής στην εκπαιδευτική βαθμίδα του Γυμνασίου μας επιτρέπει τη διατύπωση της γενικής υπόθεσης ότι *είναι δυνατή η συγκρότηση μιας διδακτικής ακολουθίας του απλού εκκρεμούς, η οποία διαφέρει ριζικά σε επίπεδο περιεχομένου από την ισχύουσα και στις τρεις συνιστώσες της επιστημονικής γνώσης (εννοιολογική, μεθοδολογική και πολιτισμική) για το απλό εκκρεμές*. Επομένως,

για το επίπεδο της σχεδίασης, ο ερευνητικός στόχος που διατυπώνεται είναι: να σχεδιαστεί και αιτιολογηθεί το περιεχόμενο μιας νέας ακολουθίας για τη διδασκαλία του απλού εκκρεμούς, στη βάση διδακτικών στόχων που είναι συμβατοί με τις αναλύσεις του επιπέδου ανάλυσης. Ο στόχος αυτός αναφέρεται και στα δύο στοιχεία του επιπέδου σχεδίασης και προσεγγίζεται στο κεφάλαιο 5 της διατριβής.

Τέλος, για το επίπεδο εφαρμογής και στα πλαίσια της γενικής υπόθεσης ότι *το περιεχόμενο της προτεινόμενης διδακτικής ακολουθίας του απλού εκκρεμούς είναι δυνατό να εφαρμοστεί και να επιφέρει τη γνωστική πρόοδο των μαθητών*, διατυπώνεται ο ερευνητικός στόχος: να αξιολογηθεί το περιεχόμενο της διδακτικής ακολουθίας του απλού εκκρεμούς με βασικό κριτήριο την εξέλιξη των νοητικών παραστάσεων των μαθητών, ώστε να διαπιστωθεί ο βαθμός επίδρασής της στη γνωστική πρόοδο των μαθητών και στις τρεις συνιστώσες της επιστημονικής γνώσης. Ο στόχος αυτός αναφέρεται στο στοιχείο της πειραματικής εφαρμογής και αξιολόγησης του επιπέδου εφαρμογής και προσεγγίζεται στο κεφάλαιο 7 της διατριβής.

ii. Τα όρια της διατριβής

Η διδασκαλία του απλού εκκρεμούς προβλέπεται στο ελληνικό αναλυτικό πρόγραμμα Φυσικής της Γ΄ τάξης του Γυμνασίου και της Β΄ τάξης του Λυκείου. Η διαπραγμάτευση του απλού εκκρεμούς και στις δύο περιπτώσεις, αφορά στην εννοιολογική και μεθοδολογική μελέτη της περιόδου, ως ένα παράδειγμα εφαρμογής της περιόδου των ταλαντώσεων: (α) στα πλαίσια του Γαλιλαϊκού πλαισίου, (β) στα πλαίσια του Νευτωνικού πλαισίου της δυναμικής και (γ) στα πλαίσια της μέτρησης της επιτάχυνσης της βαρύτητας.

Η παρούσα μελέτη περιορίζεται στη μελέτη του απλού εκκρεμούς στη Γ΄ τάξη του Γυμνασίου, στα πλαίσια του Γαλιλαϊκού πλαισίου ως του καταλληλότερου για να εξυπηρετήσει την καινοτομική-εποικοδομητική αντίληψη του αναλυτικού

προγράμματος. Ο περιορισμός αυτός έχει ως συνέπεια: τον περιορισμό (α) της επιστημολογικής ανάλυσης της κίνησης του απλού εκκρεμούς στα πλαίσια του Γαλιλαϊκού πλαισίου και (β) του πεδίου επισκόπησης και διερεύνησης των νοητικών παραστάσεων των μαθητών, το οποίο θα αφορά σε απόψεις που διατυπώνουν μαθητές κυρίως της αντίστοιχης ηλικίας (14-15 ετών), στην Ελλάδα ή στον κόσμο.

iii. Τα περιεχόμενα της διατριβής

Στο παρόν κεφάλαιο 1 (Το θεωρητικό και μεθοδολογικό πλαίσιο της έρευνας) σκιαγραφείται η αντίθεση μεταξύ της μεγάλης συνεισφοράς του απλού εκκρεμούς στη μελέτη φυσικών φαινομένων και της περιορισμένης αντιμετώπισής του στα πλαίσια της παραδοσιακής διδασκαλίας και τίθεται το κεντρικό πρόβλημα της διατριβής (ενότητα 1.1). Στη συνέχεια, αναπτύσσεται το γενικό μεθοδολογικό πρότυπο σχεδίασης καινοτομικού και εποικοδομητικού διδακτικού υλικού στο οποίο βασίζεται η έρευνά μας και περιγράφεται το ειδικό μεθοδολογικό πλαίσιο ανάπτυξης της προτεινόμενης διδακτικής ακολουθίας του απλού εκκρεμούς (ενότητα 1.2). Τέλος, παρουσιάζονται οι ερευνητικοί στόχοι της διατριβής, καθορίζονται τα όρια της διερεύνησης και παρατίθενται τα περιεχόμενά της (ενότητα 1.3).

Το κεφάλαιο 2 (Η γνώση αναφοράς: η εξέλιξη της έννοιας της περιόδου του απλού εκκρεμούς) αφορά στην ανάλυση της ιστορικής εξέλιξης της έννοιας της περιόδου του απλού εκκρεμούς, εντός του κοινωνικο-τεχνολογικού περιβάλλοντος που αυτή λαμβάνει χώρα, η οποία αναπτύσσεται σε τέσσερις φάσεις. Στην πρώτη φάση γίνεται περιγραφή των ερμηνειών της κίνησης του απλού εκκρεμούς στα πλαίσια της Αριστοτελικής θεώρησης, πριν την εμπλοκή του Galileo (ενότητα 2.1). Στη δεύτερη φάση αναπτύσσεται η εννοιολογική και μεθοδολογική προσέγγιση της σύνθεσης της έννοιας της περιόδου του απλού εκκρεμούς αρχικά από τον Galileo και στη συνέχεια από τον Huygens (ενότητα 2.2). Στην τρίτη φάση περιγράφεται η κοινωνικο-

πολιτισμική εμπλοκή του απλού εκκρεμούς στην επίλυση του προβλήματος του προσδιορισμού του γεωγραφικού μήκους ενός τόπου, μέσω της κατασκευής των μηχανικών ρολογιών εκκρεμούς (ενότητα 2.3). Τέλος, στην τέταρτη φάση ολοκληρώνεται η θεωρητική προσέγγιση της περιόδου του απλού εκκρεμούς στη βάση των παρατηρήσεων επί της λειτουργίας των ρολογιών εκκρεμούς και τίγονται οι επιπτώσεις στην ανάπτυξη της επιστημονικής σκέψης της εποχής (ενότητα 2.3).

Στο κεφάλαιο 3 (Βιωματική γνώση: οι νοητικές παραστάσεις των μαθητών για το απλό εκκρεμές) επιχειρείται η διασαφήνιση των νοητικών παραστάσεων των μαθητών, μέσω δύο συμπληρωματικών τεχνικών. Η πρώτη αναφέρεται στη βιβλιογραφική επισκόπηση των νοητικών παραστάσεων των μαθητών για το απλό εκκρεμές, στα πλαίσια των ελληνικής και διεθνούς βιβλιογραφίας (ενότητα 3.1). Η δεύτερη αφορά στα δεδομένα, τις αναλύσεις και τα συμπεράσματα σχετικής εμπειρικής έρευνας, δείγματος 425 Ελλήνων μαθητών της Γ΄ Γυμνασίου, πέντε (5) διαφορετικών Γυμνασίων.

Στο κεφάλαιο 4 (Ο διδακτικός μετασχηματισμός της επιστημονικής γνώσης σε σχολική γνώση: τα καινοτομικά και εποικοδομητικά χαρακτηριστικά της διδακτικής ακολουθίας) επιχειρείται η διασαφήνιση των καινοτομικών και εποικοδομητικών χαρακτηριστικών του προτεινόμενου προγράμματος διδασκαλίας του απλού εκκρεμούς. Η ενότητα 4.1 αφιερώνεται στη μελέτη των κύριων χαρακτηριστικών τριών αντιλήψεων για τα αναλυτικά προγράμματα Φυσικών Επιστημών (παραδοσιακή, καινοτομική και εποικοδομητική αντίληψη). Στη συνέχεια αναλύονται τα τυπικά χαρακτηριστικά του τρέχοντος ελληνικού αναλυτικού προγράμματος Φυσικών Επιστημών του Γυμνασίου (ενότητα 4.2).

Το κεφάλαιο 5 (Η διδακτική ακολουθία του απλού εκκρεμούς) αφορά στην ανάλυση και περιγραφή της προτεινόμενης ακολουθίας για τη διδασκαλία του απλού

εκκρεμούς. Στην ενότητα 5.1 γίνεται η συζήτηση των διδακτικών στόχων της ακολουθίας, στη βάση των συμπερασμάτων του επιπέδου ανάλυσης της έρευνας. Στη συνέχεια, αναλύεται το περιεχόμενο της διδακτικής ακολουθίας του απλού εκκρεμούς, τόσο ως προς τις δραστηριότητες που λαμβάνουν χώρα, όσο και ως προς την επιλογή του απαιτούμενου διδακτικού υλικού (ενότητα 5.2). Τέλος στην ενότητα 5.3 γίνεται η παρουσίαση και αναλυτική περιγραφή των τεσσάρων διδακτικών ενοτήτων με τις οποίες υλοποιείται η διδακτική ακολουθία του απλού εκκρεμούς.

Το κεφάλαιο 6 (Η μεθοδολογική στρατηγική της εφαρμογής) αναφέρεται στα μεθοδολογικά χαρακτηριστικά της πειραματικής εφαρμογής της προτεινόμενης διδακτικής ακολουθίας του εκκρεμούς και στην αξιολόγηση των δεδομένων. Στην ενότητα 6.1 γίνεται η ανάλυση της μεθόδου της πειραματικής έρευνας, προσδιορίζονται η ανεξάρτητη και η εξαρτημένη μεταβλητή, πραγματοποιείται η ανάλυση του δείγματος και των συνθηκών εφαρμογής και περιγράφονται οι ακολουθούμενες ερευνητικές τεχνικές και τα εργαλεία τους. Στη συνέχεια, η ενότητα 6.2 περιλαμβάνει την περιγραφή των τεχνικών ανάλυσης και αξιολόγησης των δεδομένων και την παρουσίαση των στατιστικών εργαλείων ανάλυσης των δεδομένων της έρευνας.

Στο κεφάλαιο 7 (Η γνωστική πρόοδος των μαθητών) διερευνάται η γνωστική πρόοδος των μαθητών, όπως αυτή αποτιμάται από την εξέλιξη των νοητικών παραστάσεων των μαθητών, ως αποτέλεσμα της εμπλοκής τους στην υλοποίηση της διδακτικής ακολουθίας του απλού εκκρεμούς. Αρχικά, στην ενότητα 7.1 γίνεται η παρουσίαση των απαντήσεων των μαθητών του δείγματος στις πολιτισμικές, εννοιολογικές και μεθοδολογικές ερωτήσεις ερωτηματολογίου, που συμπληρώνεται πριν και μετά την εφαρμογή της προτεινόμενης διδακτικής ακολουθίας, καθώς και η σύγκρισή τους ανά ερώτηση. Στη συνέχεια, πραγματοποιείται η ανάλυση και σύγκριση

των νοητικών παραστάσεων των μαθητών ανά ενότητα, μετά από σχετική κατηγοριοποίηση (ενότητα 7.2). Η διερεύνηση των συσχετίσεων των απαντήσεων ή των νοητικών παραστάσεων των μαθητών που έχουν προκύψει από τις δύο προηγούμενες αναλύσεις επιχειρείται στην ενότητα 7.3.

Στο ακροτελεύτιο κεφάλαιο 8 (Συμπεράσματα) γίνεται η συναγωγή των βασικών συμπερασμάτων της έρευνας. Τα συμπεράσματα που σχετίζονται με τους ερευνητικούς στόχους της ανάλυσης και του σχεδιασμού της διδακτικής ακολουθίας, παρατίθενται στην ενότητα 8.1. Η ενότητα 8.2 αναφέρεται στα συμπεράσματα που προκύπτουν από την πειραματική εφαρμογή της ακολουθίας. Τέλος, στην τελευταία ενότητα (ενότητα 8.3) επισημαίνονται οι επιπτώσεις αυτών των συμπερασμάτων στην διδασκαλία και στην επιμόρφωση των εκπαιδευτικών και δίνονται οι δυνατές κατευθύνσεις επέκτασης της έρευνάς μας.

ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

Το κεντρικό ζήτημα της παρούσας διατριβής είναι η σχεδίαση και αξιολόγηση διδακτικών ενοτήτων για την κίνηση του απλού εκκρεμούς στα πλαίσια της καινοτομικής και εποικοδομητικής αντίληψης του αναλυτικού προγράμματος Φυσικών Επιστημών. Το πρόβλημα της σχεδίασης μιας τέτοιας ακολουθίας προκύπτει από την αντίφαση της περιορισμένης και αδιάφορης προσέγγισης του απλού εκκρεμούς στα πλαίσια της παραδοσιακής διδασκαλίας και του πλούσιου εννοιολογικού, μεθοδολογικού και πολιτισμικού περιεχομένου του, το οποίο συστηματικά αγνοείται σε τέτοιου τύπου προσεγγίσεις.

Το μεθοδολογικό πρότυπο ανάλυσης, σχεδίασης και εφαρμογής της υπό παρουσίαση διδακτικής ακολουθίας του απλού εκκρεμούς βασίζεται στο έγκυρο πλαίσιο ανάλυσης και σχεδιασμού του εννοιολογικού περιεχομένου διδακτικού υλικού

Κολιόπουλου (2006) και αναπτύσσεται σε τρία επίπεδα: (α) στο επίπεδο της ανάλυσης, που απαρτίζεται από τρία στοιχεία, (β) στο επίπεδο του σχεδιασμού, που αποτελείται από δύο στοιχεία και (γ) στο επίπεδο της εφαρμογής. Οι ερευνητικοί στόχοι της διατριβής αφορούν και στα τρία επίπεδα του προτύπου.

Κεφάλαιο 2^ο

**Η γνώση αναφοράς: η εξέλιξη της έννοιας της περιόδου
του απλού εκκρεμούς**

Ένα από τα κεντρικότερα ζητήματα που απασχολεί τους στοχαστές του Μεσαίωνα - εποχής που κατά κύριο λόγο συντελείται η «ανακάλυψη» της αρχαίας επιστήμης μέσω της γραμματολογικής της μετάδοσης από λαούς της Ανατολής (Αραβες, Βυζαντινούς) στη Δύση – είναι το ζήτημα της ερμηνείας της επίγειας κίνησης. Η μακρά συζήτηση και αντιπαράθεση αφορά κυρίως στην υποστήριξη και διάσωση των Αριστοτελικών αντιλήψεων περί του αιτίου της βίαιης κίνησης. Σύμφωνα με την Αριστοτελική θεώρηση, δύο είναι τα είδη κινήσεων: οι φυσικές, στις οποίες το κινούν αίτιο αποδίδεται στη φύση του σώματος και οι βίαιες, οι οποίες είναι το αποτέλεσμα της επίδρασης άλλων σωμάτων. Η ύπαρξη της βίαιης κίνησης προϋποθέτει την ύπαρξη αιτίου που τη συντηρεί, ενώ η απουσία αιτίου συνεπάγεται αυτόματα την ακινησία του σώματος (Butterfield, 1998). Η ταυτότητα του αιτίου μιας κίνησης δεν είναι πάντα εύκολο να προσδιοριστεί, όπως στη περίπτωση της βολής ενός σώματος, όπου μετά τη ρίψη, η συντήρηση της κίνησης δεν μπορεί να αποδοθεί σε κάποιο σώμα. Η απουσία κινούντος αιτίου, σε αυτή τη περίπτωση, οδηγεί τον Αριστοτέλη στη διατύπωση της θεωρίας της «αντιπερίστασης» (antiperistasis theory), σύμφωνα με την οποία, η κίνηση του σώματος μετά τη βολή συντηρείται από τη δύναμη που του ασκεί ο αέρας που το περιβάλλει. Έτσι το κινούν αίτιο, στην περίπτωση της βολής μιας πέτρας, αποδίδεται κατ' αρχήν στο χέρι που ρίπτει την πέτρα και κινεί τον αέρα και στη συνέχεια στον κινούμενο αέρα, που με τη σειρά του ασκεί στην πέτρα την απαιτούμενη δύναμη για να διατηρηθεί η κίνησή της (Matthews, 2000).

Η θεωρία της «αντιπερίστασης» αποτελεί την «αχίλλειο πτέρνα» της Αριστοτελικής θεώρησης για την κίνηση. Ήδη από τον 6ο μ.Χ. αιώνα ο Αλεξανδρινός χριστιανός φιλόσοφος John Philoponus, επισημαίνει τα φανερά προβλήματα που παρουσιάζει η ερμηνεία των βολών με τη θεωρία της «αντιπερίστασης». Παρότι γενικά δέχεται την ορθότητα της Αριστοτελικής θεώρησης, εισάγει την ιδέα ότι ο ρίπτων

μεταδίδει τη δύναμη (*vis derelicta*) που χρειάζεται η κίνηση απ' ευθείας στο ίδιο το βαλλόμενο σώμα και όχι στο μέσο μέσα στο οποίο κινείται, στον αέρα, όπως υποστήριζε ο Αριστοτέλης.

Η ιδέα της άυλης κινητήριας δύναμης (*virtus impressa*) που δίνεται άμεσα στο βαλλόμενο σώμα, παρά τις διαφορές κατά καιρούς ερμηνείες, μεταδίδεται στη Δύση μέσω των Αράβων και επηρεάζει σημαντικά τη σκέψη των Γάλλων και Άγγλων φιλοσόφων του 14ου αιώνα. Η μεσαιωνική θεωρία της ορμής (*impetus theory*) προκύπτει στην προσπάθεια των τελευταίων να απαντήσουν σε ερωτήματα σχετικά με τα αίτια μείωσης αυτής της δύναμης. Οι δύο βασικές αντιμαχόμενες ερμηνείες, με κύριους εκπροσώπους τους Franciscus de Marchia και Jean Buridan, υποστηρίζουν, η μεν πρώτη την εξάντληση της μεταδιδόμενης στο σώμα δύναμης ακόμη και στην περίπτωση της κίνησης στο κενό, η δε δεύτερη, εισάγοντας για πρώτη φορά τον όρο της ορμής (*impetus*), την εξάντληση της ορμής του βαλλομένου σώματος μόνο στην περίπτωση κίνησης σε μέσο που προβάλλει αντίσταση και επομένως την επ' άπειρον κίνησή του στην περίπτωση κίνησης στο κενό. Η συμβολή του Buridan στη ριζικά διαφορετική θεώρηση της ορμής, από κάτι που εκφυλίζεται φυσικά, σε κάτι που ελαττώνεται μόνο όταν το σώμα συναντά αντιστάσεις, από πολλούς θεωρείται προάγγελος της Νευτωνικής έννοιας της αδράνειας (*inertia*) (Matthews, 2000). Επιπλέον ο Thomas Kuhn (Kuhn, 1981) θεωρεί τη μεσαιωνική θεωρία της ορμής (*impetus*), ως «αλλαγή παραδείγματος» από τον Αριστοτελισμό στη σύγχρονη επιστήμη.

Στη συνέχεια της εργασίας μας και προκειμένου να δοθεί μια ολοκληρωμένη εικόνα της εξέλιξης της σύνθεσης της έννοιας της περιόδου του απλού εκκρεμούς, παρουσιάζονται τα ευρήματα από τέσσερις διαφορετικές φάσεις ανάπτυξης της ιστορίας του εκκρεμούς, στο πλαίσιο της γενικότερης συζήτησης και αντιπαράθεσης

για την κίνηση που παρατέθηκε παραπάνω. Η πρώτη εστιάζεται στις προσπάθειες κατανόησης και ερμηνείας της κίνησης του εκκρεμούς, πριν τη μελέτη του από τον Galileo, από σημαντικούς διανοητές όπως ο Nicole Oresme και ο Leonardo da Vinci. Στη δεύτερη προσεγγίζεται η εννοιολογική και μεθοδολογική σύνθεση της έννοιας της περιόδου του απλού εκκρεμούς, κυρίως από τον Galileo και τον Huygens. Στην τρίτη αναδεικνύεται η κοινωνικο-πολιτισμική εμπλοκή του απλού εκκρεμούς στην επίλυση του προβλήματος του προσδιορισμού του γεωγραφικού μήκους ενός τόπου, μέσω της κατασκευής των μηχανικών ρολογιών εκκρεμούς. Τέλος, στην τέταρτη ολοκληρώνεται η θεωρητική προσέγγιση της περιόδου του απλού εκκρεμούς στη βάση των παρατηρήσεων επί της λειτουργίας των ρολογιών εκκρεμούς και τίγονται οι επιπτώσεις στην ανάπτυξη της επιστημονικής σκέψης της εποχής.

2.1 Η μελέτη του απλού εκκρεμούς στο Μεσαίωνα

Η Μεσαιωνική ενασχόληση της κίνησης του απλού εκκρεμούς λαμβάνει χώρα στα πλαίσια της συζήτησης για την ορμή (impetus). Η πρώτη αναφορά σε αυτή γίνεται από τον Nicole Oresme στο βιβλίο του «On the Book of the Heavens and the World of Aristotle», το 1377 μ.Χ., όπου αναπτύσσεται το νοητικό πείραμα ενός σώματος που ρίχνεται σε ένα πηγάδι, το οποίο διαπερνά τη Γη από το κέντρο της. Η κίνηση του σώματος παρομοιάζεται με την κίνηση ενός εκκρεμούς, το οποίο αφού αφηθεί από ένα ορισμένο πλάτος, κινείται μπρος - πίσω αρκετές φορές μέχρι να σταματήσει στην κατώτερη θέση της τροχιάς του. Παρομοίως υποστηρίζεται ότι, στην περίπτωση του σώματος που ρίπτεται σε ένα τέτοιο πηγάδι, η πτώση του σώματος δε θα σταματήσει στο κέντρο της Γης, αλλά εξαιτίας της ορμής η κίνησή του θα συνεχιστεί ανοδικά και ξανά πίσω, όπως ακριβώς συμβαίνει στο εκκρεμές μετά το πέρασμα από την κατώτερη θέση της κίνησής του. Η ερμηνεία της τελικής ακινησίας του σώματος στο κέντρο της

Γης σχετίζεται με την υποστηριζόμενη από τον Marchia άποψη, ότι το σώμα τελικά σταματά γιατί η αρχική ορμή του ξοδεύεται κατά τη διάρκεια της κίνησης (Matthews, 2000 & 2007).

Στα τέλη του 15ου αιώνα, η ανοδική κίνηση του απλού εκκρεμούς χαρακτηρίζεται, από τον Leonardo da Vinci, ως «φυσική» (natural), ενώ η επακόλουθής της, καθοδική, ως «αθέλητη» (accidental) και επισημαίνεται η αύξηση της ταχύτητας κατά τη διάρκεια της «φυσικής» κίνησης και η μείωσή της κατά τη διάρκεια της «αθέλητης». Επίσης, γίνεται αναφορά στην ισότητα της μείωσης που υφίσταται η κίνηση κατά τη διάρκεια τόσο της «φυσικής» όσο και της «αθέλητης» φάσης της. Τέλος, άξιον αναφοράς είναι ότι, ενώ σε σχέδιο του 1490 μ.Χ. το απλό εκκρεμές φαίνεται να συνδυάζεται με παλινδρομούμενη αντλία και με κάτι που μοιάζει με ρολόι, δε φαίνεται να γίνεται αντιληπτή η πιθανή σχέση του εκκρεμούς με το μηχανισμό διαφυγής των μηχανικών ρολογιών, ζήτημα για το οποίο διατυπώθηκαν από τον da Vinci λεπτομερείς προτάσεις (Matthews, 2000).

Συμπερασματικά, η κίνηση του εκκρεμούς πριν τη μελέτη της από τον Galileo, δε φαίνεται να αναγνωρίστηκε ως ισόχρονη, ούτε να μελετήθηκε ως προς τους παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται η περίοδός της. Η ερμηνεία της κίνησής του όμως από τους Marchia και Oresme από τη μια πλευρά και τον Buridan από την άλλη, έχει ασκήσει ισχυρή επίδραση στη Γαλιλαϊκή σκέψη. Αρχικά, την περίοδο που Galileo είναι ακόμη φοιτητής, φαίνεται να ταυτίζεται με την ερμηνεία των Marchia και Oresme, που υποστηρίζουν ότι η ορμή ξοδεύεται για να συντηρηθεί η κίνηση. Στη συνέχεια, όμως, απορρίπτει τη θεωρία της ορμής, και συντάσσεται με τις απόψεις του Buridan, που υποστηρίζει ότι η ορμή δεν εξασθενεί από μόνη της, αλλά εξ' αιτίας των τριβών που το κινούμενο εκκρεμές πρέπει να υπερπηδήσει.

2.2 Η μελέτη της περιόδου του απλού εκκρεμούς: Η προσέγγιση του Galileo και οι τροποποιήσεις του Huygens

Οι ιδιότητες του απλού εκκρεμούς και ειδικότερα η ανεξαρτησία της περιόδου του από το πλάτος της αιώρησης, φαίνεται να υπήρξε αντικείμενο μελέτης από την εποχή που ο Galileo ήταν σπουδαστής Ιατρικής στην Pisa (1582 μΧ). Η πρώτη βεβαιωμένη χρήση του απλού εκκρεμούς αφορά στην κατασκευή και χρήση του σφυγμομέτρου (pulsilogium), ενός απλού διαγνωστικού οργάνου μέτρησης των καρδιακών παλμών. Το σφυγμόμετρο του Galileo είναι ένα απλό εκκρεμές κρεμασμένο από βαθμολογημένη σανίδα, του οποίου το μήκος μπορεί να μεταβάλλεται με μετακίνηση του δακτύλου πάνω στη βαθμολογημένη σανίδα, έτσι που να επιτυγχάνεται συγχρονισμός των αιωρήσεων με το σφυγμό του ασθενούς. Η αντιστοίχιση των καρδιακών παλμών με το μήκος του εκκρεμούς παρείχε στους ιατρούς τη δυνατότητα της κοινής μέτρησης και αναφοράς (Koestler, 1979; Matthews, 2000). Θεωρητικά, η κατασκευή του σφυγμομέτρου προϋποθέτει τουλάχιστον τη γνώση του Γαλιλαϊκού «νόμου της ισόχρονης κίνησης».

Ο Galileo, σε διαφορετικές φάσεις της επιστημονικής του εξέλιξης, ισχυρίστηκε ότι στην κίνηση του απλού εκκρεμούς ισχύουν οι παρακάτω «νόμοι» (Matthews, 2007):

1. η περίοδος είναι συνάρτηση της τετραγωνικής ρίζας του μήκους του (Νόμος του μήκους)
2. η περίοδος είναι ανεξάρτητη του πλάτους της αιώρησης (Νόμος της ανεξαρτησίας του πλάτους)
3. η περίοδος είναι ανεξάρτητη από το βάρος του (Νόμος της ανεξαρτησίας του βάρους)
4. για δεδομένο μήκος, η περίοδος οποιουδήποτε εκκρεμούς είναι η ίδια (Νόμος της ισόχρονης κίνησης)

Ο «νόμος» του μήκους εμφανίζεται σε όλο το έργο του Galileo. Στα συγγράμματα της πρώιμης περιόδου («On Motion», 1590) η διατύπωση αφορά στην αύξηση της συχνότητας ως συνέπεια της μείωσης του μήκους του εκκρεμούς, ενώ στην ώριμη περίοδο («Discourse Concerning Two New Sciences», 1638), παρότι δεν διατυπώνεται ρητά η γνωστή σχέση αναλογίας της περιόδου του απλού εκκρεμούς με την τετραγωνική ρίζα του μήκους του, συζητείται η περίπτωση εκκρεμούς που ταλαντώνεται με διπλάσια περίοδο από ένα άλλο, ως αποτέλεσμα του γεγονότος ότι έχει μήκος τέσσερις φορές πιο μακρύ, ενώ στην περίπτωση που το μήκος του γίνει εννέα φορές πιο μακρύ, αυτό το εκκρεμές θα κάνει τρεις ταλαντώσεις κατά τη διάρκεια μιας του άλλου (Crombie, 1994; Drake, 1996).

Ο «νόμος» της ανεξαρτησίας του πλάτους, που επίσης διατρέχει όλο το έργο του Galileo, βασίζεται στο «νόμο των χορδών», που υποστηρίζει ότι σε έναν κύκλο, ο χρόνος καθόδου ενός σώματος που πέφτει ελεύθερα κατά μήκος οποιασδήποτε χορδής που τελειώνει στο ναδίρ του κύκλου είναι ίδιος, ανεξάρτητα από το μήκος της χορδής. Ο «νόμος των χορδών» οδηγεί τον Galileo στη διατύπωση του «νόμου των τόξων», που ισχυρίζεται ότι ο χρόνος καθόδου ενός σώματος που πέφτει ελεύθερα κατά μήκος οποιουδήποτε τόξου που τελειώνει στο ναδίρ του κύκλου είναι ίδιος, ανεξάρτητα από το μήκος του τόξου. Από το «νόμο των τόξων» λείπει η μαθηματική (γεωμετρική) απόδειξη. Ο «νόμος» της ανεξαρτησίας του πλάτους υποστηρίζεται σαφώς στην αλληλογραφία του Galileo με τον προστάτη του Guidobaldo del Monte. Σε γράμμα του (1602) με το οποίο επιχειρεί να αντικρούσει τις αντιρρήσεις του del Monte σχετικά με τη μαθηματική ανάλυση της κίνησης του απλού εκκρεμούς και την πειραματική επιβεβαίωση των «νόμων» του, υποστηρίζει ότι μετά από 100 αιωρήσεις δύο εκκρεμών που το ένα διαγράφει αιωρήσεις μεγάλου τόξου και το άλλο μικρού, οι χρόνοι αιώρησης δεν διαφέρουν (Drake, 1990). Ο «νόμος» του μήκους μαζί με το «νόμο» της

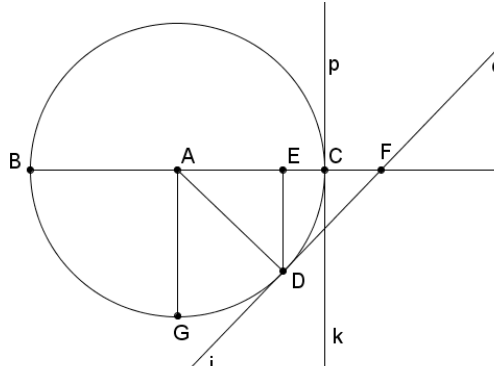
ανεξαρτησίας του πλάτους ισοδυναμούν με το Γαλιλαϊκό «νόμο» της ισόχρονης κίνησης.

Σχετικά με το «νόμο» της ανεξαρτησίας του βάρους, στο σύγγραμμα «Discourse Concerning Two New Sciences» περιγράφεται ένα πείραμα στο οποίο γίνεται χρήση δύο ισομηκών εκκρεμών, το ένα από φελλό και το άλλο από μολύβι, του οποίου η συχνότητα παραμένει σταθερή, μετά από πολλές αιωρήσεις. Αναφέρεται, επίσης, η συγκριτικά γρηγορότερη μείωση του πλάτους του εκκρεμούς από φελλό, η οποία αποδίδεται στις επιδράσεις των αντιστάσεων που εμποδίζουν την κίνηση του σχεδόν αβαρούς εκκρεμούς από φελλό, αλλά δεν έχουν σημαντική επίδραση στη κίνηση του βαρύτερου, μολυβένιου εκκρεμούς. Στο ίδιο σύγγραμμα, αναφέρεται η κίνηση ενός μολυβένιου εκκρεμούς, το οποίο με το πέρασμα του χρόνου μειώνει το πλάτος της αιώρησής του και τελικά σταματά. Η εξήγηση που δίνεται είναι ότι, όσο διαρκεί η κίνηση του εκκρεμούς, η διάρκεια της αιώρησής του παραμένει η ίδια, αφού το διαγραφόμενο τόξο γίνεται όλο και πιο μικρό (Matthews, 2000; 2005 & 2007).

Η διαδεδομένη στα σχολικά εγχειρίδια άποψη ότι ο Galileo έφτασε στην ανακάλυψη των ιδιοτήτων του εκκρεμούς μέσω της παρατήρησης του πολυελαίου της Μητρόπολης της Pisa, ελέγχεται ως ανακριβής, καθ' όσον ο πολυέλαιος τοποθετήθηκε αρκετά χρόνια αργότερα από την κατασκευή του σφυγμομέτρου (Koestler, 1979). Η Γαλιλαϊκή μελέτη της κίνησης του απλού εκκρεμούς συντελείται στα πλαίσια της μελέτης της ελεύθερης πτώσης, ζήτημα με το οποίο ασχολούνται όλοι οι Αριστοτελικοί φυσικοί φιλόσοφοι της εποχής. Σε αντίθεση, όμως, με τους άλλους φυσικούς φιλοσόφους, ο Galileo αντιλαμβάνεται πρώτος τη δυνατότητα της κοινής γεωμετρικής απεικόνισης των διαφορετικών, στο φυσικό κόσμο, κινήσεων. Η επαναστατική καινοτομία εισαγωγής των μαθηματικών στη μελέτη των φυσικών φαινομένων, από τον Galileo, ανάγεται στη βαθύτατη επιρροή που του ασκεί το έργο του Αρχιμήδη, το

οποίο βασίζει στην Ευκλείδεια Γεωμετρία την επίλυση πρακτικών προβλημάτων μαθηματικών, μηχανικής και απλών μηχανών (Matthews, 2000).

Η μελέτη της ελεύθερης πτώσης, όμως, εκείνη την εποχή είναι τεχνικά ακατόρθωτη. Η ανυπαρξία αξιόπιστων οργάνων μέτρησης, τόσο του χρόνου, όσο και των αποστάσεων, κάνει ανέφικτο αφ' ενός τον ορισμό κοινά αποδεκτών μονάδων χρόνου (ο Galileo χρησιμοποιεί την αυθαίρετη μονάδα χρόνου *tempo*) και μήκους (χρησιμοποιεί την επίσης αυθαίρετη μονάδα μήκους *punto*) και αφ' ετέρου τον ακριβή προσδιορισμό τους. Η αδυναμία μελέτης της ταχύτατης ελεύθερης πτώσης οδηγεί τον Galileo στη μελέτη των δύο κινήσεων που εμπεριέχουν την ελεύθερη πτώση και που είναι τεχνικά δυνατό να μελετηθούν: της κίνησης σε κεκλιμένο επίπεδο και της κίνησης του απλού εκκρεμούς. Η αρχική μελέτη σχετίζεται με την κίνηση σε κεκλιμένο επίπεδο και συγκεκριμένα στη διερεύνηση της σχέσης μεταξύ της «δύναμης» (προσπάθειας) που απαιτείται για να συρθεί ένα σώμα ανοδικά κατά μήκος ενός κεκλιμένου επιπέδου και της κλίσης του επιπέδου. Ο Galileo υποστηρίζει ότι η «δύναμη» με την οποία το σώμα κινείται προς τα κάτω, είναι ίση με τη «δύναμη» που χρειάζεται για να ανυψωθεί (Machamer & Hepburn, 2005; Matthews, 2007). Η γεωμετρική μελέτη των ιδιοτήτων του εκκρεμούς προκύπτει στην προσπάθεια απάντησης ερωτημάτων σχετικών με τις διαφορές των δυνάμεων που απαιτούνται κατά τη μετακίνηση σώματος που σύρεται ανοδικά σε κεκλιμένα επίπεδα διαφορετικών κλίσεων. Η γεωμετρική προσέγγιση του ερωτήματος επιτρέπει τη συσχέτιση της διαφοράς των δυνάμεων όχι με τις αποστάσεις που διαγράφει το σώμα σε κάθε κεκλιμένο επίπεδο, αλλά με την κατακόρυφη μετατόπισή τους. Με βάση τη θεωρία των ροπών του Αρχιμήδη, απεικονίζει (σχήμα 2.1) μια ζυγαριά BC που ισορροπεί γύρω από ένα κέντρο A, με δύο ίσα βάρη κρεμασμένα από τα σημεία B και C (Matthews, 2000; Nagarjuna, 2005).



Σχήμα 2.1: Σχέδιο βασισμένο στην κατασκευή του Galileo το 1600

Ο Galileo, επηρεασμένος από την Αριστοτελική αντίληψη περί της αναλογίας μεταξύ της ασκούμενης δύναμης με την ταχύτητα ενός σώματος, θεωρεί ότι στην περίπτωση της περιστροφής του ευθύγραμμου τμήματος AC, γύρω από το A με κατεύθυνση προς το G, η ταχύτητα του σώματος στο σημείο C θα είναι ανάλογη του «βάρους κατά μήκος της ευθείας pk», ενώ η ταχύτητά του στη θέση D θα είναι ανάλογη του «βάρους κατά μήκος της ευθείας ci». Για τα βάρη W κατά μήκος των δύο ευθειών υποστηρίζει ότι ισχύει ο λόγος $W_{(pk)}/W_{(ci)}=(AC)/AE)=(FD)/(DE)$ και επομένως καταλήγει στο συμπέρασμα ότι ένα σώμα μπορεί να συρθεί ανοδικά στο κεκλιμένο επίπεδο ci με τόσο λιγότερη δύναμη, σε σχέση με την αντίστοιχη κίνηση στο κατακόρυφο kr, όσο μικρότερη είναι η κατακόρυφη απόσταση ανόδου (DE) σε σχέση με την κεκλιμένη (DF) (Matthews, 2000; Machamer & Hepburn, 2005).

Το σχήμα 2.1 υπονοεί τη μελέτη του απλού εκκρεμούς, μελέτη η οποία γίνεται σαφώς στην αδημοσίευτη εργασία του Galileo «On Mechanics». Εκεί διατυπώνεται ο ισχυρισμός ότι η κίνηση ενός σώματος που κρέμεται από το σημείο A, είναι παρόμοια με την κυκλική κίνηση που διαγράφει το ίδιο σώμα όταν κινείται χωρίς τριβές κατά μήκος της κυκλικής περιφέρειας (CDGB) και επομένως μπορεί να θεωρηθεί ως μια ακολουθία διαδοχικών, απειροστών κινήσεων στα κεκλιμένα επίπεδα που εφάπτονται

της περιφέρειας (CDG). Με βάση το «νόμο» των χορδών, όμως, ο χρόνος καθόδου ενός ελεύθερα κινούμενου σώματος κατά μήκος μιας χορδής, είναι ίδιος για όλες τις χορδές, αρκεί αυτές να τελειώνουν στο ναδίρ του κύκλου. Ο μαθηματικά αναπόδεικτος ισχυρισμός περί της ισότητας του χρόνου καθόδου κατά μήκος τόξων που τελειώνουν στο ναδίρ («νόμος» των τόξων), οδηγεί στο συμπέρασμα του ισόχρονου της κίνησης του απλού εκκρεμούς (Matthews, 2000; Drake, 1996).

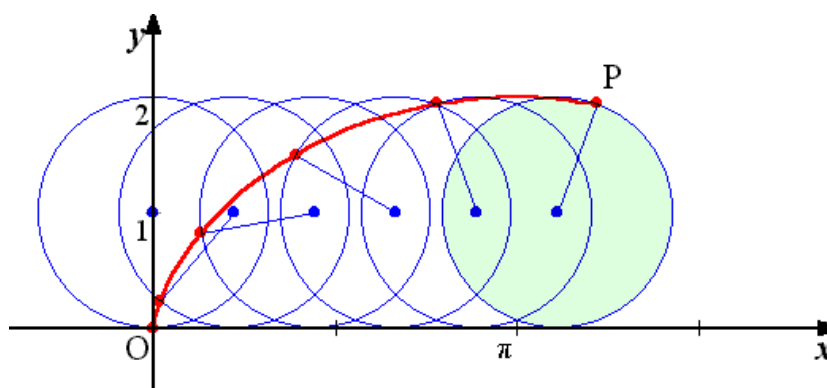
Η επίδραση των πειραματικών δεδομένων στο έργο του Galileo είναι σημαντική, αλλά έπεται της μαθηματικής μελέτης η οποία παρέχει το μοντέλο μελέτης των πραγματικών κινήσεων. Η στήριξη της ισχύος του ισόχρονου της κίνησης του απλού εκκρεμούς, επιχειρείται από τον Galileo στο εργαστηριακό πεδίο το 1604 (Drake, 1990). Η πειραματική διάταξη που χρησιμοποιεί, αποτελείται από ένα απλό εκκρεμές μήκους 1740 *punto* (1,635 m) το οποίο αφήνεται να πέσει σε ένα κατακόρυφο σανίδι από 90⁰ και 10⁰. Η μέτρηση της χρονικής διάρκειας από τη στιγμή της απελευθέρωσης του εκκρεμούς μέχρι τη στιγμή της πρόσκρουσης στο κατακόρυφο σανίδι γίνεται με τη χρήση της αυθαίρετης μονάδας χρόνου *tempo* και πραγματοποιείται με την εξής τεχνική: πριν τη μέτρηση, το νερό ενός δοχείου που συλλέγεται από μια δεξαμενή με σταθερό ρυθμό 3 ουγγιές/δευτερόλεπτο (fluid ounce/second), ζυγίζεται. Η ζύγιση γίνεται σε κόκκους (grains), όπου 1 ουγγιά (fluid ounce) ισοδυναμεί με 480 κόκκους (grains). Στη συνέχεια, με το ίδιας οπής δοχείο, συλλέγεται νερό του οποίου η ροή ελευθερώνεται τη στιγμή απελευθέρωσης του εκκρεμούς και σταματά τη στιγμή που ακούγεται ο χτύπος του εκκρεμούς στη σανίδα. Το βάρος του νερού που συλλέγεται αποτελεί το μέτρο της χρονικής διάρκειας του φαινομένου, αφού ο λόγος των βαρών του νερού που συλλέγονται με τον ίδιο ρυθμό, αντιστοιχεί στο λόγο των χρονικών διαστημάτων συλλογής. Έτσι ο σχετικός χρόνος διάρκειας του ¼ της περιόδου του εκκρεμούς προκύπτει από το λόγο του βάρους του νερού που έχει συλλεχθεί στο

δοχείο, σε σχέση με το βάρος των 16 κόκκων (grains) νερού, που αποτελεί την αυθαίρετη χρονική μονάδα *tempo*. Ο Galileo υπολόγισε 1043 κόκκους νερού για το πλάτος των 90⁰ και 945 κόκκους για το πλάτος των 10⁰ (Drake, 1990). Η διαφορά χρόνου των δύο αιωρήσεων, με την παραπάνω τεχνική, παρουσιάζει μια μικρή απόκλιση της τάξης του 9,4%, απόκλιση την οποία ο Galileo απέδωσε στα εμπόδια (impediments) της κίνησης του εκκρεμούς και όχι στην ίδια την κίνηση που γίνεται σε κυκλικό τόξο. Η απόκλιση με σύγχρονες μεθόδους, για ίδια εκκρεμή, ίδιου πλάτους αιώρησης, προσδιορίζεται στο 10%, τιμή πολύ κοντινή σε αυτήν του Galileo (Matthews, 2000).

Η αμφισβήτηση των Γαλιλαϊκών «νόμων» του εκκρεμούς ήταν ισχυρή, παρά τη γρήγορη και ευρεία αποδοχή της νέας γεωμετρικής προσέγγισης των κινήσεων. Οι αντιρρήσεις στηρίζονται στη βασική Αριστοτελική θεώρηση ότι, στην κατανόηση του φυσικού κόσμου, η παρατήρηση μέσω των αισθήσεων είναι πιο σημαντική από άλλες αποδείξεις. Η εμπειριστική άποψη απορρίπτει τους Γαλιλαϊκούς «νόμους» με το ισχυρό επιχείρημα ότι αν ισχύουν, η κίνηση του εκκρεμούς θα είναι αέναη, γεγονός που δεν παρατηρείται. Ο «νόμος» του ισόχρονου παραβιάζεται, αφού η χρονική διάρκεια της τελευταίας αιώρησης δεν είναι ίδια με αυτήν της πρώτης. Επιπλέον, προσεκτικές παρατηρήσεις δείχνουν ότι οι περίοδοι εκκρεμούς από φελλό και ενός, ίσου μήκους, από μολύβι παρουσιάζουν μια μικρή διαφορά, όπως επίσης και οι διάρκειες εκκρεμών με διαφορετικά πλάτη αιωρήσεων. Η αμφισβήτηση των «νόμων» οδηγεί τον Marin Mersenne να αμφιβάλλει ακόμη και για την εκτέλεση των πειραμάτων του εκκρεμούς από τον Galileo (MacLachlan, 1976). Ο Descartes, επίσης, αμφιβάλλει για το ισόχρονο της κίνησης του απλού εκκρεμούς γιατί « οι ταλαντώσεις θα είναι πιο αργές προς το τέλος παρά στην αρχή...» (Works, vol I, p. 77, in Matthews, 2000, p.117). Ο Ιησουΐτης Giambattista Riccioli, στην προσπάθειά του να προσδιορίσει την επιτάχυνση της

βαρύτητας, κατασκευάζει ένα εκκρεμές δευτερολέπτου, που το συγχρονίζει μετρώντας τις αιωρήσεις του κατά τη διάρκεια μιας αστρικής μέρας. Στη συνέχεια, χρησιμοποιώντας αυτό το εκκρεμές ως ρολόι, προσδιορίζει την απόσταση καθόδου των σωμάτων, σε ελεύθερη πτώση 1 sec και καταλήγει στη διαπίστωση ότι τα βαριά σώματα πέφτουν γρηγορότερα, απορρίπτοντας τη Γαλιλαιϊκή άποψη ότι όλα τα σώματα πέφτουν με την ίδια ταχύτητα ανεξάρτητα από το βάρος και την πυκνότητά τους (Meli, 2006)

Η κριτική του Descartes στην ισόχρονη κίνηση του απλού εκκρεμούς και στη δυνατότητα χρήσης του στην ακριβή χρονομέτρηση, αποτελεί την αφετηρία βελτίωσης της Γαλιλαιϊκής θεώρησης του απλού εκκρεμούς, από τον Ολλανδό Christiaan Huygens. Ο Huygens, στο σημαντικότερο έργο του «Horologium Oscillatorium» (1673), υποστηρίζει τη μη ισόχρονη κίνηση του απλού εκκρεμούς και με τη χρήση της κληρονομημένης από τον Galileo μεθόδου της Ευκλείδειας Γεωμετρίας, αποδεικνύει ότι η ταυτόχρονη καμπύλη είναι η κυκλοειδής, δηλαδή, η καμπύλη που παράγεται από ένα σημείο της περιφέρειας ενός τροχού που κινείται χωρίς ολίσθηση σε οριζόντιο επίπεδο (σχήμα 2.2). Με την ίδια μέθοδο, αποδεικνύει ότι η περίοδος του απλού εκκρεμούς είναι συνάρτηση της τετραγωνικής ρίζας του μήκους του.



Σχήμα 2.2: Η κυκλοειδής καμπύλη

Ο ίδιος επινοεί έναν τρόπο αιώρησης του απλού εκκρεμούς σε τόξο κυκλοειδούς αντί του κυκλικού τόξου και επιτυγχάνει την πολυπόθητη ισόχρονη κίνηση του εκκρεμούς (Θεοδοσίου & Δανέζης, 1996; Emmerson, 2005; Μπαδογιαννάκης, 2009).

Συμπερασματικά, η ανακάλυψη και απόδειξη των ιδιοτήτων της κίνησης του απλού εκκρεμούς, δεν είναι αποτέλεσμα της παρατήρησης, όπως ευρέως υποστηρίζεται, αλλά μιας νέας αντίληψης για τη μελέτη των κινήσεων, η οποία, αφού πρώτα βασίστηκε θεωρητικά στην Ευκλείδειο Γεωμετρία, έγινε στη συνέχεια αντικείμενο πειραματικής διερεύνησης (Matthews, 2000; Dossis & Koliopoulos, 2005).

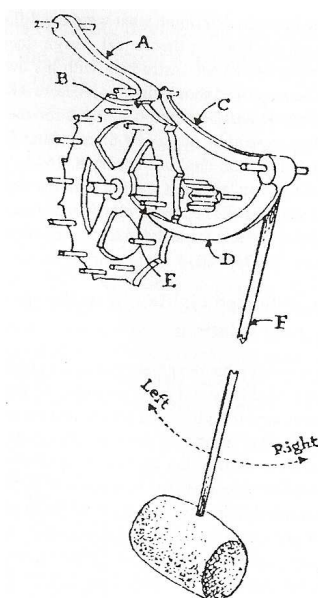
2.3 Η εμπλοκή του απλού εκκρεμούς στο πρόβλημα της ακριβούς μέτρησης του χρόνου: ο σχεδιασμός και η κατασκευή του ρολογιού – εκκρεμούς

Το εκκρεμές, εκτός του επιστημονικού και τεχνικού του ρόλου, εμμέσως έχει συμβάλει στη διαμόρφωση των σύγχρονων κοινωνιών και του πολιτισμού, μέσω της επίδρασής του στην ανάπτυξη της ναυσιπλοΐας. Η άγνοια προσδιορισμού της ακριβούς θέσης ενός πλοίου στη θάλασσα κατά το Μεσαίωνα, καθιστά τα ταξίδια επικίνδυνα και το εμπόριο προβληματικό. Όπως είναι γνωστό, η θέση ενός τόπου στην επιφάνεια της γης προσδιορίζεται από τις συντεταγμένες του γεωγραφικού πλάτους και του γεωγραφικού μήκους. Την εποχή του Galileo, ο προσδιορισμός του γεωγραφικού πλάτους ενός τόπου, είναι ένα μέτριας δυσκολίας πρόβλημα, που έχει ήδη επιλυθεί. Ο προσδιορισμός όμως του γεωγραφικού μήκους, είναι δυσεπίλυτο πρόβλημα και οι κυβερνήσεις των ναυτικών χωρών της εποχής δίνουν μεγάλη χρηματική αμοιβή σε όποιον αποφασιστικά βοηθήσει στην επίλυσή του. Οι λύσεις που προτείνονται είναι πολλές, αλλά η πλέον εφικτή και αξιόπιστη λύση που τελικά επικρατεί είναι αυτή που προτείνει ο Gemma Frisius (1508-1555), η οποία, όμως, προαπαιτεί την ακριβή

μέτρηση του χρόνου (Matthews, Clough & Ogilvie, 2010). Η σκέψη στην οποία βασίζεται ο υπολογισμός του γεωγραφικού μήκους είναι απλή: η Γη περιστρέφεται σε 24 ώρες, που σημαίνει 15° την ώρα, δηλαδή 1° κάθε τέσσερα λεπτά. Η σύγκριση των ενδείξεων ενός αξιόπιστου ρολογιού μεταξύ του μεσημεριού στο λιμάνι απόπλου, δηλαδή της στιγμής που ο ήλιος βρίσκεται στην υψηλότερη θέση και του μεσημεριού σε έναν άλλο τόπο, θα επέτρεπε τον υπολογισμό του πόσο δυτικά (αν το μεσημέρι σε αυτό τον τόπο έπεται χρονικά του μεσημεριού στο λιμάνι απόπλου) ή ανατολικά (αν το μεσημέρι σε αυτό τον τόπο προηγείται χρονικά του μεσημεριού στο λιμάνι απόπλου) από το λιμάνι απόπλου βρίσκεται ο συγκεκριμένος τόπος. Για παράδειγμα, αν ένα ρολόι δείχνει 12 το μεσημέρι στο λιμάνι απόπλου και 2 μμ. στον τόπο προσδιορισμού του γεωγραφικού μήκους, η διαφορά των 2 ωρών σημαίνει ότι ο συγκεκριμένος τόπος βρίσκεται 30° δυτικότερα από το λιμάνι απόπλου. Με τον ίδιο τρόπο, αν το ρολόι δείχνει 9 πμ. στο λιμάνι προσδιορισμού του γεωγραφικού μήκους, η διαφορά των 3 ωρών σημαίνει ότι το λιμάνι είναι 45° ανατολικά του.

Το πρόβλημα προσδιορισμού του γεωγραφικού μήκους απασχολεί τον Galileo, όπως και πολλούς επιφανείς επιστήμονες της εποχής. Η αρχική λύση που προτείνει βασίζεται στην παρατήρηση των εκλείψεων των φεγγαριών του Δία, που πρόσφατα είχε ο ίδιος ανακαλύψει με το τηλεσκόπιό του, αλλά ο υπολογισμός του γεωγραφικού μήκους είναι περίπλοκος, αφού προϋποθέτει την ακριβή μέτρηση της χρονικής διαφοράς των εκλείψεων ενός φεγγαριού του Δία, κατά την παρατήρηση από δύο διαφορετικούς τόπους. Οι απαραίτητες προϋποθέσεις της συγκεκριμένης λύσης είναι τεχνικά ανυπέρβλητες, αφού δεν υπάρχει ούτε ακριβές ρολόι που θα μπορούσε να μετρήσει με μεγάλη ακρίβεια τη στιγμή της έκλειψης, ούτε δυνατότητα ακριβούς παρατήρησης των εκλείψεων, ειδικά στην περίπτωση παρατήρησής τους στη φουρτουνιασμένη θάλασσα. Το 1639, σε αδημοσίευτη εργασία («On mechanics»)

σχετικά με τις ιδιότητες του απλού εκκρεμούς, ο Galileo αναφέρεται στον προσδιορισμό του γεωγραφικού μήκους με τη χρήση ενός νέου και ακριβούς ρολογιού, το οποίο στηρίζει τη λειτουργία του στο απλό εκκρεμές. Η πρόταση αφορά στην αντικατάσταση του 300 ετών παλαιού μηχανισμού διαφυγής των μηχανικών ρολογιών, με μηχανισμό βασισμένο στις ιδιότητες της κίνησης του απλού εκκρεμούς. Σύμφωνα με το σχέδιο ρολογιού – εκκρεμούς του Galileo (Εικόνα 2.1), ο νέος μηχανισμός διαφυγής αποτελείται από μια ράβδο (A), που είναι αγκυλωμένη σε ένα δόντι της (B) και εμποδίζει την περιστροφή ενός οδοντωτού τροχού και δύο άλλες ράβδους (C και D) που είναι στερεωμένες σε εκκρεμές (F). Τη στιγμή που το εκκρεμές βρίσκεται στην ακραία θέση της αιώρησής του (Left), η πάνω ράβδος (C) κτυπά στη ράβδο A και την ανασηκώνει, με αποτέλεσμα την περιστροφή του οδοντωτού τροχού. Ταυτόχρονα η κάτω ράβδος (D) σπρώχνεται από ένα δόντι (E) του περιστρεφόμενου οδοντωτού τροχού, έτσι ώστε η κίνηση του εκκρεμούς να διατηρείται αμείωτη.

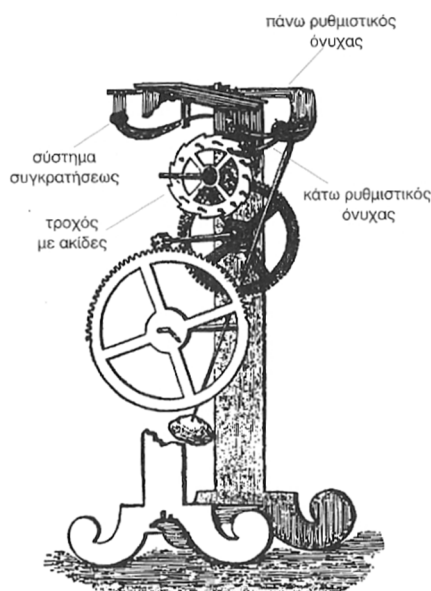


Εικόνα 2.1: Σχέδιο του μηχανισμού διαφυγής του Galileo (Bell and Bell, 1963)

Η πρόταση του Galileo είναι επαναστατική, διότι για πρώτη φορά η

ανομοιόμορφη και τεχνικά δύσκολη ρύθμιση της ταλάντωσης του μηχανισμού διαφυγής των μηχανικών ρολογιών μπορεί να βασιστεί σε φυσικούς νόμους και καθολικά αποδεκτή συχνότητα ταλάντωσης. Όπως επισημαίνει ο Matthews: «Ήταν του εκκρεμούς η φυσική συχνότητα, που εξακριβώθηκε από το Γαλιλαίο, που το έκανε το κέντρο της ακριβούς μέτρησης του χρόνου. Σε ιδανικές συνθήκες, όλα τα εκκρεμή του ίδιου μήκους ταλαντώνονται με την ίδια συχνότητα ανεξάρτητα από τη μάζα τους ή το πλάτος της αιώρησης» (Matthews, 2000, p.63).

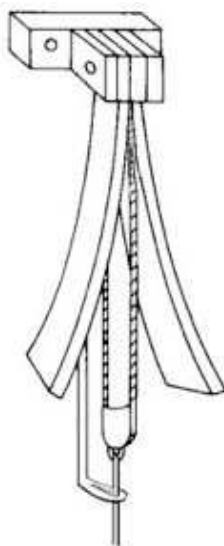
Ο μηχανισμός διαφυγής που σχεδίασε ο Galileo δε χρησιμοποιήθηκε ποτέ, λόγω του θανάτου του και της απροθυμίας του υιού του Lorenzo να δημοσιοποιήσει το σχέδιο του πατέρα του (Εικόνα 2.2), πιθανά φοβούμενος την κλοπή του (Matthews, 2000). Το ρολόι κατασκευάστηκε πολύ αργότερα, το 1954 από τη Βρετανική Εταιρία Ωρολογοποιίας (British Horological Society), η οποία διαπίστωσε την μεγάλη του ακρίβεια.



Εικόνα 2.2: Το σχέδιο ρολογιού – εκκρεμούς του Galileo (Matthews, 2000)

Η κατασκευή του ρολογιού – εκκρεμούς πραγματοποιείται περίπου 20 χρόνια

μετά το θάνατο του Galileo, από τον Christiaan Huygens (το 1657), μετά την τροποποίηση της Γαλιλαϊκής θεωρίας του απλού εκκρεμούς. Ο Huygens, αφού πρώτα αποδεικνύει με τη βοήθεια της Ευκλείδειας Γεωμετρίας ότι ταυτόχρονη καμπύλη

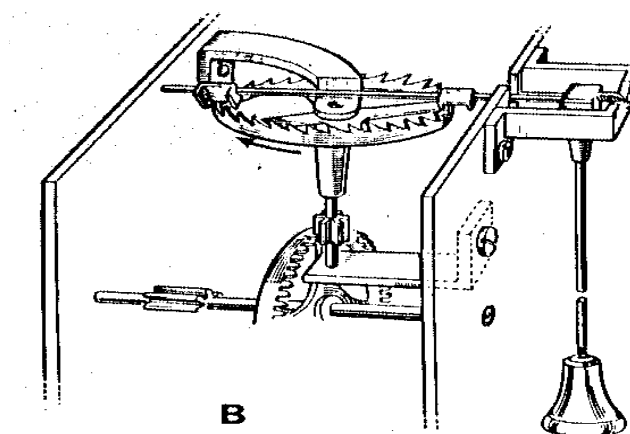


Εικόνα 2.3: Η κυκλοειδής ανάρτηση του Huygens (Emmerson, 2005)

είναι η κυκλοειδής και όχι η κυκλική όπως διατεινόταν ο Galileo, αντικαθιστά την άκαμπτη ράβδο από την οποία κρεμόταν το βαρίδι στο εκκρεμές του Galileo, με μια εύκαμπτη χορδή και τοποθετεί κυκλοειδή ελάσματα στο σημείο ανάρτησης του εκκρεμούς (Εικόνα 2.3), προκειμένου να επιτύχει την αλλαγή της κυκλικής αιώρησης του εκκρεμούς σε κίνηση επί κυκλοειδούς τόξου (Emmerson, 2005).

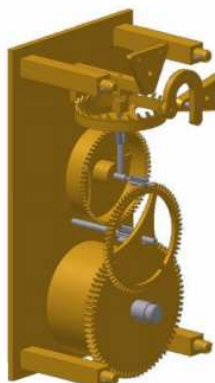
Στη συνέχεια και αφού επινοεί έναν αποτελεσματικό τρόπο μέτρησης του μήκους του κυκλοειδούς εκκρεμούς, επαναφέρει τον προ-Γαλιλαϊκό μηχανισμό διαφυγής του ρολογιού και τοποθετεί τον οδοντωτό τροχό σε οριζόντια θέση (Εικόνα 2.4), παρότι ο κατακόρυφος ακιδωτός μηχανισμός του Galileo ήταν κατά πολύ ακριβέστερος. Επιπλέον, μετατρέπει το μήκος του εκκρεμούς σε μεταβλητό και επιτυγχάνει την άμεση

ρύθμιση της περιόδου του εκκρεμούς, με αποτέλεσμα τον εύκολο έλεγχο της περιστροφικής κίνησης του οδοντωτού τροχού και της συνακόλουθης κίνησης των δεικτών του ρολογιού. Η συντήρηση των αμείωτων ταλαντώσεων του εκκρεμούς επιτυγχάνεται όπως ακριβώς και στο μηχανισμό διαφυγής του Galileo. Η ακρίβεια των αρχικών ρολογιών του Huygens είναι της τάξης του 1 λεπτού την ημέρα (Edwardes, 1977; Burton, 1992; Emmerson, 2005; Stoimenov et al, 2012).



Εικόνα 2.4: Ο μηχανισμός διαφυγής με τον οριζόντιο οδοντωτό τροχό του Huygens (Emmerson, 2005)

Το 1662 ο Huygens κατασκευάζει και παραδίδει στον Κόμη Bruce στο Λονδίνο, δύο από τα ρολόγια του προκειμένου να ελεγχθεί η ακρίβειά τους κατά τη διάρκεια θαλασσινού ταξιδιού στη Δανία.



Εικόνα 2.5: Το τυπικό ρολόι του Huygens (Emmerson, 2005)

Η μόνη αλλαγή που φέρει ο μηχανισμός των ρολογιών είναι στην περιστροφή του οδοντωτού τροχού από ελατήριο και όχι από βαρίδι, όπως προέβλεπε το σχέδιο ρολογιού του Galileo. Το μήκος του εκκρεμούς στα ρολόγια της δοκιμής είναι $9\frac{3}{4}$ inches (δηλαδή 24,8 cm) και η διάρκεια της απλής αιώρησής του είναι $\frac{1}{2}$ δευτερόλεπτο.

Κατά τη διάρκεια του ταξιδιού τα δύο ρολόγια δεν παρουσιάζουν αξιόλογη απόκλιση στις ενδείξεις τους. Μετά από αλλεπάλληλες δοκιμές η βελτίωση των ναυτικών ρολογιών εκκρεμούς γίνεται απαραίτητη και ο Huygens προχωρά σε δραστική μείωση του μήκους του εκκρεμούς, έτσι ώστε η απλή αιώρησή του να διαρκεί κλάσματα του δευτερολέπτου. Στα βελτιωμένα ρολόγια εκκρεμούς του Huygens η ακρίβεια φθάνει το 1 δευτερόλεπτο την ημέρα (Matthews, 2000).

Συνοψίζοντας, η προσπάθεια επίλυσης του κοινωνικο-πολιτισμικού προβλήματος του προσδιορισμού του γεωγραφικού μήκους ενός τόπου, μέσω της ακριβούς χρονομέτρησης, οδηγεί, αρχικά, στην πρόταση του Galileo για ένα ρολόι, που βασισμένο στις ιδιότητες της κίνησης του εκκρεμούς, θα μπορούσε να επιτύχει την επίλυση. Στη συνέχεια, η βασισμένη στα Μαθηματικά θεωρητική αντικατάσταση της Γαλιλαϊκής ανισόχρονης κυκλικής κίνησης του εκκρεμούς, από την ισόχρονη κυκλοειδή κίνηση του Huygens, επιτρέπει την κατασκευή, δοκιμή και βελτίωση των πρώτων ρολογιών εκκρεμούς.

2.4 Από το ρολόι – εκκρεμές, ξανά στη μελέτη του απλού εκκρεμούς

Το έτος 1672, η Γαλλική Académie Royale des Sciences, στέλνει τον Jean Richer στο 2ο επιστημονικό του ταξίδι, στη Γαλλική Γουιάνα και συγκεκριμένα στην πόλη της Cayenne, της οποίας το γεωγραφικό πλάτος είναι περίπου 5^0 Β. και είναι κατάλληλο για αστρονομικές παρατηρήσεις. Η κύρια αποστολή του Richer είναι να μετρήσει την ηλιακή παράλλαξη και να διορθώσει τους πίνακες διάθλασης που χρησιμοποιούν οι

ναυτικοί και οι αστρονόμοι. Παράλληλα, του ανατίθεται ο έλεγχος της αξιοπιστίας του ναυτικού ρολογιού – εκκρεμούς του Huygens, μέσω του προσδιορισμού του ακριβούς γεωγραφικού πλάτους της Cayenne. Το ταξίδι αποδεικνύεται εξαιρετικά επιτυχές ως προς την μέτρηση της ηλιακής παράλλαξης και μέσω αυτής, του προσδιορισμού της απόστασης Γης – Ηλίου, όπως επίσης και της μέτρησης της γωνίας της εκλειπτικής και του χρονικού προσδιορισμού των ισημεριών και των ηλιοστασίων. Οι παρατηρήσεις του Richer όμως, σχετικά με τη λειτουργία των ρολογιών εκκρεμούς, είναι μη αναμενόμενες. Ο Richer αναφέρει ότι τα ρολόγια εκκρεμούς, που είχαν ρυθμιστεί στο Παρίσι να μετρούν δευτερόλεπτα, χάνουν στην Cayenne 2,5 λεπτά την ημέρα και ότι απαιτείται μείωση μήκους 2,8 mm στο μήκος τους, προκειμένου να συνεχίσουν να αιωρούνται με ημι-περίοδο 1 sec (Edwardes, 1977; Matthews, 2001).

Οι παρατηρήσεις του Richer αρχικά προκαλούν αμφισβήτηση της ικανότητάς του στην κατάλληλη διαχείριση των ρολογιών και στη μέτρηση της αξιοπιστίας τους, αλλά λίγο αργότερα επιβεβαιώνονται από νέες δοκιμές. Οι θεωρητικές προσεγγίσεις που επιχειρούνται προκειμένου να ερμηνευτούν οι παρατηρήσεις του Richer είναι επίσης αντιφατικές. Ο Huygens, ο οποίος αρχικά αμφισβητεί έντονα τις ικανότητες του Richer και δεν αποδέχεται τις παρατηρήσεις του, ως υποστηρικτής της Καρτεσιανής μηχανιστικής αντίληψης του κόσμου, στηρίζει την ερμηνεία των παρατηρήσεων του Richer στη βάση της διαφοράς που παρουσιάζει η φυγόκεντρη δύναμη, σε διαφορετικά γεωγραφικά πλάτη. Κατά τη μετακίνηση ενός σώματος πάνω στην περιστρεφόμενη Γη και από τον Ισημερινό προς τους πόλους, η ακτίνα περιστροφής του, καθώς και η ταχύτητα περιστροφής του, μειώνονται, αφού οπουδήποτε κι αν βρίσκεται διαγράφει γωνία 360° , σε 24 ώρες. Η φυγόκεντρη τάση-δύναμη που ασκείται στο σώμα είναι μεγαλύτερη στα μικρά γεωγραφικά πλάτη και επομένως η μείωση του βάρους του σώματος στον Ισημερινό είναι μεγαλύτερη από ό,τι στους πόλους. Αποδεχόμενος την

υπόθεση της σφαιρικής Γης, ο Huygens θεωρεί ότι η επιτάχυνση της βαρύτητας g είναι σταθερή, αλλά το βάρος του σώματος στον Ισημερινό είναι μειωμένο λόγω της μεγαλύτερης φυγόκεντρης δύναμης. Η θεωρητική προσέγγιση, όμως, του Huygens δεν συμφωνεί με τα Μαθηματικά, τα οποία υπολογίζουν ότι η μείωση του βάρους, λόγω της φυγόκεντρης δύναμης, στην Cayenne δεν είναι τόση μεγάλη ώστε να προκληθεί η αύξηση της περιόδου του εκκρεμούς που μέτρησε ο Richer.

Ριζικά διαφορετική είναι η θεωρητική προσέγγιση και η ερμηνεία των παρατηρήσεων του Richer από τον Isaac Newton. Ο εισηγητής της βαρυτικής θεωρίας της έλξης από απόσταση μεταξύ των σωμάτων, χρησιμοποιεί τις παρατηρήσεις του Richer για να επιβεβαιώσει τη νέα του θεωρία της βαρύτητας, σύμφωνα με την οποία η επιτάχυνση της βαρύτητας g ενός τόπου δεν είναι σταθερή, αλλά συνάρτηση του αντιστρόφου του τετραγώνου της απόστασης του τόπου από το κέντρο της Γης. Σε αντίθεση με τον Huygens, αποδίδει τη μείωση του βάρους του εκκρεμούς στις περιοχές μικρού γεωγραφικού πλάτους, όχι στην επίδραση της φυγόκεντρης δύναμης, αλλά στην αύξηση της απόστασης αυτών των περιοχών από το κέντρο της Γης και συμπεραίνει ότι η Γη δεν είναι σφαιρική, αλλά πεπλατυσμένη στους πόλους. Επιπλέον, με αφετηρία τις ίδιες παρατηρήσεις, εισάγει το ζήτημα της εννοιολογικής διαφοροποίησης μεταξύ των εννοιών της μάζας και του βάρους (Boulos, 2005).

Η γενική παραδοχή της βαρυτικής θεωρίας του Newton και η αδυναμία επίλυσης του προβλήματος της εξάρτησης της περιόδου του εκκρεμούς από την κατά τόπους βαρύτητα, σήμανε το τέλος της χρήσης του εκκρεμούς στο μηχανισμό διαφυγής των ναυτικών ρολογιών και την αντικατάστασή του από το σπειροειδές ελατήριο.

Συμπερασματικά, η προσπάθεια προσδιορισμού του γεωγραφικού μήκους με τη βοήθεια των ρολογιών εκκρεμούς, μέσω του ιστορικού ταξιδιού του Richer στην Cayenne και των παρατηρήσεών του σχετικά με την αύξηση της περιόδου του

εκκρεμούς σε περιοχές μικρού γεωγραφικού πλάτους, συμβάλλει στη συμπλήρωση όχι μόνο της θεωρίας του απλού εκκρεμούς, αλλά συνολικά του θεωρητικού οικοδομήματος της βαρύτητας και των αντιλήψεων για το σχήμα της Γης.

ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

Η μελέτη των νόμων της κίνησης του απλού εκκρεμούς από το Galileo, φαίνεται να συντελείται στα πλαίσια της προσπάθειας μελέτης της ελεύθερης πτώσης και ειδικότερα της κίνησης σε κεκλιμένο επίπεδο. Η Γαλιλαϊκή ανάλυση της κίνησης είναι ριζοσπαστικά καινοτόμα, αφού για πρώτη φορά χρησιμοποιούνται τα Μαθηματικά και ειδικότερα η Ευκλείδειος Γεωμετρία, στην απόδειξη φυσικών νόμων οι οποίοι δεν απορρέουν από την παρατήρηση. Ο Galileo καταλήγει στους «νόμους» του απλού εκκρεμούς και στη συνέχεια με την εμπλοκή του στο κοινωνικό πρόβλημα του προσδιορισμού του γεωγραφικού μήκους, οδηγείται στην πρόταση για ένα ακριβές ρολόι, βασισμένο στις ιδιότητες της κίνησης του εκκρεμούς. Η κατασκευή, δοκιμή και βελτίωση των πρώτων ρολογιών εκκρεμούς συντελείται από τον Huygens, μετά την μαθηματική επεξεργασία και αντικατάσταση της Γαλιλαϊκής ανισόχρονης κυκλικής κίνησης του εκκρεμούς, από την ισόχρονη κυκλοειδή κίνηση. Η τελική προσέγγιση της περιόδου του εκκρεμούς ολοκληρώνεται στα πλαίσια μιας νέας αντίληψης για το σχήμα της Γης και τη βαρύτητα, μέσω της ερμηνείας των αποτελεσμάτων του ταξιδιού του Richer, στην Cayenne.

Κεφάλαιο 3^ο

**Βιοματική γνώση: οι νοητικές παραστάσεις των
μαθητών για το απλό εκκρεμές**

Τρεις είναι οι μορφές γνώσης οι οποίες εμπλέκονται στη διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών: η επιστημονική γνώση, η σχολική εκδοχή της επιστημονικής γνώσης και η βιωματική γνώση (Κουλαϊδής 1995 & 2001a). Επιστημονική γνώση στη Φυσική, είναι αυτή που παράγεται στα ερευνητικά κέντρα και στα πανεπιστήμια και που, σύμφωνα με μη θετικιστικές απόψεις, συστατικά στοιχεία συγκρότησής της είναι: (α) ο εννοιολογικός μετασχηματισμός των αντικειμένων του φυσικού κόσμου σε επιστημονικά αντικείμενα (εννοιολογική συνιστώσα της επιστημονικής γνώσης, αναφορά στο τι), (β) οι παραδεκτές διαδικασίες ελέγχου του εννοιολογικού οικοδομήματος από την επιστημονική κοινότητα (μεθοδολογική συνιστώσα της επιστημονικής γνώσης, αναφορά στο πώς) και (γ) οι κοινωνικές διαδικασίες ανάπτυξης και εξέλιξης της εννοιολογικής και μεθοδολογικής συνιστώσας της επιστημονικής γνώσης (πολιτισμική συνιστώσα της επιστημονικής γνώσης, αναφορά στο γιατί) (Κολιόπουλος, 2006).

Βιωματική γνώση είναι οι νοητικές παραστάσεις που τα άτομα οικοδομούν σχετικά με τα αντικείμενα του φυσικού κόσμου, τις ιδιότητές τους και τα φαινόμενα στα οποία εμπλέκονται. Η έννοια των νοητικών παραστάσεων συναντάται στη βιβλιογραφία με πολλούς και διαφορετικούς όρους, όπως: ιδέες των μαθητών, εναλλακτικές ιδέες, παρανοήσεις των μαθητών, αυθόρμητες αντιλήψεις, προ-αντιλήψεις κλπ. Στην εποχή μας είναι ευρέως αποδεκτή η παραδοχή ότι οι μαθητές μεταφέρουν στην εκπαιδευτική διαδικασία διαμορφωμένες απόψεις για τον κόσμο που τους περιβάλλει, απόψεις που έχουν διαμορφώσει μέσω της γλώσσας και των κοινωνικών αλληλεπιδράσεων και που τις χρησιμοποιούν για να προβλέψουν και ερμηνεύσουν ό,τι υποπίπτει στην αντίληψή τους (Driver et. al.,1998; Χατζηνικήτα & Χρηστίδου, 2001; Κόκκοτας, 1998 & 2003; Ραβάνης, 2003b; Καριώτογλου, 2006).

Έρευνες καταδεικνύουν ότι το περιεχόμενο των νοητικών παραστάσεων είναι

εξαρτώμενο κυρίως από το φαινομενολογικό πλαίσιο των ερωτημάτων που θέτει ο ερευνητής και από τη γλώσσα και το εμπειρικό/κοινωνικό περιεχόμενο των όρων που χρησιμοποιούνται στα ερωτήματα. Παρά τις διαφορές περιεχομένου, όμως, οι νοητικές παραστάσεις των μαθητών διαθέτουν ορισμένα κοινά χαρακτηριστικά, η γνώση των οποίων είναι απαραίτητη προκειμένου αυτές να χρησιμοποιηθούν με οποιοδήποτε τρόπο στη διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών. Το πρώτο κοινό χαρακτηριστικό των νοητικών παραστάσεων αφορά στη δόμησή τους, η οποία πραγματοποιείται στη βάση της αισθητηριακής αντίληψης και της προσωπικής εμπειρίας, δομούνται δηλαδή βιωματικά. Το δεύτερο, που σχετίζεται με το περιεχόμενο των νοητικών παραστάσεων, αφορά στη διαμόρφωση πολλών και διαφορετικών νοητικών παραστάσεων στη μελέτη παρόμοιων φυσικών φαινομένων. Το τρίτο, που αναφέρεται στη λειτουργία τους, είναι ότι συνιστούν λογικοφανείς και ανθεκτικές ερμηνείες του φυσικού κόσμου με αξιοσημείωτη εσωτερική συνοχή. Τέλος, το τέταρτο κοινό χαρακτηριστικό των νοητικών παραστάσεων αφορά στις ποιοτικές διαφορές που αυτές παρουσιάζουν με τα διάφορα εννοιολογικά πλαίσια της επιστημονικής γνώσης (Driver et. al.,1998, Ραβάνης, 2003a; Καριώτογλου, 2006; Κολιόπουλος, 2006).

Όσον αφορά στη χρήση των νοητικών παραστάσεων στη διδασκαλία, οι νοητικές παραστάσεις μπορούν να χρησιμεύσουν (α) στην επιλογή και οργάνωση διδακτικών δραστηριοτήτων για την εκκίνηση της συζήτησης, (β) στον καθορισμό των εννοιολογικών εμποδίων που οι μαθητές πρέπει να υπερπηδήσουν, (γ) στο σχεδιασμό διδακτικών δραστηριοτήτων για διαφορετικούς ρυθμούς μάθησης και ιδιαιτερότητες μαθητών. Αναφορικά με τα πλαίσια χρήσης των νοητικών παραστάσεων, αναγνωρίζονται τέσσερις επιστημολογικές αντιλήψεις (Κουζέλης, 1991): Το πλαίσιο αντικατάστασης, το πλαίσιο ενίσχυσης, το πλαίσιο βελτίωσης και το πλαίσιο μετασχηματισμού και συμπλήρωσης. Στο πλαίσιο αντικατάστασης, οι νοητικές

παραστάσεις θεωρούνται λανθασμένες ιδέες (mis-conceptions) και ουσιαστικά δεν λαμβάνονται υπόψη στο σχεδιασμό και την εφαρμογή της διδασκαλίας. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αυτού του πλαισίου χρήσης είναι η προσχηματική ανάδειξη των αρχικών ιδεών των μαθητών στα αρχικά στάδια «εποικοδομητικών» προσεγγίσεων και η επακόλουθη προσπάθεια αντικατάστασής τους από τις αντίστοιχες επιστημονικές, χωρίς την ουσιαστική χρήση τους. Αντιθέτως, στο πλαίσιο *ενίσχυσης*, οι εναλλακτικές αντιλήψεις (alternative conceptions) των μαθητών, θεωρούνται εναλλακτικό, ίδιας αξίας με το επιστημονικό, σύστημα ιδεών, το οποίο χρήζει ενίσχυσης, αφού η νέα γνώση αποκτά νόημα μόνο μέσα σε αυτό. Μια ενδιάμεση αντίληψη χρήσης των νοητικών παραστάσεων των μαθητών εμφανίζεται στο πλαίσιο *βελτίωσης*, όπου επιχειρείται η προσέγγιση της επιστημονικής γνώσης μέσω της δημιουργίας ακριβών συνδέσεων των νοητικών παραστάσεων με επιστημονικές έννοιες. Χαρακτηριστικό παράδειγμα μιας τέτοιας προσέγγισης είναι η προσπάθεια εκλαΐκευσης επιστημονικών ιδεών, με την έκφραση επιστημονικών εννοιών σε μια βιωματική γλώσσα, χωρίς να χάνεται το νόημα που αυτές λαμβάνουν στο εσωτερικό του επιστημονικού προτύπου. Τέλος, στο πλαίσιο *μετασχηματισμού και συμπλήρωσης*, οι νοητικές παραστάσεις των μαθητών θεωρούνται γνώση η οποία πρέπει από τη μια πλευρά να μετασχηματιστεί και από την άλλη να διατηρηθεί, μέσω της ενσωμάτωσής τους στους στόχους, το περιεχόμενο και τις διδακτικές δραστηριότητες του αναλυτικού προγράμματος. Χαρακτηριστικό παράδειγμα χρήσης του πλαισίου *μετασχηματισμού και συμπλήρωσης* είναι η σχεδίαση και κατασκευή πρωτότυπου διδακτικού υλικού με τη χρήση της έννοιας του «διδακτικού στόχου – εμποδίου», έννοια που βασίστηκε στην κατά Bachelard έννοια του «επιστημολογικού εμποδίου» (Canguilhem, 1993; Bachelard, 1993; Χατζηνικήτα, 2001b) και των «δυναμικών δικτύων στόχου - εμποδίου» (Χατζηνικήτα, Κουλαϊδής & Ζόγκτζα, 1999; Χατζηνικήτα, 2001a; Σκουμιός

& Χατζηνικήτα, 2005). Σε αυτή την περίπτωση, οι νοητικές παραστάσεις των μαθητών αφενός συνιστούν τη βάση εντοπισμού του «διδασκτικού στόχου – εμποδίου» και της κατασκευής του αντίστοιχου «δυναμικού δικτύου» και αφετέρου αναδομούνται μέσω επιστημολογικών ρήξεων προς την κατεύθυνση συγκρότησης μιας νέας γνώσης πιο συμβατής προς την επιστημονική (Κολιόπουλος, 2006).

Το παρόν κεφάλαιο (Οι νοητικές παραστάσεις των μαθητών για το απλό εκκρεμές) αποτελείται από δύο ενότητες, όπου επιχειρείται η διασαφήνιση των παραστάσεων των μαθητών για το απλό εκκρεμές, μέσω δύο συμπληρωματικών τεχνικών: της βιβλιογραφικής τους επισκόπησης και της επισκόπησης με χρήση ερωτηματολογίου. Ειδικότερα, στην πρώτη ενότητα (Βιβλιογραφική επισκόπηση των νοητικών παραστάσεων των μαθητών για το απλό εκκρεμές) γίνεται η παρουσίαση της ελληνικής και διεθνούς βιβλιογραφικής επισκόπησης των νοητικών παραστάσεων των μαθητών για το απλό εκκρεμές, ενώ στη δεύτερη (Διερεύνηση των νοητικών παραστάσεων μαθητών του ελληνικού Γυμνασίου για το απλό εκκρεμές) παρουσιάζονται τα δεδομένα, οι αναλύσεις και τα συμπεράσματα εμπειρικής έρευνας σχετικά με τις νοητικές παραστάσεις των μαθητών της Γ΄ Γυμνασίου για το απλό εκκρεμές, σε δείγμα μαθητών πέντε (5) διαφορετικών ελληνικών Γυμνασίων.

3.1 Βιβλιογραφική επισκόπηση των νοητικών παραστάσεων των μαθητών για το απλό εκκρεμές

Παρότι η μελέτη του απλού εκκρεμούς περιλαμβάνεται στη συντριπτική πλειοψηφία των αναλυτικών προγραμμάτων Φυσικής σε όλο τον κόσμο, η διερεύνηση των αντιλήψεων των μαθητών για αυτό, είναι σχετικά φτωχή. Ο Gauld (2005), για παράδειγμα, στην εμπεριστατωμένη βιβλιογραφική μελέτη «Pendulums in the Physics Education Literature: A bibliography», παραθέτει μόνο μια αναφορά στην κατηγορία

«αντιλήψεις μαθητών για το εκκρεμές».

Οι βιβλιογραφικές αναφορές των νοητικών παραστάσεων των μαθητών της ηλικίας που ενδιαφέρει στην έρευνά μας και που παρουσιάζονται στη συνέχεια, ταξινομούνται σε νοητικές παραστάσεις που αναφέρονται στις τρεις διαστάσεις της επιστημονικής γνώσης: την εννοιολογική, τη μεθοδολογική και την πολιτισμική. Να επισημανθεί ότι η συντριπτική πλειοψηφία των βιβλιογραφικών αναφορών που παρατίθενται αφορά μόνο στις νοητικές παραστάσεις των μαθητών για το απλό εκκρεμές που σχετίζονται με την εννοιολογική και μεθοδολογική συνιστώσα της επιστημονικής γνώσης, καθότι δεν ανιχνεύτηκαν στη διεθνή βιβλιογραφία έρευνες που σχετίζονται με την πολιτισμική συνιστώσα της επιστημονικής γνώσης του εκκρεμούς. Οι λίγες αναφορές στις πολιτισμικές αντιλήψεις των μαθητών που αφορούν στην παρούσα έρευνα, εντοπίζονται στα πλαίσια σχετικών ερευνών μόνο από τον Ελλαδικό χώρο (Δόσης, 2006; Δόσης, Πετράκη & Κολιόπουλος, 2006; Dossis & Koliopoulos, 2007).

i. Οι νοητικές παραστάσεις της εννοιολογικής συνιστώσας της επιστημονικής γνώσης

Μια γενική διαπίστωση σχετικά με τις έρευνες που αφορούν στην εννοιολογική συνιστώσα της επιστημονικής γνώσης για το απλό εκκρεμές, είναι ότι αυτές αναφέρονται κυρίως στο εννοιολογικό πλαίσιο της δυναμικής ανάλυσης της κίνησης του εκκρεμούς (Cwudkova & Musilova, 2000; Galili & Sela, 2002) και δευτερευόντως στο Γαλιλαϊκό πλαίσιο μελέτης της ισόχρονης κίνησής του, που ενδιαφέρει στην παρούσα διατριβή. Σε αυτό το πλαίσιο, οι εννοιολογικές αντιλήψεις των μαθητών μπορούν να ταξινομηθούν σε αντιλήψεις που αναφέρονται στην εξάρτηση της περιόδου/συχνότητας της κίνησης του απλού εκκρεμούς από: (α) το πλάτος της αιώρησης, (β) το βάρος του βαριδιού του εκκρεμούς και (γ) το μήκος του εκκρεμούς.

Η σχέση της περιόδου/συχνότητας με το πλάτος της αιώρησης: Η αντίληψη ότι το πλάτος της αιώρησης του απλού εκκρεμούς επιδρά στην τιμή της περιόδου/συχνότητας της κίνησής του, φαίνεται να είναι κοινή για μεγάλο ποσοστό μαθητών. Οι Il-Ho Yang, Yong-Ju Kwon & Jin-Woo Jeong (2002), σε έρευνα που αφορά στην επίδραση των πρότερων αντιλήψεων στο συλλογισμό κατά την επίλυση προβλημάτων σχετικών με το απλό εκκρεμές, αναφέρουν το ύψος εκκίνησης της αιώρησης ως τον πρώτο παράγοντα που καθορίζει τη συχνότητα της αιώρησης. Ειδικότερα, σε δείγμα 33 μαθητών Κορεατικού σχολείου μέσου επιπέδου, το 24,3% των μαθητών του 7ου επιπέδου θεωρεί ότι η συχνότητα του εκκρεμούς αυξάνεται όταν το εκκρεμές αφήνεται να πέσει από ένα υψηλότερο σημείο, ενώ στην ίδια έρευνα το 15,1% των μαθητών του δείγματος πιστεύει ακριβώς το αντίθετο, ότι δηλαδή η συχνότητα του εκκρεμούς αυξάνεται όταν το εκκρεμές αφήνεται να πέσει από ένα χαμηλότερο σημείο. Οι λόγοι που οι μαθητές προβάλλουν για την αιτιολόγηση της αύξησης της συχνότητας με την αύξηση του πλάτους, σχετίζονται είτε με επίκληση προσωπικής εμπειρίας - «παλιά, όταν πετούσα αντικείμενα από ένα ψηλό κτήριο, τα αντικείμενα έπεφταν γρηγορότερα» (Il-Ho Yang, Yong-Ju Kwon & Jin-Woo Jeong, 2002, p.168), αναφέρει κάποιος μαθητής - είτε με αναφορά στη σχέση χρόνου με την «πτωτική δύναμη» (ταχύτητα/ορμή/κινητική ενέργεια;) - «όσο πιο πίσω σέρνω το βαρίδι, τόσο πιο γρήγορα θα ταλαντωθεί επειδή πέφτοντας, η πτωτική δύναμη (dropping force) θα είναι αυξανόμενη» (Il-Ho Yang, Yong-Ju Kwon & Jin-Woo Jeong, 2002. p. 168), αναφέρει κάποιος άλλος. Από την άλλη πλευρά, ο λόγος ο οποίος κυρίως προβάλλεται για να αιτιολογήσει τη μείωση της συχνότητας ως συνέπεια της αύξησης του πλάτους αφορά στη σχέση της απόστασης με το χρόνο – «αν το πλάτος είναι μεγαλύτερο, η απόσταση είναι μεγαλύτερη» (Il-Ho Yang, Yong-Ju Kwon & Jin-Woo Jeong, 2002, p.168), δηλώνει ένας μαθητής. Επιπλέον, αν στα παραπάνω συμπεριληφθεί και το 15,2% των

μαθητών του δείγματος που θεωρεί ότι η συχνότητα της αιώρησης καθορίζεται από συνδυασμούς της μεταβλητής του πλάτους με άλλες μεταβλητές, όπως το μήκος του εκκρεμούς και το βάρος του, το συμπέρασμα που αβίαστα προκύπτει είναι ότι η απόλυτη πλειοψηφία των μαθητών (54,6%) θεωρεί ότι η συχνότητας της αιώρησης είναι εξαρτημένη μεταβλητή του πλάτους της αιώρησης.

Παρόμοιες αντιλήψεις για την εξάρτηση της περιόδου της κίνησης του απλού εκκρεμούς από το πλάτος της αιώρησης εντοπίζονται στους διαλόγους μεταξύ μαθητών (Μ) και εκπαιδευτικού (Εκπ), στα πλαίσια ερευνητικής διδασκαλίας σε Έλληνες μαθητές της Γ' Γυμνασίου (Koumaras, 2002). Συγκεκριμένα, κατά τη διαδικασία μέτρησης της χρονικής διάρκειας 20 πλήρων αιωρήσεων του απλού εκκρεμούς και ενώ οι μαθητές παρατηρούν ότι το πλάτος της αιώρησης όλο και μειώνεται, ακολουθεί ο εξής διάλογος: «Εκπ: Αν μετρήσουμε τώρα το χρόνο για 20 ταλαντώσεις, πόσο χρόνο νομίζετε ότι αυτό θα χρειαστεί; Μ1: Λιγότερο Μ2: Περισσότερο Εκπ: Γιατί λιγότερο; Μ1: Γιατί τώρα υπάρχει λιγότερη απόσταση καλυμμένη, Μ2: Ναι, αλλά έχει μικρότερη ταχύτητα». (Koumaras, 2002, σ. 213)

Τέλος, η αντίληψη της εξάρτησης της περιόδου του απλού εκκρεμούς από το πλάτος της αιώρησης επιβεβαιώνεται ισχυρά και από τα ευρήματα έρευνας στον Ελλαδικό χώρο (Δόσης, 2006; Dossis & Koliopoulos, 2007). Ειδικότερα, σε έρευνα των αντιλήψεων 169 μαθητών της Γ' Γυμνασίου, τεσσάρων ελληνικών Γυμνασίων της πρωτεύουσας και της επαρχίας, προκύπτει ότι το 64% των μαθητών του δείγματος θεωρεί ότι η περίοδος της αιώρησης μειώνεται με τη μείωση του πλάτους της αιώρησης, ενώ το 15% υποστηρίζει ακριβώς το αντίθετο, δηλαδή ότι η περίοδος αυξάνεται με τη μείωση του πλάτους της αιώρησης. Η σχέση απόστασης – χρόνου είναι ο λόγος που συνήθως οι μαθητές επικαλούνται προκειμένου να αιτιολογήσουν τις απόψεις τους ->«Επειδή η απόσταση του απλού εκκρεμούς 2 (εκείνου με το μεγαλύτερο

αρχικό πλάτος) είναι μεγαλύτερη, άρα έχει μεγαλύτερη χρονική διάρκεια» (Δόσης, 2006, σ.71).

Η σχέση της περιόδου/συχνότητας με το βάρος/μάζα του εκκρεμούς: Η αντίληψη ότι το βάρος του βαριδιού του απλού εκκρεμούς επιδρά στην τιμή της περιόδου/συχνότητας της κίνησής του, είναι επίσης μια από τις πιο συνηθισμένες νοητικές παραστάσεις των μαθητών αυτής της ηλικίας. Στην έρευνα των Il-Ho Yang, Yong-Ju Kwon & Jin-Woo Jeong (2002), το 46 % περίπου των μαθητών του 7ου επιπέδου θεωρούν ότι η συχνότητα της αιώρησης καθορίζεται, αποκλειστικά ή όχι, από το βάρος του βαριδιού. Πιο συγκεκριμένα, ποσοστό 9,1% των μαθητών του δείγματος υποστηρίζει ότι η αύξηση του βάρους του εκκρεμούς προκαλεί αύξηση στη συχνότητα της ταλάντωσης. Στις αιτιολογήσεις των μαθητών γίνεται χρήση των όρων της βαρύτητας και της τριβής που ο αέρας ασκεί στο εκκρεμές - «κατά την πτώση, η ταχύτητα των βαρύτερων σωμάτων αυξάνεται εξ' αιτίας της βαρύτητας» (Il-Ho Yang, Yong-Ju Kwon & Jin-Woo Jeong, 2002. p.168), αναφέρει χαρακτηριστικά ένας μαθητής. Ο συνδυασμός του βάρους του εκκρεμούς με το μήκος του νήματος θεωρείται, επίσης, παράγοντας που είτε αυξάνει, είτε μειώνει τη συχνότητα. Ειδικότερα, ποσοστό σχεδόν 15 % των μαθητών θεωρεί ότι βαρύτερα βαρίδια και μικρότερα μήκη εκκρεμούς αυξάνουν τη συχνότητα της ταλάντωσης, ενώ το 6,1% αποδίδει μεγαλύτερες συχνότητες στο συνδυασμό ελαφρύτερων βαριδιών και μικρότερων μηκών. Ο συνδυασμός του βάρους του εκκρεμούς με το πλάτος της αιώρησης θεωρείται επίσης παράγοντας που αυξάνει τη συχνότητα, όπως φαίνεται από το 9,1% του δείγματος της συγκεκριμένης έρευνας που ισχυρίζεται ότι βαρύτερα βαρίδια που αφήνονται από ψηλότερα σημεία αυξάνουν τη συχνότητα της αιώρησης του εκκρεμούς. Τέλος, το 6,1% των μαθητών του δείγματος θεωρεί ότι η αύξηση της συχνότητας επιτυγχάνεται από το συνδυασμό βαρύτερων εκκρεμών, που αφήνονται

από υψηλότερο σημείο και που έχουν μικρότερο μήκος. Η μη διαφοροποίηση των εννοιών της βαρύτητας με το βάρος στην αύξηση του οποίου αποδίδεται μεγαλύτερη επιτάχυνση και επομένως μεγαλύτερη ταχύτητα, είναι το κύριο χαρακτηριστικό των αιτιολογήσεων που οι μαθητές επικαλούνται για την εξάρτηση της συχνότητας του εκκρεμούς από το βάρος του: «...επειδή τα βαρύτερα σώματα μπορούν να επιταχύνονται» (Il-Ho Yang, Yong-Ju Kwon & Jin-Woo Jeong, 2002. p.168), αναφέρει ένας μαθητής.

Η επίδραση του βάρους στην περίοδο της ταλάντωσης του απλού εκκρεμούς φαίνεται και στα ευρήματα μελέτης σχετικής με την δια βίου κατανόηση της κίνησης του απλού εκκρεμούς και την επίδραση της διδασκαλίας του σε αυτή. Η έρευνα αναφέρεται στις αντιλήψεις ενός μεγάλου αριθμού ανθρώπων, όλων των ηλικιών, στην Ιαπωνία (Sumida, 2005). Όσον αφορά σε δείγμα 284 μαθητών στις ηλικίες που ενδιαφέρουν στη δική μας έρευνα (7ο και 8ο επίπεδο μέσης εκπαίδευσης), η μελέτη καταδεικνύει ότι η συχνότητα της αιώρησης θεωρείται εξαρτημένη από το βάρος του απλού εκκρεμούς σε ποσοστό που υπερβαίνει το 68% των ερωτηθέντων. Ειδικότερα, η απόλυτη πλειοψηφία των μαθητών (54% περίπου) θεωρεί ότι ένα βαρύτερο εκκρεμές αιωρείται γρηγορότερα ενός ελαφρύτερου, ενώ το υπόλοιπο 14% περίπου του δείγματος θεωρεί το αντίθετο ότι, δηλαδή, ένα ελαφρύτερο εκκρεμές αιωρείται γρηγορότερα ενός βαρύτερου. Επιπλέον, στην ίδια έρευνα καταγράφεται η αντίληψη του 38% του δείγματος, περί της ανεξαρτησίας της συχνότητας του εκκρεμούς από το βάρος του, αντίληψη που είναι σύμφωνη με την αντίστοιχη επιστημονική.

Τέλος, ισχυρή επιβεβαίωση της νοητικής παράστασης της εξάρτησης της περιόδου του απλού εκκρεμούς από το βάρος του συμπεραίνεται και από τα πορίσματα της έρευνας των αντιλήψεων των μαθητών της Γ΄ Γυμνασίου στον Ελλαδικό χώρο (Δόσης, 2006). Ειδικότερα, σε μεθοδολογικού χαρακτήρα ερώτηση, όπου οι μαθητές

καλούνται να επιλέξουν δύο εκκρεμή προκειμένου να ελέγξουν την επίδραση του μήκους των εκκρεμών στον προσδιορισμό της περιόδου, το 1/4 των ερωτηθέντων επιλέγουν εκκρεμή που διαφέρουν μόνο στο βάρος του βαριδιού, ενώ ποσοστό περίπου 13% επιλέγει το βάρος σε συνδυασμό με άλλες μεταβλητές. Επιπλέον, στην ίδια μελέτη, συμπεραίνεται ότι το βάρος είναι ο συχνότερος παράγοντας που οι μαθητές επικαλούνται ως αίτιο της μεταβολής της περιόδου του απλού εκκρεμούς. Η αύξηση του βάρους του απλού εκκρεμούς θεωρείται παράγοντας που μπορεί να επιφέρει είτε αύξηση της ταχύτητας του εκκρεμούς, είτε μείωσή της και επομένως να επιδράσει στην τιμή της περιόδου της κίνησης. Στην πρώτη περίπτωση επικρατεί η αντίληψη του βάρους, ως δύναμης ανάλογης της ταχύτητας: «... θα μπορούσαμε να χρησιμοποιήσουμε 2 βαρίδια, το ένα μικρότερου και το άλλο μεγαλύτερου βάρους, για να δούμε αν η ταχύτητα με την οποία αιωρείται το εκκρεμές είναι ανάλογη του βάρους του βαριδιού» αναφέρει ένας μαθητής (Δόσης, 2006, σ.73), ενώ στη δεύτερη ο παράγοντας βάρος συναρτάται με την αδράνεια του σώματος : «... Πιστεύουμε ότι το βάρος του βαριδιού παίζει ρόλο στο πόσο γρήγορα ή αργά θα κάνει μια απλή αιώρηση. Όσο πιο βαρύ είναι ένα σώμα τόσο πιο αργά κινείται. Αφού το απλό εκκρεμές που χρησιμοποιούμε έκανε πάνω από ένα δευτερόλεπτο, αν αυξήσουμε το βάρος του εκκρεμούς θα μειώσουμε το χρόνο σε 1 δευτερόλεπτο το επιθυμητό, κάνοντας δοκιμές με μεγαλύτερου βάρους βαρίδια» αναφέρει άλλος μαθητής (Δόσης, 2006, σ.73).

Η σχέση της περιόδου/συχνότητας με το μήκος του εκκρεμούς: Το μήκος του εκκρεμούς είναι ένας άλλος παράγοντας που οι μαθητές αυτής της ηλικίας αναγνωρίζουν ως παράγοντα που επηρεάζει την περίοδο/συχνότητα της ταλάντωσης. Στην έρευνα των Π-Ho Yang, Yong-Ju Kwon & Jin-Woo Jeong (2002), μόνο το 15,1% των μαθητών 7ου επιπέδου, επιλέγει το μήκος ως τη μοναδική μεταβλητή η οποία προσδιορίζει τη συχνότητα του εκκρεμούς, ενώ το 27,3 % του δείγματος το επιλέγει

μαζί με άλλους παράγοντες όπως το βάρος και το πλάτος της αιώρησης. Πιο συγκεκριμένα, οι μαθητές διατυπώνουν την άποψη ότι η μείωση του μήκους του απλού εκκρεμούς προκαλεί αύξηση της συχνότητας της αιώρησης και η κύρια αιτιολόγηση που προβάλλουν είναι ότι το μακρύτερο νήμα σημαίνει μεγαλύτερης απόστασης αιώρηση και επομένως μεγαλύτερο χρόνο.

Αντίστοιχα, στην Ιαπωνική μελέτη της δια βίου κατανόησης της κίνησης του απλού εκκρεμούς (Sumida, 2005), η απόλυτη πλειοψηφία (σχεδόν 58%) των μαθητών του 7ου και 8ου επιπέδου εκφράζουν την άποψη ότι ένα μικρού μήκους εκκρεμές αιωρείται με μεγαλύτερη συχνότητα από ένα άλλο που έχει μεγαλύτερο μήκος, άποψη συμβατή με την αντίστοιχη επιστημονική. Αντίθετα, περίπου το 14% του δείγματος των ηλικιών που μας απασχολεί, θεωρεί ότι ένα εκκρεμές μεγάλου μήκους ταλαντώνεται γρηγορότερα εκείνου που έχει μικρότερο μήκος, ενώ σχεδόν το 28% του δείγματος αναφοράς πιστεύει ότι η συχνότητα της αιώρησης είναι ανεξάρτητη του μήκους του εκκρεμούς.

Σχεδόν πανομοιότυπα είναι τα αποτελέσματα της μελέτης των αντιλήψεων Ελλήνων μαθητών της Γ΄ Γυμνασίου, σχετικά με τη σχέση της περιόδου του απλού εκκρεμούς με το μήκος του (Δόσης, 2006; Dossis & Koliopoulos, 2007). Ειδικότερα, η απόλυτη πλειοψηφία των μαθητών του δείγματος (59% περίπου) θεωρεί ότι το εκκρεμές που έχει το μεγαλύτερο μήκος εκτελεί αιώρηση μεγαλύτερης χρονικής διάρκειας, ποσοστό εντυπωσιακά παρόμοιο με το ποσοστό που εκφράζει την ίδια άποψη στην Ιαπωνική έρευνα Sumida. Παρομοίως, στην έρευνα αποτυπώνονται οι αντιλήψεις του 10% περίπου των μαθητών που θεωρούν ότι μεγαλύτερης διάρκειας αιώρηση έχει το εκκρεμές με το μικρότερο μήκος, ενώ ένα σημαντικό ποσοστό (σχεδόν το 27%) μαθητών εκφράζει την άποψη ότι η περίοδος του εκκρεμούς δεν εξαρτάται από το μήκος του. Η ιδέα της αναλογίας μεταξύ της περιόδου και του μήκους του

εκκρεμούς είναι η πιο συνηθισμένη από το είδος της σχέσης που οι μαθητές αποδίδουν στα δύο μεγέθη και βασίζεται στην αντίληψη της εξάρτησης του χρόνου αποκλειστικά από την απόσταση : «Το απλό εκκρεμές 1 (το εκκρεμές μεγαλύτερου μήκους) εκτελεί μια απλή αιώρηση μεγαλύτερης χρονικής διάρκειας από αυτή του εκκρεμούς 2 (το εκκρεμές μικρότερου μήκους). Επειδή το νήμα είναι μεγαλύτερο, άρα και η απόσταση θα είναι μεγαλύτερη» (Δόσης, 2006, σ.72), ισχυρίζεται χαρακτηριστικά ένας μαθητής.

ii. Οι νοητικές παραστάσεις της μεθοδολογικής συνιστώσας της επιστημονικής γνώσης

Οι μεθοδολογικές αντιλήψεις των μαθητών αυτής της ηλικίας αφορούν αφ' ενός στην αναγνώριση των μεταβλητών που υπεισέρχονται στη Γαλιλαϊκή μελέτη του απλού εκκρεμούς και αφ' ετέρου στις στρατηγικές ελέγχου των σχέσεων μεταξύ των μεταβλητών. Γενικά μπορεί να υποστηριχθεί, ότι οι μεθοδολογικές αντιλήψεις των μαθητών για το εκκρεμές, επηρεάζονται σημαντικά από τις πρότερες αντιλήψεις τους, τόσο στην αναγνώριση των μεταβλητών, όσο και στον έλεγχο υποθέσεων. Ειδικότερα, οι Pi-Ho Yang, Yong-Ju Kwon & Jin-Woo Jeong (2002) υποστηρίζουν ότι οι πρότερες αντιλήψεις των μαθητών επιδρούν στην αναγνώριση των μεταβλητών, με συνέπεια αφ' ενός την αναγνώριση μόνο των προφανών μεταβλητών και αφ' ετέρου την παράλειψη των διασυνδέσεων μεταξύ των μεταβλητών και των αποδείξεων που δεν επιβεβαιώνουν τις αρχικές τους αντιλήψεις. Έτσι, επιλέγουν ως ερευνητικές υποθέσεις εκείνες που τους φαίνονται να είναι οι πιο ασφαλείς, ενώ μεροληπτούν στην ερμηνεία των δεδομένων. Τη σπουδαιότητα των αντιλήψεων των παιδιών σε θέματα μεθοδολογίας της Φυσικής σε σχέση με προσδοκώμενες νοητικές αλλαγές τονίζουν, επίσης, οι Gil Perez & Carrascosa (1985), οι οποίοι επισημαίνουν την ανάγκη αλλαγής και των νοητικών παραστάσεων των μαθητών που σχετίζονται με αυτή τη συνιστώσα της επιστημονικής γνώσης, πέραν των εννοιολογικών, ενώ και ο Τσελφές (2002) αναγνωρίζει

τα προβλήματα χρήσης των μεθοδολογικών αναπαραστάσεων στη σχολική τάξη.

Από την άλλη πλευρά, αρκετές έρευνες έχουν γίνει στα πλαίσια του Πιαζετικού παραδείγματος όπου διερευνώνται οι στρατηγικές που χρησιμοποιούν τα παιδιά για να ελέγξουν τις μεταβλητές που υπεισέρχονται στην κίνηση του εκκρεμούς (Inhelder & Piaget, 1958; Stafford, 2002). Ένα ενδιαφέρον αποτέλεσμα αυτών των ερευνών είναι ότι παιδιά της ηλικίας που ενδιαφέρει την έρευνά μας, είναι, κατ' αρχήν, δυνατό να χρησιμοποιούν υποθετικο-παραγωγικό συλλογισμό, ζήτημα που σχετίζεται άμεσα με την επιστημονική μεθοδολογία. Σχετικά με τη στρατηγική του διαχωρισμού των μεταβλητών και της απαγόρευσης των ακατάλληλων συνδέσεων, η Inhelder αναφέρει χαρακτηριστικά ότι «προς τα 14-15 χρόνια, αλλά όχι νωρίτερα, οι έφηβοι σωστά ελέγχουν όλες τις δυνατές υποθέσεις συνδυάζοντάς τες μεθοδικά. Μεταβάλλοντας το μήκος, προσέχουν να διατηρούν το βάρος, το πλάτος και την ορμή σταθερά. Μεταβάλλοντας το βάρος, διατηρούν σταθερό το μήκος του νήματος, καθώς επίσης και όλους τους άλλους παράγοντες κλπ.» (Bond, 2002, p.123).

Αντιθέτως, στην ερευνητική διδασκαλία του απλού εκκρεμούς σε Έλληνες μαθητές της Γ' Γυμνασίου (Koumaras, 2002), οι μαθητές φαίνεται να αντιμετωπίζουν σοβαρά προβλήματα στη στρατηγική διερεύνησης της σχέσης της περιόδου του απλού εκκρεμούς με το βάρος και το μήκος του. Ειδικότερα, όταν ο εκπαιδευτικός τους ζητά να προτείνουν τρόπους μεταβολής της περιόδου του απλού εκκρεμούς, κάποιοι προτείνουν την αλλαγή του μήκους του και κάποιοι την αλλαγή του βάρους, με αποτέλεσμα την τελική συμφωνία όλων στην ταυτόχρονη αλλαγή τόσο του μήκους όσο και του βάρους του εκκρεμούς. Το πείραμα εκτελείται με την ταυτόχρονη μεταβολή και των δύο μεταβλητών και διαπιστώνεται η αλλαγή της περιόδου του εκκρεμούς. Ακολουθεί ο εξής διάλογος: « Εκπ: ...Γιατί νομίζετε ότι άλλαξε η περίοδος; Μ (πολλοί): Γιατί αλλάξαμε το βάρος Εκπ.: Και γιατί όχι επειδή αλλάξαμε το μήκος; Μ (λίγοι):

Οφείλεται και στα δύο Μ (πολλοί) Όχι κύριε, οφείλεται στο βάρος Εκπ: Και πώς το γνωρίζετε αυτό; Μ1: Θα κρατήσουμε το μήκος του νήματος σταθερό και θα αλλάξουμε το βάρος. Θα μετρήσουμε την περίοδο. Αν βρούμε μεγαλύτερο χρόνο τότε η αλλαγή της περιόδου θα οφείλεται στο βάρος» (Koumaras, 2002, σ. 215).

Σοβαρά είναι τα μεθοδολογικά προβλήματα που αντιμετωπίζουν οι Έλληνες μαθητές της Γ΄ Γυμνασίου, τόσο την αναγνώριση των κατάλληλων μεταβλητών που υπεισέρχονται στη μελέτη της κίνησης του απλού εκκρεμούς, όσο και στις στρατηγικές ελέγχου των σχέσεων μεταξύ των μεταβλητών. Όπως φαίνεται στην έρευνα Δόση (2006), το 71% των μαθητών του δείγματος δεν είναι σε θέση να αναγνωρίσει την ανεξάρτητη και την εξαρτημένη μεταβλητή σε μια σχετική πειραματική δραστηριότητα. Επιπλέον, στην ίδια έρευνα, προκύπτει ότι σχεδόν οι μισοί από τους μαθητές του δείγματος, δεν επιλέγουν τις κατάλληλες μεταβλητές προκειμένου να ελέγξουν τη μεταξύ τους συσχέτιση, ενώ ως προς την ακολουθούμενη στρατηγική, σχεδόν το 1/4 των μαθητών του δείγματος επιλέγει πάνω από δύο μεταβλητές στον έλεγχο της σχέσης τους. Στα πλαίσια της ίδιας έρευνας, η ανάλυση των γραπτών αναφορών και των φύλλων εργασίας πειραματικής ομάδας 19 μαθητών που συμμετείχαν σε ειδικά σχεδιασμένη διδασκαλία για το απλό εκκρεμές, επιβεβαιώνει την εξάρτηση των μεθοδολογικών δυσκολιών των μαθητών από τις αντίστοιχες εννοιολογικές δυσκολίες. Επιπλέον, η διαφοροποίηση των μεθοδολογικών συμπερασμάτων της έρευνας με τα αντίστοιχα αυτών που υποστηρίζουν έρευνες στα πλαίσια του Πιαζετικού παραδείγματος, αποδίδεται κατά κύριο λόγο στις εντελώς διαφορετικές επιδιώξεις και μεθοδολογίες μεταξύ των ερευνών και στις ριζικά διαφορετικές πειραματικές παραδόσεις της ελληνικής και της κεντρο-ευρωπαϊκής εκπαίδευσης και κοινωνίας (Δόσης, 2006).

iii. Οι νοητικές παραστάσεις της πολιτισμικής συνιστώσας της επιστημονικής γνώσης

Όπως έχει επισημανθεί, το πρώτο που καταδεικνύει η διερεύνηση των πολιτισμικών αντιλήψεων των μαθητών για το απλό εκκρεμές, είναι η σχεδόν παντελής απουσία από τη βιβλιογραφία ερευνών αναφορικά με τις νοητικές παραστάσεις των μαθητών για το ρόλο του απλού εκκρεμούς στην αξιόπιστη μέτρηση του χρόνου και στην κατασκευή μεγάλης ακρίβειας ωρολογιακών μηχανισμών. Η ίδια ακριβώς εικόνα αφορά και στις αντιλήψεις των μαθητών σχετικά με την επίδραση της αύξησης της ακρίβειας των ρολογιών στην εξέλιξη της επιστήμης, της τεχνολογίας και των ανακαλύψεων. Η παραπάνω επισημάνση, βρίσκεται σε πλήρη συμφωνία με τη διαπίστωση περί της πλήρους αναντιστοιχίας μεταξύ της πλούσιας συνεισφοράς του απλού εκκρεμούς στην ανάπτυξη των Φυσικών Επιστημών και στη διαμόρφωση του Δυτικού πολιτισμού και της υποβαθμισμένης πολιτισμικά θέσης του στη συντριπτική πλειοψηφία των αναλυτικών προγραμμάτων Φυσικών Επιστημών, σε όλο τον κόσμο (Matthews, 2001).

Μια πρώτη ανάλυση των πολιτισμικών αντιλήψεων των μαθητών σχετικά με την ακρίβεια των ρολογιών εκκρεμούς και την επίδραση της βελτίωσης της ακρίβειας των ρολογιών σε ανθρώπινες δραστηριότητες ή επιτεύγματα, καταγράφεται στα δεδομένα της επισκόπησης και της μελέτης περίπτωσης της έρευνας Δόση (2006). Ειδικότερα, σχετικά με την ακρίβεια του ρολογιού – εκκρεμούς συγκριτικά με το ηλιακό ρολόι και την κλεψύδρα, η απόλυτη πλειοψηφία (71%) των μαθητών αναγνωρίζει το ρολόι – εκκρεμές ως τον ακριβέστερο μηχανισμό μέτρησης του χρόνου. Ωστόσο, το 1/4 των μαθητών είτε κατονομάζει το ηλιακό ρολόι ως το πιο ακριβές (17% των μαθητών), είτε δηλώνει ότι δεν γνωρίζει ποια από τις τρεις συσκευές είναι η ακριβέστερη (περίπου το 8% μαθητών). Οι αιτιολογήσεις που προβάλλουν οι μαθητές που επιλέγουν το ρολόι-

εκκρεμές ως το ακριβέστερο, αφορούν στο γεγονός ότι χρησιμοποιείται μέχρι σήμερα ή στο ότι έχει τον πιο εξελιγμένο και περίπλοκο μηχανισμό. Επιπλέον, μερικοί αναφέρονται σε κριτήρια σχετικά με την αρχή λειτουργίας του ρολογιού, όπως ότι μεταξύ των τριών μηχανισμών είναι το μόνο που μετράει δευτερόλεπτα. Από την άλλη πλευρά, οι μαθητές που θεωρούν το ηλιακό ρολόι ως το πιο ακριβές, βασίζουν τις αιτιολογήσεις τους στην Αριστοτελική ιδέα της άμεσης συσχέτισης του χρόνου με την ουράνια κίνηση και στο γεγονός ότι η μέτρηση του ηλιακού ρολογιού βασίζεται στη σταθερή και αιώνια επαναλαμβανόμενη φαινομενική κίνηση του ήλιου.

Όσον αφορά στις αντιλήψεις των μαθητών για την επίδραση της βελτίωσης της ακρίβειας των ρολογιών στις ανθρώπινες δραστηριότητες, η πλειοψηφία των μαθητών φαίνεται να συσχετίζει κάποιες δραστηριότητες με τη βελτίωση της ακρίβειας των ρολογιών, αλλά όχι με διανοητικά, επιστημονικά επιτεύγματα. Πιο συγκεκριμένα, η απόλυτη πλειοψηφία των μαθητών θεωρεί ότι η βελτίωση της ακρίβειας των ρολογιών επέδρασε σημαντικά στα ταξίδια των πλοίων (85 % περίπου των μαθητών), ενώ δεν επηρέασε τις γεωργικές εργασίες (περίπου το 62 %). Αντίθετα, μόνο το 40 % περίπου των μαθητών φαίνεται να συσχετίζει την ανακάλυψη του σχήματος της Γης με τη βελτίωση της ακρίβειας των ρολογιών (Δόσης, 2006).

Ο περιορισμένος αριθμός των σχετικών με την πολιτισμική συνιστώσα της επιστημονικής γνώσης νοητικών παραστάσεων για το απλό εκκρεμές που προηγείται, καθιστά απαραίτητη τη διεύρυνση της καταγραφής και προς αυτή την κατεύθυνση συμβάλλει η εμπειρική έρευνα που ακολουθεί.

3.2 Διερεύνηση των νοητικών παραστάσεων μαθητών του ελληνικού Γυμνασίου για το απλό εκκρεμές

Στη συγκεκριμένη επισκόπηση των νοητικών παραστάσεων μαθητών της Γ΄

Γυμνασίου για το απλό εκκρεμές, λαμβάνουν μέρος 215 μαθητές και 210 μαθήτριες, από πέντε (5) διαφορετικά σχολεία διαφόρων συνοικιών της περιφέρειας Αττικής. Η κατανομή των σχολείων είναι τέτοια που γενικά η έρευνα να καλύπτει μαθητές διαφορετικών κοινωνικο-οικονομικών στρωμάτων. Η επισκόπηση πραγματοποιείται με γραπτό ερωτηματολόγιο (βλέπε ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι). Πριν τη συμπλήρωση του ερωτηματολογίου, οι μαθητές δεν είχαν συμμετάσχει σε συστηματική διδασκαλία του απλού εκκρεμούς, παρότι θεωρούνταν εξοικειωμένοι με το πλαίσιο της Νευτώνειας Μηχανικής, αφού η διδασκαλία της ξεκινά πρακτικά από την Ε΄ τάξη του Δημοτικού. Ο χρόνος συμπλήρωσης του ερωτηματολογίου είναι μια διδακτική ώρα, χωρίς την παρουσία του ερευνητή και χωρίς διευκρινήσεις από τον εκπαιδευτικό της συγκεκριμένης ώρας. Στους μαθητές δόθηκαν διαβεβαιώσεις ότι η συλλογή στοιχείων στα πλαίσια της σχετικής έρευνας σχετίζεται αποκλειστικά με τη βελτίωση της διδασκαλίας και ότι τα δεδομένα της έρευνας σε καμία περίπτωση δεν αξιολογούνται στα πλαίσια της σχολικής αξιολόγησης.

Βασικός στόχος του συγκεκριμένου ερωτηματολογίου είναι η αποτύπωση των απαντήσεων των μαθητών της συγκεκριμένης ηλικίας, αναφορικά με την κίνηση του απλού εκκρεμούς, στο Γαλιλαϊκό πλαίσιο, στις τρεις συνιστώσες της επιστημονικής γνώσης. Για την εξυπηρέτηση του παραπάνω κεντρικού στόχου το ερωτηματολόγιο δομείται σε τρεις ενότητες: (α) την πολιτισμική, (β) την εννοιολογική και (γ) τη μεθοδολογική, μία για κάθε συνιστώσα της επιστημονικής γνώσης που σχετίζεται με το απλό εκκρεμές. Κάθε ενότητα αποτελείται από τρεις κλειστές ερωτήσεις, σε μια από τις οποίες ζητείται επιπρόσθετα η αιτιολόγηση των επικαλούμενων αντιλήψεων (βλέπε ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ).

Πιο ειδικά, στις ερωτήσεις της πολιτισμικής ενότητας επιδιώκεται η καταγραφή των απόψεων των μαθητών σχετικά (α) με τους λόγους για τους οποίους ο Galileo

μελέτησε την κίνηση του απλού εκκρεμούς, (β) με το αν η ανακάλυψη του ρολογιού – εκκρεμούς επηρέασε την ανάπτυξη της ναυσιπλοΐας και την ανακάλυψη του γήινου σχήματος και (γ) με τα γνωστικά προαπαιτούμενα της μελέτης των ιδιοτήτων του απλού εκκρεμούς σε σχέση με την τεχνολογική γνώση κατασκευής του ρολογιού – εκκρεμούς ή το αντίστροφο. Επιπλέον, στην τελευταία ερώτηση, διερευνώνται οι λόγοι που οι μαθητές επικαλούνται προκειμένου να αιτιολογήσουν τις απόψεις τους.

Στη συνέχεια, με τις ερωτήσεις της εννοιολογικής ενότητας, επιδιώκεται η ανίχνευση των νοητικών παραστάσεων των μαθητών σχετικά με τη σχέση της περιόδου του απλού εκκρεμούς με το βάρος του, το πλάτος της αιώρησής του και το μήκος του. Επιπρόσθετα, οι αιτιολογήσεις των μαθητών αφορούν στις επιλογές τους σχετικά με τη σχέση της περιόδου με το πλάτος της αιώρησης.

Τέλος, οι μεθοδολογικού χαρακτήρα ερωτήσεις επιδιώκουν την ανίχνευση των αντιλήψεων των μαθητών που σχετίζονται με την αναγνώριση των κατάλληλων μεταβλητών στη διερεύνηση της σχέσης της περιόδου του απλού εκκρεμούς με το πλάτος της αιώρησης, με το μήκος του νήματος και με το βάρος του εκκρεμούς, καθώς και οι αντιλήψεις τους σχετικά με τις στρατηγικές ελέγχου της σχέσης μεταξύ των μεταβλητών. Επιπλέον, ζητείται η αιτιολόγηση των μεθοδολογικών αντιλήψεων των μαθητών σχετικά με την επιλογή της ερευνητικής στρατηγικής στη σχέση της περιόδου με το πλάτος της αιώρησης.

Η στατιστική ανάλυση των απαντήσεων των μαθητών και η περιγραφή των σημαντικότερων αντιλήψεων που αυτοί φαίνεται να έχουν, παρουσιάζεται σε τρεις ενότητες: (α) οι νοητικές παραστάσεις της πολιτισμικής συνιστώσας της επιστημονικής γνώσης, (β) οι νοητικές παραστάσεις της εννοιολογικής συνιστώσας της επιστημονικής γνώσης και (γ) οι νοητικές παραστάσεις της μεθοδολογικής συνιστώσας της επιστημονικής γνώσης, αντίστοιχες της δομής του ερωτηματολογίου. Στην οργάνωση

και παρουσίαση των αρχικών δεδομένων γίνεται χρήση στοιχείων περιγραφικής στατιστικής και συγκεκριμένα, λόγω της κατηγορικής φύσης των δεδομένων, πινάκων συχνοτήτων, ακιδωτών διαγραμμάτων και κυκλικών διαγραμμάτων. Οι απαντήσεις κάθε ερώτησης του ερωτηματολογίου, υποβάλλονται στον στατιστικό έλεγχο χ^2 ως δείκτη προσαρμογής, προκειμένου να διαπιστωθεί αν οι εμφανιζόμενες συχνότητες ακολουθούν την ομοιόμορφη κατανομή, δηλαδή είναι τυχαίες ή όχι (Ρούσσος & Τσαούσης, 2002, Howitt & Cramer, 2011). Στην ανάλυση των αποτελεσμάτων έγινε χρήση του στατιστικού πακέτου SPSS 19.

i. Οι νοητικές παραστάσεις της πολιτισμικής συνιστώσας της επιστημονικής γνώσης

Η 1η ερώτηση του ερωτηματολογίου αφορά στη διερεύνηση των αντιλήψεων των μαθητών σχετικά με τους λόγους για τους οποίους ο Galileo ασχολήθηκε με τη μελέτη του απλού εκκρεμούς. Οι απόλυτες και οι σχετικές συχνότητες των απαντήσεων που έδωσαν οι μαθητές στην ερώτηση φαίνονται στον πίνακα 3.1. Ο δείκτης προσαρμογής των απαντήσεων στη συγκεκριμένη ερώτηση είναι $\chi^2(2) = 443,75$, $p < 0.001$ και επομένως μπορεί βάσιμα να υποστηριχθεί η υπόθεση ότι οι σχετικές απαντήσεις των μαθητών δεν είναι τυχαίες.

Απάντηση	Απόλυτη Συχνότητα	Σχετική συχνότητα %
Η μέτρηση του χρόνου	62	14,6
Η μελέτη της ταλάντωσης	343	80,7
Δεν γνωρίζω	17	4,0
Σύνολο απαντήσεων	422	99,3
Μαθητές που δεν απάντησαν	3	0,7
Σύνολο μαθητών	425	100,0

Πίνακας 3.1: Οι απαντήσεις των μαθητών στην ερώτηση 1

Όπως προκύπτει από τον πίνακα 3.1, η συντριπτική πλειοψηφία των μαθητών του δείγματος (σχεδόν 81%), θεωρεί ότι η Γαλιλαϊκή μελέτη του απλού εκκρεμούς

συντελείται στα πλαίσια της μελέτης των ταλαντώσεων. Η παραπάνω άποψη μέλλει να ενισχυθεί στα πλαίσια της παραδοσιακής διδακτικής προσέγγισης του απλού εκκρεμούς, όπου η κίνηση του εκκρεμούς δεν αποτελεί παρά μια περίπτωση εφαρμογής στη μελέτη των ταλαντώσεων. Από την άλλη πλευρά, υπάρχει ένα μικρό, αλλά σημαντικό ποσοστό μαθητών, που συνδέει τη μελέτη της κίνησης του εκκρεμούς από τον Galileo με την προσπάθεια μέτρησης του χρόνου. Συνολικά, μπορεί βάσιμα να υποστηριχθεί ότι οι απαντήσεις των μαθητών διαφέρουν από τους λόγους για τους οποίους ο Galileo ασχολήθηκε με τη μελέτη του απλού εκκρεμούς.

Η 2η ερώτηση του ερωτηματολογίου είναι διπλή, σε μια προσπάθεια διερεύνησης των αντιλήψεων των μαθητών σχετικά με το αν συσχετίζουν το ρολόι – εκκρεμές με την ανάπτυξη της ναυσιπλοΐας (ερώτηση 2α), από τη μια πλευρά και την ανακάλυψη του πεπλατυσμένου σχήματος της γήινης σφαίρας (ερώτηση 2β), από την άλλη. Οι απόλυτες και οι σχετικές συχνότητες των απαντήσεων των μαθητών δίνονται στους πίνακες 3.2 και 3.3, αντίστοιχα. Ο δείκτης προσαρμογής στις απαντήσεις της ερώτησης 2α είναι $X^2(2) = 74,58$ με $p < 0.001$, ενώ της 2β είναι $X^2(2) = 56,97$, $p < 0.001$ και επομένως μπορεί βάσιμα να υποστηριχθεί η υπόθεση ότι η κατανομή των απαντήσεων των μαθητών και στις δύο περιπτώσεις δεν είναι τυχαία.

Απάντηση	Απόλυτη Συχνότητα	Σχετική συχνότητα %
Σωστό	225	52,9
Λάθος	104	24,5
Δεν γνωρίζω	95	22,4
Σύνολο απαντήσεων	424	99,8
Μαθητές που δεν απάντησαν	1	0,2
Σύνολο μαθητών	425	100,0

Πίνακας 3.2: Οι απαντήσεις των μαθητών στην ερώτηση 2α

Όπως φαίνεται στον πίνακα 3.2, η απόλυτη πλειοψηφία των μαθητών (περίπου

το 53%), θεωρεί ότι η ανακάλυψη του ρολογιού – εκκρεμούς επηρέασε σε σημαντικό βαθμό τη ναυσιπλοΐα, ενώ το 1/4 περίπου των μαθητών φαίνεται να διαφωνεί. Σημαντικό επίσης είναι το ποσοστό των μαθητών που δηλώνουν ότι δε γνωρίζουν αν υπάρχει συσχέτιση (ποσοστό 22 %). Συμπερασματικά, αν συνυπολογιστεί το ποσοστό των διαφωνούντων μαθητών με τους μαθητές που δήλωσαν άγνοια (συνολικά σχεδόν 47%), φαίνεται ότι οι απαντήσεις περίπου των μισών μαθητών διαφέρουν από τις αντίστοιχες παραδεκτές, σχετικά με τη σχέση της ανακάλυψης του ρολογιού – εκκρεμούς και της ανάπτυξης της ναυσιπλοΐας. Η πιθανότερη αιτία γι' αυτό είναι μάλλον η άγνοια του σχετικού πολιτισμικού πλαισίου.

Το ίδιο φαίνεται να συμβαίνει και στην επόμενη ερώτηση, όπως μπορεί να διαπιστωθεί από τον παρακάτω πίνακα 3.3, όπου οι απαντήσεις των μαθητών σχετικά με την ύπαρξη συσχέτισης μεταξύ της ανακάλυψης του ρολογιού – εκκρεμούς και της γνώσης του ακριβούς σχήματος της Γης είναι μοιρασμένες.

Ειδικότερα, το 44 % περίπου των μαθητών θεωρεί ότι η γνώση του ακριβούς σχήματος της Γης επηρεάστηκε από την ανακάλυψη του ρολογιού – εκκρεμούς, ενώ το 39% δηλώνει το αντίθετο. Αρκετό είναι επίσης το ποσοστό των μαθητών που δηλώνουν ότι δε γνωρίζουν (16%).

Απάντηση	Απόλυτη Συχνότητα	Σχετική συχνότητα %
Σωστό	186	43,8
Λάθος	166	39,1
Δεν γνωρίζω	68	16,0
Σύνολο απαντήσεων	420	98,8
Μαθητές που δεν απάντησαν	5	1,2
Σύνολο μαθητών	425	100,0

Πίνακας 3.3: Οι απαντήσεις των μαθητών στην ερώτηση 2β

Τέλος η 3η ερώτηση του ερωτηματολογίου διερευνά τη σχέση μεταξύ της

επιστημονικής γνώσης των ιδιοτήτων του απλού εκκρεμούς και της τεχνολογικής γνώσης κατασκευής του ρολογιού – εκκρεμούς. Οι απόλυτες και οι σχετικές συχνότητες των απαντήσεων των μαθητών δίνονται στον πίνακα 3.4. Ο δείκτης προσαρμογής των απαντήσεων στη συγκεκριμένη ερώτηση είναι $X^2(2) = 242,65$, $p < 0.001$ και επομένως μπορεί βάσιμα να υποστηριχθεί η υπόθεση ότι οι απαντήσεις των μαθητών δεν είναι τυχαίες.

Απάντηση	Απόλυτη Συχνότητα	Σχετική συχνότητα %
Του ρολογιού	63	14,8
Του εκκρεμούς	292	68,7
Δεν γνωρίζω	68	16,0
Σύνολο απαντήσεων	423	99,5
Μαθητές που δεν απάντησαν	2	0,5
Σύνολο μαθητών	425	100,0

Πίνακας 3.4: Οι απαντήσεις των μαθητών στην ερώτηση 3

Όπως φαίνεται στον πίνακα 3.4, η απόλυτη πλειοψηφία των μαθητών (ποσοστό σχεδόν 69%) θεωρεί ότι για να κατασκευαστεί ένα ρολόι-εκκρεμές πρέπει να έχει προηγηθεί η μελέτη των ιδιοτήτων της κίνησης του απλού εκκρεμούς. Αντιθέτως, το 15% περίπου των μαθητών φαίνεται να υποστηρίζει ότι η γνώση κατασκευής του ρολογιού – εκκρεμούς προηγείται της μελέτης του εκκρεμούς, ενώ παρόμοιο ποσοστό μαθητών (16%), δηλώνει ότι δε γνωρίζει.

Οι κυριότεροι ισχυρισμοί που προβάλλει το ποσοστό των μαθητών που θεωρεί ότι η μελέτη των ιδιοτήτων της κίνησης του απλού εκκρεμούς είναι προαπαιτούμενο της τεχνολογικής γνώσης κατασκευής του ρολογιού – εκκρεμούς, είναι ότι: α) η γνώση του απλού προηγείται του σύνθετου και επομένως η μελέτη του απλού εκκρεμούς προηγείται της γνώσης της κατασκευής του ρολογιού – εκκρεμούς, αφού το εκκρεμές ως μηχανισμός είναι απλούστερο του ρολογιού β) η γνώση του μέρους προηγείται της

γνώσης του όλου και επομένως η γνώση του απλού εκκρεμούς προηγείται της γνώσης του ρολογιού αφού το εκκρεμές είναι ένα από τα εξαρτήματα του ρολογιού και γ) το εκκρεμές είναι αρχαιότερος μηχανισμός από το ρολόι και επομένως μελετήθηκε πρώτο. Από την άλλη πλευρά, ο κυριότερος λόγος που επικαλείται το ποσοστό των μαθητών που θεωρεί ότι η γνώση κατασκευής του ρολογιού – εκκρεμούς είναι προαπαιτούμενο της μελέτης του απλού εκκρεμούς, σχετίζεται με τη γενική υπόθεση ότι η κατανόηση του όλου είναι απαραίτητη προϋπόθεση κατανόησης της λειτουργίας του μέρους και επομένως, η γνώση κατασκευής του ρολογιού – εκκρεμούς νοηματοδοτεί τη χρήση και λειτουργία του απλού εκκρεμούς.

ii. Οι νοητικές παραστάσεις της εννοιολογικής συνιστώσας της επιστημονικής γνώσης

Η 4η ερώτηση του ερωτηματολογίου είναι η πρώτη από τις ερωτήσεις που στοχεύουν στη διερεύνηση των νοητικών παραστάσεων των μαθητών σχετικά με το εννοιολογικό Γαλιλαϊκό πλαίσιο μελέτης της κίνησης του απλού εκκρεμούς. Ειδικότερα, στη συγκεκριμένη ερώτηση επιχειρείται η καταγραφή των απαντήσεων των μαθητών σχετικά με τη σχέση της περιόδου του απλού εκκρεμούς με το βάρος του βαριδίου του. Στους μαθητές παρουσιάζονται δύο πανομοιότυπα εκκρεμή, ένα κατασκευασμένο από φελλό και το άλλο από σίδηρο και τους ζητείται να επιλέξουν το εκκρεμές που θα κάνει αιώρηση μεγαλύτερης διάρκειας. Οι απόλυτες και οι σχετικές συχνότητες των απαντήσεων που έδωσαν οι μαθητές στην ερώτηση, φαίνονται στον πίνακα 3.5. Ο δείκτης προσαρμογής των απαντήσεων στη συγκεκριμένη ερώτηση είναι $\chi^2(3) = 168,6, p < 0.001$ και επομένως μπορεί βάσιμα να υποστηριχθεί η υπόθεση ότι οι σχετικές απαντήσεις των μαθητών δεν είναι τυχαίες.

Όπως φαίνεται στον πίνακα 3.5, η πλειοψηφία των μαθητών (41%) θεωρεί ότι το βαρύτερο εκκρεμές κάνει αιωρήσεις μεγαλύτερης χρονικής διάρκειας, ενώ σχεδόν ίσο

ποσοστό μαθητών (39%) θεωρεί ακριβώς το αντίστροφο, ότι δηλαδή μεγαλύτερης διάρκειας αιώρηση κάνει το ελαφρύ εκκρεμές. Αν ληφθεί υπόψη ότι μόνο το 15,5 % των μαθητών υποστηρίζει την ανεξαρτησία της περιόδου του απλού εκκρεμούς από το βάρος του, μπορεί βάσιμα να υποστηριχθεί ότι η συντριπτική πλειοψηφία των μαθητών (πάνω από 80%), θεωρεί ότι το βάρος του βαριδιού επιδρά στην περίοδο του απλού εκκρεμούς, άποψη που είναι σε συμφωνία και με τα βιβλιογραφικά δεδομένα (Pi-Ho Yang, Yong-Ju Kwon & Jin-Woo Jeong, 2002; Sumida, 2005).

Απάντηση	Απόλυτη Συχνότητα	Σχετική συχνότητα %
Το ελαφρύτερο	166	39,1
Το βαρύτερο	175	41,2
Ίση διάρκεια και τα δύο	66	15,5
Δεν γνωρίζω	17	4,0
Σύνολο απαντήσεων	424	99,8
Μαθητές που δεν απάντησαν	1	0,2
Σύνολο μαθητών	425	100,0

Πίνακας 3.5: Οι απαντήσεις των μαθητών στην ερώτηση 4

Η 5η ερώτηση του ερωτηματολογίου αναφέρεται στη σχέση της περιόδου του απλού εκκρεμούς με το πλάτος της αιώρησης και συνιστά το επίκεντρο της Γαλιλαϊκής θεώρησης του ισόχρονου της κίνησής του. Στους μαθητές παρουσιάζεται ένα εκκρεμές το οποίο αφήνεται να αιωρηθεί ελεύθερα και τους ζητείται πρόβλεψη σχετικά με την εξέλιξη της χρονικής διάρκειας της αιώρησης. Οι απόλυτες και οι σχετικές συχνότητες των απαντήσεων που έδωσαν οι μαθητές στην ερώτηση, φαίνονται στον πίνακα 3.6. Ο δείκτης προσαρμογής των απαντήσεων στη συγκεκριμένη ερώτηση είναι $\chi^2(3) = 383,57$, $p < 0.001$ και επομένως μπορεί βάσιμα να υποστηριχθεί η υπόθεση ότι οι σχετικές απαντήσεις των μαθητών δεν είναι τυχαίες.

Απάντηση	Απόλυτη Συχνότητα	Σχετική συχνότητα %
Η διάρκεια αυξάνεται	53	12,5
Η διάρκεια μειώνεται	281	66,1
Η διάρκεια δεν μεταβάλλεται	46	10,8
Δεν γνωρίζω	45	10,6
Σύνολο μαθητών	425	100,0

Πίνακας 3.6: Οι απαντήσεις των μαθητών στην ερώτηση 5

Όπως φαίνεται στον πίνακα 3.6, μόνο το 1/10 περίπου των μαθητών θεωρεί ότι η διάρκεια της αιώρησης δε μεταβάλλεται κατά την εξέλιξη των ταλαντώσεων του εκκρεμούς. Η συντριπτική πλειοψηφία των μαθητών (πάνω από 72 %) θεωρεί ότι η περίοδος του απλού εκκρεμούς μεταβάλλεται ως συνάρτηση του πλάτους του και κατά συνέπεια εκφράζει αντιλήψεις που διαφέρουν ριζικά από τη Γαλιλαϊκή θεώρηση της ισόχρονης κίνησης του απλού εκκρεμούς. Ειδικότερα, ποσοστό 66% περίπου, θεωρεί ότι η μείωση του πλάτους της αιώρησης συνοδεύεται με μείωση της διάρκειας της αιώρησης, ενώ ποσοστό 12,5 % υποστηρίζει ακριβώς το αντίθετο, ότι δηλαδή η μείωση του πλάτους της αιώρησης ακολουθείται από αύξηση της διάρκειας της αιώρησης.

Οι αιτιολογήσεις που προβάλλει το ποσοστό των μαθητών που θεωρεί ότι η μείωση του πλάτους της αιώρησης αυξάνει τη διάρκεια της αιώρησης βασίζονται, κατά κύριο λόγο, στον ισχυρισμό ότι η μείωση του πλάτους επιφέρει μείωση στην ταχύτητα ή και στη δύναμη/ώθηση του εκκρεμούς και επομένως αύξηση στη διάρκεια των αιωρήσεων. Από την άλλη πλευρά, η κυριότερη αιτιολογία που προβάλλει το ποσοστό των μαθητών που θεωρεί ότι η μείωση του πλάτους της αιώρησης μειώνει τη διάρκεια της αιώρησης σχετίζεται, κατά κύριο λόγο, με την ελάττωση της διανυόμενης απόστασης, ελάττωση στην οποία αποδίδεται η μείωση της χρονικής διάρκειας. Τα παραπάνω αποτελέσματα, που είναι σε πλήρη συμφωνία με τα βιβλιογραφικά δεδομένα (Il-Ho Yang, Yong-Ju Kwon & Jin-Woo Jeong, 2002; Sumida, 2005; Δόσης, 2006),

επιβεβαιώνουν ότι η πλειοψηφία των μαθητών θεωρεί ότι το πλάτος της αιώρησης του απλού εκκρεμούς επηρεάζει την τιμή της περιόδου του.

Τέλος, με την ερώτηση 6 του ερωτηματολογίου επιχειρείται η καταγραφή των απαντήσεων των μαθητών σχετικά με τη σχέση της περιόδου του απλού εκκρεμούς με το μήκος του. Στους μαθητές παρουσιάζονται δύο πανομοιότυπα εκκρεμή που διαφέρουν μόνο στο μήκος τους και τους ζητείται να επιλέξουν το εκκρεμές που θα κάνει αιώρηση μεγαλύτερης διάρκειας. Οι απόλυτες και οι σχετικές συχνότητες των απαντήσεων των μαθητών φαίνονται στον πίνακα 3.7. Ο δείκτης προσαρμογής των απαντήσεων στη συγκεκριμένη ερώτηση είναι $X^2(3) = 251,19$, $p < 0.001$ και επομένως μπορεί βάσιμα να υποστηριχθεί η υπόθεση ότι οι σχετικές απαντήσεις των μαθητών δεν είναι τυχαίες.

Όπως φαίνεται στον πίνακα 3.7, η απόλυτη πλειοψηφία των μαθητών (πάνω από 54 %), θεωρεί ότι το μεγαλύτερου μήκους εκκρεμές είναι αυτό που εκτελεί αιώρηση μεγαλύτερης χρονικής διάρκειας, άποψη απόλυτα σύμφωνη με την αντίστοιχη επιστημονική. Από την άλλη πλευρά, στις απαντήσεις του 1/3 των μαθητών εμφανίζεται η αντίληψη ότι η περίοδος του απλού εκκρεμούς είναι ανεξάρτητη του μήκους του, ενώ ποσοστό πάνω από 12 % θεωρεί ότι το μικρότερου μήκους εκκρεμές έχει τη μεγαλύτερη περίοδο. Αν στους παραπάνω μαθητές προστεθούν και εκείνοι που δηλώνουν ότι δε γνωρίζουν ποιο από τα δύο εκκρεμή κάνει μεγαλύτερης διάρκειας αιώρηση, τότε ένα σημαντικό ποσοστό μαθητών (πάνω από το 46%), φαίνεται να έχει αντιλήψεις που διαφέρουν από τις επιστημονικά αποδεκτές σχετικά με τη σχέση της περιόδου του απλού εκκρεμούς με το μήκος του. Τα παραπάνω αποτελέσματα είναι σε πλήρη συμφωνία με τα βιβλιογραφικά δεδομένα (Pi-Ho Yang, Yong-Ju Kwon & Jin-Woo Jeong, 2002; Sumida, 2005; Δόσης, 2006) και επιβεβαιώνουν ότι η πλειοψηφία των μαθητών θεωρεί ότι το μήκος του απλού εκκρεμούς επηρεάζει την τιμή της

περιόδου του.

Απάντηση	Απόλυτη Συχνότητα	Σχετική συχνότητα %
Το μεγαλύτερου μήκους	230	54,1
Το μικρότερου μήκους	52	12,2
Ίση διάρκεια και τα δύο	123	28,9
Δεν γνωρίζω	17	4,0
Σύνολο απαντήσεων	422	99,3
Μαθητές που δεν απάντησαν	3	0,7
Σύνολο μαθητών	425	100,0

Πίνακας 3.7: Οι απαντήσεις των μαθητών στην ερώτηση 6

iii. Οι νοητικές παραστάσεις της μεθοδολογικής συνιστώσας της επιστημονικής γνώσης

Η 7η ερώτηση του ερωτηματολογίου είναι η πρώτη από τις τρεις ερωτήσεις που στοχεύουν στην αποτύπωση των μεθοδολογικών απόψεων των μαθητών. Ειδικότερα, η συγκεκριμένη ερώτηση αφορά στην επιλογή των κατάλληλων μεταβλητών και των στρατηγικών ελέγχου της σχέσης της περιόδου του απλού εκκρεμούς με το πλάτος του. Στους μαθητές παρουσιάζονται τρία απλά εκκρεμή τα οποία διαφέρουν ανά δύο, είτε ως προς τη θέση από την οποία τα αφήνουμε (από πιο ψηλά ή πιο χαμηλά), είτε ως προς το μήκος του νήματος και τους ζητείται να επιλέξουν τον κατάλληλο συνδυασμό από τα εκκρεμή που θα χρησιμοποιούσαν για να ελέγξουν την πιθανή επίδραση που έχει η θέση, από την οποία αφήνουμε το εκκρεμές, στη χρονική διάρκεια μιας αιώρησης. Οι απόλυτες και οι σχετικές συχνότητες των απαντήσεων που έδωσαν οι μαθητές στην ερώτηση, φαίνονται στον πίνακα 3.8. Ο δείκτης προσαρμογής των απαντήσεων στη συγκεκριμένη ερώτηση είναι $X^2(4) = 93,1$, $p < 0.001$ και επομένως μπορεί βάσιμα να υποστηριχθεί η υπόθεση ότι οι σχετικές απαντήσεις των μαθητών δεν είναι τυχαίες.

Απάντηση	Απόλυτη Συχνότητα	Σχετική συχνότητα %
Τα δύο που διαφέρουν μόνο στο μήκος	58	13,6
Τα δύο που διαφέρουν μόνο στο αρχικό ύψος	161	37,9
Τα δύο που διαφέρουν στο μήκος και στο αρχικό ύψος	55	12,9
Όλα	67	15,8
Δεν γνωρίζω	77	18,1
Σύνολο απαντήσεων	418	98,4
Μαθητές που δεν απάντησαν	7	1,6
Σύνολο μαθητών	425	100,0

Πίνακας 3.8: Οι απαντήσεις των μαθητών στην ερώτηση 7

Όπως φαίνεται στον πίνακα 3.8, μόνο το 38 % περίπου των μαθητών φαίνεται να αναγνωρίζει την κατάλληλη μεταβλητή διερεύνησης της σχέσης της περιόδου του απλού εκκρεμούς με το πλάτος του, καθώς επίσης και τη στρατηγική ελέγχου της σχέσης μεταξύ των δύο μεταβλητών. Από την άλλη πλευρά, η απόλυτη πλειοψηφία των μαθητών φαίνεται να αντιμετωπίζει σοβαρά προβλήματα τόσο στην αναγνώριση των κατάλληλων μεταβλητών, όσο και στη στρατηγική χρήσης τους στον έλεγχο των σχέσεων. Ειδικότερα, ποσοστό σχεδόν 32% των μαθητών φαίνεται να μην αναγνωρίζει την κατάλληλη μεταβλητή αφού είτε επιλέγει εκκρεμή που διαφέρουν μόνο στο μήκος τους (13,6 %), είτε δηλώνει άγνοια (18,1 %). Επιπλέον, ποσοστό σχεδόν 29 % των μαθητών φαίνεται να αγνοεί τη στρατηγική ελέγχου της σχέσης δύο μεταβλητών, αφού επιλέγει δύο εκκρεμή που διαφέρουν σε δύο μεταβλητές ταυτόχρονα, δηλαδή και στο μήκος τους και στο αρχικό ύψος εκκίνησης της αιώρησης.

Χρήσιμα συμπεράσματα προκύπτουν από τους λόγους που επικαλούνται οι μαθητές για να αιτιολογήσουν τις απόψεις τους σχετικά με την επιλογή των κατάλληλων εκκρεμών, στον έλεγχο της σχέσης της περιόδου του εκκρεμούς με το πλάτος του. Ειδικότερα, μόνο το 53% του ποσοστού των μαθητών που επιλέγουν τα

κατάλληλα εκκρεμή αιτιολογεί την επιλογή του στη βάση της γνώσης της στρατηγικής ελέγχου της σχέσης των μεταβλητών της περιόδου και της αρχικής θέσης/πλάτους της αιώρησης. Οι υπόλοιποι, παρότι επιλέγουν τα κατάλληλα εκκρεμή, αιτιολογούν την επιλογή τους παρόμοια με τους υπόλοιπους μαθητές που επιλέγουν ακατάλληλο συνδυασμό εκκρεμών, αναφερόμενοι είτε στη μεταβλητή του μήκους είτε σε φαινομενολογικά χαρακτηριστικά των εκκρεμών.

Η 8^η ερώτηση του ερωτηματολογίου αναφέρεται στην επιλογή των κατάλληλων μεταβλητών και στρατηγικών ελέγχου της σχέσης της περιόδου του απλού εκκρεμούς με το μήκος του. Στους μαθητές παρουσιάζονται τρία απλά εκκρεμή τα οποία διαφέρουν ανά δύο, είτε ως προς το μήκος τους, είτε ως προς το βάρος τους και τους ζητείται να επιλέξουν τον κατάλληλο συνδυασμό από τα εκκρεμή που θα χρησιμοποιούσαν για να ελέγξουν την πιθανή επίδραση που έχει το μήκος του εκκρεμούς, στη χρονική διάρκεια μιας αιώρησης. Οι απόλυτες και οι σχετικές συχνότητες των απαντήσεων που έδωσαν οι μαθητές στην ερώτηση, φαίνονται στον πίνακα 3.9. Ο δείκτης προσαρμογής των απαντήσεων στη συγκεκριμένη ερώτηση είναι $\chi^2(4) = 315,3$, $p < 0.001$ και επομένως μπορεί βάσιμα να υποστηριχθεί η υπόθεση ότι οι σχετικές απαντήσεις των μαθητών δεν είναι τυχαίες.

Απάντηση	Απόλυτη Συχνότητα	Σχετική συχνότητα %
Τα δύο που διαφέρουν στο μήκος και στο βάρος	31	7,3
Τα δύο που διαφέρουν μόνο στο βάρος	118	27,8
Τα δύο που διαφέρουν μόνο στο μήκος	207	48,7
Όλα	34	8,0
Δεν γνωρίζω	19	4,5
Σύνολο απαντήσεων	409	96,2
Μαθητές που δεν απάντησαν	16	3,8
Σύνολο μαθητών	425	100,0

Πίνακας 3.9: Οι απαντήσεις των μαθητών στην ερώτηση 8

Όπως φαίνεται στον πίνακα 3.9, λίγο λιγότεροι από τους μισούς μαθητές φαίνεται να αναγνωρίζουν τη κατάλληλη μεταβλητή διερεύνησης της σχέσης της περιόδου του απλού εκκρεμούς με το μήκος του, καθώς επίσης και τη στρατηγική ελέγχου της σχέσης μεταξύ των δύο μεταβλητών. Από την άλλη πλευρά, πάνω από τους μισούς μαθητές φαίνεται να αντιμετωπίζουν σοβαρά προβλήματα τόσο στην αναγνώριση των κατάλληλων μεταβλητών, όσο και στη στρατηγική χρήσης τους στον έλεγχο των σχέσεων. Ειδικότερα, το 1/3 των μαθητών φαίνεται να μην αναγνωρίζει την κατάλληλη μεταβλητή, αφού είτε επιλέγει εκκρεμή που διαφέρουν μόνο στο βάρος τους (27,8 %), είτε δηλώνει άγνοια (4,5 %). Επιπλέον, ποσοστό σχεδόν 15,3 % των μαθητών φαίνεται να αγνοεί τη στρατηγική ελέγχου της σχέσης δύο μεταβλητών, αφού επιλέγει δύο εκκρεμή που διαφέρουν σε δύο μεταβλητές ταυτόχρονα, δηλαδή και στο μήκος και στο βάρος τους.

Τέλος στην 9^η ερώτηση του ερωτηματολογίου επιχειρείται η καταγραφή των απαντήσεων των μαθητών σχετικά με την επιλογή των κατάλληλων μεταβλητών και στρατηγικών ελέγχου της σχέσης της περιόδου του απλού εκκρεμούς με το βάρος του. Στους μαθητές παρουσιάζονται τρία απλά εκκρεμή τα οποία διαφέρουν ανά δύο, είτε ως προς το βάρος τους, είτε ως προς το πλάτος της αιώρησής τους και τους ζητείται να επιλέξουν τον κατάλληλο συνδυασμό από τα εκκρεμή που θα χρησιμοποιούσαν για να ελέγξουν την πιθανή επίδραση που έχει το βάρος του εκκρεμούς στη χρονική διάρκεια μιας αιώρησης. Οι απόλυτες και οι σχετικές συχνότητες των απαντήσεων που έδωσαν οι μαθητές στην ερώτηση, φαίνονται στον πίνακα 3.10. Ο δείκτης προσαρμογής των απαντήσεων στη συγκεκριμένη ερώτηση είναι $X^2(4) = 396,5$, $p < 0.001$ και επομένως μπορεί βάσιμα να υποστηριχθεί η υπόθεση ότι οι σχετικές απαντήσεις των μαθητών δεν είναι τυχαίες.

Απάντηση	Απόλυτη Συχνότητα	Σχετική συχνότητα %
Τα δύο που διαφέρουν μόνο στο βάρος	237	55,8
Τα δύο που διαφέρουν μόνο στο αρχικό ύψος	73	17,2
Τα δύο που διαφέρουν στο βάρος και στο αρχικό ύψος	36	8,5
Όλα	32	7,5
Δεν γνωρίζω	25	5,9
Σύνολο απαντήσεων	403	94,8
Μαθητές που δεν απάντησαν	22	5,2
Σύνολο μαθητών	425	100,0

Πίνακας 3.10: Οι απαντήσεις των μαθητών στην ερώτηση 9

Όπως φαίνεται στον πίνακα 3.10, η απόλυτη πλειοψηφία των μαθητών (ποσοστό σχεδόν 56 %) φαίνεται να αναγνωρίζει την κατάλληλη μεταβλητή διερεύνησης της σχέσης της περιόδου του απλού εκκρεμούς με το βάρος του, καθώς επίσης και τη στρατηγική ελέγχου της σχέσης μεταξύ των δύο μεταβλητών. Από την άλλη πλευρά, ένα σημαντικό ποσοστό μαθητών (περίπου το 31 %) φαίνεται να αντιμετωπίζει σοβαρά προβλήματα τόσο στην αναγνώριση των κατάλληλων μεταβλητών, όσο και στη στρατηγική χρήσης τους στον έλεγχο των σχέσεων. Ειδικότερα, ποσοστό πάνω από 23% των μαθητών φαίνεται να μην αναγνωρίζει την κατάλληλη μεταβλητή αφού είτε επιλέγει εκκρεμή που διαφέρουν μόνο στο αρχικό ύψος από το οποίο αφέθηκε να γίνει η αιώρηση (17,2 %), είτε δηλώνει άγνοια (5,9 %). Επιπλέον, ποσοστό 16 % των μαθητών φαίνεται να αγνοεί τη στρατηγική ελέγχου της σχέσης δύο μεταβλητών, αφού επιλέγει δύο εκκρεμή που διαφέρουν σε δύο μεταβλητές ταυτόχρονα, δηλαδή και στο βάρος τους και στο αρχικό ύψος εκκίνησης της αιώρησης. Συμπερασματικά και σε συμφωνία με τα βιβλιογραφικά δεδομένα (Koumaras, 2002; Δόσης, 2006), σημαντικά φαίνεται να είναι τα μεθοδολογικά προβλήματα που αντιμετωπίζει ένα μεγάλο ποσοστό μαθητών στις στρατηγικές ελέγχου των σχέσεων μεταξύ των μεταβλητών, αφού στο σύνολο των ελέγχων της σχέσης της περιόδου του απλού εκκρεμούς με κάποιο

παράγοντα, επιλέγει ταυτόχρονα πάνω από δύο παράγοντες.

ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

Κοινή είναι η παραδοχή της ύπαρξης των νοητικών παραστάσεων των μαθητών στην εκπαιδευτική διαδικασία. Παρά τις διαφωνίες ως προς το περιεχόμενο και ως προς το πλαίσιο χρήσης τους στη διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών, η χαρτογράφηση των νοητικών παραστάσεων φαίνεται να λαμβάνει τις τελευταίες δεκαετίες μεγάλες διαστάσεις.

Από την άλλη πλευρά, η διερεύνηση της ελληνικής και διεθνούς βιβλιογραφίας καταδεικνύει την ισχυρή καταγραφή των διαφόρων ειδών νοητικών παραστάσεων των μαθητών, στα πλαίσια της Γαλιλαϊκής μελέτης της κίνησης του απλού εκκρεμούς. Η διεξαγωγή συμπληρωματικής εμπειρικής έρευνας κρίνεται απαραίτητη και πραγματοποιείται με τη χρήση ερωτηματολογίου σε δείγμα 425 μαθητών της Γ΄ Γυμνασίου, πέντε (5) διαφορετικών σχολείων της περιφέρειας Αττικής.

Τόσο η βιβλιογραφική επισκόπηση, όσο και η εμπειρική έρευνα, καταδεικνύουν τη σημαντική διαφοροποίηση των νοητικών παραστάσεων των μαθητών από το επιστημονικό πρότυπο και στις τρεις συνιστώσες της επιστημονικής γνώσης για το απλό εκκρεμές. Ειδικότερα στο εννοιολογικό πεδίο καταγράφεται (α) η μη αποδοχή της ισόχρονης κίνησης του απλού εκκρεμούς, από τη συντριπτική πλειοψηφία των μαθητών, (β) η απόδοση σχέσης εξάρτησης της περιόδου του απλού εκκρεμούς από το βάρος του, από την απόλυτη πλειοψηφία του δείγματος και (γ) η αναγνώριση της σχέσης εξάρτησης της περιόδου από το μήκος του απλού εκκρεμούς, από ποσοστό του δείγματος που μόλις ξεπερνά το 50%.

Σημαντικά προβλήματα καταγράφονται και στο μεθοδολογικό πεδίο. Η απόλυτη πλειοψηφία των μαθητών δε φαίνεται να αναγνωρίζει τις κατάλληλες μεταβλητές

ελέγχου της σχέσης της περιόδου του απλού εκκρεμούς από κάποια μεταβλητή, ούτε να επιλέγει την επιστημονικά παραδεκτή στρατηγική ελέγχου της σχέσης μεταξύ δύο μεταβλητών.

Τέλος, σημαντικές αποκλίσεις από την επιστημονική πολιτισμική γνώση του απλού εκκρεμούς φαίνεται να καταγράφονται και στο πολιτισμικό πεδίο. Η απόλυτη πλειοψηφία των μαθητών φαίνεται να θεωρεί ότι η μελέτη του απλού εκκρεμούς σχετίζεται ιστορικά με τη μελέτη των ταλαντώσεων και ότι δε σχετίζεται στενά με επιστημονικά επιτεύγματα. Από την άλλη πλευρά, η πλειοψηφία του δείγματος φαίνεται να αναγνωρίζει την επίδραση του απλού εκκρεμούς στη ναυσιπλοΐα και την αναγκαιότητα μελέτης του πριν την τεχνολογική μελέτη των ρολογιών εκκρεμούς.

Κεφάλαιο 4^ο

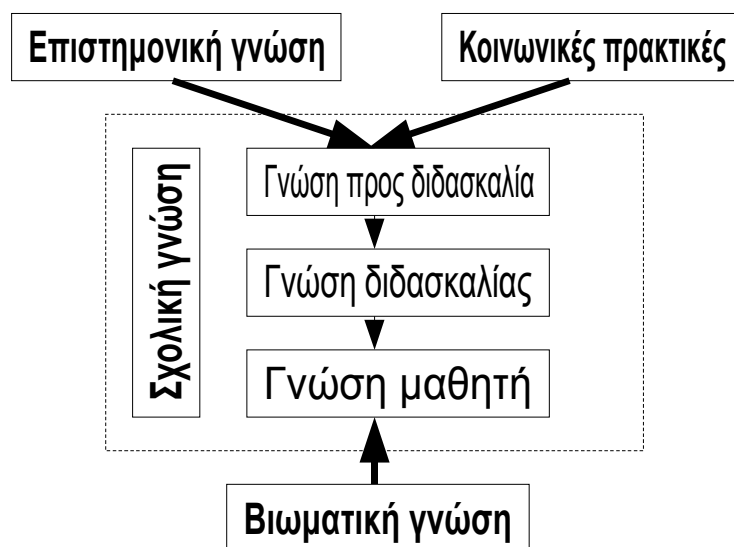
**Ο διδακτικός μετασχηματισμός της επιστημονικής
γνώσης σε σχολική γνώση: τα καινοτομικά και
εποικοδομητικά χαρακτηριστικά της διδακτικής
ακολουθίας**

Η σχολική εκδοχή της επιστημονικής γνώσης είναι η γνώση που, από τη μια πλευρά, εντοπίζεται στα αναλυτικά προγράμματα, τα σχολικά εγχειρίδια ή τους οδηγούς των εκπαιδευτικών και από την άλλη παράγεται κατά τη διδασκαλία ως αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης του τριγώνου εκπαιδευτικού, μαθητή και εκπαιδευτικού υλικού. Η σχολική γνώση δεν αποτελεί απλοποιημένη μορφή της επιστημονικής γνώσης, αλλά οικοδομείται ως διδακτικός μετασχηματισμός αυτής της γνώσης, με αυτόνομα χαρακτηριστικά που προσδιορίζονται στους διδακτικούς σκοπούς και στόχους των αναλυτικών προγραμμάτων, τις επιστημολογικές απόψεις όλων των εμπλεκόμενων στη διδασκαλία και τους λειτουργικούς περιορισμούς που επιβάλλει το εκπαιδευτικό σύστημα με τη διαχείριση του διδακτικού χρόνου και την κατάτμηση της διδακτέας ύλης σε συγκεκριμένες ακολουθίες. Στη βάση αυτής της θεώρησης οι Κολιόπουλος και Ραβάνης υποστηρίζουν τη δυνατότητα επιστημολογικά έγκυρων τροποποιήσεων στο περιεχόμενο τόσο των αναλυτικών προγραμμάτων, όσο και οποιουδήποτε εκπαιδευτικού υλικού, αντί των παραδοσιακών τροποποιήσεων οι οποίες δεν αποτελούν παρά εμπειρικά προϊόντα (Κολιόπουλος & Ραβάνης 2001; Κολιόπουλος 1997 & 2006).

Ο σχεδιασμός, η εφαρμογή και η αξιολόγηση διδακτικού υλικού σχετικού με τη διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών, οφείλει να στηρίζεται σε κάποιο θεωρητικό πλαίσιο, που να λαμβάνει υπόψη τις συσχετίσεις μεταξύ των τριών μορφών γνώσης που εμπλέκονται στη διδασκαλία, δηλαδή της επιστημονικής γνώσης αναφοράς, της σχολικής της εκδοχής και της βιωματικής γνώσης των μαθητών. Σύμφωνα με τον Κολιόπουλο (2001 & 2006) η έννοια του *διδακτικού μετασχηματισμού*, δηλαδή του συνόλου των τροποποιήσεων που υφίσταται το περιεχόμενο της επιστημονικής γνώσης προκειμένου να αποτελέσει αντικείμενο προς διδασκαλία και αντικείμενο διδασκαλίας, συνιστά, από επιστημολογική σκοπιά, το κατάλληλο εργαλείο μελέτης των

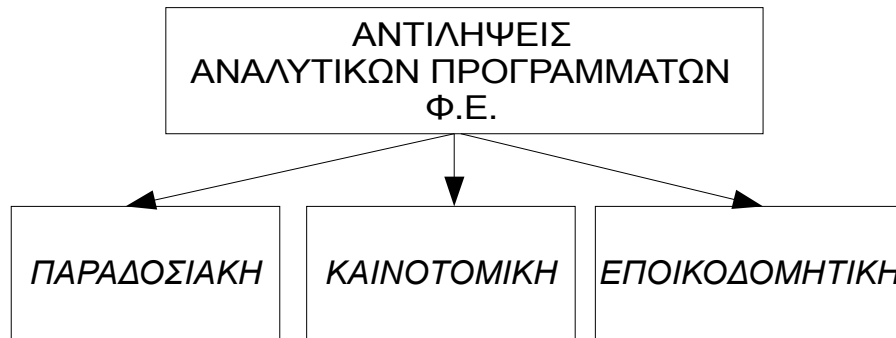
διαδικασιών συγκρότησης της σχολικής γνώσης. Επιπλέον, συνθέτοντας τις απόψεις ερευνητών της διδακτικής των Φυσικών Επιστημών, κυρίως της γαλλόφωνης παράδοσης (Chevallard, Martinand και Develay), υιοθετεί την έννοια των *κοινωνικών πρακτικών αναφοράς* και προτείνει μια διευρυμένη αντίληψη του διδακτικού μετασχηματισμού, σύμφωνα με την οποία η σχολική γνώση δεν αποτελεί μετασχηματισμό μόνο της επιστημονικής γνώσης, αλλά και της γνώσης άλλων πρακτικών και κοινωνικών δραστηριοτήτων, όπως οι τεχνολογικές, οι παραγωγικές, οι οικιακές και γενικά οι πολιτιστικές δραστηριότητες.

Ο διδακτικός μετασχηματισμός, σύμφωνα με τον Κολιόπουλο (2006), διακρίνεται σε τρία επίπεδα: (α) στο επίπεδο μετασχηματισμού της επιστημονικής γνώσης και των κοινωνικών πρακτικών σε γνώση προς διδασκαλία, που αναφέρεται κυρίως στο σχεδιασμό αναλυτικών προγραμμάτων και εκπαιδευτικού υλικού, (β) στο επίπεδο μετασχηματισμού της γνώσης προς διδασκαλία σε γνώση διδασκαλίας, που σχετίζεται με τις αντιλήψεις και τις δραστηριότητες του εκπαιδευτικού και (γ) στο επίπεδο μετασχηματισμού της γνώσης διδασκαλίας σε γνώση του μαθητή, το οποίο από τη μια πλευρά αφορά στις δραστηριότητες και τις γνωστικές λειτουργίες του μαθητή και από την άλλη επηρεάζεται από τις βιωματικές του γνώσεις. Όλες οι παραπάνω αντιλήψεις για τον διδακτικό μετασχηματισμό αναπαριστώνται γραφικά στο Σχήμα 4.1.



Σχήμα 4.1: Τα επίπεδα του διδακτικού μετασχηματισμού (Κολιόπουλος, 2006)

Σύμφωνα με τις αντιλήψεις αυτές, η έννοια του διδακτικού μετασχηματισμού αφορά και στις τρεις συνιστώσες της σχολικής γνώσης (εννοιολογικής, μεθοδολογικής και πολιτισμικής) και μπορεί να αποτελέσει εργαλείο ανάλυσης διαφορετικών τύπων αναλυτικών προγραμμάτων Φυσικών Επιστημών. Μια τέτοιου τύπου ανάλυση των Κολιόπουλου & Ραβάνη (2001) ταξινομεί το ελληνικό αναλυτικό πρόγραμμα Φυσικών Επιστημών της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης, στα θεματικού περιεχομένου (subject – matter curriculum) προγράμματα, όπου η έμφαση δίνεται στη μονοθεματική κατανόηση της δομής της αντίστοιχης Επιστήμης (Φυσική, Χημεία, Βιολογία κλπ). Το είδος του διδακτικού μετασχηματισμού στο οποίο υπόκειται η επιστημονική γνώση σε μια σειρά ελληνικών και διεθνών θεματικών αναλυτικών προγραμμάτων Φυσικών Επιστημών, αποτελεί τη βάση της ταξινόμησης των προγραμμάτων σε τρεις μεγάλες κατηγορίες: το «παραδοσιακό», το «καινοτομικό» και το «εποικοδομητικό» (Σχήμα 4.2) (Κολιόπουλος, 1997, 2001, 2006).



Σχήμα 4.2: Πρότυπο ταξινόμησης αναλυτικών προγραμμάτων Φ.Ε.
(Κολιόπουλος, 2006)

Όπως επισημαίνεται από τον σχεδιαστή του προτύπου «...η προτεινόμενη ταξινόμηση δεν αντιστοιχεί σε κάποιο συγκεκριμένο αναλυτικό πρόγραμμα, αλλά αποτελεί ένα είδος θεωρητικού προτύπου το οποίο παρέχει ένα σύνολο γενικών χαρακτηριστικών που είναι δυνατό να εμφανιστούν εν μέρει ή συνολικά σε πραγματικά προγράμματα διδασκαλίας» (Κολιόπουλος, 2006, σ. 46).

Στη συνέχεια, θα επιχειρηθεί η ανάλυση της φύσης και των χαρακτηριστικών των τριών τύπων αναλυτικών προγραμμάτων της παραπάνω ταξινόμησης. Η διασαφήνιση του χειρισμού των εννοιών, της μεθοδολογίας και των πολιτισμικών χαρακτηριστικών της γνώσης, στα πλαίσια του κάθε τύπου της ταξινόμησης, θα επιτρέψει αφ' ενός τη σκιαγράφηση των χαρακτηριστικών της σχολικής εκδοχής της γνώσης για το απλό εκκρεμές του τρέχοντος ελληνικού αναλυτικού προγράμματος Φυσικών Επιστημών του Γυμνασίου και αφ' ετέρου την κατανόηση των «καινοτομικών» και «εποικοδομητικών» χαρακτηριστικών της προτεινόμενης ακολουθίας διδακτικών ενοτήτων στη διδασκαλία του απλού εκκρεμούς.

4.1 Οι αντιλήψεις αναλυτικών προγραμμάτων Φ.Ε.

ι. Η «παραδοσιακή» αντίληψη

Η παραδοσιακή αντίληψη για το αναλυτικό πρόγραμμα των Φυσικών
[78]

Επιστημών, αφορά στο διδακτικό μετασχηματισμό της εννοιολογικής, της μεθοδολογικής και πολιτισμικής γνώσης, στη βάση ορισμένων χαρακτηριστικών.

Δύο είναι τα κύρια χαρακτηριστικά του εννοιολογικού μετασχηματισμού στα πλαίσια της παραδοσιακής αντίληψης: Η μαθηματικοποιημένη προσέγγιση των εννοιών και η τυχαία κατανομή των εννοιολογικών πλαισίων εντός των οποίων συντελείται η διαπραγμάτευση. Βασικό χαρακτηριστικό της μαθηματικοποιημένης προσέγγισης των εννοιών συνιστά η έμφαση στη συντακτική δομή των συσχετίσεών τους, αντί της επικέντρωσης στο συστημικό και εμπειρικό εννοιολογικό περιεχόμενό τους. Η συγκεκριμένη προσέγγιση, σε πολλές περιπτώσεις, οδηγεί πρακτικά στην απλή απομνημόνευση μαθηματικών σχέσεων και διαδικασιών επίλυσης προβλημάτων, με συνέπεια την ενίσχυση των εμποδίων κατανόησης των εννοιών, την αδυναμία ερμηνείας των σχέσεών τους και την εδραίωση διαισθητικών αντιλήψεων που υποκαθιστούν το σημασιολογικό τους περιεχόμενο. Όσον αφορά στην τυχαία κατανομή των εννοιολογικών πλαισίων διαπραγμάτευσης, αυτή σχετίζεται με την αντίστοιχη των πανεπιστημιακών εγχειριδίων, που αποτελεί το σύνηθες πρότυπο στο οποίο βασίζεται η επιλογή των θεματικών ενοτήτων και οι κατατμήσεις της ύλης. Με αυτόν τον τρόπο, οι προς διαπραγμάτευση έννοιες απλά παρατίθενται ή διασπείρονται εντός διαφορετικών εννοιολογικών πλαισίων, με το νόημά τους, σε πολλές περιπτώσεις, να διαφοροποιείται. Η μελέτη των εννοιών εντός των διεσπαρμένων και αναμειγμένων εννοιολογικών πλαισίων έχει ως συνέπειες αφ' ενός την απόδοση ισοδύναμης παιδαγωγικής αξίας σε όλες τις έννοιες - αφού όλες αντιμετωπίζονται με τον ίδιο τρόπο - και αφ' ετέρου την ενίσχυση των εννοιολογικών συγχύσεων των μαθητών, εξ αιτίας των πολλαπλών νοημάτων με τις οποίες η κάθε έννοια σηματοδοτείται, εντός του κάθε πλαισίου. (Κολιόπουλος, 2001 & 2006).

Όσον αφορά στο μεθοδολογικό μετασχηματισμό της επιστημονικής γνώσης, το

«*παραδοσιακό*» αναλυτικό πρόγραμμα Φυσικών Επιστημών, χαρακτηρίζεται από την εμπειριστική – επαγωγική προσέγγιση, η οποία θεωρεί την οικοδόμηση μιας έννοιας ως απλή γενίκευση των παρατηρησιακών πειραματικών δεδομένων. Κύριο γνώρισμα αυτής της προσέγγισης αποτελεί η, κατά το πλείστον, προτεινόμενη πειραματική τεχνική, η οποία συνίσταται (α) στην εκτέλεση μιας σειράς εντολών, που στοχεύουν στη διασφάλιση της επιτυχούς έκβασης του πειράματος, (β) στη συμπλήρωση ενός πίνακα τιμών από τις ληφθείσες μετρήσεις και (γ) στη σχεδίαση του αντίστοιχου διαγράμματος, από την ερμηνεία του οποίου και μετά τη γενίκευση, προκύπτει η «ανακάλυψη» των σχετικών εννοιών. Η υλοποίηση τέτοιων προσεγγίσεων συνήθως γίνεται με τη χρήση ειδικών για τη διδασκαλία κατασκευών. Η «παραδοσιακή» μεθοδολογική προσέγγιση βασίζεται στο απλοϊκό επαγωγικό σχήμα και παρουσιάζει τα γνωστά ως «μεθοδολογικό πρόβλημα της επαγωγής», μεθοδολογικά προβλήματα εγκυρότητας της γενίκευσης των αποτελεσμάτων των επαναλαμβανόμενων μετρήσεων. Επιπλέον, η φαινομενική απλότητα της συγκεκριμένης προσέγγισης φαίνεται να οδηγεί, σε πολλές περιπτώσεις, σε γενικεύσεις, οι οποίες δεν απορρέουν από τα παρατηρησιακά δεδομένα (Chalmers,2000; Ραβάνης, 2003b; Κολιόπουλος, 2001 & 2006). Η εμπειρικο–επαγωγικές αντιλήψεις της πλειοψηφίας των εκπαιδευτικών περί της ύπαρξης μιας μόνο επιστημονικής μεθόδου - της επαγωγικής - και της κυριαρχίας της παρατήρησης επί της θεωρίας, είναι ένας από τους βασικούς λόγους της εκτεταμένης χρήσης αυτής της προσέγγισης στην εκπαίδευση (McComas, 2008; Αποστόλου & Κουλαϊδής, 2008).

Τέλος, βασικό χαρακτηριστικό του «*παραδοσιακού*» αναλυτικού προγράμματος Φυσικών Επιστημών αποτελεί η πλήρης απουσία ή υποβαθμισμένη παρουσία του μετασχηματισμού των πολιτισμικών χαρακτηριστικών της επιστημονικής γνώσης. Βασικές μορφές υποβαθμισμένης χρήσης της πολιτισμικής συνιστώσας της

επιστημονικής γνώσης στην «παραδοσιακή» αντίληψη μπορεί να είναι: (α) η ανυπαρξία συσχετίσεων της με την εννοιολογική και τη μεθοδολογική συνιστώσα της επιστημονικής γνώσης, (β) η μονόδρομη κατεύθυνση συσχέτισή της με την εννοιολογική συνιστώσα της γνώσης, η οποία πραγματοποιείται πάντα από το εννοιολογικό προς το πολιτισμικό περιεχόμενό της (χαρακτηριστική περίπτωση μιας τέτοιας μονόδρομης συσχέτισης συνιστά η παράθεση θεμάτων της καθημερινής ζωής και της τεχνολογίας, ως εφαρμογές μετά την εννοιολογική διαπραγμάτευση μιας έννοιας), (γ) η παντελής απουσία στοιχείων Ιστορίας και Φιλοσοφίας των Φυσικών Επιστημών, δηλαδή στοιχείων σχετικών με το περιβάλλον εντός του οποίου παράγεται, αναπτύσσεται και διαμορφώνεται η επιστημονική γνώση, ή ανεκδοτολογική χρήση ιστορικών ενθέτων, που παρατίθενται παράλληλα στην εννοιολογική ή μεθοδολογική διαπραγμάτευση των εννοιών (Σταυρόπουλος & Κολιόπουλος, 2005; Κολιόπουλος, 2006).

ii. Η «καινοτομική» αντίληψη

Τα «καινοτομικά» αναλυτικά προγράμματα Φυσικών Επιστημών εμφανίζονται στις βιομηχανικά ανεπτυγμένες χώρες, στις δεκαετίες του '70 και του '80, ως αποτέλεσμα (α) των νέων επιστημολογικών αναλύσεων του περιεχομένου των Φυσικών Επιστημών και των όρων διάδοσής τους και (β) των πορισμάτων των ψυχολογικών ερευνών, κυρίως του Piaget, σχετικά με τη γνωστική και συναισθηματική ανάπτυξη των παιδιών. Η εμφάνισή τους επιφέρει αλλαγές στο σύνολο του διδακτικού μετασχηματισμού της επιστημονικής γνώσης στη σχολική της εκδοχή, μέσω του επαναπροσδιορισμού της εννοιολογικής, της μεθοδολογικής και της πολιτισμικής συνιστώσας της και της προσπάθειας αποτύπωσης της παιδικής σκέψης, η οποία θεωρείται ποιοτικά διάφορη της ενήλικης.

Η «καινοτομική» αντίληψη, όσον αφορά στο μετασχηματισμό της εννοιολογικής

συνιστώσας της επιστημονικής γνώσης, χαρακτηρίζεται από (α) την διαμόρφωση μεγάλων θεματικών ή εννοιολογικών ενοτήτων στο αναλυτικό πρόγραμμα Φυσικών Επιστημών, (β) την εμπλοκή εξαιρετικά περιορισμένου αριθμού εννοιολογικών πλαισίων στην, σε βάθος, πραγμάτευσή τους και (γ) την παράλληλη εισαγωγή στοιχείων «ποιοτικής Φυσικής». Η αποτροπή της διασποράς των εννοιολογικών πλαισίων καθιστά εφικτή την παιδαγωγική διαφοροποίηση των κεντρικών εννοιών συγκρότησης των ευρέων θεματικών ή εννοιολογικών ενοτήτων. Η διαπραγμάτευση των εννοιών εντός ενός ή λίγων εννοιολογικών πλαισίων, επιτρέπει την κατανόηση των εννοιών ως στοιχείου ενός εννοιολογικού δικτύου, με συνέπεια την ανάδειξη της συστημικής της συνιστώσας. Τέλος, η παράλληλη ποιοτική ή ημιποσοτική προσέγγιση των εννοιών, διευκολύνει τη σηματοδότηση της έννοιας εντός του συγκεκριμένου πλαισίου και καθιστά δυνατή τη διασύνδεση της συστημικής της συνιστώσας, με την εμπειρική (Κολιόπουλος, 2001 & 2006).

Όσον αφορά στο μεθοδολογικό μετασχηματισμό της επιστημονικής γνώσης, το «καινοτομικό» αναλυτικό πρόγραμμα Φυσικών Επιστημών υιοθετεί την υποθετικο-παραγωγική μεθοδολογική προσέγγιση, στη σχολική της εκδοχή - η οποία διαφέρει ριζικά από την υποθετικο-παραγωγική προσέγγιση της επιστημονικής γνώσης του Popper (Κουλαϊδής, 2001b). Το συγκεκριμένο μεθοδολογικό σχήμα βασίζεται στην αντιθετικιστική θεώρηση των επιστημονικών θεωριών ως ανιχνευτικών υποθέσεων που δημιουργεί η ανθρώπινη νόηση προκειμένου να ξεπεράσει τα προβλήματα που συνάντησαν προηγούμενες θεωρίες στην επαρκή εξήγηση της συμπεριφοράς του φυσικού κόσμου και στη συνακόλουθη υπόθεση ότι, στο επίπεδο της επιστημονικής γνώσης, η θεωρητική σύλληψη προηγείται της παρατήρησης των φυσικών φαινομένων (Chalmers, 2000; Κολιόπουλος, 2006). Κύρια χαρακτηριστικά της σχολικής υποθετικο-παραγωγικής μεθοδολογικής προσέγγισης είναι η έμφαση που δίνεται στην επίλυση

δραστηριοτήτων - προβλημάτων και ο αναβαθμισμένος ρόλος της πειραματικής διαδικασίας, η οποία (α) θεωρείται το φυσικό περιβάλλον επίλυσης των προτεινομένων προβλημάτων και (β) αποσκοπεί στην ανάπτυξη μεθοδολογικών δεξιοτήτων που οι ίδιες δεν αποτελούν αυτοσκοπό. Τα προς επίλυση προβλήματα της «καινοτομικής» προσέγγισης διαφέρουν ριζικά από τις τυπικές εργαστηριακές ασκήσεις της «παραδοσιακής» προσέγγισης, καθώς στο μαθητή δε δίνονται συγκεκριμένες οδηγίες εκτέλεσης της πειραματικής διαδικασίας, αλλά του επιτρέπεται η λήψη αποφάσεων σχετικών τόσο με τη μέθοδο, όσο και με τη χρήση του παρεχόμενου εργαστηριακού υλικού. Η συμμετοχή των μαθητών στο σχεδιασμό των πειραματικών δραστηριοτήτων και στην επιλογή της μεθόδου διευκολύνει στην οικειοποίηση του προβλήματος από τους μαθητές και στη σταδιακή εγκαθίδρυση μιας σχέσης μεταξύ της θεωρητικής γνώσης και των πειραματικών αποτελεσμάτων (Κολιόπουλος, 2001). Οι πειραματικές προσεγγίσεις των «Ανακαλυπτικών Επιδείξεων» (Καριώτογλου & Κολιόπουλος, 1993; Κουμαράς, 2002) και του «Κυκλικού Εργαστηρίου» (Καριώτογλου, Κολιόπουλος & Ψύλλος, 1988 & 1993) συνιστούν τυπικά παραδείγματα εφαρμογής της σχολικής υποθετικο – παραγωγικής μεθοδολογικής προσέγγισης στον Ελλαδικό χώρο.

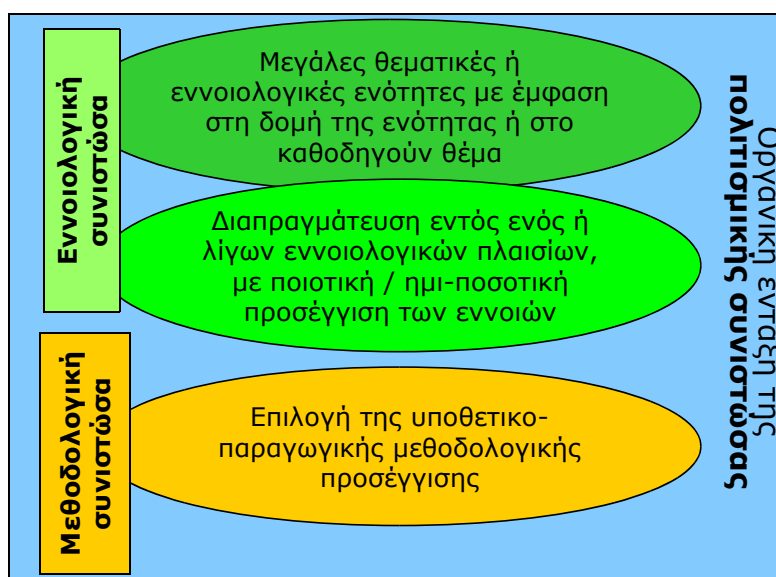
Τέλος, το «καινοτομικό» αναλυτικό πρόγραμμα Φυσικών Επιστημών, όσον αφορά στον μετασχηματισμό της πολιτισμικής συνιστώσας της επιστημονικής γνώσης, χαρακτηρίζεται από την οργανική ένταξη της πολιτισμικής γνώσης των Φυσικών Επιστημών στις διάφορες θεματικές ενότητες. Η πολιτισμική γνώση καθίσταται η αφετηρία της όλης εννοιολογικής και μεθοδολογικής διαπραγμάτευσης και επομένως η βάση δόμησης μέρους ή του συνόλου του αναλυτικού προγράμματος.

Δύο τυπικές μορφές «καινοτομικού» μετασχηματισμού της πολιτισμικής γνώσης αποτελούν (α) η προσέγγιση της καθημερινής/τεχνολογικής πραγματικότητας και γνωριμιά της επιστημονικής/τεχνολογικής παράδοσης και (β) η εισαγωγή στοιχείων

Ιστορίας και Φιλοσοφίας των Φυσικών Επιστημών (ΙΦΦΕ) στο αναλυτικό πρόγραμμα Φυσικών Επιστημών. Κύριο χαρακτηριστικό της μελέτης των φαινομένων της καθημερινής/τεχνολογικής πραγματικότητας, στα πλαίσια του «καινοτομικού» μετασχηματισμού, συνιστά η προσέγγιση του φυσικού φαινομένου με τρόπο που από τη μια πλευρά επιτρέπει τη μετατροπή του σε μοντελοποιημένο φαινόμενο των Φυσικών Επιστημών και από την άλλη προσδίδει νόημα στη συνακόλουθη εννοιολογική και μεθοδολογική μελέτη του μοντελοποιημένου φαινομένου (Κολιόπουλος, 2006). Όσον αφορά στην εισαγωγή στοιχείων Ιστορίας και Φιλοσοφίας των Φυσικών Επιστημών, ο «καινοτομικός» μετασχηματισμός μπορεί να πάρει πολλές μορφές (Seroglou, Koumaras & Tselfes, 1998; Seroglou & Koumaras, 2001; Κολιόπουλος, 2012). Στο πρόγραμμα, για παράδειγμα, «Project Physics Course» των Ηνωμένων Πολιτειών όπου τα ιστορικά στοιχεία συνιστούν την οργανωτική αρχή του προγράμματος, η ανάδειξη του πλαισίου εντός του οποίου γεννιέται και αναπτύσσεται η επιστήμη είναι αυτόνομος πολιτισμικός στόχος, χωρίς να διαφαίνεται οργανική σύνδεσή του με τους εννοιολογικούς ή μεθοδολογικούς στόχους του προγράμματος (Holton, 2003; Κολιόπουλος, 2006; Koliopoulos, Dossis & Stamoulis, 2007). Άλλα προγράμματα επιχειρούν την εισαγωγή διδακτικού υλικού που προέρχεται είτε άμεσα από αυθεντικό ιστορικό υλικό, είτε αποτελεί προϊόν που βασίζεται και εμπνέεται από συγκεκριμένο ιστορικό υλικό (Klopfer, & Cooley, 1963; Matthews, 1994; Monk & Osborne, 1997; Σέρογλου & Κουμαράς, 2000; Galili & Hazan, 2000; Irwin, 2000; Μίχας, 2005; Pocoli, 2007; Dedes & Ravanis, 2009; Andreou & Raftopoulos, 2010; Papadouris & Constantinou, 2010; Clough, 2011). Τέλος, μια βασική μορφή εισαγωγής ιστορικού υλικού σχετίζεται με τη λεγόμενη αφηγηματική προσέγγιση (story-line approach), όπου με τη χρήση κυρίως ιστορικών κειμένων, στη μορφή σύντομων αποσπασμάτων είτε από αυθεντικά είτε από μετασχηματισμένα ιστορικά κείμενα

(vignettes), εισάγονται προβλήματα που παρουσιάζουν ενδιαφέρον για τους μαθητές και που η επίλυσή τους οδηγεί στην επίτευξη διαφόρων πολιτισμικών, εννοιολογικών και μεθοδολογικών διδακτικών στόχων (Solomon, 1992; Heilbron, 2002; Stinner et al, 2003; Olson. & Clough, 2007; Metz et al, 2007; Henke, Avraamidou & Osborne, 2009; Höttecke & Riess, 2009; Kruse et al, 2009; Paraskevopoulou & Koliopoulos, 2010; Clough, 2011; Kanderakis, Dosis & Koliopoulos, 2011).

Συνοψίζοντας, τα βασικά χαρακτηριστικά της «καινοτομικής» αντίληψης για το αναλυτικό πρόγραμμα Φυσικών Επιστημών, αναπαριστώνται στο σχήμα 4.3 που ακολουθεί.



Σχήμα 4.3: Τα βασικά χαρακτηριστικά του καινοτομικής αντίληψης αναλυτικού προγράμματος Φυσικών Επιστημών

iii. Η «εποικοδομητική» αντίληψη

Η εποικοδομητική αντίληψη για το αναλυτικό πρόγραμμα Φυσικών Επιστημών σχετίζεται με σύγχρονες, διαφορετικής θεωρητικής αφετηρίας και στόχευσης, ερευνητικές τάσεις, με συνέπεια την ασάφεια των ειδικών χαρακτηριστικών που μπορεί να περιλαμβάνει. Κοινό χαρακτηριστικό όλων των ερευνητικών εποικοδομητικών προγραμμάτων συνιστά η παραδοχή της οργανικής ένταξης των νοητικών

παραστάσεων των μαθητών στη διδασκαλία, παρά τις διαφορετικές στρατηγικές και τεχνικές ένταξης, οι οποίες προτείνονται. Σύμφωνα με τον Κολιόπουλο, διακρίνονται τρία είδη εποικοδομητικών αντιλήψεων για το αναλυτικό πρόγραμμα Φυσικών Επιστημών: (α) η εποικοδομητική αντίληψη ως *διδασκτική μεθοδολογία*, (β) η εποικοδομητική αντίληψη ως *θεματικό μοντέλο διδασκαλίας* και (γ) η εποικοδομητική αντίληψη ως *εργαλείο αναφοράς* (Κολιόπουλος, 2006).

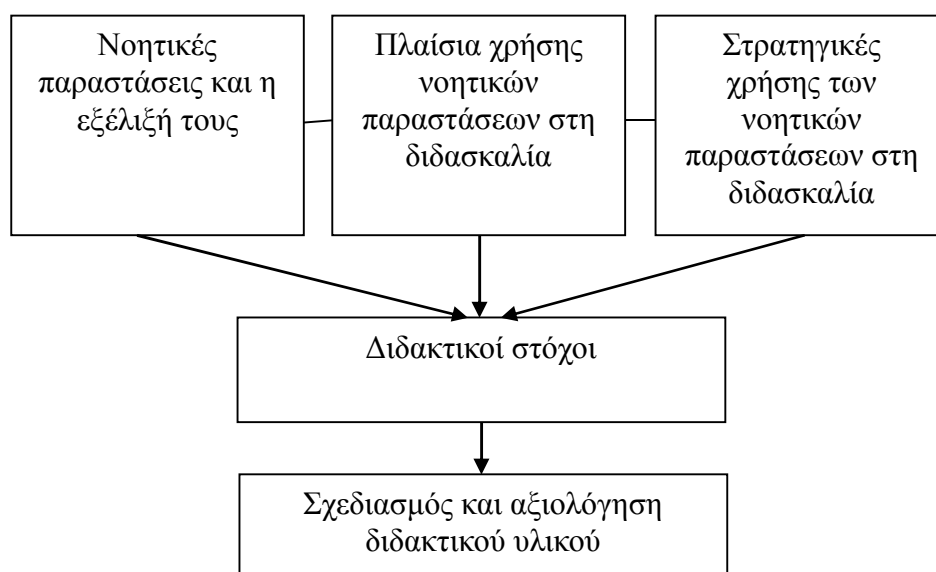
Κύριο χαρακτηριστικό της εποικοδομητικής αντίληψης ως *διδασκτικής μεθοδολογίας*, είναι η επικέντρωση στη μορφή του μοντέλου διδασκαλίας και η σχετική αποσύνδεση από το εννοιολογικό περιεχόμενο. Η διδασκαλία αναπτύσσεται μέσω συγκεκριμένων, διακριτών φάσεων που υποστηρίζουν την αλληλεπίδραση των βιωματικών γνώσεων των μαθητών με το εκπαιδευτικό περιβάλλον (Driver & Oldham, 1986). Η εφαρμογή της παραπάνω εποικοδομητικής προσέγγισης στο διεθνή (CLIS Project, 1987; SPACE, 1993), αλλά και στον ελληνικό χώρο (Κόκκοτας, Βλάχος & Καρανίκας, 1995; Κόκκοτας, 2003), φαίνεται να αυξάνει την ευαισθητοποίηση των εκπαιδευτικών στην ανάγκη συμπερίληψης των ιδεών των μαθητών στη διδασκαλία, αλλά έχει υποστεί έντονη κριτική (Millar, 1989; Solomon, 1994) καθότι παρουσιάζει δυσκολίες τόσο στο επίπεδο της εφαρμογής σε πραγματικές συνθήκες διδασκαλίας (χρονοβόρος διαδικασία, εργασία με ομάδες κ.ά.), όσο και στο επίπεδο του σχεδιασμού, καθ' όσον μειονεκτεί στην παραγωγή διδακτικών ακολουθιών για συγκεκριμένα εννοιολογικά πεδία, ιδιαίτερα αυτά που περιλαμβάνουν υποθετικού χαρακτήρα γνώση ή διαπραγματεύονται αφηρημένες έννοιες, με πτωχό ή ανύπαρκτο εμπειρικό περιεχόμενο (Κολιόπουλος, 2006). Η εποικοδομητική αντίληψη ως *θεματικό μοντέλο διδασκαλίας* είναι μια βελτιωμένη προσέγγιση της εποικοδομητικής προσέγγισης ως διδακτικής μεθοδολογίας διότι συμπεριλαμβάνεται η εισαγωγή και εφαρμογή του επιστημονικού προτύπου και η σύγκρισή του με τη βιωματική γνώση

(Κουμαράς κ.ά., 1992; Tiberghien, Psillos & Koumaras., 1995; Καριώτογλου, 2006).

Στην παρούσα διατριβή θα χρησιμοποιηθεί η αντίληψη εκείνη σύμφωνα με την οποία αποδεδειγμένα ο σχεδιασμός του περιεχομένου διδασκαλίας από την διδακτική μεθοδολογία. Κύριο χαρακτηριστικό της εποικοδομητικής αντίληψης ως *εργαλείου αναφοράς* είναι η διασύνδεσή της αποκλειστικά με τον διδακτικό μετασχηματισμό σε επίπεδο αναλυτικού προγράμματος και η θεώρηση των εποικοδομητικών μοντέλων διδασκαλίας ως ένα από τα πολλαπλά, εναλλακτικά εργαλεία που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε συνάρτηση με τις συγκεκριμένες εκπαιδευτικές συνθήκες, τους επιδιωκόμενους παιδαγωγικούς στόχους και τους διαφορετικούς μαθητικούς πληθυσμούς. Η εφαρμογή της παραπάνω εποικοδομητικής προσέγγισης εμφανίζεται κυρίως στις εργασίες της ερευνητικής ομάδας του Τμήματος Επιστημών της Εκπαίδευσης και της Αγωγής στην Προσχολική Ηλικία Πατρών (Κολιόπουλος, 2006; Δελέγκος, 2012; Γκούσκου, 2013). Σύμφωνα με αυτή την αντίληψη, η διαμόρφωση των διδακτικών σκοπών και στόχων και η επακόλουθη σχεδίαση διδακτικού υλικού μιας ευρείας ή περιορισμένης ενότητας του αναλυτικού προγράμματος εξαρτάται από το περιεχόμενο, το πλαίσιο χρήσης και τις στρατηγικές χρήσεις των νοητικών παραστάσεων των μαθητών. Σχηματικά, η αντίληψη αυτή εκφράζεται στο σχήμα 4.3.

Η συγκεκριμένη επιλογή παρέχει τη δυνατότητα συνθέσεων στο επίπεδο του σχεδιασμού με την καινοτομική αντίληψη, όπως αυτή αναλύθηκε στην προηγούμενη ενότητα και επομένως διασφαλίζει τη συμβατότητα των δύο αντιλήψεων που υιοθετούνται στην προτεινόμενη διδακτική ακολουθία του απλού εκκρεμούς. Επιπλέον, οι τρεις αλληλο-συσχετιζόμενες αποθήκες ιδεών (περιεχόμενο, πλαίσιο χρήσης και στρατηγικές χρήσεις των νοητικών παραστάσεων των μαθητών) παρέχουν πληροφορίες ο συνδυασμός των οποίων μπορεί να συμβάλλει αρχικά στη διατύπωση των διδακτικών στόχων της διδακτικής ακολουθίας του απλού εκκρεμούς (ενότητα 5.1)

και στη συνέχεια, στο σχεδιασμό του διδακτικού της υλικού (ενότητα 5.2).



Σχήμα 4.4: Η εποικοδομητική αντίληψη ως εργαλείο διδακτικού μετασχηματισμού (Κολιόπουλος, 2006)

4.2 Η σχολική γνώση για το απλό εκκρεμές στο ισχύον ΑΠ ΦΕ της Γ΄ γυμνασίου

Το τρέχον ελληνικό, θεματικό αναλυτικό πρόγραμμα Φυσικής της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης προβλέπει τη διδασκαλία του απλού εκκρεμούς και στις δύο εκπαιδευτικές βαθμίδες, στη Γ΄ τάξη του Γυμνασίου και στη Β΄ τάξη του Γενικού Λυκείου. Ειδικότερα, στο Γυμνάσιο, η αναφορά στο απλό εκκρεμές περιορίζεται σε δύο παραγράφους της υποενότητας «Μεγέθη που χαρακτηρίζουν μια ταλάντωση» του αντίστοιχου σχολικού εγχειριδίου Φυσικής (Αντωνίου κ.α., 2008, σελ. 92), ενώ παράλληλα προβλέπεται ως εργαστηριακή άσκηση ο «Πειραματικός έλεγχος των νόμων του απλού εκκρεμούς» (Αντωνίου κ.α., 2009, σελ. 33).

Παρότι η πραγμάτευση του απλού εκκρεμούς στο Γυμνάσιο είναι συγκυριακή και περιορισμένη, η εννοιολογική προσέγγιση βασίζεται σε δύο διαφορετικά

εννοιολογικά πλαίσια. Το βασικό εννοιολογικό πλαίσιο μελέτης σχετίζεται με τη μέτρηση της περιόδου της κίνησης του εκκρεμούς, η οποία παρουσιάζεται ως προνομιακή υποπερίπτωση εφαρμογής της αντίστοιχης μελέτης της περιόδου στο φυσικό φαινόμενο των ταλαντώσεων. Δευτερευόντως, η εννοιολογική προσέγγιση σχετίζεται με το Νευτώνικό εννοιολογικό πλαίσιο της Δυναμικής, καθ' όσον επιχειρείται η σκιαγράφηση των ασκούμενων δυνάμεων στο εκκρεμές, σε διάφορα σημεία της κίνησής του και η ερμηνεία της κίνησής του στη βάση της Δυναμικής.

Αντίστοιχα, στο μεθοδολογικό πεδίο, η πειραματική προσέγγιση του απλού εκκρεμούς διαθέτει όλα τα χαρακτηριστικά της εμπειριστικής μεθοδολογικής προσέγγισης, όπου η ανεξαρτησία της περιόδου από το πλάτος των αιωρήσεων και τη μάζα, καθώς και η εξάρτηση της περιόδου από το μήκος και τη βαρύτητα παρουσιάζονται ως γνώση που απορρέει από την παρατήρηση και βασίζεται στην ανάλυση πειραματικών δεδομένων, χωρίς να συνδέεται με οποιοδήποτε εννοιολογικό πρόβλημα. Συνακόλουθα, η προτεινόμενη πειραματική διαδικασία αφορά σε μια σειρά αναλυτικών εντολών, η οποία καταλήγει στην «απόδειξη» της μαθηματικής σχέσης της περιόδου με το μήκος του εκκρεμούς και στην «απόδειξη» της ανεξαρτησίας από το πλάτος της αιώρησης και τη μάζα του.

Τέλος, όσον αφορά στην πολιτισμική συνιστώσα της επιστημονικής γνώσης για το απλό εκκρεμές, στο εγχειρίδιο περιλαμβάνονται δύο αναφορές. Στην πρώτη, που παρατίθεται στην αρχή του υποκεφαλαίου της μελέτης των ταλαντώσεων, παρουσιάζεται η γνωστή ιστορία της υποτιθέμενης παρατήρησης της ισόχρονης κίνησης του πολυελαίου στον καθεδρικό ναό της Πίζας από το Γαλιλαίο και της χρονομέτρησης των αιωρήσεων με τη βοήθεια των σφυγμών του. Η παραπάνω «ιστορική» αναφορά καταλήγει στη ρητή διατύπωση της γνωστής εμπειριστικής/θετικιστικής άποψης περί της πρωτοκαθεδρίας της παρατήρησης έναντι

της θεωρητικής διαπραγμάτευσης, «...οι παρατηρήσεις του τον οδήγησαν στη μελέτη της κίνησης του εκκρεμούς...» (Αντωνίου κ.α., 2008, σ. 88) και στην αναφορά της χρήσης του εκκρεμούς στην κατασκευή των «επιβλητικών ρολογιών – επίπλων» (Αντωνίου κ.α., 2008, σ. 88). Στη δεύτερη, η οποία παρατίθεται ως καταληκτική πρόταση στην παράγραφο πραγμάτευσης της ποιοτικής σχέσης της περιόδου με το μήκος του εκκρεμούς, η δυνατότητα χρήσης του απλού εκκρεμούς στη μέτρηση του χρόνου εμφανίζεται ως φυσική συνέπεια των νόμων του εκκρεμούς, χωρίς καμία αναφορά στα τεχνολογικά προβλήματα της συγκεκριμένης εφαρμογής ή περιγραφή της συγκεκριμένης χρήσης.

Συμπερασματικά, όπως έχει δείξει και παλαιότερη έρευνα για τα αναλυτικά προγράμματα και τα σχολικά εγχειρίδια στην Ελλάδα και στην Κύπρο (Κολιόπουλος, 2003; Koliopoulos & Constantinou, 2005), η πραγμάτευση του απλού εκκρεμούς στο ελληνικό αναλυτικό πρόγραμμα και στο αντίστοιχο σχολικό εγχειρίδιο της Γ΄ Γυμνασίου χαρακτηρίζεται από τα τυπικά χαρακτηριστικά της «παραδοσιακής» αντίληψης διδακτικού μετασχηματισμού της επιστημονικής γνώσης σε σχολική, με συνέπεια τη διαιώνιση της εντυπωσιακής αντίφασης μεταξύ της σπουδαιότητας της συμβολής του απλού εκκρεμούς στην ανάπτυξη των Φυσικών Επιστημών από τη μια μεριά και της ισχνής σημασίας που του δίνεται στα αντίστοιχα αναλυτικά προγράμματα από την άλλη (Matthews, 2000).

ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

Εντός του θεωρητικού πλαισίου του διδακτικού μετασχηματισμού της επιστημονικής γνώσης σε σχολική, η συγκρότηση μέρους ή όλου του αναλυτικού προγράμματος των Φυσικών Επιστημών μπορεί να πραγματοποιηθεί στη βάση τριών διακριτών αντιλήψεων: της «παραδοσιακής», της «καινοτομικής» και της

«εποικοδομητικής». Τυπικά χαρακτηριστικά του «παραδοσιακού» αναλυτικού προγράμματος συνιστούν η διάσπαρτη εντός πολλών και διαφορετικών πλαισίων μαθηματοποιημένη εννοιολογική μελέτη, η εμπειριστική - επαγωγική μεθοδολογική προσέγγιση και η υποβαθμισμένη αναφορά στην πολιτισμική γνώση. Από την άλλη πλευρά, τυπικά χαρακτηριστικά των «καινοτομικών» αναλυτικών προγραμμάτων Φυσικών Επιστημών, συνιστούν η ποιοτική ή η ημιποσοτική προσέγγιση των εννοιών στα πλαίσια μεγάλων θεματικών ή εννοιολογικών ενοτήτων, η υποθετικο-παραγωγική μεθοδολογική προσέγγιση και η οργανική ένταξη της πολιτισμικής γνώσης στη διδασκαλία. Ένας από τους τρόπους εισαγωγής της πολιτισμικής γνώσης στη διδασκαλία αποτελεί η χρήση στοιχείων Ιστορίας των Φυσικών Επιστημών στη μορφή σύντομων αποσπασμάτων είτε από αυθεντικά είτε από μετασχηματισμένα ιστορικά κείμενα. Τέλος, η εισαγωγή των νοητικών παραστάσεων των μαθητών στη διδασκαλία, είτε στο επίπεδο σχεδίασης του αναλυτικού προγράμματος, είτε στο επίπεδο της διδασκαλίας, συνιστά ένα κοινό χαρακτηριστικό της εποικοδομητικής αντίληψης για το αναλυτικό πρόγραμμα Φυσικών Επιστημών. Η εποικοδομητική αντίληψη του αναλυτικού προγράμματος Φυσικών Επιστημών που υιοθετείται στην παρούσα εργασία δε σχετίζεται με τη διδακτική μεθοδολογία, αλλά αναφέρεται στην εποικοδομητική αντίληψη ως εναλλακτικό εργαλείο ανάλυσης και σχεδιασμού του αναλυτικού προγράμματος Φυσικών Επιστημών (εποικοδομητική αντίληψη ως εργαλείο αναφοράς).

Όσον αφορά στο ελληνικό αναλυτικό πρόγραμμα διδασκαλίας του απλού εκκρεμούς στη Γ΄ Γυμνασίου, σε αυτό αντανακλώνται όλα τα τυπικά χαρακτηριστικά των «παραδοσιακών» αναλυτικών προγραμμάτων τόσο στο επίπεδο της εννοιολογικής διαπραγμάτευσης της περιόδου του απλού εκκρεμούς, όσο και στα επίπεδα της μεθοδολογικής και πολιτισμικής προσέγγισης.

Κεφάλαιο 5^ο

Η διδακτική ακολουθία

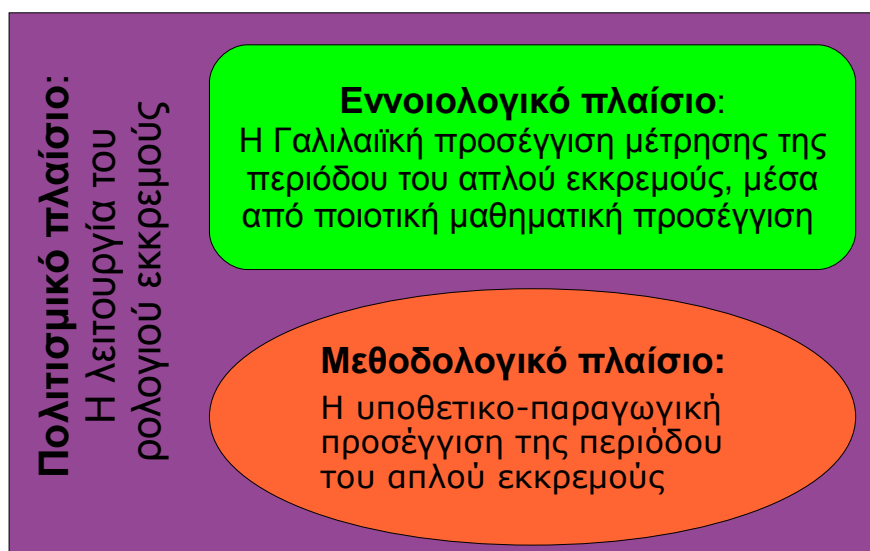
Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, ο όρος «διδασκτική ακολουθία» αφορά ολιγόωρες διδακτικές παρεμβάσεις που στοχεύουν στη βελτίωση της διδασκαλίας και μάθησης στις Φυσικές Επιστήμες (Haladyna & Shaughnessy, 1982; Lijnse, 1995; Kariotoglou, Psillos & Tselfes, 2003; Buty, Tiberghien & Marechal., 2004; Meheut, 2005; Leach & Scott, 2008; Ruthven et al., 2009). Όπως έχει συζητηθεί στο κεφάλαιο 1, η ανάπτυξη της υπό παρουσίαση ακολουθίας του απλού εκκρεμούς βασίζεται στο μοντέλο ανάλυσης και σχεδιασμού διδακτικών ακολουθιών, που σκιαγραφείται στο σχήμα 1.1. Επιπλέον, η ανάπτυξη «καινοτομικής» αντίληψης αναλυτικού προγράμματος Φυσικών Επιστημών, όπως αναλύθηκε στο κεφάλαιο 4, προαπαιτεί τη λήψη δομικών αποφάσεων, των οποίων η ενδεχόμενη τροποποίηση θα έθετε σε αμφισβήτηση τον ίδιο το χαρακτήρα του προγράμματος. Βασικά χαρακτηριστικά ενός τέτοιου προγράμματος συνιστούν: (α) η οργανική ένταξη της πολιτισμικής συνιστώσας της γνώσης στο πρόγραμμα, με τρόπο που να αποτελεί τη βάση ανάπτυξης του εννοιολογικού και μεθοδολογικού πλαισίου του προγράμματος, (β) η μελέτη ενός μόνο εννοιολογικού πλαισίου μέσω ποιοτικής ή ημιποσοτικής προσέγγισης και (γ) η επιλογή της υποθετικο-παραγωγικής μεθοδολογικής προσέγγισης.

Αναφορικά με το πολιτισμικό πλαίσιο δόμησης της υπό παρουσίαση διδακτικής ακολουθίας του απλού εκκρεμούς, επιλέγεται ως κεντρικό θέμα η μελέτη της λειτουργίας του ρολογιού - εκκρεμούς. Η επιλογή αυτού του πολιτισμικού πλαισίου πέρα από την προφανή παιδαγωγική συμβατότητα με το «καινοτομικό» πλαίσιο ανάπτυξης αναλυτικών προγραμμάτων Φυσικών Επιστημών, αιτιολογείται επιστημολογικά από την ιστορική αλληλεπίδραση στην εξέλιξη της τεχνολογικής γνώσης του ρολογιού – εκκρεμούς με την ανάπτυξη της γνώσης της έννοιας της περιόδου του απλού εκκρεμούς, όπως αυτή περιγράφεται στο κεφάλαιο 2 της παρούσας διατριβής.

Όσον αφορά στο εννοιολογικό πλαίσιο της ακολουθίας, επιλέγεται ως μοναδικό πλαίσιο μελέτης η Γαλιλαϊκή προσέγγιση μέτρησης της περιόδου του απλού εκκρεμούς. Η επιλογή του Γαλιλαϊκού πλαισίου σχετίζεται καταρχήν με την επιστημολογική εγκυρότητα της ακολουθίας, αφού, όπως καταδείχθηκε στο 2ο κεφάλαιο, η Γαλιλαϊκή μελέτη της περιόδου του απλού εκκρεμούς αποτελεί την πρώτη ιστορικά εννοιολογική προσέγγιση της κίνησης, με τις μελέτες στη βάση άλλων εννοιολογικών πλαισίων, όπως το Νευτωνικό και το ενεργειακό, να έπονται. Οι τροποποιήσεις του Huygens, δε συμπεριλαμβάνονται στο εννοιολογικό πλαίσιο της μελέτης μας, καθότι, όπως αναλύθηκε στην ενότητα 2.2, η ενσωμάτωσή τους από τη μια πλευρά απαιτεί ανώτερο επίπεδο Μαθηματικών από αυτό των μαθητών της Γ΄ Γυμνασίου και από την άλλη θα προσέθετε ελάχιστα στην προσεγγιστικά επιστημονικά αποδεκτή Γαλιλαϊκή προσέγγιση. Επιπλέον, το Γαλιλαϊκό πλαίσιο μελέτης του απλού εκκρεμούς διασφαλίζει και την ψυχολογική συμβατότητα της ακολουθίας, αφού, όπως αναλύθηκε στο κεφάλαιο 3, η έρευνα των αντιλήψεων των μαθητών τόσο στον Ελλαδικό χώρο, όσο και διεθνώς, καταδεικνύει τα σοβαρά εννοιολογικά ζητήματα που οι μαθητές αυτής της ηλικίας αντιμετωπίζουν στην οικοδόμηση της γνώσης της περιόδου της κίνησης του απλού εκκρεμούς.

Τέλος, η υποθετικο - παραγωγική προσέγγιση, επιλέγεται ως το πλέον κατάλληλο μεθοδολογικό πλαίσιο δόμησης της συγκεκριμένης διδακτικής ακολουθίας. Η επιλογή αυτού του μεθοδολογικού πλαισίου αφ' ενός συνάδει με τα μεθοδολογικά χαρακτηριστικά των «καινοτομικής» αντίληψης αναλυτικών προγραμμάτων και αφ' ετέρου είναι ψυχολογικά συμβατή με τις αντίστοιχες νοητικές παραστάσεις ποσοστού μαθητών Γυμνασίου, όπως αυτές αναλύθηκαν στο 3ο κεφάλαιο και επομένως συμβάλλει στην ανάπτυξη μεθοδολογικών δεξιοτήτων, όπως η ανάδυση του πειραματικού ελέγχου των εννοιολογικών αντιλήψεων, η διάκριση των μεταβλητών, η

σχεδίαση πειραματικών ελέγχων και η ανάπτυξη της κατάλληλης τεχνικής ελέγχου των μεταβλητών. Τα «καινοτομικά» δομικά χαρακτηριστικά που αφορούν στην υπό παρουσίαση διδακτική ακολουθία του απλού εκκρεμούς, αναπαριστώνται συνοπτικά στο σχήμα 5.1.



Σχήμα 5.1: Τα δομικά χαρακτηριστικά της ακολουθίας του απλού εκκρεμούς

Το παρόν κεφάλαιο αποτελείται από τρεις ενότητες και αφορά στην ανάλυση και περιγραφή της «καινοτομικής» και «εποικοδομητικής» ακολουθίας για τη διδασκαλία του απλού εκκρεμούς στο επίπεδο της Γ' Γυμνασίου. Στην ενότητα 5.1 γίνεται περιγραφή και ανάλυση των διδακτικών στόχων της ακολουθίας στη βάση των αποφάσεων που σχετίζονται τόσο με την επιλογή της «καινοτομικής» προσέγγισης για το αναλυτικό πρόγραμμα Φυσικών Επιστημών, όσο και με την επιλογή της «εποικοδομητικής» προσέγγισης, αφού στη διαμόρφωσή τους λαμβάνονται υπόψη οι νοητικές παραστάσεις των μαθητών του συγκεκριμένου επιπέδου εφαρμογής του προγράμματος. Η ενότητα 5.2 αναφέρεται στη συγκρότηση του περιεχομένου της ακολουθίας και αφορά τόσο στην επιλογή και αιτιολόγηση των δραστηριοτήτων που

λαμβάνουν χώρα, όσο και στην επιλογή του απαιτούμενου διδακτικού υλικού. Τέλος, στην τελευταία ενότητα 5.3 γίνεται η παρουσίαση και αναλυτική περιγραφή των τεσσάρων διδακτικών ενοτήτων με τις οποίες υλοποιείται η διδακτική ακολουθία του απλού εκκρεμούς.

5.1 Οι διδακτικοί στόχοι της ακολουθίας

Σύμφωνα με την ανάλυση που προηγήθηκε, η σχολική γνώση ταξινομείται σε τρεις συνιστώσες: (α) την εννοιολογική, (β) την μεθοδολογική και (γ) την πολιτισμική συνιστώσα. Κατ' αντιστοιχία, οι επιδιωκόμενοι διδακτικοί στόχοι της ακολουθίας του απλού εκκρεμούς αφορούν σε όλο το φάσμα της εμπλεκόμενης σχολικής γνώσης και κατά συνέπεια κατηγοριοποιούνται σε (α) εννοιολογικούς, (β) μεθοδολογικούς και (γ) πολιτισμικούς διδακτικούς στόχους. Από την άλλη πλευρά, η ανάπτυξη των διδακτικών στόχων της ακολουθίας βασίζεται στο πρότυπο ανάλυσης και σχεδιασμού εννοιολογικού διδακτικού υλικού, που αναπαρίσταται στο σχήμα 1.1 και επομένως η διαμόρφωσή τους βασίζεται αφ' ενός στις νοητικές παραστάσεις των μαθητών για την κίνηση του απλού εκκρεμούς και τη σχέση του με το πρόβλημα της ακριβούς μέτρησης του χρόνου και αφ' ετέρου στο επιθυμητό επιστημονικό, εννοιολογικό πλαίσιο, δηλαδή στο Γαλιλαϊκό πλαίσιο μελέτης της κίνησης του απλού εκκρεμούς.

Η υπό παρουσίαση διδακτική ακολουθία του απλού εκκρεμούς απαρτίζεται από τέσσερις διδακτικές ενότητες και η υλοποίησή της απαιτεί τέσσερις διδακτικές ώρες, μία διδακτική ώρα ανά ενότητα. Η κατανομή των κατηγοριών στο σύνολο των είκοσι (20) επιδιωκόμενων διδακτικών στόχων της ακολουθίας είναι σχεδόν ομοιόμορφη και αναπαρίσταται με ακρίβεια στον πίνακα 5.1.

Διδακτικοί στόχοι ακολουθίας	
Πολιτισμικοί	7
Εννοιολογικοί	6
Μεθοδολογικοί	7

Πίνακας 5.1: Οι κατηγορίες των διδακτικών στόχων

i. Οι πολιτισμικοί διδακτικοί στόχοι

Οι πολιτισμικοί διδακτικοί στόχοι της ακολουθίας αφορούν στην επιδιωκόμενη πολιτισμική γνώση για την κίνηση του απλού εκκρεμούς, γνώση που προσδίδει νόημα στην εννοιολογική και μεθοδολογική μελέτη της κίνησης, αφού σχετίζεται με το «γιατί» της διερεύνησης. Ειδικότερα, η επιλογή της λειτουργίας του ρολογιού – εκκρεμούς ως κεντρικού πολιτισμικού πλαισίου μελέτης της κίνησης του απλού εκκρεμούς, εξυπηρετείται με τους διδακτικούς στόχους που τίθενται στην 1η ενότητα της ακολουθίας, όπου βασική επιδίωξη είναι: (α) η γνωριμία των μαθητών με τα βασικά μέρη από τα οποία απαρτίζεται το ρολόι-εκκρεμές, (β) η περιγραφή της λειτουργίας τους, (γ) η συσχέτιση της χρονικής μονάδας μέτρησης του ρολογιού – εκκρεμούς με τη διάρκεια της αιώρησης της κίνησης του εκκρεμούς και (δ) η ανάδειξη της ανάγκης επιστημονικής διερεύνησης της κίνησης του απλού εκκρεμούς, προκειμένου να ρυθμιστεί κατάλληλα το ρολόι-εκκρεμές και να επιλυθεί το κοινωνικό πρόβλημα της ναυσιπλοΐας. Παράλληλα, διευκολύνεται η διασύνδεση της επιστημονικής γνώσης με τα κοινωνικο-οικονομικά ζητήματα της εποχής και προσεγγίζεται η ιστορικότητάς της.

Στη 2η διδακτική ενότητα, όπου εξυπηρετούνται κυρίως μεθοδολογικού τύπου διδακτικοί στόχοι, οι πολιτισμικοί διδακτικοί στόχοι περιορίζονται στη γνωριμία της ιστορικής προσέγγισης της ισόχρονης κίνησης του απλού εκκρεμούς, μέσω του μετασχηματισμένου από το βιβλίο του Galileo «Διάλογος για τις καινούργιες επιστήμες», όπου και γίνεται η αναφορά στο ισόχρονο της κίνησης του απλού

εκκρεμούς.

Τέλος, στην 4η και τελευταία διδακτική ενότητα της ακολουθίας, επιδιώκεται ο πολιτισμικός διδακτικός στόχος της κατανόησης της σχέσης μεταξύ επιστημονικής και κοινωνικής γνώσης, μέσω της αναγνώρισης της διαμόρφωσης της κοινωνικής γνώσης για το σχήμα της Γης και της κοινωνικής γνώσης που σχετίζεται με τη ρύθμιση των ρολογιών εκκρεμούς όπως αυτή διαφαίνεται στην αφηγηματική προσέγγιση του επιστημονικού ταξιδιού που πραγματοποίησε ο Richer στη Cayenne.

Συμπερασματικά, επτά (7) είναι οι διδακτικοί στόχοι της ακολουθίας του απλού εκκρεμούς που σχετίζονται με την πολιτισμική συνιστώσα της γνώσης, η σύνοψη των οποίων, ανά διδακτική ενότητα, παρατίθεται στον πίνακα 5.2.

Διδακτική Ενότητα	Πολιτισμικοί διδακτικοί στόχοι
1η	Να αναγνωρίσουν τα βασικά στοιχεία από τα οποία αποτελείται το ρολόι-εκκρεμές.
	Να περιγράψουν τον ειδικό ρόλο των βασικών τμημάτων του ρολογιού – εκκρεμούς στη λειτουργία του.
	Να αναγνωρίσουν ως μονάδα μέτρησης του ρολογιού το χρονικό διάστημα μιας απλής αώρησης του εκκρεμούς.
	Να συσχετίσουν την ανάγκη της επιστημονικής μελέτης του απλού εκκρεμούς με το κοινωνικό πρόβλημα του προσδιορισμού του γεωγραφικού μήκους και την αναγκαιότητα για ακριβή ρολόγια.
2η	Να γνωρίσουν το ιστορικό πρόβλημα της ισόχρονης κίνησης του εκκρεμούς
4η	Να αναγνωρίσουν τη διαμόρφωση της κοινωνικής γνώσης για το ακριβές σχήμα της Γης ως συνέπεια της επιστημονικής γνώσης της σχέσης της περιόδου του εκκρεμούς με τη βαρύτητα
	Να αναγνωρίσουν τη διαμόρφωση της κοινωνικής γνώσης για τη ρύθμιση των ρολογιών εκκρεμούς ως συνέπεια της επιστημονικής γνώσης των ιδιοτήτων της κίνησης του απλού εκκρεμούς

Πίνακας 5.2: Οι πολιτισμικοί διδακτικοί στόχοι της ακολουθίας, ανά ενότητα

ii. Οι εννοιολογικοί διδακτικοί στόχοι

Οι εννοιολογικοί στόχοι σχετίζονται με το «τι» της διερεύνησης και αφορούν στις τυπικές έννοιες του Γαλιλαϊκού πλαισίου μελέτης της κίνησης του απλού εκκρεμούς,

όπως η περιοδικότητα, η περίοδος, η σχέση της περιόδου με το μήκος του απλού εκκρεμούς, το πλάτος της αιώρησής του, το βάρος του και την επιτάχυνση της βαρύτητας του τόπου που γίνεται η μέτρησή της.

Ειδικότερα, στην 1η διδακτική ενότητα της ακολουθίας επιζητείται η αναγνώριση της περιοδικότητας, ως ομοιόμορφης επανάληψης της κίνησης του εκκρεμούς του ρολογιού, έννοια η οποία επιτρέπει την οικοδόμηση της έννοιας της περιόδου του εκκρεμούς.

Κομβική εννοιολογική επιδίωξη της ακολουθίας συνιστά ο μοναδικός εννοιολογικός διδακτικός στόχος της 2ης ενότητας, που αφορά στην ανεξαρτησία της περιόδου του απλού εκκρεμούς από το πλάτος της αιώρησής του. Όπως έχει τονιστεί στο κεφάλαιο 2, το ισόχρονο της κίνησης του απλού εκκρεμούς σχετίζεται με την κεντρική προβληματική της Γαλιλαϊκής θεώρησης του εκκρεμούς και ταυτόχρονα αποτελεί βασικό εμπόδιο στην οικοδόμηση του επιλεγθέντος εννοιολογικού πλαισίου, όπως μαρτυρά ανάλυση των σχετικών νοητικών παραστάσεων των μαθητών (κεφάλαιο 3).

Η ανάδειξη της ποιοτικής σχέσης της περιόδου με το μήκος του απλού εκκρεμούς, η ανάδειξη της ανεξαρτησίας της περιόδου από το βάρος του και ο προσδιορισμός του μήκους του εκκρεμούς που «κτυπά» τα δευτερόλεπτα είναι οι εννοιολογικοί διδακτικοί στόχοι στους οποίους αποσκοπεί η 3η διδακτική ενότητα, στόχοι οι οποίοι αιτιολογούνται στη βάση της ανάλυσης των αντίστοιχων νοητικών παραστάσεων των μαθητών.

Τέλος, μοναδικό εννοιολογικό στόχο της 4ης διδακτικής ενότητας αποτελεί ο ποιοτικός προσδιορισμός της σχέσης της περιόδου του απλού εκκρεμούς με τη βαρύτητα του τόπου αιώρησής του, εννοιολογικό πρόβλημα που, όπως έδειξε η ιστοριογραφική ανάλυση και η μελέτη των νοητικών παραστάσεων των μαθητών, δεν

προκύπτει από τη διερεύνηση των αντιλήψεων των μαθητών, αλλά από το ιστορικό του ανάλογο.

Συμπερασματικά, έξι (6) είναι οι εννοιολογικοί διδακτικοί στόχοι της ακολουθίας, η σύνοψη των οποίων, ανά διδακτική ενότητα, παρατίθεται στον πίνακα 5.3.

Διδακτική ενότητα	Εννοιολογικοί διδακτικοί στόχοι
1η	Να αναγνωρίσουν την έννοια της περιοδικότητας ως ομοιόμορφης επανάληψης αιωρήσεων
2η	Να συμπεράνουν την ανεξαρτησία της περιόδου του απλού εκκρεμούς από το πλάτος της αιώρησης (ισόχρονη κίνηση του απλού εκκρεμούς)
3η	Να συμπεράνουν την (ποιοτική) σχέση της περιόδου του απλού εκκρεμούς με το μήκος του
	Να συμπεράνουν το μήκος του απλού εκκρεμούς του 1 sec
	Να συμπεράνουν την ανεξαρτησία της περιόδου του απλού εκκρεμούς από το βάρος του
4η	Να συμπεράνουν την (ποιοτική) σχέση εξάρτησης της περιόδου του απλού εκκρεμούς από τη βαρύτητα ενός τόπου

Πίνακας 5.3: Οι εννοιολογικοί διδακτικοί στόχοι της ακολουθίας, ανά ενότητα

iii. Οι μεθοδολογικοί διδακτικοί στόχοι

Οι μεθοδολογικοί στόχοι αφορούν στο «πώς» της διερεύνησης και σχετίζονται με την ανάπτυξη ικανοτήτων που αναφέρονται στα βασικά μεθοδολογικά χαρακτηριστικά της υποθετικο - παραγωγικής προσέγγισης, όπως η αναγνώριση και ο διαχωρισμός μεταβλητών, η διατύπωση υποθέσεων, η σχεδίαση και εκτέλεση πειραματικών ελέγχων.

Πιο συγκεκριμένα, αναφορικά με την ανάπτυξη της ικανότητας της αναγνώρισης και του διαχωρισμού των μεταβλητών, στη 2η και 3η διδακτική ενότητα επιδιώκεται η αναγνώριση της περιόδου ως ανεξάρτητης μεταβλητής, με ταυτόχρονη αναγνώριση του πλάτους της αιώρησης, του μήκους και του βάρους του εκκρεμούς, ως

ανεξαρτήτων. Επιπλέον, σε κάθε περίπτωση, επιδιώκεται η επινόηση, σχεδίαση και εφαρμογή μεθόδου ελέγχου της σχέσης μεταξύ της εξαρτημένης μεταβλητής, δηλαδή της περιόδου του απλού εκκρεμούς και των αντίστοιχων ανεξάρτητων μεταβλητών, δηλαδή του πλάτους της αιώρησης (2η διδακτική ενότητα), του μήκους και του βάρους του εκκρεμούς (3η διδακτική ενότητα).

Τέλος, η μεθοδολογική επιδίωξη στην 4η διδακτική ενότητα αφορά στην επινόηση και σχεδίαση νοητικού πειράματος ελέγχου της ποιοτικής σχέσης μεταξύ της εξαρτημένης μεταβλητής της περιόδου του απλού εκκρεμούς, με την ανεξάρτητη μεταβλητή της βαρύτητας του τόπου στον οποίο λαμβάνουν χώρα οι αιωρήσεις.

Συμπερασματικά, επτά (7) είναι οι διδακτικοί στόχοι της ακολουθίας, που αφορούν στη μεθοδολογική συνιστώσα της επιστημονικής γνώσης για το απλό εκκρεμές, η σύνοψη των οποίων, ανά διδακτική ενότητα, παρατίθεται στον πίνακα 5.4.

Διδακτική ενότητα	Μεθοδολογικοί διδακτικοί στόχοι
2η	Να αναγνωρίσουν τη διάρκεια της αιώρησης του απλού εκκρεμούς (περίοδο) ως εξαρτημένη μεταβλητή και το πλάτος της αιώρησης ως ανεξάρτητη
	Να επινοήσουν και να σχεδιάσουν μια μέθοδο ελέγχου της σχέσης περιόδου - πλάτους της αιώρησης
3η	Να αναγνωρίσουν τη διάρκεια της αιώρησης του απλού εκκρεμούς (περίοδο) ως εξαρτημένη μεταβλητή και το μήκος του εκκρεμούς ως ανεξάρτητη
	Να αναγνωρίσουν τη διάρκεια της αιώρησης του απλού εκκρεμούς (περίοδο) ως εξαρτημένη μεταβλητή και το βάρος του εκκρεμούς ως ανεξάρτητη
	Να επινοήσουν και να σχεδιάσουν μια μέθοδο ελέγχου της σχέσης περιόδου – μήκους του εκκρεμούς
	Να επινοήσουν και να σχεδιάσουν μια μέθοδο ελέγχου της σχέσης περιόδου – βάρους του εκκρεμούς
4η	Να επινοήσουν και να σχεδιάσουν μια μέθοδο ελέγχου της σχέσης περιόδου του απλού εκκρεμούς – βαρύτητας σε ένα νοητικό πείραμα

Πίνακας 5.4: Οι μεθοδολογικοί διδακτικοί στόχοι της ακολουθίας, ανά ενότητα

5.2 Το περιεχόμενο της διδακτικής ακολουθίας

Σύμφωνα με το μοντέλο ανάλυσης και σχεδιασμού της «καινοτομικής» και «εποικοδομητικής» ακολουθίας του απλού εκκρεμούς, καθώς και τη διατύπωση των διδακτικών στόχων του προγράμματος που προηγήθηκε, ακολουθεί η διαμόρφωση του περιεχομένου της ακολουθίας, τόσο στο επίπεδο σχεδίασης των κατάλληλων δραστηριοτήτων, όσο και στο επίπεδο της ανάπτυξης του απαιτούμενου διδακτικού υλικού.

Αναφορικά με τις δραστηριότητες της ακολουθίας, κεντρική μεθοδολογική αρχή σχεδίασής τους είναι η εισαγωγή μιας δραστηριότητας-προβλήματος ανά διδακτική ενότητα, έτσι που η επίλυση του προβλήματος από τους μαθητές και επομένως η εξυπηρέτηση των διδακτικών στόχων της συγκεκριμένης ενότητας, να αποτελεί προϋπόθεση εισαγωγής της επόμενης δραστηριότητας-προβλήματος, στην επόμενη διδακτική ενότητα. Όσον αφορά στο διδακτικό υλικό της ακολουθίας, βασική επιλογή είναι η χρήση αυθεντικών ή μετασχηματισμένων ιστορικών κειμένων ως βάση σχεδιασμού και υλοποίησης των φύλλων εργασίας των μαθητών.

i. Οι δραστηριότητες-προβλήματα της ακολουθίας

Τέσσερις είναι οι δραστηριότητες-προβλήματα που εισάγονται προς λύση κατά την εξέλιξη της ακολουθίας. Η πρώτη (*Πώς και γιατί το μεσαιωνικό ρολόι-εκκρεμές μπορεί να γίνει ακριβέστερο;*) αφορά στο ιστορικό πρόβλημα της ρύθμισης της ακρίβειας των μεσαιωνικών μηχανικών ρολογιών εκκρεμούς και στις πιθανές δυνατότητες ρύθμισής τους. Η επίλυση του προβλήματος επιβάλλει τη διερεύνηση της κίνησης του απλού εκκρεμούς ως απόρροια του ρόλου του στη ρύθμιση της ακρίβειας του ρολογιού – εκκρεμούς. Η συγκεκριμένη διδακτική πορεία, όπως έχει αναλυθεί στο κεφάλαιο 2 της διατριβής, δε συμφωνεί με το ιστορικό ανάλογο των λόγων αρχικής μελέτης των νόμων του απλού εκκρεμούς, όπου η μελέτη δε σχετίζεται με

οποιοδήποτε τρόπο με μηχανισμούς μέτρησης του χρόνου. Είναι όμως σύμφωνη με την ύστερη μελέτη του απλού εκκρεμούς, η οποία επεβλήθη από την ανάγκη ερμηνείας των «απορυθμισμένων» ρολογιών εκκρεμούς στα ταξίδια του Richer. Η πορεία επίτευξης των, πολιτισμικών κατά βάση, διδακτικών στόχων της 1ης ενότητας συντελείται με τη γνωριμία των μαθητών με τον απλοποιημένο μηχανισμό του ρολογιού – εκκρεμούς, την εμβάθυνση στη λειτουργία του και την ανάδειξη του απλού εκκρεμούς ως του μηχανισμού μέσω του οποίου θα επιχειρηθεί η ρύθμιση του ρολογιού.

Η δεύτερη δραστηριότητα-πρόβλημα (*Ποια ιδέα κρύβεται πίσω από τη λειτουργία του ρολογιού – εκκρεμούς;*) σχετίζεται άμεσα με τη Γαλιλαϊκή θεώρηση της κίνησης του απλού εκκρεμούς, όπου η ανεξαρτησία της περιόδου του από το πλάτος της αιώρησης το καθιστά κατάλληλο για τη ρύθμιση των ρολογιών. Η πορεία επίλυσης της δραστηριότητας-προβλήματος από τους μαθητές αναδεικνύει την ανάγκη του πειραματικού ελέγχου και την ανάγκη επινόησης και εφαρμογής μιας κατάλληλης πειραματικής μεθόδου.

Η τρίτη δραστηριότητα-πρόβλημα (*Πώς μετατρέπεται ένα απλό εκκρεμές σε εκκρεμές του 1 sec;*) που εισάγεται στην 3η διδακτική ενότητα αναφέρεται στο πρόβλημα της ρύθμισης του ρολογιού – εκκρεμούς, σε ρολόι που μετρά σε δευτερόλεπτα, όπως και στο ιστορικό ανάλογο. Η επίλυση του προβλήματος επιτυγχάνεται από τους μαθητές μέσω της διερεύνησης της σχέσης της περιόδου του απλού εκκρεμούς τόσο με το μήκος του εκκρεμούς, όσο και με το βάρος του.

Τέλος, η τέταρτη δραστηριότητα-πρόβλημα (*Η διάρκεια της απλής αιώρησης απλού εκκρεμούς, μήκους 1 m, είναι παντού 1 sec;*) αφορά στη διερεύνηση της σχέσης της περιόδου του απλού εκκρεμούς με τη βαρύτητα και στην τελική επίλυση του προβλήματος ρύθμισης των ρολογιών εκκρεμούς ή μη.

ii. Το διδακτικό υλικό της ακολουθίας

Πολυποίκιλο είναι το διδακτικό υλικό με το οποίο υλοποιείται η διδακτική ακολουθία του απλού εκκρεμούς. Αυτό αφορά τόσο στο σχεδιασμό των φύλλων εργασίας της ακολουθίας, όσο και στη δημιουργία προσομοίωσης της κίνησης του απλού εκκρεμούς με τη βοήθεια του εκπαιδευτικού λογισμικού Interactive Physics.

Τα φύλλα εργασίας: Κάθε διδακτική ενότητα συνοδεύεται από ένα φύλλο εργασίας, το οποίο στοχεύει πρωτίστως στην εισαγωγή της προς επίλυση δραστηριότητας-προβλήματος που αντιστοιχεί στην κάθε διδακτική ενότητα. Επιπλέον το φύλλο εργασίας συνεισφέρει στην επικέντρωση και διευκόλυνση της συζήτησης, στην ανάπτυξη της συνεργασίας των μαθητών και στη διευκόλυνση της καταγραφής των συμπερασμάτων της συζήτησης. Δομικά στοιχεία του φύλλου εργασίας αποτελούν (α) οι μικρές ιστορίες αυθεντικού ή μετασχηματισμένου ιστορικού υλικού, που θέτουν το προς επίλυση γνωστικό πρόβλημα ή παρέχουν τις πληροφορίες για την κατανόηση της κοινωνικής αναγκαιότητας μελέτης του, (β) οι ερωτήσεις οι οποίες παρακινούν τους μαθητές να διατυπώσουν απόψεις σχετικά με τις έννοιες και τις πειραματικές μεθόδους, να δώσουν εξηγήσεις και να προτείνουν τρόπους υπέρβασης. Επιπλέον, τα φύλλα εργασίας περιέχουν φωτογραφίες ή σχέδια που από τη μια μεριά διευκολύνουν στην κατανόηση των κειμένων και από την άλλη συμβάλλουν σε ένα καλαίσθητο και ευχάριστο για τους μαθητές ανάγνωσμα. Τα φύλλα εργασίας της διδακτικής ακολουθίας του απλού εκκρεμούς παρατίθενται στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ.

Ειδικότερα, η γενική τοποθέτηση στο κοινωνικό πρόβλημα της ναυσιπλοΐας το Μεσαίωνα και η διασύνδεσή του με το τεχνικό/επιστημονικό πρόβλημα της ακριβούς μέτρησης του χρόνου, συντελείται με τη χρήση του εισαγωγικού κειμένου «*Το πρόβλημα του γεωγραφικού μήκους και η μέτρηση του χρόνου στη μεσαιωνική Ευρώπη*». Το κείμενο αποτελεί έναν εκλαϊκευτικό μετασχηματισμό ιστορικού υλικού.

Η παρουσίαση του απλοποιημένου μηχανισμού του ρολογιού – εκκρεμούς και οι ενέργειες των μαθητών προκειμένου να δοθούν απαντήσεις στα ζητήματα που θέτει η πρώτη δραστηριότητα-πρόβλημα, αποτελούν το περιεχόμενο του φύλλου εργασίας 1 «*Το μηχανικό ρολόι του Galileo*». Το κείμενο συντίθεται τόσο από αυθεντικό, όσο και από μετασχηματισμένο ιστορικό υλικό.

Η εισαγωγή της δεύτερης δραστηριότητας-προβλήματος που σχετίζεται με το πρόβλημα του ισόχρονου της κίνησης του απλού εκκρεμούς, καθώς και οι επιδιωκόμενες δράσεις των μαθητών περιγράφονται στο φύλλο εργασίας 2 «*Από το μηχανικό ρολόι στη μελέτη του απλού εκκρεμούς*». Κεντρικό τμήμα του κειμένου αποτελεί το σχετικό με το ισόχρονο του εκκρεμούς απόσπασμα από το βιβλίο του Galileo «*Discourse Concerning Two New Sciences*».

Οι μεθοδολογικές ενέργειες των μαθητών προκειμένου να διερευνηθεί η σχέση της περιόδου του απλού εκκρεμούς με το μήκος και το βάρος του και η επίτευξη της λύσης της κατασκευής του εκκρεμούς δευτερολέπτου, αποτελούν το κεντρικό περιεχόμενο του φύλλου εργασίας 3 «*Το απλό εκκρεμές του δευτερολέπτου*».

Τέλος, η εκλαϊκευτική περιγραφή των ταξιδιών του Richer, η σχετική συζήτηση που ακολουθεί σχετικά με τις παρατηρήσεις του στη λειτουργία των ρολογιών εκκρεμούς και οι προτάσεις των μαθητών για υπέρβαση του προβλήματος, αποτελούν τον πυρήνα του φύλλου εργασίας 4: «*Μια συναρπαστική ανακάλυψη: το ταξίδι του Jean Richer στην Cayenne*».

Η προσομοίωση του απλού εκκρεμούς: Η χρήση υπολογιστών στη μελέτη φυσικών φαινομένων είναι κοινός τόπος εδώ και αρκετές δεκαετίες. Στη διδασκαλία της Φυσικής έχουν ήδη αναπτυχθεί και χρησιμοποιηθεί πολλές εφαρμογές υπολογιστών, όπως λογιστικά φύλλα, εργαστήρια βασισμένα σε υπολογιστή, πολυμέσα και προσομοιώσεις. Ειδικότερα, οι προσομοιώσεις, ως ανοιχτά περιβάλλοντα μάθησης,

προσφέρουν στους μαθητές πολλαπλές ευκαιρίες ανάπτυξης των γνώσεών τους μέσα από διαδικασίες υπόθεσης και ελέγχου, καθώς και τη δυνατότητα διερευνήσεων που θα ήταν εξαιρετικά δύσκολο να πραγματοποιηθούν στην τάξη ή στο σχολικό εργαστήριο για διάφορους λόγους, όπως η πιθανή επικινδυνότητα, το οικονομικό κόστος, οι τεχνικές δυσκολίες, ο μεγάλος ή μικρός χρόνος διάρκειάς τους (Κόμης, 2004). Το Interactive Physics είναι ένα δισδιάστατο εικονικό εργαστήριο Φυσικής που προσομοιώνει την πραγματική εξέλιξη των κινήσεων των αντικειμένων, χωρίς να χρειάζεται προγραμματισμό, ενώ ταυτόχρονα μπορεί να μετρά μια σειρά από φυσικά μεγέθη και να επιτρέπει τη ρύθμιση των παραμέτρων της προσομοίωσης, πριν και κατά τη διάρκεια της εκτέλεσής της (Jimogiannis & Komis, 2001).

Στα πλαίσια δημιουργίας διδακτικού υλικού της διδακτικής ακολουθίας του απλού εκκρεμούς, πραγματοποιήθηκε η σχεδίαση προσομοίωσης της αιώρησης του απλού εκκρεμούς, με τη χρήση του λογισμικού Interactive Physics, οι λεπτομέρειες της οποίας παρατίθενται στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ IV. Η επιλογή της χρήσης προσομοίωσης στην υλοποίηση της διδακτικής ακολουθίας, αντί της χρήσης των παραδοσιακών εργαστηριακών μέσων, όπως διάταξη απλού εκκρεμούς, χρονόμετρα κλπ, γίνεται για δύο κυρίως λόγους. Ο πρώτος αφορά στο τεχνικό επίπεδο και σχετίζεται αφ' ενός με τη δυνατότητα επιλογής ιδανικών συνθηκών στην κίνηση του εκκρεμούς (κίνηση χωρίς τριβές ή αντιστάσεις, δυνατότητα μεταβολής της έντασης του πεδίου βαρύτητας) και αφ' ετέρου με την εξοικονόμηση διδακτικού χρόνου κατά τον έλεγχο των σχέσεων μεταξύ των μεταβλητών από τους μαθητές. Ο δεύτερος, αλλά εξίσου σημαντικός, αφορά στην παιδαγωγική απόφαση μη εμπλοκής των μαθητών σε συζήτηση για ζητήματα υπολογισμού σφαλμάτων, μέσω όρων, πειραματικών δεξιοτήτων κλπ, ζητήματα τα οποία ανακύπτουν κατά την εφαρμογή πειραματικών διεργασιών με παραδοσιακά μέσα.

Συνοψίζοντας, στον πίνακα 5.5 που ακολουθεί, απεικονίζεται η συνολική σχεδίαση της ακολουθίας του απλού εκκρεμούς: (α) στην πρώτη στήλη καταχωρούνται οι τέσσερις διδακτικές ενότητες της ακολουθίας, (β) η δεύτερη στήλη αναφέρεται στις δραστηριότητες-προβλήματα στη λύση των οποίων αποβλέπει η συγκεκριμένη ενότητα, (γ) στις τρεις τελευταίες στήλες παρατίθενται οι εννοιολογικοί, μεθοδολογικοί και πολιτισμικοί διδακτικοί στόχοι της ενότητας και σημειώνονται με κόκκινο χρώμα τα αντίστοιχα διδακτικά μέσα.

Διδ. εν/τα	Δραστηριότητα-πρόβλημα	Διδακτικοί στόχοι		
		Εννοιολογικοί	Μεθοδολογικοί	Πολιτισμικοί
1 ^η	Πώς και γιατί το μεσαιωνικό ρολόι-εκκρεμές μπορεί να γίνει ακριβέστερο;	Περιοδικότητα (ομοιόμορφη επανάληψη αιωρήσεων)	Αναγνώριση παραγόντων που επηρεάζουν τη μέτρηση του χρόνου στο ρολόι-εκκρεμές	Η μέτρηση του χρόνου ως κοινωνικο-επιστημονικό πρόβλημα -Εισαγωγικό κείμενο -Φύλλο Εργασίας 1
2 ^η	Ποια ιδέα κρύβεται πίσω από τη λειτουργία του ρολογιού – εκκρεμούς;	Ισόχρονη κίνηση εκκρεμούς	Αναγνώριση και έλεγχος της σχέσης περιόδου -πλάτους απλού εκκρεμούς -Λογισμικό προσομοίωσης πειράματος	Η ιστορική προσέγγιση της ισόχρονης κίνησης του απλού εκκρεμούς -Φύλλο Εργασίας 2
3 ^η	Πώς μετατρέπεται ένα απλό εκκρεμές σε εκκρεμές του 1 sec;	Η σχέση περιόδου – μήκους νήματος / ανεξαρτησία περιόδου -βάρους σφαιριδίου του απλού εκκρεμούς	Αναγνώριση και έλεγχος της σχέσης περιόδου – μήκους νήματος / βάρους σφαιριδίου απλού εκκρεμούς Λογισμικό προσομοίωσης πειράματος	-Φύλλο Εργασίας 3
4 ^η	Η διάρκεια της απλής αιώρησης απλού εκκρεμούς, μήκους 1 m, είναι παντού 1 sec;	Σχέση περιόδου – βαρύτητας ενός τόπου (βάρος \neq βαρύτητα)	Αναγνώριση και έλεγχος της σχέσης περιόδου – βαρύτητας σε ένα νοητικό πείραμα	Η σχέση περιόδου εκκρεμούς – βαρύτητας ως κοινωνικο-επιστημονικό πρόβλημα -Φύλλο Εργασίας 4

Πίνακας 5.5: Η συνολική σχεδίαση της ακολουθίας του απλού εκκρεμούς

5.3 Οι διδακτικές ενότητες της ακολουθίας

Όπως έχει προαναφερθεί, οι διδακτικοί στόχοι της προτεινόμενης ακολουθίας του απλού εκκρεμούς υλοποιούνται σε τέσσερις διδακτικές ενότητες. Στην 1^η διδακτική ενότητα επιχειρείται η μετάβαση από τις απλοποιημένες τεχνικές γνώσεις της ρύθμισης του ρολογιού – εκκρεμούς στη μελέτη των ιδιοτήτων της κίνησης του απλού εκκρεμούς. Στη 2^η διδακτική ενότητα πραγματοποιείται η διαπραγμάτευση του ισόχρονου της κίνησης του απλού εκκρεμούς. Στην 3^η διδακτική ενότητα διερευνώνται οι επιδράσεις του βάρους και του μήκους του εκκρεμούς στην τιμή της περιόδου του. Τέλος, στην 4^η διδακτική ενότητα επιχειρείται η εισαγωγή της επιτάχυνσης της βαρύτητας και η διατύπωση των γενικών συμπερασμάτων. Η λεπτομερής περιγραφή των διδακτικών ενοτήτων ακολουθεί.

i. 1η διδακτική ενότητα

Η 1η διδακτική ενότητα ξεκινά με την ανάγνωση ή αφήγηση του εισαγωγικού κειμένου «*Το πρόβλημα του γεωγραφικού μήκους και η μέτρηση του χρόνου στη μεσαιωνική Ευρώπη*» και τη μελέτη και συζήτηση του κειμένου «*Το μηχανικό ρολόι του Galileo*» του φύλλου εργασίας 1 (ΦΕ1).

Στη συνέχεια ζητείται η απάντηση, κατόπιν συζήτησης, στην ερώτηση 1 (E1) του φύλλου εργασίας (*Ποιος είναι ο ρόλος των τεσσάρων βασικών στοιχείων ενός ρολογιού-εκκρεμούς;*) και ακολουθεί η συζήτηση μεταξύ των ομάδων, σχετικά με τις απαντήσεις στο 1ο ερώτημα. Στη συζήτηση αυτή, ο εκπαιδευτικός περιορίζεται στο να θέτει ερωτήματα σχετικά με τη συμβολή των βασικών τμημάτων του ρολογιού – εκκρεμούς στη λειτουργία του, με τρόπο που να διευκολύνει την κατανόησή της.

Ακολούθως, ζητείται η απάντηση στην ερώτηση 2 (E2) του φύλλου εργασίας (*Αν υποθέσουμε ότι το συγκεκριμένο ρολόι-εκκρεμές πηγαίνει μπροστά, τι αλλαγές θα προτεινάτε προκειμένου να το διορθώσετε;*) και η συμβολή του εκπαιδευτικού στη

διάρκεια της συζήτησης μεταξύ των ομάδων που ακολουθεί, αφορά στον εντοπισμό του εκκρεμούς ως του στοιχείου του ρολογιού-εκκρεμούς το οποίο χρήζει αλλαγών προκειμένου να επιτευχθεί η επιδιωκόμενη διόρθωση και στην επισήμανση της ανάγκης μελέτης των ιδιοτήτων της περιόδου της κίνησης του απλού εκκρεμούς.

Το σχέδιο διδακτικών δραστηριοτήτων του εκπαιδευτικού της 1^{ης} ενότητας, δίνονται στον πίνακα 5.6.

<i>1^η διδακτική ενότητα</i>
Δραστηριότητες εκπαιδευτικού
<p>1. Εισάγει μια ιστορική προσέγγιση της μελέτης του εκκρεμούς (γεωγραφικό μήκος, ανάγκη για ακριβή ρολόγια)</p> <p>2. Ζητά από τους μαθητές να συζητήσουν κατά ομάδες και να συμπληρώσουν το φύλλο εργασίας 1 (ΦΕ1) απαντώντας στην ερώτηση 1 (Ε1)</p> <p>3. Προκαλεί συζήτηση σχετική με τις απαντήσεις των μαθητών, ομαδοποιεί τις αντιλήψεις τους και βοηθά στην κατανόηση του τρόπου λειτουργίας του ρολογιού – εκκρεμούς</p> <p>4. Ζητά από τους μαθητές να συζητήσουν κατά ομάδες και να συμπληρώσουν το φύλλο εργασίας 1 (ΦΕ1) απαντώντας στην ερώτηση 2 (Ε2)</p> <p>5. Προκαλεί συζήτηση σχετική με τις απαντήσεις των μαθητών, ομαδοποιεί τις αντιλήψεις τους και στρέφει τη συζήτηση προς την αναγκαιότητα μελέτης του απλού εκκρεμούς</p>

Πίνακας 5.6: Το σχέδιο δραστηριοτήτων εκπαιδευτικού της 1ης διδακτικής ενότητας

ii. 2η διδακτική ενότητα

Η 2η διδακτική ενότητα ξεκινά με την ανάγνωση και συζήτηση του κειμένου

«Από το μηχανικό ρολόι στη μελέτη του απλού εκκρεμούς» του φύλλου εργασίας 2 (ΦΕ2). Στη συνέχεια, αναζητούνται οι απαντήσεις στην ερώτηση 3 (Ε3) (*Τι νομίζετε ότι θα απαντούσε ο Σαλβιάτι (δηλαδή, αυτός που εκφράζει τις ιδέες του Galileo) σ' αυτά που ισχυρίζεται ο Σαγρέντο;*) του φύλλου εργασίας και προβάλλεται στους μαθητές η ανάγκη πειραματικού ελέγχου των θεωρητικών ισχυρισμών για τη σχέση περιόδου-πλάτους του απλού εκκρεμούς. Οι διαδικασίες επαναλαμβάνονται για την ερώτηση 4 (Ε4) (*Ποια συγκεκριμένη τεχνική θα προτείνατε για να επιβεβαιώσετε ή να διαψεύσετε τον ισχυρισμό του Σαγρέντο*) και ακολουθεί συζήτηση μεταξύ των ομάδων, όπου αναμένεται οι μαθητές να επισημάνουν την ανάγκη σχεδιασμού μιας μεθόδου πειραματικού ελέγχου της σχέσης περιόδου-πλάτους του απλού εκκρεμούς.

Η υλοποίηση της συμφωνηθείσας μεθόδου πραγματοποιείται με τη χρήση της προσομοίωσης του απλού εκκρεμούς και οι μαθητές καλούνται να παρατηρούν και καταγράφουν τις τιμές της περιόδου του απλού εκκρεμούς για διάφορα πλάτη αιώρησης. Η συζήτηση των συμπερασμάτων αναμένεται να οδηγήσει στην ανεξαρτησία της περιόδου του απλού εκκρεμούς από το πλάτος αιώρησής του και στην επιβεβαίωση της Γαλιλαϊκής ισόχρονης κίνησης του απλού εκκρεμούς.

Το σχέδιο διδακτικών δραστηριοτήτων του εκπαιδευτικού της 2ης ενότητας, δίνονται στον πίνακα 5.7.

<i>2η διδακτική ενότητα</i>
Δραστηριότητες εκπαιδευτικού
<p>1. Ζητά από τους μαθητές να συζητήσουν κατά ομάδες και να συμπληρώσουν το φύλλο εργασίας 2 (ΦΕ2) απαντώντας στην ερώτηση 3 (E3)</p> <p>2. Προκαλεί συζήτηση σχετική με τις απαντήσεις των μαθητών, ομαδοποιεί τις αντιλήψεις τους και στρέφει τη συζήτηση προς την αναγκαιότητα εφαρμογής μιας πειραματικής μεθόδου μελέτης της σχέσης περιόδου με το πλάτους αιώρησης του απλού εκκρεμούς</p> <p>3. Ζητά από τους μαθητές να συζητήσουν κατά ομάδες και να συμπληρώσουν το φύλλο εργασίας 2 (ΦΕ2) απαντώντας στην ερώτηση 4 (E4)</p> <p>4. Προκαλεί συζήτηση σχετική με τις απαντήσεις των μαθητών, ομαδοποιεί τις αντιλήψεις τους και στρέφει τη συζήτηση προς το περιεχόμενο μιας πειραματικής μεθόδου μελέτης της σχέσης περιόδου με το πλάτους αιώρησης του απλού εκκρεμούς</p> <p>5. Επιδεικνύει την προσομοίωση της κίνησης του απλού εκκρεμούς ως εναλλακτική πρόταση ενός πραγματικού πειράματος και εφαρμόζει την συμφωνηθείσα μέθοδο ελέγχου της σχέσης της περιόδου, με το πλάτος αιώρησης του απλού εκκρεμούς</p> <p>6. Προκαλεί συζήτηση σχετική με την ερμηνεία των αποτελεσμάτων από την εφαρμογή της μεθόδου και αναδεικνύει / εισάγει την έννοια της ισόχρονης κίνησης του εκκρεμούς</p>

Πίνακας 5.7: Το σχέδιο δραστηριοτήτων εκπαιδευτικού της 2ης διδακτικής ενότητας

iii. 3η διδακτική ενότητα

Η 3η διδακτική ενότητα ξεκινά με την απάντηση και συζήτηση της ερώτησης 5 (E5) (*Τι νομίζετε ότι θα πρέπει να κάνετε, για να μετατρέψετε ένα απλό εκκρεμές, σε απλό*

εκκρεμές που χρειάζεται 1 δευτερόλεπτο για να κάνει μια απλή αιώρηση;) του φύλλου εργασίας 3 (ΦΕ3) «Το απλό εκκρεμές του δευτερολέπτου». Στη συζήτηση μεταξύ των ομάδων που ακολουθεί, ο εκπαιδευτικός προτρέπει στην ανάγκη πειραματικού ελέγχου των σχέσεων περιόδου-μήκους και περιόδου-βάρους του απλού εκκρεμούς.

Στη συνέχεια ζητείται η συζήτηση και απάντηση της ερώτησης 6 (Ε6) (*Μπορείτε να προτείνετε μια μέθοδο με την οποία θα ελέγξετε αν ισχύουν ή όχι οι ισχυρισμοί σας;*) του φύλλου εργασίας και η προσοχή των μαθητών στρέφεται στο σχεδιασμό μιας μεθόδου πειραματικού ελέγχου των σχέσεων περιόδου-μήκους και περιόδου - βάρους του απλού εκκρεμούς.

Η υλοποίηση της συμφωνηθείσας μεθόδου πραγματοποιείται με τη χρήση της προσομοίωσης του απλού εκκρεμούς και οι μαθητές καλούνται να παρατηρούν και να καταγράφουν τη μεταβολή ή μη της περιόδου του απλού εκκρεμούς σε συνάρτηση με τη μεταβολή των βαρών του εκκρεμούς. Η συζήτηση των συμπερασμάτων οδηγείται στην ανεξαρτησία της περιόδου του απλού εκκρεμούς από το βάρος του.

Με την ίδια τεχνική διερευνάται και η σχέση της περιόδου του εκκρεμούς με το μήκος του. Οι μαθητές παροτρύνονται να παρατηρήσουν και να μετρήσουν την περίοδο του εκκρεμούς για διαφορετικά μήκη νήματος του εκκρεμούς, να διατυπώσουν την ποιοτική σχέση περιόδου – μήκους του εκκρεμούς και να επιβεβαιώσουν το μήκος εκκρεμούς με περίοδο 2 sec.

Το σχέδιο διδακτικών δραστηριοτήτων του εκπαιδευτικού της 3^{ης} ενότητας, δίνονται στον πίνακα 5.8.

3η διδακτική ενότητα
Δραστηριότητες εκπαιδευτικού
<p>1. Ζητά από τους μαθητές να συζητήσουν κατά ομάδες και να συμπληρώσουν το φύλλο εργασίας 3 (ΦΕ3) απαντώντας στην ερώτηση 5 (E5)</p> <p>2. Προκαλεί συζήτηση σχετική με τις απαντήσεις των μαθητών, ομαδοποιεί τις αντιλήψεις τους</p> <p>3. Ζητά από τους μαθητές να συζητήσουν κατά ομάδες και να συμπληρώσουν το φύλλο εργασίας 3 (ΦΕ3) απαντώντας στην ερώτηση 6 (E6)</p> <p>4. Προκαλεί συζήτηση σχετική με τις απαντήσεις των μαθητών, ομαδοποιεί τις αντιλήψεις τους και στρέφει τη συζήτηση προς το περιεχόμενο μιας πειραματικής μεθόδου μελέτης της σχέσης περιόδου και μήκους του νήματος / βάρους του σφαιριδίου του απλού εκκρεμούς</p> <p>5. Επιδεικνύει το λογισμικό προσομοίωσης της κίνησης του απλού εκκρεμούς και εφαρμόζει τη συμφωνηθείσα μέθοδο ελέγχου της σχέσης της περιόδου με το μήκος του νήματος / βάρους του σφαιριδίου του απλού εκκρεμούς</p> <p>6. Προκαλεί συζήτηση σχετική με την ερμηνεία των αποτελεσμάτων από την εφαρμογή της μεθόδου και αναδεικνύει / εισάγει τη σχέση της περιόδου του απλού εκκρεμούς με το μήκος του νήματος και το βάρος του σφαιριδίου</p>

Πίνακας 5.8: Το σχέδιο δραστηριοτήτων εκπαιδευτικού της 3ης διδακτικής ενότητας

iv. 4η διδακτική ενότητα

Η τελευταία διδακτική ενότητα ξεκινά με την ανάγνωση και συζήτηση από τους μαθητές του κειμένου «*Μια συναρπαστική ανακάλυψη: το ταξίδι του Jean Richer στην Cayenne*» από το φύλλο εργασίας 4 (ΦΕ4). Στη συνέχεια ζητείται από τους μαθητές η συζήτηση και απάντηση της ερώτησης 7 (E7) (*Μπορείτε να προτείνετε μια μέθοδο με την οποία θα ελέγξετε αν ισχύει ή όχι ο ισχυρισμός του Νεύτωνα ότι «η περίοδος ενός*

εκκρεμούς εξαρτάται από τη βαρύτητα»;) του φύλλου εργασίας. Κατά τη συζήτηση επιζητείται ο σχεδιασμός μιας πειραματικής μεθόδου ελέγχου της σχέσης περιόδου-βαρύτητας και η ανάδειξη της ποιοτικής σχέσης της περιόδου του απλού εκκρεμούς με τη βαρύτητα.

Στη συνέχεια ζητείται η συζήτηση και απάντηση της ερώτησης 8 (E8) (*Πώς μπορεί τελικά να ρυθμιστεί ένα ρολόι – εκκρεμές, σαν αυτό του Galileo, για το οποίο συζητήσατε στην πρώτη ενότητα, σε έναν τόπο;*) του φύλλου εργασίας. Η συζήτηση των ομάδων αναμένεται να οδηγήσει στη συνόψιση των συμπερασμάτων των ιδιοτήτων της κίνησης του απλού εκκρεμούς και της κατανόησης του ρυθμιστικού του ρόλου στη λειτουργία του ρολογιού – εκκρεμούς.

Η διδακτική ακολουθία του απλού εκκρεμούς ολοκληρώνεται με την ανάθεση σχετικής συνθετικής εργασίας στο σπίτι (*Κάντε μια μικρή εργασία για ό,τι μάθατε σχετικά με την κίνηση του εκκρεμούς και τη μέτρηση του χρόνου. Η εργασία αυτή μπορεί να περιέχει κείμενο, σχέδια, φωτογραφίες ή άλλο υλικό που εσείς κρίνετε ότι έχει σχέση με αυτήν. Έπειτα, με τη βοήθεια των καθηγητών/-τριών της Φυσικής και της Πληροφορικής, «κρεμάστε» την εργασία σας στην ιστοσελίδα του σχολείου σας*).

Το σχέδιο διδακτικών δραστηριοτήτων του εκπαιδευτικού της 4^{ης} ενότητας δίνονται στον πίνακα 5.9.

4η διδακτική ενότητα
Δραστηριότητες εκπαιδευτικού
<p>1. Ζητά από τους μαθητές να συζητήσουν κατά ομάδες και να συμπληρώσουν το φύλλο εργασίας 4 (ΦΕ4) απαντώντας στην ερώτηση 7 (E7)</p> <p>2. Προκαλεί συζήτηση σχετική με τις απαντήσεις των μαθητών, ομαδοποιεί τις αντιλήψεις τους και στρέφει τη συζήτηση προς την αναγκαιότητα εφαρμογής ενός νοητικού πειράματος για τη μελέτη της σχέσης περιόδου με τη βαρύτητα</p> <p>3. Ζητά από τους μαθητές να συζητήσουν κατά ομάδες και να συμπληρώσουν το φύλλο εργασίας 4 απαντώντας στη δραστηριότητα 8 (E8)</p> <p>4. Προκαλεί συζήτηση σχετική με τις απαντήσεις των μαθητών και οδηγεί τη συζήτηση σε τελικά συμπεράσματα</p> <p>5. Δίδεται η Δραστηριότητα στο σπίτι (Δ)</p>

Πίνακας 5.9: Το σχέδιο δραστηριοτήτων εκπαιδευτικού της 4ης διδακτικής ενότητας

ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

Οι κεντρικές επιλογές στις οποίες βασίζεται η σχεδίαση της διδακτικής ακολουθίας για την κίνηση του απλού εκκρεμούς προκύπτουν από το επίπεδο ανάλυσης του μοντέλου ανάλυσης και σχεδιασμού της ακολουθίας και είναι: (α) η μελέτη της λειτουργίας του ρολογιού – εκκρεμούς, για το πολιτισμικό πλαίσιο, (β) η Γαλιλαϊκή προσέγγιση της περιόδου του απλού εκκρεμούς, για το εννοιολογικό πλαίσιο και (γ) η υποθετικο-παραγωγική προσέγγιση, για το μεθοδολογικό πλαίσιο. Λαμβάνοντας υπόψη τις παραπάνω επιλογές, οι διδακτικοί στόχοι της ακολουθίας ταξινομούνται, στη βάση της «καινοτομικής» προσέγγισης, σε εννοιολογικούς, μεθοδολογικούς και πολιτισμικούς και διαρθρώνονται στη βάση των απαιτήσεων της «εποικοδομητικής» προσέγγισης, αφού στη διαμόρφωσή τους, εκτός του

επιστημονικού αντικειμένου, λαμβάνονται υπόψη οι αντίστοιχες νοητικές παραστάσεις των μαθητών.

Οι διδακτικές ενότητες της ακολουθίας απλού εκκρεμούς είναι τέσσερις, όσες και οι διδακτικές ώρες που απαιτούνται για την υλοποίησή τους. Η κάθε διδακτική ενότητα περιλαμβάνει την επίτευξη συγκεκριμένων διδακτικών στόχων, μέσω της υλοποίησης ενός αριθμού δραστηριοτήτων, οι οποίες βασίζονται σε μετασχηματισμένο ή αυθεντικό ιστορικό υλικό και περιγράφονται σε τέσσερα φύλλα εργασίας, ένα για κάθε διδακτική ενότητα.

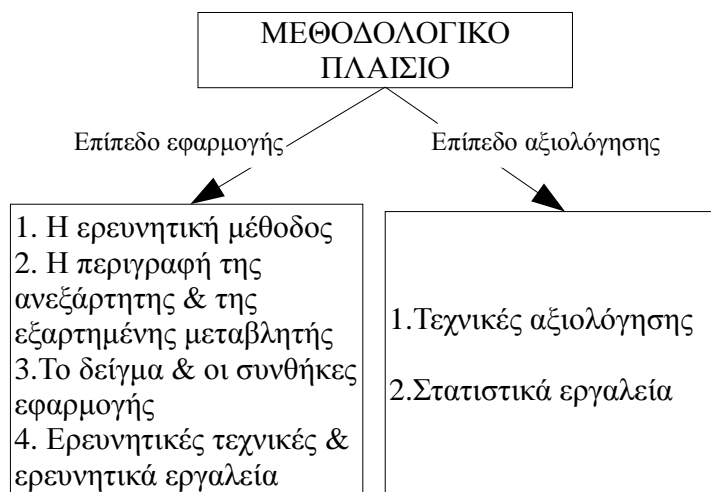
Το διδακτικό υλικό της διδακτικής ακολουθίας περιλαμβάνει: (α) τα φύλλα εργασίας και (β) την προσομοίωση της κίνησης του απλού εκκρεμούς, η οποία σχεδιάστηκε, ειδικά για τη συγκεκριμένη ακολουθία, στο περιβάλλον του λογισμικού Interactive Physics.

Η 1^η διδακτική ενότητα διαπραγματεύεται την σχέση του ρολογιού- εκκρεμούς με το απλό εκκρεμές, η 2^η το ισόχρονο της κίνησής του, η 3^η τη σχέση της περιόδου με το βάρος και το μήκος του απλού εκκρεμούς και η 4^η τη σχέση της περιόδου με τη βαρύτητα.

Κεφάλαιο 6^ο

**Η μεθοδολογική προσέγγιση της εφαρμογής και
αξιολόγηση της διδακτικής ακολουθίας**

Το παρόν κεφάλαιο αποτελείται από δύο ενότητες και αφορά στη μεθοδολογική προσέγγιση του επιπέδου εφαρμογής και αξιολόγησης της διδακτικής ακολουθίας του απλού εκκρεμούς. Μια συνοπτική περιγραφή του ερευνητικού μεθοδολογικού μοντέλου της εφαρμογής της ακολουθίας δίνεται στο σχήμα 6.1.



Σχήμα 6.1: Η μεθοδολογική προσέγγιση της εφαρμογής και αξιολόγησης της διδακτικής ακολουθίας

Στο επίπεδο της πειραματικής εφαρμογής της διδακτικής ακολουθίας (ενότητα 6.1) αναλύεται η μέθοδος της πειραματικής έρευνας της εφαρμογής, περιγράφεται η ανεξάρτητη και η εξαρτημένη μεταβλητή, πραγματοποιείται η ανάλυση του δείγματος και των συνθηκών εφαρμογής, καθώς και η περιγραφή των ερευνητικών τεχνικών και των εργαλείων της.

Στο επίπεδο αξιολόγησης των δεδομένων της εφαρμογής της ακολουθίας (ενότητα 6.2) περιλαμβάνονται τόσο η περιγραφή των τεχνικών ανάλυσης και αξιολόγησης των δεδομένων, όσο και η παρουσίαση των στατιστικών εργαλείων ανάλυσης των δεδομένων από την εφαρμογή.

6.1 Η ερευνητική στρατηγική της εφαρμογής της ακολουθίας

Η εκπαιδευτική έρευνα, προκειμένου να συλλέξει δεδομένα που θα αξιοποιηθούν ως βάση συμπερασμάτων και ερμηνείας, χρησιμοποιεί πολλές και διαφορετικές μεθοδολογικές προσεγγίσεις. Η πειραματική έρευνα συνιστά μια από τις περισσότερο χρησιμοποιούμενες εκπαιδευτικές ερευνητικές μεθόδους, με κύριο χαρακτηριστικό της τον κατά βούληση έλεγχο και χειρισμό των συνθηκών των υπό διερεύνηση γεγονότων. Χαρακτηριστικό, αν και απλό, παράδειγμα πειραματικής έρευνας συνιστά η παρατήρηση της εξαρτημένης μεταβλητής σε ένα πείραμα Φυσικών Επιστημών, ως συνάρτηση των μεταβολών της τιμής της ανεξάρτητης μεταβλητής. Στις περισσότερες πειραματικές έρευνες η ανεξάρτητη μεταβλητή είναι συνήθως ένα ερέθισμα, όπως για παράδειγμα μια νέα διδακτική προσέγγιση και η εξαρτημένη μεταβλητή μια αντίδραση, για παράδειγμα η εκτίμηση της αξίας της νέας προσέγγισης. Η μεθοδολογική απαίτηση της τυχαίας επιλογής του δείγματος στη διεξαγωγή των πειραματικών ερευνών στην εκπαίδευση, συνιστά ένα σχεδόν αζεπέραστο εμπόδιο στη συγκρότηση του δείγματος της έρευνας και τον κυριότερο λόγο αντικατάστασης των πειραματικών ερευνών από τις επονομαζόμενες «οιονεί» πειραματικές έρευνες. Η συγκρότηση του δείγματος με τεχνικές πέραν της τυχαίας δειγματοληψίας συνιστά το ουσιώδες χαρακτηριστικό που διαφοροποιεί τις «οιονεί» πειραματικές έρευνες, από τις πειραματικές έρευνες (Cohen & Manion, 1997).

Μια από τις μορφές που μπορεί να λάβει η «οιονεί» πειραματική έρευνα στην εκπαίδευση, είναι το προ-πειραματικό σχέδιο. Η τεχνική αυτή συνίσταται στον διπλό έλεγχο μιας εξαρτημένης μεταβλητής μιας ομάδας υποκειμένων, πριν και μετά την έκθεση της ομάδας σε έναν πειραματικό χειρισμό (ανεξάρτητη μεταβλητή), στον οποίο αποδίδονται οι παρατηρούμενες διαφορές. Σχηματικά, το σχέδιο διπλού ελέγχου αναπαρίσταται στο σχήμα 6.2, όπου οι συμβολισμοί **O₁** και **O₂** αφορούν στην

εξαρτημένη μεταβλητή πριν και μετά την έκθεση των υποκειμένων στον πειραματικό χειρισμό **X**, αντίστοιχα.

O_1 **X** O_2

Σχήμα 6.2: Το σχέδιο διπλής μέτρησης

Ο βαθμός ελέγχου των ανεξάρτητων μεταβλητών που επιδρούν στην τιμή της εξαρτημένης μεταβλητής είναι ένα από τα σημαντικότερα προς επίλυση προβλήματα της πειραματικής έρευνας, καθότι διάφοροι εξωτερικοί παράγοντες που σχετίζονται με τους μαθητές, τους εκπαιδευτικούς, τα υλικά, τη μέθοδο διδασκαλίας κ.α., είναι δυνατό να επιδράσουν στη διαμόρφωση των διαφορών των τιμών της εξαρτημένης μεταβλητής και να απειληθεί η εγκυρότητα της ερευνητικής διεργασίας (Cohen & Manion, 1997).

i. Η ερευνητική μέθοδος

Η ονομαζόμενη προ-πειραματική έρευνα είναι η μέθοδος διεξαγωγής της παρούσας διερεύνησης. Η εξαρτημένη μεταβλητή αφορά στη γνωστική πρόοδο των μαθητών του δείγματος μετά τη συμμετοχή τους στην πειραματική εφαρμογή της διδακτικής ακολουθίας του απλού εκκρεμούς (ανεξάρτητη μεταβλητή).

Η επιλογή της συγκεκριμένης μεθόδου συναρτάται με τους κεντρικούς στόχους της έρευνας στους οποίους η έμφαση δίνεται στη δυνατότητα ανατροφοδότησης των στοιχείων του επιπέδου σχεδιασμού ως αποτέλεσμα της εφαρμογής και αξιολόγησης της συγκεκριμένης ακολουθίας και όχι στη σύγκρισή της με άλλη διδακτική προσέγγιση στα πλαίσια μιας άλλης ή παρόμοιας αντίληψης για το αναλυτικό πρόγραμμα Φυσικών Επιστημών. Επιπλέον, η επιλογή ενός ερευνητικού σχεδίου, που θα περιλάμβανε εκτός της πειραματικής ομάδας και ομάδα ελέγχου, ενδεχομένως θα έθετε ζήτημα εσωτερικής εγκυρότητάς της, αφού το προτεινόμενο καινοτομικό και εποικοδομητικό πρόγραμμα έχει ποιοτικά διαφορετικά χαρακτηριστικά από το

παραδοσιακό.

Τέλος, όπως θα αναλυθεί και στη συνέχεια, θεωρούμε ότι παράγοντες που άπτονται της εγκυρότητας της επιλεγθείσας μεθόδου - όπως η γνωστική συγκρότηση του δείγματος, το εκπαιδευτικό υλικό και η διδακτική παρέμβαση, οι χειρισμοί του ερευνητή στην υλοποίηση της συγκεκριμένης ακολουθίας, η γνωστική ωρίμανση του δείγματος στο χρονικό διάστημα της παρατήρησης - έτυχαν κατάλληλου χειρισμού και αντιμετώπισης, ώστε να ελαχιστοποιηθούν οι επιδράσεις τους στη διαμόρφωση των διαφορών των τιμών της εξαρτημένης μεταβλητής.

ii. Η ανεξάρτητη μεταβλητή: η διδακτική ακολουθία

Η διδακτική ακολουθία του απλού εκκρεμούς, της οποίας η συγκρότηση και το περιεχόμενο έχει αναλυθεί στο κεφάλαιο 5, ενέχει το ρόλο της ανεξάρτητης μεταβλητής στην πειραματική εφαρμογή της ακολουθίας. Απαρτίζεται από τέσσερις διδακτικές ενότητες που στοχεύουν τόσο σε εννοιολογικούς, όσο και σε μεθοδολογικούς και πολιτισμικούς στόχους, στα πλαίσια της Γαλιλαϊκής ανάλυσης της κίνησης του απλού εκκρεμούς.

Η υλοποίηση κάθε διδακτικής ενότητας καθοδηγείται από ένα ερευνητικό πρωτόκολλο, το οποίο εστιάζει το ερευνητικό ενδιαφέρον στην αντιστοίχιση των δραστηριοτήτων που καλούνται οι μαθητές να υλοποιήσουν και στην προσδοκώμενη γνωστική εξέλιξή τους, ως αποτέλεσμα των συγκεκριμένων δραστηριοτήτων (Tiberghien, 1997). Για την επίτευξη των παραπάνω, κάθε ερευνητικό πρωτόκολλο συναποτελείται από δύο πλαίσια, το πλαίσιο της πράξης (πλαίσιο της διδασκαλίας) που υπαγορεύει τις ενέργειες του εκπαιδευτικού κατά την υλοποίηση της διδακτικής ενότητας και περιγράφει τις αναμενόμενες δραστηριότητες των μαθητών/τριών, και το πλαίσιο της θεωρίας (πλαίσιο της διδακτικής) που περιγράφει την προσδοκώμενη μεταβολή των νοητικών παραστάσεων των μαθητών (Δελέγκος, 2012; Γκούσκου,

2013). Τα ερευνητικά πρωτόκολλα των τεσσάρων διδακτικών ενότητων της ακολουθίας, παρατίθενται στους πίνακες 6.1, 6.2, 6.3 και 6.4 που ακολουθούν.

Ακολουθεί η περιγραφή του πρωτοκόλλου της 2ης διδακτικής ενότητας «Ποια ιδέα κρύβεται πίσω από τη λειτουργία του ρολογιού – εκκρεμούς;» (Πίνακας 6.2) ως παράδειγμα περιγραφής. Στην πρώτη στήλη (*Δραστηριότητες ερευνητή*) το πλαίσιο της πράξης του ερευνητικού πρωτοκόλλου, υπαγορεύει στον εκπαιδευτικό/ερευνητή να καλέσει τους μαθητές να διαβάσουν το αντίστοιχο στην ενότητα φύλλο εργασίας και να απαντήσουν, μετά από συζήτηση, στις αντίστοιχες ερωτήσεις. Στη συνέχεια, να συντονίσει και να κατευθύνει τη συζήτηση στην ανάγκη πειραματισμού σχετικά με το ισόχρονο των αιωρήσεων του απλού εκκρεμούς και να επιδείξει την κίνησή του, εφαρμόζοντας τη συμφωνηθείσα πειραματική μέθοδο. Στο τέλος της διδακτικής ενότητας ο ερευνητής οφείλει να συντονίσει τη συζήτηση των αποτελεσμάτων και να αναδείξει την ισόχρονη κίνηση του εκκρεμούς. Σε κάθε περίπτωση, με κόκκινο χρώμα, δίνεται η χρονική διάρκεια της κάθε δραστηριότητας.

Αντίστοιχα, στη δεύτερη στήλη (*Αναμενόμενες δραστηριότητες μαθητών*) το πλαίσιο της πράξης περιγράφει τις αναμενόμενες ενέργειες των μαθητών, οι οποίοι θα πρέπει να λάβουν μέρος στη συζήτηση, να δώσουν τις απαντήσεις στο αντίστοιχο φύλλο εργασίας, να προτείνουν πειραματική μέθοδο ελέγχου της σχέσης της περιόδου του εκκρεμούς με το πλάτος αιώρησής του, να παρατηρήσουν και να συζητήσουν τα αποτελέσματα της πειραματικής επίδειξης.

Από την άλλη πλευρά, το πλαίσιο της θεωρίας περιγράφει (α) την προσδοκώμενη εξέλιξη της εννοιολογικής νοητικής παράστασης του ισόχρονου της κίνησης του εκκρεμούς, (β) την αναγνώριση των μεταβλητών της περιόδου και του πλάτους της αιώρησης, ως εξαρτημένης και ανεξάρτητης μεταβλητής αντίστοιχα, και

ΕΝΟΤΗΤΑ Α: ΠΩΣ ΚΑΙ ΓΙΑΤΙ ΤΟ ΜΕΣΑΙΩΝΙΚΟ ΡΟΛΟΙ-ΕΚΚΡΕΜΕΣ ΜΠΟΡΕΙ ΝΑ ΓΙΝΕΙ ΑΚΡΙΒΕΣΤΕΡΟ;

ΔΙΔΑΣΚΑΛΙΑ (ΠΡΑΞΗ)		ΔΙΔΑΚΤΙΚΗ ΦΕ (ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ)		
Δραστηριότητες ερευνητή	Αναμενόμενες δραστηριότητες μαθητών	Επιδιωκόμενη σχολική γνώση: εννοιολογική συνιστώσα	Επιδιωκόμενη σχολική γνώση: μεθοδολογική συνιστώσα	Επιδιωκόμενη σχολική γνώση: πολιτισμική συνιστώσα
<p>1. Εισάγει μια ιστορική προσέγγιση της μελέτης του εκκρεμούς (γεωγραφικό μήκος, ανάγκη για ακριβή ρολόγια) (5')</p> <p>2. Ζητά από τους μαθητές να συζητήσουν κατά ομάδες και να συμπληρώσουν το φύλλο εργασίας 1 (ΦΕ1) απαντώντας στην ερώτηση 1(Ε1) (10')</p> <p>3. Προκαλεί συζήτηση σχετική με τις απαντήσεις των μαθητών, ομαδοποιεί τις αντιλήψεις τους και βοηθά στη κατανόηση του τρόπου λειτουργίας του ρολογιού – εκκρεμούς (10')</p> <p>4. Ζητά από τους μαθητές να συζητήσουν κατά ομάδες και να συμπληρώσουν το φύλλο εργασίας 1 (ΦΕ1) απαντώντας στην ερώτηση 2 (Ε2) (10')</p> <p>5. Προκαλεί συζήτηση σχετική με τις απαντήσεις των μαθητών, ομαδοποιεί τις αντιλήψεις τους και στρέφει τη συζήτηση προς την αναγκαιότητα μελέτης του απλού εκκρεμούς (10')</p>	<p>1. Να λάβουν μέρος στην προκαλούμενη από τον ερευνητή συζήτηση.</p> <p>2. Να συζητήσουν ανά ομάδες τις ερωτήσεις 1 & 2 και να συμπληρώσουν το φύλλο εργασίας 1.</p>	<p>Περιοδικότητα (ομοιόμορφη επανάληψη αιωρήσεων)</p>	<p>Αναγνώριση παραγόντων που επηρεάζουν τη μέτρηση του χρόνου στο ρολόι-εκκρεμές</p>	<p>- Το ρολόι-εκκρεμές (βασικά στοιχεία, λειτουργία, περιοδικότητα)</p> <p>- Η επιστημονική ανάγκη μελέτης του απλού εκκρεμούς ως συνέπεια του κοινωνικού προβλήματος προσδιορισμού του γεωγραφικού μήκους και της ρύθμισης του ρολογιού – εκκρεμούς</p>

Πίνακας 6.1: Το ερευνητικό πρωτόκολλο της 1ης διδακτικής ενότητας

ΕΝΟΤΗΤΑ Β: ΠΟΙΑ ΙΔΕΑ ΚΡΥΒΕΤΑΙ ΠΙΣΩ ΑΠΟ ΤΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΡΟΛΟΓΙΟΥ ΕΚΚΡΕΜΟΥΣ;

ΔΙΔΑΣΚΑΛΙΑ (ΠΡΑΞΗ)		ΔΙΔΑΚΤΙΚΗ ΦΕ (ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ)		
Δραστηριότητες ερευνητή	Αναμενόμενες δραστηριότητες μαθητών	Επιδιωκόμενη σχολική γνώση: εννοιολογική συνιστώσα	Επιδιωκόμενη σχολική γνώση: μεθοδολογική συνιστώσα	Επιδιωκόμενη σχολική γνώση: πολιτισμική συνιστώσα
<p>1. Ζητά από τους μαθητές να συζητήσουν κατά ομάδες και να συμπληρώσουν το φύλλο εργασίας 2 (ΦΕ2) απαντώντας στις ερωτήσεις 3 και 4 (Ε3 & Ε4) (15')</p> <p>2. Προκαλεί συζήτηση σχετική με τις απαντήσεις των μαθητών, ομαδοποιεί τις αντιλήψεις τους και στρέφει τη συζήτηση προς την αναγκαιότητα εφαρμογής και το περιεχόμενο μιας πειραματικής μεθόδου μελέτης της σχέσης περιόδου με το πλάτος της αιώρησης του απλού εκκρεμούς (10')</p> <p>3. Επιδεικνύει το λογισμικό προσομοίωσης της κίνησης του απλού εκκρεμούς ως εναλλακτική πρόταση ενός πραγματικού πειράματος και εφαρμόζει τη συμφωνηθείσα μέθοδο ελέγχου της σχέσης της περιόδου, με το πλάτος αιώρησης του απλού εκκρεμούς (10')</p> <p>4. Προκαλεί συζήτηση σχετική με την ερμηνεία των αποτελεσμάτων από την εφαρμογή της μεθόδου και αναδεικνύει / εισάγει την έννοια της ισόχρονης κίνησης του εκκρεμούς (10')</p>	<p>1. Να λάβουν μέρος στην προκαλούμενη από τον ερευνητή συζήτηση.</p> <p>2. Να συζητήσουν ανά ομάδες τις ερωτήσεις 3 & 4 και να συμπληρώσουν το φύλλο εργασίας 2.</p> <p>3. Να παρατηρήσουν την εκτελούμενη από τον ερευνητή προσομοίωση και να λάβουν μέρος στη σχετική συζήτηση.</p>	<p>Η ανεξαρτησία της περιόδου του απλού εκκρεμούς από το πλάτος της αιώρησης (ισόχρονη κίνηση του απλού εκκρεμούς)</p>	<p>-Η αναγνώριση της περιόδου του απλού εκκρεμούς ως εξαρτημένης μεταβλητής και του πλάτους της αιώρησης ως ανεξάρτητης -Η μέθοδος ελέγχου της σχέσης περιόδου - πλάτους της αιώρησης</p>	<p>Η ιστορική προσέγγιση της ισόχρονης κίνησης του απλού εκκρεμούς</p>

Πίνακας 6.2: Το ερευνητικό πρωτόκολλο της 2ης διδακτικής ενότητας

ΕΝΟΤΗΤΑ Γ: ΠΩΣ ΜΕΤΑΤΡΕΠΕΤΑΙ ΕΝΑ ΑΠΛΟ ΕΚΚΡΕΜΕΣ ΣΕ ΕΚΚΡΕΜΕΣ ΤΟΥ 1 SEC;

ΔΙΔΑΣΚΑΛΙΑ (ΠΡΑΞΗ)		ΔΙΔΑΚΤΙΚΗ ΦΕ (ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ)		
Δραστηριότητες ερευνητή	Αναμενόμενες δραστηριότητες μαθητών	Επιδιωκόμενη σχολική γνώση: εννοιολογική συνιστώσα	Επιδιωκόμενη σχολική γνώση: μεθοδολογική συνιστώσα	Επιδιωκόμενη σχολική γνώση: πολιτισμική συνιστώσα
<p>1. Ζητά από τους μαθητές να συζητήσουν κατά ομάδες και να συμπληρώσουν το φύλλο εργασίας 3 (ΦΕ3) απαντώντας στην ερώτηση 5 (Ε5) (10')</p> <p>2. Προκαλεί συζήτηση σχετική με τις απαντήσεις των μαθητών, ομαδοποιεί τις αντιλήψεις τους (5')</p> <p>3. Ζητά από τους μαθητές να συζητήσουν κατά ομάδες και να συμπληρώσουν το φύλλο εργασίας 3 (ΦΕ3) απαντώντας στην ερώτηση 6 (Ε6) (10')</p> <p>4. Προκαλεί συζήτηση σχετική με τις απαντήσεις των μαθητών, ομαδοποιεί τις αντιλήψεις τους και στρέφει τη συζήτηση προς το περιεχόμενο μιας πειραματικής μεθόδου μελέτης της σχέσης περιόδου και μήκους του νήματος / βάρους του σφαιριδίου του απλού εκκρεμούς (5')</p> <p>5. Επιδεικνύει το λογισμικό προσομοίωσης της κίνησης του απλού εκκρεμούς και εφαρμόζει την συμφωνηθείσα μέθοδο ελέγχου της σχέσης της περιόδου με το μήκος του νήματος / βάρους του σφαιριδίου του απλού εκκρεμούς (10')</p> <p>6. Προκαλεί συζήτηση σχετική με την ερμηνεία των αποτελεσμάτων από την εφαρμογή της μεθόδου και αναδεικνύει / εισάγει τη σχέση της περιόδου του απλού εκκρεμούς με το μήκος του νήματος και το βάρος του σφαιριδίου (συγχρόνως, απαντάται και το ερώτημα 'πως μετατρέπεται ένα απλό εκκρεμές σε εκκρεμές του 1 sec) (5')</p>	<p>1. Να λάβουν μέρος στην προκαλούμενη από τον ερευνητή συζήτηση.</p> <p>2. Να συζητήσουν ανά ομάδες τις ερωτήσεις 5 & 6.</p> <p>3. Να παρατηρήσουν τις εκτελούμενες από τον ερευνητή προσομοιώσεις να λάβουν μέρος στην σχετική συζήτηση.</p>	<p>-Η ανεξαρτησία της περιόδου του απλού εκκρεμούς από το βάρος του σφαιριδίου</p> <p>-Η (ποιοτική) σχέση εξάρτησης της περιόδου του απλού εκκρεμούς από το μήκος του νήματος</p> <p>-Το απλό εκκρεμές του 1 sec έχει μήκος 1 m.</p>	<p>-Η αναγνώριση του μήκους του νήματος και του βάρους του σφαιριδίου ως ανεξάρτητων μεταβλητών</p> <p>-Η μέθοδος ελέγχου της σχέσης περιόδου – μήκους του νήματος</p> <p>-Η μέθοδος ελέγχου της σχέσης περιόδου – βάρους του σφαιριδίου</p>	

Πίνακας 6.3: Το ερευνητικό πρωτόκολλο της 3ης διδακτικής ενότητας

ΕΝΟΤΗΤΑ Δ: Η ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΗΣ ΑΠΛΗΣ ΑΙΩΡΗΣΗΣ ΑΠΛΟΥ ΕΚΚΡΕΜΟΥΣ, ΜΗΚΟΥΣ 1 Μ, ΕΙΝΑΙ ΠΑΝΤΟΥ 1 SEC;

ΔΙΔΑΣΚΑΛΙΑ (ΠΡΑΞΗ)		ΔΙΔΑΚΤΙΚΗ ΦΕ (ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ)		
Δραστηριότητες ερευνητή	Αναμενόμενες δραστηριότητες μαθητών	Επιδιωκόμενη σχολική γνώση: εννοιολογική συνιστώσα	Επιδιωκόμενη σχολική γνώση: μεθοδολογική συνιστώσα	Επιδιωκόμενη σχολική γνώση: πολιτισμική συνιστώσα
<p>1. Ζητά από τους μαθητές να συζητήσουν κατά ομάδες και να συμπληρώσουν το φύλλο εργασίας 4 (ΦΕ4) απαντώντας στην ερώτηση 7 (Ε7) (10')</p> <p>2. Προκαλεί συζήτηση σχετική με τις απαντήσεις των μαθητών, ομαδοποιεί τις αντιλήψεις τους και στρέφει τη συζήτηση προς το περιεχόμενο μιας μεθόδου μελέτης της σχέσης περιόδου με την βαρύτητα στα πλαίσια ενός νοητικού πειράματος (10')</p> <p>3. Ζητά από τους μαθητές να συζητήσουν κατά ομάδες και να συμπληρώσουν το φύλλο εργασίας 4 (ΦΕ4) απαντώντας στη δραστηριότητα 8 (Ε8) (10')</p> <p>4. Προκαλεί συζήτηση σχετική με τις απαντήσεις των μαθητών και οδηγεί τη συζήτηση σε τελικά συμπεράσματα (15')</p> <p>5. Δίδεται η Δραστηριότητα στο σπίτι (Δ)</p>	<p>1. Να λάβουν μέρος στην προκαλούμενη από τον ερευνητή συζήτηση.</p> <p>2. Να συζητήσουν ανά ομάδες τις ερωτήσεις 7 & 8 και να συμπληρώσουν το φύλλο εργασίας 4.</p>	<p>-Η (ποιοτική) σχέση εξάρτησης της περιόδου του απλού εκκρεμούς από τη βαρύτητα σε ένα τόπο</p>	<p>-Η μέθοδος ελέγχου της σχέσης περιόδου απλού εκκρεμούς – βαρύτητας σε ένα νοητικό πείραμα</p>	<p>- Η διαμόρφωση της κοινωνικής γνώσης για το ακριβές σχήμα της Γης ως συνέπεια της επιστημονικής γνώσης της σχέσης περιόδου εκκρεμούς – βαρύτητας</p> <p>- Η διαμόρφωση της κοινωνικής γνώσης για την ρύθμιση των ρολογιών εκκρεμούς ως συνέπεια της επιστημονικής γνώσης των ιδιοτήτων της κίνησης του απλού εκκρεμούς</p>

Πίνακας 6.4 Το ερευνητικό πρωτόκολλο της 4ης διδακτικής ενότητας

την ανάπτυξη πειραματικής μεθόδου ελέγχου της σχέσης τους και (γ) την εξέλιξη της πολιτισμικής γνώσης σχετικά με την ισόχρονη κίνηση του εκκρεμούς, όπως αυτή εξιστορείται από τον ίδιο τον Galileo.

iii. Η εξαρτημένη μεταβλητή: Οι νοητικές παραστάσεις των μαθητών

Οι νοητικές παραστάσεις των μαθητών για το απλό εκκρεμές ενέχουν το ρόλο της εξαρτημένης μεταβλητής στην πειραματική εφαρμογή της ακολουθίας του εκκρεμούς. Θα υποστηριχθεί, επομένως, η άμεση συσχέτιση του βαθμού οικοδόμησης της Γαλιλαϊκής εννοιολογικής προσέγγισης του απλού εκκρεμούς (το «*Τι*» της σχολικής γνώσης), του βαθμού αποσαφήνισης των μεθοδολογικών αντιλήψεων των μαθητών (το «*Πώς*» της σχολικής γνώσης), καθώς και του βαθμού διαμόρφωσης των πολιτισμικών τους αντιλήψεων σχετικά με τους κοινωνικοοικονομικούς, τεχνολογικούς και επιστημονικούς λόγους μελέτης του (το «*Γιατί*» της σχολικής γνώσης), με την υπό παρουσίαση καινοτομική και εποικοδομητική διδακτική ακολουθία του εκκρεμούς.

iv. Το δείγμα και οι συνθήκες εφαρμογής της ακολουθίας

Το δείγμα εφαρμογής της προτεινόμενης διδακτικής ακολουθίας του απλού εκκρεμούς απαρτίζεται από 36 μαθητές και μαθήτριες τεσσάρων Γυμνασίων της περιφέρειας Αττικής. Τα κοινωνικοοικονομικά χαρακτηριστικά των μαθητών των τεσσάρων σχολείων διαφέρουν σημαντικά, αφού: το «*Γυμνάσιο Α*» είναι δημόσιο σχολείο του κέντρου των Αθηνών, όπου θεωρείται ότι φοιτούν μαθητές που προέρχονται κατά βάση από χαμηλά και μικρομεσαία οικονομικά στρώματα, το «*Γυμνάσιο Β*» είναι δημόσιο σχολείο προαστίου της περιφέρειας Πειραιά, όπου θεωρείται ότι φοιτούν μαθητές που προέρχονται κατά βάση από χαμηλά και μικρομεσαία οικονομικά στρώματα, το «*Γυμνάσιο Γ*» είναι ιδιωτικό σχολείο προαστίου των Αθηνών, όπου θεωρείται ότι φοιτούν μαθητές που προέρχονται κατά βάση από

μικρομεσαία και μεσαία οικονομικά στρώματα και το «Γυμνάσιο Δ» είναι ιδιωτικό σχολείο προαστίου των Αθηνών, όπου θεωρείται ότι φοιτούν μαθητές που προέρχονται κατά βάση από μεσαία και υψηλά οικονομικά στρώματα.

Η επιλογή του δείγματος δε στηρίζεται στην τεχνική της τυχαίας δειγματοληψίας, αλλά συγκροτείται στη βάση ορισμένων κριτηρίων. Αρχικά γίνεται διαμοιρασμός του ερωτηματολογίου του παραρτήματος Ι σε όλες τις τάξεις της Γ΄ Γυμνασίου, σε κάθε ένα από τα τέσσερα σχολεία, με στόχο τον εντοπισμό των προ-αντιλήψεων των μαθητών σχετικά με την κίνηση του απλού εκκρεμούς. Στη συνέχεια οι εκπαιδευτικοί ΠΕ04 του κάθε σχολείου, υποδεικνύουν ομάδα 20 περίπου μαθητών οι οποίοι κατά την κρίση τους (α) εκφράζουν αυξημένο ενδιαφέρον για ζητήματα Φυσικών Επιστημών και (β) είναι αρκούντως επικοινωνιακοί. Τα παραπάνω κριτήρια στην επιλογή του δείγματος κρίνεται ότι διασφαλίζουν (α) την οικειοθελή συμμετοχή των μαθητών στη διεξαγωγή της έρευνας και τον περιορισμό των διαρροών μαθητών κατά την εφαρμογή της ακολουθίας και (β) την επάρκεια των ερευνητικών δεδομένων.

Η τελική σύνθεση του δείγματος σε κάθε σχολείο επιλέγεται από τον ερευνητή, όπου από την 20μελή ομάδα κάθε σχολείου επιλέγει εννέα (9) μαθητές. Οι μαθητές κατανέμονται σε τρεις τριμελείς ομάδες, με μοναδικό κριτήριο επιλογής και κατανομής στην ομάδα την κατά το δυνατόν καλύτερη εκπροσώπηση όλων των εννοιολογικών, μεθοδολογικών και πολιτισμικών εναλλακτικών αντιλήψεων για την κίνηση του απλού εκκρεμούς, όπως αυτές αναλύονται στο κεφάλαιο 3 της παρούσας έκθεσης. Η τελική σύνθεση του δείγματος, 14 μαθητές και 22 μαθήτριες, ανά σχολείο και φύλο αποτυπώνεται στον πίνακα 6.5.

Σχολείο	Φύλο		Σύνολο
	Αγόρι	Κορίτσι	
A	5	4	9
B	2	7	9
Γ	4	5	9
Δ	3	6	9
Σύνολο	14	22	36

Πίνακας 6.5: Η κατανομή του δείγματος ανά σχολείο και φύλο

Η διεξαγωγή του συνόλου της έρευνας λαμβάνει χώρα το χρονικό διάστημα Σεπτεμβρίου – Νοεμβρίου του 2009 και η εφαρμογή της 4ωρης διδακτικής ακολουθίας του απλού εκκρεμούς σε κάθε σχολείο διεξάγεται σε διάστημα περίπου 20 ημερών, με συνέπεια τον σχεδόν απόλυτο περιορισμό της απώλειας υποκειμένων και επομένως δεδομένων της έρευνας. Μοναδική εξαίρεση η μη συμμετοχή μαθητή για μια διδακτική ώρα κατά την εφαρμογή της ακολουθίας στο Γυμνάσιο Δ. Η διδασκαλία της υπό διερεύνηση ακολουθίας, σε όλες τις πειραματικές ομάδες, γίνεται από τον ερευνητή, προκειμένου να διασφαλιστεί η σταθερότητα της πρακτικής του διδάσκοντα, όπως κοινή παρουσίαση της ακολουθίας σε όλες τις ομάδες, κοινά διδακτικά σχήματα, κοινή χρονική διάρκεια της κάθε δραστηριότητας. Της εφαρμογής των ερευνητικών διεργασιών προηγείται μικρής κλίμακας ενημέρωση των ομάδων του δείγματος αναφορικά με τους στόχους της έρευνας, τα ζητήματα προστασίας των προσωπικών δεδομένων των μαθητών καθώς και περιγραφή των τεχνικών ζητημάτων που σχετίζονται με την καταγραφή των δεδομένων. Επιπρόσθετα, σε κάθε περίπτωση τονίζεται η ανεξαρτησία της έρευνας από τη σχολική αξιολόγηση.

Τέλος, όσον αφορά στις προηγούμενες μαθησιακές, σχολικές εμπειρίες των μαθητών, το αναλυτικό πρόγραμμα Φυσικής της Γ΄ Γυμνασίου, προβλέπει τη μελέτη του απλού εκκρεμούς περί τα μέσα του σχολικού έτους, με συνέπεια η διεκπεραίωση

των ερευνητικών διεργασιών να προηγηθεί αρκετά της τυπικής διδασκαλίας του εκκρεμούς, σε όλα τα σχολεία και επομένως να αποσοβούνται σημαντικές απειλές κατά της εσωτερικής εγκυρότητας της έρευνας, όπως η απόδοση των διαφορών των τιμών της εξαρτημένης μεταβλητής σε γνώσεις και γεγονότα πέραν αυτών που σχετίζονται με την έρευνα ή στην ωρίμανση του δείγματος.

v. Οι ερευνητικές τεχνικές και τα ερευνητικά εργαλεία

Η μέτρηση της επίδρασης της ανεξάρτητης μεταβλητής στην εξαρτημένη επιχειρείται με τη συλλογή δεδομένων από τις απαντήσεις ερωτηματολογίου (βλ. ενότητα 6.2.i) πριν και μετά την εφαρμογή της διδακτικής ακολουθίας του απλού εκκρεμούς. Ο γνωστικός έλεγχος των νοητικών παραστάσεων των μαθητών πριν την υλοποίηση της διδακτικής ακολουθίας του εκκρεμούς πραγματοποιείται με τη χρήση του ίδιου ερωτηματολογίου που είχε χρησιμοποιηθεί στη σύνθεση του δείγματος. Η τελική αποτύπωση των αντιλήψεων των μαθητών γίνεται με το ίδιο ερωτηματολόγιο, 20 περίπου ημέρες μετά την εφαρμογή της ακολουθίας σε κάθε σχολείο, χωρίς να δίνονται επιπλέον διευκρινήσεις ή επεξηγήσεις. Ο σχετικά σύντομος χρόνος του επανελέγχου επιλέγεται προκειμένου να ελαχιστοποιηθούν οι επιδράσεις άλλων παραγόντων στη διαμόρφωση των αντιλήψεων των μαθητών, πέραν της ερευνητικής ακολουθίας. Ο διαμοιρασμός των ερωτηματολογίων πραγματοποιείται σε όλα τα σχολεία από τον ερευνητή.

6.2 Η αξιολόγηση των δεδομένων

Η παρουσίαση των τεχνικών αξιολόγησης των δεδομένων και τα αντίστοιχα στατιστικά εργαλεία που τις υλοποιούν είναι το αντικείμενο που θα απασχολήσει στη συνέχεια.

i. Οι τεχνικές αξιολόγησης των δεδομένων

Η χαρτογράφηση των νοητικών παραστάσεων του δείγματος (εξαρτημένη μεταβλητή) πριν και μετά την πειραματική εφαρμογή της ακολουθίας (ανεξάρτητη μεταβλητή) μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην εκτίμηση του βαθμού επίδρασης της διδακτικής ακολουθίας στην τελική διαμόρφωση των νοητικών παραστάσεων των μαθητών. Όπως έχει αναλυθεί στην ενότητα 3.2, το ερωτηματολόγιο δομείται σε τρεις ενότητες (πολιτισμική, εννοιολογική, μεθοδολογική), που κάθε μια συντίθεται από τρεις κλειστού τύπου ερωτήσεις και μια αιτιολόγηση. Οι κλειστές ερωτήσεις 1, 2 και 3 σχετίζονται με την πολιτισμική συνιστώσα της επιστημονικής γνώσης για το απλό εκκρεμές, οι ερωτήσεις 4, 5 και 6 με την εννοιολογική και οι ερωτήσεις 7, 8 και 9 με τη μεθοδολογική συνιστώσα, αντίστοιχα. Η συνοπτική δομή του ερωτηματολογίου περιγράφεται στον πίνακα 6.6.

Η ΔΟΜΗ ΤΟΥ ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟΥ						
Τύπος ερώτησης	Ενότητα πολιτισμική		Ενότητα εννοιολογική		Ενότητα μεθοδολογική	
Κλειστή	Ερώτηση	Απαντήσεις	Ερώτηση	Απαντήσεις	Ερώτηση	Απαντήσεις
	1	(α)/(β)/(ΔΓ)	4	(α)/(β)/(γ)/(ΔΓ)	7	(α)/(β)/(γ)/(δ)/(ΔΓ)
	2α και 2β	(Ναι)/(Όχι)/(ΔΓ)	5	(α)/(β)/(γ)/(ΔΓ)	8	(α)/(β)/(γ)/(δ)/(ΔΓ)
	3	(α)/(β)/(ΔΓ)	6	(α)/(β)/(γ)/(ΔΓ)	9	(α)/(β)/(γ)/(δ)/(ΔΓ)
Ανοιχτή	Αιτιολόγηση απάντησης ερώτησης 3		Αιτιολόγηση απάντησης ερώτησης 5		Αιτιολόγηση απάντησης ερώτησης 7	

Πίνακας 6.6: Η δομή του ερωτηματολογίου

Στον πίνακα 6.6 φαίνονται οι απαντήσεις στην κάθε ερώτηση (με κόκκινο χρώμα επισημαίνονται οι επιστημονικά αποδεκτές απαντήσεις). Έτσι η ερώτηση 7 έχει πέντε (5) πιθανές απαντήσεις (α)/(β)/(γ)/(δ)/(Δεν Γνωρίζω), ενώ η ερώτηση 2α τρεις (3)

(Ναι)/(Όχι)/(Δεν Γνωρίζω). Η ακριβής ερώτηση και οι τιμές των μεταβλητών περιγράφονται στον πίνακα «Οι επιλογές απαντήσεων του ερωτηματολογίου» που παρατίθεται στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ. Στο ίδιο παράρτημα παρατίθενται και τα πρωτόκολλα βάσης των απαντήσεων στις ερωτήσεις του ερωτηματολογίου των 36 μαθητών του δείγματος, κατανεμημένων ανά σχολείο, πριν και μετά τη συμμετοχή τους στην ερευνητική ακολουθία του απλού εκκρεμούς.

Η ανάλυση των δεδομένων των ερωτήσεων του ερωτηματολογίου πραγματοποιείται σε *τρία επίπεδα*. Στο πρώτο επίπεδο επιδιώκεται η καταγραφή των απαντήσεων των μαθητών και η διαπίστωση των μεταβολών στις απαντήσεις τους, ως αποτέλεσμα της συμμετοχής τους στην εφαρμογή της προτεινόμενης διδακτικής ακολουθίας του απλού εκκρεμούς. Οι απαντήσεις των μαθητών σε αυτό το επίπεδο αναλύονται, ανά ερώτηση, σε τρία στάδια. Το 1ο στάδιο αφορά στην καταγραφή των απαντήσεων και των αιτιολογήσεων πριν την εφαρμογή της ερευνητικής ακολουθίας (στάδιο προελέγχου). Το 2ο στάδιο σχετίζεται με την καταγραφή των απαντήσεων και των αιτιολογήσεων μετά την εφαρμογή της ερευνητικής ακολουθίας (στάδιο μετελέγχου). Στο 3ο στάδιο αναδεικνύονται οι διαφορές στις απαντήσεις και αιτιολογήσεις των μαθητών πριν και μετά την ερευνητική ακολουθία του απλού εκκρεμούς (στάδιο σύγκρισης).

Για τις ερωτήσεις που απαιτείται αιτιολόγηση της κλειστής ερώτησης, προηγείται η ταξινόμησή τους σε κατηγορίες ή υποκατηγορίες, οι οποίες βασίζονται στο περιεχόμενό των απαντήσεων που οι μαθητές εκφέρουν, για να καταστεί εφικτός ο μετασχηματισμός και η παρουσίαση των δεδομένων σε μορφή που συναντάται στην ποσοτική έρευνα. Ειδικότερα, οι κατηγορίες/υποκατηγορίες για την αιτιολόγηση των επιλογών στην *ερώτηση 3* είναι: (i) η υποκατηγορία E₃, που αφορά αιτιολογήσεις οι

οποίες αναφέρονται με επάρκεια στα ειδικά χαρακτηριστικά ή τις ιδιότητες του απλού εκκρεμούς και του ρολογιού – εκκρεμούς ή στη σχέση των δύο μηχανισμών, (ii) η υποκατηγορία A_3 , που αφορά αιτιολογήσεις οι οποίες αναφέρονται ανεπαρκώς στα ειδικά χαρακτηριστικά ή τις ιδιότητες του απλού εκκρεμούς και του ρολογιού-εκκρεμούς ή στη σχέση των δύο μηχανισμών,(iii) η κατηγορία Γ_3 , που σχετίζεται με αιτιολογήσεις οι οποίες βασίζονται σε γενικές τοποθετήσεις και (iv) η κατηγορία Δ_3 , που δηλώνει ότι δεν έχει δοθεί αιτιολόγηση.

Αναφορικά με την αιτιολόγηση των επιλογών της *ερώτησης 5*, η ταξινόμηση πραγματοποιείται στις εξής κατηγορίες/υποκατηγορίες: (i) την υποκατηγορία E_5 , που σχετίζεται με αιτιολογήσεις οι οποίες αναφέρονται επαρκώς στη σχέση της διάρκειας της αιώρησης με το πλάτος της αιώρησης ή αναφέρονται στην πειραματική επιβεβαίωση της σχέσης, (ii) την υποκατηγορία EN_5 , που σχετίζεται με αιτιολογήσεις οι οποίες αναφέρονται σε εναλλακτικές αντιλήψεις στη σχέση της διάρκειας της αιώρησης με το πλάτος της αιώρησης, (iii) την κατηγορία AL_5 , που περιλαμβάνει διάφορες αιτιολογήσεις, κυρίως φαινομενολογικού τύπου και (iv) την κατηγορία Δ_5 , που δηλώνει ότι δεν έχει δοθεί αιτιολόγηση.

Τέλος, η αιτιολόγηση των επιλογών της *ερώτησης 7*, βασίζεται στις εξής κατηγορίες/υποκατηγορίες: (i) την υποκατηγορία M_7 , που περιλαμβάνει επαρκείς μεθοδολογικού χαρακτήρα αιτιολογήσεις, (ii) την υποκατηγορία EN_7 , που περιλαμβάνει εναλλακτικές μεθοδολογικές αιτιολογήσεις, (iii) την κατηγορία E_7 , που περιλαμβάνει εννοιολογικού χαρακτήρα αιτιολογήσεις (iv) την κατηγορία AL_7 , που αντιστοιχεί σε διάφορες αιτιολογήσεις και (iv) την κατηγορία Δ_7 , που δηλώνει ότι δεν έχει δοθεί αιτιολόγηση. Στον πίνακα 6.7 που ακολουθεί συνοψίζονται οι κωδικοί των κατηγοριών των αιτιολογήσεων, τα χαρακτηριστικά τους και σε κάθε περίπτωση

παρατίθεται ενδεικτικό παράδειγμα από τα πρωτογενή δεδομένα.

Ερώτηση	Κατηγορία	Χαρακτηρισμός αιτιολόγησης	Παράδειγμα αιτιολόγησης
3	E3	Επαρκής αναφορά στη σχέση του απλού εκκρεμούς με το ρολόι-εκκρεμές	«...το εκκρεμές του ρολογιού θα κάνει την κατάλληλη κίνηση ώστε να δείχνει το ρολόι σωστά την ώρα...»
	A3	Ανεπαρκής αναφορά στη σχέση του απλού εκκρεμούς με το ρολόι-εκκρεμές	«...το κυριότερο κομμάτι στον μηχανισμό είναι το εκκρεμές. Οι οποιεσδήποτε αλλαγές στο μηχανισμό εξαρτώνται από το εκκρεμές...»
	Γ3	Γενικές τοποθετήσεις	«...για να φτιάξεις κάτι σύνθετο πρέπει πρώτα να έχεις μελετήσει την πιο απλή μορφή...»
	Δ3	Χωρίς αιτιολόγηση	
5	E5	Επαρκής εννοιολογική ή πειραματική αναφορά στη σχέση περιόδου – πλάτους	«...πειραματικά παρατηρούμε ότι από όποια γωνία και αν αφήσουμε το εκκρεμές να αιωρείται η χρονική διάρκεια δεν αλλάζει...»
	EN5	Αναφορά σε εναλλακτικές αντιλήψεις στη σχέση περιόδου – πλάτους	«...η αιώρηση μικραίνει άρα μειώνεται και ο χρόνος που χρειάζεται για να γίνει...»
	ΑΛ5	Αναφορά σε διάφορες αιτιολογήσεις, κυρίως φαινομενολογικές	«...όσο περνά η ώρα η αιώρηση του εκκρεμούς γίνεται όλο και μικρότερη...»
	Δ5	Χωρίς αιτιολόγηση	
7	M7	Επαρκής μεθοδολογική αιτιολόγηση	«...πρέπει να χρησιμοποιήσουμε δυο εκκρεμιά τα οποία να έχουν το ίδιο μήκος νήματος. Έτσι ώστε να έχουμε μόνο έναν παράγοντα να ελέγξουμε...»
	EN7	Αναφορά σε εναλλακτικές μεθοδολογικές αντιλήψεις	«...διαλέγω και τα τρία εκκρεμιά γιατί το καθένα έχει κάτι το διαφορετικό...»
	E7	Αιτιολογήσεις εννοιολογικού χαρακτήρα	«...θα επέλεγα αυτά τα δύο διότι τα εκκρεμιά 1 και 3 έχουν το ίδιο μήκος νήματος αλλά και κάνουν την ίδια αιώρηση παρόλο που τα αφήνουμε από διαφορετική θέση. Η θέση δεν επηρεάζει καθόλου την αιώρηση. Αυτό που μπορεί να την επηρεάσει είναι το μήκος του νήματος...»
	ΑΛ7	Αναφορά σε διάφορες αιτιολογήσεις	«...φαίνεται σαφέστατα πιο καλά η διαφορά...»
	Δ7	Χωρίς αιτιολόγηση	

Πίνακας 6.7: Η κατηγοριοποίηση των αιτιολογήσεων

Στο δεύτερο επίπεδο επιχειρείται η ομαδοποίηση των απαντήσεων των μαθητών

και στις τρεις ερωτήσεις της κάθε ενότητας (πολιτισμική, εννοιολογική, μεθοδολογική), έτσι ώστε να καταστεί δυνατή η αποτύπωση της συνολικής εικόνας των νοητικών παραστάσεων της κάθε ενότητας και η εκτίμηση της επάρκειάς τους. Επιπλέον, η ανάλυση του δευτέρου επιπέδου χρησιμεύει ως ενδιάμεσο στάδιο για την ανάλυση τρίτου επιπέδου που θα ακολουθήσει. Της ανάλυσης δευτέρου επιπέδου, συνεπώς, προηγείται η ιεράρχηση των πρωτογενών κατηγορικών δεδομένων των κλειστών ερωτήσεων σε απαντήσεις που είναι σύμφωνες με την επιστημονική θεώρηση και στις οποίες αποδίδεται ο βαθμός ένα (1) και σε αυτές που εκφράζουν εναλλακτικές αντιλήψεις και στις οποίες αποδίδεται ο βαθμός μηδέν (0). Οι κατηγορίες των νοητικών παραστάσεων ανά ενότητα χαρακτηρίζονται ως «**E**» = «επιστημονικές» όταν και οι τρεις απαντήσεις της ενότητας έχουν βαθμολογηθεί με το βαθμό ένα (1), «**EN**» = «εναλλακτικές» όταν και οι τρεις απαντήσεις της ενότητας έχουν βαθμολογηθεί με το βαθμό μηδέν (0) και «**M**» = «μικτές» όταν κάποιες από τις τρεις απαντήσεις της ενότητας έχουν βαθμολογηθεί με το βαθμό ένα (1) και κάποιες με το βαθμό μηδέν (0). Ο πίνακας 6.8 συνοψίζει τις κατηγορίες και τα αντίστοιχα σκορ ανά ενότητα.

Βαθμολογία απαντήσεων ενότητας	Κατηγορία
Όλες ένα (1)	E
Κάποιες ένα (1) και κάποιες μηδέν (0)	M
Όλες μηδέν (0)	EN

Πίνακας 6.8: Οι κατηγορίες του ερωτηματολογίου και τα αντίστοιχα σκορ ανά ενότητα

Και σε αυτό το επίπεδο η ανάλυση συντελείται σε τρία στάδια. Το 1ο στάδιο αφορά στην αποτύπωση των κατηγοριών ανά ενότητα πριν την εφαρμογή της

ερευνητικής ακολουθίας, το 2ο στάδιο σχετίζεται με τη διαμόρφωση των κατηγοριών ανά ενότητα μετά την εφαρμογή της ερευνητικής ακολουθίας και στο 3ο στάδιο αναδεικνύονται οι διαφορές των κατηγοριών, ανά ενότητα, πριν και μετά την ερευνητική ακολουθία του απλού εκκρεμούς.

Τέλος, στο τρίτο επίπεδο επιχειρείται η διερεύνηση των συσχετίσεων των απαντήσεων ή των νοητικών παραστάσεων των μαθητών που έχουν προκύψει από τις δύο προηγούμενες αναλύσεις, με στόχο την πληρέστερη δυνατή εικόνα των μεταβολών των νοητικών παραστάσεων των μαθητών, ως αποτέλεσμα της επίδρασης της συγκεκριμένης διδακτικής ακολουθίας του απλού εκκρεμούς. Η ανάλυση συντελείται επίσης σε τρία στάδια. Στο 1^ο στάδιο διερευνώνται, ανά ερώτηση, οι μεταβολές των συσχετίσεων μεταξύ των εννοιολογικών και μεθοδολογικών απαντήσεων των μαθητών. Όπως επισημαίνεται και στη σχετική βιβλιογραφία (Gil Perez & Carrascosa, 1985), αποτελεσματική εννοιολογική αλλαγή θεωρείται αυτή που μπορεί να επιτευχθεί σε συνδυασμό με τη μεθοδολογική και επομένως η αποκάλυψη των μεταβολών των συσχετίσεων των νοητικών παραστάσεων των μαθητών για την εννοιολογική και μεθοδολογική συνιστώσα της επιστημονικής γνώσης μπορεί να υποστηρίξει την επίδραση της προτεινόμενης διδακτικής ακολουθίας στη γνωστική πρόοδο των μαθητών. Αντίστοιχη συσχέτιση μεταξύ πολιτισμικών και εννοιολογικών ή μεθοδολογικών απαντήσεων δεν επιχειρείται, καθότι εκτιμούμε ότι μια τέτοιου είδους διασύνδεση στερείται νοήματος, αφού η πολιτισμική γνώση της προτεινόμενης διδακτικής ακολουθίας του απλού εκκρεμούς αποτελεί απλά το λειτουργικό υπόβαθρο της εννοιολογικής και μεθοδολογικής μελέτης της περιόδου της κίνησης του απλού εκκρεμούς (ενότητα 4.1.ii). Στο 2^ο στάδιο διερευνώνται οι συσχετίσεις των κατηγοριοποιημένων αιτιολογήσεων των μαθητών με τις αντίστοιχες απαντήσεις τους,

πριν και μετά την ακολουθία του απλού εκκρεμούς. Η αποκάλυψη αυτών των συσχετίσεων συμβάλλει στην ολοκλήρωση της εικόνας των μεταβολών των νοητικών παραστάσεων των μαθητών και επομένως στην εκτίμηση της επίδρασης της προτεινόμενης διδακτικής ακολουθίας του απλού εκκρεμούς στη διαμόρφωσή τους. Τέλος, στο 3^ο στάδιο διερευνώνται, σε επίπεδο ενότητας ερωτήσεων, οι μεταβολές των συσχετίσεων των κατηγοριοποιημένων νοητικών παραστάσεων που σχετίζονται με την εννοιολογική και μεθοδολογική συνιστώσα της επιστημονικής γνώσης, πριν και μετά την ακολουθία του απλού εκκρεμούς. Στον πίνακα 6.9 που ακολουθεί παρουσιάζεται η σύνοψη των τεχνικών αξιολόγησης των δεδομένων του ερωτηματολογίου ανά επίπεδο και στάδιο ανάλυσης.

Η ανάλυση των δεδομένων			
	Στάδιο 1ο	Στάδιο 2ο	Στάδιο 3ο
1ο Επίπεδο	Απαντήσεις πριν την παρέμβαση, ανά ερώτηση	Απαντήσεις μετά την παρέμβαση, ανά ερώτηση	Σύγκριση απαντήσεων, πριν-μετά, ανά ερώτηση
2ο Επίπεδο	Κατηγορίες νοητικών παραστάσεων πριν την παρέμβαση, ανά ενότητα ερωτήσεων	Κατηγορίες νοητικών παραστάσεων μετά την παρέμβαση, ανά ενότητα ερωτήσεων	Σύγκριση των κατηγοριών νοητικών παραστάσεων, πριν-μετά, ανά ενότητα ερωτήσεων
3ο Επίπεδο	Συσχετίσεις μεταξύ εννοιολογικών και μεθοδολογικών απαντήσεων, ανά ερώτηση	Συσχετίσεις κατηγοριοποιημένων αιτιολογήσεων και αντίστοιχης απάντησης, ανά ερώτηση	Συσχετίσεις μεταξύ νοητικών παραστάσεων της εννοιολογικής και μεθοδολογικής συνιστώσας της επιστημονικής γνώσης, ανά ενότητα

Πίνακας 6.9: Η ανάλυση των δεδομένων του ερωτηματολογίου

ii. Τα στατιστικά εργαλεία αξιολόγησης

Στατιστικά εργαλεία περιγραφικής και πολυδιάστατης στατιστικής χρησιμοποιούνται στην αξιολόγηση των δεδομένων του ερωτηματολογίου. Η χρήση

των εργαλείων της περιγραφικής στατιστικής στοχεύει κυρίως στην οργάνωση και περιγραφή των δεδομένων του δείγματος, ενώ τα εργαλεία πολυδιάστατης στατιστικής αφορούν συνήθως στον έλεγχο της σταθερότητας των δομών που προκύπτουν από την ανάλυση των δεδομένων (Bartholomew et al, 2007). Στην ανάλυσή μας δε γίνεται χρήση στατιστικών εργαλείων *επαγωγικής* στατιστικής, καθότι αυτά αφορούν στον έλεγχο υποθέσεων και στην εξαγωγή συμπερασμάτων αναφορικά με τον πληθυσμό στον οποίο ανήκει το συγκεκριμένο δείγμα, γεγονός το οποίο δεν ενδιαφέρει στην έρευνα μας, αφού η συγκρότηση του δείγματος δεν πραγματοποιήθηκε με τυχαίο τρόπο, αλλά στη βάση συγκεκριμένων κριτηρίων (ενότητα 6.1) και επομένως δεν είναι αντιπροσωπευτικό του πληθυσμού των Ελλήνων μαθητών της Γ΄ Γυμνασίου.

Ειδικότερα, στο πρώτο επίπεδο ανάλυσης η αποτύπωση των απαντήσεων των μαθητών πριν (1^ο στάδιο) και μετά (2^ο στάδιο) τη διδακτική ακολουθία του απλού εκκρεμούς γίνεται με τη χρήση τυπικών εργαλείων της περιγραφικής στατιστικής, όπως πίνακες συχνοτήτων. Στο 3ο στάδιο του ίδιου επιπέδου, πέραν των πινάκων συχνοτήτων, για τη σύγκριση των απαντήσεων των μαθητών γίνεται χρήση αθροιστικών ραβδογραμμάτων, καθότι τα συγκεκριμένα ραβδογράμματα κρίνονται ως τα πλέον κατάλληλα στην απεικόνιση των διαφορών και στον εντοπισμό των λεπτομερειών των μεταβολών (Ρετινιώτης, 2004; Δαφέρμος, 2005; Fild, 2005).

Στο δεύτερο επίπεδο ανάλυσης γίνεται χρήση των ίδιων στατιστικών εργαλείων. Η καταγραφή των κατηγοριών κάθε ενότητας, πριν (1^ο στάδιο) και μετά (2^ο στάδιο) τη διδακτική ακολουθία του απλού εκκρεμούς, γίνεται με τη χρήση πινάκων συχνοτήτων. Στη σύγκριση των κατηγοριών ανά ενότητα, πριν και μετά τη διδακτική ακολουθία του απλού εκκρεμούς, γίνεται, επίσης, χρήση αθροιστικών ραβδογραμμάτων.

Στο τρίτο επίπεδο ανάλυσης, εκτός των παραπάνω στατιστικών εργαλείων

γίνεται χρήση ελέγχου πολυδιάστατης στατιστικής και συγκεκριμένα της παραγοντικής ανάλυσης αντιστοιχιών (Π.Α.Α.) (correspondence analysis). Πρόκειται για διερευνητική τεχνική σχετική με την ανάλυση πινάκων συχνότητας πολλαπλής εισόδου, δηλαδή κατάταξης δύο ή περισσότερων κατηγορικών μεταβλητών, χωρίς τις συνήθεις περιοριστικές τεχνικές προϋποθέσεις άλλων ελέγχων (Μπεχράκης, 1999). Κύριο χαρακτηριστικό της αποτελεί η δυνατότητα γραφικής απεικόνισης των δεδομένων, η γεωμετρική ερμηνεία των οποίων μπορεί να επιτρέψει την ανάδειξη των μη άμεσα αντιληπτών αλληλεπιδράσεων, συσχετίσεων, ομοιοτήτων ή αντιπαραθέσεων μεταξύ των κλάσεων δύο ή περισσότερων μεταβλητών (Le Roux & Rouanet, 2004; Παπαδημητρίου, 2006). Ειδικότερα, η χρήση της Π.Π.Α. στο 1^ο στάδιο αυτού του επιπέδου μπορεί να αποκαλύψει τις τυχόν συσχετίσεις μεταξύ των κατηγοριών της ερώτησης 4 (εννοιολογική σχέση περιόδου-βάρους) και 9 (μεθοδολογική σχέση περιόδου-βάρους), των κατηγοριών της ερώτησης 5 (εννοιολογική σχέση περιόδου-πλάτους) και 7 (μεθοδολογική σχέση περιόδου-πλάτους) και των κατηγοριών της ερώτησης 6 (εννοιολογική σχέση περιόδου-μήκους) και 8 (μεθοδολογική σχέση περιόδου-μήκους), πριν και μετά την εφαρμογή της διδακτικής ακολουθίας του απλού εκκρεμούς. Στο 2^ο στάδιο αυτή η ανάλυση μπορεί να αποκαλύψει τις συσχετίσεις μεταξύ των κατηγοριοποιημένων αιτιολογήσεων και επιλεγμένης απάντησης στην ερώτηση 5 και των κατηγοριοποιημένων αιτιολογήσεων και επιλεγμένης απάντησης στην ερώτηση 7. Τέλος, στο 3^ο στάδιο η χρήση αυτής της στατιστικής τεχνικής μπορεί να αποκαλύψει τις γενικές τυχόν συσχετίσεις μεταξύ των εννοιολογικών κατηγοριών με τις μεθοδολογικές, πριν και μετά την εφαρμογή της προτεινόμενης διδακτικής ακολουθίας.

ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

Η προ-πειραματική έρευνα είναι η μέθοδος πειραματικής έρευνας που κρίνεται η πιο κατάλληλη για τη διερεύνηση της εφαρμογής της διδακτικής ακολουθίας του απλού εκκρεμούς. Το δείγμα της αποτελείται από 36 μαθητές της Γ΄ Γυμνασίου, το οποίο επιλέχθηκε στη βάση κριτηρίων.

Η γνωστική πρόοδος των μαθητών του δείγματος συνιστά την εξαρτημένη μεταβλητή και η διδακτική ακολουθία του απλού εκκρεμούς την ανεξάρτητη. Το ερευνητικό ενδιαφέρον στην υλοποίηση της διδακτικής ακολουθίας του εκκρεμούς εστιάζεται με τη βοήθεια ερευνητικού πρωτοκόλλου, το οποίο συναποτελείται από το πλαίσιο της πράξης και από το πλαίσιο της διδακτικής.

Η συλλογή των δεδομένων της πειραματικής εφαρμογής γίνεται με τη χρήση ερωτηματολογίου πριν και μετά την υλοποίηση της διδακτικής ακολουθίας. Τα δεδομένα αφορούν στις απαντήσεις των μαθητών του δείγματος, οι οποίες αναλύονται και συσχετίζονται σε τρία επίπεδα. Στο πρώτο επίπεδο οι απαντήσεις και αντιλήψεις των μαθητών αναλύονται ανά ερώτηση. Στο δεύτερο επίπεδο οι απαντήσεις των μαθητών αναλύονται ανά ενότητα ερωτήσεων (εννοιολογική, μεθοδολογική, πολιτισμική), αφού πρώτα κατηγοριοποιηθούν. Στο τρίτο επίπεδο οι αναλύσεις αφορούν στις συσχετίσεις μεταξύ απαντήσεων των μαθητών σε ερωτήσεις που αναφέρονται στην εννοιολογική και μεθοδολογική συνιστώσα της επιστημονικής γνώσης. Η ανάλυση των αιτιολογήσεων των μαθητών πραγματοποιείται με παρόμοιο τρόπο, μετά την ταξινόμησή τους σε κατηγορίες, με βάση το περιεχόμενό τους.

Η ανάλυση των δεδομένων της πειραματικής εφαρμογής της ακολουθίας, πραγματοποιείται με τη χρήση στατιστικών εργαλείων περιγραφικής και πολυδιάστατης στατιστικής. Η χρήση των εργαλείων περιγραφικής στατιστικής

(πίνακες συχνοτήτων και γραφήματα) αφορά στο πρώτο και δεύτερο επίπεδο ανάλυσης των δεδομένων, ενώ στις αναλύσεις του τρίτου επιπέδου γίνεται χρήση εργαλείων πολυδιάστατης στατιστικής (correspondence analysis).

Κεφάλαιο 7

Η γνωστική πρόοδος των μαθητών

7.1 Οι απαντήσεις των μαθητών πριν και μετά την ακολουθία: Ανάλυση ανά ερώτηση

i. Οι απαντήσεις, ανά ερώτηση, πριν την ακολουθία

Η Ερώτηση 1 αφορά στη διερεύνηση των αντιλήψεων των μαθητών σχετικά με τους λόγους για τους οποίους ο Galileo ασχολήθηκε με τη μελέτη του απλού εκκρεμούς. Οι απαντήσεις των μαθητών στην 1η ερώτηση του ερωτηματολογίου, πριν τη συμμετοχή τους στη διδακτική ακολουθία του απλού εκκρεμούς παρουσιάζονται στον πίνακα 7.1.

Απάντηση	Απόλυτη Συχνότητα	Σχετική συχνότητα %
Η μέτρηση του χρόνου	5	13,9
Η μελέτη της ταλάντωσης	30	83,3
Σύνολο απαντήσεων	35	97,2
Μαθητές που δεν απάντησαν	1	2,8
Σύνολο μαθητών	36	100,0

Πίνακας 7.1: Απαντήσεις μαθητών στην ερώτηση 1 (Πριν)

Όπως εύκολα διαπιστώνεται από τον πίνακα 7.1, η συντριπτική πλειοψηφία των μαθητών (83,3%) θεωρεί ότι η μελέτη του εκκρεμούς από τον Galileo γίνεται στα πλαίσια μελέτης της ταλάντωσης, άποψη η οποία παρότι δεν είναι σύμφωνη με την ιστορική πορεία μελέτης του απλού εκκρεμούς (ενότητα 2.2), είναι απολύτως σύμφωνη με τη δομή του παραδοσιακού αναλυτικού προγράμματος, όπου το απλό εκκρεμές μελετάται ως περίπτωση εφαρμογής της μελέτης των ταλαντώσεων (ενότητα 4.2). Παρόμοιες συχνότητες έχουν καταγραφεί και στις απαντήσεις των μαθητών στην αντίστοιχη ερώτηση του ερωτηματολογίου, της επισκόπησης των νοητικών παραστάσεων των μαθητών της Γ΄ Γυμνασίου (πίνακας 3.1 στην ενότητα 3.2).

Η Ερώτηση 2α αφορά στην πιθανή συσχέτιση του ρολογιού-εκκρεμούς με την ανάπτυξη της ναυσιπλοΐας. Οι απαντήσεις των μαθητών στην ερώτηση, παρουσιάζονται στον πίνακα 7.2.

Απάντηση	Απόλυτη Συχνότητα	Σχετική συχνότητα %
Σωστό	22	61,1
Λάθος	5	13,9
Δεν γνωρίζω	9	25,0
Σύνολο απαντήσεων	36	100,0

Πίνακας 7.2: Απαντήσεις μαθητών στην ερώτηση 2α (Πριν)

Όπως διαπιστώνεται από πίνακα 7.2, η απόλυτη πλειοψηφία των μαθητών (πάνω από 61%) θεωρεί ότι η εξέλιξη της ναυσιπλοΐας επηρεάστηκε από το ρολόι-εκκρεμές, άποψη σύμφωνη με την ιστορική εξέλιξη των ρολογιών – εκκρεμούς (ενότητα 2.3). Σημαντικό είναι, όμως, το ποσοστό των μαθητών του δείγματος που είτε πιστεύει το αντίθετο, είτε δηλώνει ότι δε γνωρίζει (περίπου 39%).

Η Ερώτηση 2β αφορά στην πιθανή συσχέτιση του ρολογιού-εκκρεμούς με την ανακάλυψη του πεπλατυσμένου σχήματος της γήινης σφαίρας. Οι απαντήσεις των μαθητών στην ερώτηση, παρουσιάζονται στον πίνακα 7.3.

Απάντηση	Απόλυτη Συχνότητα	Σχετική συχνότητα %
Σωστό	18	50,0
Λάθος	11	30,6
Δεν γνωρίζω	7	19,4
Σύνολο απαντήσεων	36	100,0

Πίνακας 7.3: Απαντήσεις μαθητών στην ερώτηση 2β (Πριν)

Όπως παρατηρείται στον πίνακα 7.3, οι απαντήσεις που αφορούν στην εμπλοκή

του ρολογιού-εκκρεμούς με τη γνώση του ακριβούς σχήματος της Γης είναι απολύτως μοιρασμένες. Παρόμοιες συχνότητες έχουν καταγραφεί και στην εμπειρική έρευνα των νοητικών παραστάσεων των μαθητών της Γ΄ Γυμνασίου, γεγονός που ενισχύει τον ισχυρισμό μας ότι « η πιθανότερη αιτία γι' αυτό είναι μάλλον η άγνοια του σχετικού πολιτισμικού πλαισίου με αποτέλεσμα την (τυχαία) διχοτόμηση των απαντήσεων» (ενότητα 3.2, σελ. 62).

Η Ερώτηση 3 σχετίζεται με τις προϋποθέσεις μετάβασης από τη γνώση των ιδιοτήτων του απλού εκκρεμούς στη γνώση κατασκευής του ρολογιού – εκκρεμούς ή το αντίστροφο. Οι απαντήσεις των μαθητών στην 3η ερώτηση του ερωτηματολογίου, παρουσιάζονται στον πίνακα 7.4.

Απάντηση	Απόλυτη Συχνότητα	Σχετική συχνότητα %
Προϋπόθεση η γνώση του ρολογιού	5	13,9
Προϋπόθεση η γνώση του εκκρεμούς	29	80,6
Δεν γνωρίζω	2	5,6
Σύνολο απαντήσεων	36	100,0

Πίνακας 7.4: Απαντήσεις μαθητών στην ερώτηση 3 (Πριν)

Όπως φαίνεται στον πίνακα 7.4, η συντριπτική πλειοψηφία των μαθητών (πάνω από 80%) θεωρεί ότι προϋπόθεση μελέτης του ρολογιού – εκκρεμούς είναι η μελέτη του απλού εκκρεμούς, άποψη σύμφωνη με την ιστορική εξέλιξη των δύο μηχανισμών (ενότητα 2.3). Αντιθέτως, το 14% περίπου των μαθητών φαίνεται να υποστηρίζει ότι η γνώση κατασκευής του ρολογιού – εκκρεμούς είναι προϋπόθεση της μελέτης του εκκρεμούς, ενώ μικρό ποσοστό μαθητών (περίπου 5%), δηλώνει ότι δε γνωρίζει.

Οι κατηγορίες των πολιτισμικών αντιλήψεων που επικαλούνται οι μαθητές για να αιτιολογήσουν τις επιλογές τους, πριν τη διδακτική ακολουθία του απλού εκκρεμούς, παρουσιάζονται στον πίνακα 7.5.

Κατηγορίες	Απόλυτη συχνότητα	Σχετική συχνότητα %
E3	0	0
A3	3	8,3
Γ3	31	86,1
Δ3	2	5,6
Σύνολο	36	100,0

Πίνακας 7.5: Οι κατηγορίες των αιτιολογήσεων των μαθητών στην ερώτηση 3 (Πριν)

Όπως εύκολα διαπιστώνεται από τον πίνακα 7.5, κανείς μαθητής δεν αναφέρεται επαρκώς (κατηγορία E3) στη σχέση του απλού εκκρεμούς με το ρολόι-εκκρεμές προκειμένου να αιτιολογήσει την απάντησή του στην ερώτηση 3 του ερωτηματολογίου. Η συντριπτική πλειοψηφία των μαθητών (πάνω από 86%) αιτιολογεί τις απαντήσεις με γενικές τοποθετήσεις (κατηγορία Γ3). Χαρακτηριστικά παραδείγματα οι αιτιολογήσεις δύο μαθητών οι οποίοι επιχειρηματολογούν για να στηρίζουν την άποψη ότι η μελέτη των ιδιοτήτων της κίνησης του απλού εκκρεμούς είναι προαπαιτούμενο της τεχνολογικής γνώσης κατασκευής του ρολογιού – εκκρεμούς: «Διότι σε όλους τους τομείς πρέπει να γνωρίζουμε το απλούστερο και από το απλούστερο να πηγαίνεις στο πιο σύνθετο» (ΜαθΔ3-Πριν), «για κάθε κατασκευή που έχει πολύπλοκους μηχανισμούς πρέπει να έχει μελετηθεί πρώτα η δομή του» (ΜαθΓ6-Πριν). Τυπικό παράδειγμα αιτιολόγησης που ταξινομείται στην κατηγορία A3 (ανεπαρκής αναφορά στη σχέση του απλού εκκρεμούς με το ρολόι – εκκρεμές) είναι η επιχειρηματολογία του μαθητή B5: «διότι πρέπει να ξέρουμε το υλικό που είναι το σωστό για τη μέτρηση ή το νήμα που θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί» (ΜαθB5-Πριν).

Η Ερώτηση 4 αναφέρεται στη σχέση της περιόδου του απλού εκκρεμούς με το βάρος του. Οι απαντήσεις των μαθητών στην 4η ερώτηση του ερωτηματολογίου,

παρουσιάζονται στον πίνακα 7.6.

Απάντηση	Απόλυτη Συχνότητα	Σχετική συχνότητα %
Το ελαφρύτερο	16	44,4
Το βαρύτερο	16	44,4
Ίση διάρκεια και τα δύο	4	11,1
Δεν γνωρίζω	0	0
Σύνολο απαντήσεων	36	100

Πίνακας 7.6: Απαντήσεις μαθητών στην ερώτηση 4 (Πριν)

Όπως διαπιστώνεται από τον πίνακα 7.6, η άποψη ότι το βαρύτερο εκκρεμές κάνει αιωρήσεις μεγαλύτερης χρονικής διάρκειας ισοβαθεί με την άποψη που θεωρεί ακριβώς το αντίστροφο, ότι δηλαδή μεγαλύτερης διάρκειας αιώρηση κάνει το ελαφρύ εκκρεμές. Αν ληφθεί υπόψη ότι μόνο το 11 % των μαθητών υποστηρίζει την ανεξαρτησία της περιόδου του απλού εκκρεμούς από το βάρος του, μπορεί βάσιμα να υποστηριχθεί ότι η συντριπτική πλειοψηφία των μαθητών του δείγματος (σχεδόν 90%) θεωρεί ότι το βάρος του απλού εκκρεμούς επιδρά στην τιμή της περιόδου του απλού εκκρεμούς. Ο παραπάνω ισχυρισμός είναι σε πλήρη συμφωνία τόσο με τα βιβλιογραφικά δεδομένα (Il-Ho Yang, Yong-Ju Kwon & Jin-Woo Jeong, 2002; Sumida, 2005; Δόσης, 2006), όσο και με τα αποτελέσματα της επισκόπησης των νοητικών παραστάσεων των μαθητών της Γ΄ Γυμνασίου (πίνακας 3.5 στην ενότητα 3.2) .

Η Ερώτηση 5 αφορά στο ισόχρονο της κίνησης του απλού εκκρεμούς. Οι απαντήσεις των μαθητών στην ερώτηση του ερωτηματολογίου, παρουσιάζονται στον πίνακα 7.7.

Απάντηση	Απόλυτη Συχνότητα	Σχετική συχνότητα %
Η διάρκεια αυξάνεται	8	22,2
Η διάρκεια μειώνεται	25	69,4
Η διάρκεια δεν μεταβάλλεται	2	5,6
Δεν γνωρίζω	1	2,8
Σύνολο απαντήσεων	36	100,0

Πίνακας 7.7: Απαντήσεις μαθητών στην ερώτηση 5 (Πριν)

Όπως φαίνεται στον πίνακα 7.7, ελάχιστο είναι το ποσοστό των μαθητών του δείγματος (5.5%) που θεωρεί ότι η διάρκεια της αιώρησης δε μεταβάλλεται κατά την εξέλιξη των ταλαντώσεων του εκκρεμούς. Η συντριπτική πλειοψηφία των μαθητών (σχεδόν το 92%) θεωρεί ότι η περίοδος του απλού εκκρεμούς μεταβάλλεται ως συνάρτηση του πλάτους του και κατά συνέπεια εκφράζει αντιλήψεις που διαφέρουν ριζικά από τη Γαλιλαϊκή θεώρηση της ισόχρονης κίνησης του απλού εκκρεμούς (ενότητα 2.2). Ειδικότερα, ποσοστό 70 % περίπου, θεωρεί ότι η μείωση του πλάτους της αιώρησης επιφέρει μείωση και στη διάρκειά της, ενώ ένα ποσοστό της τάξης του 22% υποστηρίζει ακριβώς το αντίθετο, ότι δηλαδή η μείωση του πλάτους της αιώρησης έχει ως συνέπεια την αύξηση της διάρκειας της αιώρησης. Τα παραπάνω αποτελέσματα, είναι σε πλήρη συμφωνία με τα βιβλιογραφικά δεδομένα (Pi-Ho Yang, Yong-Ju Kwon & Jin-Woo Jeong, 2002; Sumida, 2005; Δόσης, 2006) και επιβεβαιώνουν ότι η συντριπτική πλειοψηφία των μαθητών αντιμετωπίζει σοβαρά εννοιολογικά προβλήματα στη θεώρηση του ισόχρονου της κίνησης του απλού εκκρεμούς, όπως και στο ιστορικό ανάλογο.

Οι κατηγορίες των εννοιολογικών αντιλήψεων που επικαλούνται οι μαθητές για να αιτιολογήσουν τις επιλογές τους, πριν τη διδακτική ακολουθία του απλού εκκρεμούς, παρουσιάζονται στον πίνακα 7.8.

Κατηγορίες	Απόλυτη συχνότητα	Σχετική συχνότητα %
E5	0	0
EN5	25	69,4
ΑΛ5	9	25,0
Δ5	2	5,6
Σύνολο	36	100,0

Πίνακας 7.8: Οι κατηγορίες των αιτιολογήσεων των μαθητών στην ερώτηση 5 (Πριν)

Όπως προκύπτει από τον πίνακα 7.8, δεν υπάρχει αιτιολόγηση η οποία ταξινομείται στην κατηγορία E5 (επαρκής εννοιολογική ή πειραματική αναφορά στη σχέση περιόδου – πλάτους), πριν την εφαρμογή της ακολουθίας του απλού εκκρεμούς. Η απόλυτη πλειοψηφία των μαθητών (ποσοστό σχεδόν 70%) επιχειρεί να αιτιολογήσει τις απαντήσεις στην ερώτηση 5 με προσφυγή σε εναλλακτικές εννοιολογικές απόψεις (κατηγορία EN5) στα πλαίσια του γραμμικού αιτιακού συλλογισμού: «Όσο περνάει η ώρα η αιώρηση του εκκρεμούς γίνεται όλο και μικρότερη δηλαδή μειώνεται το τόξο στο οποίο κινείται το μπαλάκι. Επιπλέον το μπαλάκι παίρνει φόρα – κάθε φορά και λιγότερη βέβαια- όταν φτάνει στο τέρμα του τόξου. Οπότε είναι λογικό ότι μικρότερη απόσταση διανύεται σε μικρότερο χρόνο» (ΜαθΑ9-Πριν), «η αιώρηση μικραίνει άρα μειώνεται και ο χρόνος που χρειάζεται για να γίνει» (ΜαθΒ8-Πριν). Μεγάλο είναι επίσης το ποσοστό των μαθητών (25%) που αναφέρεται στα φαινομενολογικά χαρακτηριστικά της αιώρησης (κατηγορία ΑΛ5). Τυπικό παράδειγμα τέτοιας αιτιολόγησης οι απόψεις του μαθητή Δ5: «όσο περνάει η ώρα το εκκρεμές δε φτάνει στη θέση Α και μετά από πολύ ώρα σταματάει» (ΜαθΔ5-Πριν).

Η Ερώτηση 6 επιχειρεί την καταγραφή των απαντήσεων των μαθητών σχετικά με τη σχέση της περιόδου του απλού εκκρεμούς με το μήκος του. Οι απαντήσεις των

μαθητών στην ερώτηση του ερωτηματολογίου, παρουσιάζονται στον πίνακα 7.9.

Απάντηση	Απόλυτη Συχνότητα	Σχετική συχνότητα %
Το μεγαλύτερου μήκους	21	58,3
Το μικρότερου μήκους	2	5,6
Ίση διάρκεια και τα δύο	12	33,3
Δεν γνωρίζω	0	0
Σύνολο απαντήσεων	35	97,2
Μαθητές που δεν απάντησαν	1	2,8
Σύνολο μαθητών	36	100,0

Πίνακας 7.9: Απαντήσεις μαθητών στην ερώτηση 6 (Πριν)

Όπως φαίνεται στον παραπάνω πίνακα, η απόλυτη πλειοψηφία των μαθητών (πάνω από 58 %), θεωρεί ότι το μεγαλύτερου μήκους εκκρεμές είναι αυτό που εκτελεί αιώρηση μεγαλύτερης χρονικής διάρκειας, άποψη απόλυτα σύμφωνη με την αντίστοιχη επιστημονική. Από την άλλη πλευρά, στις απαντήσεις εμφανίζεται σχεδόν το 1/3 των μαθητών να θεωρεί ότι η περίοδος του απλού εκκρεμούς είναι ανεξάρτητη του μήκους του, ενώ ένα μικρό ποσοστό της τάξης του 5,6 % θεωρεί ότι το μικρότερου μήκους εκκρεμές έχει τη μεγαλύτερη περίοδο. Τα παραπάνω αποτελέσματα φαίνεται να επιβεβαιώνουν τόσο τα βιβλιογραφικά δεδομένα (Il-Ho Yang, Yong-Ju Kwon & Jin-Woo Jeong, 2002; Sumida, 2005; Δόσης, 2006), όσο και τα αποτελέσματα της εμπειρικής έρευνας των νοητικών παραστάσεων των μαθητών της Γ΄ Γυμνασίου (πίνακας 3.,7, ενότητα 3.2) που υποδεικνύουν την ύπαρξη ενός μειωψηφικού, αλλά σημαντικού ποσοστού μαθητών που θεωρεί είτε ότι η περίοδος του απλού εκκρεμούς είναι ανεξάρτητη του μήκους του, είτε ότι μειώνεται με την αύξηση του μήκους.

Η Ερώτηση 7 αφορά στις απαντήσεις των μαθητών σχετικά με την επιλογή των κατάλληλων μεταβλητών και στρατηγικών ελέγχου της σχέσης της περιόδου του απλού

εκκρεμούς με το πλάτος του. Οι απαντήσεις των μαθητών στην ερώτηση του ερωτηματολογίου, παρουσιάζονται στον πίνακα 7.10.

Απάντηση	Απόλυτη Συχνότητα	Σχετική συχνότητα %
Τα δύο που διαφέρουν μόνο στο μήκος	5	13,9
Τα δύο που διαφέρουν μόνο στο πλάτος	13	36,1
Τα δύο που διαφέρουν στο μήκος και στο πλάτος	6	16,7
Όλα	9	25,0
Δεν γνωρίζω	2	5,6
Σύνολο απαντήσεων	35	97,2
Μαθητές που δεν απάντησαν	1	2,8
Σύνολο μαθητών	36	100,0

Πίνακας 7.10: Απαντήσεις μαθητών στην ερώτηση 7 (Πριν)

Όπως φαίνεται στον πίνακα 7.10, μόνο το 38 % περίπου των μαθητών φαίνεται να αναγνωρίζει την κατάλληλη μεταβλητή διερεύνησης της σχέσης της περιόδου του απλού εκκρεμούς με το πλάτος του και τη στρατηγική ελέγχου της σχέσης μεταξύ των δύο μεταβλητών. Η απόλυτη πλειοψηφία των μαθητών φαίνεται να αντιμετωπίζει προβλήματα αφού σχεδόν 20% των μαθητών δείχνει να μην αναγνωρίζει την κατάλληλη μεταβλητή ελέγχου και επιλέγει εκκρεμή που διαφέρουν μόνο στο μήκος τους (14,29 %), ή δηλώνει άγνοια (5,7 %). Επιπλέον, ποσοστό πάνω από 17% φαίνεται να αγνοεί τη στρατηγική ελέγχου της σχέσης δύο μεταβλητών, αφού επιλέγει δύο εκκρεμή που διαφέρουν σε δύο μεταβλητές ταυτόχρονα, δηλαδή και στο μήκος τους και στο αρχικό ύψος. Παρόμοια κατανομή εμφανίζεται και στην επισκόπηση των νοητικών παραστάσεων των μαθητών της Γ΄ Γυμνασίου (πίνακας 3,8, ενότητα 3.2). Τα παραπάνω αποτελέσματα, που επιβεβαιώνονται και από τα βιβλιογραφικά δεδομένα (Koumaras, 2002; Δόσης, 2006), υποδεικνύουν ότι η πλειοψηφία των μαθητών αντιμετωπίζει μεθοδολογικά προβλήματα στη μελέτη της σχέσης της περιόδου με το

βάρος του απλού εκκρεμούς.

Οι κατηγορίες των μεθοδολογικών αντιλήψεων που επικαλούνται οι μαθητές για να αιτιολογήσουν τις επιλογές τους, πριν τη διδακτική ακολουθία του απλού εκκρεμούς, παρουσιάζονται στον πίνακα 7.11.

Κατηγορίες	Απόλυτη συχνότητα	Σχετική συχνότητα %
M7	7	19,4
EN7	14	38,9
E7	1	2,8
ΑΛ7	6	16,7
Δ7	8	22,2
Σύνολο	36	100,0

Πίνακας 7.11: Οι κατηγορίες των αιτιολογήσεων των μαθητών στην ερώτηση 7 (Πριν)

Όπως αποτυπώνεται στον πίνακα 7.11, ένα σεβαστό ποσοστό μαθητών (περίπου το 20%) αιτιολογεί μεθοδολογικά επαρκώς (κατηγορία M7) τη σχέση της περιόδου με το πλάτος του απλού εκκρεμούς. Χαρακτηριστικά παραδείγματα τέτοιων αιτιολογήσεων είναι οι αναφορές: «γιατί το νήμα έχει την ίδια απόσταση (μήκος) και στα δύο εκκρεμή και το μόνο που αλλάζει είναι η θέση από την οποία τα αφήνουμε» (ΜαθΒ6-Πριν), «τα εκκρεμή 1 και 3 κρέμονται από το νήμα, ίδιου μήκους, αλλά απλώς τα αφήνουμε από διαφορετική θέση» (ΜαθΓ5-Πριν). Παρόλα αυτά, η πλειοψηφία των μαθητών είτε κατηγοριοποιείται στην κατηγορία EN7 (εναλλακτικές μεθοδολογικές αιτιολογήσεις στη σχέση περιόδου – πλάτους), ποσοστό σχεδόν 39%, είτε αποφεύγει να διατυπώσει οποιαδήποτε άποψη (κατηγορία Δ7, ποσοστό 22,2%), ενώ το 16,7% των μαθητών στηρίζει τις επιλογές του σε διάφορες παρατηρήσεις οι οποίες δε συγκροτούν μια κάποια εξήγηση (κατηγορία ΑΛ7). Τυπικά παραδείγματα εναλλακτικών

μεθοδολογικών αιτιολογήσεων οι απόνειες δύο μαθητών: «στο πρώτο εκκρεμές το μήκος του νήματος είναι μακρύ και μπορώ να ελέγξω τις επιδράσεις από διάφορες θέσεις» (ΜαθΒ3-Πριν) και «Και τα τρία για να έχω πολλά αποτελέσματα από την επίδραση που έχει η θέση» (ΜαθΔ4-Πριν).

Η Ερώτηση 8 αφορά στην ανίχνευση των αντιλήψεων των μαθητών σχετικά με την επιλογή των κατάλληλων μεταβλητών και στρατηγικών ελέγχου της σχέσης της περιόδου του απλού εκκρεμούς με το μήκος του. Οι απαντήσεις των μαθητών στην ερώτηση του ερωτηματολογίου, παρουσιάζονται στον πίνακα 7.12.

Απάντηση	Απόλυτη Συχνότητα	Σχετική συχνότητα %
Τα δύο που διαφέρουν στο μήκος και στο βάρος	8	22,2
Τα δύο που διαφέρουν μόνο στο βάρος	7	19,4
Τα δύο που διαφέρουν μόνο στο μήκος	17	47,2
Όλα	2	5,6
Δεν γνωρίζω	2	5,6
Σύνολο απαντήσεων	36	100,0

Πίνακας 7.12: Απαντήσεις μαθητών στην ερώτηση 8 (Πριν)

Όπως φαίνεται στον πίνακα 7.12, λίγο λιγότεροι από τους μισούς μαθητές φαίνεται να αναγνωρίζουν την κατάλληλη μεταβλητή διερεύνησης της σχέσης της περιόδου του απλού εκκρεμούς με το μήκος του, καθώς επίσης και τη στρατηγική ελέγχου της σχέσης μεταξύ των δύο μεταβλητών. Η πλειοψηφία των μαθητών φαίνεται να αντιμετωπίζει σοβαρά προβλήματα τόσο στην αναγνώριση των κατάλληλων μεταβλητών, όσο και στη στρατηγική χρήσης τους στον έλεγχο των σχέσεων. Ειδικότερα, το 1/4 των μαθητών φαίνεται να μην αναγνωρίζει την κατάλληλη μεταβλητή αφού είτε επιλέγει εκκρεμή που διαφέρουν μόνο στο βάρος τους (19,4 %),

είτε δηλώνει άγνοια (5,6 %). Επιπλέον, ποσοστό σχεδόν 22,2 % των μαθητών φαίνεται να αγνοεί τη στρατηγική ελέγχου της σχέσης δύο μεταβλητών, αφού επιλέγει δύο εκκρεμή που διαφέρουν σε δύο μεταβλητές ταυτόχρονα, δηλαδή και στο μήκος και στο βάρος τους. Παρόμοια μεθοδολογικά προβλήματα επισημαίνονται και στην κατανομή των απαντήσεων της αντίστοιχης ερώτησης της επισκόπησης των νοητικών παραστάσεων των μαθητών της Γ΄ Γυμνασίου (πίνακας 3.9, ενότητα 3.2) και επομένως μπορεί βάσιμα να υποστηριχθεί ότι η πλειοψηφία των μαθητών παρουσιάζει μεθοδολογικές δυσκολίες στο χειρισμό της σχέσης της περιόδου με το μήκος του απλού εκκρεμούς.

Τέλος, η Ερώτηση 9 αφορά στην αποτύπωση των απαντήσεων των μαθητών σχετικά με την επιλογή των κατάλληλων μεταβλητών και στρατηγικών ελέγχου της σχέσης της περιόδου του απλού εκκρεμούς με το βάρος του. Οι απαντήσεις των μαθητών στην ερώτηση του ερωτηματολογίου, παρουσιάζονται στον πίνακα 7.13.

Απάντηση	Απόλυτη Συχνότητα	Σχετική συχνότητα %
Γα δύο που διαφέρουν μόνο στο βάρος	20	55,6
Γα δύο που διαφέρουν μόνο στο πλάτος	8	22,2
Γα δύο που διαφέρουν στο βάρος και το πλάτος	3	8,3
Όλα	3	8,3
Δεν γνωρίζω	2	5,6
Σύνολο απαντήσεων	36	100,0

Πίνακας 7.13: Απαντήσεις μαθητών στην ερώτηση 9 (Πριν)

Όπως δείχνει ο πίνακας 7.13, η απόλυτη πλειοψηφία των μαθητών (ποσοστό σχεδόν 56 %) φαίνεται να αναγνωρίζει την κατάλληλη μεταβλητή διερεύνησης της σχέσης της περιόδου του απλού εκκρεμούς με το βάρος του, καθώς επίσης και τη στρατηγική ελέγχου της σχέσης μεταξύ των δύο μεταβλητών. Από την άλλη πλευρά,

ένα σημαντικό ποσοστό μαθητών (περίπου το 44 %) αντιμετωπίζει σοβαρά προβλήματα τόσο στην αναγνώριση των κατάλληλων μεταβλητών, όσο και στη στρατηγική χρήσης τους στον έλεγχο των σχέσεων. Ειδικότερα, ποσοστό σχεδόν 28% φαίνεται να μην αναγνωρίζει την κατάλληλη μεταβλητή αφού είτε επιλέγει εκκρεμιά που διαφέρουν μόνο στο πλάτος της αιώρησης (22,2 %), είτε δηλώνει άγνοια (5,5 %). Επιπλέον, ποσοστό πάνω από 8% δείχνει να αγνοεί τη στρατηγική ελέγχου της σχέσης δύο μεταβλητών, αφού επιλέγει δύο εκκρεμιά που διαφέρουν σε δύο μεταβλητές ταυτόχρονα, δηλαδή και στο βάρος και στο πλάτος της αιώρησης. Παρόμοια είναι η κατανομή των απαντήσεων της αντίστοιχης ερώτησης της επισκόπησης των νοητικών παραστάσεων των μαθητών της Γ΄ Γυμνασίου (πίνακας 3.10, ενότητα 3.2) και επομένως μπορεί βάσιμα να υποστηριχθεί ότι ένα σημαντικό ποσοστό μαθητών παρουσιάζει μεθοδολογικές δυσκολίες στο χειρισμό της σχέσης της περιόδου με το βάρος του απλού εκκρεμούς.

ii. Οι απαντήσεις, ανά ερώτηση, μετά την ακολουθία

Η Ερώτηση 1 αφορά στη διερεύνηση των αντιλήψεων των μαθητών σχετικά με τους λόγους για τους οποίους ο Galileo ασχολήθηκε με τη μελέτη του απλού εκκρεμούς, μετά τη συμμετοχή τους στη διδακτική ακολουθία του απλού εκκρεμούς. Οι απαντήσεις των μαθητών στην 1η ερώτηση του ερωτηματολογίου, μετά τη διδακτική ακολουθία του απλού εκκρεμούς, παρουσιάζονται στον πίνακα 7.14.

Όπως διαπιστώνεται από τον πίνακα 7.14, η απόλυτη πλειοψηφία των μαθητών (σχεδόν 64%) , μετά τη συμμετοχή στην εφαρμογή της προτεινόμενης ακολουθίας, συνδέει τη μελέτη της κίνησης του εκκρεμούς από τον Galileo με την προσπάθεια μέτρησης του χρόνου, άποψη που βρίσκεται σε ευθεία αντίθεση με την άποψη που η πλειοψηφία των μαθητών του δείγματος εξέφραζε πριν την εμπλοκή της στην

υλοποίηση της ακολουθίας (Πίνακας 7.1).

Απάντηση	Απόλυτη Συχνότητα	Σχετική συχνότητα %
Η μέτρηση του χρόνου	23	63,9
Η μελέτη της ταλάντωσης	10	27,8
Σύνολο απαντήσεων	33	91,7
Μαθητές που δεν απάντησαν	3	8,3
Σύνολο μαθητών	36	100,0

Πίνακας 7.14: Απαντήσεις μαθητών στην ερώτηση 1 (Μετά)

Η Ερώτηση 2α αφορά στην πιθανή συσχέτιση του ρολογιού-εκκρεμούς με την ανάπτυξη της ναυσιπλοΐας. Οι απαντήσεις των μαθητών, μετά τη διδακτική ακολουθία του απλού εκκρεμούς, παρουσιάζονται στον πίνακα 7.15.

Απάντηση	Απόλυτη Συχνότητα	Σχετική συχνότητα %
Σωστό	34	94,4
Λάθος	1	2,8
Σύνολο απαντήσεων	35	97,2
Μαθητές που δεν απάντησαν	1	2,8
Σύνολο μαθητών	36	100,0

Πίνακας 7.15: Απαντήσεις μαθητών στην ερώτηση 2α (Μετά)

Όπως διαπιστώνεται από τον πίνακα 7.15, η συντριπτική πλειοψηφία των μαθητών (πάνω από 94%), μετά τη συμμετοχή τους στην ακολουθία του απλού εκκρεμούς, θεωρεί ότι η εξέλιξη της ναυσιπλοΐας επηρεάστηκε από το ρολόι-εκκρεμές. Αν ληφθεί υπ' όψη ότι το αντίστοιχο ποσοστό, πριν τη διδακτική ακολουθία του απλού εκκρεμούς, είναι περίπου 61% (Πίνακας 7.2), μπορεί βάσιμα να υποστηριχθεί ότι οι απαντήσεις των μαθητών σχετικά με τη συσχέτιση του ρολογιού - εκκρεμούς με την ανάπτυξη της ναυσιπλοΐας έχουν μεταβληθεί σημαντικά, προς την κατεύθυνση

κατανόησης του σχετικού ιστορικού υποβάθρου.

Η Ερώτηση 2β αφορά στην πιθανή συσχέτιση του ρολογιού-εκκρεμούς με την ανακάλυψη του πεπλατυσμένου σχήματος της γήινης σφαίρας. Οι απαντήσεις των μαθητών στην ερώτηση, παρουσιάζονται στον πίνακα 7.16

Απάντηση	Απόλυτη Συχνότητα	Σχετική συχνότητα %
Σωστό	36	100,0

Πίνακας 7.16: Απαντήσεις μαθητών στην ερώτηση 2β (Μετά)

Όπως εύκολα διαπιστώνεται από στον πίνακα 7.16, το σύνολο των μαθητών του δείγματος, μετά την εμπλοκή του στην ακολουθία του απλού εκκρεμούς, συσχετίζει απόλυτα τη γνώση του ακριβούς σχήματος της Γης με το ρολόι - εκκρεμές, άποψη απολύτως σύμφωνη με την επιστημολογική ανάλυση του εκκρεμούς (ενότητα 2.4). Το αντίστοιχο ποσοστό μαθητών, πριν τη διδακτική ακολουθία του απλού εκκρεμούς, είναι 50% (Πίνακας 7.3) και επομένως γίνεται φανερό ότι οι απαντήσεις των μαθητών σχετικά με τη συσχέτιση του ρολογιού - εκκρεμούς με τη γνώση του ακριβούς σχήματος της Γης έχουν μεταβληθεί σημαντικά, προς την κατεύθυνση κατανόησης του σχετικού ιστορικού υποβάθρου.

Η Ερώτηση 3 σχετίζεται με τις προϋποθέσεις μετάβασης από τη γνώση των ιδιοτήτων του απλού εκκρεμούς στη γνώση κατασκευής του ρολογιού – εκκρεμούς ή το αντίστροφο. Οι απαντήσεις των μαθητών στην 3η ερώτηση του ερωτηματολογίου, παρουσιάζονται στον πίνακα 7.17.

Απάντηση	Απόλυτη Συχνότητα	Σχετική συχνότητα %
Προϋπόθεση η γνώση του ρολογιού	8	22,2
Προϋπόθεση η γνώση του εκκρεμούς	26	72,2
Δεν γνωρίζω	2	5,6
Σύνολο απαντήσεων	36	100,0

Πίνακας 7.17: Απαντήσεις μαθητών στην ερώτηση 3 (Μετά)

Όπως φαίνεται στο διάγραμμα 7.17 η συντριπτική πλειοψηφία των μαθητών (πάνω από 72%) θεωρεί ότι η μελέτη του απλού εκκρεμούς προηγείται της μελέτης του ρολογιού - εκκρεμούς, άποψη σύμφωνη με την ιστορική εξέλιξη των δύο μηχανισμών. Παρόλα αυτά, μετά τη συμμετοχή των μαθητών στη διδακτική ακολουθία, οι μαθητές που φαίνεται να υποστηρίζουν ότι η μελέτη των ιδιοτήτων της κίνησης του απλού εκκρεμούς προϋποθέτει τη γνώση κατασκευής του ρολογιού - εκκρεμούς αυξήθηκαν κατά τρεις (ποσοστό περίπου 8%), συγκριτικά με τις απαντήσεις που δίνονται πριν την εφαρμογή της ακολουθίας (Πίνακας 7.4). Είναι φανερό ότι σε αυτή την περίπτωση καταγράφεται γνωστική οπισθοδρόμηση σε ομάδα μαθητών, η οποία μπορεί να αποδοθεί στη σειρά δραστηριοτήτων που ακολουθεί στη διδακτική ακολουθία του απλού εκκρεμούς, σύμφωνα με την οποία πρώτα γίνεται η διαπραγμάτευση της τεχνολογικής γνώσης κατασκευής του ρολογιού – εκκρεμούς και στη συνέχεια η εννοιολογική των ιδιοτήτων της κίνησης του απλού εκκρεμούς (Πίνακας 5.6).

Οι κατηγορίες των πολιτισμικών αντιλήψεων που επικαλούνται οι μαθητές για να αιτιολογήσουν τις επιλογές τους, μετά τη διδακτική ακολουθία του απλού εκκρεμούς, παρουσιάζονται στον πίνακα 7.18.

Κατηγορίες	Απόλυτη συχνότητα	Σχετική συχνότητα %
E3	4	11,1
A3	12	33,3
Γ3	18	50
Δ3	2	5,6
Σύνολο	36	100,0

Πίνακας 7.18: Οι κατηγορίες των αιτιολογήσεων των μαθητών στην ερώτηση 3 (Μετά)

Όπως προκύπτει από τον πίνακα 7.18, παρότι μόνο μια σχετικά μικρή ομάδα μαθητών (τέσσερις μαθητές) δίνει αιτιολογήσεις που μπορούν να ταξινομηθούν στην κατηγορία E3 (επαρκής αναφορά στις ιδιότητες ή στη σχέση των δύο μηχανισμών) μετά την εφαρμογή της ακολουθίας του απλού εκκρεμούς, αρκετοί είναι οι μαθητές (το 1/3 του δείγματος) που επιχειρούν να αιτιολογήσουν τις επιλογές τους αναφερόμενοι, έστω και ανεπαρκώς, στις ιδιότητες των δύο μηχανισμών (κατηγορία A3). Τυπικό παράδειγμα αιτιολόγησης που ταξινομείται στην κατηγορία E3 αποτελεί η αιτιολόγηση του μαθητή Δ1: *«ένα ρολόι- εκκρεμές βασίζεται στο απλό εκκρεμές για τη δημιουργία του. Η κίνηση του ρολογιού του ενός δευτερολέπτου αντιστοιχεί σε 1 απλή αιώρηση»* (ΜαθΔ1-Μετά). Χαρακτηριστικά παραδείγματα αιτιολογήσεων που κατηγοριοποιούνται στην κατηγορία A3 είναι αυτές των μαθητών Α1 και Γ3: *«το κυριότερο κομμάτι στον μηχανισμό είναι το εκκρεμές. Οι οποιεσδήποτε αλλαγές στο μηχανισμό εξαρτώνται από το εκκρεμές»* (ΜαθΑ1-Μετά), *«πρέπει να γνωρίζουμε πώς λειτουργεί ένα απλό εκκρεμές γιατί πάνω στις ιδιότητές του βασίζεται το ρολόι - εκκρεμές»* (ΜαθΓ3-Μετά). Παρότι οι μισοί μαθητές του δείγματος (ποσοστό 50%) συνεχίζουν να προβάλλουν γενικές εξηγήσεις (κατηγορία Γ3) και να μην αναφέρονται στη σχέση των δύο μηχανισμών, όπως και πριν τη συμμετοχή τους στη διδακτική ακολουθία του εκκρεμούς, η επίδραση της προτεινόμενης ακολουθίας στην επάρκεια

των αιτιολογήσεων είναι προφανής, αφού οι κατανομές των κατηγοριών E3 και A3 πριν την εφαρμογή της ακολουθίας είναι 0% και 8,3%, αντίστοιχα (Πίνακας 7.5).

Η Ερώτηση 4 αναφέρεται στη σχέση της περιόδου του απλού εκκρεμούς με το βάρος του. Οι απαντήσεις των μαθητών στην 4η ερώτηση του ερωτηματολογίου, παρουσιάζονται στον πίνακα 7.19.

Απάντηση	Απόλυτη Συχνότητα	Σχετική συχνότητα %
Το ελαφρύτερο	6	17,6
Το βαρύτερο	5	13,9
Ίση διάρκεια και τα δύο	25	69,4
Δεν γνωρίζω	0	0
Σύνολο απαντήσεων	36	100

Πίνακας 7.19: Απαντήσεις μαθητών στην ερώτηση 4 (Μετά)

Όπως διαπιστώνεται από τον πίνακα 7.19, η απόλυτη πλειοψηφία των μαθητών (πάνω από 69%), μετά την εμπλοκή στη διδακτική ακολουθία του απλού εκκρεμούς, υποστηρίζει την ανεξαρτησία της περιόδου του απλού εκκρεμούς από το βάρος του, άποψη απολύτως σύμφωνη με την αντίστοιχη επιστημονικά αποδεκτή. Το αντίστοιχο ποσοστό, πριν την ακολουθία του απλού εκκρεμούς, είναι 11,1% (Πίνακας 7.6) και επομένως μπορεί βάσιμα να υποστηριχθεί ότι οι απαντήσεις των μαθητών σχετικά με την επίδραση του βάρους στην τιμή της περιόδου του απλού εκκρεμούς έχουν μεταβληθεί σημαντικά, προς την κατεύθυνση εννοιολογικής κατανόησης της σχέσης.

Η Ερώτηση 5 αφορά στο ισόχρονο της κίνησης του απλού εκκρεμούς. Οι απαντήσεις των μαθητών στην ερώτηση του ερωτηματολογίου, παρουσιάζονται στον πίνακα 7.20.

Απάντηση	Απόλυτη Συχνότητα	Σχετική συχνότητα %
Η διάρκεια αυξάνεται	3	8,3
Η διάρκεια μειώνεται	12	33,3
Η διάρκεια δεν μεταβάλλεται	21	58,3
Σύνολο απαντήσεων	36	100,0

Πίνακας 7.20: Απαντήσεις μαθητών στην ερώτηση 5 (Μετά)

Όπως προκύπτει από τον πίνακα 7.20, η απόλυτη πλειοψηφία των μαθητών του δείγματος (πάνω από 58%), μετά τη συμμετοχή στη διδακτική ακολουθία του απλού εκκρεμούς, θεωρεί ότι η διάρκεια της αώρησης δε μεταβάλλεται κατά την εξέλιξη των ταλαντώσεων του εκκρεμούς, άποψη που συμφωνεί με τη Γαλιλαϊκή προσέγγιση της ισόχρονης κίνησης του εκκρεμούς. Το αντίστοιχο ποσοστό μαθητών, πριν τη διδακτική ακολουθία του απλού εκκρεμούς, είναι 5.6% (Πίνακας 7.7) και επομένως γίνεται φανερό ότι οι απαντήσεις των μαθητών μετακινούνται σημαντικά προς την κατεύθυνση εννοιολογικής κατανόησης του ισόχρονου της κίνησης του απλού εκκρεμούς.

Οι κατηγορίες των εννοιολογικών αντιλήψεων που επικαλούνται οι μαθητές για να αιτιολογήσουν τις επιλογές τους, μετά τη διδακτική ακολουθία του απλού εκκρεμούς, παρουσιάζονται στον πίνακα 7.21.

Κατηγορίες	Απόλυτη συχνότητα	Σχετική συχνότητα %
E5	17	47,2
EN5	12	33,3
ΑΛ5	6	16,7
Δ5	1	2,8
Σύνολο	36	100

Πίνακας 7.21 Οι κατηγορίες των αιτιολογήσεων των μαθητών στην ερώτηση 5 (Μετά)

Όπως εύκολα φαίνεται στον πίνακα 7.21, η πλειοψηφία των μαθητών (ποσοστό 47,2%), μετά τη διδακτική ακολουθία του απλού εκκρεμούς, δίνει αιτιολογήσεις που ταξινομούνται στην κατηγορία E5 (επαρκής αναφορά στις ιδιότητες ή στη σχέση των δύο μηχανισμών). Χαρακτηριστικά παραδείγματα αιτιολογήσεων αυτής της κατηγορίας αποτελούν οι αιτιολογήσεις: *«η θέση από την οποία αφήνουμε το εκκρεμές δεν παίζει ρόλο στο χρονικό διάστημα που θα γίνει η απλή αιώρηση»* (ΜαθΑ9-Μετά) και *«αν μελετήσουμε πειραματικά, παρατηρούμε ότι από όποια γωνία και αν αφήσουμε το εκκρεμές να αιωρείται η χρονική διάρκεια δεν αλλάζει»* (ΜαθΔ8_Μετά). Αν συνυπολογιστεί ότι καμιά αιτιολογία δεν ταξινομείται στην κατηγορίας E5 πριν την εφαρμογή της προτεινόμενης διδακτικής ακολουθίας, η επίδραση της προτεινόμενης διδακτικής ακολουθίας στην επάρκεια των αιτιολογήσεων των μαθητών είναι προφανής, παρά το σημαντικό ποσοστό των μαθητών του δείγματος (ποσοστό 33,3%) που παραμένει είτε να επιχειρηματολογεί στη βάση εναλλακτικών εννοιολογικών αντιλήψεων (κατηγορία EN5), είτε να αναφέρεται στα φαινομενολογικά χαρακτηριστικά της κίνησης του εκκρεμούς (κατηγορία ΑΛ5) (ποσοστό 16,7%) (Πίνακας 7.8).

Η Ερώτηση 6 επιχειρεί την καταγραφή των απαντήσεων των μαθητών σχετικά με τη σχέση της περιόδου του απλού εκκρεμούς με το μήκος του, μετά την εφαρμογή της διδακτικής ακολουθίας του απλού εκκρεμούς. Οι απαντήσεις των μαθητών στην ερώτηση του ερωτηματολογίου, παρουσιάζονται στον πίνακα 7.22.

Απάντηση	Απόλυτη Συχνότητα	Σχετική συχνότητα %
Το μεγαλύτερου μήκους	27	75
Το μικρότερου μήκους	5	13,9
Ίση διάρκεια και τα δύο	4	11,1
Δεν γνωρίζω	0	0
Σύνολο απαντήσεων	36	97,2

Πίνακας 7.22: Απαντήσεις μαθητών στην ερώτηση 6 (Μετά)

Όπως φαίνεται στον πίνακα 7.22, τα 3/4 των μαθητών του δείγματος θεωρούν ότι το εκκρεμές μεγαλύτερου μήκους εκτελεί αιώρηση μεγαλύτερης χρονικής διάρκειας, άποψη απόλυτα σύμφωνη με την αντίστοιχη επιστημονική. Το αντίστοιχο ποσοστό των μαθητών με παρόμοια απάντηση, πριν την εφαρμογή της διδακτικής ακολουθίας του απλού εκκρεμούς, είναι περίπου 58% (Πίνακας 7.9) και κατά συνέπεια μπορεί να υποστηριχθεί ότι οι απαντήσεις των μαθητών μετακινούνται σημαντικά προς την κατεύθυνση εννοιολογικής κατανόησης της σχέσης της περιόδου της κίνησης του απλού εκκρεμούς με το μήκος του.

Η Ερώτηση 7 αφορά στις απαντήσεις των μαθητών σχετικά με την επιλογή των κατάλληλων μεταβλητών και στρατηγικών ελέγχου της σχέσης της περιόδου του απλού εκκρεμούς με το πλάτος του. Οι απαντήσεις των μαθητών στην ερώτηση του ερωτηματολογίου, παρουσιάζονται στον πίνακα 7.23.

Απάντηση	Απόλυτη Συχνότητα	Σχετική συχνότητα %
Τα δύο που διαφέρουν μόνο στο μήκος	6	16,7
Τα δύο που διαφέρουν μόνο στο πλάτος	21	58,3
Τα δύο που διαφέρουν στο μήκος και στο πλάτος	3	8,3
Όλα	5	13,9
Δεν γνωρίζω	1	2,8
Σύνολο απαντήσεων	36	100,0

Πίνακας 7.23: Απαντήσεις μαθητών στην ερώτηση 7 (Μετά)

Όπως φαίνεται στον πίνακα 7.23, ποσοστό του δείγματος πάνω από 58 % δείχνει να αναγνωρίζει την κατάλληλη μεταβλητή διερεύνησης της σχέσης της περιόδου του απλού εκκρεμούς με το πλάτος του και τη στρατηγική ελέγχου της σχέσης μεταξύ των δύο μεταβλητών. Το αντίστοιχο ποσοστό πριν την εφαρμογή της διδακτικής ακολουθίας είναι 36,1% (Πίνακας 7.10). Επομένως γίνεται φανερό ότι οι απαντήσεις των μαθητών μετακινούνται προς την κατεύθυνση κατανόησης της μεθοδολογικής στρατηγικής της σχέσης της περιόδου με το πλάτος της αιώρησης του απλού εκκρεμούς. Διακριτή είναι επίσης η οριακή αύξηση ομάδας μαθητών (6, από 5 που καταγράφονται πριν την εφαρμογή της διδακτικής ακολουθίας) η οποία στον έλεγχο της σχέσης της περιόδου του απλού εκκρεμούς με το πλάτος της αιώρησης επιλέγει εκκρεμή που διαφέρουν μόνο στο μήκος τους.

Οι κατηγορίες των μεθοδολογικών αντιλήψεων που επικαλούνται οι μαθητές για να αιτιολογήσουν τις επιλογές τους, μετά τη διδακτική ακολουθία του απλού εκκρεμούς, παρουσιάζονται στον πίνακα 7.24.

Κατηγορίες	Απόλυτη συχνότητα	Σχετική συχνότητα %
M7	23	63,9
EN7	4	11,1
E7	7	19,4
ΑΛ7	1	2,8
Δ7	1	2,8
Σύνολο	36	100,0

Πίνακας 7.24: Οι κατηγορίες των αιτιολογήσεων των μαθητών στην ερώτηση 7 (Μετά)

Όπως προκύπτει από τον πίνακα 7.24, η απόλυτη πλειοψηφία των μαθητών

(ποσοστό περίπου 64%) αιτιολογεί μεθοδολογικά επαρκώς (κατηγορία M7) τη σχέση της περιόδου με το πλάτος του απλού εκκρεμούς. Χαρακτηριστικές αιτιολογήσεις αυτής της κατηγορίας οι αιτιολογήσεις δύο μαθητών: *«Γιατί σε ένα πείραμα όλοι οι παράγοντες παραμένουν σταθεροί, στην προκειμένη περίπτωση το μήκος του σχοινιού, ώστε να μπορούμε να εξετάσουμε ελεύθερα αυτόν που θέλουμε»* (ΜαθΑ6-Μετά) και *«θα πρέπει να μεταβάλλουμε τη θέση, αλλά όλα τα άλλα στοιχεία ίδια για να γνωρίζουμε που οφείλεται η μεταβολή»* (ΜαθΓ5-Μετά). Αν ληφθεί υπ' όψη ότι το αντίστοιχο ποσοστό της κατηγορίας M7, πριν τη διδακτική ακολουθία του απλού εκκρεμούς είναι 19,4% (Πίνακας 7.11), μπορεί να υποστηριχθεί ότι είναι σημαντική η επίδραση της διδακτικής ακολουθίας στη διαμόρφωση επαρκών σχετικών νοητικών παραστάσεων στους μαθητές σχετικά με τη σχέση της περιόδου του απλού εκκρεμούς και του βάρους του. Επιπλέον, στον παραπάνω πίνακα διαπιστώνεται αύξηση των αιτιολογήσεων που ταξινομούνται στην κατηγορία E7 (από 1 αιτιολόγηση πριν τη διδακτική ακολουθία σε 7, μετά την εφαρμογή της), όπου αντί της μεθοδολογικής αιτιολόγησης παρατίθεται εννοιολογική. Τυπικό παράδειγμα τέτοιας αιτιολόγησης η αναφορά μαθητή: *«το χρόνο που θα χρειαστεί το εκκρεμές για να κάνει μια απλή αιώρηση δεν επηρεάζει η θέση από την οποία το αφήνουμε, αλλά το μήκος του νήματος»* (ΜαθΔ7-Μετά). Αν αυτές οι αιτιολογήσεις συνδυαστούν με την παρουσία ομάδας μαθητών που επιλέγουν εκκρεμιά που διαφέρουν μόνο στο μήκος στον έλεγχο της περιόδου με το πλάτος, είναι πιθανό ότι η συγκεκριμένη επιλογή δεν γίνεται με μεθοδολογικά κριτήρια, αλλά με εννοιολογικά που διαμορφώθηκαν στα πλαίσια της προτεινόμενης διδακτικής ακολουθίας του απλού εκκρεμούς. Το ζήτημα θα απασχολήσει και στις αναλύσεις του 3^{ου} σταδίου που ακολουθεί.

Η Ερώτηση 8 αφορά στην αντίληψη των αντιλήψεων των μαθητών σχετικά με

την επιλογή των κατάλληλων μεταβλητών και στρατηγικών ελέγχου της σχέσης της περιόδου του απλού εκκρεμούς με το μήκος του. Οι απαντήσεις των μαθητών στην ερώτηση του ερωτηματολογίου, παρουσιάζονται στον πίνακα 7.25.

Όπως φαίνεται στον πίνακα 7.25, η απόλυτη πλειοψηφία των μαθητών (58,3 %), μετά την υλοποίηση της διδακτικής ακολουθίας του εκκρεμούς, φαίνεται να αναγνωρίζει την κατάλληλη μεταβλητή διερεύνησης της σχέσης της περιόδου του απλού εκκρεμούς με το μήκος του, καθώς επίσης και τη στρατηγική ελέγχου της σχέσης μεταξύ των δύο μεταβλητών. Το αντίστοιχο ποσοστό των απαντήσεων των μαθητών, πριν την εφαρμογή της προτεινόμενης ακολουθίας, είναι 47,2% (Πίνακας 7.12) και επομένως φαίνεται να έχουν μετακινηθεί οι απαντήσεις των μαθητών σε ποσοστό περίπου 11% (4 μαθητές).

Απάντηση	Απόλυτη Συχνότητα	Σχετική συχνότητα %
Τα δύο που διαφέρουν στο μήκος και στο βάρος	4	11,1
Τα δύο που διαφέρουν μόνο στο βάρος	4	11,1
Τα δύο που διαφέρουν μόνο στο μήκος	21	58,3
Όλα	7	19,4
Δεν γνωρίζω	0	0
Σύνολο απαντήσεων	36	100,0

Πίνακας 7.25: Απαντήσεις μαθητών στην ερώτηση 8 (Μετά)

Ταυτόχρονα, μικρή αύξηση φαίνεται να παρουσιάζει το ποσοστό των μαθητών (19,4%) κυρίως ως προς την επιλογή της στρατηγικής ελέγχου της σχέσης δύο μεταβλητών τους, αφού επιλέγει όλα τα εκκρεμή ως τα κατάλληλα για τη διερεύνηση της σχέσης της περιόδου του εκκρεμούς με το μήκος του. Το αντίστοιχο ποσοστό των απαντήσεων των μαθητών, πριν την εφαρμογή της προτεινόμενης ακολουθίας, είναι

5,6% (Πίνακας 7.12) και επομένως φαίνεται να έχουν μετακινηθεί οι απαντήσεις των μαθητών σε ποσοστό περίπου 14% (5 μαθητές). Η πιθανή μεθοδολογική γνωστική οπισθοδρόμηση αυτών των μαθητών, είναι ζήτημα που θα απασχολήσει και στις αναλύσεις του 3^{ου} σταδίου.

Τέλος, η Ερώτηση 9 αφορά στην αποτύπωση των απαντήσεων των μαθητών σχετικά με την επιλογή των κατάλληλων μεταβλητών και στρατηγικών ελέγχου της σχέσης της περιόδου του απλού εκκρεμούς με το βάρος του. Οι απαντήσεις των μαθητών στην ερώτηση του ερωτηματολογίου, παρουσιάζονται στον πίνακα 7.26.

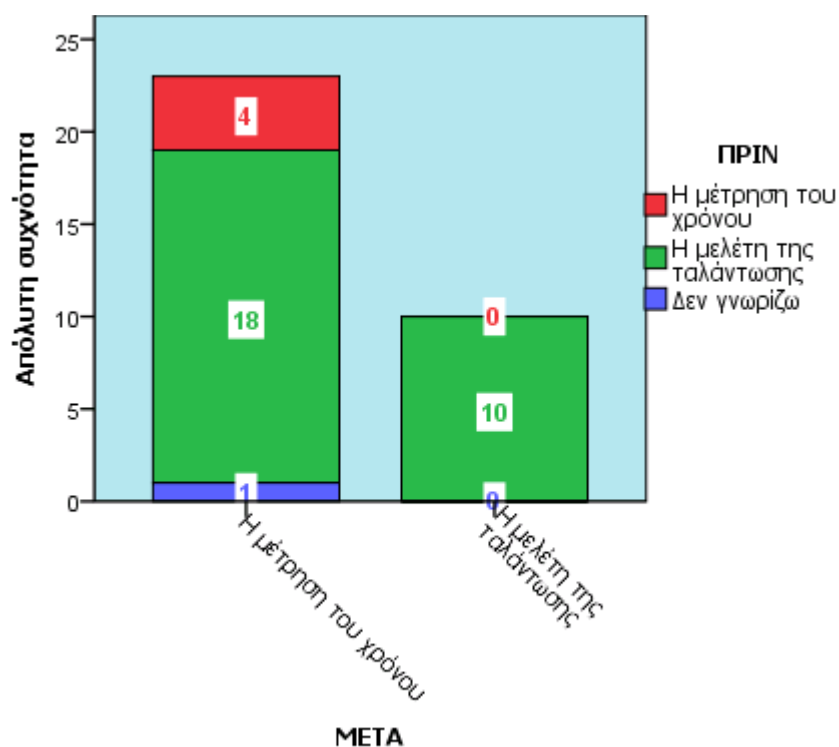
Απάντηση	Απόλυτη Συχνότητα	Σχετική συχνότητα %
Τα δύο που διαφέρουν μόνο στο βάρος	26	72,2
Τα δύο που διαφέρουν μόνο στο πλάτος	3	8,3
Τα δύο που διαφέρουν στο βάρος και το πλάτος	4	11,1
Όλα	2	5,6
Σύνολο απαντήσεων	35	97,2
Μαθητές που δεν απάντησαν	1	2,8
Σύνολο μαθητών	36	100,0

Πίνακας 7.26: Απαντήσεις μαθητών στην ερώτηση 9 (Μετά)

Όπως δείχνει ο πίνακας 7.26, σχεδόν τα 3/4 των μαθητών φαίνεται να αναγνωρίζουν την κατάλληλη μεταβλητή διερεύνησης της σχέσης της περιόδου του απλού εκκρεμούς με το βάρος του, καθώς επίσης και τη στρατηγική ελέγχου της σχέσης μεταξύ των δύο μεταβλητών, μετά τη συμμετοχή τους στη διδακτική ακολουθία του απλού εκκρεμούς. Το αντίστοιχο ποσοστό στις απαντήσεις των μαθητών, πριν την εφαρμογή της διδακτικής ακολουθίας του απλού εκκρεμούς, είναι 55.6% και επομένως φαίνεται ότι οι απαντήσεις των μαθητών μετακινούνται προς την κατεύθυνση κατανόησης της μεθοδολογικής στρατηγικής της σχέσης της περιόδου με το βάρος του απλού εκκρεμούς.

iii. Οι διαφορές των απαντήσεων, ανά ερώτηση, πριν και μετά την ακολουθία

Ερώτηση 1: Η αποτύπωση των διαφορών στις απαντήσεις των μαθητών πριν και μετά την εφαρμογή της διδακτικής ακολουθίας του απλού εκκρεμούς, παρουσιάζεται στο διάγραμμα 7.1.

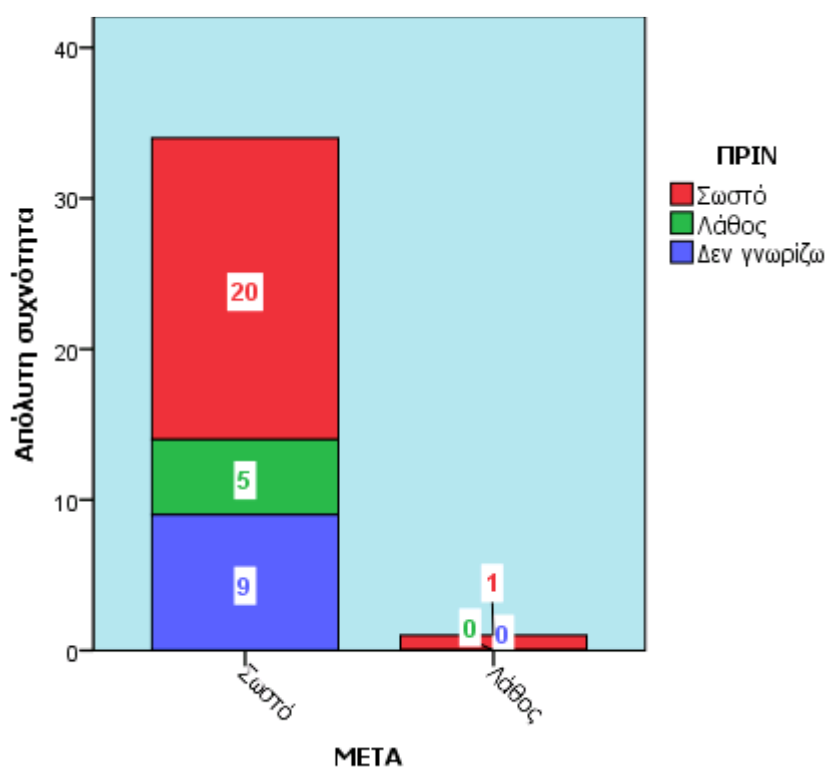


Διάγραμμα 7.1: Η σύγκριση των απαντήσεων στην ερώτηση 1

Όπως διαπιστώνεται από το διάγραμμα 7.1, από τους 28 μαθητές (με πράσινο χρώμα) που απαντούν πριν την ακολουθία ότι ο Galileo μελετά το απλό εκκρεμές στα πλαίσια της μελέτης των ταλαντώσεων, οι 18, μετά την εφαρμογή της προτεινόμενης διδακτικής ακολουθίας, μετακινούνται και απαντούν ότι τον Galileo απασχολούσε η μέτρηση του χρόνου. Στην ίδια κατεύθυνση κινείται και η μεταβολή της απάντησης 1 μαθητή (με μπλε χρώμα) που πριν την ακολουθία δηλώνει ότι δε γνωρίζει. Μεταβολές

στην αντίθετη κατεύθυνση δε σημειώνονται, αφού και οι 4 μαθητές (με κόκκινο χρώμα) που πριν την ακολουθία απαντούν ότι τον Galileo απασχολεί η μέτρηση του χρόνου, παραμένουν σταθεροί στις απόψεις τους και μετά την εφαρμογή της. Είναι, επομένως, φανερό η επίδραση της διδακτικής ακολουθίας του απλού εκκρεμούς στην απεμπλοκή των μαθητών από την ενισχυόμενη στα πλαίσια της παραδοσιακής προσέγγισης άποψη ότι η μελέτη της κίνησης του απλού εκκρεμούς συντελείται από τον Galileo στα πλαίσια της μελέτης των ταλαντώσεων.

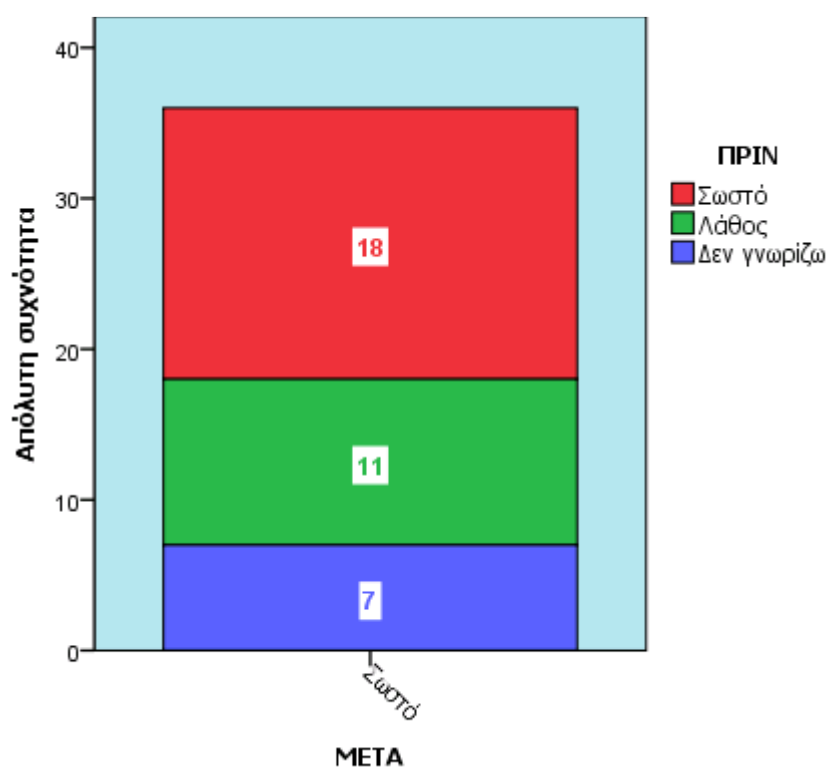
Ερώτηση 2α: Η αποτύπωση των διαφορών στις απαντήσεις των μαθητών πριν και μετά την εφαρμογή της διδακτικής ακολουθίας του απλού εκκρεμούς, παρουσιάζεται στο διάγραμμα 7.2.



Διάγραμμα 7.2: Η σύγκριση των απαντήσεων στην ερώτηση 2α

Όπως προκύπτει από το διάγραμμα 7.2, 15 είναι οι μαθητές που αλλάζουν απάντηση μετά την εφαρμογή της διδακτικής ακολουθίας του απλού εκκρεμούς. Οι 14 από αυτούς μετακινούνται στην άποψη της επίδρασης του ρολογιού – εκκρεμούς στην ανάπτυξη της ναυσιπλοΐας, ενώ ένας μετακινείται αντίθετα. Είναι φανερό, κατά συνέπεια, ότι οι απαντήσεις των μαθητών σχετικά με τη συσχέτιση του ρολογιού - εκκρεμούς με την ανάπτυξη της ναυσιπλοΐας έχουν μεταβληθεί σημαντικά, προς την κατεύθυνση κατανόησης του σχετικού ιστορικού υποβάθρου.

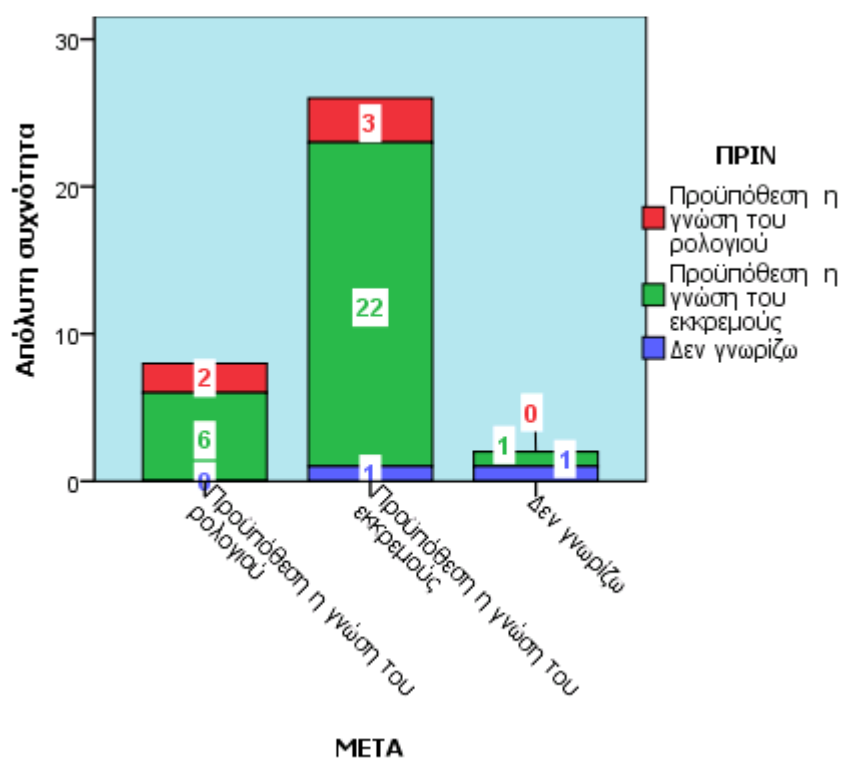
Ερώτηση 2β: Η αποτύπωση των διαφορών στις απαντήσεις των μαθητών πριν και μετά την εφαρμογή της διδακτικής ακολουθίας του απλού εκκρεμούς, παρουσιάζεται στο διάγραμμα 7.3.



Διάγραμμα 7.3: Η σύγκριση των απαντήσεων στην ερώτηση 2β

Όπως φανερώνει το διάγραμμα 7.2, και οι 18 μαθητές, που πριν την εφαρμογή της διδακτικής ακολουθίας του απλού εκκρεμούς, είτε απορρίπτουν πιθανή συσχέτιση του ρολογιού-εκκρεμούς με την ανακάλυψη του πεπλατυσμένου σχήματος της γήινης σφαίρας (11 μαθητές), είτε αγνοούν μια οποιαδήποτε σχέση (7 μαθητές), μεταβάλλουν τις απαντήσεις τους και αναγνωρίζουν αυτή τη συσχέτιση. Επομένως, μπορεί βάσιμα να υποστηριχθεί ότι η εφαρμογή της προτεινόμενης διδακτικής ακολουθίας συμβάλλει θετικά στην κατανόηση του σχετικού ιστορικού υποβάθρου της συσχέτισης της γνώσης του ακριβούς σχήματος της Γης, με τη μελέτη της κίνησης του απλού εκκρεμούς.

Ερώτηση 3: Η αποτύπωση των διαφορών στις απαντήσεις των μαθητών πριν και μετά την εφαρμογή της διδακτικής ακολουθίας του απλού εκκρεμούς, παρουσιάζεται στο διάγραμμα 7.4.



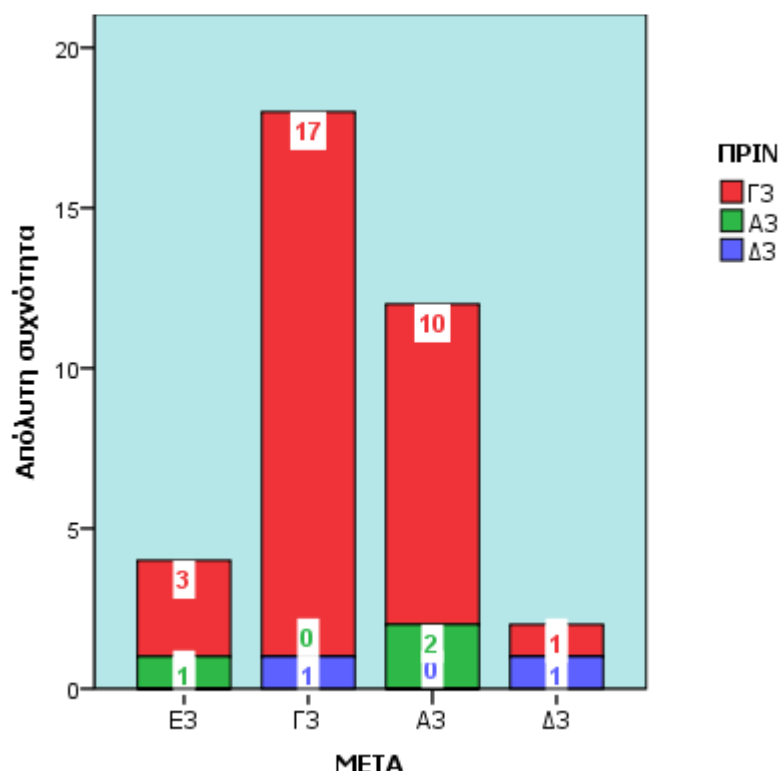
Διάγραμμα 7.4: Η σύγκριση των απαντήσεων στην ερώτηση 3

Όπως προκύπτει από το διάγραμμα 7.4, η μαζικότερη μεταστροφή στις απαντήσεις των μαθητών αφορά στις απαντήσεις 6 μαθητών οι οποίοι πριν την εφαρμογή της διδακτικής ακολουθίας του απλού εκκρεμούς θεωρούν ότι η τεχνολογική γνώση της κατασκευής του ρολογιού - εκκρεμούς προϋποθέτει την γνώση των ιδιοτήτων της κίνησης του απλού εκκρεμούς, ενώ μετά θεωρούν το αντίστροφο. Στην αντίθετη κατεύθυνση μετακινούνται οι απαντήσεις 3 μαθητών. Επομένως, μετά την εφαρμογή της ακολουθίας του απλού εκκρεμούς, η πλειοψηφία των μετακινήσεων των απαντήσεων συντελείται στην κατεύθυνση ασυμφωνίας με την ιστορική εξέλιξη των δύο μηχανισμών. Το φαινομενικά παράδοξο της πλειοψηφίας των μετακινήσεων προς την κατεύθυνση της γνωστικής οπισθοδρόμησης, συνηγορεί, κατά την άποψή μας, στην ισχυρή επίδραση της συγκεκριμένης διδακτικής ακολουθίας στη διαμόρφωση των απαντήσεων των μαθητών, αφού η ανάπτυξη της υπό πρόταση διδακτικής ακολουθίας του απλού εκκρεμούς προτάσσει τη ρύθμιση του ρολογιού – εκκρεμούς, της διερεύνησης της κίνησης του απλού εκκρεμούς, με επακόλουθο τη μεταστροφή ορισμένων μαθητών σε απόψεις που δεν είναι σύμφωνες με την επιστημολογικά αποδεκτή πορεία μεταβίβασης της γνώσης από το απλό εκκρεμές στο ρολόι-εκκρεμές και τανάπαλιν.

Η σύγκριση των κατηγοριών των αιτιολογήσεων που προβάλλουν οι μαθητές στις απαντήσεις τους στην πολιτισμική ερώτηση 3 του ερωτηματολογίου, πριν και μετά την ακολουθία, αποτυπώνεται στο διάγραμμα 7.5.

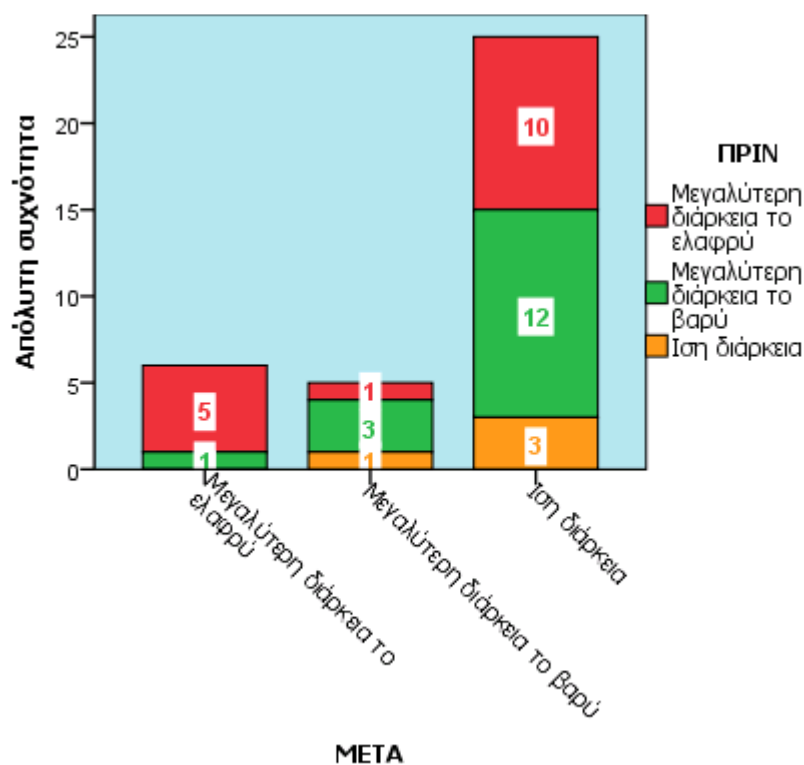
Όπως προκύπτει από το συγκριτικό διάγραμμα 7.5, η επίδραση της διδακτικής ακολουθίας αφορά κυρίως στη μετακίνηση των αιτιολογήσεων στην κατηγορία Α3. Ειδικότερα, 10 αιτιολογήσεις μετακινούνται από την κατηγορία Γ3 (γενικές εξηγήσεις)

πριν την εφαρμογή της διδακτικής ακολουθίας, στην κατηγορία Α3 (ανεπαρκής αναφορά στις ιδιότητες ή στη σχέση των δύο μηχανισμών), μετά την εφαρμογή της. Σημαντική μετακίνηση είναι και αυτή των 4 αιτιολογήσεων που μετά την εφαρμογή της ακολουθίας ταξινομούνται στην κατηγορία Ε3 (επαρκής αναφορά στις ιδιότητες ή στη σχέση των δύο μηχανισμών), από τις οποίες οι 3 προέρχονται από την κατηγορία Γ3 και 1 από την κατηγορία Α3. Τέλος, αμετάβλητη παραμένει η ταξινόμηση δέκα επτά (17) αιτιολογήσεων, οι οποίες πριν και μετά την ακολουθία παραμένουν στην κατηγορία Γ3. Συμπερασματικά, η εφαρμογή της διδακτικής ακολουθίας επιφέρει τη μετακίνηση των αιτιολογήσεων 14 μαθητών, κυρίως από την κατηγορία Γ3, προς τις κατηγορίες Α3 και Ε3 και επομένως φαίνεται να συμβάλλει θετικά στη διαμόρφωση περισσότερο επαρκών πολιτισμικών αιτιολογήσεων.



Διάγραμμα 7.5: Η σύγκριση των κατηγοριών των αιτιολογήσεων στην ερώτηση 3

Ερώτηση 4: Η καταγραφή των διαφορών στις απαντήσεις των μαθητών πριν και μετά την εφαρμογή της διδακτικής ακολουθίας του απλού εκκρεμούς, παρουσιάζεται στο διάγραμμα 7.6.

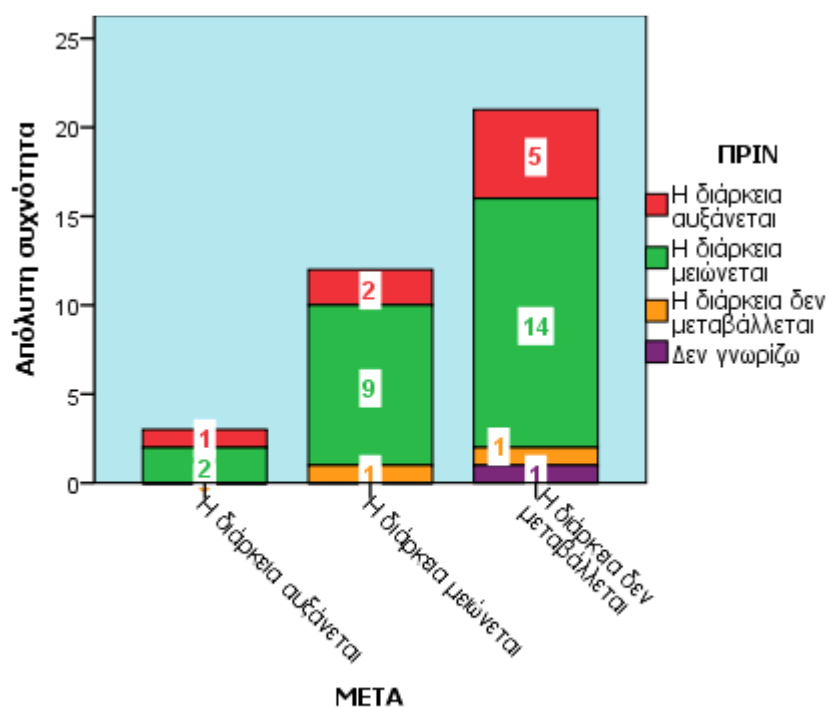


Διάγραμμα 7.6: Η σύγκριση των απαντήσεων στην ερώτηση 4

Όπως προκύπτει από το διάγραμμα 7.6, 22 είναι οι μαθητές που αλλάζουν την απάντησή τους και προσχωρούν στην άποψη της ανεξαρτησίας της περιόδου από το βάρος του απλού εκκρεμούς, μετά την εφαρμογή της προτεινόμενης διδακτικής ακολουθίας. Οι 10 μαθητές προέρχονται από 16μελή ομάδα μαθητών που, πριν την εφαρμογή της διδακτικής ακολουθίας, θεωρούν ότι το μικρότερου βάρους εκκρεμές έχει μεγαλύτερη περίοδο από αυτό με το μεγαλύτερο βάρος. Οι υπόλοιποι 12 μαθητές προέρχονται από, επίσης, 16μελή ομάδα μαθητών που, πριν την εφαρμογή της

διδασκτικής ακολουθίας, θεωρούν ότι το μεγαλύτερο βάρος εκκρεμές έχει μεγαλύτερη περίοδο από αυτό με το μικρότερο βάρος. Επομένως, μπορεί βάσιμα να υποστηριχθεί η επίδραση της προτεινόμενης διδασκτικής ακολουθίας στη μεταστροφή της απόλυτης πλειοψηφίας των μαθητών προς την αποδοχή της ανεξαρτησίας της περιόδου του απλού εκκρεμούς από το βάρος του.

Ερώτηση 5: Η αποτύπωση των διαφορών στις απαντήσεις των μαθητών πριν και μετά την εφαρμογή της διδασκτικής ακολουθίας του απλού εκκρεμούς, παρουσιάζεται στο διάγραμμα 7.7.

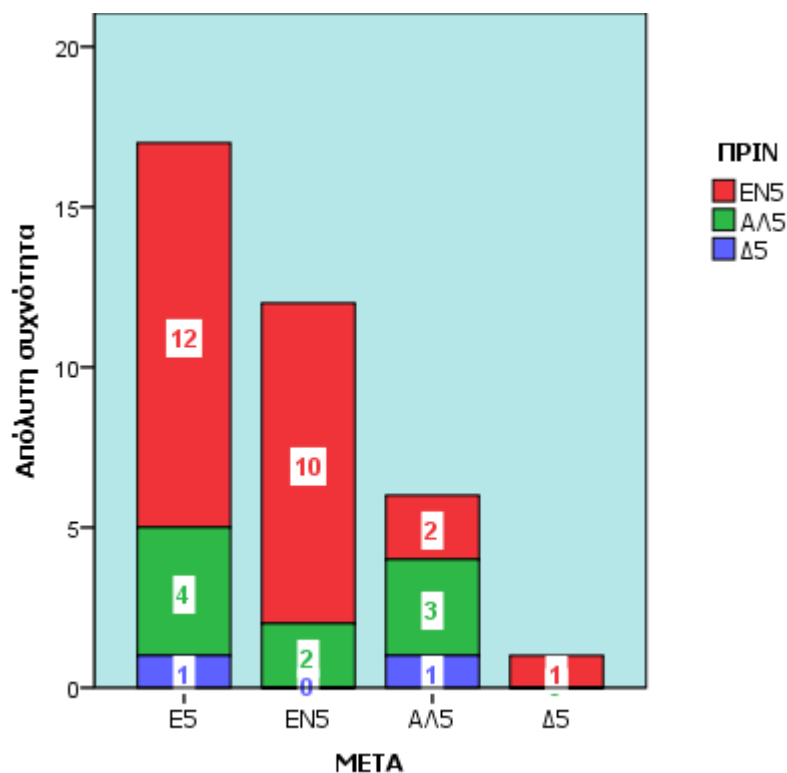


Διάγραμμα 7.7: Η σύγκριση των απαντήσεων στην ερώτηση 5

Όπως προκύπτει από το διάγραμμα 7.7, 20 είναι οι μαθητές που αλλάζουν την απάντησή τους και αποδέχονται το ισόχρονο της κίνησης του απλού εκκρεμούς, μετά

την εφαρμογή της προτεινόμενης διδακτικής ακολουθίας. Από αυτούς οι 14, πριν την εφαρμογή της διδακτικής ακολουθίας, υποστηρίζουν την άποψη της συντριπτικής πλειοψηφίας (25 μαθητές) ότι η διάρκεια της αιώρησης μειώνεται με τη μείωση του πλάτους της. Άλλοι 5 προσχωρούν στην αποδοχή του ισόχρονου, εγκαταλείποντας τη θέση ότι η διάρκεια της αιώρησης αυξάνεται με τη μείωση του πλάτους, ενώ 1 προέρχεται από τους μαθητές που, πριν τη διδακτική ακολουθία του απλού εκκρεμούς, δηλώνει άγνοια. Είναι φανερό ότι, και σε αυτή την περίπτωση, η μεταστροφή της απόλυτης πλειοψηφίας των απαντήσεων των μαθητών προς την αποδοχή του ισόχρονου της κίνησης του απλού εκκρεμούς συντελείται μετά τη συμμετοχή τους στην εφαρμογή της διδακτικής ακολουθίας του απλού εκκρεμούς και επομένως η επίδρασή της μπορεί να θεωρηθεί καθοριστική.

Η σύγκριση των κατηγοριών των αιτιολογήσεων που προβάλλουν οι μαθητές στις απαντήσεις τους στην εννοιολογική ερώτηση 5 του ερωτηματολογίου, πριν και μετά την ακολουθία, καταγράφεται στο διάγραμμα 7.8.



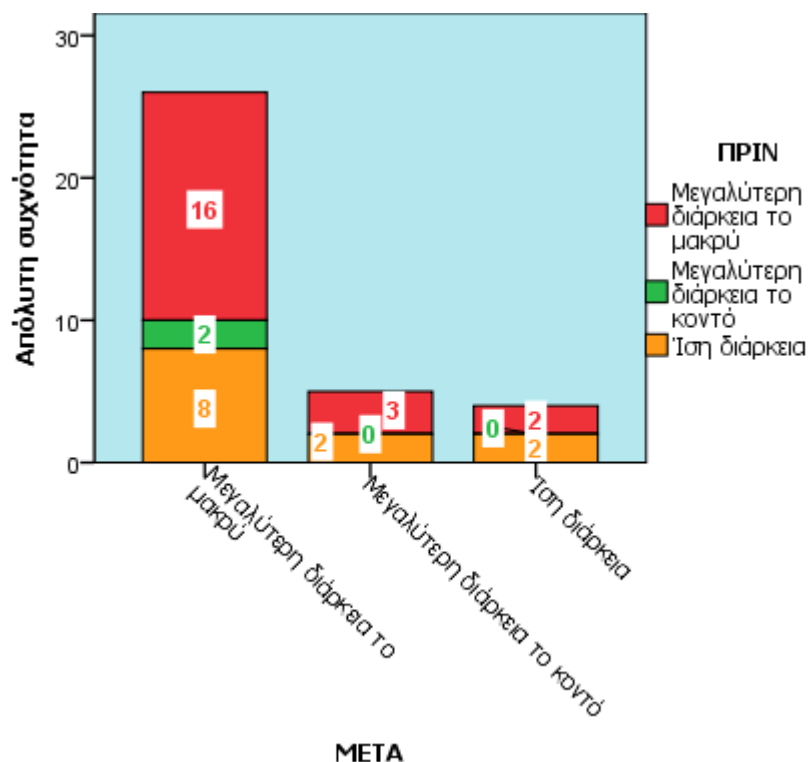
Διάγραμμα 7.8: Η σύγκριση των κατηγοριών των αιτιολογήσεων στην ερώτηση 5

Όπως προκύπτει από το διάγραμμα 7.8, η κυριότερη συμβολή της εφαρμογής της διδακτικής ακολουθίας του απλού εκκρεμούς αφορά στη μετακίνηση των αιτιολογήσεων από την κατηγορία EN5 (αναφορά σε εναλλακτικές αντιλήψεις στη σχέση περιόδου – πλάτους), στην κατηγορία E5 (επαρκής εννοιολογική ή πειραματική αναφορά στη σχέση περιόδου – πλάτους). Ειδικότερα, μετά την εφαρμογή της διδακτικής ακολουθίας του απλού εκκρεμούς μετακινούνται στην κατηγορία E5 17 αιτιολογήσεις. Από αυτές, πριν την εφαρμογή της διδακτικής ακολουθίας, 12 έχουν ταξινομηθεί στην κατηγορία EN5, 4 στην κατηγορία AΛ5 (φαινομενολογικές αναφορές), ενώ 1 στην κατηγορία Δ5 (χωρίς αιτιολόγηση). Γίνεται φανερό, επομένως, ότι η συμμετοχή των μαθητών στην εφαρμογή της προτεινόμενης διδακτικής ακολουθίας του απλού εκκρεμούς συμβάλλει θετικά στη διαμόρφωση πιο επαρκών

εννοιολογικών αιτιολογήσεων.

Ερώτηση 6: Η καταγραφή των διαφορών στις απαντήσεις των μαθητών πριν και μετά την εφαρμογή της διδακτικής ακολουθίας του απλού εκκρεμούς, παρουσιάζεται στο διάγραμμα 7.9.

Όπως καταγράφεται στο διάγραμμα 7.9, μετά την εφαρμογή της προτεινόμενης διδακτικής ακολουθίας, 10 είναι οι μαθητές που τροποποιούν την απάντησή τους και επιλέγουν ως εκκρεμές με τη μεγαλύτερη περίοδο αυτό που έχει μεγαλύτερο μήκος νήματος. Από αυτούς οι 8, πριν την εφαρμογή της διδακτικής ακολουθίας, υποστηρίζουν την άποψη της ανεξαρτησίας της περιόδου του απλού εκκρεμούς από το μήκος του, ενώ οι υπόλοιποι 2 μαθητές αποτελούν το σύνολο της μαθητικής ομάδας που υποστηρίζει το αντίστροφο, ότι, δηλαδή, τη μεγαλύτερη περίοδο την έχει το εκκρεμές με το μικρότερο μήκος. Με βάση το γεγονός ότι οι 10 παραπάνω μαθητές συγκροτούν την μαζικότερη ομάδα που τροποποιεί την απάντησή της, μετά την εφαρμογή της διδακτικής ακολουθίας του απλού εκκρεμούς, μπορεί βέβαια να υποστηριχθεί ότι η επίδραση της διδακτικής ακολουθίας είναι απολύτως βαρύνουσα στη διαμόρφωση των απαντήσεων της εννοιολογικής σχέσης της περιόδου του απλού εκκρεμούς με το μήκος του, στην κατεύθυνση των επιστημονικά αποδεκτών.

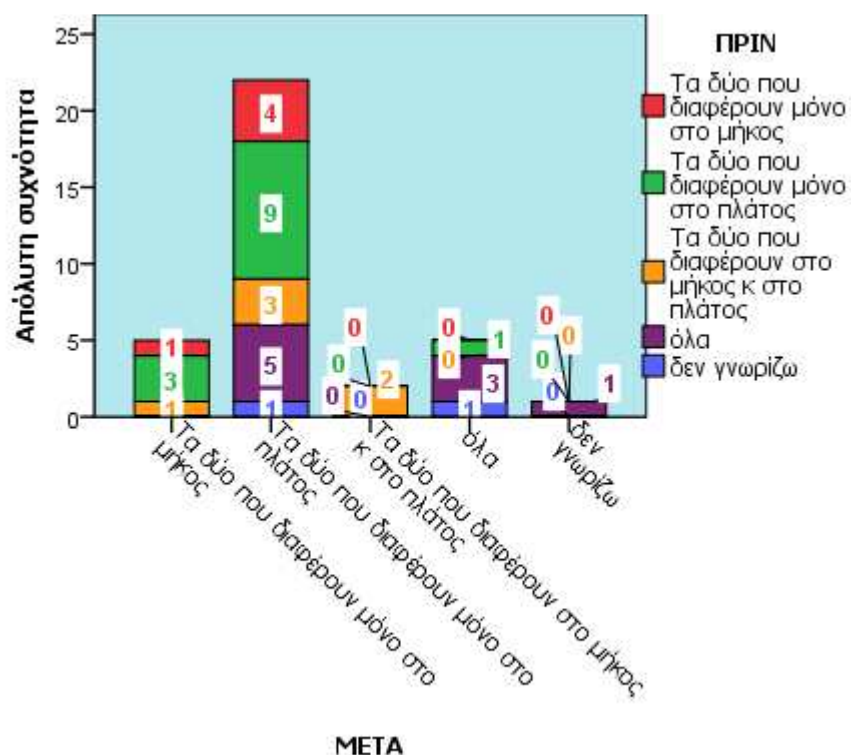


Διάγραμμα 7.9: Η σύγκριση των απαντήσεων στην ερώτηση 6

Ερώτηση 7: Η καταγραφή των διαφορών στις απαντήσεις των μαθητών πριν και μετά την εφαρμογή της διδακτικής ακολουθίας του απλού εκκρεμούς, παρουσιάζεται στο διάγραμμα 7.10.

Όπως καταγράφεται στο διάγραμμα 7.10, δύο είναι τα κύρια ρεύματα μετακινήσεων των απαντήσεων των μαθητών, μετά την εφαρμογή της διδακτικής ακολουθίας του απλού εκκρεμούς. Το πρώτο και μαζικότερο αφορά στην μεταστροφή των απαντήσεων 13 μαθητών οι οποίοι, στον έλεγχο της σχέσης της περιόδου με το πλάτος της αιώρησής του, επιλέγουν τα δύο εκκρεμή που διαφέρουν μόνο στο πλάτος τους. Πριν την εφαρμογή της διδακτικής ακολουθίας, οι 8 από αυτούς δε φαίνεται να γνωρίζουν τη στρατηγική διερεύνησης της σχέσης των δύο μεταβλητών, αφού επιλέγουν για τον έλεγχό της είτε όλα τα εκκρεμή (οι 5), είτε τα δύο εκκρεμή που

διαφέρουν ταυτόχρονα και στο πλάτος και στο μήκος (οι 3). Άλλοι 4 από τους μαθητές που προσχωρούν στη μεθοδολογικά επαρκή απάντηση, πριν τη διδακτική ακολουθία του απλού εκκρεμούς, φαίνεται να μη μπορούν να αναγνωρίσουν τις κατάλληλες μεταβλητές στον έλεγχο της σχέσης περιόδου-πλάτους, αφού επιλέγουν εκκρεμή που διαφέρουν μόνο στο βάρος τους. Την ομάδα των μαθητών που μεταβάλλουν τις απαντήσεις τους στην επαρκή μεθοδολογικά κατεύθυνση, συμπληρώνει 1 μαθητής, που πριν τη διδακτική ακολουθία, δηλώνει άγνοια.

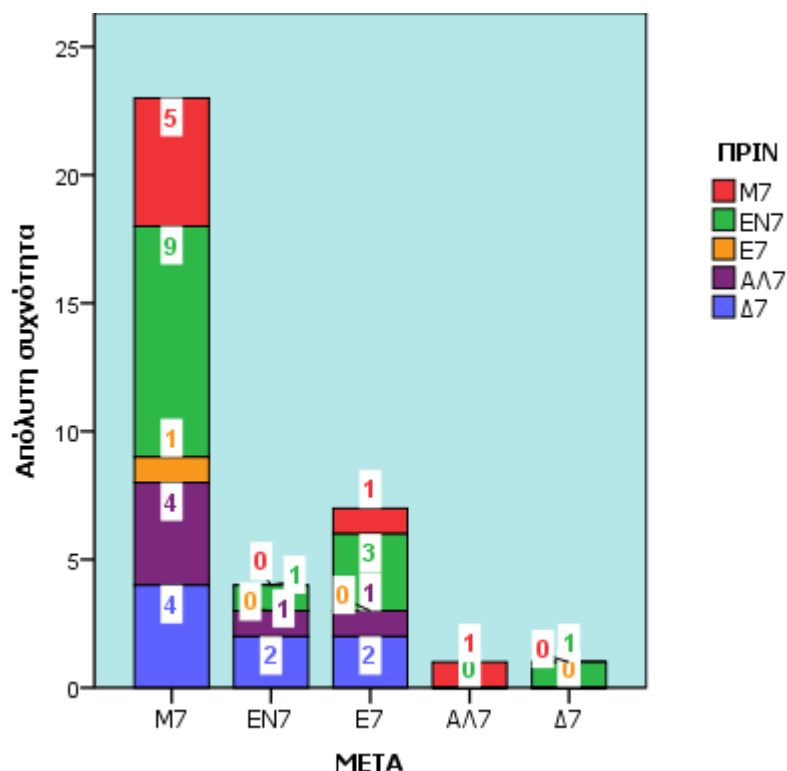


Διάγραμμα 7.10: Η σύγκριση των απαντήσεων στην ερώτηση 7

Το δεύτερο και σαφώς μικρότερο ρεύμα μεταστροφής των απαντήσεων αφορά σε 5 μαθητές, οι οποίοι, μετά την εφαρμογή της διδακτικής ακολουθίας, στον έλεγχο της σχέσης περιόδου – πλάτους, επιλέγουν ως κατάλληλα τα δύο εκκρεμή που διαφέρουν μόνο στο μήκος τους. Η ύπαρξη αυτής της ομάδας, έχει σχολιαστεί κατά την συζήτηση των αποτελεσμάτων της ανάλυσης των απαντήσεων της ερώτησης 7, μετά

τη διδακτική ακολουθία (η ομάδα περιλαμβάνει 6 μαθητές, αλλά στην ανάλυση των διαφορών εμφανίζονται 5, για το λόγο ότι ένας μαθητής δεν είχε δώσει κάποια απάντηση στην ερώτηση, πριν τη διδακτική ακολουθία του απλού εκκρεμούς) με τον εξής ισχυρισμό: «...είναι πιθανό ότι η συγκεκριμένη επιλογή δε γίνεται με μεθοδολογικά κριτήρια, αλλά με εννοιολογικά που διαμορφώθηκαν στα πλαίσια της προτεινόμενης διδακτικής ακολουθίας του απλού εκκρεμούς» (σελ. 168). Ο παραπάνω ισχυρισμός φαίνεται να ενισχύεται γιατί, όπως προκύπτει από το διάγραμμα 7.10, οι 3 από τους 5 μαθητές αυτής της ομάδας, πριν τη διδακτική ακολουθία του απλού εκκρεμούς, φαίνεται να αναγνωρίζουν τις κατάλληλες μεταβλητές ελέγχου της σχέσης περιόδου – πλάτους και επιλέγουν, ορθά, εκκρεμή που διαφέρουν μόνο στο πλάτος της αιώρησής τους. Συμπερασματικά και με βάση την προηγηθείσα συζήτηση, η επίδραση της εφαρμογής της προτεινόμενης διδακτικής ακολουθίας του απλού εκκρεμούς φαίνεται να είναι σημαντική στη διαμόρφωση επιστημονικά παραδεκτών μεθοδολογικών απαντήσεων που σχετίζονται με την αναγνώριση των μεταβλητών και την επιλογή της κατάλληλης στρατηγικής ελέγχου της σχέσης της περιόδου με το πλάτος της αιώρησης του απλού εκκρεμούς. Ταυτόχρονα, η εννοιολογική διαπραγμάτευση της σχέσης περιόδου – μήκους παρουσιάζεται να επιδρά στη μεθοδολογική διαπραγμάτευση της συγκεκριμένης σχέσης.

Η σύγκριση των κατηγοριών των αιτιολογήσεων που προβάλλουν οι μαθητές στις απαντήσεις τους στη μεθοδολογική ερώτηση 7 του ερωτηματολογίου, πριν και μετά την ακολουθία, καταγράφεται στο διάγραμμα 7.11.

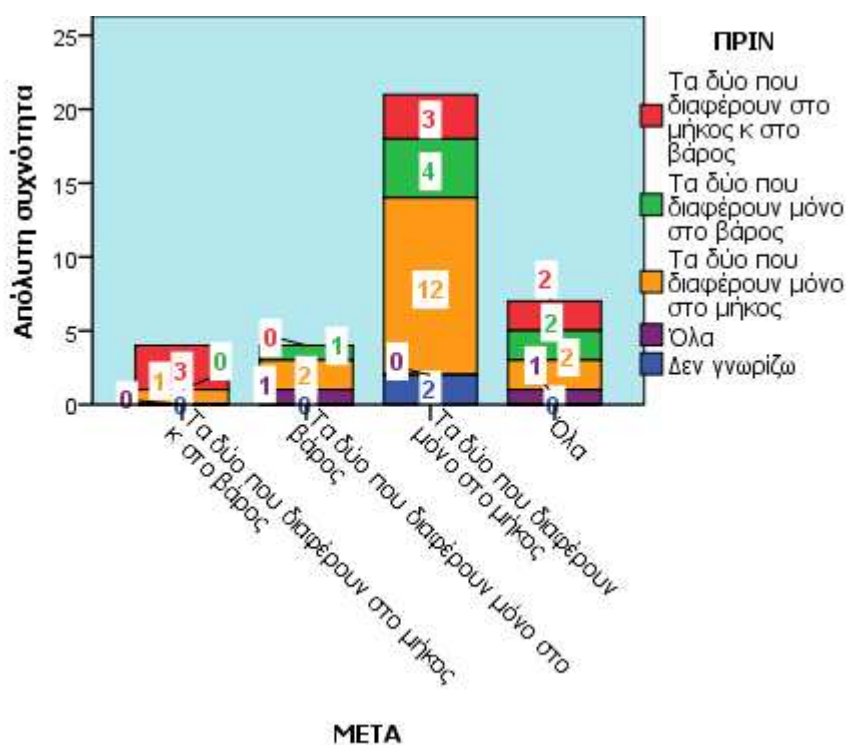


Διάγραμμα 7.11: Η σύγκριση των κατηγοριών των αιτιολογήσεων στην ερώτηση 7

Όπως προκύπτει από το συγκριτικό διάγραμμα 7.11, 18 είναι οι αιτιολογήσεις που μετακινούνται στην κατηγορία M7 (επαρκείς μεθοδολογικές αιτιολογήσεις στη σχέση περιόδου – πλάτους), μετά την εφαρμογή της διδακτικής ακολουθίας. Από αυτές, οι 9 προέρχονται από την κατηγορία EN7 (εναλλακτικές μεθοδολογικές αιτιολογήσεις στη σχέση περιόδου – πλάτους), 4 από την κατηγορία ΑΛ7 (αταξινόμητες αιτιολογήσεις), 4 από την κατηγορία Δ7 (χωρίς αιτιολόγηση) και μία (1) από την κατηγορία E7 (αιτιολογήσεις εννοιολογικού χαρακτήρα). Επιπλέον, στο διάγραμμα παρατηρούνται 7 μετακινήσεις αιτιολογήσεων στην κατηγορία E7, οι οποίες προέρχονται: οι 3 από την κατηγορία EN7, 2 από την κατηγορία Δ7 και από 1 από τις κατηγορίες M7 και ΑΛ7, αντίστοιχα. Συμπερασματικά, προς δύο κατευθύνσεις φαίνεται να μετακινούνται οι κατηγορίες των αιτιολογήσεων των επιλογών των

μαθητών στη μεθοδολογική ερώτηση 7, μετά την εφαρμογή της διδακτικής ακολουθίας του απλού εκκρεμούς. Η κύρια κατεύθυνση αφορά μετακινήσεις προς επιστημονικά αποδεκτές μεθοδολογικές αιτιολογήσεις, ενώ η δευτερεύουσα προς επιστημονικά αποδεκτές εννοιολογικές αιτιολογήσεις.

Ερώτηση 8: Η καταγραφή των διαφορών στις απαντήσεις των μαθητών πριν και μετά την εφαρμογή της διδακτικής ακολουθίας του απλού εκκρεμούς, παρουσιάζεται στο διάγραμμα 7.12.

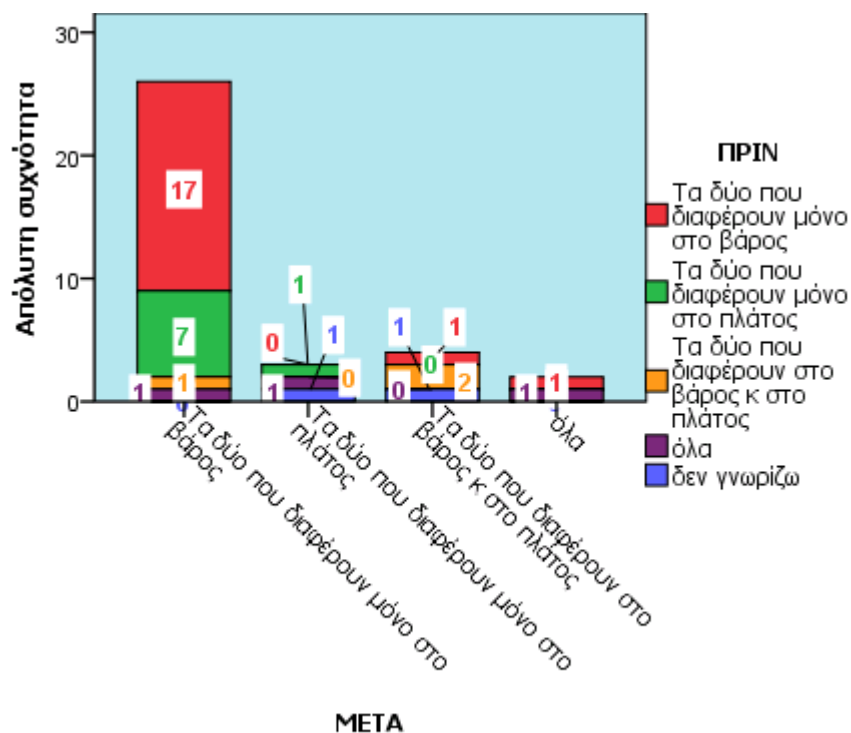


Διάγραμμα 7.12: Η σύγκριση των απαντήσεων στην ερώτηση 8

Όπως προκύπτει από το διάγραμμα 7.12, μετά την εφαρμογή της διδακτικής ακολουθίας του απλού εκκρεμούς καταγράφονται 9 προσχωρήσεις στη μεθοδολογικά ορθή απάντηση του ελέγχου της σχέσης της περιόδου με το μήκος του απλού

εκκρεμούς από δύο εκκρεμή που διαφέρουν μόνο στο μήκος τους. Οι 4 από αυτές αφορούν σε μαθητές που, πριν τη διδακτική ακολουθία, θεωρούν ότι τα κατάλληλα εκκρεμή είναι αυτά που διαφέρουν μόνο στο βάρος. Άλλες 3 αφορούν σε μαθητές που, πριν τη διδακτική ακολουθία, φαίνεται να μην αναγνωρίζουν την κατάλληλη στρατηγική ελέγχου δύο μεταβλητών και να επιλέγουν εκκρεμή που διαφέρουν ταυτόχρονα και στο μήκος και στο βάρος τους. Τέλος, την ομάδα συμπληρώνουν 2 μαθητές, που πριν τη διδακτική ακολουθία, δήλωναν άγνοια. Ταυτόχρονα, όπως προκύπτει από το διάγραμμα 7.12, μετά την εφαρμογή της διδακτικής ακολουθίας, 6 μαθητές φαίνεται να μην αναγνωρίζουν την κατάλληλη στρατηγική ελέγχου των δύο μεταβλητών, αφού στον έλεγχο τους επιλέγουν όλα τα εκκρεμή. Για την ερμηνεία της μεταστροφής των απαντήσεων αυτών των μαθητών και ειδικά των 2, που πριν τη διδακτική ακολουθία του απλού εκκρεμούς φέρονται να έχουν επιλέξει τα σωστά εκκρεμή στον έλεγχο της σχέσης, δεν υπάρχουν επαρκή στοιχεία και επομένως δε θα μπορούσε να επιχειρηθεί στα πλαίσια αυτής της συζήτησης. Συμπερασματικά και παρά την προηγηθείσα επιφύλαξη, η επίδραση της εφαρμογής της προτεινόμενης διδακτικής ακολουθίας του απλού εκκρεμούς φαίνεται να είναι σημαντική στη διαμόρφωση επιστημονικά αποδεκτών μεθοδολογικών απαντήσεων που σχετίζονται με την αναγνώριση των μεταβλητών και την επιλογή της κατάλληλης στρατηγικής ελέγχου της σχέσης της περιόδου με το μήκος του απλού εκκρεμούς.

Ερώτηση 9: Η καταγραφή των διαφορών στις απαντήσεις των μαθητών πριν και μετά την εφαρμογή της διδακτικής ακολουθίας του απλού εκκρεμούς, παρουσιάζεται στο διάγραμμα 7.13.



Διάγραμμα 7.13: Η σύγκριση των απαντήσεων στην ερώτηση 9

Όπως προκύπτει από το συγκριτικό διάγραμμα 7.13, το κυριότερο ρεύμα μετακινήσεων των απαντήσεων των μαθητών, μετά την εφαρμογή της διδακτικής ακολουθίας του απλού εκκρεμούς, αφορά στη μεταστροφή των απαντήσεων 9 μαθητών οι οποίοι, στον έλεγχο της σχέσης της περιόδου με το βάρος του εκκρεμούς, επιλέγουν τα δύο εκκρεμή που διαφέρουν μόνο στο βάρος τους. Πριν την εφαρμογή της διδακτικής ακολουθίας, οι 7 από αυτούς φαίνεται να μη μπορούν να αναγνωρίσουν τις κατάλληλες μεταβλητές στον έλεγχο της σχέσης περιόδου-βάρους, αφού επιλέγουν εκκρεμή που διαφέρουν μόνο στο πλάτος της αιώρησής τους, ενώ οι άλλοι 2 δε φαίνεται να γνωρίζουν τη στρατηγική διερεύνησης της σχέσης των δύο μεταβλητών, αφού επιλέγουν για τον έλεγχό της, ο ένας όλα τα εκκρεμή και ο άλλος τα δύο εκκρεμή που διαφέρουν ταυτόχρονα και στο πλάτος και στο βάρος. Συμπερασματικά, με βάση την

προηγηθείσα συζήτηση, μπορεί να υποστηριχθεί ότι η επίδραση της εφαρμογής της προτεινόμενης διδακτικής ακολουθίας του απλού εκκρεμούς φαίνεται να είναι σημαντική στη διαμόρφωση επιστημονικά αποδεκτών μεθοδολογικών απαντήσεων που σχετίζονται με την αναγνώριση των μεταβλητών και την επιλογή της κατάλληλης στρατηγικής ελέγχου της σχέσης της περιόδου με το βάρος του απλού εκκρεμούς.

7.2 Οι νοητικές παραστάσεις των μαθητών πριν και μετά την ακολουθία: Ανάλυση ανά ενότητα

Στη συνέχεια επιχειρείται η ιεράρχηση των πρωτογενών κατηγορικών δεδομένων κάθε απάντησης και η ομαδοποίηση των νοητικών παραστάσεων των μαθητών στις ενότητες (α) πολιτισμική, (β) εννοιολογική και (γ) μεθοδολογική, προκειμένου να κατηγοριοποιηθούν και αναλυθούν σε δεύτερο επίπεδο. Η πολιτισμική ενότητα απαρτίζεται από τις νοητικές παραστάσεις που αφορούν στις απαντήσεις των ερωτήσεων 1, 2α, 2β και 3, η εννοιολογική από τις νοητικές παραστάσεις που σχετίζονται με τις απαντήσεις των ερωτήσεων 4, 5 και 6 και η μεθοδολογική από τις νοητικές παραστάσεις που αφορούν στις απαντήσεις των ερωτήσεων 7, 8 και 9.

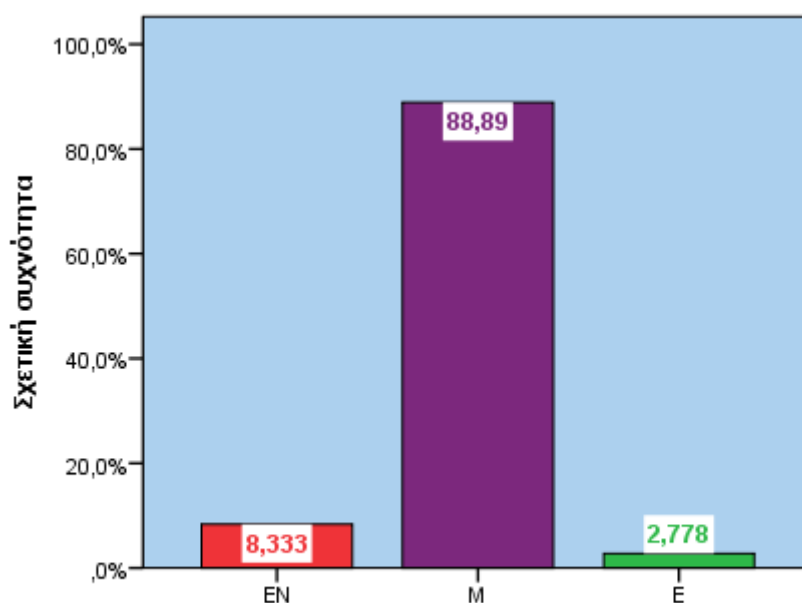
ι. Οι νοητικές παραστάσεις, ανά ενότητα, πριν την ακολουθία

Πολιτισμική ενότητα: Η ιεράρχηση των απαντήσεων της πολιτισμικής ενότητας, πριν την εφαρμογή της διδακτικής ακολουθίας του απλού εκκρεμούς, παρουσιάζεται στον πίνακα 7.27.

Απαντήσεις	Ιεράρχηση	
	«Λάθος»	«Σωστή»
Ερώτηση 1	31	5
Ερώτηση 2α	14	22
Ερώτηση 2β	18	18
Ερώτηση 3	7	29

Πίνακας 7.27: Η ιεράρχηση των απαντήσεων στην πολιτισμική ενότητα (Πριν)

Οι κατηγορίες των νοητικών παραστάσεων και στις τρεις ενότητες γνώσης, όπως περιγράφεται στην ενότητα 6.2, είναι «**EN**» (εναλλακτικές), «**M**» (μικτές) και «**E**»(επιστημονικές). Στο διάγραμμα 7.14 που ακολουθεί, καταγράφονται οι σχετικές συχνότητες των κατηγοριών των νοητικών παραστάσεων στην πολιτισμική ενότητα, μετά την ιεράρχηση των απαντήσεων.



Διάγραμμα 7.14: Οι σχετικές συχνότητες των νοητικών παραστάσεων της πολιτισμικής συνιστώσας της επιστημονικής γνώσης (Πριν)

Όπως καταγράφεται διάγραμμα 7.14, πριν την εφαρμογή της διδακτικής ακολουθίας του απλού εκκρεμούς, 1 είναι ο μαθητής (ποσοστό σχεδόν 3%) που

φαίνεται να εκφράζει «επιστημονικές» νοητικές παραστάσεις, δηλαδή έχουν ιεραρχηθεί ως «σωστές» όλες του οι απαντήσεις στις ερωτήσεις της πολιτισμικής ενότητας,. Μικρός είναι, επίσης, και ο αριθμός των μαθητών του δείγματος (3 μαθητές, ποσοστό περίπου 8%) που φαίνονται να εκφράζουν «εναλλακτικές» νοητικές παραστάσεις, δηλαδή έχουν ιεραρχηθεί ως «λάθος» όλες τους οι απαντήσεις στις ερωτήσεις της πολιτισμικής ενότητας. Η συντριπτική πλειοψηφία των μαθητών (32 μαθητές, σχεδόν το 89%) φαίνεται να εκφράζει «μικτές» νοητικές παραστάσεις, δηλαδή κάποιες από τις απαντήσεις τους, στις ερωτήσεις της πολιτισμικής ενότητας, έχουν ιεραρχηθεί ως «σωστές» και κάποιες ως «λάθος».

Εννοιολογική ενότητα: Η ιεράρχηση των απαντήσεων της εννοιολογικής ενότητας, πριν την εφαρμογή της διδακτικής ακολουθίας του απλού εκκρεμούς, παρουσιάζεται στον πίνακα 7.28.

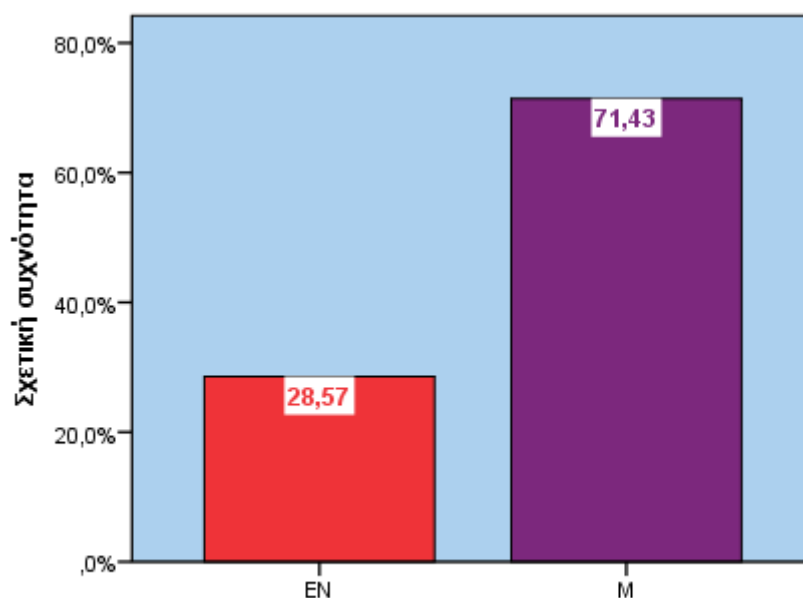
Απαντήσεις	Ιεράρχηση	
	«Λάθος»	«Σωστή»
Ερώτηση 4	32	4
Ερώτηση 5	34	2
Ερώτηση 6	14	21

Πίνακας 7.28: Η ιεράρχηση των απαντήσεων στην εννοιολογική ενότητα (Πριν)

Στο διάγραμμα 7.15 που ακολουθεί, καταγράφονται οι σχετικές συχνότητες των κατηγοριών των νοητικών παραστάσεων στην εννοιολογική ενότητα, μετά την ιεράρχηση των απαντήσεων.

Σοβαρά προβλήματα φαίνεται να αντιμετωπίζουν οι μαθητές και στην εννοιολογική ενότητα. Κανείς μαθητής δεν φαίνεται να εκφράζει «επιστημονικές» νοητικές παραστάσεις στην εννοιολογική ενότητα, πριν την εφαρμογή της διδακτικής

ακολουθίας του απλού εκκρεμούς. Μεγάλο είναι, επίσης, το ποσοστό των μαθητών (10 μαθητές, 28,57%) που φαίνεται να εκφράζει «εναλλακτικές» νοητικές παραστάσεις, ενώ η απόλυτη πλειοψηφία των μαθητών (25 μαθητές, 71,43%) φαίνεται να εκφράζει «μικτές» απόψεις.



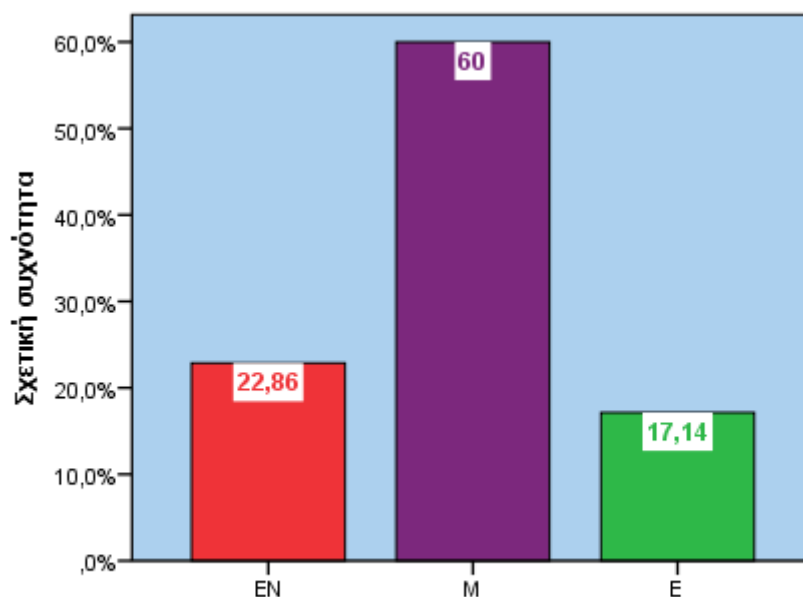
Διάγραμμα 7.15: Οι σχετικές συχνότητες των νοητικών παραστάσεων της εννοιολογικής συνιστώσας της επιστημονικής γνώσης (Πριν)

Μεθοδολογική ενότητα: Η ιεράρχηση των απαντήσεων της μεθοδολογικής ενότητας, πριν την εφαρμογή της διδακτικής ακολουθίας του απλού εκκρεμούς, παρουσιάζεται στον πίνακα 7.29.

Απαντήσεις	Ιεράρχηση	
	«Λάθος»	«Σωστή»
Ερώτηση 7	22	13
Ερώτηση 8	19	17
Ερώτηση 9	16	20

Πίνακας 7.29 Η ιεράρχηση των απαντήσεων στη μεθοδολογική ενότητα (Πριν)

Στο διάγραμμα 7.16 που ακολουθεί, καταγράφονται οι σχετικές συχνότητες των κατηγοριών των νοητικών παραστάσεων στη μεθοδολογική ενότητα, μετά την ιεράρχηση των απαντήσεων.



Διάγραμμα 7.16: Οι σχετικές συχνότητες των νοητικών παραστάσεων της μεθοδολογικής συνιστώσας της επιστημονικής γνώσης (Πριν)

Λιγότερα, συγκριτικά, φαίνεται να είναι τα προβλήματα που αντιμετωπίζουν οι μαθητές στη μεθοδολογική ενότητα, πριν την εφαρμογή της διδακτικής ακολουθίας του απλού εκκρεμούς. Ειδικότερα, 6 είναι οι μαθητές (ποσοστό 17,14%) που φαίνεται να εκφράζουν «επιστημονικές» νοητικές παραστάσεις στη μεθοδολογική ενότητα. Από την άλλη πλευρά, πάνω από το 1/5 των μαθητών του δείγματος (8 μαθητές, ποσοστό 22,86 %) φαίνονται να εκφράζουν σχετικές «εναλλακτικές» νοητικές παραστάσεις, ενώ η απόλυτη πλειοψηφία των μαθητών (21 μαθητές, ποσοστό 60%) φαίνεται να εκφράζει «μικτές» νοητικές παραστάσεις στη μεθοδολογική ενότητα.

Συνοψίζοντας, όπως προκύπτει από τη συζήτηση των διαγραμμάτων 7.14, 7.15 και 7.16 η απόλυτη πλειοψηφία των μαθητών, πριν την εφαρμογή της προτεινόμενης διδακτικής ακολουθίας του απλού εκκρεμούς, φαίνεται να συγκροτεί τις διάφορες νοητικές παραστάσεις για την κίνηση του απλού εκκρεμούς στη βάση πολυποίκιλων εναλλακτικών πλαισίων.

ii. Οι νοητικές παραστάσεις, ανά ενότητα, μετά την ακολουθία

Πολιτισμική ενότητα: Η ιεράρχηση των απαντήσεων της πολιτισμικής ενότητας, μετά την εφαρμογή της διδακτικής ακολουθίας του απλού εκκρεμούς, παρουσιάζεται στον πίνακα 7.30.

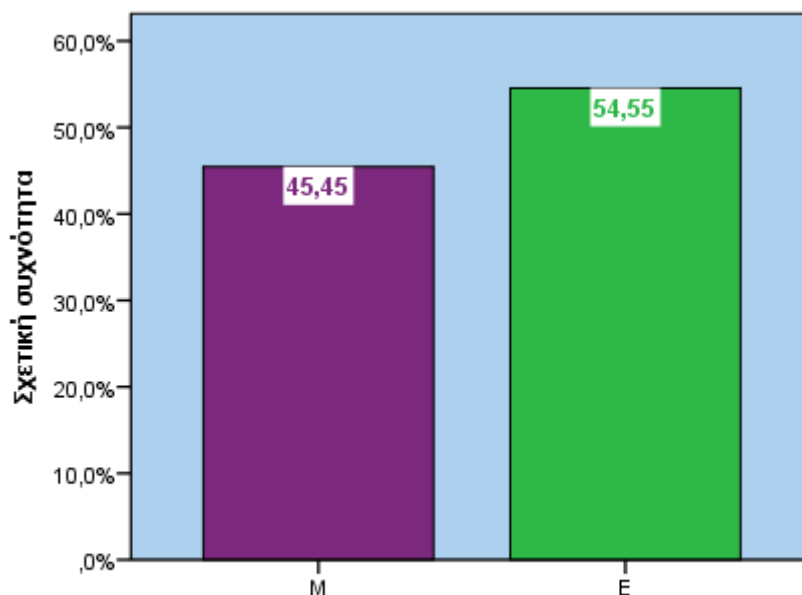
Απαντήσεις	Ιεράρχηση	
	«Λάθος»	«Σωστή»
Ερώτηση 1	10	23
Ερώτηση 2α	1	34
Ερώτηση 2β	0	36
Ερώτηση 3	10	20

Πίνακας 7.30: Η ιεράρχηση των απαντήσεων στην πολιτισμική ενότητα (Μετά)

Στο διάγραμμα 7.17 που ακολουθεί, καταγράφονται οι σχετικές συχνότητες των κατηγοριών των νοητικών παραστάσεων στην πολιτισμική ενότητα, μετά την ιεράρχηση των απαντήσεων.

Όπως καταγράφεται διάγραμμα 7.17, μετά την εφαρμογή της διδακτικής ακολουθίας του απλού εκκρεμούς, η απόλυτη πλειοψηφία των μαθητών (ποσοστό 54,55%), φαίνεται να εκφράζει «επιστημονικές» νοητικές παραστάσεις στην πολιτισμική ενότητα. Από την άλλη πλευρά κανείς μαθητής δε φαίνεται να εκφράζει σχετικές «εναλλακτικές» νοητικές παραστάσεις, μετά την εφαρμογή της διδακτικής ακολουθίας. Υπάρχει όμως ένας σημαντικός αριθμός μαθητών (15 μαθητές, ποσοστό

45.45%) που φαίνεται να εκφράζει «μικτές» νοητικές παραστάσεις, δηλαδή απαντήσεις «σωστές» σε κάποιες από τις πολιτισμικές ερωτήσεις και «λάθος» σε κάποιες άλλες. Το υψηλό ποσοστό των μαθητών που φέρονται να εκφράζουν «μικτές» νοητικές παραστάσεις στην εννοιολογική ενότητα, αποδίδεται, κατά κύρια βάση, στις απαντήσεις των μαθητών στην ερώτηση 3 του ερωτηματολογίου, που, όπως έχει συζητηθεί στο διάγραμμα 7.4, παρουσιάζεται γνωστική οπισθοδρόμηση, η οποία αποδίδεται στη σειρά των δραστηριοτήτων της συγκεκριμένης διδακτικής ακολουθίας. Επιπλέον, και με βάση την καταγραφή του πίνακα 7.30, οι σχετικές «μικτές» νοητικές παραστάσεις μπορούν να αποδοθούν στην ανθεκτικότητα των απόψεων εκείνων των μαθητών, που και μετά την διδακτική ακολουθία του απλού εκκρεμούς, απαντούν ότι η μελέτη των ιδιοτήτων του εκκρεμούς από τον Galileo, γίνεται στα πλαίσια της μελέτης των ταλαντώσεων.



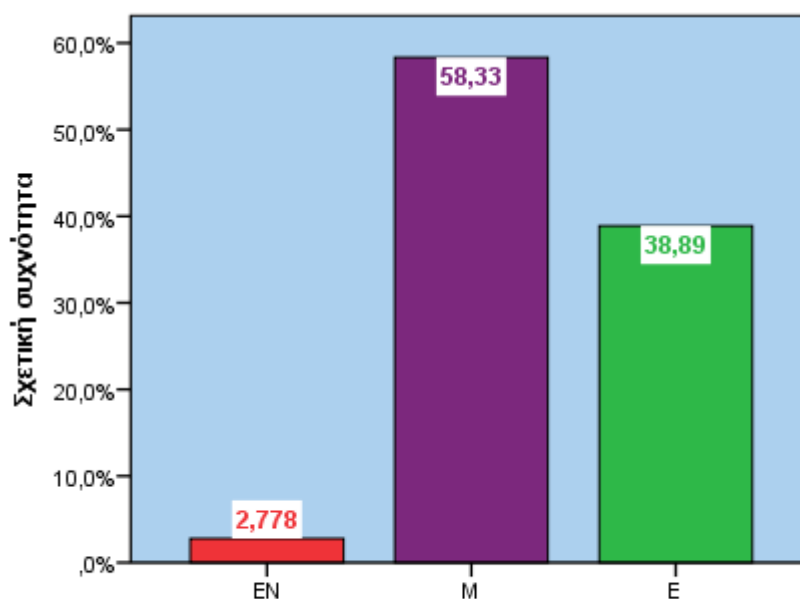
Διάγραμμα 7.17: Οι σχετικές συχνότητες των νοητικών παραστάσεων της πολιτισμικής συνιστώσας της επιστημονικής γνώσης (Μετά)

Εννοιολογική ενότητα: Η ιεράρχηση των απαντήσεων της εννοιολογικής ενότητας, μετά την εφαρμογή της διδακτικής ακολουθίας του απλού εκκρεμούς, παρουσιάζεται στον πίνακα 7.31.

Απαντήσεις	Ιεράρχηση	
	«Λάθος»	«Σωστή»
Ερώτηση 4	11	25
Ερώτηση 5	15	21
Ερώτηση 6	9	27

Πίνακας 7.31: Η ιεράρχηση των απαντήσεων στην εννοιολογική ενότητα (Μετά)

Στο διάγραμμα 7.18 που ακολουθεί, καταγράφονται οι σχετικές συχνότητες των κατηγοριών των νοητικών παραστάσεων στην εννοιολογική ενότητα, μετά την ιεράρχηση των απαντήσεων.



Διάγραμμα 7.18: Οι σχετικές συχνότητες των νοητικών παραστάσεων της εννοιολογικής συνιστώσας της επιστημονικής γνώσης (Μετά)

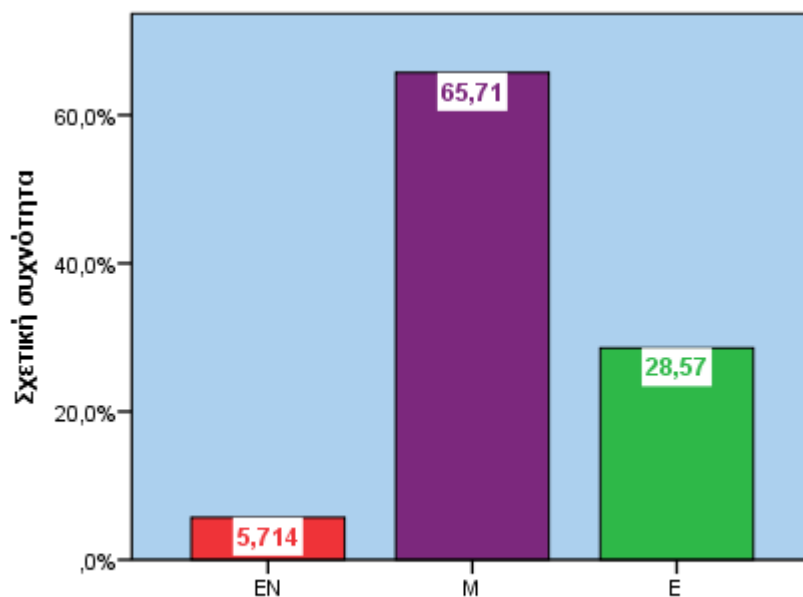
Φανερή είναι η πρόοδος των μαθητών στην εννοιολογική ενότητα, μετά τη διδακτική ακολουθία. Μεγάλο είναι το ποσοστό των μαθητών (σχεδόν 39%) που φαίνεται να εκφράζει «επιστημονικές» νοητικές παραστάσεις στην εννοιολογική ενότητα. Από την άλλη πλευρά, το ποσοστό των μαθητών που φαίνεται να εκφράζει σχετικές «εναλλακτικές» νοητικές παραστάσεις έχει συρρικνωθεί στο 2,8 %. Παρόλα αυτά, η απόλυτη πλειοψηφία των μαθητών (ποσοστό 58,3 %), παραμένει να εκφράζει «μικτές» νοητικές παραστάσεις, στην εννοιολογική ενότητα. Το υψηλό ποσοστό των «μικτών» αυτών νοητικών παραστάσεων αποδίδονται κυρίως στις απαντήσεις των μαθητών στην ερώτηση 5 ,όπου, όπως σχολιάζεται στον πίνακα 7.8, απορρίπτεται το ισόχρονο της κίνησης του απλού εκκρεμούς και επιλέγεται η διαμορφωμένη στα πλαίσια του γραμμικού αιτιακού συλλογισμού εξάρτηση της περιόδου με το πλάτος της αιώρησης.

Μεθοδολογική ενότητα: Η ιεράρχηση των απαντήσεων της μεθοδολογικής ενότητας, μετά την εφαρμογή της διδακτικής ακολουθίας του απλού εκκρεμούς, παρουσιάζεται στον πίνακα 7.32.

Απαντήσεις	Ιεράρχηση	
	«Λάθος»	«Σωστή»
Ερώτηση 7	13	23
Ερώτηση 8	15	21
Ερώτηση 9	9	26

Πίνακας 7.32 Η ιεράρχηση των απαντήσεων στη μεθοδολογική ενότητα (Μετά)

Στο διάγραμμα 7.19 που ακολουθεί, καταγράφονται οι σχετικές συχνότητες των κατηγοριών των νοητικών παραστάσεων στη μεθοδολογική ενότητα, μετά την ιεράρχηση των απαντήσεων.



Διάγραμμα 7.19: Οι σχετικές συχνότητες των νοητικών παραστάσεων της μεθοδολογικής συνιστώσας της επιστημονικής γνώσης (Μετά)

Αντιφατική φαίνεται να είναι η εικόνα στην μεθοδολογική ενότητα, μετά την εφαρμογή της διδακτικής ακολουθίας του απλού εκκρεμούς. Όπως προκύπτει από το διάγραμμα 7.19, παρότι σημειώνεται αύξηση, μόνο το 28,57% του δείγματος (10 μαθητές) φαίνεται να εκφράζει «επιστημονικές» νοητικές παραστάσεις στη μεθοδολογική ενότητα. Μικρή αύξηση παρουσιάζει και η απόλυτη πλειοψηφία των μαθητών (65,71%) που συνεχίζει να έχει «μικτές» νοητικές παραστάσεις, ενώ δραματική μείωση παρουσιάζει το ποσοστό των μαθητών που φαίνεται να εκφράζει «εναλλακτικές» νοητικές παραστάσεις στη μεθοδολογική ενότητα. Το υψηλό ποσοστό των μαθητών που φέρονται να εκφράζουν «μικτές» νοητικές παραστάσεις στη μεθοδολογική ενότητα, αποδίδεται, κατά βάση, στις απαντήσεις των μαθητών στην ερώτηση 7 του ερωτηματολογίου, που, όπως έχει αναλυθεί στη συζήτηση των διαγραμμάτων 7.10 και 7.11 έχουν εννοιολογικό χαρακτήρα, υπό τη επίρεια της

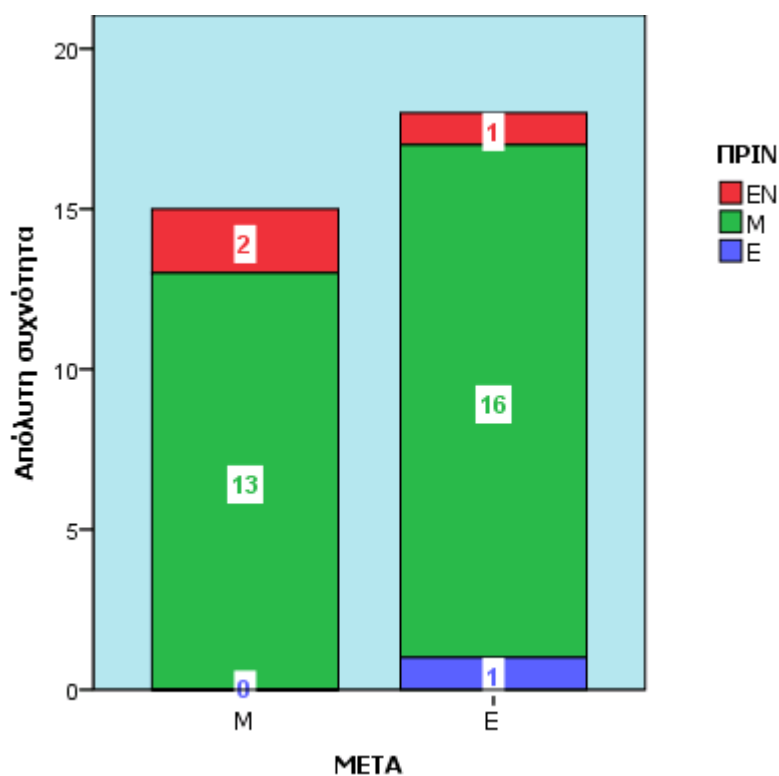
εννοιολογικής διαπραγμάτευσης που γίνεται στα πλαίσια της προτεινόμενης διδακτικής ακολουθίας. Επιπλέον, τμήμα του υψηλού ποσοστού των «μικτών» αυτών νοητικών παραστάσεων μπορεί να αποδοθεί στη γνωστική οπισθοδρόμηση που σχετίζεται με τις απαντήσεις στην ερώτηση 8 και έχει συζητηθεί στην ανάλυση του διαγράμματος 7.12.

Συνοψίζοντας, όπως προκύπτει από τη συζήτηση των διαγραμμάτων 7.17, 7.18 και 7.19, η πρόοδος των νοητικών παραστάσεων που εκφράζουν οι μαθητές, ως συνέπεια της συμμετοχής τους στη διδακτική ακολουθία του απλού εκκρεμούς και στις τρεις ενότητες των απαντήσεων του ερωτηματολογίου, φαίνεται να είναι σημαντική. Ειδικότερα, οι μαθητές φαίνεται να αντιλαμβάνονται καλύτερα το πολιτισμικό υπόβαθρο της μελέτης της κίνησης του απλού εκκρεμούς, συγκριτικά με το αντίστοιχο εννοιολογικό και μεθοδολογικό πλαίσιο μελέτης της κίνησης. Παρά το γεγονός ότι διαπιστώνεται σημαντική αύξηση στις νοητικές παραστάσεις που συγκροτούνται στη βάση του εννοιολογικού και μεθοδολογικού επιστημονικού πλαισίου, μια μεγάλη ομάδα μαθητών φαίνεται να διατηρεί μη αποδεκτές νοητικές παραστάσεις της εννοιολογικής συνιστώσας της επιστημονικής γνώσης και μετά τη διδακτική ακολουθία του απλού εκκρεμούς, ενώ μια άλλη ομάδα φαίνεται να διαπραγματεύεται μεθοδολογικά ζητήματα με τη χρήση του εννοιολογικού πλαισίου της κίνησης του απλού εκκρεμούς. Μια βιβλιογραφική δυνητική ερμηνεία της γνωστικής οπισθοδρόμησης αυτών των μαθητών αναφέρεται στις διαφορετικές σημασίες που συνεπάγονται οι ομαδικές διεργασίες σε άτομα που δεν έχουν διαμορφώσει τις απαραίτητες γνωστικές προϋποθέσεις που θα επέτρεπαν τη γνωστική πρόοδο (Doise & Mugny, 1987).

iii. Οι διαφορές των νοητικών παραστάσεων, ανά ενότητα, πριν και μετά την ακολουθία

Η ανάδειξη των διαφοροποιήσεων των νοητικών παραστάσεων των μαθητών, πριν και μετά την εφαρμογή της προτεινόμενης διδακτικής ακολουθίας του απλού εκκρεμούς, σε κάθε ενότητα γνώσης, επιχειρείται με τη χρήση αθροιστικών ραβδογραμμάτων.

Πολιτισμική ενότητα : Οι διαφορές των κλάσεων των σχετικών νοητικών παραστάσεων, πριν και μετά την εφαρμογή της ακολουθίας, αποτυπώνονται στο διάγραμμα 7.20.



Διάγραμμα 7.20: Η σύγκριση των νοητικών παραστάσεων της πολιτισμικής συνιστώσας της επιστημονικής γνώσης

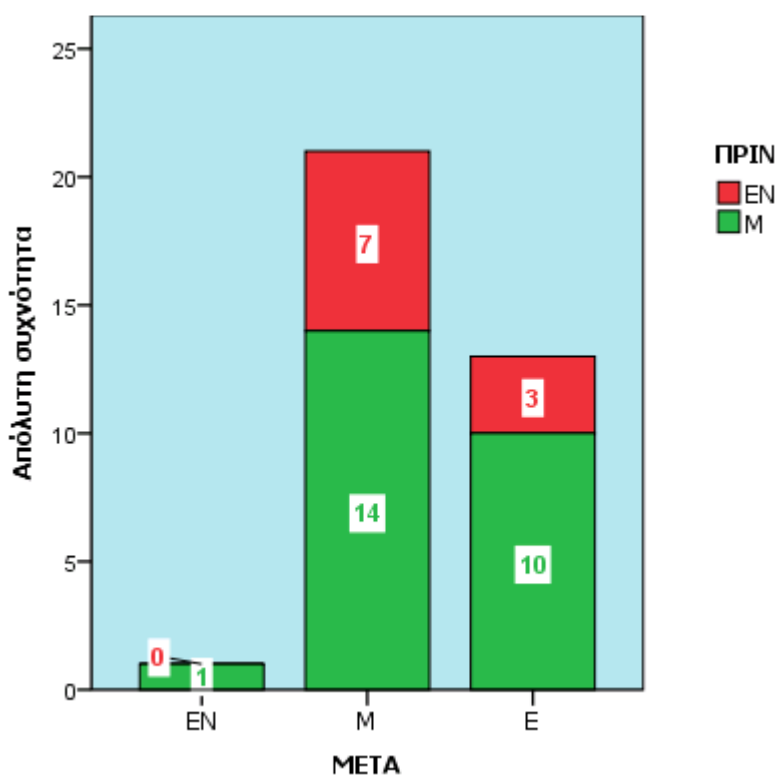
Όπως διαπιστώνεται από το διάγραμμα 7.20, δεν υπάρχει μαθητής που εκφράζει

«εναλλακτικές» νοητικές παραστάσεις στην πολιτισμική ενότητα, μετά την ακολουθία. Από το σύνολο των 3 μαθητών που οι νοητικές παραστάσεις τους, πριν τη διδακτική ακολουθία είναι ταξινομημένες στην κατηγορία «EN», μετά τη διδακτική ακολουθία, οι νοητικές παραστάσεις των 2 μετακινούνται στην κατηγορία «M και αυτές του 1 στην κατηγορία «E». Από την άλλη πλευρά, μετακινήσεις των νοητικών παραστάσεων παρατηρούνται και στους μαθητές που πριν τη διδακτική ακολουθία, οι σχετικές νοητικές παραστάσεις τους είναι ταξινομημένες στην κατηγορία «M». Πιο συγκεκριμένα, οι νοητικές παραστάσεις για πάνω από τους μισούς από αυτούς τους μαθητές (16 μαθητές) μετακινούνται στην κατηγορία «E», ενώ στη κατηγορία «M» παραμένουν να ταξινομούνται οι νοητικές παραστάσεις 13 μαθητών. Τέλος, οι νοητικές παραστάσεις του μαθητή που πριν τη διδακτική ακολουθία του απλού εκκρεμούς είναι ταξινομημένες στην κατηγορία «E», δεν μετακινούνται μετά την εφαρμογή της διδακτικής ακολουθίας. Είναι, επομένως, φανερό ότι μετά την εφαρμογή της προτεινόμενης διδακτικής ακολουθία, το σύνολο των νοητικών παραστάσεων των μαθητών που σχετίζονται με τη πολιτισμική συνιστώσα της επιστημονικής γνώσης μετακινήθηκε, στην κατεύθυνση της καλύτερης κατανόησης του πολιτισμικού υπόβαθρου της μελέτης της κίνησης του απλού εκκρεμούς.

Εννοιολογική ενότητα : Οι διαφορές των κλάσεων των σχετικών νοητικών παραστάσεων, πριν και μετά την εφαρμογή της διδακτικής ακολουθίας, αποτυπώνονται στο διάγραμμα 7.21.

Όπως καταγράφεται στο διάγραμμα 7.21, ένας (1) είναι ο μαθητής του οποίου και μετά την διδακτική ακολουθία του απλού εκκρεμούς οι σχετικές νοητικές παραστάσεις ταξινομούνται στην κατηγορία «EN». Οι νοητικές παραστάσεις 7 μαθητών, από το σύνολο των 10 που, πριν τη διδακτική ακολουθία, είναι

ταξινομημένες στην κατηγορία «EN» της εννοιολογικής ενότητας, μετακινούνται στην κατηγορία «M», μετά την διδακτική ακολουθία, ενώ οι νοητικές παραστάσεις των υπόλοιπων 3, μετακινούνται στην κατηγορία «E».

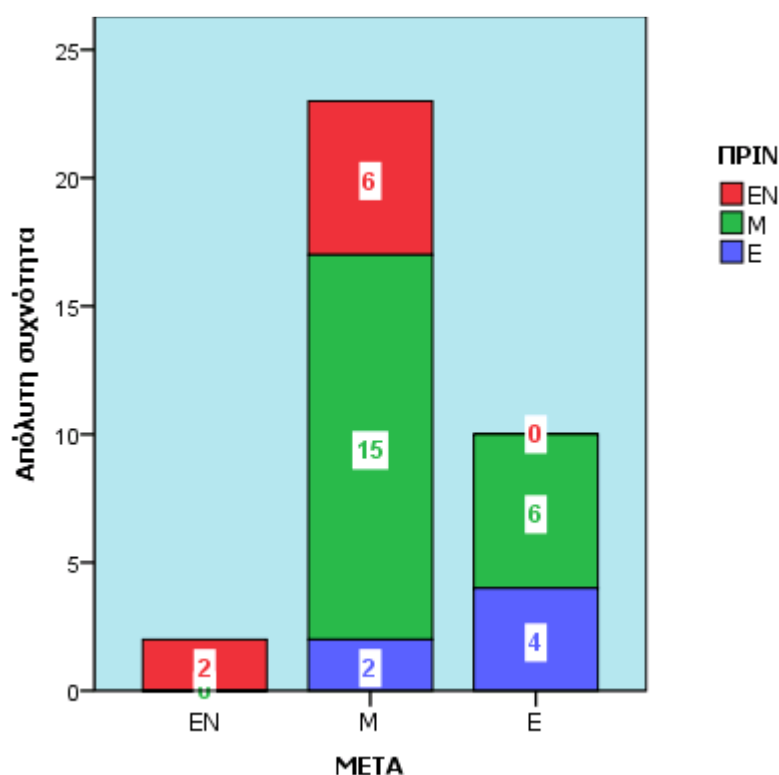


Διάγραμμα 7.21: Η σύγκριση των νοητικών παραστάσεων της εννοιολογικής συνιστώσας της επιστημονικής γνώσης

Μετακινήσεις παρατηρούνται και στις σχετικές νοητικές παραστάσεις ομάδας μαθητών που, πριν την διδακτική ακολουθία, είναι ταξινομημένες στην κατηγορία «M». Πιο συγκεκριμένα, οι νοητικές παραστάσεις 10 μαθητών (ποσοστό 40%) αυτής της ομάδας μετακινούνται στην κατηγορία «E», μετά τη διδακτική ακολουθία, ενώ στη κατηγορία «M» παραμένουν οι νοητικές παραστάσεις 14 μαθητών (ποσοστό 56%). Όπως, επομένως, προκύπτει από την ανάλυση των μεταβολών αυτών των νοητικών παραστάσεων των μαθητών, μετά την εφαρμογή της διδακτικής ακολουθίας, φαίνεται,

σε μια ή περισσότερες ερωτήσεις της εννοιολογικής ενότητας, να μετακινούνται σε απόψεις πιο συμβατές με τις επιστημονικά αποδεκτές.

Μεθοδολογική ενότητα : Οι διαφορές των κλάσεων των σχετικών νοητικών παραστάσεων, πριν και μετά την εφαρμογή της διδακτικής ακολουθίας, αποτυπώνονται στο διάγραμμα 7.22.



Διάγραμμα 7.22: Η σύγκριση των νοητικών παραστάσεων της μεθοδολογικής συνιστώσας της επιστημονικής γνώσης

Όπως καταγράφεται στο διάγραμμα 7.22, 2 είναι οι μαθητές των οποίων και μετά την διδακτική ακολουθία του απλού εκκρεμούς οι σχετικές νοητικές παραστάσεις παραμένουν στην κατηγορία «EN». Επιπλέον, οι νοητικές παραστάσεις 6 των μαθητών (ποσοστό 75%), που πριν τη διδακτική ακολουθία ταξινομούνται στην κατηγορία «EN», μετακινούνται στην κατηγορία «M», που σημαίνει ότι σε τουλάχιστον μία από

τις ερωτήσεις της μεθοδολογικής ενότητας επιλέγουν τη «σωστή» απάντηση, μετά τη διδακτική ακολουθία. Μετακινήσεις παρατηρούνται και στις νοητικές παραστάσεις ομάδας μαθητών που πριν τη διδακτική ακολουθία, είναι ταξινομημένες στην κατηγορία «Μ». Πιο συγκεκριμένα, οι νοητικές παραστάσεις 6 μαθητών αυτής της ομάδας μετακινούνται στην κατηγορία «Ε», δηλαδή σε όλες τις ερωτήσεις της μεθοδολογικής ενότητας επιλέγουν τη «σωστή» απάντηση, μετά τη διδακτική ακολουθία. Οπισθοδρόμηση καταγράφεται στις νοητικές παραστάσεις 2 μαθητών που, ενώ πριν τη διδακτική ακολουθία είναι ταξινομημένες στην κατηγορία «Ε», μετά από αυτή ταξινομούνται στην κατηγορία «Μ». Η αλλαγή κατηγορίας στις νοητικές παραστάσεις αυτών των μαθητών συνδέεται στενά με το εννοιολογικό πλαίσιο μελέτης του απλού εκκρεμούς και αφορά μαθητές οι οποίοι, όπως αναλύεται στη συζήτηση των κατηγοριών των αιτιολογήσεων στην ερώτηση 7 (πίνακας 7.24) αιτιολογούν με εννοιολογικά τις μεθοδολογικές τους επιλογές. Συνοψίζοντας, μετά την εφαρμογή της διδακτική ακολουθίας του απλού εκκρεμούς, για το σύνολο των μαθητών καταγράφεται μετακίνηση των νοητικών παραστάσεών τους σε σχέση με τη μεθοδολογική συνιστώσα της επιστημονικής γνώσης προς την κατεύθυνση των επιστημονικά αποδεκτών.

7.3 Οι συσχετίσεις των νοητικών παραστάσεων

Στην παρούσα ενότητα επιχειρείται η διερεύνηση των συσχετίσεων των νοητικών παραστάσεων των μαθητών, με στόχο την πληρέστερη δυνατή εκτίμηση της επίδρασης της προτεινόμενης διδακτικής ακολουθίας του απλού εκκρεμούς, στη διαμόρφωση των νοητικών παραστάσεων των μαθητών. Αρχικά πραγματοποιείται η διερεύνηση των συσχετίσεων μεταξύ των εννοιολογικών και των αντίστοιχων μεθοδολογικών

απαντήσεων των μαθητών, ανά ερώτηση, πριν και μετά την ακολουθία του απλού εκκρεμούς. Στη συνέχεια διερευνώνται οι συσχετίσεις των κατηγοριοποιημένων αιτιολογήσεων των μαθητών με τις αντίστοιχες απαντήσεις τους, πριν και μετά την ακολουθία του απλού εκκρεμούς. Τέλος, επιχειρείται η διερεύνηση των συσχετίσεων των νοητικών παραστάσεων που αφορούν στην εννοιολογική και μεθοδολογική συνιστώσα της επιστημονικής γνώσης, ανά κατηγορία ερωτήσεων πριν και μετά την ακολουθία του απλού εκκρεμούς.

i. Οι συσχετίσεις των εννοιολογικών με τις αντίστοιχες μεθοδολογικές απαντήσεις

Η ανάλυση που ακολουθεί αφορά στις τυχόν συσχετίσεις των απαντήσεων της ερώτησης 4 με την ερώτηση 9, της ερώτησης 5 με την ερώτηση 7 και της ερώτησης 6 με την ερώτηση 8.

Οι ερωτήσεις 4 και 9 αφορούν στην εννοιολογική και μεθοδολογική διερεύνηση της σχέσης της περιόδου με το βάρος του απλού εκκρεμούς. Οι επιλογές των απαντήσεων στις ερωτήσεις 4 και 9 του ερωτηματολογίου παρουσιάζονται στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ II, ενώ οι αντίστοιχες κωδικοποιημένες απαντήσεις αποτυπώνονται στον πίνακα 6.6.

Στον πίνακα 7.33 που ακολουθεί, παρουσιάζονται οι διασταυρώσεις των συχνοτήτων των απαντήσεων της εννοιολογικής ερώτησης με αυτές της μεθοδολογικής, πριν τη διδακτική ακολουθία του απλού εκκρεμούς.

Όπως διαπιστώνεται στον πίνακα 7.33, τέσσερις (4) είναι μόνο οι μαθητές που υποστηρίζουν την ανεξαρτησία της περιόδου από το βάρος του εκκρεμούς (εννοιολογική αντίληψη γ). Επιπλέον, από τους είκοσι (20) μαθητές που υποστηρίζουν τη διερεύνηση της σχέσης περιόδου – βάρους με εκκρεμή που διαφέρουν μόνο κατά το βάρος τους (μεθοδολογική απάντηση α) μόνο οι δύο (2) φαίνεται να υποστηρίζουν την

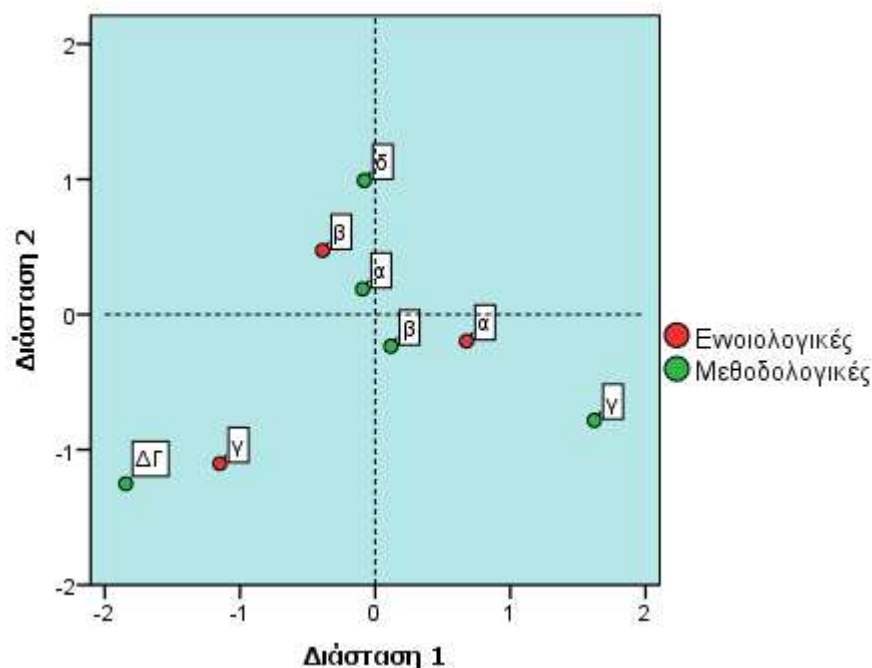
εννοιολογική απάντηση γ ταυτόχρονα.

Εννοιολογικές απαντήσεις	Μεθοδολογικές απαντήσεις					Σύνολο
	α	β	γ	δ	$\Delta\Gamma$	
α	8	4	3	1	0	16
β	10	3	0	2	1	16
γ	2	1	0	0	1	4
$\Delta\Gamma$	0	0	0	0	0	0
Σύνολο	20	8	3	3	2	36

Πίνακας 7.33: Η διασταύρωση των απαντήσεων των ερωτήσεων 4 και 9 (Πριν)

Στο διάγραμμα 7.23 που ακολουθεί απεικονίζεται το παραγοντικό διάγραμμα των εννοιολογικών και μεθοδολογικών απαντήσεων για τη σχέση της περιόδου με το βάρος του απλού εκκρεμούς, πριν την ακολουθία του απλού εκκρεμούς. Το παραγοντικό διάγραμμα, όπως έχει αναλυθεί στην ενότητα 6.2, μπορεί, μέσω της γραφικής απεικόνισης των δεδομένων, να αποκαλύψει τις τυχόν συσχετίσεις μεταξύ των απαντήσεων των ερωτήσεων και να οδηγήσει σε συμπεράσματα σχετικά με την εμφάνιση ή μη συνεκτικών ομάδων μαθητών, που εμφανίζουν επαρκή γνωστική πρόοδο συγχρόνως στην εννοιολογική και μεθοδολογική συνιστώσα της επιστημονικής γνώσης.

Όπως διαπιστώνεται από την εγγύτητα των σημείων στο διάγραμμα 7.23, δε φαίνεται να υπάρχει κάποια ομάδα μαθητών που επιλέγει συγκεκριμένα ζεύγη εννοιολογικών και μεθοδολογικών απαντήσεων για τη σχέση της περιόδου του απλού εκκρεμούς με το βάρος του. Επομένως, πριν την εφαρμογή της προτεινόμενης διδακτικής ακολουθίας, δε φαίνεται να συσχετίζονται οι εννοιολογικές απαντήσεις των μαθητών με τις μεθοδολογικές τους στη σχέση της περιόδου του απλού εκκρεμούς με το βάρος του.



Διάγραμμα 7.23: Οι συνδέσεις της σχέσης Περιόδου – Βάρους (Πριν)

Στον πίνακα 7.34 παρουσιάζονται οι διασταυρώσεις των συχνοτήτων των απαντήσεων της εννοιολογικής ερώτησης με αυτές της μεθοδολογικής, μετά την εφαρμογή της διδακτικής ακολουθίας.

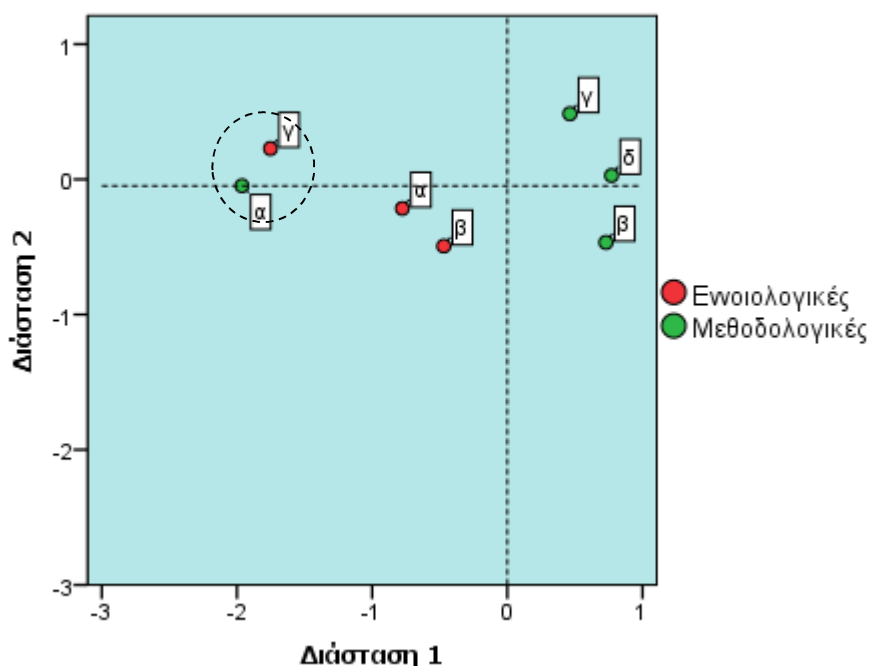
Εννοιολογικές απαντήσεις	Μεθοδολογικές απαντήσεις					Σύνολο
	α	β	γ	δ	ΔΓ	
α	6	0	0	0	0	6
β	4	1	0	0	0	5
γ	16	2	4	2	0	24
ΔΓ	0	0	0	0	0	0
Σύνολο	26	3	4	2	0	35

Πίνακας 7.34: Η διασταύρωση των απαντήσεων των ερωτήσεων 4 και 9 (Μετά)

Όπως αποτυπώνεται στον πίνακα 7.34, είκοσι τέσσερις (24) είναι οι μαθητές που υποστηρίζουν την ανεξαρτησία της περιόδου από το βάρος του εκκρεμούς (εννοιολογική απάντηση γ). Επιπροσθέτως, από τους είκοσι έξι (26) μαθητές που υποστηρίζουν τη διερεύνηση της σχέσης περιόδου – βάρους με εκκρεμή που διαφέρουν

μόνο κατά το βάρος τους (μεθοδολογική απάντηση α), οι δεκαέξι (16) φαίνεται να υποστηρίζουν την εννοιολογική απάντηση γ ταυτόχρονα.

Το παραγοντικό διάγραμμα των εννοιολογικών και μεθοδολογικών αντιλήψεων για τη σχέση της περιόδου με το βάρος του απλού εκκρεμούς, μετά την ακολουθία του απλού εκκρεμούς, παρουσιάζεται στο διάγραμμα 7.24.



Διάγραμμα 7.24: Οι συνδέσεις της σχέσης Περίοδου – Βάρους (Μετά)

Όπως προκύπτει από την εγγύτητα των σημείων στο διάγραμμα 7.24, φαίνεται να υπάρχει μια ομάδα μαθητών που επιλέγει την εννοιολογική απάντηση της ανεξαρτησίας της περιόδου του εκκρεμούς από το βάρος του (εννοιολογική απάντηση γ) και ταυτόχρονα τη μεθοδολογική απάντηση της επιλογής εκκρεμών που διαφέρουν μόνο στο βάρος τους (μεθοδολογική απάντηση α). Κατά συνέπεια, στη σχέση της περιόδου του εκκρεμούς με το βάρος του, η συμμετοχή των μαθητών στη διεξαγωγή

της διδακτικής ακολουθίας του εκκρεμούς φαίνεται να συμβάλλει στη συγκρότηση μιας ομάδας μαθητών για την οποία διαπιστώνεται ταυτόχρονη εννοιολογική και μεθοδολογική γνωστική πρόοδος.

Οι ερωτήσεις 5 και 7 αφορούν στην εννοιολογική και μεθοδολογική διερεύνηση της σχέσης της περιόδου του απλού εκκρεμούς με το πλάτος της αιώρησής του.

Στον πίνακα 7.35 που ακολουθεί, παρουσιάζονται οι διασταυρώσεις των συχνοτήτων των απαντήσεων της εννοιολογικής ερώτησης με αυτές της μεθοδολογικής, σχετικά με τη σχέση περιόδου – πλάτους, πριν τη διδακτική ακολουθία του απλού εκκρεμούς.

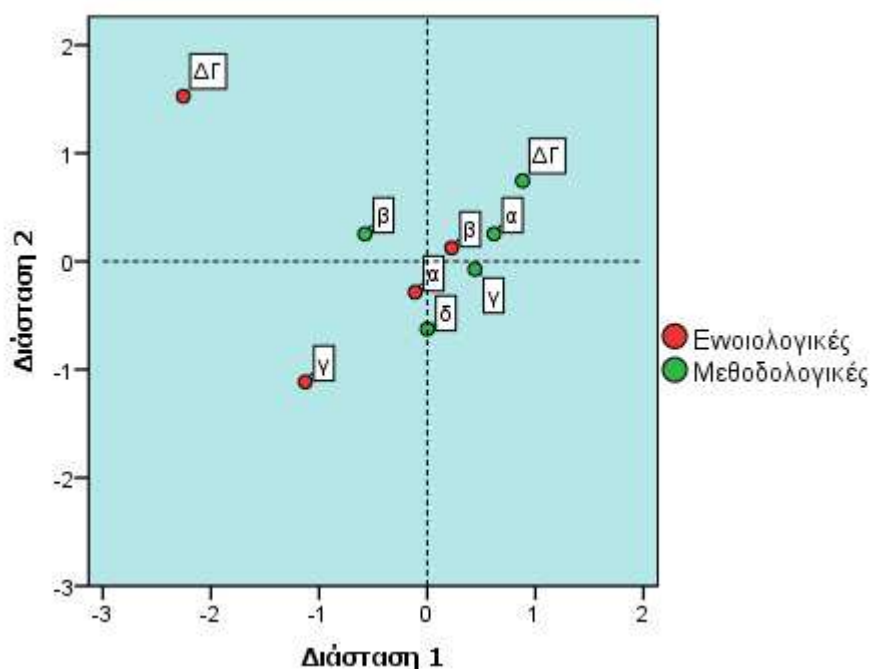
Εννοιολογικές απαντήσεις	Μεθοδολογικές απαντήσεις					Σύνολο
	α	β	γ	δ	ΔΓ	
α	1	3	2	2	0	8
β	4	8	4	6	2	24
γ	0	1	0	1	0	2
ΔΓ	0	1	0	0	0	1
Σύνολο	5	13	6	9	2	35

Πίνακας 7.35: Η διασταύρωση των απαντήσεων των ερωτήσεων 5 και 7 (Πριν)

Όπως διαπιστώνεται στον πίνακα 7.35, δύο (2) είναι οι μαθητές που φαίνεται να υποστηρίζουν την ανεξαρτησία της περιόδου του εκκρεμούς από το πλάτος της αιώρησής του (εννοιολογική απάντηση **γ**). Επιπλέον, από τους δεκατρείς (13) μαθητές που υποστηρίζουν τη διερεύνηση της σχέσης περιόδου – πλάτους με εκκρεμή που διαφέρουν μόνο στο πλάτος της αιώρησής τους (μεθοδολογική απάντηση **β**) μόνο ένας (1) φαίνεται να υποστηρίζει την εννοιολογική απάντηση **γ** ταυτόχρονα.

Στο διάγραμμα 7.25 που ακολουθεί απεικονίζεται το παραγοντικό διάγραμμα των εννοιολογικών και μεθοδολογικών απαντήσεων για τη σχέση της περιόδου με το πλάτος του απλού εκκρεμούς, πριν την εφαρμογή της διδακτικής ακολουθίας.

Όπως προκύπτει από την εγγύτητα των σημείων στο διάγραμμα 7.25, δε φαίνεται να υπάρχει κάποια ομάδα μαθητών που επιλέγει συγκεκριμένα ζεύγη εννοιολογικών και μεθοδολογικών απαντήσεων για τη σχέση της περιόδου του απλού εκκρεμούς με το πλάτος του. Επομένως, πριν την εφαρμογή της προτεινόμενης διδακτικής ακολουθίας, δε φαίνεται να συσχετίζονται οι εννοιολογικές απαντήσεις των μαθητών με τις μεθοδολογικές τους στη σχέση της περιόδου του απλού εκκρεμούς με το πλάτος της αιώρησής του.



Διάγραμμα 7.25: Οι συνδέσεις της σχέσης Περίοδου – Πλάτους (Πριν)

Στον πίνακα 7.36 παρουσιάζονται οι διασταυρώσεις των συχνοτήτων των απαντήσεων της εννοιολογικής ερώτησης με αυτές της μεθοδολογικής, αναφορικά με τη σχέση περιόδου – πλάτους μετά τη διδακτική ακολουθία του απλού εκκρεμούς.

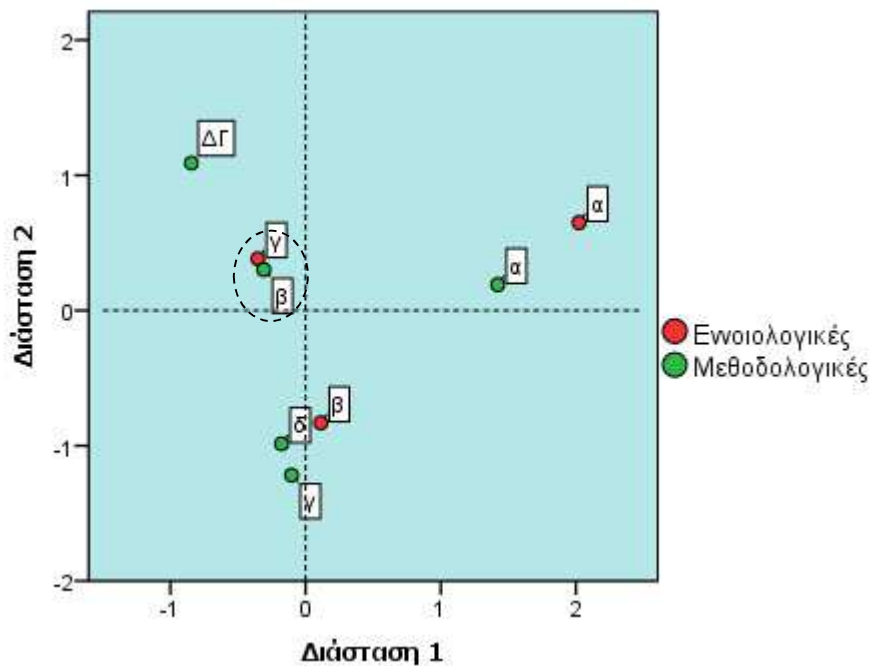
Εννοιολογικές απαντήσεις	Μεθοδολογικές απαντήσεις					
	α	β	γ	δ	ΔΓ	Σύνολο
α	2	1	0	0	0	3
β	2	5	2	3	0	12
γ	2	15	1	2	1	21
ΔΓ	0	0	0	0	0	0
Σύνολο	6	21	3	5	1	36

Πίνακας 7.36: Η διασταύρωση των απαντήσεων των ερωτήσεων 5 και 7 (Μετά)

Όπως αποτυπώνεται στον πίνακα 7.36, είκοσι ένας (21) είναι οι μαθητές που φαίνεται να υποστηρίζουν την ανεξαρτησία της περιόδου του εκκρεμούς από το πλάτος της αιώρησής του (εννοιολογική απάντηση γ). Ίδιος είναι ο αριθμός των μαθητών που υποστηρίζουν τη διερεύνηση της σχέσης περιόδου – πλάτους με εκκρεμή που διαφέρουν μόνο στο πλάτος της αιώρησής τους (μεθοδολογική απάντηση β), με δεκαπέντε (15) από αυτούς να υποστηρίζουν την εννοιολογική απάντηση γ ταυτόχρονα.

Το παραγοντικό διάγραμμα των εννοιολογικών και μεθοδολογικών αντιλήψεων για τη σχέση της περιόδου με το βάρος του απλού εκκρεμούς, μετά την ακολουθία του απλού εκκρεμούς, παρουσιάζεται στο διάγραμμα 7.26.

Όπως προκύπτει από την εγγύτητα των σημείων στο πάνω και αριστερό τεταρτημόριο του διαγράμματος 7.26, φαίνεται να υπάρχει μια ομάδα μαθητών που επιλέγει την εννοιολογική απάντηση της ανεξαρτησίας της περιόδου από το πλάτος της αιώρησης (εννοιολογική απάντηση γ) και ταυτόχρονα τη μεθοδολογική απάντηση της επιλογής εκκρεμών που διαφέρουν μόνο στο πλάτος τους (μεθοδολογική απάντηση β). Κατά συνέπεια, στη σχέση της περιόδου του εκκρεμούς με το πλάτος του, η συμμετοχή των μαθητών στη διεξαγωγή της διδακτικής ακολουθίας του εκκρεμούς φαίνεται να συμβάλλει στη συγκρότηση μιας ομάδας μαθητών για την οποία διαπιστώνεται ταυτόχρονη εννοιολογική και μεθοδολογική γνωστική πρόοδος.



Διάγραμμα 7.26: Οι συνδέσεις της σχέσης Περίοδου – Πλάτους (Μετά)

Οι ερωτήσεις 6 και 8 αφορούν στην εννοιολογική και μεθοδολογική διερεύνηση της σχέσης της περιόδου με το μήκος του απλού εκκρεμούς.

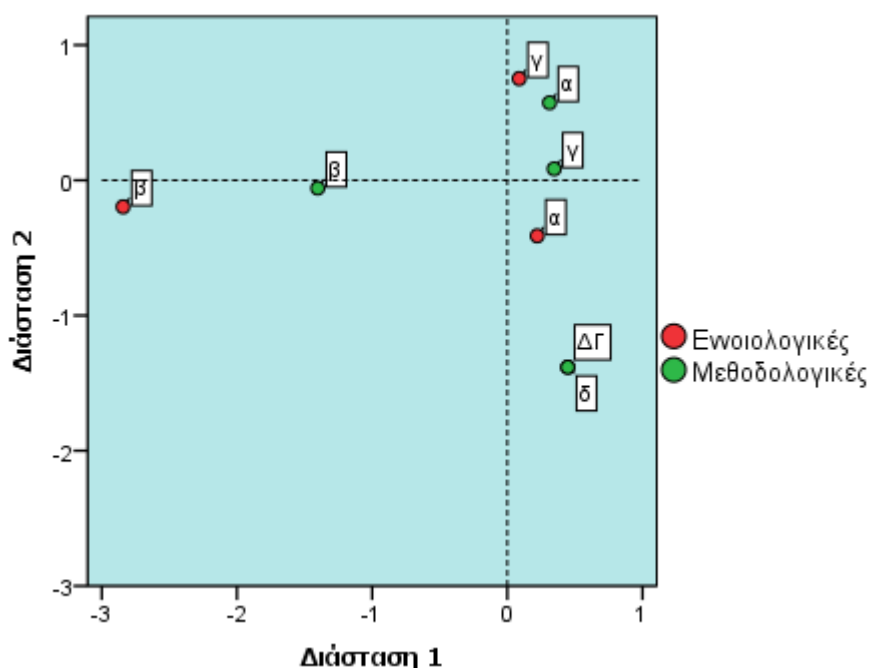
Στον πίνακα 7.37 που ακολουθεί, παρουσιάζονται οι διασταυρώσεις των συχνοτήτων των απαντήσεων της εννοιολογικής ερώτησης με αυτές της μεθοδολογικής, αναφορικά με τη σχέση περιόδου – μήκους, πριν τη διδακτική ακολουθία.

Όπως καταγράφεται στον πίνακα 7.37, είκοσι ένας (21) είναι οι μαθητές που υποστηρίζουν την αύξηση της περιόδου του εκκρεμούς ως συνάρτηση της αύξησης του μήκους του (εννοιολογική απάντηση α). Ταυτόχρονα, από τους δεκαέξι (16) μαθητές που υποστηρίζουν τη διερεύνηση της σχέσης περιόδου – μήκους με εκκρεμή που διαφέρουν μόνο κατά το μήκος τους (μεθοδολογική απάντηση γ) οι δέκα (10) φαίνεται να υποστηρίζουν και την εννοιολογική απάντηση γ.

Εννοιολογικές απαντήσεις	Μεθοδολογικές απαντήσεις					Σύνολο
	α	β	γ	δ	$\Delta\Gamma$	
α	4	3	10	2	2	21
β	0	2	0	0	0	2
γ	4	2	6	0	0	12
$\Delta\Gamma$	0	0	0	0	0	0
Σύνολο	8	7	16	2	2	35

Πίνακας 7.37 Η διασταύρωση των απαντήσεων των ερωτήσεων 6 και 8 (Πριν)

Στο διάγραμμα 7.27 που ακολουθεί, απεικονίζεται το παραγοντικό διάγραμμα των εννοιολογικών και μεθοδολογικών αντιλήψεων για τη σχέση της περιόδου με το μήκος του απλού εκκρεμούς, πριν τη διδακτική ακολουθία του απλού εκκρεμούς.



Διάγραμμα 7.27: Οι συνδέσεις της σχέσης Περίοδος – Μήκους (Πριν)

Όπως προκύπτει από την εγγύτητα των σημείων στο διάγραμμα 7.27, δε φαίνεται να υπάρχει κάποια ομάδα μαθητών που επιλέγει την εννοιολογική απάντηση της αύξησης της περιόδου από το μήκος του εκκρεμούς (εννοιολογική απάντηση α) και ταυτόχρονα κάποια ορισμένη μεθοδολογική απάντηση, σχετικά με τη διερεύνηση της

σχέσης της περιόδου του απλού εκκρεμούς με το μήκος του.

Στον πίνακα 7.38 παρουσιάζονται οι διασταυρώσεις των συχνοτήτων των απαντήσεων της εννοιολογικής ερώτησης με αυτές της μεθοδολογικής, αναφορικά με τη σχέση περιόδου – μήκους, μετά τη διδακτική ακολουθία.

Εννοιολογικές αντιλήψεις	Μεθοδολογικές αντιλήψεις					Σύνολο
	α	β	γ	δ	ΔΓ	
α	2	2	18	5	0	27
β	2	1	2	0	0	5
γ	0	1	1	2	0	4
ΔΓ	0	0	0	0	0	0
Σύνολο	4	4	21	7	0	36

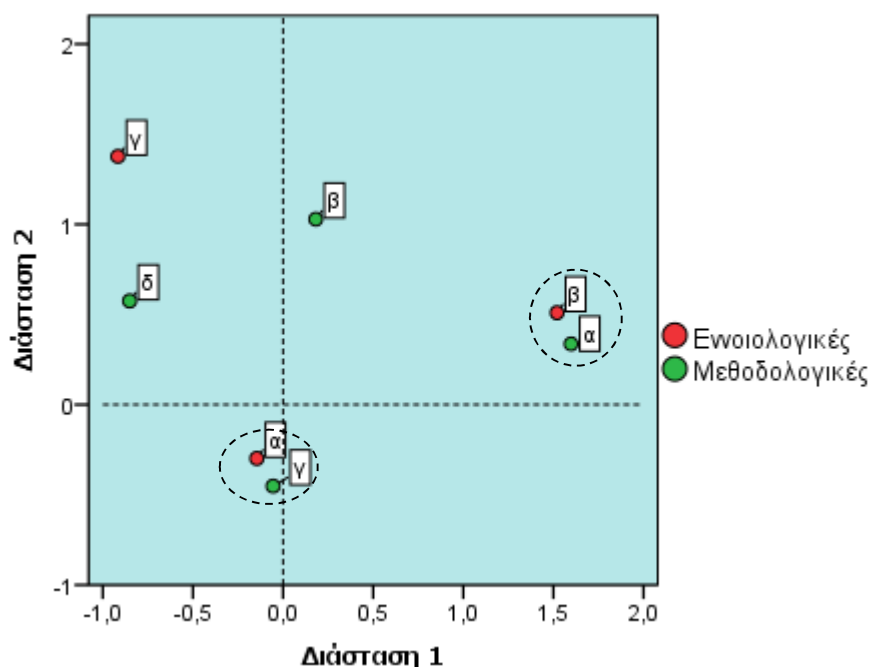
Πίνακας 7.38 Η διασταύρωση των απαντήσεων των ερωτήσεων 6 και 8 (Μετά)

Όπως προκύπτει από τον πίνακα 7.38, είκοσι επτά (27) είναι μαθητές που υποστηρίζουν την αύξηση της περιόδου ως συνάρτηση της αύξησης του μήκους του εκκρεμούς (εννοιολογική απάντηση **α**). Επιπροσθέτως, από τους είκοσι έναν (21) μαθητές που υποστηρίζουν τη διερεύνηση της σχέσης περιόδου – μήκους με εκκρεμιά που διαφέρουν μόνο κατά το μήκος τους (μεθοδολογική απάντηση **γ**), οι δεκαοκτώ (18) φαίνεται να υποστηρίζουν και την εννοιολογική απάντηση **α**, ταυτόχρονα.

Το παραγοντικό διάγραμμα των εννοιολογικών και μεθοδολογικών αντιλήψεων για τη σχέση της περιόδου του εκκρεμούς με το μήκος του, μετά την εφαρμογή της διδακτικής ακολουθίας, παρουσιάζεται στο διάγραμμα 7.28.

Όπως προκύπτει από την εγγύτητα των σημείων στο κάτω και αριστερό τεταρτημόριο του διαγράμματος 7.28, φαίνεται να υπάρχει μια ομάδα μαθητών που επιλέγει την εννοιολογική απάντηση της αύξησης της περιόδου ως συνάρτηση της αύξησης του μήκους του εκκρεμούς (εννοιολογική αντίληψη **α**) και ταυτόχρονα τη μεθοδολογική απάντηση της επιλογής εκκρεμών που διαφέρουν μόνο στο μήκος τους

(μεθοδολογική απάντηση γ) για τη σχέση της περιόδου του απλού εκκρεμούς με το μήκος του. Παράλληλα, στο πάνω και δεξιό τεταρτημόριο του διαγράμματος φαίνεται να συγκροτείται μια δεύτερη ομάδα μαθητών που επιλέγει την εννοιολογική αντίληψη της αύξησης της περιόδου ως συνάρτηση της μείωσης του μήκους του εκκρεμούς (εννοιολογική απάντηση β) και ταυτόχρονα τη μεθοδολογική απάντηση της επιλογής εκκρεμών που διαφέρουν στο μήκος και στο βάρος τους (μεθοδολογική απάντηση α) για τη σχέση της περιόδου του απλού εκκρεμούς με το μήκος του.



Διάγραμμα 7.28: Οι συνδέσεις της σχέσης Περίοδος – Μήκους (Μετά)

Επομένως, στη σχέση της περιόδου του εκκρεμούς με το μήκος του, η εφαρμογή της διδακτικής ακολουθίας του εκκρεμούς φαίνεται να υποστηρίζει τη συγκρότηση δύο ομάδων μαθητών. Στην πρώτη διαπιστώνεται ταυτόχρονη αποδοχή των εννοιολογικών και μεθοδολογικών απαντήσεων που είναι σε απόλυτη συμφωνία με τα επιστημονικό μοντέλο για τη σχέση της περιόδου με το μήκος του απλού εκκρεμούς και κατά

συνέπεια η επίδραση της διδακτικής ακολουθίας φαίνεται να επιφέρει τόσο εννοιολογική, όσο και μεθοδολογική γνωστική πρόοδο. Στη δεύτερη, διαπιστώνεται απόλυτη διαφωνία με τα επιστημονικό μοντέλο για τη σχέση της περιόδου με το μήκος του απλού εκκρεμούς και κατά συνέπεια η επίδραση της διδακτικής ακολουθίας φαίνεται να μη συμβάλλει στην επιθυμητή εννοιολογική και μεθοδολογική γνωστική πρόοδο των μαθητών. Η πρώτη ομάδα, όπως προκύπτει από τον πίνακα 7.38, απαρτίζεται από 18 μαθητές, ενώ η δεύτερη από 2 μαθητές και κατά συνέπεια, στη σχέση της περιόδου του εκκρεμούς με το μήκος του, η συμμετοχή των μαθητών στη διεξαγωγή της διδακτικής ακολουθίας του εκκρεμούς φαίνεται να συμβάλλει πρωτίστως στη συγκρότηση εκείνης της ομάδας για την οποία διαπιστώνεται ταυτόχρονη εννοιολογική και μεθοδολογική γνωστική πρόοδος.

ii. Οι συσχετίσεις των κατηγοριών των αιτιολογήσεων με τις επιλογές της αντίστοιχης ερώτησης

Η διερεύνηση που ακολουθεί αφορά στην καταγραφή, με τη χρήση της παραγοντικής ανάλυσης αντιστοιχιών, των πιθανών συσχετίσεων των κατηγοριών των αιτιολογήσεων με τις απαντήσεις των ερωτήσεων 5 και 7 του ερωτηματολογίου. Υπενθυμίζεται ότι οι κατηγορίες των αιτιολογήσεων και στις δύο ερωτήσεις του ερωτηματολογίου αποτυπώνονται στον πίνακα 6.7.

Ερώτηση 5: Στον πίνακα 7.39 που ακολουθεί, παρουσιάζονται οι διασταυρώσεις των κατηγοριών των αιτιολογήσεων, με τις απαντήσεις της εννοιολογικής ερώτησης 5, πριν την εφαρμογή της διδακτικής ακολουθίας.

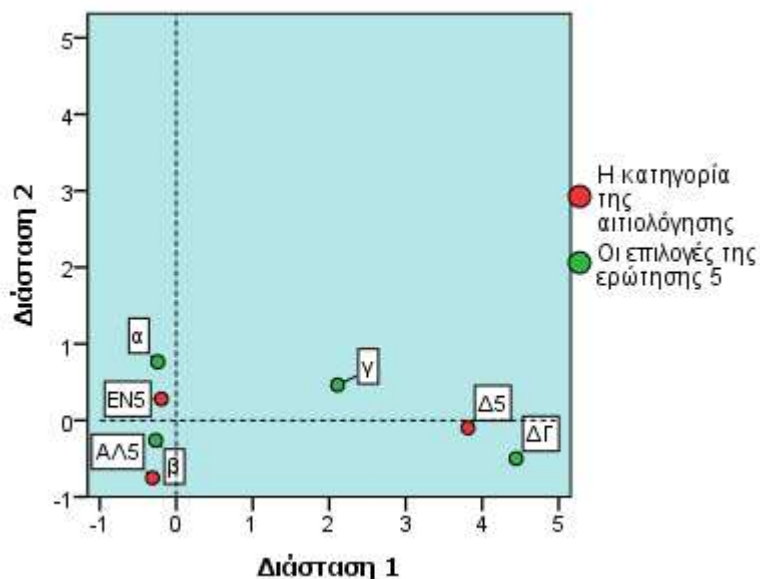
Οι κατηγορίες των αιτιολογήσεων	Οι απαντήσεις στην ερώτηση 5				
	α	β	γ	ΔΓ	Σύνολο
E5	0	0	0	0	0
EN5	7	17	1	0	25
ΑΛ5	1	8	0	0	9
Δ5	0	0	1	1	2
Σύνολο	8	25	2	1	36

Πίνακας 7.39 Η διασταύρωση των κατηγοριών των αιτιολογήσεων με τις απαντήσεις στην ερώτηση 5 (Πριν)

Όπως προκύπτει από τον πίνακα 7.39, δεν υπάρχουν μαθητές οι οποίοι πριν την ακολουθία να αιτιολογούν τις απαντήσεις τους με αιτιολόγηση που ταξινομείται στην κατηγορία **E3** (επαρκής αναφορά στις ιδιότητες ή στη σχέση των δύο μηχανισμών). Η πλειοψηφία των μαθητών που επιλέγει τη **β** ως απάντηση στην ερώτηση 5, αιτιολογεί την επιλογή κυρίως στη βάση εναλλακτικών αντιλήψεων (17 αιτιολογήσεις στην κατηγορία **EN5**). Παρόμοιας κατηγορίας αιτιολόγηση δίνει και η πλειοψηφία των μαθητών που επιλέγει την **α** απάντηση.

Στο διάγραμμα 7.29 που ακολουθεί, απεικονίζεται το παραγοντικό διάγραμμα των κατηγοριών των αιτιολογήσεων με τις απαντήσεις της εννοιολογικής ερώτησης 5 του ερωτηματολογίου, πριν την ακολουθία του απλού εκκρεμούς.

Όπως προκύπτει από την εγγύτητα των σημείων του παραγοντικού διαγράμματος 7.29, δε φαίνεται να υπάρχει κάποια ομάδα μαθητών η οποία να συσχετίζει συγκεκριμένα ζεύγη απαντήσεων – αιτιολογήσεων στην ερώτηση 5 του ερωτηματολογίου, πριν την εφαρμογή της διδακτικής ακολουθίας του απλού εκκρεμούς.



Διάγραμμα 7.29: Οι συσχετίσεις των κατηγοριών των αιτιολογήσεων με τις απαντήσεις στην ερώτηση 5 (Πριν)

Στον πίνακα 7.40 που ακολουθεί παρουσιάζονται οι διασταυρώσεις των κατηγοριών των αιτιολογήσεων, με τις απαντήσεις της εννοιολογικής ερώτησης 5, μετά την εφαρμογή της διδακτικής ακολουθίας.

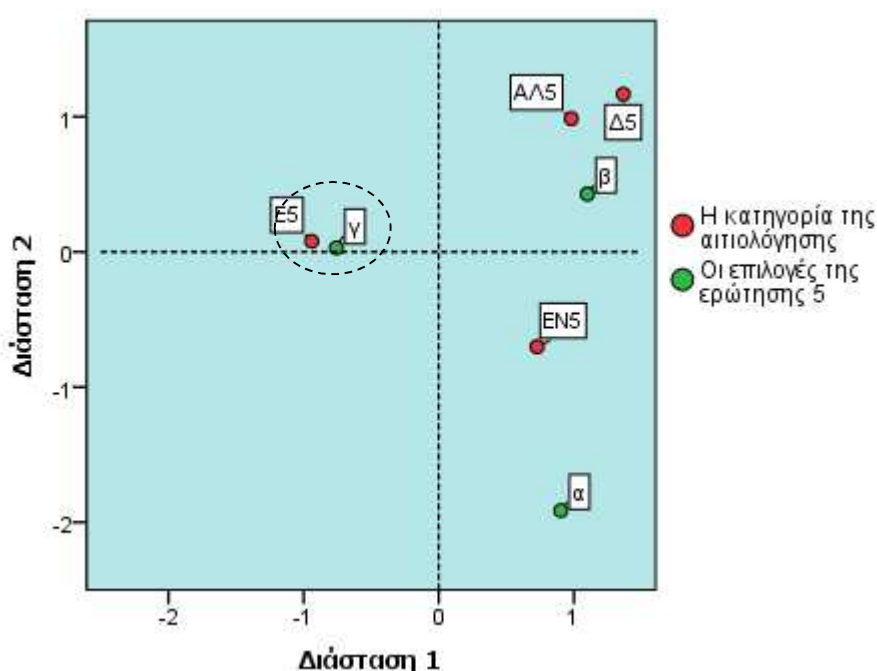
Οι κατηγορίες των αιτιολογήσεων	Οι απαντήσεις στην ερώτηση 5				Σύνολο
	α	β	γ	$\Delta\Gamma$	
E5	0	0	17	0	17
EN5	3	6	3	0	12
AL5	0	5	1	0	6
$\Delta 5$	0	1	0	0	1
Σύνολο	3	12	21	0	36

Πίνακας 7.40: Η διασταύρωση των κατηγοριών των αιτιολογήσεων με τις απαντήσεις στην ερώτηση 5 (Μετά)

Όπως διαπιστώνεται στον πίνακα 7.40, δεκαεπτά (17) είναι οι μαθητές που επιλέγουν την απάντηση γ στην ερώτηση 5 (η περίοδος του εκκρεμούς είναι ανεξάρτητη του πλάτους) και την αιτιολογούν με επαρκή εννοιολογική ή πειραματική αναφορά στη σχέση περιόδου – πλάτους (κατηγορία **E5**). Από την άλλη πλευρά, οι αιτιολογήσεις των μαθητών που επιλέγουν την απάντηση β (η περίοδος μειώνεται με

τη μείωση του πλάτους) ή την απάντηση **α** (η περίοδος αυξάνεται με τη μείωση του πλάτους), ταξινομούνται στις κατηγορίες **ΕΝ5** (εναλλακτικές αιτιολογήσεις) και **ΑΛ5** (κατά βάση φαινομενολογικές αιτιολογήσεις).

Στο διάγραμμα 7.30 που ακολουθεί, απεικονίζεται το παραγοντικό διάγραμμα των κατηγοριών των αιτιολογήσεων με τις απαντήσεις της εννοιολογικής ερώτησης 5 του ερωτηματολογίου.



Διάγραμμα 7.30: Οι συσχετίσεις των κατηγοριών των αιτιολογήσεων με τις απαντήσεις στην ερώτηση 5 (Μετά)

Όπως προκύπτει από την εγγύτητα των σημείων στο πάνω και αριστερό τεταρτημόριο του παραγοντικού διαγράμματος, μετά τη διδακτική ακολουθία του απλού εκκρεμούς και αναφορικά με τις αιτιολογήσεις των απαντήσεων στην ερώτηση 5, συγκροτείται μία ομάδα μαθητών. Η ομάδα αποτελείται από μαθητές που επιλέγουν τη **γ** απάντηση στην εννοιολογική ερώτηση 5 και την αιτιολογούν με επαρκή εννοιολογική ή πειραματική αναφορά στη σχέση περιόδου – πλάτους (κατηγορία **Ε5**).

Επομένως, είναι δυνατόν να υποστηριχθεί ότι η εφαρμογή της διδακτικής ακολουθίας του απλού εκκρεμούς φαίνεται να συμβάλλει στην εμφάνιση συνεκτικής ομάδας μαθητών που αιτιολογεί επαρκώς το ισόχρονο της κίνησης του απλού εκκρεμούς.

Ερώτηση 7: Στον πίνακα 7.41 που ακολουθεί παρουσιάζονται οι διασταυρώσεις των κατηγοριών των αιτιολογήσεων, με τις απαντήσεις της μεθοδολογικής ερώτησης 7, πριν την εφαρμογή της διδακτικής ακολουθίας.

Όπως διαπιστώνεται από τον πίνακα 7.41 πριν την εφαρμογή της διδακτικής ακολουθίας, πέντε (5) είναι οι μαθητές που επιλέγουν τη **β** απάντηση στην ερώτηση 7 (διερεύνηση της σχέσης περιόδου – πλάτους με εκκρεμή που διαφέρουν μόνο στο πλάτος της αιώρησής τους) και την αιτιολογούν με επαρκή μεθοδολογική αναφορά (κατηγορία **M7**).

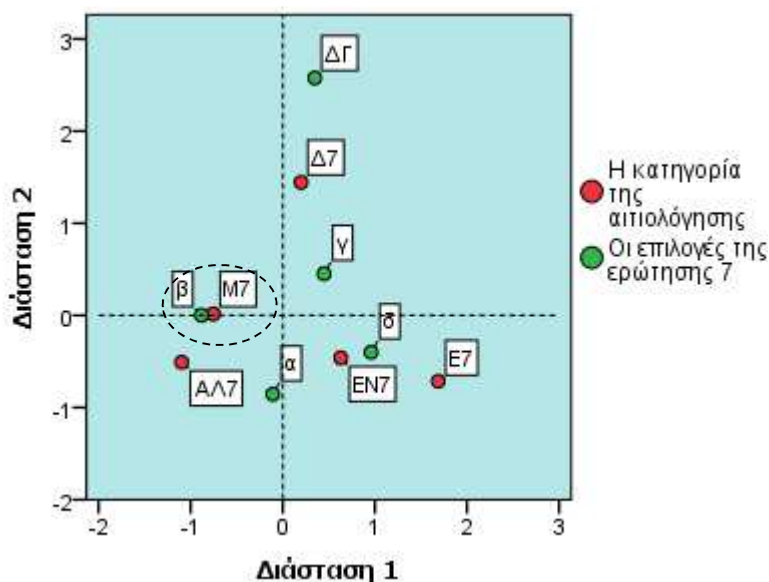
Οι κατηγορίες των αιτιολογήσεων	Οι απαντήσεις στην ερώτηση 7					
	α	β	γ	δ	ΔΓ	Σύνολο
M7	0	5	1	1	0	7
EN7	3	2	3	6	0	14
E7	0	0	0	1	0	1
ΑΛ7	2	4	0	0	0	6
Δ7	0	2	2	1	2	7
Σύνολο	5	13	6	9	2	35

Πίνακας 7.41: Η διασταύρωση των κατηγοριών των αιτιολογήσεων με τις απαντήσεις στην ερώτηση 7 (Πριν)

Στο διάγραμμα 7.31 που ακολουθεί, απεικονίζεται το παραγοντικό διάγραμμα των κατηγοριών των αιτιολογήσεων με τις απαντήσεις της μεθοδολογικής ερώτησης 7 του ερωτηματολογίου, πριν την ακολουθία του απλού εκκρεμούς.

Όπως προκύπτει από την εγγύτητα των σημείων στο πάνω και αριστερό τεταρτημόριο του παραγοντικού διαγράμματος 7.31, φαίνεται να υπάρχει μια ομάδα μαθητών, οι οποίοι προκειμένου να ελέγξουν τη σχέση της περιόδου με το πλάτος του

εκκρεμούς, επιλέγουν εκκρεμή που διαφέρουν μόνο κατά το πλάτος τους (απάντηση β) και ταυτόχρονα αιτιολογούν με μεθοδολογική επάρκεια την επιλογή τους (κατηγορία M7).



Διάγραμμα 7.31: Οι συσχετίσεις των κατηγοριών των αιτιολογήσεων με τις απαντήσεις στην ερώτηση 7 (Πριν)

Στον πίνακα 7.42 που ακολουθεί, παρουσιάζονται οι διασταυρώσεις των κατηγοριών των αιτιολογήσεων, με τις απαντήσεις της μεθοδολογικής ερώτησης 7, μετά την εφαρμογή της διδακτικής ακολουθίας του απλού εκκρεμούς.

Οι κατηγορίες των αιτιολογήσεων	Οι απαντήσεις στην ερώτηση 7					Σύνολο
	α	β	γ	δ	$\Delta\Gamma$	
M7	0	22	0	1	0	23
EN7	0	0	1	3	0	4
E7	5	0	1	1	0	7
ΑΛ7	0	1	0	0	0	1
Δ7	0	0	0	0	1	1
Σύνολο	5	23	2	5	1	36

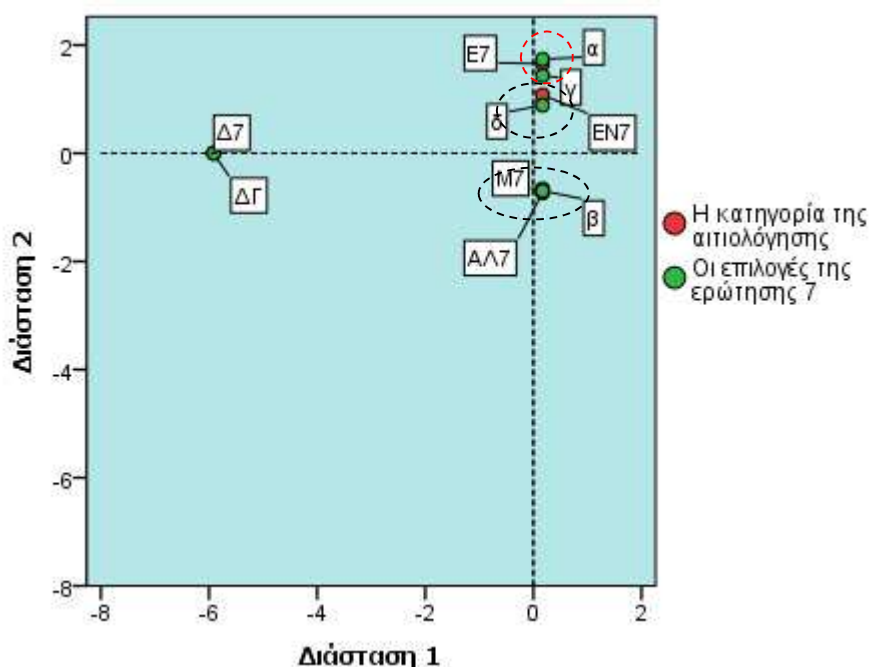
Πίνακας 7.42: Η διασταύρωση των κατηγοριών των αιτιολογήσεων με τις απαντήσεις στην ερώτηση 7 (Μετά)

Όπως διαπιστώνεται από τον πίνακα 7.42, είκοσι δύο (22) είναι οι μαθητές που επιλέγουν τη **β** απάντηση στην ερώτηση 7 (διερεύνηση της σχέσης περιόδου – πλάτους με εκκρεμή που διαφέρουν μόνο στο πλάτος της αιώρησής τους) και την αιτιολογούν με επαρκή μεθοδολογική αναφορά (κατηγορία **M7**), μετά τη διδακτική ακολουθία. Επιπλέον, οι αιτιολογήσεις των μαθητών που επιλέγουν την **α** απάντηση (διερεύνηση της σχέσης περιόδου – πλάτους με εκκρεμή που διαφέρουν μόνο στο πλάτος της αιώρησής τους) στην ερώτηση 7, κρίνονται ως εννοιολογικές (κατηγορία **E7**), παρόμοια με μία (1) της επιλογής **γ** (διερεύνηση της σχέσης περιόδου – πλάτους με εκκρεμή που διαφέρουν και στο μήκος και στο πλάτος της αιώρησής τους) και μία (1) της **δ** (χρήση όλων των εκκρεμών στη διερεύνηση της σχέσης περιόδου – πλάτους).

Τέλος, στο διάγραμμα 7.32 που ακολουθεί, απεικονίζεται το παραγοντικό διάγραμμα των κατηγοριών των αιτιολογήσεων με τις απαντήσεις της μεθοδολογικής ερώτησης 7 του ερωτηματολογίου, μετά την εφαρμογή της διδακτικής ακολουθίας.

Όπως προκύπτει από την εγγύτητα των σημείων στο παραγοντικό διάγραμμα, τρεις φαίνεται να είναι οι κύριες ομάδες που συγκροτούνται, σχετικά με τις αιτιολογήσεις των απαντήσεων στη μεθοδολογική ερώτηση 7. Η πρώτη (κάτω και δεξιό τεταρτημόριο) περιλαμβάνει μαθητές που προκειμένου να ελέγξουν τη σχέση της περιόδου με το πλάτος του εκκρεμούς, επιλέγουν εκκρεμή που διαφέρουν μόνο κατά το πλάτος τους (απάντηση **β**) και ταυτόχρονα αιτιολογούν είτε με μεθοδολογική επάρκεια την επιλογή τους (κατηγορία **M7**), είτε με διάφορες αταξινόμητες αιτιολογήσεις (κατηγορία **AA7**). Η δεύτερη ομάδα (πάνω και δεξιό τεταρτημόριο, κόκκινο χρώμα) περιλαμβάνει μαθητές που, για να ελέγξουν τη σχέση περιόδου – πλάτους, επιλέγουν εκκρεμή που διαφέρουν είτε μόνο στο μήκος τους (απάντηση **α**), είτε και στο μήκος και στο πλάτος (απάντηση **γ**) και που αιτιολογούν τη μεθοδολογικά

εσφαλμένη επιλογή τους με εννοιολογική αναφορά στην ανεξαρτησία της περιόδου από το πλάτος της αιώρησης και στην εξάρτησή της μόνο από το μήκος του (κατηγορία **E7**). Στην ύπαρξη αυτής της ομάδας έχουμε αναφερθεί και στην ανάλυση του πίνακα 7.24 και του διαγράμματος 7.10. Η τρίτη, τέλος, ομάδα (πάνω και δεξιό τεταρτημόριο) απαρτίζεται από μαθητές που, στον έλεγχο της σχέσης περιόδου – πλάτους, επιλέγουν όλα τα εκκρεμή (απάντηση **δ**) και που αιτιολογούν τη μεθοδολογικά εσφαλμένη επιλογή τους στη βάση «εναλλακτικών» μεθοδολογικών απόψεων (κατηγορία **EN7**).



Διάγραμμα 7.32: Οι συσχετίσεις των κατηγοριών των αιτιολογήσεων με τις απαντήσεις στην ερώτηση 7 (Μετά)

iii. Η συσχέτιση νοητικών παραστάσεων της εννοιολογικής και μεθοδολογικής συνιστώσας της επιστημονικής γνώσης

Η παραγοντική ανάλυση αντιστοιχιών που ακολουθεί, αφορά στην κατασκευή του παραγοντικού διαγράμματος των δευτερογενών μεταβλητών των κατηγοριών, με την τεχνική της συμμετρικής κανονικοποίησης (SN) και αποσκοπεί στη συνολική

αποτίμηση της εφαρμογής της διδακτικής ακολουθίας του απλού εκκρεμούς στους μαθητές του δείγματος.

Στον πίνακα 7.43 που ακολουθεί παρουσιάζονται οι διασταυρώσεις των συχνοτήτων των κατηγοριών των δευτερογενών μεταβλητών της εννοιολογικής ενότητας, με αυτή της μεθοδολογικής, πριν την εφαρμογή της διδακτικής ακολουθίας του απλού εκκρεμούς.

Εννοιολογικές κατηγορίες	Μεθοδολογικές κατηγορίες			
	EN	M	E	Σύνολο
EN	1	8	1	10
M	7	13	5	25
E	0	0	0	0
Σύνολο	8	21	6	35

Πίνακας 7.43: Η διασταύρωση των κατηγοριών των νοητικών παραστάσεων της εννοιολογικής και μεθοδολογικής συνιστώσας της επιστημονικής γνώσης (Πριν)

Όπως προκύπτει από τον πίνακα 7.43, δε διαπιστώνεται η ύπαρξη κάποιου μαθητή ο οποίος να εκφράζει «επιστημονικές» νοητικές παραστάσεις στην εννοιολογική ενότητα, πριν τη διδακτική ακολουθία. Παράλληλα, από τους δέκα (10) μαθητές που φαίνεται να εκφράζουν «εναλλακτικές» νοητικές παραστάσεις, οι οκτώ (8) φαίνεται να εκφράζουν «μικτές» νοητικές παραστάσεις της μεθοδολογικής συνιστώσας της επιστημονικής γνώσης, ένας (1) «επιστημονικές» και ένας (1) «εναλλακτικές». Τέλος, είκοσι πέντε (25) είναι οι μαθητές που εκφράζουν «μικτές» νοητικές παραστάσεις στην εννοιολογική ενότητα. Από αυτούς, οι πέντε (5) φαίνεται να εκφράζουν «επιστημονικές» νοητικές παραστάσεις της μεθοδολογικής συνιστώσας της επιστημονικής γνώσης, επτά (7) «εναλλακτικές» και δέκα τρεις (13) «μικτές».

Η σχεδίαση παραγοντικού διαγράμματος των δευτερογενών μεταβλητών των κατηγοριών, πριν την ακολουθία του απλού εκκρεμούς, με την τεχνική της

Συμμετρικής Κανονικοποίησης (SN), δεν μπορεί τεχνικά να πραγματοποιηθεί, καθότι οι κλάσεις των κατηγοριών των δευτερογενών μεταβλητών δεν μπορούν να συγκροτήσουν διάγραμμα τουλάχιστον 2 διαστάσεων, αφού κάποιες έχουν τιμή μηδέν. Κατά συνέπεια, μπορεί να υποστηριχθεί ότι δε διαπιστώνεται η ύπαρξη μιας κάποιας ομάδας μαθητών, πριν τη διεξαγωγή της διδακτικής ακολουθίας του απλού εκκρεμούς, στην οποία να εμφανίζεται μια οποιαδήποτε σχέση μεταξύ των εννοιολογικών και των μεθοδολογικών της νοητικών παραστάσεων.

Στον πίνακα 7.44 που ακολουθεί παρουσιάζονται οι διασταυρώσεις των συχνοτήτων των κατηγοριών των δευτερογενών μεταβλητών της εννοιολογικής ενότητας, με αυτή της μεθοδολογικής, μετά την εφαρμογή της διδακτικής ακολουθίας.

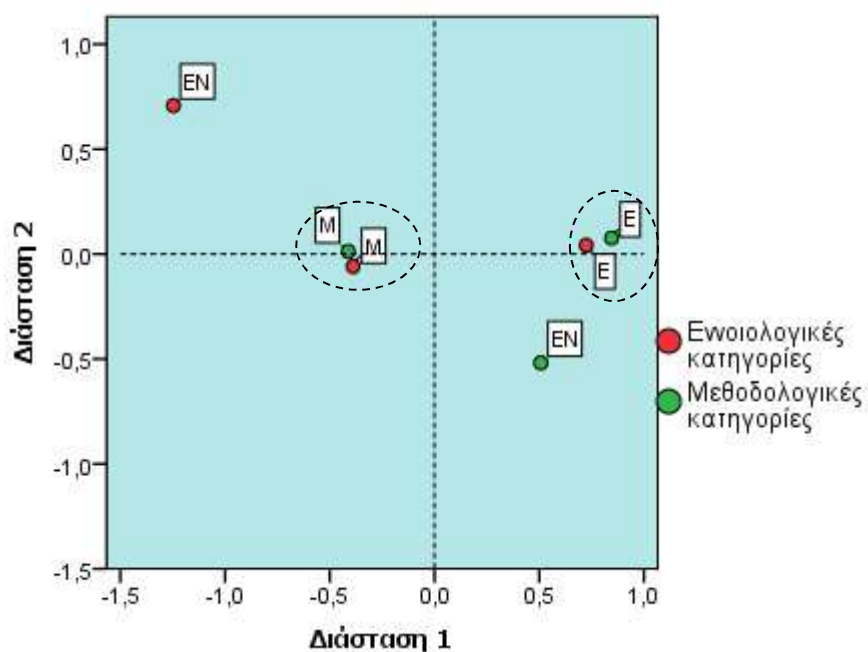
Εννοιολογικές κατηγορίες	Μεθοδολογικές κατηγορίες			
	EN	M	E	Σύνολο
EN	0	1	0	1
M	1	16	4	21
E	1	6	6	13
Σύνολο	2	23	10	35

Πίνακας 7.44: Η διασταύρωση των κατηγοριών των νοητικών παραστάσεων της εννοιολογικής και μεθοδολογικής συνιστώσας της επιστημονικής γνώσης (Μετά)

Όπως προκύπτει από τον πίνακα 7.44, ένας (1) είναι ο μαθητής ο οποίος μετά την εφαρμογή της διδακτικής ακολουθίας φαίνεται να εκφράζει «εναλλακτικές» νοητικές παραστάσεις στην εννοιολογική ενότητα. Ταυτόχρονα, ο μαθητής αυτός, εκφράζει «μικτές» νοητικές παραστάσεις στη μεθοδολογική ενότητα. Από την άλλη πλευρά, δεκατρείς (13) είναι οι μαθητές που φαίνεται να εκφράζουν «επιστημονικές» νοητικές παραστάσεις στην εννοιολογική ενότητα. Από αυτούς, στη μεθοδολογική ενότητα, οι έξι (6) φαίνεται να εκφράζουν «επιστημονικές» νοητικές παραστάσεις, ένας (1) «εναλλακτικές» και έξι (6) «μικτές». Τέλος, οι είκοσι ένας (21) μαθητές που εκφράζουν

«μικτές» νοητικές παραστάσεις, εκφράζουν στην πλειοψηφία τους (16 μαθητές) «μικτές» και στη μεθοδολογική ενότητα.

Στο διάγραμμα 7.33 που ακολουθεί απεικονίζεται το παραγοντικό διάγραμμα των κατηγοριών των αυτών των νοητικών παραστάσεων, μετά την εφαρμογή της διδακτικής ακολουθίας του απλού εκκρεμούς.



Διάγραμμα 7.33: Οι συνδέσεις των εννοιολογικών κατηγοριών με τις μεθοδολογικές (Μετά)

Όπως προκύπτει από την εγγύτητα των σημείων στο πάνω και δεξιό τεταρτημόριο του διαγράμματος 7.33, μετά την εφαρμογή της διδακτικής ακολουθίας του απλού εκκρεμούς, φαίνεται να υπάρχει μια ομάδα μαθητών που εκφράζει ταυτόχρονα «επιστημονικές» νοητικές παραστάσεις στην εννοιολογική (εννοιολογική κατηγορία E) και στη μεθοδολογική ενότητα (μεθοδολογική κατηγορία E). Επιπλέον, το παραγοντικό διάγραμμα υποδεικνύει την ύπαρξη και μιας δεύτερης ομάδας μαθητών, οι οποίοι φαίνεται να εκφράζουν «μικτές» νοητικές παραστάσεις στις δύο

ενότητες. Επομένως, μπορεί βάσιμα να υποστηριχθεί ότι η εφαρμογή της προτεινόμενης διδακτικής ακολουθίας του απλού εκκρεμούς οδηγεί στη συγκρότηση ομάδων μαθητών, των οποίων οι νοητικές παραστάσεις της εννοιολογικής και μεθοδολογικής συνιστώσας της επιστημονικής γνώσης διαμορφώνονται είτε σε απόλυτη συμφωνία με το αντίστοιχο επιστημονικό πρότυπο, είτε το προσεγγίζουν.

Συμπερασματικά, είναι δυνατόν να υποστηριχθεί ότι η εφαρμογή της διδακτικής ακολουθίας του απλού εκκρεμούς φαίνεται να συμβάλλει αφενός στην εμφάνιση μιας, πολύ μεγαλύτερης σε σχέση με την αντίστοιχη ομάδα προ διδασκαλίας, συνεκτικής ομάδας μαθητών που αιτιολογεί επαρκώς τη μεθοδολογική μελέτη της σχέσης της περιόδου του απλού εκκρεμούς με το πλάτος της αιώρησής του και αφετέρου στην εμφάνιση μιας άλλης συνεκτικής ομάδας μαθητών που αιτιολογεί επαρκώς εννοιολογικά, αλλά ανεπαρκώς μεθοδολογικά τη μεθοδολογική μελέτη της σχέσης της περιόδου του απλού εκκρεμούς με το πλάτος της αιώρησής του.

ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

Η γνωστική πρόοδος των μαθητών αποτιμάται μέσω της ανάλυσης των πολιτισμικών, εννοιολογικών και μεθοδολογικών αντιλήψεων των μαθητών του δείγματος. Η ανάλυση των ερωτήσεων του ερωτηματολογίου πραγματοποιείται σε τρία επίπεδα: (α) στο επίπεδο της ανάλυσης ανά ερώτηση, (β) στο επίπεδο ανάλυσης ανά ενότητα και (γ) στο επίπεδο συσχέτισης των νοητικών παραστάσεων. Της ανάλυσης των αιτιολογήσεων προηγείται η ταξινόμησή τους σε κατηγορίες, με βάση το περιεχόμενό τους.

Στην ανάλυση του 1^{ου} επιπέδου καταδεικνύεται η θετική συμβολή της εφαρμογής

της διδακτικής ακολουθίας του απλού εκκρεμούς στη μετακίνηση τόσο των απαντήσεων των μαθητών προς την κατεύθυνση απαντήσεων πιο συμβατών με το επιστημονικό πρότυπο, όσο και των αιτιολογήσεών τους.

Στην ανάλυση του 2^{ου} επιπέδου αποτιμάται η συνεισφορά της εφαρμογής της διδακτικής ακολουθίας του απλού εκκρεμούς στη διαμόρφωση του συνόλου των νοητικών παραστάσεων των μαθητών κάθε ενότητας. Η ανάλυση καταδεικνύει την σημαντική πρόοδο νοητικών παραστάσεων των μαθητών και στις τρεις διαστάσεις της επιστημονικής γνώσης.

Με την ανάλυση 3^{ου} επιπέδου καταδεικνύεται η θετική συμβολή της εφαρμογής της διδακτικής ακολουθίας του απλού εκκρεμούς στη συγκρότηση συνεκτικών ομάδων που συσχετίζουν με επάρκεια τις νοητικές παραστάσεις της εννοιολογικής συνιστώσας της επιστημονικής γνώσης με αυτές της μεθοδολογικής συνιστώσας. Στην ίδια ανάλυση καταγράφονται οι ομάδες μαθητών που συσχετίζουν θετικά τις απαντήσεις στο ερωτηματολόγιο με επαρκείς αιτιολογήσεις.

Κεφάλαιο 8

Συμπεράσματα

Στο παρόν κεφάλαιο γίνεται η συζήτηση των συμπερασμάτων της έρευνας, στη βάση των ερευνητικών στόχων (ενότητα 8.1 και 8.2). Επιπλέον, στα πλαίσια της συζήτησης για τις επιπτώσεις αυτών των συμπερασμάτων στη διδασκαλία και την επιμόρφωση των εκπαιδευτικών (ενότητα 8.3), παρατίθενται δεδομένα και συμπεράσματα από μια αρχική απόπειρα επιμόρφωσης εκπαιδευτικών ΠΕ04 Γυμνασίου και εφαρμογής της διδακτικής ακολουθίας του απλού εκκρεμούς σε πραγματικές συνθήκες διδασκαλίας. Τέλος, το κεφάλαιο των συμπερασμάτων καταλήγει με την ενότητα 8.4, όπου και συζητούνται οι δυνατές κατευθύνσεις επέκτασης της έρευνας.

8.1 Σχετικά με την ανάλυση και το σχεδιασμό της διδακτικής ακολουθίας

Στην παράθεση των ερευνητικών στόχων της διατριβής (ενότητα 1.3) είχε διατυπωθεί η γενική υπόθεση της δυνατότητας της συγκρότησης μιας διδακτικής ακολουθίας για το απλό εκκρεμές, η οποία θα βασίζεται σε ριζικά διαφορετικές οργανωτικές αρχές στο επίπεδο του περιεχομένου από την ισχύουσα στη Γ' τάξη του Γυμνασίου ώστε να οδηγεί τους μαθητές σε γνωστική πρόοδο και στις τρεις συνιστώσες της επιστημονικής γνώσης. Ο έλεγχος αυτής της γενικής υπόθεσης προκύπτει από την αναλυτική φάση της μελέτης. Κατά τη διάρκεια αυτής της φάσης έγινε ανάλυση του περιεχομένου της διδακτικής ακολουθίας του απλού εκκρεμούς στο επιστημολογικό επίπεδο, στο ψυχολογικό επίπεδο και στο επίπεδο των επιδιώξεων του αναλυτικού προγράμματος.

Η συσχέτιση των παραπάνω αναλύσεων απεδείχθη δυνατή και συνεπώς έδειξε ότι θα μπορούσε να οδηγήσει στη συγκρότηση μιας διδακτικής ακολουθίας για τη μελέτη του απλού εκκρεμούς, η οποία να αποτελέσει εν δυνάμει κατάλληλο

περιβάλλον για μια πραγματική ανάπτυξη νοητικών παραστάσεων των μαθητών για το απλό εκκρεμές σχετικών και με τις τρεις συνιστώσες της επιστημονικής γνώσης. Πιο συγκεκριμένα, αναδείχθηκε ένα μαθησιακό περιβάλλον που θα μπορούσε να οδηγήσει στην οικοδόμηση, στο πολιτισμικό επίπεδο της ανάδειξης του ιστορικού περιβάλλοντος εντός του οποίου κατασκευάστηκε η επιστημονική γνώση για το εκκρεμές, στο εννοιολογικό επίπεδο της έννοιας της περιόδου μέσω της έννοιας της ισόχρονης κίνησης του εκκρεμούς (Γαλιλαϊκό πλαίσιο) και στο μεθοδολογικό επίπεδο μιας υποθετικο-παραγωγικής προσέγγισης της γνώσης αυτής. Η παραπάνω γνώση διαφέρει ριζικά από τη γνώση που προσφέρεται στο υπάρχον πρόγραμμα διδασκαλίας του απλού εκκρεμούς στο Γυμνάσιο, η οποία, σύμφωνα με όλα τα ερευνητικά δεδομένα (ενότητα 4.2) δεν οδηγεί σε ουσιαστική γνωστική πρόοδο διότι το βασικό εννοιολογικό τουλάχιστον πρόβλημα των μαθητών είναι το ότι δεν έχουν κατασκευάσει ακόμη την έννοια της περιόδου (η οποία στην παραδοσιακή διδασκαλία θεωρείται δεδομένη) ώστε να προχωρήσουν στην οικοδόμηση πιο σύνθετων εννοιών στα πλαίσια της δυναμικής και ενεργειακής ανάλυσης της κίνησης του εκκρεμούς. Παράλληλα, η προτεινόμενη γνώση προσφέρει δυνατότητες που δεν υπάρχουν στην παραδοσιακή προσέγγιση ώστε (α) οι μαθητές να αντιληφθούν ότι οι έννοιες της φυσικής δεν δημιουργούνται εν κενώ, αλλά λειτουργούν σε ένα πολιτισμικό περιβάλλον (Matthews, 2000; Σέρογλου, 2006; Κολιόπουλος, 2012) και ως αποτέλεσμα μιας συγκεκριμένης μεθοδολογικής προσέγγισης, δηλαδή να οικοδομήσουν μια περισσότερο ολοκληρωμένη γνώση για το απλό εκκρεμές και (β) να τους δοθεί η δυνατότητα να συσχετίσουν τις διαφορετικές πτυχές της επιστημονικής γνώσης, αν υποθέσουμε ότι αυτή η συσχέτιση αποτελεί μέρος αυτού που ονομάζουμε ουσιαστική οικοδόμηση της γνώσης (Gil Perez & Carascosa, 1985).

8.2 Σχετικά με εφαρμογή και την αξιολόγηση της διδακτικής ακολουθίας

Η δεύτερη γενική υπόθεση που παρατίθεται στους ερευνητικούς στόχους της διατριβής (ενότητα 1.3), αφορά στην αποτελεσματική εφαρμογή της διδακτικής ακολουθίας, με τρόπο ώστε να επιδρά σημαντικά στη διαμόρφωση των νοητικών παραστάσεων των μαθητών και να οδηγεί σε ουσιαστική μάθηση. Ο έλεγχος της παραπάνω υπόθεσης προκύπτει από τη φάση εφαρμογής και αξιολόγησης της διδακτικής ακολουθίας, μετά τη σχεδίαση των διδακτικών στόχων και του περιεχομένου της, στη βάση των οργανωτικών αρχών δόμησης που περιγράψαμε στην ενότητα 8.1. Από αυτή τη φάση της μελέτης προκύπτουν τα εξής δύο γενικά συμπεράσματα:

- ένας σημαντικός αριθμός του δείγματος μαθητών που έλαβαν μέρος στην συγκεκριμένη διδακτική παρέμβαση φαίνεται να μετακινείται από τις αρχικές εναλλακτικές αντιλήψεις για τη κίνηση του απλού εκκρεμούς (ενότητες 7.1 & 7.2) και να οικοδομεί νοητικές παραστάσεις συμβατές με την προτεινόμενη σχολική γνώση η οποία βασίστηκε στο Γαλιλαϊκό πρότυπο κίνησης του απλού εκκρεμούς, τόσο στο επίπεδο της εννοιολογικής συνιστώσας (ισόχρονη κίνηση του εκκρεμούς, εξάρτηση της περιόδου του εκκρεμούς από το μήκος νήματος και τη βαρύτητα, ανεξαρτησία της περιόδου του εκκρεμούς από το βάρος του ταλαντούμενου σώματος), όσο και στο επίπεδο της μεθοδολογικής συνιστώσας (ανάδειξη και έλεγχος μεταβλητών που επηρεάζουν την περίοδο του εκκρεμούς) της επιστημονικής γνώσης. Παράλληλα, σημαντικός αριθμός μαθητών του δείγματος αρχίζει να αντιλαμβάνεται ότι η γνώση για το απλό εκκρεμές διαθέτει και πολιτισμική συνιστώσα εφ' όσον σχετίζεται με καθημερινά και τεχνολογικά προβλήματα, εν προκειμένω με τις ιστορικές συνθήκες κατασκευής ενός μηχανισμού που μετρά με ακρίβεια το χρόνο. Το συμπέρασμα αυτό

προκύπτει από τα αποτελέσματα της ανάλυσης των απαντήσεων των μαθητών σε σχετικό ερωτηματολόγιο τόσο ανά ερώτηση (ενότητα 7.1), όσο και ανά κατηγορία ερωτήσεων (ενότητα 7.2). Οι αιτίες αυτής της μετακίνησης δεν είναι δυνατόν να προκύψουν από τη συγκεκριμένη ανάλυση. Απαιτείται άλλου τύπου ποιοτική ανάλυση δεδομένων (διάλογοι μαθητών, μαθητών – ερευνητή) τα οποία πρέπει να ληφθούν κατά τη διάρκεια της διδασκαλίας. Είναι όμως δυνατόν να διατυπωθούν δύο τουλάχιστον βάσιμες υποθέσεις σχετικά με αυτές. Η πρώτη αφορά στον συγκεκριμένο σχεδιασμό της διδακτικής ακολουθίας ο οποίος βασίζεται στην καινοτομική και εποικοδομητική αντίληψη για τη διδασκαλία των φυσικών επιστημών. Η μικτή αυτή αντίληψη φαίνεται να οδηγεί στο σχεδιασμό εκπαιδευτικού υλικού που (α) προκαλεί το ενδιαφέρον των μαθητών (ιστορική προσέγγιση της μελέτης του απλού εκκρεμούς σε αντίθεση με την περιχαρακωμένη στο εσωτερικό πεδίο - Κουλαϊδής κ.ά., 2002 - προσέγγιση της παραδοσιακής διδασκαλίας) και (β) εισάγει επιστημολογικά έγκυρη σχολική γνώση μέσω δραστηριοτήτων – προβλημάτων που αντιμετωπίζουν οι μαθητές η οποία όμως είναι συμβατή με τις γνωστικές τους δυνατότητες (ημι-ποσοτική προσέγγιση της ισόχρονης κίνησης του εκκρεμούς – Κολιόπουλος, 2006 - σε αντίθεση με τη μαθηματικοποιημένη δυναμική και ενεργειακή ανάλυση που επιχειρείται στην παραδοσιακή προσέγγιση). Η δεύτερη υπόθεση αναφέρεται στο τρόπο χειρισμού του περιεχομένου της διδακτικής ακολουθίας στην διδασκαλία. Η συγκεκριμένη εποικοδομητική αντίληψη (ενότητα 4.1.iii) χρησιμοποιεί πλαίσια και στρατηγικές χρήσης των νοητικών παραστάσεων των μαθητών που οδηγούν στο να δημιουργηθούν συνθήκες κοινωνικο-γνωστικής αλληλεπίδρασης (Ραβάνης, 2003a & 2003b) οι οποίες με τη σειρά τους οδηγούν σε εν δυνάμει γνωστικές αλλαγές, όπως αυτές που παρατηρήθηκαν στην παρούσα έρευνα. Απομένει οι δύο αυτές γενικές αιτιώδεις

υποθέσεις να μετασχηματισθούν σε λειτουργικές υποθέσεις ώστε να μπορεί να ελεγχθεί, με κατάλληλες ποιοτικές μεθοδολογικές προσεγγίσεις (πχ, παρατήρηση ομάδας), πως και σε ποιο βαθμό οι συγκεκριμένες διδακτικές δραστηριότητες συμβάλλουν στη συγκεκριμένη γνωστική πρόοδο των μαθητών.

- μετά από την εφαρμογή της προτεινόμενης διδακτικής ακολουθίας φαίνεται να δημιουργήθηκαν μικρές ομάδες μαθητών οι οποίες οικοδόμησαν μια συνεκτική γνώση για την κίνηση του απλού εκκρεμούς. Οικοδόμησαν δηλαδή συγχρόνως επαρκείς αντιλήψεις για την εννοιολογική και μεθοδολογική συνιστώσα της σχολικής επιστημονικής γνώσης, για όλα τα ζεύγη ερωτημάτων του ερωτηματολογίου και για τις αντίστοιχες κατηγορίες ερωτήσεων (ενότητες 7.3.i & 7.3.iii). Θεωρούμε ότι πρόκειται για πρωτότυπο εύρημα της έρευνάς μας αφού υπάρχουν μεν στη βιβλιογραφία έρευνες που ασχολούνται και με τη μεθοδολογική συνιστώσα της επιστημονικής γνώσης, αλλά ελάχιστες που να επιχειρηματολογούν υπέρ και κυρίως να ελέγχουν τη σύνδεση της εννοιολογικής με την μεθοδολογική συνιστώσα (Gil Perez & Carascosa, 1985). Το χαρακτηριστικό αυτό της γνωστικής προόδου των μαθητών του δείγματος της έρευνας σχετίζεται ασφαλώς με την καινοτομική αντίληψη της διδασκαλίας των φυσικών επιστημών σύμφωνα με την οποία απαιτείται ισορροπία διδακτικών στόχων σχετικών με τις τρεις διαστάσεις της επιστημονικής γνώσης (Κολιόπουλος, 2006). Περαιτέρω έρευνα βασισμένη σε ποιοτικά στοιχεία απαιτείται για να ελεγχθεί πως επιτυγχάνεται η συνεκτική αυτή γνώση.

8.3 Σχετικά με τις επιπτώσεις της έρευνας στη διδασκαλία και την επιμόρφωση των εκπαιδευτικών

Ένα από τα παράπλευρα κέρδη των ερευνών *εφικτότητας*, όπως ονομάζονται οι

έρευνες του τύπου που διενεργήσαμε (Κολιόπουλος, 1997), είναι η δυνατότητα εισαγωγής, για άμεση χρήση ή με ελαφρές τροποποιήσεις, του εκπαιδευτικού υλικού που κατασκευάζεται για καθαρά ερευνητικούς λόγους. Αυτό που δεν είναι γνωστό είναι αν το εκπαιδευτικό υλικό που παράγεται σε συνθήκες έρευνας είναι δυνατόν να λειτουργήσει αποτελεσματικά και σε συνθήκες πραγματικής διδασκαλίας.

Όπως προκύπτει από δύο μικρής έκτασης έρευνες που πραγματοποιήσαμε, η προτεινόμενη διδακτική παρέμβαση μπορεί να εφαρμοστεί άμεσα τόσο στη διδασκαλία του απλού εκκρεμούς στο Γυμνάσιο, όσο και στην επιμόρφωση των εκπαιδευτικών στη χρήση ιστορικού υλικού στη διδασκαλία (Kanderakis et. al, 2009; Seroglou et. al, 2011). Η πρώτη έρευνα αφορά στη διάδοση της προτεινόμενης διδακτικής ακολουθίας του απλού εκκρεμούς και στην εφαρμογή της, σε πραγματικές συνθήκες διδασκαλίας, από τρεις εκπαιδευτικούς τριών Γυμνασίων της περιφέρειας Δυτικής Αττικής. Σε αυτή την έρευνα συμμετείχαν 63 συνολικά μαθητές, οι οποίοι αξιολογήθηκαν με τον ίδιο τρόπο και με το ίδιο ερωτηματολόγιο, όπως και οι μαθητές της πειραματικής εφαρμογής. Επιπλέον, σε αυτούς τους μαθητές, μετά την εφαρμογή του προγράμματος, δόθηκε ερωτηματολόγιο το οποίο στόχευε στην αποτίμηση του ενδιαφέροντος των μαθητών για συγκεκριμένα στοιχεία της διδακτικής ακολουθίας. Η έρευνα επιβεβαίωσε την γνωστική πρόοδο των μαθητών και στις τρεις συνιστώσες της επιστημονικής γνώσης για το απλό εκκρεμές. Όσον αφορά στο ενδιαφέρον των μαθητών, η έρευνα έδειξε ότι οι μαθητές φαίνεται να προτιμούν παρόμοιες διδακτικές παρεμβάσεις αντί του παραδοσιακού προγράμματος, καθότι τις βρίσκουν πιο ενδιαφέρουσες και περισσότερο κατανοητές (Koliopoulos, Dosis Kanderakis, 2010).

Η δεύτερη έρευνα σχετίζεται με τις διαδικασίες επιμόρφωσης των τριών εκπαιδευτικών που εφάρμοσαν το προτεινόμενο πρόγραμμα. Αρχικά, οι τρεις

εκπαιδευτικοί συμμετείχαν σε παρουσίαση των στόχων της διδακτικής ακολουθίας του απλού εκκρεμούς και αναλυτική συζήτηση των δραστηριοτήτων και των λεπτομερειών εφαρμογής του. Στη συνέχεια και μετά την εφαρμογή της παρέμβασης, οι τρεις εκπαιδευτικοί συμμετείχαν σε νέα συζήτηση αποτίμησης της εμπειρίας τους από την εφαρμογή. Τους ζητήθηκε η αξιολόγηση (α) της επιμορφωτικής διεργασίας που προηγήθηκε της εφαρμογής, (β) του διδακτικού υλικού το οποίο χρησιμοποίησαν στη διδασκαλία και (γ) της διδακτικής ακολουθίας στο σύνολό της. Οι εκπαιδευτικοί βρήκαν ικανοποιητική και χρήσιμη την επιμορφωτική διεργασία, αλλά αντιμετώπισαν δυσκολίες στη χρήση του ιστορικού υλικού, τις οποίες αντιμετώπισαν με την αναζήτηση επιπλέον σχετικού ιστορικού υλικού, καθώς και επιπλέον πληροφοριών για τη λειτουργία του ρολογιού – εκκρεμούς. Εκτίμησαν, επίσης, ότι η συμμετοχή τους στην εφαρμογή της παρέμβασης επηρέασε θετικά τη στάση τους σχετικά με την εισαγωγή στοιχείων Ιστορίας στη διδασκαλία, επειδή η συγκεκριμένη διδακτική σειρά προκάλεσε το ζωνρό ενδιαφέρον και την ενεργητική συμμετοχή των μαθητών στη διδασκαλία. Αναφορικά με το διδακτικό υλικό της ακολουθίας, οι εκπαιδευτικοί το χαρακτήρισαν εύκολο στη χρήση, χρήσιμο και ενδιαφέρον για τους ίδιους και τους μαθητές. Από την άλλη πλευρά, εντόπισαν δυσκολίες στο χειρισμό μέρους του υλικού, κυρίως στη διαδικασία πρόκλησης και διαχείρισης διαλόγων με τους μαθητές, κάτι που έχει επισημανθεί και διεθνώς (Hottecke & Silva, 2010). Τέλος, οι εκπαιδευτικοί χαρακτήρισαν την προτεινόμενη διδακτική ακολουθία ως κατάλληλη για τη διδασκαλία του απλού εκκρεμούς, αλλά διατύπωσαν αμφιβολίες ως προς την επίδρασή της στη γνωστική πρόοδο των μαθητών, στα πλαίσια της παραδοσιακής αξιολόγησης (Kanderakis, Dosis & Koliopoulos, 2011).

8.4 Σχετικά με τους περιορισμούς και τις δυνατές κατευθύνσεις της έρευνας

Η πειραματική εφαρμογή της έρευνας έδειξε την καταλληλότητα τόσο του μοντέλου ανάλυσης και σχεδιασμού της διδακτικής ακολουθίας του απλού εκκρεμούς, όσο και του περιεχομένου της. Η έρευνα, επομένως, εκτός της διεύρυνσης των εσωτερικών στόχων όπως η συστηματική διερεύνηση της σχέσης διδακτικών δραστηριοτήτων και γνωστικής προόδου μαθητών (ενότητα 8.2), θα μπορούσε να επεκταθεί και προς (α) το επίπεδο της διδακτικής διαδικασίας και (β) το επίπεδο της ανάλυσης και του σχεδιασμού μιας νέας διδακτικής ακολουθίας.

Ως προς το πρώτο επίπεδο επέκτασης, προτείνεται η ευρεία εφαρμογή της διδακτικής ακολουθίας σε πραγματικές συνθήκες διδασκαλίας, σε όσο το δυνατόν περισσότερα Γυμνάσια με διαφορετικό κοινωνικό προφίλ, έτσι ώστε να διερευνηθούν οι προϋποθέσεις άμεσης εφαρμογής του περιεχομένου της. Επιπλέον, προτείνεται η ανάλυση των αντιλήψεων των εκπαιδευτικών που θα εφαρμόσουν το προτεινόμενο πρόγραμμα, σχετικά με τις δυσκολίες χρήσης των διδακτικών υλικών της ακολουθίας (ιστορικά κείμενα, προσομοίωση κλπ), καθώς και τις πιθανές επιπτώσεις στη διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών ακολουθιών με παρόμοια δομικά χαρακτηριστικά (Kanderakis, Dosis & Koliopoulos, 2011).

Ως προς το δεύτερο επίπεδο επέκτασης, προτείνεται η επέκταση της έρευνας στην ανάλυση και το σχεδιασμό μιας διδακτικής ακολουθίας του απλού εκκρεμούς για την εκπαιδευτική βαθμίδα του Λυκείου, όπου επίσης προβλέπεται από το αναλυτικό πρόγραμμα η διδασκαλία του απλού εκκρεμούς. Θα μπορούσε να διερευνηθεί για παράδειγμα η δυνατότητα εισαγωγής ιστορικών κειμένων του Galileo και του Huygens σχετικά με την ποσοτική συνιστώσα της ισόχρονης κίνησης του εκκρεμούς, καθώς και της αντίστοιχης δυνατότητας γνωστικής προόδου των μαθητών και στο ποσοτικό /

μαθηματικό επίπεδο της μελέτης της κίνησης του απλού εκκρεμούς στα πλαίσια της συστηματικής ανάπτυξης δεξιοτήτων χειρισμού και μέτρησης μεταβλητών (Tiberghien et al, 2001) που υπεισέρχονται στην εργαστηριακή μελέτη της κίνησης του απλού εκκρεμούς.

Βιβλιογραφία

- Andreou, C. & Raftopoulos, A. (2010). Lessons from the History of the Concept of the Ray for Teaching Geometrical Optics. *Science & Education*, DOI: 10.1007/s11191-010-9302-7
- Αντωνίου, Ν. ; Δημητριάδης, Π. ; Καμπούρης, Κ. ; Παπαμιχάλης, Κ. & Παπατσιμίπα, Λ. (2008). *Φυσική γ' γυμνασίου*. Αθήνα: ΟΕΒΔ
- Αντωνίου, Ν. ; Δημητριάδης, Π. ; Καμπούρης, Κ. ; Παπαμιχάλης, Κ. & Παπατσιμίπα, Λ. (2009). *Φυσική γ' γυμνασίου Εργαστηριακός οδηγός*. Αθήνα: ΟΕΒΔ
- Αποστόλου, Α & Κουλαϊδής, Β. (2008). Συσχετίσεις ανάμεσα σε φιλοσοφικές και παιδαγωγικές αντιλήψεις εκπαιδευτικών Φυσικών Επιστημών. Στο Κουλαϊδής, Β., Απόστολου, Α. & Καμπουράκης, Κ.(επιμ.), *Η φύση των επιστημών Διδακτικές προσεγγίσεις*, Βάρη: Child services, 99 - 126
- Anraamidou L. & Osborne J. (2009). The role of narrative in communicating science. *International Journal of Science Education*, 31(12), 1683-1707
- Βιτωράτος, Ε. & Σακκόπουλος, Σ. (2001). Ο Ρόλος της Ιστορικής προσέγγισης και της Φιλοσοφίας στο ξεπέρασμα κάποιων συγκεκριμένων δυσκολιών στη διδασκαλία της Φυσικής. Πρακτικά Συμποσίου, *Η συμβολή της Ιστορίας και της Φιλοσοφίας των Φυσικών Επιστημών στη Διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών*, Θεσσαλονίκη: Χριστοδουλίδη, 85-94
- Bachelard, G. (1993). Η μόρφωση του επιστημονικού πνεύματος. Το επιστημολογικό εμπόδιο. Στο Γ. Κουζέλης (επιμ), *Η ιστορία των επιστημών. Κείμενα*, Αθήνα: Νήσος, 324-384
- Bartholomew, D., Steele, F., Moustaki, I.& Galbraith, J.(2007). *Ανάλυση πολυμεταβλητών δεδομένων για κοινωνικές επιστήμες*. Αθήνα: Επίκεντρο
- Bell, T.H. & Bell, C. (1963). *The riddle of time*. New York: Viking Press
- Bond, G.T. (2002). Piaget and the Pendulum. In Matthews M.R. (Ed.), *International Pendulum Project, Conferences Papers*, Sydney: The University of New South Wales, v.1, 121-129.
- Boulos, P. (2005). Newton's path to universal gravitation: the role of the pendulum. In Matthews, M., Gauld, C. & Stinner, A.(ed), *The pendulum*. The Netherlands: Springer, 151-169

- Burton, E. (1992). *The history of clocks and watches*. London: Little, Brown & Co
- Butterfield, H. (1988). *Η καταγωγή της σύγχρονης επιστήμης*. Αθήνα: Μορφωτικό ίδρυμα Εθνικής Τραπέζης
- Buty, C., Tiberghien, A. & Marechal, J. (2004). Learning hypotheses and an associated tool to design and to analyze teaching- learning sequences, *International Journal of Science Education*, 26(5), 579-604
- Canguilhem, G. (1993). Η ιστορία των επιστημών στο επιστημολογικό έργο του Gaston Bachelard. Στο Γ. Κουζέλης (επιμ), *Η ιστορία των επιστημών. Κείμενα*, Αθήνα: Νήσος, 385 - 401
- Chalmers, A.F. (2000). *Τι είναι αυτό που λέμε επιστήμη;*. Ηράκλειο: Πανεπιστημιακές εκδόσεις Κρήτης
- Γκούσκου, Ε. (2013). Δυνατότητες εκπαιδευτικής αξιοποίησης εκ μέρους της τυπικής εκπαίδευσης του Μουσείου Φυσικής Ιστορίας α΄ γενιάς. Η επίδραση εκπαιδευτικών δραστηριοτήτων που λαμβάνουν χώρα στο Μουσείο Ζωολογίας του Πανεπιστημίου Πατρών στην οικοδόμηση της έννοιας της ταξινόμησης από παιδιά προσχολικής ηλικίας. Διδακτορική διατριβή στο τμήμα Νηπιαγωγών του Πανεπιστημίου Πατρών
- CLIS Project. (1987). *Approaches to teaching energy*. Leeds: University of Leeds
- Clough, M., (2011). The Story Behind the Science: Bringing Science and Scientists to Life in Post-Secondary Science Education. *Science & Education*, 20(7-8),701-717
- Cohen, L. & Manion, L. (1994). *Μεθοδολογία εκπαιδευτικής έρευνας*. Αθήνα: Μεταίχμιο
- Crombie, A.C. (1994). *Styles of Scientific Thinking in the European Tradition*. London: The Hambleton
- Cwudkova, L. & Musilova, J. (2000). The Pendulum: A Stumbling Block of Secondary School Mechanics, *Physics Education*, 35, 6, 428-435
- Δαφέρμος, Β. (2005). *Κοινωνική στατιστική με το SPSS*. Θεσσαλονίκη: Ζήτη
- Δελέγκος, Ν. (2012). *Η οικοδόμηση της έννοιας «ενέργεια» και της κοινωνικής χρήσης της από μαθητές Ε΄ Δημοτικού του Ελληνικού σχολείου*. Διδακτορική διατριβή στο τμήμα Νηπιαγωγών του Πανεπιστημίου Πατρών

- Dedes, C. & Ravanis, K. (2009). Teaching Image Formation by Extended Light Sources: The Use of a Model Derived from the History of Science. *Research in Science Education*, 39(1), 57-73.
- Doise, W. & Mugny, G. (1987). *Η Κοινωνική Ανάπτυξη της Νοημοσύνης*. Αθήνα: Πατάκης
- Dossis, S. & Koliopoulos, D. (2005). The problem of timekeeping with the help of the simple pendulum: An Empirical Study of 14-15-year-old Greek School Students'. In M. Matthews (Ed.), *2nd International Pendulum Project*. Sydney: University of New South Wales, 65-78
- Dossis, S. & Koliopoulos, D. (2007). Comment les élèves du collège conçoivent le mouvement du pendule : une recherche empirique. *Skholê*, vol. hors-série, no. 1, 41-51
- Δόσης, Σ. (2006). *Οι νοητικές παραστάσεις των μαθητών Γ' Γυμνασίου για το απλό εκκρεμές και η εξέλιξή τους στα πλαίσια ενός καινοτομικού προγράμματος διδασκαλίας*, Μεταπτυχιακή εργασία στο τμήμα Νηπιαγωγών του Πανεπιστημίου Πατρών
- Δόσης, Σ.; Πετράκη, Δ. & Κολιόπουλος, Δ. (2006). Οι ιδέες των μαθητών για την μέτρηση του χρόνου με τη χρήση του εκκρεμούς. Στο Σταυρίδου, Ε., Χρηστίδου, Β., Καραγκούνη, Φ. & Γεωργούσης Δ. (επιμ), *Διδακτική των Φυσικών Επιστημών: Μέθοδοι και Τεχνολογίες μάθησης*. Βόλος: Γρηγόρη, 49
- Θεοδοσίου, Σ. & Δανέζης, Μ. (1996). *Μετρώντας τον άχρονο χρόνο*. Αθήνα: Δίαυλος.
- Drake, S. (1990). The laws of pendulum and fall, In S. Drake (Ed.), *Galileo: Pioneer Scientist*. Toronto: University of Toronto Press
- Drake, S. (1996). *Galileo at work*. New York: Dover Publications
- Driver, R. & Oldham, V. (1986). The constructivist approach to curriculum development in science. *Studies in Science Education*, vol 13, pp. 105-122
- Driver, R., Squires, A., Rushworth, P. & Wood-Robinson, V. (1998). *Οικοδομώντας τις Έννοιες των Φυσικών Επιστημών. Μια Παγκόσμια Σύνοψη των Ιδεών των Μαθητών*. Αθήνα: Τυπωθήτω
- Edwardes, E. (1977). *The story of the pendulum clock*, Altrincham: John Sherratt &

Son

- Emmerson, A. (2005). Things are seldom what they seem -Christiaan Huygens, the pendulum and the cycloid. In M. Matthews (Ed.), *2nd International Pendulum Project*. Sydney: University of New South Wales, 79-130
- Fild, A. (2005). *Discovering Statistics Using SPSS*. London: SAGE Publications
- Galili, I. & Hazan, A. (2000). The Influence of a Historically Oriented Course on Students' Content Knowledge in Optics Evaluated by Means of Facets - Schemes Analysis. *American Journal of Physics* 68(7), S3-15.
- Galili, I. & Sela, D. (2002). Pendulum activities in the Physics curriculum: Used and missed opportunities. In Matthews M.R. (Ed.), *International Pendulum Project, Conferences Papers*. Sydney: The University of New South Wales, v.2, 189-203
- Gauld, C. (2005). Pendulums in the Physics Education Literature: A bibliography. In Matthews, M., Gauld, C. & Stinner, A. (ed). *The pendulum*. The Netherlands: Springer, 505 - 526
- Gil Perez, D. & Carrascosa, J. (1985). Science learning as a conceptual and methodological change. *European Journal of Science Education*, 7(3), 231-236
- Haladyna, T. & Shaughnessy, J. (1982). Attitudes toward Science: A quantitative Synthesis, *Science Education*, 66(4), 547-563
- Heilbron J. (2002). History in Science Education, with Cautionary Tales about the Agreement of Measurement and Theory. *Science & Education*, 11(4), 321
- Henke A., Höttecke D. & Riess F. (2009). Case Studies for Teaching and Learning with History and Philosophy of Science: Exemplary Results of the HIPST Project in Germany. Paper presented at the *Tenth International History, Philosophy and Science Teaching Conference*, University of Notre Dame, South Bend, USA.
- Holton, G. (2003). The Project Physics Course, then and now. *Science & Education*, 12, 779-786
- Hottecke, D. & Silva, C. (2010). Why Implementing History and Philosophy in School Science Education is a Challenge: An Analysis of Obstacles. *Science*

- & *Education*, 20, (3-4), 293-316.
- Howitt, D. & Cramer, D. (2011). *Introduction to SPSS Statistics in Psychology*.
Edinburgh Gate: Pearson Education Limited
- Il-Ho Yang, Yong-Ju Kwon & Jin-Woo Jeong (2002). Effects of Students' Prior Knowledge on Scientific Reasoning in Solving Pendulum Task. In Matthews M.R. (Ed.), *International Pendulum Project, Conferences Papers*, v.1, 163-175, Sydney: The University of New South Wales
- Inhelder, B. & Piaget, J. (1958). *The growth of logical thinking from childhood to adolescence*, London: Routledge and Kegan Paul
- Irwin, A. R. (2000). Historical case studies: Teaching the nature of science in context. *Science Education*, 84(1), 5–26
- Jimoyiannis, A & Komis, V. (2001). Computer simulation in physics teaching and learning: a case study on students' understanding of trajectory motion. *Computers & Education*, 36, 183 – 204
- Kanderakis, N., Koliopoulos, D., Dosis, S. & Paraskevopoulou, E., (2009). *Implementing HPS teaching sequences: a case study*, Nordic Symposium on Philosophy and History of Science in Science Education, http://per.physics.helsinki.fi/Nordic/programme_nordic.htm
- Kanderakis, N, Dosis, S. & Koliopoulos, D. (2011). Teachers' conceptions about the implementation of a hps teaching sequence concerning the movement of a simple pendulum. In F. Seroglou, V. Koulountzos & A. Siatras (Eds.) *Proceedings of the 11th International IHPST and 6th Greek History, Philosophy and Science Teaching Joint Conference 'Science and Culture: Promise, Challenge and Demand*, 687-696, Thessaloniki, Epikentro
- Kariotoglou, P., Psillos, D. & Tselfes, V. (2003). Modelling the Evolution of Teaching-Learning Sequences: From Discovery to Constructivism. In Psillos, D. et al (Eds), *Science Education Research in the Knowledge-Based Society*, Kluwer Academic Publishers, 259-268
- Καριώτογλου, Π. & Κολιόπουλος, Δ. (1993). Οι ανακαλυπτικές επιδείξεις και η εφαρμογή τους στο γυμνάσιο. Στο Κολιόπουλος, Δ. (επιμ.), *Η πειραματική διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών στην Ελλάδα*. Αθήνα: Γ.Α. Πνευματικού,

- Καριώτογλου, Π. (2006). *Παιδαγωγική γνώση περιεχομένου Φυσικών Επιστημών*. Θεσσαλονίκη: Γράφημα
- Καριώτογλου, Π., Κολιόπουλος, Δ. & Ψύλλος, Δ. (1988). Μια προσέγγιση στην εφαρμογή της πειραματικής διδασκαλίας στο γυμνάσιο. *Σύγχρονη εκπαίδευση*. 39. 90-96
- Καριώτογλου, Π., Κολιόπουλος, Δ. & Ψύλλος, Δ. (1993). *Το κυκλικό εργαστήριο στη Β' Γυμνασίου – Ηλεκτρομαγνητισμός*. Αθήνα: Γ.Α. Πνευματικού
- Κόκκοτας, Π. (1998). *Σύγχρονες προσεγγίσεις στη διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών*. Αθήνα
- Κόκκοτας, Π. (2003). *Διδακτική των Φυσικών Επιστημών*. Αθήνα: Γρηγόρη
- Κόκκοτας, Π., Βλάχος, Γ. & Καρανίκας, Γ. (1995). Διδακτικές στρατηγικές για εννοιολογική αλλαγή στις φυσικές επιστήμες. Στο Η. Ματσαγγούρα, *Η εξέλιξη της διδακτικής. Επιστημολογική θεώρηση*. Αθήνα: Gutenberg, 491 - 532
- Klopfer, L. E., & Cooley, W. W. (1963). The history of science cases for high schools in the development of student understanding of science and scientists. *Journal of Research in Science Teaching*, 1(1), 33–47.
- Koestler, A. (1979). *Οι υπνοβάτες*, Αθήνα: Χατζηνικολή
- Koliopoulos, D. & Constantinou, C. (2005). The Pendulum as Presented in School Science Textbooks of Greece and Cyprus, In Matthews, M., Gauld, C. & Stinner, A. (ed). *The pendulum*. The Netherlands: Springer, 449-463
- Koliopoulos, D., Dosis, S & Kanderakis, N. (2010). *The attitudes of students toward the introduction of case histories inspired from the History of Science in the teaching of Science*,
<http://www.hipst.uni-hamburg.de/archive%20of%20papers.html>
- Koliopoulos, D., Dosis, S. & Stamoulis, E. (2007). The use of history of science texts in teaching science: Two cases of an innovative, constructivist approach. *The Science Education Review*, vol. 6, no. 2, pp. 44-56.

- Κολιόπουλος, Δ. & Ραβάνης, Κ. (2001). Η συγκρότηση αναλυτικών προγραμμάτων για τη διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών: Από τον εμπειρισμό στη θεωρία των αναλυτικών προγραμμάτων και τη Διδακτική των Φυσικών Επιστημών. Στο Π.Κόκκοτα & Ι. Βλάχου (επιμ.), *Η διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών στις αρχές του 21ου αιώνα. Προβλήματα και προοπτικές*. Αθήνα: Γρηγόρη, 67-76
- Κολιόπουλος, Δ. (1997). *Επιστημολογικές και διδακτικές διαστάσεις των διαδικασιών συγκρότησης αναλυτικού προγράμματος :η περίπτωση του διδακτικού μετασχηματισμού και της μάθησης της έννοιας της ενέργειας*. Διδακτορική διατριβή στο τμήμα Νηπιαγωγών του Πανεπιστημίου Πατρών
- Κολιόπουλος, Δ. (2001). Σχεδιασμός διδακτικού υλικού για την έννοια της ενέργειας. Στο Κουλαϊδής, Β.(Επιμ.), *Διδακτική των Φυσικών Επιστημών, τ. Β.*, Πάτρα: Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο, 367-410
- Κολιόπουλος, Δ. (2003). Το απλό εκκρεμές στα σχολικά εγχειρίδια Φυσικών Επιστημών. *Φυσικός Κόσμος*, 12 (171), 56-64
- Κολιόπουλος, Δ. (2006). *Θέματα διδακτικής Φυσικών Επιστημών*. Αθήνα: Μεταίχμιο
- Κολιόπουλος, Δ. (2012). Εισαγωγή της Ιστορίας και Φιλοσοφίας των Φυσικών Επιστημών στο πρόγραμμα σπουδών των Φυσικών Επιστημών: θεωρητικές αφηρητές και διδακτικές προσεγγίσεις. Στο Μ. Ευαγόρου & Λ. Αβρααμίδου (Επιμ.), *Θεωρητικές και διδακτικές προσεγγίσεις στις φυσικές επιστήμες*. Αθήνα: Διάδραση, 28-51
- Κόμης, Β. (2004). *Εισαγωγή στις εκπαιδευτικές εφαρμογές των Τεχνολογιών της Πληροφορίας και των Επικοινωνιών*. Αθήνα: Νέων Τεχνολογιών
- Κουζέλης, Γ. (1991). *Από τον βιωματικό στον επιστημονικό κόσμο*. Αθήνα: Κριτική
- Κουλαϊδής, Β. (1995). Επιστήμες της διδακτικής διαμεσολάβησης. Οριοθέτηση και οργάνωση. Στο Ματσαγγούρα, Η. (επιμ.), *Η εξέλιξη της Διδακτικής. Επιστημολογική θεώρηση*. Αθήνα: Gutenberg, 407 - 419
- Κουλαϊδής, Β. (2001a). Διδακτική των Φυσικών Επιστημών: Αντικείμενο και αναγκαιότητα. Στο Κουλαϊδής, Β.(επιμ.), *Διδακτική των Φυσικών Επιστημών, τ. Α.*, Πάτρα: Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο, 25 -50

- Κουλαϊδής, Β. (2001b). Υποθετικο-παραγωγική εικόνα της επιστημονικής γνώσης: Από την κοινή αντίληψη στη λογική πληρότητα. Στο Κουλαϊδής, Β.(επιμ.), *Διδακτική των Φυσικών Επιστημών, τ. Α.*, Πάτρα: Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο, 295 -314
- Κουλαϊδής, Β., Δημόπουλος, Κ., Σκλαβενίτη, Σ. & Χρηστίδου, Β. (2002). *Τα κείμενα της τεχνο-επιστήμης στο δημόσιο χώρο*. Αθήνα: Εκδ. Μεταίχμιο.
- Koumaras, P. (2002). Using the Pendulum in the Education of Teachers. In Matthews M.R. (Ed.), *International Pendulum Project, Conferences Papers*. Sydney: The University of New South Wales, v.2, 205-219
- Κουμαράς, Π. (2002). *Οδηγός για την πειραματική διδασκαλία της φυσικής*. Θεσσαλονίκη: Χριστοδουλίδη
- Κουμαράς, Π. ; Καριώτογλου, Π., Αντωνιάδου, Ν. & Ψύλλος, Δ. (1992). Η εποικοδομητική στρατηγική στην πειραματική προσέγγιση της διδασκαλίας της φυσικής. *Επιθεώρηση Φυσικής*, 22, 12-20
- Kruse, J. W., Clough, M. P., Olson, J. K., & Colbert, J. (2009). Student and instructor reaction to the use of historical short stories in a post-secondary introductory biology course. Paper presented at *the 10th International History, Philosophy of Science in Science Teaching (IHPST) Conference*, Notre Dame, IN, 24–28 June.
- Kuhn, T. (1981). *Η δομή των επιστημονικών επαναστάσεων*. Θεσσαλονίκη: Σύγχρονα θέματα
- Le Roux, B. & Rouanet, H. (2004). *Geometric Data Analysis: From Correspondence Analysis to Structured Data Analysis*. Dordrecht: Cluwer Academic Publishers
- Leach, J. & Scott, P. (2008). Designing and evaluating science teaching sequences: An approach drawing upon the concept of learning demand a social constructivist perspective on learning, *Studies in Science Education*, 38(1), 115-142
- Lijnse, L. (1995). Developmental research as a way to an empirically based «didactical structure» of science. *Science Education*, 79(2), 189-199
- Machamer, P. & Hepburn, B. (2005).Galileo and the pendulum: Latching on to time.

- In Matthews, M., Gauld, C. & Stinner, A. (ed). *The pendulum*. The Netherlands: Springer, 99-113
- MacLachlan, J. (1976). Galileo's experiments with pendulums: Real and imaginary. *Annals of Science*, 33, 173-185
- Matthews, M. (1994). *Science teaching: The role of history and philosophy of science*. New York, NY: Routledge.
- Matthews, M. (2000). *Time for science education*. New York: Kluner Academic/Plenum Publishers
- Matthews, M. (2001). Μεθοδολογία και πολιτική στις φυσικές επιστήμες: Η τύχη της πρότασης του Huygens στα 1673 για το εκκρεμές δευτερολέπτων ως διεθνές πρότυπο μέτρο μήκους και μερικές εκπαιδευτικές προτάσεις. Στο Κουμαρά, Π., Σέρογλου, Φ. & Σκορδούλη, Κ. (επιμ.), *Πρακτικά συμποσίου Η συμβολή της ιστορίας και φιλοσοφίας των Φυσικών Επιστημών στη διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών*. Θεσσαλονίκη: Χριστοδουλίδη, 149-167
- Matthews, M. (2005). Idealization and Galileo's pendulum discoveries: Historical, Philosophical and Pedagogical considerations. In Matthews, M., Gauld, C. & Stinner, A. (ed), *The pendulum*. The Netherlands: Springer, 209-235
- Matthews, M. (2007). *Διδάσκοντας φυσικές επιστήμες*. Αθήνα: Επίκεντρο
- Matthews, M., Clough, M. & Ogilvie, C. (2010). *Pendulum motion: The value of idealization in science*. [www. Storybehindthescience.org](http://www.storybehindthescience.org)
- McComas, W. (2008). Τα κυριότερα στοιχεία της Φύσης της Επιστήμης: καταρρίπτοντας τους μύθους. Στο Κουλαϊδής, Β., Απόστολου, Α. & Καμπουράκης, Κ. (επιμ.), *Η φύση των επιστημών Διδακτικές προσεγγίσεις*, Βάρη: Child Services, 19 -38
- Meheut, M. & Psillos, D. (2004). Teaching-learning sequences: aims and tools for science education research. *International Journal of Science Education*, 26(5), 515-535.
- Meheut, M. (2004). Designing and validating two teaching – learning sequences about Particle Models. *International Journal of Science Education*, 26, 5, 605-616
- Meheut, M. (2005). Teaching - learning sequences. Tools for learning and/or

- research. In K. Boersma, M. Goedhart, O. De Jong, & H. Eijkelhof (Eds.), *Research and the Quality of Science Education*, The Netherlands: Springer, 195-207.
- Meli, D.B. (2006). *Thinking with Objects: The Transformation of Mechanics in the Seventeenth Century*. Baltimore: Johns Hopkins University Press
- Metz, D., Klassen, S., McMillan, B., Clough, M., & Olson, J. (2007). Building a foundation for the use of historical narratives. *Science & Education*, 16(3–5), 313–334
- Millar, R. (1989). Constructivism criticisms. *International Journal of Science Education*, 11, 587-596
- Μίχας, Π. (2005). *Η διδακτική της Οπτικής μέσα από μια διαχρονική ματιά*. Αθήνα: Τυπωθήτω
- Μπαδογιαννάκης, Γ. (2009). *Ο κόσμος του χρόνου*. Αθήνα: Καστανιώτη
- Μπεχράκης, Θ. (1999). *Πολυδιάστατη ανάλυση δεδομένων*. Αθήνα: Νέα σύνορα
- Monk, M. & Osborn, J. (1997). Placing the History and Philosophy of Science on the curriculum: A model for the development of pedagogy. *Science Education*, 81(4), 405-424.
- Nagarjuna, G. (2005). From Archimedes to Galileo: Should we play with the seesaw or the swing?. In M. Matthews (Ed.), *2nd International Pendulum Project*. Sydney: University of New South Wales, 131-150
- Olson, J. K., & Clough, M. P. (2007). Undergraduates' NOS conceptions and the role of historical narratives: A very tangled web. Paper presented at *the 9th International History, Philosophy of Science in Science Teaching (IHPST) Conference*, Calgary, Canada, 24–27 June
- Papadouris, N. & Constantinou, C. (2010). A Philosophically Informed Teaching Proposal on the Topic of Energy for Students Aged 11–14. *Science & Education*, DOI: 10.1007/s11191-010-9305-4
- Παπαδημητρίου, Γ. (2006). *Η ανάλυση δεδομένων. Παραγοντική ανάλυση των αντιστοιχιών, Ιεραρχική ταξινόμηση και άλλες μέθοδοι*. Αθήνα: Τυπωθήτω, Γ. Δαρδανός
- Paraskevoudoulou, E. & Koliopoulos, D. (2010). Teaching the Nature of Science

through the Millikan-Ehrenhaft dispute. *Science & Education*, DOI: 10.1007/s11191-010-9308-1.

- Pocovi, C. (2007). The Effects of a History-Based Instructional Material on the Students' Understanding of Field Lines. *Journal of Research on Science Teaching*, 44(1), 107–132
- Ραβάνης, Κ., (2003a). *Οι Φυσικές Επιστήμες στην προσχολική εκπαίδευση. Διδακτική και γνωστική προσέγγιση*, Αθήνα: Τυπωθήτω-Γιώργος Δαρδανός.
- Ραβάνης, Κ. (2003b). *Εισαγωγή στη διδακτική των Φυσικών Επιστημών*. Αθήνα: Εκδόσεις Νέων Τεχνολογιών
- Ρετινιώτης, Σ. (2004). *Στατιστική, από τη θεωρία στην πράξη*. Αθήνα: Νέες τεχνολογίες
- Ρούσσο, Π. & Τσαούσης Γ. (2002) *Στατιστική εφαρμοσμένη στις κοινωνικές επιστήμες*. Αθήνα: Ελληνικά Γράμματα
- Ruthven, K., Laborde, C., Leach, J. & Tiberghien, A. (2009). Design Tools in Didactical Research: Instrumenting the Epistemological and Cognitive Aspects of the Design of Teaching Sequences, *Educational Researcher*, 3), (5), 329-342
- Seroglou F. & Koumaras P. (2001). The Contribution of the History of Physics in Physics Education: A Review. *Science & Education*, vol. 10(1-2), 153-172
- Seroglou, F., Dossis, S., Kanderakis, N., Koliopoulos, D., Koulountzos, V., Papadopoulos, P., Paraskevopoulou, E., Piliouras, P., Tsagliotis, N. & Vleioras, G. (2011). Developing and using evaluation research tools for science teaching cases informed by the History and Philosophy of Science. In F. Seroglou, V. Koulountzos & A. Siatras (Eds.) *Proceedings of the 11th International IHPST and 6th Greek History, Philosophy and Science Teaching Joint Conference 'Science and Culture: Promise, Challenge and Demand'*, 394-396, Thessaloniki: Epikentro
- Seroglou, F., Koumaras, P. & Tselfes, V. (1998). History of Science and Instructional Design: The Case of Electromagnetism. *Science & Education*, 7(3), 261-280
- Σέρογλου, Φ. (2006). *Φυσικές επιστήμες για την εκπαίδευση του πολίτη*. Επίκεντρο.

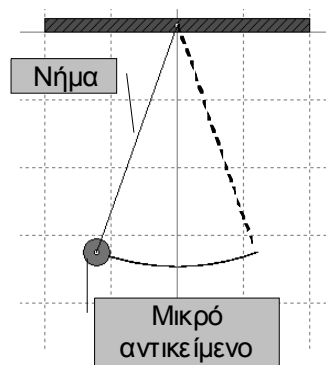
- Σέρογλου, Φ. & Κουμαράς, Π. (2000). Διερευνώντας τη συμβολή της Ιστορίας των Φυσικών Επιστημών στη Διδακτική των Φυσικών Επιστημών: Ένα μοντέλο έρευνας και δυο περιπτώσεις εφαρμογής. *Επιθεώρηση Φυσικής*, 31, 7-18.
- Σκουμιός, Μ. & Χατζηνικήτα, Β. (2005). Από το «σώμα» στο «σύστημα: σώμα-περιβάλλον». Διδακτική επεξεργασία του εμποδίου που αφορά τη θερμοκρασία σωμάτων σε θερμική ισοροπία με το περιβάλλον. Στο Δ. Κολιόπουλου & Α. Βαβουράκη, *Διδακτική Φυσικών Επιστημών: Οι προκλήσεις του 21ου αιώνα, Κείμενα για την πρωτοβάθμια και προσχολική εκπαίδευση*, Αθήνα: ΕΔΙΦΕ, 15 -25
- Solomon, J. (1992). *Exploring the nature of science*. The Association for Science Education
- Solomon, J. (1994). The rise and fall of constructivism. *Studies in Science Education*, 23(1), 1-19
- SPACE. (1993). *Nuffield Primary Science*. London: Collins Educational
- Stafford, E. (2002). What the Pendulum can Tell Educators about children's Scientific Reasoning. In Matthews M.R. (Ed.), *International Pendulum Project, Conferences Papers*, v.2, 145-175, Sydney: The University of New South Wales
- Σταυρόπουλος, Β. & Κολιόπουλος, Δ. (2005). Συγκριτική ανάλυση των σχολικών εγχειριδίων Φυσικής Γενικής Παιδείας στο Ενιαίο Λύκειο και στο ΤΕΕ. Στο Κολιόπουλος, Δ. & Βαβουράκη, Α. (επιμ.) *Διδακτική Φυσικών Επιστημών: Οι προκλήσεις του 21ου αιώνα*. Αθήνα: ΕΔΙΦΕ, 169 -175
- Stinner, A., MacMillan, B., Metz, D., Jilek, J. & Klassen, S. (2003). The renewal of case studies in Science Education. *Science & Education*, 12(7), 617–643.
- Stoimenov, M., Popkonstantinovic, B., Miladinovic, L. & Petrovic, D. (2012). Evolution of clock escapement mechanism. *FME Transactions*, 40 (1), 17- 23
- Sumida, M. (2005). The public understanding of pendulum motion: From 5 to 88 years old. In M. Matthews, C. Gauld & A. Stinner (Ed.) *The Pendulum*, The Netherlands:Springer, 465 - 484
- Tiberghien, A. (1997). Learning and Teaching: Differentiation and Relation. *Research in Science Education*, 27(3), 359-382

- Tiberghien, A., Psillos, D. & Koumaras, P. (1995). Physics instruction from epistemological and didactical bases. *Instructional science*, 22, p. 423 - 444.
- Tiberghien, A., Veillard, Le Maréchal, J-F, Buty, C. & Millar, R.H. (2001). An analysis of labwork tasks used in science teaching at upper secondary school and university levels in several European countries. *Science Education*, 85, 483-508.
- Τσελφές, Β. (2002). Η ταυτότητα του «Σημασιακού χώρου»: Προϋπόθεση για την κατανόηση της εννοιολογικής αλλαγής. *Σύγχρονη Εκπαίδευση: Τρίμηνη Επιθεώρηση Εκπαιδευτικών Θεμάτων*, (78), 73-78.
- Χατζηνικήτα, Β. (2001a). Η χρήση εμποδίων και δυναμικών δικτύων στην ανάπτυξη/ διαχείριση του διδακτικού υλικού. Στο Κουλαϊδής, Β.(επιμ.), *Διδακτική των Φυσικών Επιστημών, τ. Β.*, Πάτρα: Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο, 335 - 366
- Χατζηνικήτα, Β. (2001b). Επιστημονική και καθημερινή γνώση: Το επιστημολογικό εμπόδιο. Στο Κουλαϊδής, Β.(επιμ.), *Διδακτική των Φυσικών Επιστημών, τ. Α.*, Πάτρα: Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο, 99 -127
- Χατζηνικήτα, Β. & Χριστίδου, Β. (2001). Σημασία της έρευνας σχετικά με τις αντιλήψεις των μαθητών. Στο Κουλαϊδής, Β.(επιμ.), *Διδακτική των Φυσικών Επιστημών, τ. Α.*, Πάτρα: Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο, 51 -74
- Χατζηνικήτα, Β., Κουλαϊδής, Β. & Ζόγκζα, Β. (1999). Αντιλήψεις μαθητών και «δυναμικά δίκτυα στόχων – εμποδίων» στη θρέψη και την ανάπτυξη των φυτών. *Παιδαγωγική Επιθεώρηση*, 29, 209 - 231

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ

Διαβάστε πρώτα αυτό το κείμενο



Το **απλό εκκρεμές** (όπως μπορείτε να δείτε και στο διπλανό σχήμα) είναι ένα μικρό αντικείμενο (συνήθως σφαιρίδιο) που έχει τη δυνατότητα να αιωρείται κρεμασμένο από την άκρη ενός νήματος.

Λέμε ότι το απλό εκκρεμές κάνει μια **απλή αιώρηση** όταν κινείται μια φορά από το ένα άκρο ως το

άλλο άκρο της κίνησης.

Συμπληρώστε τα παρακάτω προσωπικά στοιχεία

A) ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ

.....

B) ΑΓΟΡΙ ΚΟΡΙΤΣΙ

**Αν χρειάζεστε περισσότερο χώρο για τις απαντήσεις σας,
χρησιμοποιήστε το πίσω μέρος των σελίδων.**

1) Να βάλετε σε κύκλο την απάντηση που νομίζετε ότι είναι σωστή.



Τον 17ο αιώνα, ο Galileo, μελέτησε πρώτος τις ιδιότητες της κίνησης του απλού εκκρεμούς. Για ποιο λόγο πιστεύετε ότι το έκανε;

- (α) Επειδή τον απασχολούσε το πρόβλημα της μέτρησης του χρόνου
- (β) Επειδή μελετούσε την κίνηση της ταλάντωσης
- (γ) Δεν γνωρίζω

2) Να επιλέξετε μία από τις επιλογές σε κάθε πρόταση.

(α) Η ανακάλυψη του ρολογιού-εκκρεμούς επηρέασε σε μεγάλο βαθμό τη ναυσιπλοΐα.

- Σωστή Λάθος Δεν γνωρίζω

(β) Η ανακάλυψη του ρολογιού-εκκρεμούς επηρέασε τη γνώση μας για το ακριβές σχήμα της γης (αν, δηλαδή, είναι σφαιρική ή σχεδόν σφαιρική συμπιεσμένη στους πόλους).

- Σωστή Λάθος Δεν γνωρίζω

3) Να βάλετε σε κύκλο την απάντηση που νομίζετε ότι είναι σωστή.

Το ρολόι-εκκρεμές είναι ένας αρκετά πολύπλοκος μηχανισμός που περιέχει γρανάζια, ελατήρια και άλλους επί μέρους μηχανισμούς. Πιστεύετε ότι:

(α) Για να μελετήσουμε τις ιδιότητες του απλού εκκρεμούς μας χρειάζεται οπωσδήποτε η γνώση για το πώς έχει κατασκευαστεί ένα ρολόι-εκκρεμές

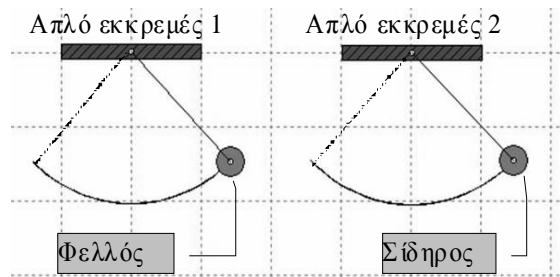
(β) Για να κατασκευαστεί ένα ρολόι – εκκρεμές χρειάζεται οπωσδήποτε να έχουμε μελετήσει τις ιδιότητες του απλού εκκρεμούς

(γ) Δεν γνωρίζω

Να αιτιολογήσετε την απάντησή σας.

4) Να βάλετε σε κύκλο την απάντηση που νομίζετε ότι είναι σωστή

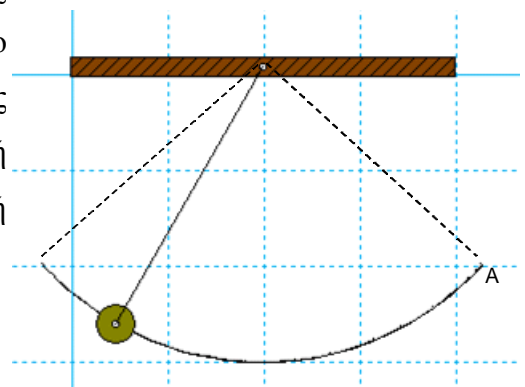
Τα δύο απλά εκκρεμή του σχήματος διαφέρουν μόνο στο υλικό από το οποίο είναι κατασκευασμένο το μικρό αντικείμενο (δηλ., ως προς το βάρος του αντικειμένου). Αν τα αφήσουμε να αιωρηθούν ελεύθερα, τι από τα τρία συμβαίνει;



- (α) Το απλό εκκρεμές 1 εκτελεί μια απλή αιώρηση μεγαλύτερης χρονικής διάρκειας από αυτή του εκκρεμούς 2
- (β) Το απλό εκκρεμές 2 εκτελεί μια απλή αιώρηση μεγαλύτερης χρονικής διάρκειας από αυτή του εκκρεμούς 1
- (γ) Και τα δύο εκτελούν μια απλή αιώρηση ίδιας χρονικής διάρκειας
- (δ) Δεν γνωρίζω

5) Να βάλετε σε κύκλο την απάντηση που νομίζετε ότι είναι σωστή

Αφήνουμε το απλό εκκρεμές του σχήματος να αιωρηθεί ελεύθερο από τη θέση Α. Όσο περνάει η ώρα, η αιώρηση του εκκρεμούς γίνεται όλο και μικρότερη. Η χρονική διάρκεια που χρειάζεται για να γίνει μια απλή αιώρηση :



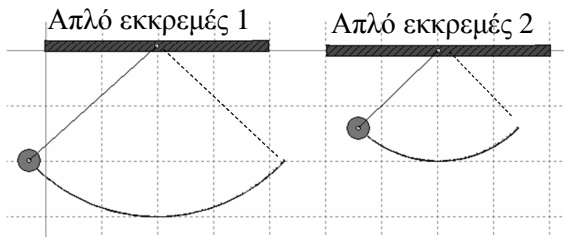
- (α) Όσο περνάει η ώρα, αυξάνεται
- (β) Όσο περνάει η ώρα, μειώνεται
- (γ) Όσο περνάει η ώρα, δεν αλλάζει
- (δ) Δεν γνωρίζω

A

Να αιτιολογήσετε την απάντησή σας.

6) Να βάλετε σε κύκλο την απάντηση που νομίζετε ότι είναι σωστή

Τα δύο απλά εκκρεμή του σχήματος διαφέρουν μόνο στο μήκος του νήματος από το οποίο είναι κρεμασμένα. Αν τα αφήσουμε να αιωρηθούν ελεύθερα, τι από τα τρία συμβαίνει;



(α) Το απλό εκκρεμές 1 εκτελεί μια απλή αιώρηση μεγαλύτερης χρονικής διάρκειας από αυτή του εκκρεμούς 2

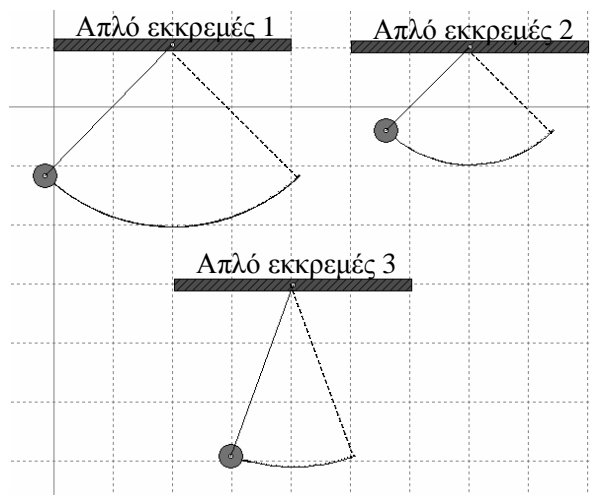
(β) Το απλό εκκρεμές 2 εκτελεί μια απλή αιώρηση μεγαλύτερης χρονικής διάρκειας από αυτή του εκκρεμούς 1

(γ) Και τα δύο εκτελούν μια απλή αιώρηση ίδιας χρονικής διάρκειας

(δ) Δεν γνωρίζω

7) Να βάλετε σε κύκλο την απάντηση που νομίζετε ότι είναι σωστή.

Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζονται τρία απλά εκκρεμή τα οποία διαφέρουν ανά δύο, είτε ως προς τη θέση από την οποία τα αφήνουμε (από πιο ψηλά ή πιο χαμηλά), είτε ως προς το μήκος του νήματος. Αν θα θέλατε να ελέγξετε την επίδραση που έχει η θέση από την οποία αφήνουμε το εκκρεμές πάνω στο χρονικό διάστημα που χρειάζεται για να γίνει μια απλή αιώρηση, ποια από τα εκκρεμή θα χρησιμοποιούσατε;



(α) Τα εκκρεμή 1 και 2

(β) Τα εκκρεμή 1 και 3

(γ) Τα εκκρεμή 2 και 3

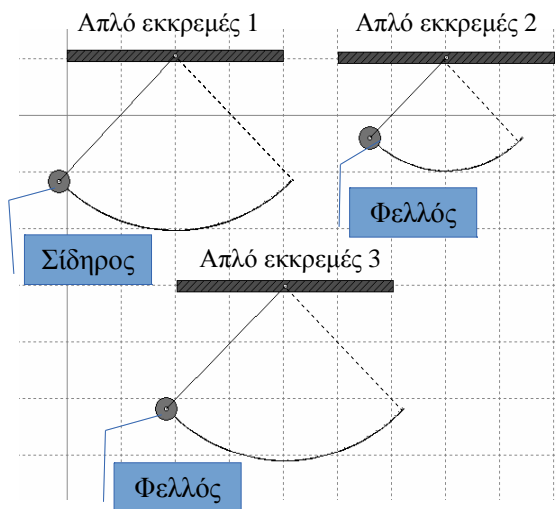
(δ) Και τα τρία εκκρεμή

(ε) Δεν γνωρίζω

Να αιτιολογήσετε την απάντησή σας

8) Να βάλετε σε κύκλο την απάντηση που νομίζετε ότι είναι σωστή

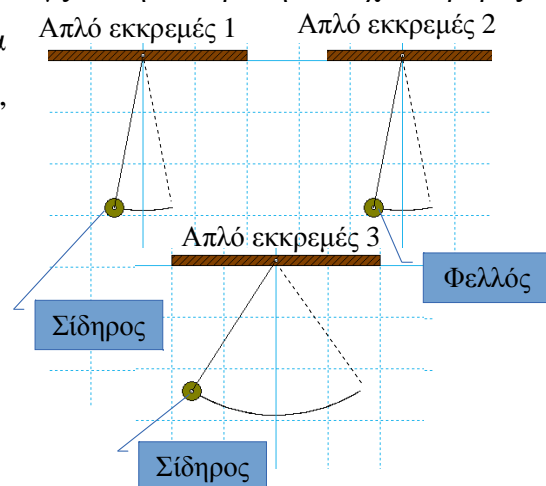
Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζονται τρία απλά εκκρεμή τα οποία διαφέρουν ανά δύο, είτε ως προς το υλικό από το οποίο είναι κατασκευασμένο το μικρό αντικείμενο (δηλ., ως προς το βάρος του αντικειμένου), είτε ως προς το μήκος του νήματος. Αν θα θέλατε να ελέγξετε την επίδραση που έχει το μήκος του νήματος πάνω στο χρονικό διάστημα που χρειάζεται για να γίνει μια απλή αιώρηση, ποια από τα εκκρεμή θα χρησιμοποιούσατε;



- (α) Τα εκκρεμή 1 και 2
- (β) Τα εκκρεμή 1 και 3
- (γ) Τα εκκρεμή 2 και 3
- (δ) Και τα τρία εκκρεμή
- (ε) Δεν γνωρίζω

9) Να βάλετε σε κύκλο την απάντηση που νομίζετε ότι είναι σωστή

Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζονται τρία απλά εκκρεμή τα οποία διαφέρουν ανά δύο, είτε ως προς τη θέση από την οποία τα αφήνουμε (από πιο ψηλά ή πιο χαμηλά), είτε ως προς το υλικό από το οποίο είναι κατασκευασμένο το μικρό αντικείμενο (δηλ., ως προς το βάρος του αντικειμένου). Αν θα θέλατε να ελέγξετε την επίδραση που έχει το βάρος του αντικειμένου πάνω στο χρονικό διάστημα που χρειάζεται για να γίνει μια απλή αιώρηση, ποια από τα εκκρεμή θα χρησιμοποιούσατε;



- (α) Τα εκκρεμή 1 και 2
- (β) Τα εκκρεμή 1 και 3
- (γ) Τα εκκρεμή 2 και 3
- (δ) Και τα τρία εκκρεμή
- (ε) Δεν γνωρίζω

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ

ΟΙ ΕΠΙΛΟΓΕΣ ΑΠΑΝΤΗΣΕΩΝ ΤΟΥ ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟΥ

Ενότητα	Ερώτηση	Θέμα ερώτησης	Επιλογές απαντήσεων				
			1	2	3	4	5
Πολιτισμική	1	Τι απασχολούσε τον Galileo και μελέτησε το εκκρεμές;	Η μέτρηση του χρόνου	Η μελέτη της ταλάντωσης	Δεν γνωρίζω		
	2α	Η ανακάλυψη του ρολογιού – εκκρεμούς επηρέασε τη ναυσιπλοΐα;	Ναι	Όχι	Δεν γνωρίζω		
	2β	Η ανακάλυψη του ρολογιού – εκκρεμούς επηρέασε τη γνώση μας για το ακριβές σχήμα της Γης;	Ναι	Όχι	Δεν γνωρίζω		
	3	Ποιας συσκευής η μελέτη είναι προαπαιτούμενη της άλλης;	Του ρολογιού – εκκρεμούς	Του απλού εκκρεμούς	Δεν γνωρίζω		
	Αιτιολόγηση της επιλογής στην ερώτηση 3						
Εννοιολογική	4	Δύο εκκρεμή διαφέρουν μόνο στο βάρος. Ποιο έχει μεγαλύτερη περίοδο;	Το ελαφρύτερο	Το βαρύτερο	Ίση περίοδο και τα δύο	Δεν γνωρίζω	
	5	Εκκρεμές αιωρείται με μειούμενο πλάτος. Πως μεταβάλλεται η περίοδος;	Αυξάνεται	Μειώνεται	Δεν μεταβάλλεται	Δεν γνωρίζω	
	Αιτιολόγηση της επιλογής στην ερώτηση 5						
	6	Δύο εκκρεμή διαφέρουν μόνο στο μήκος. Ποιο έχει μεγαλύτερη περίοδο;	Το μεγαλύτερο	Το μικρότερο	Ίση διάρκεια και τα δύο	Δεν γνωρίζω	

			μήκους	μήκους			
Μεθοδολογική	7	Τρία εκκρεμή διαφέρουν ανά δύο είτε ως προς το πλάτος, είτε ως προς το μήκος. Τα κατάλληλα εκκρεμή για να ελεγχθεί η σχέση T – πλάτους είναι:	Τα δύο που διαφέρουν μόνο στο μήκος	Τα δύο που διαφέρουν μόνο στο πλάτος	Τα δύο που διαφέρουν και στο μήκος και στο πλάτος	Όλα	Δεν γνωρίζω
	Αιτιολόγηση της επιλογής στην ερώτηση 7						
	8	Τρία εκκρεμή διαφέρουν ανά δύο είτε ως προς το βάρος, είτε ως προς το μήκος. Τα κατάλληλα εκκρεμή για να ελεγχθεί η σχέση T – μήκους είναι:	Τα δύο που διαφέρουν και στο βάρος και στο μήκος	Τα δύο που διαφέρουν μόνο στο βάρος	Τα δύο που διαφέρουν μόνο στο μήκος	Τα δύο που διαφέρουν και στο πλάτος	Όλα
	9	Τρία εκκρεμή διαφέρουν ανά δύο είτε ως προς το πλάτος, είτε ως προς το βάρος. Τα κατάλληλα εκκρεμή για να ελεγχθεί η σχέση T – βάρους είναι:	Τα δύο που διαφέρουν μόνο στο βάρος	Τα δύο που διαφέρουν μόνο στο πλάτος	Τα δύο που διαφέρουν και στο βάρος και στο πλάτος	Όλα	Δεν γνωρίζω

**ΤΑ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΑ ΒΑΣΗΣ ΤΩΝ ΑΠΑΝΤΗΣΕΩΝ ΣΤΙΣ
ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ ΤΟΥ ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟΥ**

Αύξων αριθμός μαθητή	Φύλο	Ερώτηση 1	Ερώτηση 2α	Ερώτηση 2β	Ερώτηση 3	Ερώτηση 4	Ερώτηση 5	Ερώτηση 6	Ερώτηση 7	Ερώτηση 8	Ερώτηση 9
1	Αγόρι	β	ΔΓ	ΔΓ	α	β	β	α	ΔΓ	ΔΓ	ΔΓ
2	Αγόρι	ΔΓ	Ναι	Όχι	α	γ	β	α	δ	ΔΓ	ΔΓ
3	Κορίτσι	α	Ναι	Όχι	β	α	γ	γ	δ	β	δ
4	Αγόρι	β	ΔΓ	ΔΓ	β	β	β	β	β	β	β
5	Κορίτσι	β	Ναι	Ναι	β	α	α	α	γ	β	α
6	Αγόρι	β	Όχι	Ναι	β	α	β	γ	δ	γ	α
7	Αγόρι	β	ΔΓ	ΔΓ	ΔΓ	α	β	α	β	γ	β
8	Κορίτσι	β	Όχι	Ναι	β	α	β	α	α	γ	α
9	Κορίτσι	β	ΔΓ	ΔΓ	ΔΓ	α	β	-	-	γ	α

Πρωτόκολλο βάσης, Γυμνάσιο Α, πριν την εφαρμογή της ακολουθίας

Αύξων αριθμός μαθητή	Φύλο	Ερώτηση 1	Ερώτηση 2α	Ερώτηση 2β	Ερώτηση 3	Ερώτηση 4	Ερώτηση 5	Ερώτηση 6	Ερώτηση 7	Ερώτηση 8	Ερώτηση 9
1	Αγόρι	α	Ναι	Ναι	β	γ	β	α	β	γ	γ
2	Αγόρι	α	Ναι	Ναι	β	γ	β	α	δ	γ	β
3	Κορίτσι	-	Όχι	Ναι	α	γ	γ	α	δ	δ	δ
4	Αγόρι	α	Ναι	Ναι	β	β	β	α	α	β	α
5	Κορίτσι	β	Ναι	Ναι	β	γ	β	α	α	γ	γ
6	Αγόρι	β	Ναι	Ναι	ΔΓ	γ	γ	α	β	γ	α
7	Αγόρι	β	Ναι	Ναι	β	α	β	α	β	β	α
8	Κορίτσι	α	Ναι	Ναι	β	γ	γ	α	β	γ	α
9	Κορίτσι	β	Ναι	Ναι	ΔΓ	γ	γ	α	β	γ	-

Πρωτόκολλο βάσης, Γυμνάσιο Α, μετά την εφαρμογή της ακολουθίας

Αύξων αριθμός μαθητή	Φύλο	Ερώτηση 1	Ερώτηση 2α	Ερώτηση 2β	Ερώτηση 3	Ερώτηση 4	Ερώτηση 5	Ερώτηση 6	Ερώτηση 7	Ερώτηση 8	Ερώτηση 9
1	Κορίτσι	β	Ναι	Όχι	β	β	β	γ	β	γ	β
2	Κορίτσι	β	Όχι	Ναι	β	α	β	α	β	γ	β
3	Κορίτσι	β	Ναι	ΔΓ	β	α	β	α	α	γ	β
4	Αγόρι	β	Ναι	Όχι	β	β	β	α	α	β	δ
5	Κορίτσι	β	Ναι	Ναι	β	β	β	α	α	δ	β
6	Κορίτσι	β	Όχι	Όχι	β	α	β	α	β	γ	α
7	Κορίτσι	β	Ναι	Όχι	α	γ	β	γ	β	β	β
8	Κορίτσι	β	Ναι	Ναι	β	β	β	α	δ	γ	α
9	Αγόρι	α	ΔΓ	Όχι	α	α	α	α	δ	α	α

Πρωτόκολλο βάσης, Γυμνάσιο Β, πριν την εφαρμογή της ακολουθίας

Αύξων αριθμός μαθητή	Φύλο	Ερώτηση 1	Ερώτηση 2α	Ερώτηση 2β	Ερώτηση 3	Ερώτηση 4	Ερώτηση 5	Ερώτηση 6	Ερώτηση 7	Ερώτηση 8	Ερώτηση 9
1	Κορίτσι	β	Ναι	Ναι	α	γ	γ	α	β	γ	β
2	Κορίτσι	α	Ναι	Ναι	β	α	β	α	β	γ	α
3	Κορίτσι	α	Ναι	Ναι	α	α	γ	β	α	β	α
4	Αγόρι	α	Ναι	Ναι	α	β	β	α	β	γ	β
5	Κορίτσι	α	Ναι	Ναι	β	β	γ	γ	β	β	α
6	Κορίτσι	β	Ναι	Ναι	β	α	α	α	β	γ	α
7	Κορίτσι	-	Ναι	Ναι	α	β	γ	γ	δ	γ	α
8	Κορίτσι	β	Ναι	Ναι	β	γ	γ	α	β	α	α
9	Αγόρι	α	Ναι	Ναι	α	γ	β	β	γ	α	α

Πρωτόκολλο βάσης, Γυμνάσιο Β, μετά την εφαρμογή της ακολουθίας

Αύξων αριθμός μαθητή	Φύλο	Ερώτηση 1	Ερώτηση 2α	Ερώτηση 2β	Ερώτηση 3	Ερώτηση 4	Ερώτηση 5	Ερώτηση 6	Ερώτηση 7	Ερώτηση 8	Ερώτηση 9
1	Κορίτσι	β	Ναι	Ναι	β	γ	ΔΓ	γ	β	γ	α
2	Κορίτσι	β	Ναι	Ναι	β	β	β	β	γ	β	α
3	Κορίτσι	β	Ναι	ΔΓ	β	α	β	γ	β	α	γ
4	Κορίτσι	β	ΔΓ	Ναι	β	α	α	γ	β	γ	α
5	Αγόρι	β	Ναι	Όχι	β	β	γ	α	β	γ	α
6	Αγόρι	β	Ναι	Ναι	β	β	β	α	δ	β	δ
7	Κορίτσι	α	Όχι	Ναι	β	β	α	α	β	γ	α
8	Αγόρι	β	Ναι	Ναι	β	β	β	α	β	γ	α
9	Αγόρι	α	Ναι	Όχι	α	γ	β	γ	δ	α	α

Πρωτόκολλο βάσης, Γυμνάσιο Γ πριν την εφαρμογή της ακολουθίας

Αύξων αριθμός μαθητή	Φύλο	Ερώτηση 1	Ερώτηση 2α	Ερώτηση 2β	Ερώτηση 3	Ερώτηση 4	Ερώτηση 5	Ερώτηση 6	Ερώτηση 7	Ερώτηση 8	Ερώτηση 9
1	Κορίτσι	β	Ναι	Ναι	β	γ	γ	α	β	γ	α
2	Κορίτσι	α	Ναι	Ναι	β	γ	β	α	γ	γ	δ
3	Κορίτσι	α	Ναι	Ναι	β	γ	α	α	α	γ	γ
4	Κορίτσι	α	Ναι	Ναι	β	γ	α	α	α	δ	α
5	Αγόρι	α	Ναι	Ναι	β	γ	β	α	β	γ	α
6	Αγόρι	α	Ναι	Ναι	β	α	β	γ	δ	δ	α
7	Κορίτσι	α	Ναι	Ναι	β	γ	γ	α	β	δ	α
8	Αγόρι	β	Ναι	Ναι	β	γ	γ	α	β	γ	α
9	Αγόρι	α	Ναι	Ναι	β	γ	γ	α	β	α	α

Πρωτόκολλο βάσης, Γυμνάσιο Γ, μετά την εφαρμογή της ακολουθίας

Αύξων αριθμός μαθητή	Φύλο	Ερώτηση 1	Ερώτηση 2α	Ερώτηση 2β	Ερώτηση 3	Ερώτηση 4	Ερώτηση 5	Ερώτηση 6	Ερώτηση 7	Ερώτηση 8	Ερώτηση 9
1	Κορίτσι	β	Ναι	Όχι	β	β	α	α	γ	γ	α
2	Κορίτσι	β	ΔΓ	Ναι	β	α	β	α	γ	α	β
3	Κορίτσι	β	Ναι	Όχι	β	α	β	γ	ΔΓ	α	α
4	Αγόρι	α	Ναι	Ναι	β	α	β	γ	δ	α	γ
5	Κορίτσι	β	Ναι	ΔΓ	β	β	β	γ	γ	γ	α
6	Κορίτσι	β	ΔΓ	Ναι	β	β	α	γ	δ	γ	α
7	Αγόρι	β	ΔΓ	Ναι	β	α	α	α	β	α	γ
8	Αγόρι	β	Ναι	Ναι	β	β	α	α	α	δ	α
9	Κορίτσι	β	Ναι	Ναι	β	β	β	α	γ	α	α

Πρωτόκολλο βάσης, Γυμνάσιο Δ, πριν την εφαρμογή της ακολουθίας

Αύξων αριθμός μαθητή	Φύλο	Ερώτηση 1	Ερώτηση 2α	Ερώτηση 2β	Ερώτηση 3	Ερώτηση 4	Ερώτηση 5	Ερώτηση 6	Ερώτηση 7	Ερώτηση 8	Ερώτηση 9
1	Κορίτσι	α	Ναι	Ναι	β	γ	γ	α	β	γ	α
2	Κορίτσι	α	Ναι	Ναι	β	α	γ	α	γ	γ	α
3	Κορίτσι	-	-	Ναι	β	γ	β	β	δ	γ	α
4	Αγόρι	α	Ναι	Ναι	β	γ	γ	γ	ΔΓ	δ	γ
5	Κορίτσι	α	Ναι	Ναι	β	γ	γ	β	β	γ	α
6	Κορίτσι	α	Ναι	Ναι	β	γ	γ	α	β	γ	α
7	Αγόρι	β	Ναι	Ναι	β	β	γ	β	α	α	α
8	Αγόρι	α	Ναι	Ναι	α	γ	γ	α	β	δ	α
9	Κορίτσι	α	Ναι	Ναι	α	γ	γ	α	β	δ	α

Πρωτόκολλο βάσης, Γυμνάσιο Δ, μετά την εφαρμογή της ακολουθίας

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ

ΤΑ ΦΥΛΛΑ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΟ ΚΕΙΜΕΝΟ: «ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΤΟΥ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟΥ ΜΗΚΟΥΣ ΚΑΙ Η ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΟΥ ΧΡΟΝΟΥ ΣΤΗ ΜΕΣΑΙΩΝΙΚΗ ΕΥΡΩΠΗ»

Από την Αρχαιότητα έως το Μεσαίωνα, η συνηθισμένη πορεία των πλοίων ήταν παράλληλη με τις ακτές. Αν οι ναυτικοί έχαναν την οπτική επαφή με τη στεριά, έχαναν και τη δυνατότητα προσανατολισμού. Έτσι πολλά πλοία έβγαιναν εκτός πορείας και είτε ναυαγούσαν είτε ερημώνονταν επειδή οι επιβαίνοντες ναυτικοί πέθαιναν από τη



δίψα, την πείνα και το σκορβούτο και το πλοίο μετατρέποταν σε πλοίο-φάντασμα. Ως τις αρχές του 18ου αιώνα, χιλιάδες ναυτικοί είχαν χαθεί στις θάλασσες επειδή δεν υπήρχε αξιόπιστος τρόπος να διαπιστώσουν πού ακριβώς βρίσκονταν. Και ενώ ο προσδιορισμός του **γεωγραφικού**

πλάτους, δηλαδή της θέσης ενός τόπου σε σχέση με το Βορρά ή το Νότο ήταν εύκολη υπόθεση, ο προσδιορισμός του **γεωγραφικού μήκους** δηλαδή της θέσης σε σχέση με την Ανατολή ή τη Δύση παρέμενε άλυτο πρόβλημα.

Οι λύσεις που οι επιστήμονες της εποχής πρότειναν έμοιαζαν ανέφικτες επειδή ο προσδιορισμός του γεωγραφικού μήκους ενός τόπου σε σχέση με κάποιον άλλο απαιτούσε τη γνώση της τοπικής ώρας με πολύ μεγάλη ακρίβεια. Κάθε λεπτό λάθους στη μέτρηση ενός ρολογιού έδινε απόκλιση δεκάδων χιλιομέτρων στον υπολογισμό της θέσης ενός τόπου στην επιφάνεια της Γης. Η εφαρμογή της λύσης προϋπέθετε, λοιπόν, την ύπαρξη ρολογιών ακριβείας τη στιγμή που εκείνη την εποχή τα καλύτερα ρολόγια παρουσίαζαν σφάλμα περίπου 8 λεπτών την ημέρα.

ΦΥΛΛΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ 1: ΤΟ ΜΗΧΑΝΙΚΟ ΡΟΛΟΙ ΤΟΥ ΓΑΛΙΛΑΙΟΥ

Το έτος 1636, ο Galileo προτείνει στους Ολλανδούς την κατασκευή ενός ωρολογιακού



μηχανισμού (δες φωτογραφία) που όπως ο ίδιος ισχυρίζεται «*Αν αφήσεις 4 ή 6 από αυτά να λειτουργούν ταυτόχρονα, δεν θα βρεις να διαφέρουν ούτε κατά 1 δευτερόλεπτο, ακόμη και μετά από αρκετούς μήνες*».

Μια σχηματική αναπαράσταση αυτού του ρολογιού – εκκρεμούς παρουσιάζεται παρακάτω.

Το μηχανικό ρολόι-εκκρεμές αποτελείται από τέσσερα βασικά μέρη:

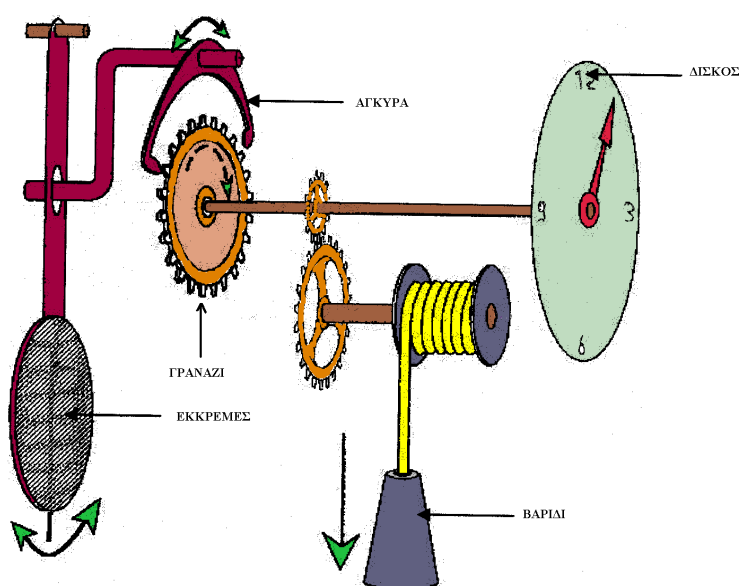
- (α) από το **εκκρεμές** το οποίο αιωρείται,
- (β) από την **άγκυρα** που είναι συνδεδεμένη με το εκκρεμές, με τρόπο που η αιώρηση του

εκκρεμούς να ακολουθείται από μια μπρος-πίσω κίνηση της άγκυρας,

(γ) από ένα **βαρίδι** το οποίο με την πτώση του προκαλεί την κίνηση των γραναζιών και της ράβδου που είναι συνδεδεμένη με τους δείκτες του ρολογιού και

(δ) από τον **δίσκο** πάνω στον οποίο υπάρχουν οι ενδείξεις της ώρας και περιστρέφονται οι δείκτες του ρολογιού.

Η άγκυρα και το γρανάτζι (που ονομάζονται **μηχανισμός διαφυγής**) μετατρέπουν τη συνεχόμενη περιστροφή του γραναζιού, σε μπρος-πίσω κίνηση της άγκυρας. Όταν το εκκρεμές βρίσκεται σε ακραία θέση, το «δόντι» της άγκυρας «κλειδώνει» το γρανάτζι και δεν το αφήνει να περιστραφεί. Όταν το εκκρεμές αιωρείται προς το κέντρο της κίνησης, η άγκυρα απελευθερώνει το γρανάτζι και έτσι αυτό περιστρέφεται, για σύντομο χρονικό διάστημα. Όταν το εκκρεμές φτάσει στην απέναντι ακραία θέση, το άλλο «δόντι» της



άγκυρας «ξανακλειδώνει» το γρανάζι και σταματά βίαια την περιστροφή. Ο χτύπος της σύγκρουσης μεταξύ του «δοντιού» της άγκυρας και του «δοντιού» του γραναζιού είναι το γνωστό «**τικ-τακ**» των ρολογιών. Ταυτόχρονα, το γρανάζι, λόγω του βαριδιού, σπρώχνει προς τα πίσω την άγκυρα και το εκκρεμές και η διαδικασία επαναλαμβάνεται.

ΕΡΩΤΗΣΗ 1η

Συζητήστε το κείμενο αυτό με τον/την καθηγητή/τρια σας προσπαθώντας να κατανοήσετε τον τρόπο λειτουργίας του ρολογιού. Ποιος είναι ο ρόλος των τεσσάρων βασικών στοιχείων ενός ρολογιού-εκκρεμούς;

Εκκρεμές

Άγκυρα – γρανάζι (μηχανισμός διαφυγής)

Βαρίδι που πέφτει

Δίσκος με τους δείκτες ρολογιού

ΕΡΩΤΗΣΗ 2η

Αν υποθέσουμε ότι το συγκεκριμένο ρολόι-εκκρεμές πηγαίνει μπροστά, τι αλλαγές θα προτείνατε προκειμένου να το διορθώσετε; Δικαιολογήστε την άποψή σας.

Θα προτείναμε τις εξής αλλαγές:

Αιτιολόγηση της άποψής μας

ΦΥΛΛΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ 2: ΑΠΟ ΤΟ ΜΗΧΑΝΙΚΟ ΡΟΛΟΙ ΣΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΑΠΛΟΥ ΕΚΚΡΕΜΟΥΣ



Το έτος 1638 είναι ένα ιστορικό για την επιστήμη έτος. Ο **Galileo** δημοσιεύει ένα από τα έργα του (τον «*Διάλογο για τις καινούργιες επιστήμες*») που αποτελεί ένα από τα πρώτα γραπτά τεκμήρια της γέννησης της σύγχρονης Φυσικής. Το βιβλίο είναι γραμμένο όπως ένα σύγχρονο θεατρικό έργο. Οι ιδέες του Galileo περνάνε μέσα από το

διάλογο τριών προσώπων. Όπως λέει ένας σύγχρονος διανοητής - συγγραφέας, ο Άρθουρ Κάιςλερ, ο *Διάλογος* διεξάγεται μεταξύ τριών χαρακτήρων. Ο *Σαλβιάτι*, ο λαμπρός επιστήμονας είναι αυτός που εκφράζει τις ιδέες του Galileo. Τον σιγοντάρει ο *Σαγρέντο*, ένας έξυπνος ερασιτέχνης που είναι μεταμφιεσμένος σε ουδέτερο και, τέλος, ο *Σιμπλίκιο*, ο καλοπροαίρετος υπερασπιστής των ιδεών της εποχής που παίζει «τον ρόλο του παλιάτσου που τον κλωτσάν στον πισινό».

Το επόμενο απόσπασμα από το βιβλίο του Galileo «*Διάλογος για τις καινούργιες επιστήμες*» αναφέρεται στην κίνηση του εκκρεμούς, σχετίζεται δηλαδή με το σημερινό μάθημα. Μιλάει ο Σαγρέντο.

Σαγρέντο: «... Έχω παρατηρήσει, χιλιάδες φορές, ταλαντώσεις πολυελαίων, κυρίως στις εκκλησίες ή λάμπες που κρέμονται από το ταβάνι και κινούνται πέρα δώθε. Αλλά το μόνο που έχω διαπιστώσει από αυτές τις παρατηρήσεις είναι ότι μάλλον είναι απίθανο να ισχύει η γνώμη των ανθρώπων εκείνων που ισχυρίζονται ότι αυτές οι ταλαντώσεις συντηρούνται από το περιβάλλον: σε μια τέτοια περίπτωση ο αέρας θα έπρεπε να ενεργεί με πολλή διορατικότητα και να μην είχε τίποτα άλλο να κάνει από το να δίνει σ' αυτό το κρεμασμένο βαρίδι μια τέλεια κανονική πέρα – δώθε κίνηση. Μου είναι



αδύνατο να φανταστώ ότι ένα ίδιο σώμα, το οποίο θα κρέμεται από ένα νήμα περίπου 50 μέτρων, που τη μια φορά θα απομακρύνεται 90 μοίρες (90^0) από την κατακόρυφο και την άλλη μια μοίρα (1^0) από τη κατακόρυφο, θα μπορούσε να κάνει στις δύο περιπτώσεις τον ίδιο χρόνο για να διαγράψει τη μια φορά ένα πολύ μεγάλο τόξο και την άλλη φορά ένα πολύ μικρό τόξο. Θα μου φαινόταν απίθανο».

ΕΡΩΤΗΣΗ 3η

Συζητήστε το κείμενο αυτό με τον/την καθηγητή/τρια σας. Τι νομίζετε ότι θα απαντούσε ο Σαλβιάτι (δηλαδή, αυτός που εκφράζει τις ιδέες του Galileo) σ' αυτά που ισχυρίζεται ο Σαγρέντο;

ΕΡΩΤΗΣΗ 4η

Ποια συγκεκριμένη τεχνική θα προτείνατε για να επιβεβαιώσετε ή να διαψεύσετε τον ισχυρισμό του Σαγρέντο ότι: «... Μου είναι αδύνατον να φανταστώ ότι ένα ίδιο σώμα, το οποίο θα κρέμεται από ένα νήμα περίπου 50 μέτρων, που τη μια φορά θα απομακρύνεται 90 μοίρες (90^0) από την κατακόρυφο και την άλλη μια μοίρα (1^0) από τη κατακόρυφο, θα μπορούσε να κάνει στις δύο περιπτώσεις τον ίδιο χρόνο για να διαγράψει τη μια φορά ένα πολύ μεγάλο τόξο και την άλλη φορά ένα πολύ μικρό τόξο...»;

ΦΥΛΛΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ 3: ΤΟ ΑΠΛΟ ΕΚΚΡΕΜΕΣ ΤΟΥ ΔΕΥΤΕΡΟΛΕΠΤΟΥ

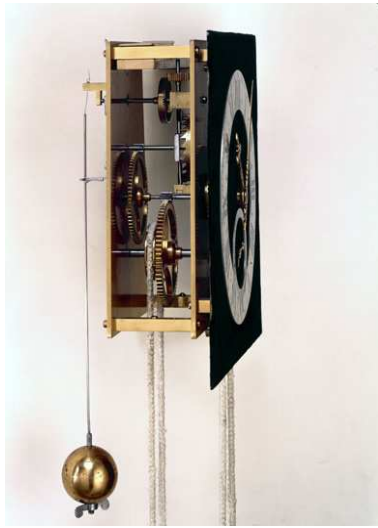
ΕΡΩΤΗΣΗ 5^η

Τι νομίζετε ότι θα πρέπει να κάνετε, για να μετατρέψετε ένα απλό εκκρεμές, σε απλό εκκρεμές που χρειάζεται 1 δευτερόλεπτο για να κάνει μια απλή αιώρηση;

ΕΡΩΤΗΣΗ 6^η

Μπορείτε να προτείνετε μια μέθοδο με την οποία θα ελέγξετε αν ισχύουν ή όχι οι ισχυρισμοί σας;

ΦΥΛΛΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ 4: ΜΙΑ ΣΥΝΑΡΠΙΑΣΤΙΚΗ ΑΝΑΚΑΛΥΨΗ:
ΤΟ ΤΑΞΙΔΙ ΤΟΥ JEAN RICHER ΣΤΗΝ CAYENNE



Το 1672, ο αστρονόμος **Jean Richer**, στάλθηκε από τη Γαλλική Ακαδημία Επιστημών, σε μια επιστημονική αποστολή, στην πόλη Cayenne, που βρίσκεται στη Γαλλική Γουιάνα, κοντά στον Ισημερινό. Σύμφωνα με τον γραμματέα της, η Γαλλική Ακαδημία Επιστημών «άρχισε να συζητά την αποστολή παρατηρητών σε διάφορα μέρη του κόσμου, υπό την εποπτεία της Αυτού Μεγαλειότητας του Βασιλέως, ώστε να προσδιοριστούν τα γεωγραφικά μήκη των διαφόρων περιοχών προς όφελος της γεωγραφίας και των ναυτικών». Μην

ξεχνάμε ότι επρόκειτο για την εποχή των μεγάλων γεωγραφικών ανακαλύψεων. Ο Richer είχε μαζί του ένα ρολόι-εκκρεμές (σαν αυτό που βλέπετε στη φωτογραφία) που είχε ρυθμιστεί στο **Παρίσι** να κάνει μια απλή αιώρηση ενός δευτερολέπτου (1 sec). Παρατηρώντας το εκκρεμές στην Cayenne, ο Ρισέ έκανε μια απροσδόκητη ανακάλυψη: **Το εκκρεμές του έχανε δύομιση λεπτά (2,5 min) κάθε μέρα.**

Ο ισχυρισμός του Richer ότι το εκκρεμές δευτερολέπτων επιβραδύνεται κοντά στον Ισημερινό, δημιούργησε μια πολύ ενδιαφέρουσα συζήτηση σχετικά με το γιατί συνέβαινε αυτό. Ορισμένοι επιστήμονες αμφισβήτησαν τις μετρήσεις του. Μάλιστα δημιουργήθηκαν διάφοροι καυγάδες όπως αυτός μεταξύ του Richer και του [Huygens](#),

δηλαδή του ανθρώπου που είχε κατασκευάσει το ρολόι που είχε μαζί του ο Richer. Άλλοι, πάλι, ισχυρίστηκαν ότι η υπόθεση πως η περίοδος του εκκρεμούς εξαρτάται μόνο από το μήκος του νήματος δεν ισχύει. Προσπάθησαν, δηλαδή, να εντοπίσουν και άλλους παράγοντες από τους οποίους θα μπορούσε να εξαρτάται η

περίοδος του εκκρεμούς. Ο Νεύτωνας, για παράδειγμα, ισχυρίστηκε ότι η περίοδος του εκκρεμούς εξαρτάται από τη **βαρύτητα (επιτάχυνση της βαρύτητας)** στον τόπο που



λειτουργεί το εκκρεμές υπονοώντας, συγχρόνως, ότι το σχήμα της γης δεν είναι ακριβώς σφαιρικό αλλά ότι στον Ισημερινό είναι πεπλατυσμένη και, συνεπώς, εκεί η βαρύτητα είναι μικρότερη.

ΕΡΩΤΗΣΗ 7η

Συζητήστε το κείμενο αυτό με τον/την καθηγητή/τρια σας. Μπορείτε να προτείνετε μια μέθοδο με την οποία θα ελέγξετε αν ισχύει ή όχι ο ισχυρισμός του Νεύτωνα ότι «η περίοδος ενός εκκρεμούς εξαρτάται από τη βαρύτητα»;

ΕΡΩΤΗΣΗ 8η

Πώς μπορεί τελικά να ρυθμιστεί ένα ρολόι – εκκρεμές, σαν αυτό του Galileo για το οποίο συζητήσατε στην πρώτη ενότητα, σε ένα τόπο;

ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ ΣΤΟ ΣΠΙΤΙ

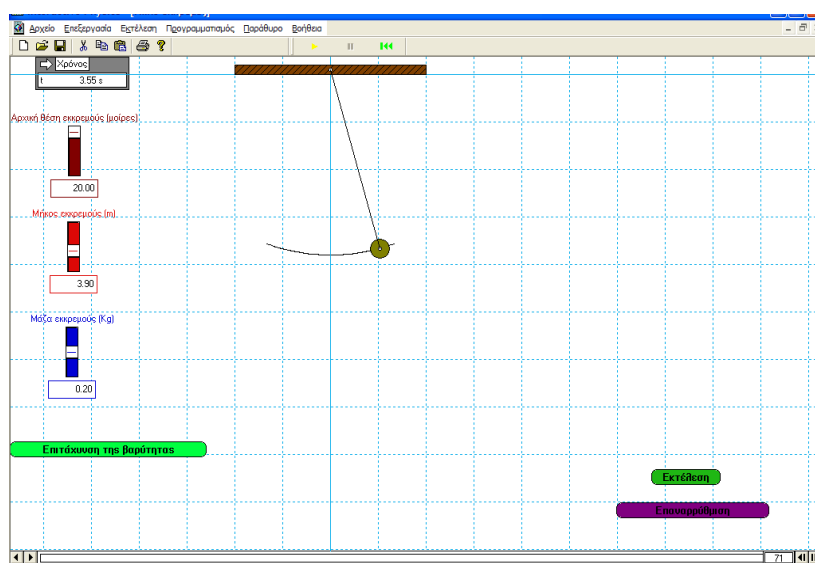
Κάντε μια μικρή εργασία για ό,τι μάθατε σχετικά με την κίνηση του εκκρεμούς και τη μέτρηση του χρόνου. Η εργασία αυτή μπορεί να περιέχει κείμενο, σχέδια, φωτογραφίες ή άλλο υλικό που εσείς κρίνετε ότι έχει σχέση με αυτήν. Έπειτα, με τη βοήθεια των καθηγητών/-τριών της Φυσικής και της Πληροφορικής, «κρεμάστε» την εργασία σας στην ιστοσελίδα του σχολείου σας.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ IV

Η ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΟΥ ΑΠΛΟΥ ΕΚΚΡΕΜΟΥΣ

Το Interactive Physics αποτελεί ένα «εικονικό εργαστήριο» τα εργαλεία του οποίου επιτρέπουν την εύκολη δημιουργία προσομοιώσεων και την ενεργή εμπλοκή των μαθητών στη μαθησιακή διαδικασία. και αποκτούν τη δυνατότητα να, μέσω των προσομοιώσεων. Το λογισμικό παρέχει τη δυνατότητα διερεύνησης των φυσικών φαινομένων με ταχύτητα και ενδιαφέρον, μέσω της δοκιμής υποθέσεων και σεναρίων του τύπου « Τι θα γινόταν αν....». Επιπλέον το λογισμικό παρέχει τη δυνατότητα μοντελοποιήσεων φαινομένων ή καταστάσεων που τα παραδοσιακά μέσα αδυνατούν να επιτύχουν.

Στην προτεινόμενη διδακτική ακολουθία του απλού εκκρεμούς η προσομοίωση συνίσταται στη δημιουργία ενός μικρόκοσμου ιδανικής αιώρησης του απλού εκκρεμούς, δηλαδή αιώρησης που δεν επηρεάζεται από τριβές ή αντιστάσεις. Για τις ανάγκες ελέγχου της προσομοίωσης, ρύθμισης και μέτρησης των τιμών των μεταβλητών του φαινομένου, εκτός από την προσομοίωση της αιώρησης του απλού εκκρεμούς, δημιουργήθηκαν δύο κουμπιά, τέσσερις μεταβολείς και ένας μετρητής.





Η οθόνη της προσομοίωσης του απλού εκκρεμούς

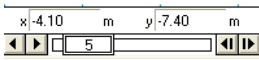
Όπως φαίνεται στην εικόνα, τα δύο κουμπιά με τα οποία ελέγχεται η εκτέλεση/παύση της αιώρησης και η επαναφορά της προσομοίωσης στις αρχικές συνθήκες, με ταυτόχρονη εξάλειψη των ιχνών της προηγούμενης αιώρησης, τοποθετούνται στην κάτω δεξιά πλευρά της οθόνης, έτσι που να βρίσκονται κοντά στο εργαλείο ελέγχου «κασετοφώνου» της προσομοίωσης.

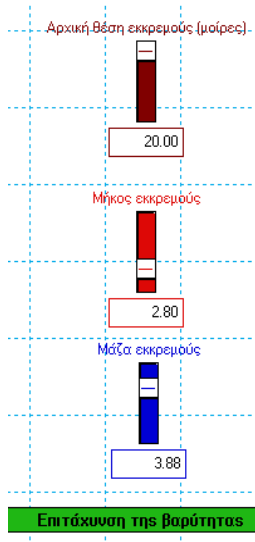
Αντίστοιχα, ο μετρητής της χρονικής διάρκειας, καθώς και μεταβολείς του πλάτους της αιώρησης, του μήκους του νήματος, της μάζας του εκκρεμούς και των τιμών της επιτάχυνσης της βαρύτητας, τοποθετούνται στην αριστερή πλευρά της οθόνης, έτσι που να είναι κατά το δυνατόν μακρύτερα από το κουμπιά ελέγχου της προσομοίωσης.

ΒΑΣΙΚΕΣ ΟΔΗΓΙΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΤΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

✓ Κουμπί : Το επιλέγετε κάθε φορά που θέλετε να **ξεκινήσετε** ή να **σταματήσετε** την προσομοίωση της κίνησης του απλού εκκρεμούς.

✓ Κουμπί : Το επιλέγετε κάθε φορά που θέλετε να **επαναφέρετε** στην αρχική θέση το απλό εκκρεμές και κάθε φορά **πριν αλλάξετε τις τιμές** σε κάποιο μεταβολέα.

✓ Κουμπιά «κασετοφώνου» : Τα επιλέγετε κάθε φορά που θέλετε να επαναλάβετε τη κίνηση βήμα-βήμα.



✓ Μεταβολέας **Αρχική θέση εκκρεμούς** : Με την επιλογή και μετακίνηση του μεταβολέα μπορείτε να αλλάξετε την αρχική θέση του εκκρεμούς.

✓ Μεταβολέας **Μήκος εκκρεμούς** : Με την επιλογή και μετακίνηση του μεταβολέα μπορείτε να αλλάξετε το μήκος του νήματος του απλού εκκρεμούς.

✓ Μεταβολέας **Μάζα εκκρεμούς** : Με την επιλογή και μετακίνηση του μεταβολέα μπορείτε να αλλάξετε τη μάζα

του απλού εκκρεμούς.

✓ Μεταβολέας **επιτάχυνση της βαρύτητας** : Με την επιλογή και μετακίνηση του μεταβολέα μπορείτε να αλλάξετε την τιμή της επιτάχυνσης της βαρύτητας.