

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ
ΠΑΙΔΑΓΩΓΙΚΗ ΣΧΟΛΗ – ΠΑΙΔΑΓΩΓΙΚΟ ΤΜΗΜΑ ΝΗΠΙΑΓΩΓΩΝ

ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΣ ΖΟΥΠΙΔΗΣ

**ΔΙΔΑΣΚΑΛΙΑ ΚΑΙ ΜΑΘΗΣΗ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΜΟΝΤΕΛΩΝ
ΦΥΣΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ:
ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ
ΤΗΣ ΠΛΕΥΣΗΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΒΥΘΙΣΗΣ**

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

ΦΛΩΡΙΝΑ 2012

ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΣ ΖΟΥΠΙΔΗΣ

**ΔΙΔΑΣΚΑΛΙΑ ΚΑΙ ΜΑΘΗΣΗ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΜΟΝΤΕΛΩΝ
ΦΥΣΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ:
ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ
ΤΗΣ ΠΛΕΥΣΗΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΒΥΘΙΣΗΣ**

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

Υποβλήθηκε στο Παιδαγωγικό Τμήμα Νηπιαγωγών
του Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας

Ημερομηνία προφορικής εξέτασης: 11 Ιουνίου 2012

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Καθηγητής Καριώτογλου Πέτρος, Επιβλέπων

Αν. Καθηγητής Πνευματικός Δημήτριος, Μέλος Τριμελούς Συμβουλευτικής Επιτροπής

Επ. Καθηγήτρια Σπύρτου Άννα, Μέλος Τριμελούς Συμβουλευτικής Επιτροπής

Καθηγητής Τσελφές Βασίλειος, Εξεταστής

Καθηγήτρια Χαλκιά Κρυσταλλία, Εξετάστρια

Αν. Καθηγητής Φαχαντίδης Νικόλαος, Εξεταστής

Λεκτόρισα Παπαδοπούλου Πηνελόπη, Εξετάστρια

στους γονείς μου

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Οι ευχαριστίες είναι το μέρος του κειμένου της διδακτορικής διατριβής, το οποίο όταν καλείσαι να το γράψεις συνήθως έχεις φτάσει στο τέλος του ταξιδιού. Αποκαμωμένος από τη σκληρή προσπάθεια κοιτάς για λίγο πίσω, πριν συνεχίσεις θέτοντας ήδη δειλά-δειλά νέους στόχους. Από αυτό το σημείο, επιθυμώ να ευχαριστήσω όλες εκείνες και εκείνους που στάθηκαν δίπλα μου σε αυτό το ταξίδι.

Καταρχήν ευχαριστώ θερμά τον επιβλέποντα της παρούσας διατριβής, καθηγητή Πέτρο Καριώτογλου, για την υπόδειξη του θέματος, και για την ποικιλόμορφη καθοδήγηση του σε όλα τα στάδια της διατριβής. Επιπλέον, τον ευχαριστώ για την υπομονή που έδειξε όλα αυτά τα χρόνια, για τον προσωπικό του χρόνο που μου διέθεσε γενναιόδωρα, καθώς επίσης για την υποστήριξη που μου προσέφερε στις δύσκολες εκείνες στιγμές που ο υποψήφιος έχει την αίσθηση ότι οι δυνάμεις του τον εγκαταλείπουν.

Ευχαριστώ επίσης τα άλλα δύο μέλη της συμβουλευτικής μου επιτροπής, τον αναπληρωτή καθηγητή Δημήτρη Πνευματικό και την επίκουρη καθηγήτρια Άννα Σπύρτου, οι οποίοι ήταν δίπλα μου σε όλη τη διάρκεια της διδακτορικής διατριβής. Ο κ. Πνευματικός με τις οξυδερκείς παρατηρήσεις του συνέβαλε καθοριστικά στην επιλογή της ερευνητικής μεθόδου, όσον αφορά την ποσοτική ανάλυση και τη στατιστική επεξεργασία των δεδομένων της διατριβής. Η κ. Σπύρτου με τις πολύωρες συζητήσεις και τις εύστοχες υποδείξεις της, ιδιαίτερα στην επίπονη φάση της ποιοτικής ανάλυσης των δεδομένων, με βοήθησε να χαράξω σημαντικό μέρος της πορείας αυτής της διατριβής. Επιπλέον, την κ. Σπύρτου την ευχαριστώ ιδιαίτερα γιατί ήταν αυτή που μου «έδειξε» το δρόμο προς την Παιδαγωγική Σχολή της Φλώρινας, όταν για πρώτη φορά το 2006 βρέθηκα με απόσπαση στο Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης, δημιουργώντας έτσι τις συνθήκες για να ξεκινήσω, ένα χρόνο αργότερα, τη διδακτορική μου διατριβή. Ευχαριστώ επίσης θερμά τον σχολικό μου σύμβουλο στη Δωδεκάνησο, και αργότερα και φίλο, Γιώργο Φασουλόπουλο, ο οποίος με τις πολύωρες συζητήσεις που πραγματοποιήσαμε μαζί με άλλους συναδέλφους στη Ρόδο, τη Χάλκη και το Καστελόριζο με ενέπνευσε να στραφώ στα μονοπάτια της έρευνας. Τον ευχαριστώ επίσης ιδιαίτερα γιατί κατά τη διάρκεια της διατριβής με βοήθησε σημαντικά με τις εποικοδομητικές συζητήσεις και τις ουσιαστικές υποδείξεις σχετικά με ζητήματα ιδεών των μαθητών για την πυκνότητα και την πλεύση και τη βύθιση καθώς επίσης και σχετικά με ζητήματα ανάλυσης των δεδομένων.

Ευχαριστώ τον καθηγητή Βασίλη Τσελφέ για τις πολύτιμες συμβουλές του σε θέματα επιστημολογίας στην περιοχή της Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών και σε θέματα ερευνητικής μεθοδολογίας που άπτονται αυτού του πεδίου της επιστήμης, και συγκεκριμένα για τις ουσιαστικές του υποδείξεις όσον αφορά την ανάλυση και ερμηνεία της διαδικασίας βελτίωσης μιας Διδακτικής Μαθησιακής Σειράς. Επίσης, ευχαριστώ τον λέκτορα Γιώργο Μαλανδράκη και τη λεκτόρισα Αναστασία Στάμου, οι οποίοι αφιέρωσαν σημαντικό μέρος από τον πολύτιμο χρόνο τους για να συζητήσουμε θέματα ερευνητικής μεθοδολογίας και ανάλυσης δεδομένων.

Σε αυτό το σημείο, νιώθω την υποχρέωση να αναγνωρίσω ότι η πραγματοποίηση της διδακτορικής μου διατριβής στο πλαίσιο του ευρωπαϊκού προγράμματος Materials Science, μου παρείχε την απαραίτητη υποστήριξη για να συμμετάσχω σε δύο διεθνή συνέδρια της Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών και σε ένα πανευρωπαϊκό θερινό σχολείο υποψηφίων διδασκόντων που διοργανώθηκαν από την ESERA. Επιπλέον, μου δόθηκε η ευκαιρία να συνεργαστώ με πολλούς και αξιόλογους ερευνητές της Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών, ορισμένοι από τους οποίους συνέβαλλαν καθοριστικά στη διατριβή μου.

Στο πλαίσιο αυτό, ευχαριστώ θερμά τον καθηγητή Δημήτριο Ψύλλο και τον αναπληρωτή καθηγητή Ευριπίδη Χατζηκρυνιώτη, για τις πολύτιμες συμβουλές τους και για την ένθερμη υποστήριξη που μου προσέφεραν ιδίως στα πρώιμα βήματα της προσπάθειάς μου να ενταχθώ στην ευρύτερη ερευνητική ομάδα του προγράμματος.

Στο πλαίσιο του ίδιου προγράμματος, θεωρώ επίσης ότι ήταν σημαντικές και χρήσιμες οι συζητήσεις που πραγματοποίησα με τον καθηγητή Κωνσταντίνο Π. Κωνσταντίνου σε θέματα επιστημολογικής γνώσης και γνώσης περί μοντέλων, και για αυτό τον ευχαριστώ θερμά.

Ευχαριστώ επίσης θερμά τον καθηγητή Hans Niedderer για τις πολύτιμες συμβουλές του σε θέματα ερευνητικής μεθοδολογίας και τον καθηγητή Jari Lavonen για την σημαντική του συμβολή στην ποιοτική ανάλυση των δεδομένων της έρευνας.

Ευχαριστώ θερμά τα μέλη της ερευνητικής ομάδας της Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, οι οποίοι στο πλαίσιο του προγράμματος Materials Science, με υποδέχθηκαν από την αρχή ως ένα ισότιμο μέλος της ομάδας αυτής και με βοήθησαν σε διάφορα στάδια της διδακτορικής μου διατριβής. Συγκεκριμένα, ευχαριστώ τον Γιάννη Λεύκο, τον Τάσο Μολοχίδη, τον Αλέκο Μπάρμπα

και τον Απόστολο Παρασκευά για τις πολύτιμες συμβουλές τους σε θέματα μεθοδολογίας. Επίσης, ευχαριστώ τον Γιάννη Σούλιο και την Ελένη Πετρίδου για τις πολύωρες και χρήσιμες συζητήσεις που πραγματοποιήσαμε σχετικά με τη γνώση περί μοντέλων.

Ευχαριστώ τα μέλη της εξεταστικής επιτροπής, τον καθηγητή Βασίλειο Τσελφέ, την καθηγήτρια Κρυσταλλία Χαλκιά, τον αναπληρωτή καθηγητή Νικόλαο Φαχαντίδη και την λεκτόρισα Καλλιόπη Παπαδοπούλου για τη θερμή υποδοχή που επεφύλαξαν στην εργασία μου.

Ευχαριστώ τις συναδέλφισες Στεφανία Μπλούχου, Ρεγγίνα Τριανταφυλλίδου και Καλλιόπη Κολλίνη καθώς επίσης και τους συνάδελφους Γιάννη Αρβανιτάκη, και Κώστα Σουλτάνη, τον διευθυντή του 1^{ου} Πειραματικού Σχολείου Γιώργο Λυγούρα και τον διευθυντή του 1^{ου} Δημοτικού Σχολείου της Φλώρινας Γιώργο Μάντσο καθώς και τις μαθήτριες και τους μαθητές, χωρίς τις οποίες και τους οποίους δεν θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί το εμπειρικό μέρος της έρευνας.

Ευχαριστώ θερμά τους συνάδελφους Πέτρο Μπέσπαρη και Γιάννη Μπουνόβα καθώς επίσης και τη συναδέλφισα Άννα Βακάλη για τον λεπτομερή έλεγχο της διατριβής σχετικά με θέματα γλώσσας και κειμένου.

Το μεγαλύτερο μέρος αυτής της διατριβής εκπονήθηκε στη διάρκεια της τετραετούς εκπαιδευτικής άδειας που μου χορηγήθηκε από το ΥΠΕΠΘ, το οποίο έμμεσα υποστήριξε την πραγματοποίησή της.

Τέλος, επιθυμώ να εκφράσω ένα μεγάλο ευχαριστώ στην οικογένειά μου και το στενό φιλικό μου περιβάλλον που ήταν πάντοτε εκεί, σε κάποιο μπαλκόνι της ζωής, χαρίζοντάς μου κάθε φορά τη θέα εκείνη που δημιουργεί ανάταση και διάθεση για να συνεχίσεις.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
1.1	Προβληματισμός.....	1
1.2	Δομή της έρευνας.....	3
2	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ	5
2.1	Τα φαινόμενα της πλεύσης και της βύθισης και η πυκνότητα.....	5
2.1.1	Εισαγωγή.....	5
2.1.2	Ιδέες των μαθητών για την πλεύση και βύθιση και για την πυκνότητα.....	10
2.1.3	Διδακτικές προτάσεις για την Π/Β και την πυκνότητα	17
2.2	Η διερεύνηση στις Φυσικές Επιστήμες και στη διδασκαλία.....	28
2.2.1	Τα μοντέλα και η μοντελοποίηση.....	31
2.2.1.1	Εισαγωγή	31
2.2.1.2	Ιδέες των μαθητών για τη φύση και τον ρόλο των μοντέλων.....	44
2.2.1.3	Διδακτικές προτάσεις για τη φύση και τον ρόλο των μοντέλων και τη μοντελοποίηση.....	51
2.2.2	Η Στρατηγική Ελέγχου Μεταβλητών.....	61
2.2.2.1	Εισαγωγή	61
2.2.2.2	Δυσκολίες των μαθητών στην κατανόηση της Στρατηγικής Ελέγχου Μεταβλητών	63
2.2.2.3	Διδακτικές προτάσεις για τη Στρατηγική Ελέγχου Μεταβλητών	65
2.3	Διδακτικές Μαθησιακές Σειρές.....	70
2.3.1	Εισαγωγή.....	70
2.3.2	Θεωρητικά πλαίσια για την ανάλυση των διαδικασιών σχεδιασμού και ανάπτυξης μιας ΔΜΣ	71
2.3.3	Το μοντέλο του Pickering ως θεωρητικό πλαίσιο για την ανάδειξη, περιγραφή και ερμηνεία των βελτιωτικών αλλαγών μιας ΔΜΣ.....	78
2.3.4	Μεθοδολογικές προσεγγίσεις αξιολόγησης της αποτελεσματικότητας μιας ΔΜΣ	80
3	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΔΙΔΑΚΤΙΚΗΣ ΜΑΘΗΣΙΑΚΗΣ ΣΕΙΡΑΣ (ΔΜΣ).....	83
3.1	Οι σχεδιαστικές αρχές της ΔΜΣ.....	83
3.2	Η ΔΜΣ στην κανονική εφαρμογή.....	91
3.3	Περιορισμοί του διδακτικού μετασχηματισμού που προκύπτουν από το οπτικό μοντέλο της πυκνότητας.....	97
4	ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ	101
4.1	Τα ερευνητικά ερωτήματα και οι ερευνητικές υποθέσεις	101
4.2	Το δείγμα	107
4.3	Η μέθοδος της έρευνας.....	109
4.3.1	Η μέθοδος για την αξιολόγηση της μάθησης στη ΔΜΣ.....	109
4.3.2	Η μέθοδος για την ανάδειξη και την κατηγοριοποίηση των βελτιωτικών αλλαγών στη ΔΜΣ.....	111
4.4	Τα εργαλεία μέτρησης και η διαδικασία ανάλυσής τους	114
4.4.1	Μέθοδος ανάλυσης και ομαδοποίησης των απαντήσεων.....	118

4.4.2 Ανάλυση έργων του πριν και μετά γραπτού ερωτηματολογίου της πιλοτικής εφαρμογής	123
4.4.2.1 Έργα αξιολόγησης των ερμηνειών φαινομένων Π/Β στο γραπτό ερωτηματολόγιο της πιλοτικής εφαρμογής.....	123
4.4.2.2 Έργα αξιολόγησης της κατανόησης της έννοιας της πυκνότητας στο γραπτό ερωτηματολόγιο της πιλοτικής εφαρμογής.....	128
4.4.2.3 Έργα αξιολόγησης της κατανόησης της Στρατηγικής Ελέγχου Μεταβλητών στο γραπτό ερωτηματολόγιο της πιλοτικής εφαρμογής	130
4.4.2.4 Έργο αξιολόγησης της κατανόησης της φύσης των μοντέλων στο γραπτό ερωτηματολόγιο της πιλοτικής εφαρμογής.....	132
4.4.3 Ανάλυση έργων του πριν και μετά γραπτού ερωτηματολογίου της κανονικής εφαρμογής	133
4.4.3.α Έργα αξιολόγησης των ερμηνειών φαινομένων Π/Β στο γραπτό ερωτηματολόγιο της κανονικής εφαρμογής.....	134
4.4.3.β Έργα αξιολόγησης της κατανόησης της έννοιας της πυκνότητας στο γραπτό ερωτηματολόγιο της κανονικής εφαρμογής	136
4.4.3.γ Έργα αξιολόγησης της κατανόησης της Στρατηγικής Ελέγχου Μεταβλητών στο γραπτό ερωτηματολόγιο της κανονικής εφαρμογής.....	138
4.4.3.δ Έργα αξιολόγησης της κατανόησης της φύσης και του ρόλου των μοντέλων στο γραπτό ερωτηματολόγιο της κανονικής εφαρμογής	139
4.4.4 Ανάλυση έργων της ημιδομημένης κλινικής συνέντευξης.....	141
4.4.4.α Έργα αξιολόγησης της διαφοροποίησης των εννοιών του βάρους και της πυκνότητας στο ερωτηματολόγιο της ημιδομημένης συνέντευξης	143
4.4.4.β Έργα αξιολόγησης της κατανόησης της Στρατηγικής Ελέγχου Μεταβλητών στο ερωτηματολόγιο της ημιδομημένης συνέντευξης.....	144
4.4.4.γ Έργα αξιολόγησης της κατανόησης της φύσης και του ρόλου των μοντέλων στο ερωτηματολόγιο της ημιδομημένης συνέντευξης.....	145
5 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ.....	147
5.1 Εισαγωγή.....	147
5.2 Αποτελέσματα σχετικά με τη μάθηση στην πιλοτική εφαρμογή	147
5.2.1 Αποτελέσματα σχετικά με τις ερμηνείες για την πλεύση και τη βύθιση στην πιλοτική εφαρμογή.....	148
5.2.1.α Αποτελέσματα από τα γραπτά ερωτηματολόγια στην πιλοτική εφαρμογή	148
5.2.2 Αποτελέσματα σχετικά με την κατανόηση της πυκνότητας στην πιλοτική εφαρμογή	161
5.2.2.α Αποτελέσματα από τα γραπτά ερωτηματολόγια σχετικά με την κατανόηση της πυκνότητας ως ιδιότητας του υλικού στην πιλοτική εφαρμογή.....	161
5.2.2.β Αποτελέσματα από τις συνεντεύξεις σχετικά με τη διαφοροποίηση της πυκνότητας από το βάρος στην πιλοτική εφαρμογή.....	166
5.2.2.γ Σύνοψη των αποτελεσμάτων σχετικά με την κατανόηση της πυκνότητας στην πιλοτική εφαρμογή	166
5.2.3 Αποτελέσματα σχετικά με την κατανόηση της Στρατηγικής Ελέγχου Μεταβλητών στην πιλοτική εφαρμογή	168
5.2.3.α Αποτελέσματα από τα γραπτά ερωτηματολόγια σχετικά με την κατανόηση της ΣΕΜ στην πιλοτική εφαρμογή	168
5.2.3.β Αποτελέσματα από τις συνεντεύξεις σχετικά με την κατανόηση της ΣΕΜ στην πιλοτική εφαρμογή	171

5.2.3.γ Σύνοψη των αποτελεσμάτων σχετικά με την κατανόηση της ΣΕΜ στην πιλοτική εφαρμογή	174
5.2.4 Αποτελέσματα σχετικά με την κατανόηση της φύσης και του ρόλου των μοντέλων στην πιλοτική εφαρμογή.....	175
5.2.4.α Αποτελέσματα από τα γραπτά ερωτηματολόγια σχετικά με την κατανόηση της φύσης και του ρόλου των μοντέλων στην πιλοτική εφαρμογή.....	175
5.2.4.β Αποτελέσματα από τις συνεντεύξεις σχετικά με την κατανόηση της φύσης και του ρόλου των μοντέλων στην πιλοτική εφαρμογή.....	176
5.2.4.γ Σύνοψη των αποτελεσμάτων σχετικά με την κατανόηση της φύσης και του ρόλου των μοντέλων στην πιλοτική εφαρμογή	178
5.3 Η διαδικασία βελτίωσης της ΔΜΣ.....	179
5.3.1 Ερμηνείες φαινομένων Π/Β.....	180
5.3.1.1 Π/Β, Σύνδεση μεταξύ των ερμηνειών σε πραγματικά και προσομοιωμένα πειράματα.....	180
5.3.1.2 Π/Β, Μείωση του χρόνου που αφιερώνεται σε δραστηριότητες εξοικείωσης.....	182
5.3.2 Πυκνότητα ως ιδιότητα των υλικών.....	183
5.3.2.1 Πυκνότητα, Έμφαση στη διάκριση μεταξύ ομογενών και σύνθετων αντικειμένων.....	183
5.3.3 Δεξιότητες Διερεύνησης - Στρατηγική Ελέγχου Μεταβλητών (ΣΕΜ).....	186
5.3.3.1 ΣΕΜ, Βαθμιαία μείωση της υποστήριξης στη διερεύνηση	186
5.3.3.2 ΣΕΜ, Έμφαση στη διαδικασία εξαγωγής συμπεράσματος.....	188
5.3.3.3 ΣΕΜ, Αλλαγή στη σειρά των υπό έλεγχο μεταβλητών	190
5.3.3.4 ΣΕΜ, Δύο δοκιμές αντί για τρεις	192
5.3.3.5 ΣΕΜ, Αλλαγές στα διδακτικά υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάδειξη των μεταβλητών που πιθανόν επηρεάζουν το φαινόμενο Π/Β	194
5.3.3.6 Δεξιότητες διερεύνησης, Συγκεκριμένες θεματικές διερεύνησης.....	196
5.3.4 Μοντέλα και μοντελοποίηση	198
5.3.4.1 Μοντέλα, Βαθμιαία εισαγωγή στα μοντέλα.....	198
5.3.4.2 Μοντέλα, Αλλαγές στη δραστηριότητα για τη γενίκευση του κριτηρίου πρόβλεψης της Π/Β.....	200
5.3.4.3 Μοντέλα, Έμφαση στο ίδιο μέγεθος των κύβων στο μοντέλο «τελίτσες-στο-κυβάκι»	202
5.3.4.4 Μοντέλα, Αλλαγή στον κύβο του αέρα στο μοντέλο «τελίτσες-στο-κυβάκι»	202
5.3.4.5 Μοντέλα, Διεύρυνση της έννοιας της λύσης ενός τεχνολογικού προβλήματος	203
5.3.4.6 Μοντέλα, Έμφαση στη διαφορά μεταξύ του μοντέλου και του στόχου που αναπαριστά	204
5.4 Αποτελέσματα σχετικά με τη μάθηση στην κανονική εφαρμογή.....	207
5.4.1 Αποτελέσματα σχετικά με τις ερμηνείες για την πλεύση και τη βύθιση στην κανονική εφαρμογή.....	207
5.4.1.α Αποτελέσματα από τα γραπτά ερωτηματολόγια στην κανονική εφαρμογή	207
5.4.2 Αποτελέσματα σχετικά με την κατανόηση της πυκνότητας στην κανονική εφαρμογή.....	231
5.4.2.α Αποτελέσματα από τα γραπτά ερωτηματολόγια σχετικά με την κατανόηση της πυκνότητας ως ιδιότητας του υλικού στην κανονική εφαρμογή.....	231

5.4.2.β Αποτελέσματα από τις συνεντεύξεις σχετικά με τη διαφοροποίηση της πυκνότητας από το βάρος στην κανονική εφαρμογή.....	237
5.4.2.γ Σύνοψη των αποτελεσμάτων σχετικά με την κατανόηση της πυκνότητας στην κανονική εφαρμογή	243
5.4.3 Αποτελέσματα σχετικά με την κατανόηση της Στρατηγικής Ελέγχου Μεταβλητών στην κανονική εφαρμογή	243
5.4.3.α Αποτελέσματα από τα γραπτά ερωτηματολόγια σχετικά με την κατανόηση της ΣΕΜ στην κανονική εφαρμογή	243
5.4.3.β Αποτελέσματα από τις συνεντεύξεις σχετικά με την κατανόηση της ΣΕΜ στην κανονική εφαρμογή	252
5.4.3.γ Σύνοψη των αποτελεσμάτων σχετικά με την κατανόηση της Στρατηγικής Ελέγχου Μεταβλητών στην κανονική εφαρμογή	267
5.4.4 Αποτελέσματα σχετικά με την κατανόηση της φύσης και του ρόλου των μοντέλων στην κανονική εφαρμογή	268
5.4.4.α Αποτελέσματα από τα γραπτά ερωτηματολόγια σχετικά με την κατανόηση της φύσης και του ρόλου των μοντέλων στην κανονική εφαρμογή	268
5.4.4.β Αποτελέσματα από τις συνεντεύξεις σχετικά με την κατανόηση της φύσης και του ρόλου των μοντέλων στην κανονική εφαρμογή.....	275
5.4.4.γ Σύνοψη των αποτελεσμάτων σχετικά με την κατανόηση της φύσης και του ρόλου των μοντέλων στην κανονική εφαρμογή.....	282
5.5 Σύγκριση των αποτελεσμάτων μεταξύ πιλοτικής και κανονικής εφαρμογής για τον έλεγχο της βελτίωσης της ΔΜΣ.....	283
5.6 Αποτελέσματα από την Ανάλυση Διαδρομών (Path Analysis).....	286
5.7 Μαθησιακά μονοπάτια και τεκμήρια μάθησης: τρεις μελέτες περίπτωσης	291
5.7.1 Εισαγωγή – περιγραφή της μεθόδου	291
5.7.2 Πρώτη μελέτη περίπτωσης – Μαθητής 31	294
5.7.2.1 Ερμηνείες για την Π/Β	294
5.7.2.2 Πυκνότητα ως ιδιότητα των υλικών	298
5.7.2.3 Στρατηγική Ελέγχου Μεταβλητών (ΣΕΜ)	301
5.7.2.4 Φύση και ρόλος των μοντέλων	304
5.7.2.5 Σύνοψη για τον μαθητή 31 (συσχετιστικός αιτιακός συλλογισμός στην Π/Β, εντατικότητα της πυκνότητας και διαφοροποίηση από το βάρος, κατανόηση της ΣΕΜ, κατανόηση περί μοντέλων)	307
5.7.3 Δεύτερη μελέτη περίπτωσης – Μαθητής 29.....	308
5.7.3.1 Ερμηνείες για την Π/Β	308
5.7.3.2 Πυκνότητα ως ιδιότητα των υλικών	310
5.7.3.3 Στρατηγική Ελέγχου Μεταβλητών (ΣΕΜ)	311
5.7.3.4 Φύση και ρόλος των μοντέλων	314
5.7.3.5 Σύνοψη για τον μαθητή 29 (γραμμικός αιτιακός συλλογισμός στην Π/Β βασισμένος στο υλικό, εκτατικότητα - εντατικότητα της πυκνότητας, αδυναμία κατανόησης της ΣΕΜ, κατανόηση περί μοντέλων)	316
5.7.4 Τρίτη μελέτη περίπτωσης – Μαθητής 07.....	318
5.7.4.1 Ερμηνείες για την Π/Β	318
5.7.4.2 Πυκνότητα ως ιδιότητα των υλικών	320
5.7.4.3 Στρατηγική Ελέγχου Μεταβλητών (ΣΕΜ)	322
5.7.4.4 Φύση και ρόλος των μοντέλων	325

5.7.4.5 Σύνοψη για τον μαθητή 07 (ερμηνευτικό μοντέλο για την Π/Β βασισμένο στο βάρος του αντικειμένου, εκτατικότητα της πυκνότητας, αδυναμία κατανόησης της ΣΕΜ, αδυναμία κατανόησης περί μοντέλων)	327
6 ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	329
6.1 Εισαγωγή.....	329
6.2 Αποτελεσματικότητα της ΔΜΣ	329
6.2.1 Συζήτηση των αποτελεσμάτων σχετικά με τις ερμηνείες για την Π/Β	329
6.2.2 Συζήτηση των αποτελεσμάτων σχετικά με την εννοιολογική κατανόηση της πυκνότητας.....	332
6.2.3 Συζήτηση των αποτελεσμάτων σχετικά με την κατανόηση της ΣΕΜ.....	333
6.2.4 Συζήτηση των αποτελεσμάτων σχετικά με την κατανόηση της φύσης και του ρόλου των μοντέλων.....	335
6.2.5 Συζήτηση των αποτελεσμάτων από την Ανάλυση Διαδρομών.....	339
6.3 Η διαδικασία βελτίωσης της ΔΜΣ.....	343
6.3.1 Οι βελτιωτικές αλλαγές και το περιεχόμενο με το οποίο σχετίζονται	343
6.3.2 Οι βελτιωτικές αλλαγές και οι κύριες πηγές δεδομένων που τις ανέδειξαν.....	344
6.3.3 Οι βελτιωτικές αλλαγές και οι παράγοντες που τις καθοδήγησαν	345
6.3.4 Τοπικές – Καθοδηγητικές και Ολιστικές – Ανοιχτές βελτιωτικές αλλαγές.....	347
7 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....	351
7.1 Εισαγωγή.....	351
7.2 Συμπεράσματα της έρευνας.....	351
7.3 Περιορισμοί της έρευνας.....	353
7.4 Πρωτοτυπία της έρευνας.....	353
7.5 Προεκτάσεις της έρευνας.....	354
8 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	357
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	375
A Ακρωνύμια.....	375
B Ερωτηματολόγια.....	376
B.1 Έργα γραπτών ερωτηματολογίων της πιλοτικής τα οποία τροποποιήθηκαν στην κανονική εφαρμογή.....	378
B.2 Έργα γραπτών ερωτηματολογίων κανονικής εφαρμογής.....	381
B.3 Ημιδομημένο ερωτηματολόγιο Μετά – Συνέντευξης (ΜετάΣΕΚ).....	392
Γ Στατιστική ανάλυση - Διαγράμματα	400
Δ Μοντέλα που χρησιμοποιήθηκαν στη ΔΜΣ.....	405
Ε Το λογισμικό της ΔΜΣ στην κανονική εφαρμογή.....	406

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα εργασία διαπραγματεύεται α) την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας μιας ΔΜΣ που αναπτύχθηκε και εφαρμόστηκε στο πλαίσιο του ευρωπαϊκού προγράμματος Materials Science, και β) την ανάδειξη και ερμηνεία της κυκλικής εξελικτικής διαδικασίας βελτίωσής της. Ειδικότερα, όσον αφορά την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας διερευνάται ο βαθμός στον οποίο η κατανόηση της επιστημολογικής γνώσης (στοιχεία της φύσης των μοντέλων και του συλλογισμού της στρατηγικής ελέγχου μεταβλητών) μπορεί να επηρεάσει την εννοιολογική κατανόηση της πυκνότητας καθώς και τις ερμηνείες των μαθητών στα φαινόμενα της πλεύσης και της βύθισης. Επίσης, σχετικά με την ανάδειξη και ερμηνεία της διαδικασίας βελτίωσης της ΔΜΣ, στόχος είναι να περιγραφούν οι βελτιωτικές αλλαγές που πραγματοποιήθηκαν από την πιλοτική στην κανονική εφαρμογή της ΔΜΣ, καθώς και να διερευνηθούν οι παράγοντες που τις καθόρισαν. Η ΔΜΣ υιοθέτησε μια διδακτική μέθοδο βασισμένη στη Διερεύνηση (IBSE) στο πλαίσιο του κοινωνικού εποικοδομητισμού, με την έννοια ότι έδωσε έμφαση στη μάθηση η οποία πραγματοποιείται καθώς οι μαθητές εργάζονται και οικοδομούν τη νέα γνώση στο περιβάλλον μιας ομάδας και στο σύνολο μιας τάξης.

Κύριο ερευνητικό εργαλείο για την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας της ΔΜΣ ήταν το γραπτό ερωτηματολόγιο. Οι απαντήσεις των μαθητών στα έργα του γραπτού ερωτηματολογίου, ομαδοποιήθηκαν με τη μέθοδο της συνεχούς σύγκρισης της Θεμελιωμένης θεωρίας λαμβάνοντας ταυτόχρονα υπόψη τις κατηγορίες που βρέθηκαν στη σχετική βιβλιογραφία. Τα αποτελέσματα αυτής της ποιοτικής ανάλυσης χρησιμοποιήθηκαν για την ποσοτική ανάλυση των μαθησιακών αποτελεσμάτων με στόχο από τη μία τη σύγκριση της τελικής γνωστικής κατάστασης των μαθητών με την αρχική, και από την άλλη τη διερεύνηση των σχέσεων μεταξύ της εννοιολογικής κατανόησης και της κατανόησης της επιστημολογικής γνώσης.

Η ερευνητική μέθοδος που ακολουθήσαμε για την ανάλυση της διαδικασίας βελτίωσης της ΔΜΣ από την πιλοτική στην κανονική εφαρμογή βασίστηκε στο θεωρητικό πλαίσιο του Pickering (1995) όπως αυτό προσαρμόστηκε και εξειδικεύτηκε στο χώρο της ΔΦΕ. Το μοντέλο του Pickering περιγράφει τη διαδικασία με την οποία μια ερευνητική ομάδα της ΔΦΕ, σχεδιάζει και αναπτύσσει μια ΔΜΣ μέσα από το σχήμα *στόχος-αντίσταση-προσαρμογή*. *Στόχο* αποτελεί κάθε διδακτικός στόχος ή / και κάθε αναμενόμενο μαθησιακό αποτέλεσμα. *Αντίσταση* αποτελεί κάθε δυσκολία στην διαδικασία σχεδιασμού, ανάπτυξης και εφαρμογής της ΔΜΣ.

Προσαρμογή αποτελεί κάθε βελτιωτική αλλαγή που έχει σκοπό να ξεπεραστεί μια αντίσταση.

Σχετικά με την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας της ΔΜΣ προέκυψαν τα εξής αποτελέσματα. Υπήρξε στατιστικά σημαντική βελτίωση σε όλες τις περιοχές μάθησης, αμέσως μετά την παρέμβαση. Η βελτίωση δε αυτή, διατηρήθηκε και επτά μήνες μετά την παρέμβαση. Επιπλέον, από τον συνδυασμό των αποτελεσμάτων που προέκυψαν με τη στατιστική τεχνική Ανάλυσης Διαδρομών (Path Analysis) και με την ποιοτική ανάλυση ανάδειξης μαθησιακών μονοπατιών αναδείχθηκε η σημασία της διδασκαλίας και της κατανόησης της επιστημολογικής γνώσης (ΣΕΜ και Μ) στην εννοιολογική κατανόηση της πυκνότητας και του φαινομένου της Π/Β. Τέλος, φάνηκε ότι η αλλαγή οντολογικής κατηγορίας της έννοιας της πυκνότητας παίζει καθοριστικό ρόλο στη βελτίωση του εξηγητικού πλαισίου των φαινομένων Π/Β.

Σχετικά με τη διαδικασία βελτίωσης της ΔΜΣ προέκυψαν τα εξής. Οι περισσότερες βελτιωτικές αλλαγές που πραγματοποιήθηκαν στη ΔΜΣ, από την πιλοτική στην κανονική εφαρμογή, σχετίζονταν με την επιστημολογική γνώση δηλαδή τη μέθοδο ΣΕΜ και τη φύση και το ρόλο των μοντέλων, ενώ λίγες ήταν οι αλλαγές σχετικά με την Π/Β ή την πυκνότητα. Οι ερευνητές είχαν τον κύριο ρόλο στον σχεδιασμό και την ανάπτυξη της ΔΜΣ και μάλιστα κυρίως στις καινοτομίες που εισάγονται με αυτήν, όπως είναι η διερεύνηση και η μοντελοποίηση. Από την άλλη, οι δάσκαλοι ενώ συμμετέχουν στις διαδικασίες, στοιχείο που από μόνο του είναι σημαντικό, η συμμετοχή τους είναι δευτερεύουσα, κυρίως λόγω έλλειψης εμπειριών σχετικά με τα καινοτομικά στοιχεία της σειράς και κατάλληλου υπόβαθρου. Ο παράγοντας που καθόρισε την πλειοψηφία των βελτιωτικών αλλαγών ήταν ο εκπαιδευτικός. Στις περιπτώσεις αυτές οι αλλαγές χαρακτηρίζονται ως *τοπικές – καθοδηγητικές*. Αντίθετα, οι λίγες αλλαγές, οι οποίες είτε εν μέρει είτε πλήρως καθοδηγήθηκαν από τον επιστημονικό παράγοντα, χαρακτηρίζονται ως *ολιστικές – ανοιχτές*.

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Προβληματισμός

Η παρούσα έρευνα πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο του προγράμματος Materials Science με τίτλο «Συνεργασία πανεπιστημίου – σχολείου για το σχεδιασμό και την εφαρμογή μαθημάτων σχετικά με τις ιδιότητες των υλικών, που είναι υποβοηθούμενα από ΤΠΕ και αποτελούν προϊόντα έρευνας», το οποίο χρηματοδοτήθηκε από την ΕΕ (Αριθμός συμβολαίου: SAS6-CT-2006-042942; 2007 – 09). Ο ερευνητής ήταν μέλος της ερευνητικής ομάδας Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών του Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας (ΠΑΔΥΜΑΚ), η οποία ήταν μία από τις έξι ομάδες από πέντε ευρωπαϊκές χώρες, οι οποίες συγκροτούσαν την ερευνητική ομάδα του προγράμματος Materials Science. Το πρόγραμμα αυτό αναπτύχθηκε στο πλαίσιο του προγράμματος Φυσικές Επιστήμες και Κοινωνία, FP6, βασικός στόχος του οποίου ήταν η αλλαγή των στάσεων και του ενδιαφέροντος των ευρωπαϊών μαθητών/τριών (στη συνέχεια θα αναφέρεται μόνο το αρσενικό γένος, ενώ το θηλυκό γένος θα εννοείται, για λόγους συντομίας) απέναντι στις ΦΕ και την Τεχνολογία, και για λόγους καριέρας. Ο βασικός στόχος του προγράμματος Materials Science ήταν η δημιουργία ενός μηχανισμού για την ενσωμάτωση των αποτελεσμάτων της έρευνας, η οποία πραγματοποιείται στον τομέα της εκπαίδευσης των ΦΕ, στη σχολική πρακτική για μαθητές 10-15 ετών, στη γνωστική περιοχή των Ιδιοτήτων των Υλικών. Η ερευνητική ομάδα του ΠΑΔΥΜΑΚ δημιούργησε, εφάρμοσε και τροποποίησε τη Διδακτική Μαθησιακή Σειρά (ΔΜΣ), «Η πυκνότητα των υλικών σε φαινόμενα πλεύσης/βύθισης: πειραματικές διαδικασίες και μοντελοποίηση», μέσα από μια κυκλική εξελικτική διαδικασία. Ο σχεδιασμός και η ανάπτυξη της ΔΜΣ ακολούθησε συγκεκριμένες σχεδιαστικές αρχές, όπως για παράδειγμα ότι η διδασκαλία και η μάθηση είναι βασισμένη στη Διερεύνηση, και ότι όλη τη σειρά τη διατρέχει ένα σενάριο στο οποίο η τεχνολογική γνώση πλέκεται με την επιστημονική.

Οι ΔΜΣ είναι μεσαίας κλίμακας αναλυτικά προγράμματα (διάρκειας 5-15 ωρών) (Kariotoglou, 2002), οι οποίες αποτελούν προϊόντα *Αναπτυξιακής Έρευνας (Developmental Research)* (Lijnse, 1995). Αποτελούν δε, μία από τις σημαντικές περιοχές έρευνας στη ΔΦΕ τις τελευταίες τρεις δεκαετίες. Πιο συγκεκριμένα, η έρευνα αυτή αφορά στο σχεδιασμό, ανάπτυξη, εφαρμογή και αξιολόγηση των ΔΜΣ (Duit, 1999, Lijnse, 1995, Méheut & Psillos, 2004) και έχει προκύψει ως αποτέλεσμα της έρευνας που κυριάρχησε τη δεκαετία του '80, σχετικά με τις εναλλακτικές ιδέες

των μαθητών γύρω από διάφορα φυσικά φαινόμενα, καθώς και της επικράτησης του εποικοδομητισμού, εκείνη την περίοδο, στη διδασκαλία και μάθηση των ΦΕ (Méhaut & Psillos, 2004).

Σχετικά με την *αξιολόγηση* της αποτελεσματικότητας μιας ΔΜΣ, στη βιβλιογραφία παρουσιάζονται κυρίως δύο μεθοδολογικές προσεγγίσεις (Méhaut & Psillos, 2004): α) συγκρίνοντας την τελική με την αρχική γνωστική κατάσταση των μαθητών (final and initial cognitive state), και β) αναδεικνύοντας τα γνωστικά μαθησιακά μονοπάτια (cognitive learning pathways) (Petri & Niedderer, 1998, Psillos & Kariotoglou, 1999) που ακολουθούν οι μαθητές κατά τη διάρκεια της διδακτικής-μαθησιακής διαδικασίας.

Από την άλλη, παρόλο που όλοι οι ερευνητές συμφωνούν ότι οι ΔΜΣ χαρακτηρίζονται από κυκλική, σταδιακή και εξελικτική διαδικασία αναθεώρησης βασισμένη σε ερευνητικά αποτελέσματα (Lijnse, 1995, Duit, 1999, Méhaut & Psillos, 2004), στη σχετική βιβλιογραφία, παρατηρείται απουσία συστηματικής ανάλυσης, περιγραφής και ερμηνείας των δεδομένων που προκύπτουν από τη διαδικασία βελτίωσης μιας ΔΜΣ από τη μία φάση εφαρμογής της στην επόμενη.

Με βάση τα παραπάνω, στην παρούσα έρευνα σκοπεύουμε να αξιολογήσουμε την αποτελεσματικότητα της ΔΜΣ που αναπτύχθηκε και εφαρμόστηκε στο πλαίσιο του προγράμματος, καθώς επίσης να αναδείξουμε και να ερμηνεύσουμε τη διαδικασία βελτίωσής της. Ειδικότερα, όσον αφορά την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας θα διερευνήσουμε το βαθμό στον οποίο βελτιώθηκε η κατανόηση των μαθητών, σχετικά με το περιεχόμενο που διαπραγματεύεται η ΔΜΣ, και θα γίνει προσπάθεια ερμηνείας αυτής της βελτίωσης. Επίσης, σχετικά με την ανάδειξη και ερμηνεία της διαδικασίας βελτίωσης της ΔΜΣ, στόχος είναι να περιγράψουμε τις βελτιωτικές αλλαγές που πραγματοποιήθηκαν από την πιλοτική στην κανονική εφαρμογή της ΔΜΣ, καθώς και να διερευνήσουμε τους παράγοντες που τις καθόρισαν.

1.2 Δομή της έρευνας

Η παρούσα διδακτορική διατριβή αναπτύσσεται σε επτά κεφάλαια:

Στο παρόν **πρώτο κεφάλαιο**, την εισαγωγή, έγινε καταρχήν μια σύντομη αναφορά στο ευρωπαϊκό πρόγραμμα Materials Science, στο πλαίσιο του οποίου πραγματοποιήθηκε η παρούσα διδακτορική διατριβή. Ακολούθησε μια σύντομη παρουσίαση της ερευνητικής δραστηριότητας που αναπτύχθηκε τις τελευταίες τρεις δεκαετίες σχετικά με την περιγραφή και ανάλυση της διαδικασίας σχεδιασμού και ανάπτυξης μιας ΔΜΣ καθώς και της αξιολόγησής της, ενώ σημειώθηκε η απουσία συστηματικής ανάλυσης, περιγραφής και ερμηνείας των δεδομένων από τη διαδικασία βελτίωσης μιας ΔΜΣ από τη μία φάση εφαρμογής της στην επόμενη. Αναδείχθηκε η αναγκαιότητα της συγκεκριμένης έρευνας, προκειμένου, από τη μία, να αξιολογηθεί η αποτελεσματικότητα της ΔΜΣ που αναπτύχθηκε και εφαρμόστηκε στο πλαίσιο του προγράμματος, και από την άλλη να αναδειχθεί και να ερμηνευτεί η διαδικασία βελτίωσής της. Τέλος, οριοθετήθηκε το αντικείμενο της διατριβής στις εξής περιοχές: την επισκόπηση της σχετικής βιβλιογραφίας, την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας της ΔΜΣ και την ανάλυση, περιγραφή και ερμηνεία της διαδικασίας βελτίωσής της.

Στο **δεύτερο κεφάλαιο**, καταρχήν, παρουσιάζεται το αποτέλεσμα της βιβλιογραφικής επισκόπησης σε σχέση με τις τέσσερις περιοχές διδασκαλίας και μάθησης που απασχολούν την παρούσα έρευνα. Οι περιοχές αυτές είναι η έννοια της πυκνότητας (ΠΥΚ), τα φαινόμενα πλεύσης και βύθισης (Π/Β), τα μοντέλα και η μοντελοποίηση (Μ) και τέλος η Στρατηγική Ελέγχου Μεταβλητών (ΣΕΜ). Πιο συγκεκριμένα: α) Μελετάται η έννοια της πυκνότητας και η θέση της στις ερμηνείες των φαινομένων της Π/Β. Επίσης, μελετώνται στοιχεία της διερεύνησης στις ΦΕ και στη διδασκαλία της, και πιο συγκεκριμένα στοιχεία σχετικά με τα μοντέλα και τη μοντελοποίηση καθώς και τη ΣΕΜ. β) Διερευνώνται οι ιδέες των μαθητών στις τέσσερις περιοχές διδασκαλίας και μάθησης, στις οποίες εστιάζει η παρούσα έρευνα. γ) Παρουσιάζονται σχετικές διδακτικές προτάσεις για κάθε μία από αυτές τις περιοχές διδασκαλίας και μάθησης. Επιπλέον, παρουσιάζονται τα θεωρητικά πλαίσια, που έχουν προταθεί, για την ανάλυση των διαδικασιών σχεδιασμού και ανάπτυξης μιας ΔΜΣ, καθώς και οι μεθοδολογικές προσεγγίσεις αξιολόγησης της αποτελεσματικότητας μιας ΔΜΣ, όπως καταγράφονται στη σχετική βιβλιογραφία.

Στο **τρίτο κεφάλαιο** περιγράφονται το πλαίσιο και οι σχεδιαστικές αρχές της Διδακτικής Μαθησιακής Σειράς (ΔΜΣ), η οποία σχεδιάστηκε και αναπτύχθηκε από

την ερευνητική ομάδα της Διδακτικής Φυσικών Επιστημών της Παιδαγωγικής Σχολής του ΠΑΔΥΜΑΚ. Ακολουθεί μια σύντομη περιγραφή των πέντε ενοτήτων της ΔΜΣ, όπως εφαρμόστηκε στην κανονική εφαρμογή. Συγκεκριμένα, παρουσιάζονται οι διδακτικοί στόχοι και οι δραστηριότητες κάθε ενότητας. Τέλος, παρατίθενται οι περιορισμοί του μετασχηματισμένου διδακτικά περιεχομένου της ΔΜΣ, οι οποίοι αφορούν κυρίως τις επιλογές που έγιναν σχετικά με το μοντέλο της έννοιας της πυκνότητας που χρησιμοποιήθηκε στην ερμηνεία και πρόβλεψη των φαινομένων Π/Β.

Στο **τέταρτο κεφάλαιο** διατυπώνεται ο σκοπός και τα ερευνητικά ερωτήματα, τα οποία καθοδήγησαν την έρευνα καθώς και οι ερευνητικές υποθέσεις, οι οποίες βοήθησαν στην ερμηνεία των αποτελεσμάτων. Ακολουθεί η περιγραφή του δείγματος. Περιγράφεται η μέθοδος της έρευνας, και συγκεκριμένα, η μέθοδος για την αξιολόγηση της μάθησης στη ΔΜΣ, καθώς και η μέθοδος για την ανάδειξη και την κατηγοριοποίηση των βελτιωτικών αλλαγών στη ΔΜΣ. Παρουσιάζονται τα εργαλεία της έρευνας, τα γραπτά ερωτηματολόγια και η ημιδομημένη συνέντευξη, καθώς και ο τρόπος ανάπτυξης των ερωτηματολογίων. Ακολουθεί η αναλυτική περιγραφή της διαδικασίας ανάλυσης των δεδομένων. Τέλος, περιγράφονται αναλυτικά τα έργα των ερωτηματολογίων.

Στο **πέμπτο κεφάλαιο** παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της έρευνας ανά περιοχή μάθησης. Αρχικά, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα σχετικά με τη μάθηση στην πιλοτική εφαρμογή. Ακολουθεί η περιγραφή των βελτιωτικών αλλαγών από την πιλοτική στην κανονική εφαρμογή της ΔΜΣ. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα σχετικά με τη μάθηση στην κανονική εφαρμογή και γίνεται σύγκριση των αποτελεσμάτων μεταξύ πιλοτικής και κανονικής εφαρμογής για τον έλεγχο βελτίωσης της ΔΜΣ. Παρουσιάζεται η εξέλιξη της δυναμικής των σχέσεων όσον αφορά στην κατανόηση μεταξύ των τεσσάρων περιοχών μάθησης της ΔΜΣ. Τέλος, περιγράφονται τα γνωστικά μαθησιακά μονοπάτια τριών μαθητών, σε όλες τις περιοχές μάθησης, ως μελέτες περίπτωσης.

Στο **έκτο κεφάλαιο** δίνονται απαντήσεις στα ερευνητικά ερωτήματα, τα οποία απασχόλησαν την έρευνά μας. Αυτό γίνεται μέσα από την επισήμανση, ερμηνεία και σύνδεση των αποτελεσμάτων με τη βιβλιογραφία, που έχει συζητηθεί στα προηγούμενα κεφάλαια της διατριβής.

Στο **έβδομο κεφάλαιο** παρουσιάζονται τα συμπεράσματα και οι περιορισμοί της παρούσας έρευνας. Επίσης, παρατίθεται η πρωτοτυπία της έρευνας, καθώς και σκέψεις για την εν δυνάμει συνέχιση και εξέλιξή της.

2 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζεται το αποτέλεσμα της βιβλιογραφικής επισκόπησης σε σχέση με τις τέσσερις περιοχές διδασκαλίας και μάθησης που απασχολούν την παρούσα έρευνα. Οι περιοχές αυτές είναι η έννοια της *πυκνότητας*, τα *φαινόμενα πλεύσης και βύθισης (Π/Β)*, τα *μοντέλα* και η *μοντελοποίηση* και τέλος η *Στρατηγική Ελέγχου Μεταβλητών (ΣΕΜ)*. Πιο συγκεκριμένα, η μελέτη της βιβλιογραφίας έγινε με τους εξής στόχους:

- Να μελετήσουμε την έννοια της πυκνότητας και τη θέση της στις ερμηνείες των φαινομένων της Π/Β. Επίσης, να μελετήσουμε στοιχεία της διερεύνησης στις ΦΕ και στη διδασκαλία της, και πιο συγκεκριμένα, στοιχεία σχετικά με τα μοντέλα και τη μοντελοποίηση καθώς και τη ΣΕΜ.
- Να διερευνήσουμε τις ιδέες των μαθητών στις τέσσερις περιοχές διδασκαλίας και μάθησης, στις οποίες εστιάζει η παρούσα έρευνα.
- Να διαπιστώσουμε την ύπαρξη σχετικών διδακτικών προτάσεων για κάθε μία από αυτές τις περιοχές διδασκαλίας και μάθησης.

2.1 Τα φαινόμενα της πλεύσης και της βύθισης και η πυκνότητα

2.1.1 Εισαγωγή

Στην ενότητα αυτή, κάνοντας μια ιστορική ανασκόπηση, παρουσιάζουμε τρεις εναλλακτικές επιστημονικές θεωρίες για την πλεύση και τη βύθιση (Π/Β), και πιο συγκεκριμένα τη *θεωρία του Αρχιμήδη*, τη *θεωρία του Γαλιλαίου* και αυτή των *σύγχρονων επιστημόνων*. Στη συνέχεια, παρουσιάζουμε την επιστημονική άποψη για την έννοια της *πυκνότητας* η οποία, παρόλο που δεν χρησιμοποιήθηκε σε καμία από τις τρεις επιστημονικές θεωρίες για την ερμηνεία της Π/Β, είναι κεντρική έννοια στην Πιαζετιανή προσέγγιση για τη διδασκαλία του φαινομένου. Η Πιαζετιανή προσέγγιση για τη διδασκαλία της Π/Β παρουσιάζεται αναλυτικά στην ενότητα 2.1.3.

Ο Αρχιμήδης έκανε τις παρακάτω παραδοχές. Θεώρησε ότι ένα υγρό είναι συνεχές και ομογενές, και ότι κάθε μέρος του δέχεται μια κάθετη δύναμη από τα μέρη του υγρού που είναι από πάνω του. Επίσης, όρισε ότι ένα υγρό βρίσκεται σε ισορροπία, όταν κανένα από τα μέρη του δεν βρίσκεται σε κίνηση. Σύμφωνα με το ερμηνευτικό μοντέλο του Αρχιμήδη, ένα αντικείμενο που επιπλέει σε ένα άπειρο δοχείο διατηρεί

την κατάσταση της πλεύσης του γιατί το βάρος του αντικειμένου αντισταθμίζεται από το βάρος του υγρού που εκτοπίστηκε από το βυθιζόμενο μέρος του αντικειμένου. Επίσης, το βάρος του εκτοπιζόμενου υγρού είναι ίσο με το βάρος του αντικειμένου που επιπλέει στο υγρό αυτό (Snir, 1991).

Ο Αρχιμήδης δεν όρισε, ούτε χρησιμοποίησε, την αφηρημένη έννοια του όγκου ή τις εντατικές έννοιες της πίεσης και της πυκνότητας. Όταν συνέκρινε τα βάρη δύο αντικειμένων του ίδιου όγκου τα περιέγραφε ως δύο αντικείμενα όμοια στο σχήμα. Όταν έπρεπε να συγκρίνει πιέσεις σε διαφορετικές περιοχές ενός επιπέδου του υγρού, παράλληλα με την επιφάνεια του, συνέκρινε τα βάρη δύο όμοιων σχημάτων πάνω από δύο όμοιες περιοχές του επιπέδου αυτού. Η πυκνότητα δεν ορίστηκε αλλά ούτε και αναφέρθηκε από τον Αρχιμήδη. Χρησιμοποίησε τη λέξη ελαφρύτερο εκεί που σήμερα θα λέγαμε λιγότερο πυκνό, εννοώντας εδώ ότι το βάρος ήταν μικρότερο από αυτό που είχε ένα άλλο αντικείμενο όμοιου σχήματος. Έτσι η έννοια κλειδί της πυκνότητας υπονοήθηκε με τη σύγκριση των βαρών όμοιων αντικειμένων, και όχι με τη σύγκριση κάποιων αφηρημένων εννοιών, όπως η πυκνότητα ή το ειδικό βάρος. Η μόνη έννοια που χρησιμοποίησε ο Αρχιμήδης στον νόμο του για την πλεύση ήταν το βάρος (Snir, 1991).

Το μοντέλο του Αρχιμήδη παρόλα αυτά δεν μπορεί να ερμηνεύσει το φαινόμενο της Π/Β στην περίπτωση που το δοχείο είναι πεπερασμένο. Ας φανταστούμε την περίπτωση όπου ένα αντικείμενο επιπλέει σε μια μικρή ποσότητα υγρού, η οποία βρίσκεται σε ένα δοχείο που έχει περίπου τις ίδιες διαστάσεις με το αντικείμενο. Παρόλο που αυτή η κατάσταση είναι δυνατό να πραγματοποιηθεί πειραματικά, είναι αδύνατο να βρεθεί το *εξισορροπητικό βάρος* που προτείνει το μοντέλο του Αρχιμήδη, ώστε να εξηγηθεί η επίπλευσή του, διότι η συνολική ποσότητα του υγρού στο δοχείο ζυγίζει λιγότερο από το αντικείμενο. Ο Αρχιμήδης θα θεωρούσε ότι σε αυτήν την περίπτωση το αντικείμενο δεν μπορεί να επιπλέει, αφού, σύμφωνα με το μοντέλο του, ένα αντικείμενο επιπλέει, όταν το βάρος του εκτοπιζόμενου υγρού είναι ίσο με το βάρος του σώματος που επιπλέει. Σε αυτήν την περίπτωση, ούτε ολόκληρη η ποσότητα του υγρού ζυγίζει αρκετά για να ισορροπήσει το αντικείμενο.

Ο Γαλιλαίος προσπάθησε να ανασχηματίσει το επεξηγηματικό σύστημα του Αρχιμήδη προσθέτοντας νέες φυσικές έννοιες με τις οποίες να ερμηνευτεί η πλεύση και σε πεπερασμένο δοχείο (Drake, 1981). Έχει ενδιαφέρον να παρακολουθήσουμε τη διαφωνία που δημιουργήθηκε μεταξύ του Γαλιλαίου και των Αριστοτελικών φιλόσοφων, η οποία αφορούσε στη φύση του νερού και του πάγου. Σύμφωνα με τη

θεωρία του Αριστοτέλη για τη συμπύκνωση και την αραιώση, το κρύο έχει τη δύναμη να συμπυκνώνει το νερό, ένα από τα τέσσερα *στοιχεία* του Αριστοτέλη. Σύμφωνα με αυτή τη λογική, μια ποσότητα πάγου θα έπρεπε να ζυγίζει περισσότερο από μια ποσότητα ίσου όγκου νερού. Σύμφωνα με τη θεωρία του Αρχιμήδη όμως ο πάγος, αφού επιπλέει στο νερό, θα έπρεπε να ζυγίζει λιγότερο από ό,τι ζυγίζει μια ποσότητα νερού ίσου όγκου. Οι Αριστοτελικοί φιλόσοφοι, για να ξεπεράσουν αυτή τη δυσκολία, ισχυρίζονταν αντίθετα ότι ο πάγος επιπλέει στο νερό λόγω του σχήματός του. Ως πειραματικό τεκμήριο για την άποψή τους έφεραν το παράδειγμα ενός κομματιού από έβανο το οποίο βυθίζεται όταν είναι σε σχήμα μπάλας, ενώ επιπλέει, όταν είναι σε σχήμα επίπεδης οριζόντιας φέτας. Με αυτό τον τρόπο εφαρμόζαν, σε αυτήν την περίπτωση, άλλο ερμηνευτικό μοντέλο από αυτό που ήταν γενικότερα αποδεκτό εκείνη την εποχή για την ερμηνεία του φαινομένου Π/Β, δηλαδή το μοντέλο του Αρχιμήδη. Εκτός αυτής της ασυνέπειας, γνωρίζουμε επίσης ότι η ερμηνεία του φαινομένου Π/Β που στηρίζεται στο σχήμα του αντικειμένου αποτελεί και σήμερα μια ευρέως διαδεδομένη εναλλακτική ιδέα (Driver, Squires, Rushworth & Wood-Robinson, 1998).

Ο Γαλιλαίος έκανε τέσσερις σημαντικές παραδοχές οι οποίες οδήγησαν σε ένα νέο ερμηνευτικό μοντέλο της πλευσης, που εξηγεί και την περίπτωση της πλευσης σε πεπερασμένο δοχείο (Drake, 1981). Πρώτον, διαχώρισε το φαινόμενο της επίπλευσης από το φαινόμενο στο οποίο ένα αντικείμενο στέκεται πάνω σε ένα υγρό. Το δεύτερο φαινόμενο σήμερα το περιγράφουμε με την έννοια της *επιφανειακής τάσης*. Η προϋπόθεση που πρώτος έθεσε, ώστε να θεωρείται ότι ένα σώμα επιπλέει, ήταν να είναι αρχικά όλο βυθισμένο μέσα στο υγρό.

Δεύτερον, διαχώρισε τις έννοιες του *βάρους* και του *ειδικού βάρους*. Το ειδικό βάρος δεν ορίστηκε με την αυστηρή μαθηματική σχέση που είναι γνωστή σήμερα μεταξύ του βάρους και του όγκου ($\epsilon = \text{Βάρος} / \text{Όγκος}$), αλλά χρησιμοποιήθηκε ώστε να βρίσκει κανείς εάν δύο υλικά είχαν ίσα ή άνισα ειδικά βάρη. Έτσι ο Γαλιλαίος, αντίθετα από τον Αρχιμήδη, χρησιμοποίησε δύο διαφορετικούς όρους για να διαφοροποιήσει αυτές τις δύο ποσότητες. Παρόλα αυτά, ούτε αυτός όρισε την έννοια της πυκνότητας ως μια αφηρημένη, μετρήσιμη, εντατική φυσική έννοια που αναπαριστά το βάρος ενός αντικειμένου σε σχέση με τον όγκο του.

Τρίτον, ισχυρίστηκε ότι όταν ένα αντικείμενο επιπλέει σε ένα πεπερασμένο δοχείο, η ποσότητα του υγρού που εκτοπίζεται δεν είναι ίση με τον όγκο του μέρους του στερεού σώματος που βυθίστηκε, αλλά ίσο μόνο με το μέρος εκείνο του αντικειμένου

το οποίο κατά τη διαδικασία της βύθισης κατεβαίνει κάτω από το αρχικό επίπεδο ηρεμίας της επιφάνειας του νερού. Στην περίπτωση του άπειρου δοχείου δεν υπάρχει διαφορά μεταξύ του αρχικού και του τελικού επιπέδου ηρεμίας.

Τέλος, χρησιμοποίησε στην ερμηνεία της Π/Β μια πρόδρομη έννοια της πίεσης, την έννοια *moment*. Αρχικά, εξήγησε το υδροστατικό παράδοξο κάνοντας χρήση αυτής της έννοιας με μια ερμηνεία η οποία παραπέμπει στη σημερινή εξήγηση του υδραυλικού πιεστηρίου με την έννοια της πίεσης και τις δύο επιφάνειες, μια μικρή και μια μεγάλη (Drake, 1981). Με βάση αυτήν την ερμηνεία εξήγησε και την περίπτωση της πλεύσης σε πεπερασμένο δοχείο. Και οι δύο πάντως (Αρχιμήδης και Γαλιλαίος) χρησιμοποίησαν μοντέλα που στηρίζονται σε μια διαδικασία ισορροπίας. Απλά, στην περίπτωση του Γαλιλαίου η ισορροπία δεν ήταν μεταξύ βαρών αλλά μεταξύ ποσοτήτων *moments* που λειτουργούσαν σαν πιέσεις.

Η σύγκριση των εργασιών του Γαλιλαίου και του Αρχιμήδη δίνει ένα πολύ καλό παράδειγμα του τρόπου με τον οποίο αλλάζει η ερμηνεία για την Π/Β καθώς εξελίσσονται οι έννοιες. Οι δύο θεωρίες διαφέρουν στις έννοιές τους, στην έκταση των φαινομένων που εξηγούν, και στα μοντέλα τους.

Ένα τρίτο ερμηνευτικό μοντέλο για την Π/Β, αυτό των σύγχρονων επιστημόνων, στηρίζεται και πάλι σε μια διαδικασία ισορροπίας χρησιμοποιώντας αυτή τη φορά την έννοια της ενέργειας. Στην περίπτωση αυτή, η ισορροπία υπάρχει μεταξύ των σχετικών ενεργειών του αντικειμένου και του υγρού. Έτσι, με βάση αυτό το μοντέλο, η ισορροπία επέρχεται, όταν η ενέργεια που έχει χάσει το αντικείμενο που βυθίζεται είναι ίση με την ενέργεια που έχει κερδίσει το υγρό που ανεβαίνει προς τα πάνω. Τότε το σύστημα αντικείμενο-υγρό έχει την ελάχιστη ολική ενέργεια. Εάν αυτό συμβεί πριν βυθιστεί ολόκληρο το αντικείμενο στο υγρό, τότε το αντικείμενο θα επιπλεύσει. Η θεώρηση αυτή είναι γενικότερη των άλλων δύο. Από τη μαθηματική της έκφραση μπορούν να εξαχθούν οι νόμοι του Αρχιμήδη. Επίσης, το μοντέλο αυτό μπορεί να εξηγήσει τη συμπεριφορά αντικειμένων που βυθίζονται ή επιπλέουν σε ένα υγρό και πραγματοποιούν σύνθετη κίνηση, π.χ. ταλάντωση.

Συνοψίζοντας, τα τρία επεξηγηματικά συστήματα για την Π/Β που παρουσιάσαμε παραπάνω έχουν τα εξής χαρακτηριστικά: Ο Αρχιμήδης χρησιμοποίησε τη λέξη ελαφρύτερο (*lighter*) με δύο έννοιες: απόλυτα ελαφρύτερο και σχετικά ελαφρύτερο. Επίσης, χρησιμοποίησε μόνο την έννοια του βάρους και συνέκρινε όγκους όμοιων αντικειμένων, υπονοώντας την έννοια της πυκνότητας με την ασαφή χρήση της έννοιας σχετικά ελαφρύτερο. Ο Γαλιλαίος διέκρινε αυτές τις δύο έννοιες, εισάγοντας

διαφορετικό όρο για την κάθε μία. Παρόλα αυτά, και ο Γαλιλαίος χρησιμοποίησε μια πιο αφηρημένη αλλά ασαφή έννοια, την έννοια *moment*. Ούτε ο Αρχιμήδης ούτε και ο Γαλιλαίος συνέλαβαν την έννοια της αναλογίας στην πιο αφηρημένη της μορφή. Το μοντέλο της ενέργειας βασίζεται στην αφηρημένη έννοια της ενέργειας, η οποία αντίθετα με τις έννοιες που χρησιμοποιήθηκαν στα προηγούμενα δύο ερμηνευτικά μοντέλα, είναι πολύ καλά ορισμένη από τη σύγχρονη φυσική. Επομένως, καθώς προχωράμε χρονολογικά από το ένα επεξηγηματικό σύστημα στο επόμενο φαίνεται ότι: α) η γλώσσα γίνεται πιο ακριβής, β) οι έννοιες πιο αφηρημένες, γ) τα μαθηματικά εργαλεία που χρησιμοποιούνται για την εξαγωγή ενός νόμου για την πλεύση πιο εξελιγμένα και δ) το πεδίο εφαρμογής του συστήματος (δηλαδή ο αριθμός των φαινομένων που εξηγούνται) μεγαλύτερο.

Στη συνέχεια, ορίζουμε και περιγράφουμε την έννοια της πυκνότητας, όπως χρησιμοποιείται στο πλαίσιο της μακροσκοπικής και της μικροσκοπικής θεωρίας για την ύλη. Στη μακροσκοπική θεωρία για την ύλη η πυκνότητα αποτελεί θεμελιώδη ιδιότητα της ύλης, συμβολίζεται με το ελληνικό γράμμα ρ (Serway, 1990), και ορίζεται ως το πηλίκο της μάζας ανά μονάδα όγκου ($\rho = m / V$). Ο ορισμός αυτός έχει νόημα μόνο όταν αναφερόμαστε σε ομογενή σώματα, δηλαδή σε σώματα που έχουν την ίδια σύσταση ή δομή σε όλο τους τον όγκο. Στην αντίθετη περίπτωση, αναφερόμαστε στη μέση πυκνότητα του σώματος. Για τον υπολογισμό της μέσης πυκνότητας χρειάζεται να υπολογίσουμε την πυκνότητα σε κάθε σημείο του σώματος. Η πυκνότητα ρ ενός μικρού στοιχείου οποιουδήποτε υλικού είναι το πηλίκο της στοιχειώδους μάζας Δm του στοιχείου δια του όγκου του ΔV : $\rho = \Delta m / \Delta V$ (Κυριάκος & Καρακώστας, 2001). Η πυκνότητα σε ένα σημείο είναι η οριακή τιμή αυτού του λόγου, καθώς ο όγκος του στοιχείου συνεχώς ελαττώνεται. Στην περίπτωση που η πυκνότητα ενός αντικειμένου έχει την ίδια τιμή σε όλα τα σημεία, τότε προκύπτει η σχέση με την οποία υπολογίζεται η πυκνότητα ομογενούς αντικειμένου ($\rho = m / V$). Η μονάδα μέτρησης της πυκνότητας στο SI είναι το $1 \text{ Kg} / \text{m}^3$.

Η πυκνότητα ενός υλικού εξαρτάται γενικά από περιβαλλοντικούς παράγοντες, όπως είναι η πίεση και η θερμοκρασία. Για τα υγρά και τα στερεά, οι μεταβολές της πυκνότητας είναι πολύ μικρές, ακόμη και για μεγάλη περιοχή μεταβολής της πίεσης και της θερμοκρασίας, και έτσι, σε πολλές εφαρμογές μπορούμε να θεωρούμε την πυκνότητα σταθερή. Αντίθετα, η πυκνότητα των αερίων είναι πολύ ευαίσθητη σε μεταβολές της θερμοκρασίας και της πίεσης (Resnick, Halliday & Krane, 1992).

Τα φυσικά μεγέθη που είναι ανάλογα με την ποσότητα του συστήματος ονομάζονται *εκτατικά*, ενώ τα μεγέθη που είναι ανεξάρτητα από την ποσότητα του συστήματος ονομάζονται *εντατικά*. Η πυκνότητα είναι μια εντατική ποσότητα, ενώ αντίθετα το βάρος και ο όγκος χαρακτηρίζονται ως εκτατικά μεγέθη (Mandl, 1981, Reid, 1990, Reif, 1973, Καριώτογλου, 2006, Φασουλόπουλος, 2000). Οποιαδήποτε εκτατική ποσότητα μπορεί να μετατραπεί σε εντατική εάν διαιρεθεί με τον όγκο του συστήματος. Για παράδειγμα, η μάζα και η πυκνότητα ενός σώματος συνδέονται με αυτόν τον τρόπο (Mandl, 1981).

Η πυκνότητα σε μικροσκοπικό επίπεδο, δηλαδή λαμβάνοντας υπόψη το σωματιδιακό μοντέλο της ύλης, εξαρτάται α) από τα ατομικά ή τα μοριακά βάρη και β) τις ενδοατομικές ή ενδομοριακές αποστάσεις αντίστοιχα (Serway, 1990).

2.1.2 Ιδέες των μαθητών για την πλεύση και βύθιση και για την πυκνότητα

Παρακάτω, παρουσιάζονται οι εναλλακτικές ιδέες των μαθητών σχετικά με την έννοια της πυκνότητας καθώς και σχετικά με τις ερμηνείες των μαθητών στο φαινόμενο της Π/Β, διότι όπως αναφέρθηκε στην ενότητα 1.1, οι εναλλακτικές ιδέες των μαθητών παίζουν καθοριστικό ρόλο στο σχεδιασμό της διδασκαλίας στις ΦΕ, τις τελευταίες δεκαετίες. Καταρχήν, παρουσιάζονται οι ιδέες των μαθητών σχετικά με την πυκνότητα και οι δυσκολίες που αντιμετωπίζουν στην κατανόησή της, διότι όπως φαίνεται στην ενότητα 2.1.3, η έννοια της πυκνότητας παίζει κεντρικό ρόλο στις ερμηνείες της Π/Β που διδάσκονται στο δημοτικό και στο γυμνάσιο. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται οι εναλλακτικές ιδέες των μαθητών σχετικά με το φαινόμενο της Π/Β. Συνοπτικά, οι εναλλακτικές ιδέες και δυσκολίες των μαθητών σχετικά με τις δύο αυτές περιοχές μάθησης παρουσιάζονται στον πίνακα 2.1.

Οι μαθητές του δημοτικού, αλλά και του γυμνασίου, δυσκολεύονται να κατανοήσουν τον ορισμό της πυκνότητας ως «της ποσότητας της μάζας που περιέχεται σε συγκεκριμένο όγκο», όπως αυτή συνήθως ορίζεται στα αναλυτικά προγράμματα, για τουλάχιστον τέσσερις λόγους.

Πρώτον, δυσκολεύονται να κατανοήσουν την *έννοια του λόγου δύο μεγεθών* (Rowell & Dawson, 1977), όπως αυτών της μάζας προς τον όγκο, όταν μάλιστα αυτά τα μεγέθη, επιπλέον, μεταβάλλονται ταυτόχρονα (Smith, Maclin, Grosslight & Davis, 1997).

Δεύτερον, η έννοια της πυκνότητας είναι *μια ιδιότητα που δεν είναι άμεσα αντιληπτή* μέσα από τις αισθήσεις, αλλά μπορεί να κατανοηθεί μόνο μέσα από νοητικούς συλλογισμούς ή/και υπολογισμούς (Wiser & Smith, 2008, Xu & Clarke, 2011).

Τρίτον, σημαντικό εμπόδιο στην κατανόηση της επιστημονικής άποψης της έννοιας της πυκνότητας είναι οι *εναλλακτικές ιδέες των μαθητών* για την έννοια αυτή, γεγονός που οφείλεται κυρίως στο *εννοιολογικό πλαίσιο* που έχουν οι μαθητές *για την ύλη* (Smith, Snir & Grosslight, 1992, Smith et al., 1997, Wiser & Smith, 2008). Οι παραπάνω ερευνητές, υποστηρίζουν ότι οι μαθητές που θεωρούν την ύλη ως κάτι που μπορούμε να το δούμε και γενικά να το αντιληφθούμε με τις αισθήσεις μας τείνουν να κατέχουν το μη επιστημονικό εννοιολογικό πλαίσιο, στο οποίο όταν λένε ότι ένα αντικείμενο είναι βαρύ εννοούν ότι το αισθάνονται βαρύ όταν το σηκώσουν στο χέρι τους. Για τους μαθητές με αυτό το εννοιολογικό πλαίσιο, τα αέρια δεν κατατάσσονται οντολογικά μαζί με τα στερεά και τα υγρά, γιατί δεν γίνονται αντιληπτά με τις αισθήσεις και άρα δεν έχουν υλική υπόσταση, ούτε βάρος. Επίσης, για τους μαθητές αυτούς, η έννοια των ατόμων στο σωματιδιακό μοντέλο -ως συστατικών στοιχείων της ύλης- είναι ασυνεπής και ασυνάρτητη, γιατί τα άτομα είναι τόσο μικρά που δεν μπορούμε να τα δούμε ή να τα αισθανθούμε. Σε αυτό το μη επιστημονικό πλαίσιο η έννοια της πυκνότητας δεν είναι δυνατό να διαφοροποιηθεί από το βάρος. Οι μαθητές συνδυάζουν σε μια αδιαφοροποίητη έννοια στοιχεία τόσο της μίας όσο και της άλλης επιστημονικής έννοιας (δηλαδή τόσο εντατικά όσο και εκτατικά στοιχεία της ύλης).

Η διαφοροποίηση της πυκνότητας από το βάρος και κατά συνέπεια η πλήρης κατανόηση των αντίστοιχων επιστημονικών εννοιών από τους μαθητές είναι δύσκολη, γιατί χρειάζεται ένα πλέγμα εννοιολογικών αλλαγών στη μακροσκοπική, οντολογική και επιστημολογική τους γνώση (Wiser & Smith, 2008). Μακροσκοπικά, απαιτείται η μετάβαση από την κατανόηση των υλικών (material kind) με βάση τα εξωτερικά αισθητηριακά χαρακτηριστικά τους (π.χ. χρώμα, υφή κ.ά.), στην κατανόησή τους ως βασικών συστατικών της ύλης, που διατηρούν την ταυτότητά τους ακόμη και σε πολύ μικρό μέγεθος ή ακόμη και μετά από αλλαγές κατάστασης (π.χ. από υγρή σε αέρια). Επίσης, τα βασικά αυτά συστατικά περιγράφονται από αντικειμενικές και μετρήσιμες ιδιότητες, όπως είναι η πυκνότητα ή το σημείο βρασμού. Οντολογικά, θα πρέπει να γίνει η διάκριση μεταξύ α) των ιδιοτήτων της ύλης, όπως αυτές γίνονται αντιληπτές από τις αισθήσεις μας, και β) των αντικειμενικών και μετρήσιμων φυσικών μεγεθών, π.χ. το βάρος, που

χρησιμοποιούμε για να ερμηνεύσουμε τα φαινόμενα που συμβαίνουν γύρω μας. Επιστημολογικά, θεωρείται σημαντική η κατανόηση της φύσης και του ρόλου των μοντέλων, όπως για παράδειγμα ότι τα συστατικά τους στοιχεία είναι διαφορετικά από τις οντότητες που αναπαριστούν, ότι αναπαριστούν υποθέσεις, ότι είναι αναθεωρήσιμα και ότι η αξία τους είναι στην επεξηγηματική τους λειτουργία (Wiser & Smith, 2008).

Μαθητές που έχουν κάνει κάποιες από τις παραπάνω εννοιολογικές αλλαγές, είναι πιθανόν, όταν λένε ότι ένα αντικείμενο βυθίζεται επειδή είναι βαρύ, να εννοούν ότι είναι βαρύ για αντικείμενο του είδους του, που σημαίνει ότι εστιάζουν στο υλικό του αντικειμένου και άρα έχουν σχηματίσει, ποιοτικά, την εντατική έννοια της πυκνότητας (Φασουλόπουλος, 2000). Επίσης, είναι πιθανό να εννοούν ότι είναι βαρύ για το μέγεθός του, που σημαίνει ότι έχουν αναπτύξει μια συσχετιστική λογική (Perkins & Grotzer, 2005) συνδυάζοντας τα φυσικά μεγέθη βάρος και όγκο, σε μια πρόδρομη έννοια της πυκνότητας, που είναι πιο κοντά στην επιστημονική από την προηγούμενη, γιατί υπονοείται η αναλογία της μάζας προς τον όγκο. Στην ίδια κατεύθυνση είναι και η άποψη των Klopfer, Champagne και Chaiklin, (1992), σύμφωνα με τους οποίους, οι μαθητές έχουν τις ακόλουθες δύο δυσκολίες σε σχέση με την πυκνότητα: α) παρουσιάζουν ελλιπή διαφοροποίηση της μάζας, του βάρους, του όγκου και της πυκνότητας και, ως συνέπεια, β) εφαρμόζουν αρχές σχετικές με εκτατικές ποσότητες, όταν χρησιμοποιούν την πυκνότητα.

Τέταρτον, ο τρόπος με τον οποίο χρησιμοποιούμε στην *καθημερινή γλώσσα*, έννοιες σχετικές με την περιγραφή της ύλης σε μακροσκοπικό επίπεδο, φαίνεται να δημιουργεί δυσκολίες στην κατανόηση της έννοιας της πυκνότητας. Για παράδειγμα, οι μαθητές συγχέουν την έννοια της μάζας με την έννοια του βάρους που χρησιμοποιούμε για να δηλώσουμε πόσο είναι το βάρος μας μετρημένο σε κιλά (Driver et al., 1998). Η παρανόηση αυτή σε συνδυασμό με την έννοια του βάρους, όπως αυτό γίνεται αντιληπτό εάν σηκώσουμε ένα αντικείμενο, έχει ως συνέπεια οι μαθητές να δυσκολεύονται να κατανοήσουν την επιστημονική έννοια της μάζας, μια έννοια που θεωρείται ότι κατακτιέται σε μεγαλύτερη ηλικία (Wiser & Smith, 2008). Ως αποτέλεσμα αυτής της σύγχυσης, θεωρείται ότι για τους περισσότερους μαθητές η πυκνότητα αναπαριστά μια σχέση μεταξύ βάρους και όγκου και όχι μεταξύ μάζας και όγκου (Hewson, 1986, Inhelder & Piaget, 1958, Rowell & Dawson, 1977, Smith, Carey & Wiser, 1985, Wiser & Smith, 2008, Xu & Clarke, 2011, Φασουλόπουλος, 2000). Επιπλέον σύγχυση σχετικά με την έννοια της πυκνότητας προκαλείται από τη

χρήση της στην καθημερινή γλώσσα για την περιγραφή του αριθμού αντικειμένων σε συγκεκριμένη επιφάνεια ή όγκο (Hewson, 1986). Η ίδια δυσκολία παρουσιάζεται και σε αγγλόφωνους μαθητές, παρόλο που στην αγγλική γλώσσα υπάρχει η λέξη *denseness* για την περιγραφή αυτής της έννοιας. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι στην καθημερινότητά τους οι αγγλόφωνοι χρησιμοποιούν τη λέξη *density*. Ένα άλλο παράδειγμα, που αναφέρεται από την ίδια ερευνήτρια, σχετικά με τη σύγχυση που μπορεί να προκαλείται από τη γλώσσα ενός λαού, είναι η περίπτωση της αφρικανικής φυλής των Qwa-Qwa, στη γλώσσα των οποίων η πυκνότητα αποδίδεται με τη λέξη *te teyana* που μπορεί να σημαίνει πυκνός, συμπαγής και συνωστισμένος. Ο Φασουλόπουλος (2000), αναφορικά με μαθητές ηλικίας 12-15 ετών, ανέδειξε τρεις κατηγορίες ιδεών των μαθητών σχετικά με την πυκνότητα, ενόσω μελετούσε φαινόμενα που περιλάμβαναν υγρά σε ηρεμία ή σε μετάβαση. Στην «επιστημονική» κατηγορία, περιλαμβάνονται οι μαθητές που είτε θεωρούν ότι η πυκνότητα εξαρτάται από το είδος του υγρού είτε αναφέρονται στη σχέση αναλογίας μεταξύ των μεγεθών ορισμού της πυκνότητας (δηλαδή το βάρος και τον όγκο). Η πλειοψηφία των μαθητών σε αυτήν την κατηγορία, σε συμφωνία με τις Smith et al. (1985), αιτιολογεί με αναφορά στο είδος του υγρού. Ταυτόχρονα, το μικρό ποσοστό των μαθητών που αναγνωρίζουν την πυκνότητα ως μέγεθος ανάλογο προς το πηλίκο του βάρους προς τον όγκο του υγρού, επιβεβαιώνει τα αποτελέσματα των ερευνών των Inhelder και Piaget (1958) και των Rowell και Dawson (1977), που δείχνουν ότι οι μαθητές δυσκολεύονται να κατανοήσουν την πυκνότητα ως πηλίκο βάρους προς όγκο. Στην «εκτατική» κατηγορία, περιλαμβάνονται οι μαθητές που θεωρούν ότι η πυκνότητα είναι ανάλογη με την ποσότητα του υγρού. Τέλος, στη «συμπιεστική» κατηγορία, περιλαμβάνονται οι μαθητές που θεωρούν ότι η πυκνότητα υγρών αυξάνεται σε στενά δοχεία. Τα έργα, τα οποία χρησιμοποίησε ο ερευνητής για να μελετήσει την ικανότητα των μαθητών να συγκρίνουν την πυκνότητα διαφορετικών ή/και ίδιων ποσοτήτων υγρών, περιελάμβαναν ως μεταβλητές τα αντιληπτά χαρακτηριστικά των υγρών που καθορίζονται από α) το σχήμα του δοχείου, β) το εμβαδό του πυθμένα του, και γ) το ύψος του υγρού. Όπως αναφέρει δε στα αποτελέσματα, όσοι μαθητές συνδέουν την πυκνότητα με το είδος του υλικού, έχουν μετατοπίσει το ενδιαφέρον τους από τα αντικείμενα στα υλικά κατασκευής, με αποτέλεσμα να μη συνδέουν το βάρος με την πυκνότητα (Φασουλόπουλος, 2000). Τα χαρακτηριστικά της ποσότητας ενός υγρού, που έχουν καταγραφεί στη βιβλιογραφία ότι επηρεάζουν τις αντιλήψεις για τον εντατικό χαρακτήρα της πυκνότητας, είναι: α) το μέγεθος (Rowell

& Dawson, 1977), που σχετίζεται με το βάρος, β) το σχήμα (Kariotoglou, Psillos & Vallasiades, 1990), που σχετίζεται με τον όγκο, και γ) οι μεταβολές της ύλης με προσθήσεις και αφαιρέσεις (Stavy & Berkovitz, 1980).

Επιπλέον, οι Epsimos, Fassoulopoulos και Kariotoglou (2001) έδειξαν ότι σε έργα στα οποία ζητείται σύγκριση πυκνοτήτων, στερεών αντικειμένων ή υγρών, των οποίων η ποσότητα διατηρείται έπειτα από αλλαγή στο σχήμα τους, μαθητές, ηλικίας 11-15 ετών, οδηγούνται σε απαντήσεις του τύπου «ίδια ποσότητα, άρα ίδια πυκνότητα». Στα έργα, δε, που η ποσότητά τους δε διατηρείται οι μαθητές οδηγούνται σε απαντήσεις του τύπου «διαφορετική ποσότητα, διαφορετική πυκνότητα». Οι ερευνητές υπογραμμίζουν ότι οι μαθητές σε αυτές τις περιπτώσεις φαίνεται να χρησιμοποιούν γραμμικούς αιτιακούς συλλογισμούς, δίχως να δίνουν συγκεκριμένο εννοιολογικό περιεχόμενο στην έννοια της πυκνότητας.

Περαιτέρω ενδείξεις για το ότι οι μαθητές έχουν ένα εννοιολογικό πλαίσιο στο οποίο υπάρχει αδιαφοροποίητη η έννοια της πυκνότητας – βάρους, προσφέρει το γεγονός ότι δυσκολεύονται να κατανοήσουν και να ερμηνεύσουν φαινόμενα στα οποία οι έννοιες αυτές είναι απαραίτητο να διαφοροποιηθούν, π.χ. το φαινόμενο της Π/Β (Smith et al., 1992). Σύμφωνα με τους ερευνητές που έχουν ασχοληθεί με το θέμα (Driver et al., 1998, Hardy, Jonen, Moeller & Stern, 2006, Pnevmatikos, Kariotoglou & Nikolopoulou, 2006, Smith et al., 1992, Καριώτογλου, 1991, Χαλκιά, 2001), όταν οι μαθητές προσπαθούν να ερμηνεύσουν την πλεύση ενός αντικειμένου σε ένα υγρό εστιάζουν, διαισθητικά, συνήθως σε ένα χαρακτηριστικό του αντικειμένου, όπως το βάρος, το μέγεθος, το σχήμα, και εάν έχει ή όχι τρύπες ή κοίλωμα. Στις παραπάνω περιπτώσεις οι ερμηνείες για την Π/Β δεν είναι συμβατές με την επιστημονική άποψη που διδάσκεται στα σχολεία (η οποία βασίζεται στις έννοιες της πυκνότητας ή της άνωσης), επειδή οι μαθητές, αντί να εστιάζουν στη σχέση μεταξύ αντικειμένου και υγρού, εστιάζουν σε ένα χαρακτηριστικό του αντικειμένου (Hardy et al., 2006). Ακόμη, οι μαθητές ορισμένες φορές εστιάζουν στο υλικό του αντικειμένου ή εξετάζουν εάν το αντικείμενο είχε μέσα αέρα ή εάν μπορούσε να απορροφήσει νερό. Αυτές οι ερμηνείες χαρακτηρίζονται ως ερμηνείες της καθημερινότητας (Hardy et al., 2006), και θεωρούνται πιο κοντά στις επιστημονικά αποδεκτές ερμηνείες από την περίπτωση που οι ερμηνείες βασίζονται σε χαρακτηριστικά του αντικειμένου (Hardy et al., 2006, Φασουλόπουλος, 2000). Επίσης, οι ερμηνείες της καθημερινότητας αντιμετωπίζονται ως μεταβατικό και υποβοηθητικό στάδιο για την κατανόηση των επιστημονικά αποδεκτών ερμηνειών (Hardy et al., 2006).

Οι Θασίτης, Φασουλόπουλος και Καριώτογλου (2004) μελέτησαν την (α)συνέπεια των συλλογισμών των μαθητών 11-15 ετών σε φαινόμενα Π/Β με τη χρήση φαρδιών / στενών δοχείων και μεγάλων / μικρών σωμάτων. Στα έργα με τα μεγάλα / μικρά σώματα φάνηκε να κυριαρχεί η άποψη ότι το μεγαλύτερο (βαρύτερο) σώμα βυθίζεται πάντα «χαμηλότερα» από ό,τι το μικρό. Οι ερευνητές θεωρούν ότι η εναλλακτική αυτή ιδέα προέρχεται από καθημερινές εμπειρίες, που οδηγούν σε ιδέες του τύπου «τα βαριά βυθίζονται» (Κουμαράς, Καριώτογλου & Ψύλλος, 1994) που όπως φάνηκε παρουσιάζουν μεγάλη σταθερότητα. Αντίθετα, τα περιβάλλοντα με στενά και φαρδιά δοχεία και με πλωτήρα σταθερού βάρους θέτουν σε δοκιμασία την ισχυρή διαισθητική αντίληψη ότι «τα βαρύτερα βυθίζονται». Σε αυτές τις περιπτώσεις, οι μαθητές καταφεύγουν σε δευτερεύοντα αντιληπτά χαρακτηριστικά, όπως οι διαστάσεις των δοχείων, που οδηγούν σε αντιλήψεις που δεν παρουσιάζουν την σταθερότητα της άποψης «τα βαρύτερα βυθίζονται», και για αυτό αλλάζουν εύκολα. Ο Joung (2009) δε, αναφέρει ότι οι μαθητές αποφασίζουν εάν ένα αντικείμενο βρίσκεται σε θέση επίπλευσης ή βύθισης βασιζόμενοι στη θέση που έχει το αντικείμενο σε σχέση με την επιφάνεια του υγρού. Πιο συγκεκριμένα, η πλειοψηφία των μαθητών στη συγκεκριμένη έρευνα απάντησαν ότι ένα αντικείμενο επιπλέει όταν ένα μέρος του τουλάχιστον βρίσκεται πάνω από την επιφάνεια του υγρού, οι περισσότεροι εκ των οποίων επέλεξαν την περίπτωση όπου το αντικείμενο εφάπτεται στην επιφάνεια του υγρού και λιγότεροι την περίπτωση στην οποία το αντικείμενο ήταν μισοβυθισμένο. Επίσης, η πλειοψηφία των μαθητών θεώρησε ότι ένα αντικείμενο είναι βυθισμένο στις περιπτώσεις που είναι κάτω από την επιφάνεια, δηλαδή α) στον πυθμένα ή β) στο μέσο μεταξύ του πυθμένα και της επιφάνειας του υγρού, με μειούμενη συχνότητα εμφάνισης. Στην ίδια έρευνα οι μαθητές θεωρούν ότι ένα αντικείμενο που βρίσκεται ακριβώς κάτω από την επιφάνεια του υγρού είτε επιπλέει είτε βυθίζεται. Ελάχιστοι ήταν οι μαθητές οι οποίοι αναγνώρισαν ότι όταν το αντικείμενο βρίσκεται ανάμεσα στην επιφάνεια του υγρού και του πυθμένα, τότε βρίσκεται σε μια κατάσταση ανάμεσα στην πλεύση και τη βύθιση, και άρα αιωρείται ή αλλιώς ισορροπεί στο νερό. Παρόμοια αποτελέσματα αναφέρθηκαν και στην έρευνα των Biddulph και Osborne (1984).

Πίνακας 2.1 Δυσκολίες και εναλλακτικές ιδέες των μαθητών για την πυκνότητα και την Π/Β

Δυσκολία των μαθητών στην κατανόηση της έννοιας της πυκνότητας:	Κριτήριο για την ερμηνεία της Π/Β ενός αντικειμένου:
<ul style="list-style-type: none">• Οι μαθητές δυσκολεύονται να κατανοήσουν την έννοια του λόγου δύο μεγεθών• Η έννοια της πυκνότητας είναι μια ιδιότητα που δεν είναι άμεσα αντιληπτή μέσα από τις αισθήσεις• Το εννοιολογικό πλαίσιο που έχουν οι μαθητές για την ύλη (η ύλη είναι κάτι που μπορούμε να το δούμε και γενικά να το αντιληφθούμε με τις αισθήσεις μας), οδηγεί σε εναλλακτικές ιδέες των μαθητών σχετικά με την έννοια της πυκνότητας (π.χ. η πυκνότητα αδιαφοροποιήτη από το βάρος, επομένως εξαρτώμενη από την ποσότητα)• Ο τρόπος με τον οποίο χρησιμοποιούμε έννοιες σχετικές με την περιγραφή της ύλης, σε μακροσκοπικό επίπεδο, στην καθημερινή γλώσσα δημιουργεί επίσης δυσκολίες στην κατανόηση της έννοιας της πυκνότητας	<ul style="list-style-type: none">• Ένα χαρακτηριστικό του αντικειμένου (βάρος, μέγεθος, σχήμα ή ύπαρξη κοιλοτήτων)• Το βάθος του νερού• Οι διαστάσεις του δοχείου πλεύσης• Ένα χαρακτηριστικό του υλικού (είδος υλικού, ύπαρξη αέρα, δυνατότητα απορρόφησης νερού)

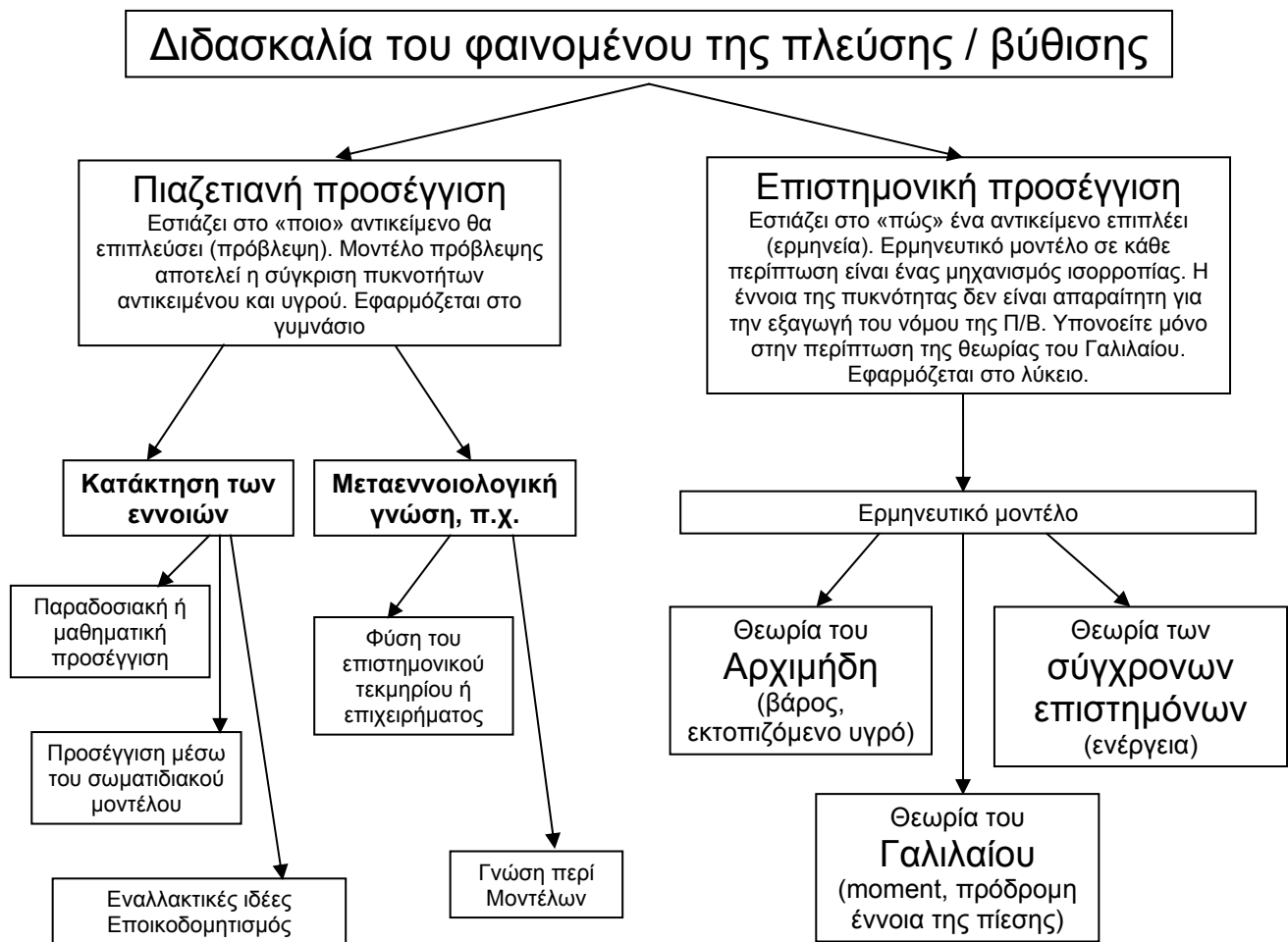
Συμπερασματικά, η πυκνότητα δεν είναι άμεσα αντιληπτή με τις αισθήσεις και είναι μια δύσκολη έννοια, επειδή απαιτεί τη χρήση και κατανόηση προχωρημένων μαθηματικών, όπως οι αναλογίες, τα οποία, σύμφωνα με την έρευνα, ακόμη και μαθητές 15 ετών δεν έχουν εμπεδώσει. Επιπλέον, οι μαθητές έχουν ένα εννοιολογικό πλαίσιο διαφορετικό από το επιστημονικό, στο οποίο η έννοια της πυκνότητας περιλαμβάνει χωρίς διάκριση τις έννοιες του βάρους και της πυκνότητας. Το φαινόμενο της Π/Β αποτελεί κατάλληλο περιβάλλον για την ανάδειξη μη διαφοροποίησης βάρους και πυκνότητας, καθώς επίσης και για διδακτική παρέμβαση που έχει στόχο τη διαφοροποίηση των δύο αυτών εννοιών και την απόκτηση γνώσης που μπορεί να ενισχύσει τη διαδικασία οικοδόμησης της επιστημονικά αποδεκτής έννοιας της πυκνότητας.

Οι δε ερμηνείες που δίνουν οι μαθητές δημοτικού και γυμνασίου σχετικά με το φαινόμενο της Π/Β ενός αντικειμένου σε ένα υγρό, περιορίζονται σε διαισθητικού τύπου εναλλακτικές ιδέες που βασίζονται στην καθημερινή εμπειρία, και πιο συγκεκριμένα, σε χαρακτηριστικά του αντικειμένου, όπως είναι το βάρος, το σχήμα ή το μέγεθος.

Στην ενότητα 2.1.1, από την ιστορική ανασκόπηση των επιστημονικών θεωριών για την ερμηνεία του φαινομένου της Π/Β, είδαμε ότι οι επιστήμονες στην προσπάθειά τους να βελτιώσουν τις θεωρίες με τις οποίες ερμήνευαν το φαινόμενο, εισήγαγαν πιο αφηρημένες και καλύτερα ορισμένες έννοιες. Η εννοιολογική εξέλιξη στις επιστημονικές θεωρίες που είδαμε στην προηγούμενη ενότητα (ενότητα 2.1.1) παρουσιάζει ομοιότητες με την εννοιολογική εξέλιξη των μαθητών στην προσπάθειά τους να οικοδομήσουν επιστημονικά αποδεκτές ερμηνείες (Snir, 1991). Επίσης, σε ορισμένες περιπτώσεις αναγνωρίσαμε πως είχαν παρόμοιες δυσκολίες με αυτές που φαίνεται να έχουν οι μαθητές στην προσπάθειά τους να κατανοήσουν τις επιστημονικά αποδεκτές ερμηνείες. Ένα τέτοιο παράδειγμα αποτελεί η διαμάχη μεταξύ Γαλιλαίου και Αριστοτελικών σχετικά με την ερμηνεία επίπλευσης του πάγου στο νερό (ενότητα 2.1.1). Το γεγονός αυτό επιβεβαιώνει και αιτιολογεί, εν μέρει, τις δυσκολίες που αντιμετωπίζουν οι μαθητές. Ωστόσο, υπάρχει μια σημαντική διαφορά μεταξύ των εναλλακτικών ιδεών των μαθητών και των ιστορικών ερμηνευτικών μοντέλων που υποστήριξαν οι επιστήμονες σε άλλες εποχές. Η διαφορά αυτή είναι η έλλειψη από τους μαθητές της μεταεννοιολογικής γνώσης του τι σημαίνει επιστημονικό τεκμήριο ή επιχείρημα (Snir, 1991), καθώς και της επιστημολογικής γνώσης της φύσης της διερεύνησης καθώς και της φύσης και του ρόλου των μοντέλων (Wiser & Smith, 2008).

2.1.3 Διδακτικές προτάσεις για την Π/Β και την πυκνότητα

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζουμε τις διδακτικές προτάσεις για την Π/Β καθώς και για την πυκνότητα, όπως καταγράφονται στη βιβλιογραφία τις τελευταίες δεκαετίες. Σύμφωνα με τον Snir (1991) οι τρόποι προσέγγισης μιας διδασκαλίας για την Π/Β μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε δύο μεγάλες κατηγορίες: α) σε αυτές που ακολουθούν την προσέγγιση των Inhelder και Piaget (1958), δηλαδή τη λεγόμενη Πιαζετιανή προσέγγιση, και β) σε αυτές που ακολουθούν την επιστημονική προσέγγιση (π.χ. θεωρίες του Αρχιμήδη και του Γαλιλαίου) (Σχήμα 2.1).



Σχήμα 2.1 Προσεγγίσεις για τη διδασκαλία του φαινομένου της Π/Β (Snir, 1991)

Οι Inhelder και Piaget (1958) ήταν οι πρώτοι που κατέγραψαν τις ερμηνείες των παιδιών για το φαινόμενο της πλεύσης, εστιάζοντας κυρίως στη δυνατότητα των παιδιών να ταξινομήσουν ένα σετ αντικειμένων ανάλογα με το εάν επιπλέουν ή βυθίζονται στο νερό, να εξηγήσουν το κριτήριο με το οποίο έγινε η ταξινόμηση, και να εξαλείψουν κάποιες αντιφάσεις, όπως για παράδειγμα στις διατυπώσεις τους σε σχέση με τον όρο του βάρους. Τέλος, έλεγξαν τη δυνατότητα των μαθητών να διατυπώσουν το νόμο της πλεύσης, δηλαδή ότι τα αντικείμενα επιπλέουν, εάν η πυκνότητά τους ή το ειδικό βάρος τους είναι μικρότερο από αυτό του νερού, όπου η πυκνότητα ορίζεται ως η σχέση του βάρους προς τον όγκο.

Η Πιαζετιανή προσέγγιση ή αλλιώς προσέγγιση της *απαλοιφής των μεταβλητών* (*elimination of variables approach*) εστιάζει στην ανάδειξη των μεταβλητών που επηρεάζουν το φαινόμενο της Π/Β, ώστε να εξαχθεί ένας κανόνας πρόβλεψης με τον οποίο θα καθορίζεται «ποιο» σώμα θα επιπλεύσει. Αντίθετα, η επιστημονική προσέγγιση εστιάζει στην οικοδόμηση ενός ερμηνευτικού μοντέλου το οποίο θα

εξηγήσει το «πώς» ένα σώμα επιπλέει. Στην επιστημονική προσέγγιση η έννοια της πυκνότητας δεν είναι απαραίτητη για την εξαγωγή του νόμου της πλεύσης, όπως φάνηκε στη συζήτηση σχετικά με το νόμο του Αρχιμήδη, στην ενότητα 2.1.1. Εντούτοις, για να εφαρμόσουμε την Πιαζετιανή προσέγγιση της απαλοιφής των μεταβλητών, είναι απαραίτητο η έννοια της πυκνότητας να είναι στοιχειωδώς γνωστή από πριν. Έτσι, ανάλογα με την προσέγγιση που θα αποφασίσει κάποιος να ακολουθήσει σε μια παρέμβαση για φαινόμενα Π/Β θα πρέπει να επιλέξει και διαφορετικές έννοιες, δραστηριότητες αλλά και βήματα της διδακτικής και μαθησιακής διαδικασίας. Η Πιαζετιανή προσέγγιση χρησιμοποιείται κυρίως στο γυμνάσιο, ενώ η επιστημονική κυρίως σε επίπεδο λυκείου. Πιο αναλυτικά, οι δύο προσεγγίσεις παρουσιάζονται παρακάτω.

Η **επιστημονική προσέγγιση** είναι αυτή που ερμηνεύει το φαινόμενο της Π/Β με βάση έναν *μηχανισμό ισορροπίας*. Με βάση αυτήν την προσέγγιση μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα από τα τρία ερμηνευτικά μοντέλα που παρουσιάστηκαν αναλυτικά στην ενότητα 2.1.1: α) το μοντέλο του Αρχιμήδη, αν πρόκειται για απεριόριστο δοχείο, με βάση την έννοια του βάρους και του εκτοπιζόμενου υγρού, β) το μοντέλο του Γαλιλαίου, αν πρόκειται για πεπερασμένο δοχείο, με βάση την έννοια της πίεσης και άρα της δύναμης και του εμβαδού, και γ) το ερμηνευτικό μοντέλο των σύγχρονων επιστημόνων με βάση την έννοια της ενέργειας και της ισορροπία της. Το ερμηνευτικό μοντέλο που χρησιμοποιείται σε κάθε περίπτωση είναι ένας μηχανισμός ισορροπίας. Οποιοδήποτε από τα παραπάνω επεξηγηματικά συστήματα θεωρείται πολύπλοκο και δύσκολο για μαθητές του γυμνασίου, άρα και μικρότερης ηλικίας. Παρόλα αυτά, στη βιβλιογραφία έχουν καταγραφεί έρευνες οι οποίες εφαρμόστηκαν στο δημοτικό ή/και στο γυμνάσιο (Hardy et al., 2006, Raghavan, Sartoris & Glaser, 1998) και στις οποίες, εκτός από την κατάκτηση της έννοιας της πυκνότητας, επιδιώκεται σε μικρότερο ή μεγαλύτερο βαθμό αντίστοιχα, η κατάκτηση της έννοιας της δύναμης και του μηχανισμού ισορροπίας των δυνάμεων της άνωσης και του βάρους του αντικειμένου, για την ερμηνεία της Π/Β του σε ένα υγρό. Περισσότερες λεπτομέρειες για τις έρευνες αυτές δίνονται παρακάτω στην ενότητα αυτή.

Η διδακτική και μαθησιακή διαδικασία που ακολουθεί την **Πιαζετιανή προσέγγιση** έχει δύο στόχους: α) την κατάκτηση των εννοιών, και β) την κατάκτηση μεταεγνωσιολογικής γνώσης, όπως για παράδειγμα την κατάκτηση της δεξιότητας της ταξινόμησης, της φύσης του επιστημονικού νόμου ή/και της φύσης του

επιστημονικού τεκμηρίου ή επιχειρήματος (Snir, 1991). Όπως φαίνεται από την βιβλιογραφική επισκόπηση που ακολουθεί, η έμφαση παραδοσιακά είναι στον πρώτο στόχο, ενώ τα τελευταία χρόνια υπάρχει μια αυξανόμενη τάση να δοθεί μεγαλύτερη προσοχή και στον δεύτερο. Ο **πρώτος από τους δύο στόχους** μπορεί να επιτευχθεί κυρίως με τρεις προσεγγίσεις. Η πρώτη προσέγγιση είναι η παραδοσιακή ή μαθηματική, η δεύτερη είναι η προσέγγιση σε μικροσκοπικό επίπεδο που βασίζεται στο σωματιδιακό μοντέλο της ύλης και η τρίτη είναι η προσέγγιση στην οποία λαμβάνονται υπόψη οι εναλλακτικές ιδέες των μαθητών σε μακροσκοπικό επίπεδο.

Στη λεγόμενη **παραδοσιακή ή μαθηματική προσέγγιση** χρησιμοποιούνται η αναλογία $\rho = m / V$, και σχετικές γραφικές παραστάσεις, για να μπορέσουν οι μαθητές να αντιληφθούν την έννοια της πυκνότητας. Η προσέγγιση αυτή αποδείχθηκε πολύ δύσκολη για τους μαθητές γυμνασίου. Πιο συγκεκριμένα, στην έρευνα των Rowell και Dawson (1977) μαθητές ηλικίας 14-15 ετών, της γ' γυμνασίου, πραγματοποίησαν μετρήσεις του όγκου και του βάρους μιας σειράς από αντικείμενα του ίδιου υλικού αλλά διαφορετικού μεγέθους. Όπως σημειώνουν οι ερευνητές, δε χρησιμοποίησαν την έννοια της μάζας γιατί οι μαθητές δεν είχαν ακόμη διακρίνει με σαφήνεια τις έννοιες της μάζας και του βάρους. Οι μαθητές καθοδηγήθηκαν να σχεδιάσουν και να ενώσουν με μια ευθεία γραμμή τα σημεία που αντιστοιχούσαν στα ζευγάρια τιμών βάρους/όγκου που προέκυψαν. Με αυτόν τον τρόπο, εισήγαγαν την έννοια της πυκνότητας ως μιας σταθεράς ενός υλικού. Πολλοί μαθητές, παρόλα αυτά, δυσκολεύτηκαν να κατανοήσουν όχι μόνο την έννοια της πυκνότητας και τη σχέση της με το βάρος και τον όγκο, αλλά και τη σχέση της με τους συλλογισμούς ερμηνείας φαινομένων Π/Β. Εξάλλου, οι μαθητές δεν μπόρεσαν να συμπεράνουν, από την ευθεία γραμμή που προέκυψε στα προαναφερθέντα σχεδιαγράμματα βάρους – όγκου αντικειμένων του ίδιου υλικού, ότι η πυκνότητα είναι σταθερή για κάθε υλικό. Παρόμοια αποτελέσματα παρουσίασε και ο Gennaro (1981), σε μια έρευνα σε μαθητές της ίδιας ηλικίας, οι οποίοι πραγματοποίησαν μετρήσεις όγκου και βάρους, και στη συνέχεια έβγαλαν συμπεράσματα σχετικά με την πυκνότητα των αντικειμένων από τα σχεδιαγράμματα βάρους – όγκου που προέκυψαν. Όπως φαίνεται, οι παραδοσιακές προσεγγίσεις διδασκαλίας της πυκνότητας έχουν, στην καλύτερη περίπτωση, περιορισμένη επιτυχία (Smith et al., 1992). Επιπρόσθετα, η σύγχυση μεταξύ βάρους και πυκνότητας φαίνεται να παραμένει ακόμη και σε μεγαλύτερους μαθητές, που διδάχθηκαν με παραδοσιακές

μεθόδους, παρέχοντας επιπλέον ενδείξεις ότι οι μαθητές αυτοί δεν έχουν διαφοροποιήσει εννοιολογικά τις έννοιες βάρος και πυκνότητα (Duckworth, 1986, Hewson, 1986).

Η διδασκαλία της έννοιας της πυκνότητας με τη βοήθεια του **σωματιδιακού μοντέλου της ύλης** παρουσιάζει επίσης κάποιες δυσκολίες (Strauss, Globerson & Mintz, 1983). Οι Strauss et al. (1983) εφάρμοσαν μια παρέμβαση σε μαθητές 9-12 ετών, υψηλού και κανονικού IQ, η οποία είχε στόχο τη διδασκαλία του σωματιδιακού μοντέλου της ύλης καθώς και της έννοιας της πυκνότητας. Η διδασκαλία περιελάμβανε κυρίως τη λεκτική παρουσίαση του σωματιδιακού μοντέλου, επικουρούμενη από την επίδειξη αντικειμένων (π.χ. πακέτα από τσιγάρα που περιείχαν σβώλους) και εικόνων (π.χ. δοχείο με υγρό, στα οποία τα σωματίδια αναπαραστάθηκαν με σφαίρες μέσα στο υγρό), για τη συγκεκριμενοποίηση και καλύτερη παρουσίαση των σχετικών εννοιών (π.χ. σωματίδιο, βάρος, όγκο, πυκνότητα). Λίγοι μαθητές βελτίωσαν την κατανόησή τους για την πυκνότητα μετά τη διδασκαλία, και μάλιστα μόνο μαθητές υψηλού IQ. Οι ερευνητές κατέληξαν ότι μια τέτοια παρέμβαση δεν είναι κατάλληλη για αυτήν την ηλικία, αλλά πιθανόν να προσφέρεται για μεγαλύτερους μαθητές. Επίσης, το γεγονός ότι μόνο μαθητές υψηλού IQ βελτίωσαν την κατανόησή τους για την πυκνότητα, το αιτιολόγησαν παρουσιάζοντας τρεις πιθανούς λόγους: α) οι μαθητές με κανονικό IQ δεν είχαν ακόμη διαφοροποιήσει τις έννοιες βάρος, ποσότητα και πυκνότητα, σε αντίθεση με τους μαθητές με υψηλό IQ οι οποίοι είναι πιθανότερο να τις είχαν διαφοροποιήσει, β) οι μαθητές με υψηλό IQ είχαν μεγαλύτερη ικανότητα να ενσωματώνουν νέες πληροφορίες στο προϋπάρχον εννοιολογικό τους πλαίσιο, και γ) η διδασκαλία πιθανόν να ήταν ιδιαίτερα αφηρημένη και άρα δύσκολη για τους μαθητές με κανονικό IQ.

Τα παραπάνω αποτελέσματα φαίνεται να συμφωνούν με την πρόταση των Wisser και Smith (2008) ότι η διδασκαλία της πυκνότητας στο δημοτικό είναι προτιμότερο να ενσωματώνεται στο πλαίσιο της κατανόησης της μακροσκοπικής θεωρίας της ύλης, στοιχεία της οποίας θεωρούνται απαραίτητα για τη μετάβαση από το μακροσκοπικό στο μικροσκοπικό μοντέλο της ύλης. Ωστόσο, οι Wisser και Smith (2008) παρουσιάζουν ενδείξεις από άλλες έρευνες που καταδεικνύουν ότι η διδασκαλία για το σωματιδιακό μοντέλο δεν είναι απαραίτητο να καθυστερήσει μέχρι το λύκειο, όπως υποστηρίζουν ορισμένοι ερευνητές που ακολουθούν την Πιαζετιανή προσέγγιση, αλλά είναι δυνατό να πραγματοποιηθεί με επιτυχία στο γυμνάσιο,

εφόσον οι μαθητές στο δημοτικό έχουν ήδη εφοδιαστεί με την απαραίτητη γνώση σχετικά με τη μακροσκοπική θεωρία της ύλης αλλά και σχετικά με επιστημολογικά θέματα, όπως η φύση και ο ρόλος των μοντέλων (Wiser & Smith, 2008).

Εντούτοις, στον ελληνικό χώρο εμφανίζονται διδακτικές προτάσεις, στις οποίες προτείνεται η χρήση συγκεκριμένου λογισμικού σε μαθητές 5ης και 6ης τάξης δημοτικού, το οποίο προσομοιώνει το σωματιδιακό μοντέλο της ύλης, με στόχο την κατανόηση της μάζας, του όγκου και της πυκνότητας σε μικροσκοπικό επίπεδο (Γραμμένος & Σταυρίδου, 2006). Οι μαθητές χρησιμοποιώντας το σωματιδιακό μοντέλο αναμένεται να κατακτήσουν τη σχέση της μάζας και της πυκνότητας καθώς και του όγκου και της πυκνότητας, οδηγούμενοι με αυτόν τον τρόπο στον ορισμό της πυκνότητας που συνδέει και τις τρεις αυτές έννοιες. Επιπλέον, οι ερευνητές δίνουν έμφαση στον εντατικό χαρακτήρα της πυκνότητας. Για αυτό, προτείνουν την πραγματοποίηση μετρήσεων της μάζας αντικειμένων συγκεκριμένου όγκου με τη χρήση μιας εικονικής ζυγαριάς. Υπολογίζοντας την πυκνότητα αυτών των αντικειμένων οι μαθητές αναμένεται να ανακαλύψουν ότι η πυκνότητα είναι σταθερή για αντικείμενα του ίδιου υλικού. Ωστόσο, δεν έχουμε βρει στη βιβλιογραφία αποτελέσματα από σχετική διδακτική παρέμβαση.

Παράλληλα, αλλά και ως συνέπεια των παραπάνω, παρατηρούμε όλο και περισσότερους ερευνητές να υιοθετούν την άποψη ότι, για να επιφέρει μια διδασκαλία εννοιολογική αλλαγή, θα πρέπει να λάβει υπόψη τις αρχικές **εναλλακτικές ιδέες** των μαθητών και στη συνέχεια να τους πείσει για την ανεπάρκειά τους στην ερμηνεία φαινομένων. Πιο συγκεκριμένα, με βάση την προσέγγιση αυτή (**εποικοδομητική προσέγγιση**), η διδασκαλία θα πρέπει να βοηθήσει τους μαθητές να αντιληφθούν τις ιδέες τους, να οδηγήσει σε γνωστική σύγκρουση με τις ιδέες αυτές, και να προκαλέσει τέτοια αλλαγή στον συλλογισμό των μαθητών η οποία θα επιλύει την ανωμαλία που δημιουργήθηκε, αναγνωρίζοντας με αυτόν τον τρόπο ότι οι νέες ιδέες είναι κατανοητές (intelligible), ρεαλιστικές ή εφικτές (plausible) και χρήσιμες για κάποιο σκοπό (fruitful) (Posner, Strike, Hewson & Gertzog, 1982). Οι Cole και Raven (1969) βρήκαν ότι μαθητές 8th grade (β' τάξη γυμνασίου) και ενήλικες ανέπτυξαν σταθερότερη κατανόηση της πυκνότητας και της πλεύσης όταν είχαν ενεργή εμπλοκή στη διαδικασία μάθησης, αντί να τους δοθεί από την αρχή ο σωστός κανόνας για την ερμηνεία της πλεύσης. Συγκεκριμένα, οι μαθητές συμμετείχαν σε δραστηριότητες οι οποίες τους βοηθούσαν να απορρίψουν το ερμηνευτικό μοντέλο ερμηνείας της πλεύσης με βάση το βάρος ή τον όγκο, που

προηγουμένως θεωρούσαν επαρκές. Οι M. Hewson και P. Hewson (1983) συνέκριναν την αποτελεσματικότητα μιας παραδοσιακής διδασκαλίας για την πυκνότητα και την Π/Β με μια διδασκαλία στην οποία λήφθηκαν υπόψη οι εναλλακτικές ιδέες των μαθητών. Η διαφορά ανάμεσα στις δύο διδασκαλίες ήταν πως η πειραματική διδασκαλία ξεκίνησε με μία δραστηριότητα στη διάρκεια της οποίας συζητήθηκαν οι εναλλακτικές ιδέες των μαθητών καθώς και η διαφορά με τις ιδέες των επιστημόνων. Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν ότι έστω και αυτή μόνο η διαφορά ήταν πολύ σημαντική, και προκάλεσε μεγαλύτερη ανταπόκριση και συμμετοχή των μαθητών στη διδασκαλία και τη μάθηση.

Η Gibson (1997) διερεύνησε τις προϋπάρχουσες ιδέες μαθητών 10-11 ετών σχετικά με την Π/Β και προσπάθησε να τις βελτιώσει, έχοντας ως κύριο στόχο την ανάπτυξη ερμηνειών που θα χρησιμοποιούν την έννοια *βαρύ για το μέγεθός του*, μέσα από την ενεργό εμπλοκή και διερεύνηση των μαθητών με πραγματικά υλικά και την καθοδήγηση της ερευνήτριας. Η διδακτική της προσέγγιση αποτελείται από τρεις ενότητες κάθε μία από τις οποίες καθοδηγήθηκε από μία από τις παρακάτω ερωτήσεις: α) επιπλέουν ή βυθίζονται και γιατί, ορισμένα αντικείμενα της καθημερινότητάς των μαθητών, όπως π.χ. κομμάτι αλουμινόχαρτο, κουτάλι, μεγάλο κερι, ξύλινη χάντρα, βάζο, κ.ά., β) πώς μπορούμε να κάνουμε μια μπάλα από πλαστελίνη που είναι βυθισμένη στο νερό να επιπλεύσει, και γ) ποια βάρκα μπορεί να μεταφέρει περισσότερο βάρος; Οι μαθητές φάνηκε να έχουν προσεγγίσει την έννοια *βαρύ για το μέγεθός του*, επειδή στην τελική συζήτηση χρησιμοποίησαν την έννοια αυτή στους συλλογισμούς τους, όταν τους ζητήθηκε να αιτιολογήσουν πώς μπορούμε να ξέρουμε ότι η ίδια ποσότητα ύλης είναι μεγαλύτερη όταν είναι από ξύλο, και μικρότερη όταν είναι από σίδηρο. Π.χ. οι μαθητές στο προηγούμενο ερώτημα απάντησαν «επειδή το ξύλο επιπλέει και το σίδηρο βυθίζεται». Παρόμοια προσέγγιση και αποτελέσματα παρουσιάζονται και στην έρευνα των Duschl και Gitomer (1997) σε μαθητές 11-12 ετών.

Στην έρευνα της Hanu-Nuutinen (2005), μελετάται η διαδικασία της εννοιολογικής αλλαγής στις ερμηνείες νηπίων έξι ετών σχετικά με την Π/Β. Ο στόχος αυτής της μελέτης περίπτωσης ήταν να περιγράψει τις αλλαγές των εννοιών σχετικά με την Π/Β και να αναδείξει πως η κοινωνική διάσταση του διαλόγου, κατά τη διάρκεια της δίωρης διδασκαλίας, συνδέεται με τις αλλαγές αυτές. Η διδασκαλία και μάθηση έγινε σε συνεργατικό πλαίσιο, χρησιμοποιώντας την προσέγγιση της καθοδηγούμενης ανακάλυψης (*guided discovery learning*). Πιο συγκεκριμένα, τα νήπια ενεπλάκησαν

ενεργά στη λύση προβλημάτων Π/Β (problem-based approach), χρησιμοποιώντας πραγματικά υλικά. Τα νήπια είχαν τη δυνατότητα να εκφράσουν την άποψή τους, να κάνουν προβλέψεις σχετικά με την Π/Β διαφόρων αντικειμένων, να εξερευνήσουν το φαινόμενο της Π/Β με τα υλικά που τους παρέχονταν και τέλος να εκφράσουν τις ερμηνείες τους. Ο ρόλος του δασκάλου ήταν να κάνει ερωτήσεις, να αναδεικνύει καινούργια προβλήματα και να βοηθήσει στη διασύνδεση των εννοιών που εμπλέκονται στο φαινόμενο με στόχο τα νήπια να οικοδομήσουν έννοιες που είναι προαπαιτούμενες για την κατανόηση της πυκνότητας, π.χ. συμπαγές αντικείμενο ή κοιλότητα, και να τις χρησιμοποιήσουν στις ερμηνείες του φαινομένου της Π/Β. Έτσι, παρόλο που οι έννοιες όγκος και πυκνότητα είναι αφηρημένες για παιδιά προσχολικής ηλικίας, οι ερευνητές θεώρησαν ότι αυτή η προσέγγιση παρέχει ένα πολυδιάστατο τρόπο θεώρησης του φαινομένου Π/Β σε περιγραφικό επίπεδο, η οποία μπορεί να βοηθήσει τα νήπια να οικοδομήσουν τις προαναφερθείσες προαπαιτούμενες έννοιες. Επίσης, απέρριψαν την προσέγγιση που χρησιμοποιεί την έννοια της άνωσης για την ερμηνεία της Π/Β, διότι είναι άμεσα συνδεδεμένη με την έννοια της δύναμης που είναι πολύ δυσκολότερο να κατανοηθεί.

Πριν τη διδασκαλία οι ερμηνείες των νηπίων ήταν διαφορετικές για κάθε αντικείμενο, δηλαδή φάνηκε καταρχήν να μην υπάρχει συνέπεια. Τα περισσότερα νήπια έδιναν άσχετες ή μη επιστημονικές ερμηνείες, καθώς επίσης και ερμηνείες στις οποίες εστίαζαν σε μία μόνο μεταβλητή, συνήθως στο βάρος του αντικειμένου, αλλά σε ορισμένες περιπτώσεις και σε άλλες μεταβλητές, όπως το σχήμα του αντικειμένου ή την ύπαρξη του αέρα στο εσωτερικό του. Μετά τη διδασκαλία, τα νήπια φάνηκε να είναι πιο συνεπή στις ερμηνείες τους. Επίσης, φάνηκε ότι παρόλο που αρκετά από τα νήπια συνέχιζαν να χρησιμοποιούν το ερμηνευτικό μοντέλο «τα βαριά βυθίζονται και τα ελαφριά επιπλέουν», παράλληλα περιλάμβαναν στις ερμηνείες και άλλες μεταβλητές, όπως το σχήμα, το υλικό ή η ύπαρξη του αέρα στο εσωτερικό του αντικειμένου, έννοιες που θεωρούνται προαπαιτούμενες για την κατανόηση του όγκου και της πυκνότητας. Σε ελάχιστες μάλιστα περιπτώσεις ορισμένοι μαθητές ανέφεραν σύγκριση του βάρους του αντικειμένου με το βάρος του νερού, δηλαδή προχώρησαν σε ερμηνείες που χαρακτηρίζονται ως συσχετιστικές, παρόλο που δε χρησιμοποίησαν την έννοια της πυκνότητας αλλά αυτήν του βάρους. Καταλήγοντας, η επιτυχία της διδασκαλίας εστιάζεται στο γεγονός ότι τα νήπια μείωσαν τις άσχετες με το φαινόμενο απαντήσεις και τις ερμηνείες του φαινομένου Π/Β με κριτήριο το βάρος του αντικειμένου. Επιπρόσθετα, στις ερμηνείες για το φαινόμενο Π/Β ενέταξαν

ιδιότητες των υλικών, οι οποίες μπορούν να υποβοηθήσουν στην κατανόηση της έννοιας της πυκνότητας.

Οι Hardy et al. (2006) διερεύνησαν την επίδραση δύο διδακτικών σειρών εποικοδομητικού χαρακτήρα, που διέφεραν στο βαθμό παρέμβασης του δάσκαλου, στην κατανόηση της Π/Β από μαθητές 8-10 ετών. Οι δύο παρεμβάσεις αποτελούνταν από οκτώ μαθήματα των ενενήντα λεπτών που πραγματοποιήθηκαν σε διάστημα δύο εβδομάδων. Οι μαθητές χρησιμοποίησαν τα ίδια υλικά και στις δύο περιπτώσεις, καθώς και ίδια αντικείμενα καθημερινής χρήσης στις διερευνήσεις τους σχετικά με το φαινόμενο της Π/Β. Μια ακόμη διαφορά μεταξύ των δύο παρεμβάσεων είναι ότι στη λεγόμενη ελαφρώς καθοδηγητική σειρά (Low Instructional Sequence) οι μαθητές είχαν στη διάθεσή τους όλα τα αντικείμενα και τις πειραματικές διατάξεις και διερευνούσαν το κεντρικό ερώτημα της σειράς που ήταν «γιατί ένα βαρύ σιδερένιο πλοίο επιπλέει στο νερό;», χρησιμοποιώντας όποια από τα υλικά επέλεγαν αυτοί. Αντίθετα, στην ισχυρά καθοδηγητική σειρά (High Instructional Sequence) υπήρχε συγκεκριμένο διδακτικό σενάριο, και εκτός από το κεντρικό ερώτημα, που ήταν το ίδιο, κάθε ενότητα είχε και διαφορετικό στόχο. Τα μαθήματα εξελίχθηκαν με βάση τους εξής στόχους: κατανόηση της έννοιας του υλικού και χρήση της στις ερμηνείες της Π/Β, διαφοροποίηση της έννοιας της πυκνότητας από την έννοια βάρους, κατανόηση της έννοιας του εκτοπιζόμενου υγρού, κατανόηση της έννοιας της άνωσης και χρήση της στις ερμηνείες της Π/Β, και τέλος σύγκριση πυκνοτήτων για την ερμηνεία της Π/Β. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η κατανόηση του φαινομένου της Π/Β ήταν στατιστικά σημαντική και στις δύο περιπτώσεις, αλλά διατηρήθηκε μόνο στην περίπτωση της ισχυρά καθοδηγητικής παρέμβασης. Οι μαθητές στην περίπτωση της ισχυρά καθοδηγητικής παρέμβασης συνέχισαν και ένα χρόνο μετά να μην αναφέρονται στις εναλλακτικές ιδέες που είχαν πριν, π.χ. το βαρύ βυθίζεται και το ελαφρύ επιπλέει, και να επιλέγουν ερμηνείες που περιλάμβαναν σύγκριση πυκνοτήτων ή/και αναφορά στη δύναμη της άνωσης. Επίσης, η σύγκριση με τα αποτελέσματα από μαθητές που δεν παρακολούθησαν καμία από τις δύο παρεμβάσεις, έδειξε ότι οι μαθητές, μέσα από τη διαδικασία συμπλήρωσης των ερωτηματολογίων, βελτιώθηκαν και υιοθέτησαν διαισθητικές ερμηνείες για την Π/Β που βασίζονται στην αναφορά του είδους του υλικού του αντικειμένου.

Στην περίπτωση των Raghavan et al. (1998) έχουμε ένα αναλυτικό πρόγραμμα μεγάλης διάρκειας (περίπου μιας σχολικής χρονιάς) που εφαρμόζεται σε μαθητές έκτης δημοτικού. Στο αναλυτικό αυτό πρόγραμμα δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στην

κατάκτηση και χρήση του ερμηνευτικού μοντέλου του φαινομένου της Π/Β, που βασίζεται δευτερευόντως στην έννοια της πυκνότητας και κυρίως στην έννοια της δύναμης και στον μηχανισμό ισορροπίας των δυνάμεων του βάρους ενός αντικειμένου και της άνωσης που δέχεται από το υγρό στο οποίο βρίσκεται. Οι ιδέες των μαθητών αναφέρονται μεν αλλά παίζουν δευτερεύοντα ρόλο. Τα μοντέλα θεωρούνται σημαντικά, για αυτό πραγματοποιούνται συζητήσεις σε εισαγωγικό επίπεδο, πριν ακόμη δηλαδή διδαχθεί συγκεκριμένο περιεχόμενο των φυσικών επιστημών, ακολουθώντας την άποψη που έχουν για τα μοντέλα οι Hestenes (1987) και Halloun (2004), δηλαδή ότι οι μαθητές θα διδαχθούν αφηρημένα μεν, αλλά απλά μοντέλα εννοιών (π.χ. διανύσματα για τις δυνάμεις) με τη βοήθεια των οποίων θα σχηματίσουν πιο σύνθετα μοντέλα, όπως είναι το ερμηνευτικό μοντέλο της ισορροπίας δυνάμεων για την ερμηνεία του φαινομένου της Π/Β. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι μαθητές που παρακολούθησαν τα συγκεκριμένα μαθήματα είχαν στατιστικά σημαντική βελτίωση στη χρήση του ερμηνευτικού μοντέλου, χωρίς όμως αυτό να σημαίνει ότι απέρριψαν τις εναλλακτικές ιδέες για την έννοια της πυκνότητας ή της δύναμης, όπως φάνηκε από τα αποσπάσματα των απαντήσεων των μαθητών στις συνεντεύξεις.

Μια άλλη προσέγγιση η οποία λαμβάνει υπόψη τις ιδέες των μαθητών είναι αυτή των Smith et al., (1985, 1992). Στην προσέγγιση αυτή η έννοια της πυκνότητας εισάγεται ποιοτικά δίνοντας έμφαση κυρίως στη διαφοροποίηση των εννοιών της πυκνότητας, του βάρους και του όγκου, καθώς επίσης και στη σχέση μεταξύ τους και όχι στον ορισμό τους. Οπτικά μοντέλα αναπαράστασης (visual models) αντικαθιστούν τη χρήση της μαθηματικής αναλογίας. Πιο συγκεκριμένα, οι Smith et al. (1992) εισήγαγαν την έννοια της πυκνότητας ενθαρρύνοντας μαθητές 11 έως 13 ετών: α) να αναπτύξουν τα δικά τους εννοιολογικά μοντέλα, αντί να εισάγουν την έννοια της πυκνότητας χρησιμοποιώντας τον ορισμό του πηλίκου της μάζας προς τον όγκο ή σχεδιαγράμματα μάζας όγκου, και β) να εργαστούν στον υπολογιστή χρησιμοποιώντας το μοντέλο «τελίτσες-στο-κυβάκι» ή «τελίτσες-ανά-κυβάκι» («dots-in-a-box» model ή «dots-per-box» model ή «crowdedness» model ή «grid-and-dots» model), αντί να εργαστούν μόνο με πραγματικά υλικά, με στόχο τη διαφοροποίηση της έννοιας της πυκνότητας από το βάρος. Αποφάσισαν να επικεντρωθούν στη μελέτη των φαινομένων Π/Β καθώς και θερμικής διαστολής της ύλης μέσα από μια μακροσκοπική και όχι μικροσκοπική θεώρηση, για δύο λόγους: πρώτον, λόγω των καταγεγραμμένων στη βιβλιογραφία δυσκολιών των μαθητών να αποδεχθούν τη

μικροσκοπική άποψη για την ύλη σε σχέση με την άποψη ότι η ύλη είναι συνεχής (Acher, Arca & Sanmarti, 2007). Δεύτερον, λόγω των ενδείξεων ότι η μικροσκοπική θεώρηση, παρόλο που προσφέρει ισχυρότερο επεξηγηματικό πλαίσιο των εν λόγω φαινομένων, δεν είναι απαραίτητη για να πετύχουμε πλήρη διαφοροποίηση του βάρους και της πυκνότητας (Snir, 1991). Στο μοντέλο «τελίτσες-στο-κυβάκι», κάθε κύβος αναπαριστά μια σταθερή μονάδα όγκου, κάθε τελίτσα αναπαριστά μια μονάδα βάρους και ο αριθμός τους σε κάθε κυβάκι αντιστοιχεί στην πυκνότητα. Η προσέγγισή τους φάνηκε να είναι αποτελεσματική στη διαφοροποίηση βάρους και πυκνότητας κυρίως όμως σε μαθητές που ήδη είχαν μια διαισθητική άποψη προς αυτήν την κατεύθυνση, π.χ. μαθητές που τουλάχιστον σε ορισμένες περιπτώσεις θεωρούσαν την πυκνότητα ως ιδιότητα του υλικού, παρόλο που σε άλλες την αντιμετώπιζαν όπως και το βάρος, δηλαδή ως εκτατικό μέγεθος που εξαρτάται από την ποσότητα του αντικειμένου.

Σε σχέση με τον **δεύτερο στόχο της Πιαζετιανής προσέγγισης** υπάρχουν έρευνες που έδειξαν ότι οι μαθητές δεν αντιλαμβάνονταν τη φύση του επιστημονικού νόμου και το γεγονός ότι αυτός υπόκειται σε έλεγχο αξιοπιστίας και άρα επιβεβαίωσης και εγκυροποίησης (Snir, 1991). Σύμφωνα δε με την επισκόπηση της βιβλιογραφίας, κυρίως τα τελευταία είκοσι χρόνια, άρχισε να δίνεται βαρύτητα και προσοχή στην κατάκτηση μεταεγνωστικής και επιστημολογικής γνώσης. Για παράδειγμα οι Wisser και Smith (2008) θεωρούν ότι η κατανόηση της φύσης και του ρόλου των μοντέλων είναι απαραίτητη για την κατανόηση της έννοιας της πυκνότητας καθώς επίσης και των ερμηνειών του φαινομένου Π/Β τόσο σε μακροσκοπικό όσο και σε μικροσκοπικό πλαίσιο και επισημαίνουν ότι ο τρόπος με τον οποίο θα οικοδομηθεί αυτή η κατανόηση είναι ακόμη ανοικτό ζήτημα προς διερεύνηση. Εξάλλου, οι Kawasaki, Herrenkohl και Yeary (2004) διερεύνησαν την εξέλιξη στοιχείων της επιστημολογίας, σε μαθητές 8-10 ετών, χρησιμοποιώντας μια ενότητα εικοσιένα μαθημάτων διάρκειας δέκα εβδομάδων, σχετικά με την ερμηνεία φαινομένων Π/Β. Οι ερευνητές υιοθέτησαν το μοντέλο «τελίτσες-στο-κυβάκι» (Smith et al., 1992), καθώς και δραστηριότητες με πραγματικά πειράματα της ίδιας έρευνας, για να βοηθήσουν τους μαθητές να κατανοήσουν την πυκνότητα σε μακροσκοπικό επίπεδο, και να χρησιμοποιήσουν το μοντέλο αυτό στις ερμηνείες τους για την Π/Β, χωρίς να απαιτηθεί η κατανόηση του μικροσκοπικού μοντέλου για την ύλη. Οι μαθητές ενεπλάκησαν ενεργά στη διαδικασία της μάθησης αναλαμβάνοντας ρόλους και δουλεύοντας σε ομάδες, καθώς και σε συζητήσεις σχετικά: α) με τις διαφορές μεταξύ παρατήρησης και

θεωρίας ή πρόβλεψης και θεωρίας, β) με τους τρόπους με τους οποίους εξηγεί μία θεωρία, γ) με την ποσότητα των τεκμηρίων που χρειάζεται για να υποστηριχθεί μια θεωρία, και δ) με το πόσο καλά αναπαρίστανται οι θεωρίες από τα μοντέλα. Η ποιοτική ανάλυση των συζητήσεων (Driver et al., 1998) στη διάρκεια των μαθημάτων, ανέδειξε ότι αρκετοί μαθητές κατάφεραν να περάσουν από συλλογισμούς που βασίζονται σε φαινόμενα (phenomenon-based reasoning), όπου οι ιδέες δε διαφέρουν από τα ίδια τα πειράματα, σε συλλογισμούς που βασίζονται σε συσχετίσεις (relation-based reasoning), όπου οι μαθητές δίνουν έμφαση στη σχέση μεταξύ των τεκμηρίων (proof) που στηρίζουν μια θεωρία. Λιγότεροι δε, και σε πολύ μικρότερο βαθμό, κατάφεραν να περάσουν από συλλογισμούς που βασίζονται σε συσχετίσεις, σε αυτούς που βασίζονται σε μοντέλα (model-based reasoning), όπου οι μαθητές αναγνωρίζουν ότι οι θεωρίες και τα μοντέλα μπορούν να αλλάξουν στο φως νέων τεκμηρίων.

Από την επισκόπηση της βιβλιογραφίας, φαίνεται ότι υπάρχουν δύο προσεγγίσεις για τη διδασκαλία και μάθηση της πυκνότητας: η Πιαζετιανή προσέγγιση που εφαρμόζεται κυρίως στο δημοτικό και στο γυμνάσιο και η επιστημονική προσέγγιση που εφαρμόζεται κυρίως στο λύκειο και στο κολλέγιο. Στο πλαίσιο της Πιαζετιανής προσέγγισης υπάρχουν τρεις διαφορετικές διδακτικές προσεγγίσεις για τη διδασκαλία και μάθηση της πυκνότητας και των φαινομένων της Π/Β. Παρόλα αυτά, φάνηκε ότι οι δύο από αυτές, η παραδοσιακή ή μαθηματική προσέγγιση καθώς και η προσέγγιση που βασίζεται μόνο στο σωματιδιακό μοντέλο σε μικροσκοπικό πλαίσιο, ήταν αναποτελεσματικές. Ως συνέπεια, οι σύγχρονες διδακτικές προσεγγίσεις είναι κυρίως εποικοδομητικού χαρακτήρα, επειδή κατά το σχεδιασμό τους λαμβάνονται υπόψη οι εναλλακτικές ιδέες των μαθητών σε μακροσκοπικό επίπεδο. Επίσης, οι σύγχρονες διδακτικές προσεγγίσεις φαίνεται να εστιάζουν όλο και περισσότερο σε χαρακτηριστικά, όπως είναι η διερεύνηση, τα μοντέλα και η μοντελοποίηση καθώς και οι μέθοδοι επίλυσης προβλημάτων.

2.2 Η διερεύνηση στις Φυσικές Επιστήμες και στη διδασκαλία

Η διερεύνηση, στις Φυσικές Επιστήμες (ΦΕ), ορίζεται ως ο τρόπος με τον οποίο δουλεύουν οι επιστήμονες, ενώ στη διδασκαλία και μάθηση χαρακτηρίζεται από τις δραστηριότητες μέσα από τις οποίες μαθαίνουν οι μαθητές τόσο τις επιστημονικές έννοιες όσο και τις επιστημονικές διαδικασίες (NRC, 2000). Η διερεύνηση στη

διδασκαλία και μάθηση μπορεί να διακριθεί σε δύο μεγάλες κατηγορίες: α) τη «διερεύνηση ως μέσο» για μάθηση (inquiry as means), δηλαδή τη διερεύνηση ως μια διδακτική προσέγγιση, και β) τη «διερεύνηση ως σκοπό» (inquiry as ends), δηλαδή τη διερεύνηση ως μια σειρά αναμενόμενων μαθησιακών αποτελεσμάτων, ως αποτέλεσμα της διδασκαλίας (Abd-El-Khalick et al., 2004). Η «διερεύνηση ως μέσο» συναντάται επίσης ως Διδακτική των Φυσικών Επιστημών βασισμένη στη Διερεύνηση (Inquiry-Based Science Education – IBSE), ως αντίποδας στις παραδοσιακές παραγωγικές (deductive) προσεγγίσεις (EU, 2007), ή αλλιώς ως διδακτικές προσεγγίσεις με μαθητοκεντρικές διερευνητικές δραστηριότητες υψηλού βαθμού ελευθερίας (full inquiry) ή δραστηριότητες εμβύθισης (immersion units) (Duschl & Grandy, 2008). Τόσο στην πρώτη όσο και στη δεύτερη περίπτωση, η μάθηση πραγματοποιείται μέσα από διερευνητικές διαδικασίες που στόχο έχουν τη λύση ενός κεντρικού προβλήματος (problem-based inquiry process), και η διερεύνηση ορίζεται ως ανταλλαγή απόψεων με τους συμμαθητές (debating with peers), σχεδιασμός ερευνητικών δραστηριοτήτων, αναζήτηση και συλλογή πληροφοριών, ανάλυση και ερμηνεία δεδομένων, χρήση ή/και κατασκευή μοντέλων, παραγωγή συνεκτικής και συνεπούς επιχειρηματολογίας κ.ά. (Duschl & Grandy, 2008, NRC, 2000). Η «διερεύνηση ως σκοπός» μπορεί να διακριθεί περαιτέρω σε δύο είδη, τα οποία είναι σημαντικό να αναπτυχθούν σε μαθητές ηλικίας 10 – 14 ετών. Πρώτον, η ικανότητα να πραγματοποιούν διερευνήσεις και δεύτερον, η κατανόηση της φύσης της επιστημονικής διερεύνησης (Bybee, 2006, NRC, 2000). Επίσης, είναι ευρέως αποδεκτό ότι είναι απαραίτητο να αναπτύξουμε αποτελεσματικούς τρόπους διάχυσης των διαδικασιών διερεύνησης στους μαθητές σε όλες τις βαθμίδες (Krajcik, 2001, Sutman, Schmuckler & Woodfield, 2008, Wenning, 2005 και 2007).

Οι προσεγγίσεις της διδασκαλίας και μάθησης οι οποίες χρησιμοποιούν διερευνητικές μεθόδους φαίνεται να αποτελούν ένα συνεχές από περιβάλλοντα μάθησης, στα οποία ποικίλλει ο βαθμός στον οποίο είναι μαθητοκεντρικά από τη μία και δάσκαλο-κατευθυνόμενα από την άλλη (Crawford, 2007, van Zee, 2006) (Σχήμα 2.2). Στο ένα άκρο βρίσκεται η διδασκαλία που στηρίζεται στη μεταφορά της γνώσης, και ο δάσκαλος αποφασίζει ποιο περιεχόμενο θα διδάξει καθώς και ποιες δραστηριότητες θα χρησιμοποιηθούν και αξιολογεί συνεχώς ώστε να μετρήσει τη μάθηση. Στο άλλο άκρο βρίσκεται η μάθηση, στην οποία ο ίδιος ο μαθητής αποφασίζει τι θα μάθει, πώς θα το μάθει, ποιες πηγές θα χρησιμοποιήσει, και πώς

θα αυτοαξιολογηθεί για να ελέγξει τη μάθηση. Ανάμεσα στις δύο αυτές ακραίες προσεγγίσεις, υπάρχουν διάφορες προσεγγίσεις διερευνητικής μάθησης, των οποίων η θέση στο συνεχές των περιβαλλόντων μάθησης εξαρτάται από τους ίδιους του μαθητές, την πρόθεση του δασκάλου, και τη συγκεκριμένη κατάσταση.

Δομημένη διερεύνηση (structured inquiry), στην οποία ο εκπαιδευτικός αποφασίζει τα ερωτήματα και τις συγκεκριμένες διαδικασίες της έρευνας.

Ανοιχτή διερεύνηση (open inquiry), στην οποία το επίπεδο του ελέγχου των δραστηριοτήτων από τους μαθητές είναι υψηλό, π.χ. οργανώνονται από μόνοι τους, θέτουν ερωτήματα, αναπτύσσουν υποθετικές ερμηνείες, σχεδιάζουν διερευνήσεις, πραγματοποιούν και καταγράφουν τις παρατηρήσεις τους, κατασκευάζουν μοντέλα κ.ά.



Σχήμα 2.2 Το ευρύ φάσμα προσεγγίσεων στη μέθοδο διερευνητικής διδασκαλίας και μάθησης (Crawford, 2007, van Zee, 2006)

Σημαντικό ρόλο στη χαμηλού επιπέδου επιστημολογική κατανόηση της επιστήμης από μαθητές και φοιτητές παιδαγωγικών και καθηγητικών σχολών παίζει, μεταξύ άλλων, α) το γεγονός ότι γνωρίζουν λίγα σχετικά με τη φύση και τον ρόλο των μοντέλων (Vosniadou, 2010, Wiser & Smith, 2008), β) το γεγονός ότι δε γνωρίζουν πώς να χρησιμοποιούν συλλογισμούς βασισμένους σε μοντέλα (model-based reasoning) (Kawasaki et al., 2004, Perkins & Grotzer, 2005) και γ) το γεγονός ότι δυσκολεύονται να αντιληφθούν τον συλλογισμό που υπάρχει πίσω από την επιστημονική μέθοδο της Στρατηγικής Ελέγχου Μεταβλητών (Boudreaux, Shaffer, Heron & McDermott, 2008). Για τους παραπάνω λόγους, θα εστιάσουμε σε δύο από τα στοιχειώδη συστατικά της διερεύνησης που αποτελούν ταυτόχρονα «μέσο» και «σκοπό» της διδακτικής και μαθησιακής διαδικασίας στο μάθημα των Φυσικών Επιστημών, τα μοντέλα και τη Στρατηγική Ελέγχου Μεταβλητών.

2.2.1 Τα μοντέλα και η μοντελοποίηση

2.2.1.1 Εισαγωγή

Η σημασία των μοντέλων και της μοντελοποίησης στη Διδακτική των Φυσικών Επιστημών (ΔΦΕ) αναδείχθηκε όταν στη φιλοσοφία της επιστήμης, στις αρχές της δεκαετίας του 1970, κυριάρχησε η μοντελο-θεωρητική άποψη (model-theoretic view), σύμφωνα με την οποία τα μοντέλα είναι βασικά συστατικά της θεωρίας και επίσης είναι βασικοί διαμεσολαβητές μεταξύ της θεωρίας και της πραγματικότητας (Develaki, 2007). Άλλες προσεγγίσεις αυτής της άποψης, που δίνουν την ίδια βαρύτητα στα μοντέλα, είναι η σημασιολογική (semantic-view) και η βασισμένη στα μοντέλα άποψη (model based view). Αυτή η αλλαγή θεώρησης στη φιλοσοφία της επιστήμης δεν επηρέασε μόνο τους ερευνητές της ΔΦΕ αλλά και τους ερευνητές της αναπτυξιακής γνωστικής ψυχολογίας, οι οποίοι τη χρησιμοποίησαν για να ισχυριστούν ότι υπάρχει γνωστική συνέχεια μεταξύ της πρώιμης και της ώριμης ή σύγχρονης επιστήμης (Grandy, 2003). Για τη ΔΦΕ η νέα αυτή άποψη, όπως εκφράζεται κυρίως από τον Giere (1999), είναι ελκυστική, γιατί προσφέρει επιστημολογική υποστήριξη στην κατανόηση της φύσης της επιστήμης και στην πραγματοποίηση ενός διδακτικού μετασχηματισμού της, στο πλαίσιο καινοτόμων αναλυτικών προγραμμάτων (Develaki, 2007). Ταυτόχρονα, δημιουργεί την προοπτική του συνδυασμού της φιλοσοφίας της επιστήμης και της γνωστικής αναπτυξιακής ψυχολογίας στην υπηρεσία της ΔΦΕ (Grandy, 2003). Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι στην προσέγγιση του Giere για την επιστήμη δίνεται ιδιαίτερη έμφαση σε γνωστικούς και πραγματιστικούς (pragmatic) παράγοντες σχετικά με το πώς κάνουμε επιστήμη (doing science). Επίσης, οφείλεται στο ότι στην προσέγγιση αυτή η δομή της επιστημονικής γνώσης πραγματώνεται μέσα από μοντέλα ή σύνολα μοντέλων, γεγονός που προσεγγίζει τον τρόπο με τον οποίο τα νοητικά μοντέλα και οι νοητικές αναπαραστάσεις χρησιμοποιούνται στην κατανόηση της διαδικασίας της μάθησης (Koronen, 2007).

2.2.1.1.α Το επιστημονικό μοντέλο – Ορισμός

Όπως στο χώρο της φιλοσοφίας της επιστήμης, έτσι και στο χώρο της ΔΦΕ, η συζήτηση σχετικά με τον ορισμό του μοντέλου και της διαδικασίας της μοντελοποίησης είναι σε εξέλιξη. Διακρίνουμε κυρίως δύο τάσεις. Από τη μία υπάρχουν οι ερευνητές που αποδέχονται ως μοντέλα κυρίως τα θεωρητικά ή

μαθηματικά μοντέλα (Danusso, Testa & Vicentini, 2010, Develaki, 2007, Halloun, 2004, Hestenes, 1992). Οι ερευνητές αυτοί φαίνεται ότι, εκτός από τις απόψεις του Giere, επηρεάζονται και από απόψεις φιλοσόφων της επιστήμης που είναι πιο κανονιστικές (normative) και θεμελιώδεις (foundationalist), όπως είναι οι απόψεις του Bunge (1983) και του Popper (1935/2002), όπως αναφέρεται στους Danusso et al. (2010) και τον Koronen (2007). Πιο συγκεκριμένα, ερευνητές όπως ο Hestenes (1992) και ο Halloun (2004), θεωρούν ότι η κατασκευή ενός μοντέλου γίνεται με βάση κάποιους κανόνες (τους κανόνες του παιχνιδιού, όπως χαρακτηριστικά ονομάζουν τους κανόνες της διαδικασίας της μοντελοποίησης), έχοντας ως εκκίνηση τα αξιώματα μιας θεωρίας. Τα μοντέλα αυτά αξιολογούνται μέσα από τη σύγκρισή τους με πειραματικά δεδομένα. Ακολουθώντας την προσέγγιση του Bunge (1983), δίνουν έμφαση στη μαθηματική δομή των μοντέλων και στο γεγονός ότι αποτελούν δομικά στοιχεία της θεωρίας. Η άποψη αυτή για τη μοντελοποίηση περιγράφει σαφώς μια αυθεντική διαδικασία μοντελοποίησης στις ΦΕ, όταν όμως η θεωρία που χρησιμοποιείται ως βάση για την ερμηνεία και την πρόβλεψη ενός φαινομένου είναι ήδη γνωστή και αποδεκτή. Συνεπώς, συμφωνούμε με τον Koronen (2007) ότι είναι αμφίβολο εάν με αυτήν την προσέγγιση μπορεί κανείς να εστιάσει στην κατασκευή και οικοδόμηση της θεωρίας ή/και στην απόκτηση νέας γνώσης, όταν αυτή δεν εντάσσεται στο πλαίσιο της ήδη αποκτηθείσας θεωρίας.

Από την άλλη, υπάρχουν ερευνητές που αποδέχονται, πέρα από τα μαθηματικά ή θεωρητικά μοντέλα, και τα μοντέλα που δεν έχουν τόσο μεγάλο βαθμό αφαίρεσης, όπως είναι τα οπτικά ή τα μοντέλα υλικής υπόστασης (Gilbert, Boulter & Elmer, 2000, Harrison & Treagust, 2000, Justi & Gilbert, 2002). Σε αυτήν την περίπτωση, οι ερευνητές επηρεάζονται από απόψεις φιλοσόφων της επιστήμης, όπως είναι ο Kuhn (1996) και ο Lakatos (1970), όπως αναφέρεται στον Koronen (2007), οι οποίοι ενισχύουν τη γνωστική προσέγγιση του Giere με στοιχεία κοινωνικής (social) και κοινωνιολογικής (sociological) προσέγγισης της χρήσης των μοντέλων, για την επικοινωνία και την αναπαράσταση της γνώσης και των ιδεών στις ΦΕ, προσπερνώντας θέματα σχετικά με την ανάλυση της σχέσης των μοντέλων με τη θεωρία και την πραγματικότητα (Koronen, 2007). Την προσέγγιση αυτή, που από εδώ και πέρα και στο πλαίσιο αυτής της διδακτορικής διατριβής, θα την ονομάζουμε *κοινωνιογνωστική*, ενισχύει και η άποψη της Nersessian (2008). Η άποψη αυτή, εστιάζει σε γνωστικές και διαδικαστικές όψεις του τρόπου με τον οποίο κάνουμε επιστήμη (doing science), διερευνώντας και αναλύοντας την ιστορική εξέλιξη της

επιστήμης και την επίδραση που άσκησαν σε αυτήν οπτικά μοντέλα που δημιούργησαν επιστήμονες, όπως είναι το μοντέλο για το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο του Maxwell. Από την παραπάνω βιβλιογραφική επισκόπηση, φαίνεται ότι υπάρχουν διαφορετικές προσεγγίσεις μεταξύ των ερευνητών της ΔΦΕ σχετικά με τον ορισμό του επιστημονικού μοντέλου. Οι προσεγγίσεις αυτές διακρίνονται από τον βαθμό αφαίρεσης που χαρακτηρίζει το μοντέλο, ο οποίος εξαρτάται: α) από την επιστήμη και την επιστημονική κοινότητα στην οποία δημιουργήθηκε και χρησιμοποιείται (βλέπε παρακάτω, στην ενότητα αυτή, τη συζήτηση σχετικά με τα *κοινά χαρακτηριστικά* των επιστημονικών μοντέλων), και β) από την ηλικία των εκπαιδευόμενων, οι οποίοι θα το χρησιμοποιήσουν κατά τη διδασκαλία και μάθηση (βλέπε παρακάτω, στην ενότητα 2.2.1.2, τη συζήτηση σχετικά με τις ιδέες των μαθητών για τα μοντέλα).

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω, παραθέτουμε ενδεικτικά ορισμένους αντιπροσωπευτικούς *ορισμούς* για την έννοια του επιστημονικού μοντέλου από τη σχετική βιβλιογραφία. Αρκετοί ερευνητές, που ακολουθούν κυρίως την κοινωνιογνωστική προσέγγιση, δηλώνουν ότι ένα μοντέλο είναι η αναπαράσταση ενός αντικειμένου, μιας ιδέας, ενός γεγονότος, μιας διαδικασίας, ενός συστήματος, ενός φαινομένου ή γενικότερα ενός στόχου (target) (Gilbert, Boulter & Rutherford, 1998, Gilbert et al., 2000, Van Driel & Verloop, 1999). Επίσης, αναφέρουν ότι ο σκοπός ενός μοντέλου μπορεί να είναι η περιγραφή, η εξήγηση ή η πρόβλεψη ενός από τους παραπάνω στόχους (van der Valk, van Driel & de Vos, 2007, Σταυριδίου, 1995). Σύμφωνα δε με τον Constantinou (1999), τα μοντέλα είναι συστηματοποιημένες αναπαραστάσεις ή μερικώς απλοποιημένες όψεις ενός συστήματος που περιλαμβάνουν *αντικείμενα, μεταβλητές, διαδικασίες και αλληλεπιδράσεις*. Έχουν, συνήθως, προβλεπτικές και ερμηνευτικές δυνατότητες, αφού αναπαριστούν τον μηχανισμό λειτουργίας κάποιου φαινομένου, και προκύπτουν μέσα από την εφαρμογή μιας θεωρίας σε συγκεκριμένο φαινόμενο ή κατάσταση. Σύμφωνα δε με τον Halloun (2004), ο οποίος ακολουθεί μια πιο κανονιστική και φορμαλιστική προσέγγιση, το επιστημονικό μοντέλο είναι ένα εννοιολογικό σύστημα, το οποίο μέσα στο πλαίσιο μιας θεωρίας σχετίζεται με τη δομή και τη συμπεριφορά ενός συγκεκριμένου προτύπου (pattern) μιας σειράς φυσικών συστημάτων. Ο σκοπός του μοντέλου είναι η αναπαράσταση του προτύπου αυτού. Επιπλέον, το μοντέλο εξυπηρετεί και συγκεκριμένες λειτουργίες, από τις οποίες άλλες είναι διερευνητικές (exploratory), για παράδειγμα περιγραφή,

ερμηνεία και πρόβλεψη του προτύπου, και άλλες είναι εφευρετικές (inventive), για παράδειγμα υλοποίηση προτύπων ήδη υπαρχόντων φυσικών συστημάτων ή συστημάτων που μόλις επινοήθηκαν.

Παράλληλα, άλλοι ερευνητές υποστηρίζουν ότι αντί ενός ορισμού για το επιστημονικό μοντέλο είναι πιο εφικτό να καταλήξουμε σε ορισμένα κοινά χαρακτηριστικά που το διακρίνουν. Για παράδειγμα, οι van der Valk et al. (2007), βασιζόμενοι σε βιβλιογραφική επισκόπηση ερευνητών της ιστορίας και της φιλοσοφίας της επιστήμης καθώς και της ΔΦΕ, που ανήκουν κυρίως στην προσέγγιση που δίνει έμφαση στην κοινωνιογνωστική διάσταση της χρήσης των μοντέλων (Giere, 1999, Gilbert et al., 2000, κ.α.), κατέληξαν σε ορισμένα κοινά χαρακτηριστικά, που διακρίνουν τα μοντέλα που χρησιμοποιούν οι επιστήμονες. Τα πρώτα δύο γενικά χαρακτηριστικά των επιστημονικών μοντέλων, που αναφέρονται από τους ερευνητές, περιγράφουν τη φύση και τις λειτουργίες ενός μοντέλου.

1. Ένα μοντέλο σχετίζεται πάντα με έναν στόχο (target), τον οποίο αναπαριστά, και έχει κατασκευαστεί με ένα συγκεκριμένο σκοπό (purpose). Ο στόχος αυτός αποτελεί και το πραγματικό αντικείμενο της έρευνας. Ο στόχος δε, μπορεί να είναι ένα αντικείμενο, ένα φαινόμενο, ένα γεγονός, μια διαδικασία, ένα σύστημα ή μια ιδέα. Ένα μοντέλο είναι πάντοτε μια αναπαράσταση του στόχου. Παρόλα αυτά, ο τρόπος με τον οποίο ο στόχος αυτός αναπαρίσταται στο μοντέλο (π.χ. τρισδιάστατο μοντέλο υλικής υπόστασης, μαθηματική εξίσωση, κ.ά.) μπορεί να είναι διαφορετικός από μία περίπτωση σε μία άλλη, και εξαρτάται από τον σκοπό του μοντέλου. Επιπλέον, θα πρέπει να είναι πάντοτε δυνατόν να αναγνωρίζεται τόσο ο στόχος, όσο και το μοντέλο και να γίνεται σαφής και αυστηρός διαχωρισμός μεταξύ τους.

Λαμβάνοντας δε υπόψη την άποψη του Giere (2004) ότι «...κάποιος χρησιμοποιεί ένα μοντέλο για να αναπαραστήσει έναν στόχο έχοντας έναν σκοπό...», στο σχήμα 2.3 αναδεικνύουμε το γεγονός ότι ένα μοντέλο *σχετίζεται* με έναν στόχο (τον οποίο αναπαριστά), *χρησιμοποιείται* από κάποιον, και η μορφή του *καθορίζεται* από τον σκοπό για τον οποίο κατασκευάστηκε.

2. Ένα μοντέλο χρησιμεύει ως ερευνητικό εργαλείο, το οποίο το χρησιμοποιούμε για να αντλήσουμε πληροφορίες σχετικά με ένα στόχο που δεν είναι άμεσα μετρήσιμος ή παρατηρήσιμος. Ένα μοντέλο χρησιμοποιείται για να κατανοήσουμε το άγνωστο, δηλαδή τον στόχο, συγκρίνοντάς τον με κάτι που είναι ήδη γνωστό και οικείο (π.χ. για να κατανοήσουμε τη δομή του ατόμου

του υδρογόνου τη συγκρίνουμε με τη δομή του ηλιακού μας συστήματος). Ο σκοπός ενός μοντέλου στην επιστημονική διερεύνηση είναι κυρίως η πρόβλεψη ή η ερμηνεία.



Σχήμα 2.3 Τα χαρακτηριστικά που περιγράφουν τη φύση ενός μοντέλου (Giere, 2004, Van Driel & van der Valk, 2007)

Επίσης, οι ερευνητές αναφέρονται και σε χαρακτηριστικά που έχουν σχέση με την ανάπτυξη (development) και την επιλογή (selection) ενός μοντέλου, τα οποία θεωρούν ότι είναι σημαντικό να γίνουν κατανοητά από τους μαθητές, αλλά και από τους εκπαιδευτικούς, ώστε να επιτευχθεί πλήρης κατανόηση της διαδικασίας της μοντελοποίησης. Τα χαρακτηριστικά αυτά είναι τα εξής:

3. Ένα μοντέλο έχει *ομοιότητες* με τον στόχο, οι οποίες επιτρέπουν στον ερευνητή να το χρησιμοποιήσει για τον σκοπό για τον οποίο κατασκευάστηκε, αλλά και συγκεκριμένες *διαφορές*, οι οποίες το κάνουν πιο απλό και ελκυστικό, για την έρευνα για την οποία κατασκευάστηκε, από ό,τι είναι ο στόχος. Εάν το μοντέλο ήταν ακριβώς όπως ο στόχος, τότε δεν θα ήταν μοντέλο αλλά αντίγραφο του στόχου. Έτσι, ανάλογα με τον σκοπό της έρευνας, ορισμένα στοιχεία του στόχου παραλείπονται από το μοντέλο. Με αυτήν την έννοια, συνήθως, ένα μοντέλο είναι απλούστερο από τον στόχο, ώστε να κάνει εφικτή την παρατήρηση ή γενικότερα την έρευνα σχετικά με

αυτόν. Ο στόχος μπορεί να είναι πολύ μικρός (άτομο), πολύ μεγάλος (σύμπαν), ή πολύ σύνθετος για άμεση παρατήρηση, μπορεί να υπάρχουν ζητήματα ηθικής (ανθρώπινος εγκέφαλος), ή τεχνικές δυσκολίες (το κέντρο της γης), ή τέλος μπορεί να είναι δύσκολη, για άλλους λόγους, η άμεση παρατήρηση ή διερεύνησή του. Επομένως, η κατασκευή ενός μοντέλου είναι πάντα *αποτέλεσμα συμβιβασμού*, ο οποίος γίνεται στη βάση του σκοπού της έρευνας, όπως αυτή καθορίζεται πρώτον, από το ερευνητικό ερώτημα και δεύτερον, από την απαιτούμενη προβλεπτική ακρίβεια της διεξαγόμενης έρευνας.

4. Περισσότερα από ένα μοντέλα συναίνεσης (consensus) μπορεί να συνυπάρχουν σχετικά με τον ίδιο στόχο. Για παράδειγμα, ένας βιοχημικός και ένας θεωρητικός χημικός μπορεί να χρησιμοποιούν εντελώς διαφορετικά μοντέλα για τη μοριακή δομή του νερού, διότι θέτουν εντελώς διαφορετικά ερευνητικά ερωτήματα.
5. Ένα μοντέλο κατασκευάζεται κατά τη διάρκεια ερευνητικών δραστηριοτήτων, μέσα από μια επαναλαμβανόμενη διαδικασία, στην οποία λαμβάνονται υπόψη τόσο τα εμπειρικά δεδομένα που προκύπτουν κατά τη διάρκεια των δραστηριοτήτων αυτών όσο και από την πρόοδο της έρευνας σε θεωρητικό, κοινωνικό και τεχνολογικό επίπεδο.

Οι van der Valk et al. (2007), χρησιμοποιώντας ένα ερωτηματολόγιο που δόθηκε σε 77 ερευνητές διάφορων ειδικοτήτων των επιστημών και της τεχνολογίας, πραγματοποίησαν έλεγχο και εγκυροποίηση της λίστας των κοινών αυτών χαρακτηριστικών. Τα αποτελέσματα της έρευνας αυτής έδειξαν ότι τα χαρακτηριστικά των μοντέλων έγιναν σε γενικές γραμμές αποδεκτά από την πλειοψηφία των ερευνητών που συμμετείχαν. Παρόλα αυτά, κάποια από τα χαρακτηριστικά έγιναν αντιληπτά με διαφορετικό τρόπο από ερευνητές διαφορετικού επιστημονικού πεδίου, σε συμφωνία με τους Schwartz και Lederman (2008) που πρότειναν ότι η έννοια του επιστημονικού μοντέλου αλλά και η χρήση της μπορεί να διαφέρει ανάλογα με το περιεχόμενο της επιστημονικής πρακτικής. Για παράδειγμα, σχετικά με το χαρακτηριστικό (1) των μοντέλων φάνηκε ότι υφίστανται περιπτώσεις όπου το μοντέλο και ο στόχος δεν είναι εύκολο να διαχωριστούν γιατί είναι σχεδόν όμοια, π.χ. σε περιοχές της τοξικολογίας στη βιολογία ή της ηλεκτροδυναμικής στη φυσική. Επίσης, σχετικά με το χαρακτηριστικό (2) των μοντέλων, τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν ότι οι αλλαγές που πραγματοποιήθηκαν τα τελευταία τριάντα χρόνια

στην επιστήμη, μέσα από την ισχυρή αλληλεπίδρασή της με τις νέες τεχνολογίες (π.χ. υπολογιστές, DNA, νέες τεχνικές μικροχημείας κ.ά.), έχουν επηρεάσει την αντίληψη των ερευνητών για τα μοντέλα. Επιπλέον, φάνηκε ότι το μοντέλο μπορεί να είναι μια αναπαράσταση της επιστημονικής γνώσης που μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη λήψη αποφάσεων σε θέματα που έχουν σχέση με την τεχνολογία, την ιατρική ή την κοινωνία (π.χ. θέματα σχετικά με την υπερθέρμανση του πλανήτη). Τέλος, σχετικά με το χαρακτηριστικό (4) των μοντέλων, το οποίο αναφέρεται στην πολλαπλότητα των μοντέλων που αναπαριστούν έναν στόχο, φάνηκε ότι, έστω και προσωρινά, κάποιο μοντέλο είναι καλύτερο από τα υπόλοιπα, ανάλογα με την ακρίβεια, π.χ. την προβλεπτική ακρίβεια του μοντέλου, που απαιτείται σε κάθε περίπτωση.

Θεωρούμε ότι η συγκεκριμένη έρευνα (van der Valk et al., 2007) προσφέρει δύο σημαντικά συμπεράσματα που έχουν σχέση με τη ΔΦΕ και κατά επέκταση με την παρούσα διδακτορική διατριβή. Πρώτον, εγκυροποιείται η λίστα των χαρακτηριστικών των μοντέλων που προέκυψε από τη σχετική βιβλιογραφία, και μάλιστα από σύγχρονους ερευνητές της επιστήμης και της τεχνολογίας, γεγονός που θεωρούμε ότι ενισχύει την κοινωνιογνωστική προσέγγιση σχετικά με τη φύση και τον ρόλο των μοντέλων. Δεύτερον, τα αποτελέσματά της αναδεικνύουν την ανάγκη να δοθεί περισσότερη προσοχή και έμφαση στη φύση και τον ρόλο των μοντέλων στην εκπαίδευση, σχετικά με τον τεχνολογικό σχεδιασμό, τη λύση προβλημάτων και τη λήψη αποφάσεων που έχουν να κάνουν με την κοινωνία, και όχι μόνο σχετικά με την ίδια την επιστήμη, διάσταση στην οποία έχουν εστιάσει ήδη πολλοί ερευνητές (Schwarz & White, 2005, Vosniadou, 2010, Wisner & Smith, 2008, Χαλκιά, 2010).

2.2.1.1.β Κατηγοριοποίηση μοντέλων

Πέρα από την προσπάθεια ορισμού του μοντέλου και περιγραφής των κοινών χαρακτηριστικών που διακρίνουν τα μοντέλα που χρησιμοποιούνται στην επιστήμη και την τεχνολογία, έχουν γίνει επίσης προσπάθειες κατηγοριοποίησης των μοντέλων που στην ουσία αναδεικνύουν τις διαφορές μεταξύ των μοντέλων που συναντώνται στη βιβλιογραφία (Σχήμα 2.4). Η κατηγοριοποίηση των μοντέλων που απαντάται συχνότερα στη σχετική βιβλιογραφία είναι αυτή που γίνεται με βάση την οντολογική τους κατάσταση (Gilbert et al., 2000), σε *νοητικά* (mental), *εκφρασμένα* (expressed), *συναίνεσης* (consensus), *επιστημονικά* (scientific), *ιστορικά* (historical),

αναλυτικών προγραμμάτων (curriculum) και διδακτικά (teaching) μοντέλα. Πιο αναλυτικά:



Σχήμα 2.4 Κατηγοριοποιήσεις των μοντέλων στη σχετική βιβλιογραφία

Τα *νοητικά* μοντέλα είναι μεμονωμένες ανθρώπινες κατασκευές, οι οποίες υπάρχουν αρχικά στο μυαλό κάποιου, ασχέτως αν το άτομο αυτό σκέφτεται μόνο του ή σε μια ομάδα. Τα *εκφρασμένα* μοντέλα είναι τα νοητικά μοντέλα που εισέρχονται στη δημόσια σφαίρα μέσω ενός ατόμου με οποιαδήποτε μορφή έκφρασης (π.χ. ομιλία, γραφή). Τα μοντέλα *συναίνεσης* είναι τα εκφρασμένα μοντέλα που έχουν συζητηθεί και έχουν γίνει αποδεκτά από μια συγκεκριμένη κοινότητα. Τα *επιστημονικά* μοντέλα είναι τα εκφρασμένα μοντέλα που έχουν γίνει αποδεκτά από μια επιστημονική κοινότητα μετά από επίσημο πειραματικό έλεγχο, που αποδεικνύεται από την έκδοσή τους σε περιοδικό ύστερα από κρίση. Τα *ιστορικά* μοντέλα είναι τα μοντέλα συναίνεσης που έχουν αναπτυχθεί σε ένα συγκεκριμένο πλαίσιο, και συγκεκριμένα σε ένα σύστημα συγκεκριμένων φιλοσοφικών, επιστημονικών, τεχνολογικών και κοινωνικών πεποιθήσεων. Τα μοντέλα των *αναλυτικών προγραμμάτων* είναι συνήθως οι απλοποιημένες εκδοχές των επιστημονικών ή ιστορικών μοντέλων, τα οποία περιλαμβάνονται σε ένα επίσημο αναλυτικό πρόγραμμα σπουδών. Τα *διδακτικά* μοντέλα μπορούν να οριστούν ως αυτά τα μοντέλα που έχουν αναπτυχθεί ειδικά για να διευκολύνουν τους μαθητές να κατανοήσουν τα μοντέλα συναίνεσης και

να υποστηρίξουν την εξέλιξη των νοητικών μοντέλων σε συγκεκριμένες γνωστικές περιοχές μάθησης. Τα διδακτικά μοντέλα κατασκευάζονται είτε από τον δάσκαλο είτε από τον μαθητή.

Επιπλέον, τα *εκφρασμένα* μοντέλα κατηγοριοποιούνται με βάση τον τρόπο αναπαράστασής τους (Boulter & Buckley, 2000) σε *υλικής υπόστασης* (physical or concrete), *λεκτικά* (verbal), *οπτικά* (visual), *μαθηματικά* (mathematical), *χειρονομίας* (gestural) καθώς και σε *απλά* και *μικτά* μοντέλα. Πιο συγκεκριμένα, α) μοντέλο *υλικής υπόστασης* μπορεί να είναι το μεταλλικό μοντέλο μιας σιδηροδρομικής μηχανής, μια τρισδιάστατη υδρόγειος σφαίρα ή το τρισδιάστατο μοντέλο του DNA, β) *λεκτικό* μοντέλο μπορεί να είναι η περιγραφή των συστατικών ενός μοντέλου καθώς και των σχέσεων μεταξύ τους με γραπτό ή προφορικό λόγο, γ) *οπτικό* μοντέλο μπορεί να είναι ένα γράφημα, ένα διάγραμμα ή ο χάρτης μιας περιοχής, δ) *μαθηματικό* μοντέλο μπορεί να είναι η μαθηματική έκφραση του δεύτερου νόμου του Νεύτωνα $F = m \times a$, ε) μοντέλο *χειρονομίας* μπορεί να είναι ένα μοντέλο που εκφράζεται μέσα από την κινησιολογία του σώματος, π.χ. η αναπαράσταση του ηλιακού συστήματος με την παρουσία και την κίνηση των ίδιων των μαθητών. Ένα μοντέλο μπορεί να είναι *μικρότερο* από τον στόχο που αναπαριστά, π.χ. ένα αεροπλάνο, ή *μεγαλύτερο* από αυτόν, π.χ. ένας ιός. Επίσης, ένα εκφρασμένο μοντέλο μπορεί να είναι *στατικό* (static) ή *δυναμικό* (dynamic). Τέλος, μπορεί να είναι *ντετερμινιστικό* (deterministic) όταν έχει ένα συγκεκριμένο και γνωστό αποτέλεσμα κάθε φορά που πραγματοποιείται ή *στοχαστικό* (stochastic), όταν το αποτέλεσμα είναι βασισμένο στις πιθανότητες. Οι κατηγοριοποιήσεις αυτές των εκφρασμένων μοντέλων μπορούν να βοηθήσουν στη δημιουργία μιας σειράς από μοντέλα που θα χρησιμοποιηθούν στη διδασκαλία και τη μάθηση λαμβάνοντας υπόψη το στάδιο γνωστικής ανάπτυξης των μαθητών.

Μια άλλη διάκριση που συναντάμε στη βιβλιογραφία είναι μεταξύ *μοντέλων* και *αναπαραστάσεων* (Ζαχαρίας, Καλυφομμάτου, Κωνσταντίνου, Νικολάου, Παπαευριπίδου & Χατζηγαπίου, 2004). Πιο συγκεκριμένα, τα *μοντέλα* θεωρούνται συστηματοποιημένες αναπαραστάσεις ή μερικώς απλοποιημένες όψεις ενός συστήματος που περιλαμβάνουν αντικείμενα, μεταβλητές, διαδικασίες και αλληλεπιδράσεις και αναπαριστούν τον μηχανισμό λειτουργίας κάποιου φαινομένου. Προκύπτουν δε, μέσα από την εφαρμογή μιας θεωρίας σε συγκεκριμένο φαινόμενο ή κατάσταση. Αντίθετα, οι *αναπαραστάσεις* είναι απλές απεικονίσεις ενός φαινομένου ή μιας κατάστασης. Συμφωνούμε με αυτήν την ομάδα ερευνητών, η οποία

υποστηρίζει ότι, όταν η ανάπτυξη της δεξιότητας της μοντελοποίησης αφορά σε ηλικίες μικρότερες των 14 χρόνων ή σε εκπαιδευτικούς που έχουν σκοπό να διδάξουν σε μικρά παιδιά, το μοντέλο ταυτίζεται με την αναπαράσταση. Η διδασκαλία σε αυτές τις περιπτώσεις είναι καλό να ξεκινά από απλές αναπαραστάσεις που αποτελούν την αρχική μορφή των μοντέλων που οικοδομούνται από τα παιδιά. Παρόμοια διάκριση κάνουν και οι Treagust, Chittleborough και Mamiala (2002), οι οποίοι χρησιμοποιούν καταρχήν την κατηγοριοποίηση των μοντέλων που προτείνουν οι Gilbert et al. (2000), κάνοντας ταυτόχρονα και μια επιπλέον διάκριση μεταξύ των *επιστημονικών* μοντέλων, τα οποία είναι αυτά που μπορούν να έχουν πολλές μορφές και χρησιμοποιούνται με αναλυτικό τρόπο, και από την άλλη στα *γενικά* μοντέλα (general models), τα οποία είναι αυτά που είναι απλές απεικονίσεις. Αναφέρουν δε και αυτοί ότι οι εμπειρίες των μαθητών με τα γενικά μοντέλα είναι το σημείο εκκίνησης για να κατανοήσουν τα επιστημονικά μοντέλα.

Σύμφωνα με τη Vosniadou (2010), τα εκφρασμένα μοντέλα μπορούν να διακριθούν σε αυτά που είναι *απεικονίσεις βασισμένες στην αντίληψη* (perceptually based depictions), και σε αυτά που αναπαριστούν *εννοιολογικά μοντέλα* (conceptual models). Οι διαφορές μεταξύ αυτών των δύο κατηγοριών των εκφρασμένων μοντέλων είναι οι εξής τρεις. Πρώτον, τα εννοιολογικά μοντέλα αναπαριστούν οντότητες, καταστάσεις ή φαινόμενα με διαφορετικό τρόπο από αυτόν με τον οποίο γίνονται αντιληπτά, χωρίς τη βοήθεια τεχνολογικών μέσων, μέσα από τις καθημερινές εμπειρίες μας. Δεύτερον, περιλαμβάνουν θεωρητικές οντότητες, οι οποίες είναι απαραίτητο να ερμηνευτούν στη βάση σχετικής επιστημονικής ή μαθηματικής γνώσης. Τρίτον, τα εννοιολογικά μοντέλα συχνά έρχονται σε αντίφαση με τις καθημερινές εμπειρίες. Με βάση τα παραπάνω, η Vosniadou (2010) προτείνει ότι υπάρχουν τουλάχιστον δύο λόγοι για τους οποίους τα εννοιολογικά μοντέλα είναι δυσκολότερο να κατανοηθούν από τις απεικονίσεις που είναι βασισμένες στην αντίληψη. Ο πρώτος είναι το γεγονός ότι τα εννοιολογικά μοντέλα σχετίζονται συνήθως με σύνθετες (complex domain-specific) θεωρίες. Συνεπώς, για να γίνουν κατανοητά τα εννοιολογικά μοντέλα προαπαιτείται μερική τουλάχιστον γνώση των παραπάνω θεωριών. Ο δεύτερος αφορά στην απόσταση μεταξύ των επιστημολογικών (epistemic) πεποιθήσεων των μαθητών και των επιστημολογικών υποθέσεων των εννοιολογικών μοντέλων.

Παρόμοια άποψη σχετικά με τα εννοιολογικά μοντέλα έχουν και οι Perkins και Grotzer (2005), οι οποίοι θεωρούν ότι οι μαθητές δεν μπορούν να τα κατανοήσουν γιατί περιλαμβάνουν σύνθετα αιτιακά μοντέλα, τα οποία όχι μόνο είναι μακριά από την κοινή λογική και την καθημερινή εμπειρία, αλλά πολλές φορές έρχονται σε αντίθεση με αυτήν. Μια από τις διαστάσεις που χαρακτηρίζουν τα σύνθετα αιτιακά μοντέλα στις ΦΕ είναι το πρότυπο αλληλεπίδρασης (interaction pattern) μεταξύ αίτιου και αποτελέσματος. Οι μαθητές συνήθως υιοθετούν πρότυπα της μορφής 'εάν συμβαίνει το Α, τότε προκαλείται το Β', π.χ. «εάν το αντικείμενο είναι βαρύ, τότε βυθίζεται». Τα συγκεκριμένα αιτιακά μοντέλα χαρακτηρίζονται από τους Perkins και Grotzer (2005) ως γραμμικά (linear) αιτιακά μοντέλα. Αντίθετα, ένα από τα επιστημονικά αποδεκτά μοντέλα για την πρόβλεψη του φαινομένου της Π/Β είναι ότι «ένα αντικείμενο βυθίζεται σε ένα υγρό εάν η πυκνότητα του αντικειμένου είναι μεγαλύτερη από την πυκνότητα του υγρού». Το συγκεκριμένο μοντέλο χαρακτηρίζεται ως συσχετιστικό (relational) αιτιακό μοντέλο, γιατί απαιτεί τη συσχέτιση των πυκνοτήτων του αντικειμένου και του υγρού για την πρόβλεψη του φαινομένου, και είναι πιο σύνθετο από το γραμμικό αιτιακό μοντέλο. Αντίστοιχα, στην περίπτωση της πυκνότητας οι μαθητές καταφεύγουν σε γραμμικά αιτιακά μοντέλα, όπως «το μεγάλο αντικείμενο έχει μεγάλη πυκνότητα», ενώ η επιστημονικά αποδεκτή άποψη σχετικά με την πυκνότητα απαιτεί τη συσχέτιση της μάζας του αντικειμένου με τον όγκο του και άρα απαιτείται, και σε αυτήν την περίπτωση, η κατανόηση των συσχετιστικών αιτιακών μοντέλων. Οι Perkins και Grotzer (2005) ισχυρίζονται ότι βοηθώντας τους μαθητές να κατανοήσουν όλο και πιο σύνθετα αιτιακά μοντέλα, όπως είναι τα συσχετιστικά έναντι των γραμμικών, οι μαθητές οδηγούνται σε καλύτερη κατανόηση και του γνωστικού περιεχομένου.

2.2.1.1.γ Μοντελοποίηση στη ΔΦΕ

Πολλοί είναι οι ερευνητές (Tiberghien, 1994, Constantinou, 1999, Halloun, 2004, Σμυρναίου & Βαβουράκη 2004, Πετρίδου, 2008) οι οποίοι ισχυρίζονται ότι τα μοντέλα και οι διαδικασίες μοντελοποίησης είναι σημαντικές τόσο για τις ΦΕ όσο και για τη διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών. Αυτό καταδεικνύεται εξάλλου και από τις δραστηριότητες και τη στάση διάφορων οργανισμών που καθορίζουν τις τάσεις και τις αλλαγές στην εκπαίδευση των ΦΕ, καθώς και από τη θεματολογία των

συνεδρίων που οργανώνουν (ESERA 2011. <http://www.esera2011.fr/>, GIREP 2010. <https://www.jyu.fi/en/congress/girep2011>).

Σύμφωνα με τους Justi και Gilbert (2002) η μοντελοποίηση, τόσο στην επιστήμη όσο και στη διδασκαλία και μάθηση ΦΕ, αφορά στην οικοδόμηση (production) και την αναθεώρηση ή βελτιωτική ρύθμιση (revision) μοντέλων. Η μοντελοποίηση γίνεται με ένα συγκεκριμένο σκοπό (purpose), ο οποίος μπορεί να είναι η περιγραφή ενός φαινομένου, ο καθορισμός των στοιχείων από τα οποία αποτελείται καθώς και των σχέσεων μεταξύ τους, η εξήγηση ή η πρόβλεψη ενός φαινομένου, ή τέλος συνδυασμός των παραπάνω (Gilbert et al., 1998).

Οι διδακτικές προσεγγίσεις, οι οποίες βασίζονται σε μια θεωρία της μάθησης που πραγματοποιείται μέσα από τη διαδικασία της μοντελοποίησης, στοχεύουν στη συμμετοχή του μαθητή σε αυθεντικές διαδικασίες χρήσης νοητικών μοντέλων ως εργαλεία εξερεύνησης, σύνθεσης, πρόβλεψης και τελικά οικοδόμησης της γνώσης (Constantinou, 1999). Η διαδικασία της μοντελοποίησης μπορεί να υποβοηθήσει τους μαθητές στην κατανόηση δύσκολων εννοιών και πολύπλοκων διαδικασιών μέσα από τις λειτουργίες της οικοδόμησης, του ελέγχου, της αναμόρφωσης και της εφαρμογής μοντέλων που είναι κατανοητά από τους ίδιους. Εξάλλου, οι μαθητές, οικοδομώντας μοντέλα, μπορούν να κατανοήσουν καλύτερα τη φύση της επιστήμης και της επιστημονικής διαδικασίας ως μια προσπάθεια που επικεντρώνεται κυρίως στην επέκταση και τη βελτίωση μοντέλων (Gilbert et al., 1998).

Από τη διερεύνηση στη βιβλιογραφία οι Justi και Gilbert (2002) προσδιόρισαν πέντε προσεγγίσεις για τη διδασκαλία και μάθηση της έννοιας του μοντέλου και της μοντελοποίησης. Οι προσεγγίσεις αυτές, που παρατίθενται παρακάτω, δεν είναι εντελώς διακριτές και είναι δυνατό να υπάρχουν ορισμένες ή και όλες μαζί στην ίδια διδακτική – μαθησιακή προσέγγιση.

1. Μάθηση ενός επιστημονικού μοντέλου ή ενός μοντέλου αναλυτικού προγράμματος, σύμφωνα με την ταξινόμηση του Gilbert et al. (2000), χρησιμοποιώντας ένα άλλο πρόδρομο διδακτικό μοντέλο.
2. Μάθηση της χρήσης των μοντέλων σε συγκεκριμένο πλαίσιο ή φαινόμενο.
3. Μάθηση της διαδικασίας της βελτιωτικής αλλαγής ενός μοντέλου που ήδη γνωρίζει ένας μαθητής.
4. Μάθηση της οικοδόμησης ενός μοντέλου που είναι ήδη γνωστό και αποδεκτό από τους επιστήμονες.
5. Μάθηση της οικοδόμησης ενός μοντέλου εκ νέου (de novo).

Υπάρχουν ερευνητές που εστιάζουν στις πρώτες δύο προσεγγίσεις, δηλαδή στη μάθηση ή/και τη μάθηση της χρήσης ενός μοντέλου σχετικά με ένα συγκεκριμένο φαινόμενο, ενώ άλλοι εστιάζουν στις υπόλοιπες τρεις προσεγγίσεις, δηλαδή τις διαδικασίες βελτιωτικής αλλαγής ή/και οικοδόμησης ενός μοντέλου. Ένα παράδειγμα της πρώτης περίπτωσης αποτελεί ο μαθησιακός κύκλος της μοντελοποίησης του Halloun (2004), ο οποίος αποτελείται από πέντε φάσεις: εξερεύνηση, επιλογή μοντέλου, διαμόρφωση μοντέλου, εφαρμογή του μοντέλου σε διαφορετικά πλαίσια και ενσωμάτωση του μοντέλου στη θεωρία. Εφαρμόζεται κυρίως σε μαθητές δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης έχοντας ταυτόχρονα ως στόχο τόσο την ανάπτυξη της δεξιότητας της μοντελοποίησης, αλλά κυρίως την κατάκτηση της επιστημονικής γνώσης από τους μαθητές.

Ένα παράδειγμα της δεύτερης περίπτωσης αποτελεί ο κύκλος της μοντελοποίησης που προτείνεται από τον Constantinou (1999), ο οποίος οργανώνεται σε δύο στάδια: (α) τη μελέτη του φυσικού φαινομένου μέσω συστηματικών παρατηρήσεων και συλλογής πληροφοριών από τον πραγματικό κόσμο με σκοπό την οικοδόμηση ενός μοντέλου, και (β) τη βελτιωτική ρύθμιση του μοντέλου και την οικοδόμηση νέων μοντέλων μέσα από την επεξεργασία τεκμηρίων και τη σύγκριση των προβλέψεων που προκύπτουν από τα μοντέλα με τις αντίστοιχες πτυχές του φυσικού φαινομένου. Εφαρμόζεται κυρίως σε μαθητές του δημοτικού σχολείου και έχει συνήθως μικρό εννοιολογικό φορτίο, ώστε οι μαθητές να επικεντρωθούν στη διαδικαστική γνώση - δεξιότητα μοντελοποίησης- και όχι μόνο στην εννοιολογική γνώση.

Επιπλέον, οι δραστηριότητες και τα εργαλεία που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μαθησιακές διαδικασίες μοντελοποίησης μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες: στις *διερευνητικές* (exploratory) δραστηριότητες με εργαλεία όπως μικρόκοσμοι, προσομοιώσεις κλπ., και στις *εκφραστικές* (expressive) δραστηριότητες με εργαλεία όπως συστήματα μοντελοποίησης και λογιστικά φύλλα (Bliss, 1996). Μια δραστηριότητα ή ένα λογισμικό διερευνητικού τύπου επιτρέπει τους μαθητές να εξετάσουν την επιστημονική άποψη, που συχνά θα είναι αρκετά διαφορετική από τις δικές τους αυθόρμητες ιδέες. Μια τέτοια δραστηριότητα αντιστοιχεί στις διδακτικές-μαθησιακές προσεγγίσεις της μάθησης ή/και της μάθησης της χρήσης έτοιμων μοντέλων (Justi & Gilbert, 2002). Αντίθετα, μια δραστηριότητα ή ένα λογισμικό εκφραστικού τύπου επιτρέπει στους μαθητές να αναπαριστούν όψεις των δικών τους ιδεών και με αυτόν τον τρόπο να στοχάζονται και να διερευνούν τα δικά τους μοντέλα (Σχήμα 2.5). Συμφωνούμε δε με την Πετρίδου (2008), ότι οι διερευνητικές

διαδικασίες μοντελοποίησης, στις οποίες δεν περιλαμβάνεται οικοδόμηση μοντέλων από τους ίδιους τους μαθητές παρά μόνο μάθηση ή/και μάθηση της χρήσης έτοιμων μοντέλων, είναι πιθανότερο να προκαλέσουν θετικά αποτελέσματα στην κατανόηση της έννοιας του μοντέλου, όταν πρόκειται για μια εισαγωγική διδακτική-μαθησιακή σειρά με διαδικασίες μοντελοποίησης. Εξάλλου, σύμφωνα με τους Sins, Savelsbergh και van Joolingen (2005) σε περιπτώσεις που οι μαθητές εμπλακούν κατευθείαν σε διαδικασίες οικοδόμησης μοντέλων, επομένως σε εκφραστικές δραστηριότητες σύμφωνα με την Bliss (1996), υπάρχει κίνδυνος αποπροσανατολισμού από την ουσιαστική χρήση των μοντέλων ως διερευνητικά εργαλεία. Σε τέτοιες περιπτώσεις, οι μαθητές είναι δυνατόν να προσανατολιστούν αποκλειστικά στα μοντέλα, και να μην τους απασχολεί σε μεγάλο βαθμό το γνωστικό περιεχόμενο, κάτι που δεν είναι επιθυμητό ούτε στην περίπτωση που οι μαθητές ασχολούνται με δραστηριότητες οικοδόμησης μοντέλων. Αντίθετα, οι δραστηριότητες μοντελοποίησης διερευνητικού τύπου δίνουν την ευκαιρία στους μαθητές να προσεγγίσουν στοιχεία της επιστημονικής μεθόδου, χρησιμοποιώντας τα μοντέλα ως ερευνητικά εργαλεία με τα οποία ερμηνεύουν και προβλέπουν φαινόμενα.



Σχήμα 2.5 Οι δραστηριότητες μοντελοποίησης (Bliss, 1996) και η αντιστοίχισή τους με τις διδακτικές μαθησιακές προσεγγίσεις μοντελοποίησης των Justi και Gilbert (2002)

2.2.1.2 Ιδέες των μαθητών για τη φύση και τον ρόλο των μοντέλων

Παρακάτω, παρουσιάζουμε τις αντιλήψεις των μαθητών για τα μοντέλα, όπως καταγράφηκαν από έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί τις τελευταίες δύο

δεκαετίες. Εστιάζουμε κυρίως στα αποτελέσματα των ερευνών που είναι σχετικά με τη «φύση των μοντέλων» και τον «σκοπό των μοντέλων», επειδή αυτές είναι οι βασικές διαστάσεις κατανόησης των μοντέλων στην περίπτωση που η διδακτική προσέγγιση εστιάζει στη μάθηση της χρήσης έτοιμων μοντέλων, όπως είναι η περίπτωση της διδακτικής μαθησιακής σειράς που αφορά στην παρούσα διδακτορική διατριβή.

Οι Grosslight, Unger, Jay και Smith (1991) χρησιμοποίησαν συνεντεύξεις για να διερευνήσουν τις αντιλήψεις των μαθητών για τη φύση των μοντέλων και τα κριτήρια που χρησιμοποιούν για να περιγράψουν τι είναι μοντέλα. Πιο συγκεκριμένα, η συνέντευξη περιλάμβανε ερωτήσεις σχετικά με τη «φύση των μοντέλων», τον «σκοπό των μοντέλων», την «οικοδόμηση μοντέλων», την «πολλαπλότητα των μοντέλων» καθώς και κάτω από ποιες συνθήκες γίνεται «αλλαγή ενός μοντέλου». Στην έρευνα πήραν μέρος 33 μαθητές ηλικίας 13-14 ετών (7th grade) που κάλυπταν όλα τα επίπεδα βαθμολογίας, 22 μαθητές ηλικίας 17-18 ετών (11th grade) με βαθμολογία υψηλού επιπέδου. Οι αντιλήψεις των μαθητών, σχετικά με τις δύο διαστάσεις κατηγοριοποιήθηκαν σε δύο κατηγορίες, την 1 και τη 2, καμία εκ των οποίων δεν προσέγγιζε αυτήν των επιστημόνων. Για το λόγο αυτό, τέσσερις ειδικοί καθηγητές σε θέματα μοντελοποίησης περιέγραψαν την άποψή τους για το ίδιο θέμα, ώστε να προκύψει η επιστημονική άποψη στα συγκεκριμένα θέματα (κατηγορία 3). Πιο συγκεκριμένα, για τη διάσταση «φύση των μοντέλων» οι μαθητές που βαθμολογήθηκαν με 1 θεωρούσαν ότι τα μοντέλα είναι μικρά αντίγραφα των αντικειμένων (objects) της πραγματικότητας. Οι μαθητές που βαθμολογήθηκαν με 2 θεωρούσαν ότι τα μοντέλα είναι αναπαραστάσεις πραγματικών αντικειμένων ή γεγονότων, και όχι αναπαραστάσεις των ιδεών για τα πραγματικά αντικείμενα και γεγονότα. Τέλος, με 3 βαθμολογήθηκαν οι τέσσερις ενήλικες ειδικοί, οι οποίοι θεωρούσαν ότι τα μοντέλα είναι είτε υλικής υπόστασης είτε αφηρημένα μοντέλα (π.χ. μαθηματικές εξισώσεις και νοητικές εικόνες), που αναπαριστούν ιδέες.

Σχετικά με τη διάσταση «σκοπός των μοντέλων», οι μαθητές που βαθμολογήθηκαν με 1 θεωρούσαν ότι ο σκοπός των μοντέλων είναι να μοιάζουν με το πραγματικό αντικείμενο. Οι μαθητές που βαθμολογήθηκαν με 2 θεωρούσαν ότι τα μοντέλα είναι κυρίως μέσα επικοινωνίας πληροφοριών σχετικά με γεγονότα του πραγματικού κόσμου, με σκοπό να τα κάνουν κατανοητά, και όχι μέσα για τον έλεγχο και την ανάπτυξη των ιδεών ή των θεωριών για τον κόσμο. Επιπλέον, οι μαθητές αυτοί διέκριναν τις ιδέες ή/και το σκοπό του μοντέλου από το ίδιο το μοντέλο, και

αντιλήφθηκαν ότι ο σκοπός του μοντέλου υπαγορεύει τη μορφή του μοντέλου. Τέλος, με 3 βαθμολογήθηκαν οι τέσσερις ενήλικες ειδικοί, οι οποίοι θεωρούσαν ότι τα μοντέλα κατασκευάζονται με σκοπό να αναπτυχθούν και να ελεγχθούν ιδέες και ερμηνείες που σχετίζονται με φαινόμενα. Επίσης, θεωρούσαν ότι τα μοντέλα τα διαχειρίζεται, τα αξιολογεί και τα βελτιώνει ο κατασκευαστής τους, με κριτήριο το σκοπό για τον οποίο κατασκευάστηκαν.

Πιο αναλυτικά, από την ανάλυση των απαντήσεων των μαθητών στις συνεντεύξεις, όταν ρωτήθηκαν σχετικά με τη «φύση των μοντέλων», δηλαδή τι τους έρχεται στο μυαλό όταν ακούν τη λέξη μοντέλο, φάνηκε ότι σχεδόν όλοι οι μαθητές και των δύο βαθμίδων αναφέρθηκαν σε μοντέλα υλικής υπόστασης (π.χ. αντίγραφα αεροπλάνων ή κτιρίων), που αναπαριστούσαν πραγματικά αντικείμενα (π.χ. πραγματικά αεροπλάνα και πραγματικά κτίρια). Ορισμένοι από τους μαθητές μεγαλύτερης ηλικίας αναφέρθηκαν σε δισδιάστατα οπτικά μοντέλα, όπως είναι οι ζωγραφιές, τα διαγράμματα, οι χάρτες και οι οθόνες του υπολογιστή. Αρκετοί μαθητές, κυρίως της μεγαλύτερης ηλικίας, περιέγραψαν τα μοντέλα ως ακριβή αναπαράσταση ενός πραγματικού αντικειμένου σε άλλη κλίμακα. Επιπλέον, από την ανάλυση των απαντήσεων σχετικά με τον «σκοπό των μοντέλων» φάνηκε ότι περίπου οι μισοί μαθητές και των δύο βαθμίδων απάντησαν ότι σκοπός των μοντέλων είναι να μας δείχνουν πώς είναι εξωτερικά ένα αντικείμενο. Οι υπόλοιποι μαθητές 7th grade απάντησαν ότι σκοπός των μοντέλων ήταν να παρουσιάσει τι είναι ή τι κάνει ένα αντικείμενο, καθώς και ότι τα μοντέλα είναι κυρίως για να τα βλέπουμε και να παίζουμε με αυτά, κάτι που είναι σε συμφωνία με αυτό που αναφέρει ο Gilbert (1991) ότι οι μαθητές υποθέτουν ότι τα μοντέλα έχουν κυρίως ψυχαγωγικό ή διδακτικό ρόλο. Αντίθετα, οι υπόλοιποι μαθητές 11th grade απάντησαν ότι σκοπός των μοντέλων ήταν να βοηθήσουν κάποιον να καταλάβει ή/και να διδάξει, καθώς και να κάνει προσβάσιμα κάποια αντικείμενα που δεν είναι προσβάσιμα, ώστε να μπορέσουμε να τα δούμε και να τα χρησιμοποιήσουμε. Ορισμένοι τρόποι που αναφέρθηκαν ώστε να επιτευχθεί αυτή η προσβασιμότητα ήταν η έμφαση σε συγκεκριμένα στοιχεία, η απλοποίηση, η παράλειψη ορισμένων πληροφοριών καθώς και η αλλαγή μεγέθους ή προοπτικής του στόχου που αναπαριστά το μοντέλο.

Επιπλέον, η κατανόηση των μοντέλων από έμπειρους δασκάλους των ΦΕ διαχωρίστηκε από τους Windschitl και Thompson (2006) σε δύο διαστάσεις: στη «φύση των μοντέλων» (δηλαδή τι είναι τα μοντέλα, τι τα διαχωρίζει από τα

φαινόμενα και τι είναι απαραίτητο για τη δημιουργία τους) και στη «λειτουργία των μοντέλων» (δηλαδή τη χρήση των μοντέλων στην επιστήμη και τη δυνατότητα ύπαρξης πολλών μοντέλων για το ίδιο φαινόμενο). Οι περιγραφές των δασκάλων βαθμολογούνται και στις δύο διαστάσεις με 1, 2 και 3, όπου οι αντιλήψεις με βαθμό 1 δεν είναι σύμφωνες με αυτές των επιστημόνων ενώ οι αντιλήψεις με βαθμό 3 είναι σύμφωνες με αυτές των επιστημόνων.

Πιο συγκεκριμένα, για τη διάσταση «φύση των μοντέλων», οι δάσκαλοι που βαθμολογήθηκαν με 1 περιέγραψαν τα μοντέλα αποκλειστικά ως εικονογραφημένες ή υλικής υπόστασης αντιγραφές αντικειμένων που θεωρούνται πραγματικά και που συνήθως δεν είναι προσιτά σε απευθείας παρατήρηση (π.χ. πλαστικοί σκελετοί, σχέδια του DNA, μοντέλα του ηλιακού συστήματος με σφαίρες από αφρώδες υλικό). Οι δάσκαλοι αυτοί δεν αναφέρουν ότι τα μοντέλα μπορεί να αναπαριστούν διαδικασίες, γεγονότα ή/και συστήματα. Οι δάσκαλοι που βαθμολογήθηκαν με 2 υπογράμμισαν ότι τα μοντέλα μπορεί να είναι αναπαραστάσεις όχι μόνο αντικειμένων αλλά και διαδικασιών και συστημάτων που είναι παρατηρήσιμα (π.χ. αναπαράσταση της ροής υγρού σε μακέτα). Οι δάσκαλοι που βαθμολογήθηκαν με 3 περιέγραψαν τα μοντέλα ως συστήματα των οποίων τα κύρια χαρακτηριστικά περιλαμβάνουν θεωρητικές οντότητες ή διαδικασίες (π.χ. κινητικά μοντέλα της κίνησης των μορίων, αναδίπλωση των πρωτεϊνών). Οι δάσκαλοι στην κατηγορία 3, θεωρούν ότι τα μοντέλα είναι δυνατόν να αλλάξουν όχι μόνο επειδή είναι αποτέλεσμα εικασιών με βάση τα διαθέσιμα δεδομένα, αλλά και λόγω της εννοιολογικής και δημιουργικής φύσης της οικοδόμησης θεωρητικών μοντέλων.

Σχετικά με τη διάσταση «λειτουργία των μοντέλων», οι δάσκαλοι που βαθμολογήθηκαν με 1 δήλωναν ότι ο ρόλος των μοντέλων είναι να απλοποιήσουν, να απεικονίσουν ή να επιτρέψουν σε κάποιον να εξετάσει από κοντά κάτι που δεν είναι εύκολα προσιτό για έρευνα. Με αυτήν την έννοια, οι δάσκαλοι στην κατηγορία 1 θεωρούν ότι ο κύριος ρόλος των μοντέλων είναι «να δείχνουν» κάτι. Οι δάσκαλοι που βαθμολογήθηκαν με 2 δήλωσαν ότι τα μοντέλα χρησιμοποιούνται για να διευκολύνουν την κατανόηση ενός αντικειμένου, μιας διαδικασίας ή ενός συστήματος. Οι δάσκαλοι που βαθμολογήθηκαν με 1 ή 2 παρουσίασαν την αντίληψη ότι τα μοντέλα αναπαριστούν μια αντικειμενική αλήθεια και οι ιδέες της «απεικόνισης» και της «διευκόλυνσης στην κατανόηση» χρησιμοποιήθηκαν με την έννοια ενός ειδικού που χρησιμοποιεί τα μοντέλα ως εργαλεία για να παρουσιάσει σε ένα μαθητή τις λεπτομέρειες πραγματικών αντικειμένων και διαδικασιών. Οι

δάσκαλοι που βαθμολογήθηκαν με 3 πρότειναν ότι τα μοντέλα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για πρόβλεψη φαινομένων ή ότι αποτελούν τη βάση για σκέψη σχετικά με θεωρητικά συστήματα. Επίσης, δήλωσαν ότι τα μοντέλα είναι εργαλεία για την προώθηση της επιστημονικής σκέψης και όχι ερευνητικά προϊόντα.

Όπως φάνηκε από την ανάλυση των απαντήσεων, οι αρχικές αντιλήψεις των δασκάλων σχετικά με τα μοντέλα ήταν παρόμοιες με αυτές που αναδείχθηκαν σε άλλες αντίστοιχες έρευνες (Crawford & Cullin, 2004, De Jong & Van Driel, 2001). Παρά το γεγονός ότι οι δάσκαλοι ήταν έμπειροι στη διδασκαλία ΦΕ, μόνο το ένα τρίτο είχε αντιλήψεις που προσέγγιζαν την επιστημονική άποψη. Οι περισσότεροι θεωρούσαν ότι τα μοντέλα ήταν αναπαραστάσεις «πραγματικών» διαδικασιών και αρκετοί ανέφεραν ότι τα μοντέλα είναι αναπαραστάσεις μόνο απτών αντικειμένων. Τα δύο τρίτα των συμμετεχόντων θεωρούσαν ότι ο σκοπός των μοντέλων ήταν α) να παρουσιάσουμε κάποιες ιδέες, ή β) να βοηθήσουν κάποιον να σκεφτεί πιο καθαρά σχετικά με κάποια ιδέα ή να διδάξει σχετικά με την ιδέα αυτή. Ελάχιστοι ανέφεραν ότι τα μοντέλα είναι εργαλεία για την οικοδόμηση θεωριών ή για την εννοιολογική υποστήριξη στην επιστημονική διερεύνηση. Γενικά, κυριαρχούσε η αντίληψη των μοντέλων ως διδακτικά εργαλεία.

Οι Treagust et al. (2002) διερεύνησαν τις αντιλήψεις 228 μαθητών ηλικίας 13 έως 15 ετών (8th, 9th και 10th grade), οι οποίοι, όπως και στις προαναφερθείσες έρευνες, δεν παρακολούθησαν κάποια διδασκαλία σχετικά με τα μοντέλα στις ΦΕ, επομένως οι απαντήσεις τους αντικατόπτριζαν τις αντιλήψεις που είχαν για τα μοντέλα με βάση τις εμπειρίες που είχαν μέσα από το παραδοσιακό μάθημα ΦΕ. Για την ανάδειξη των αντιλήψεων των μαθητών χρησιμοποιήθηκε ένα γραπτό ερωτηματολόγιο 27 έργων πολλαπλής επιλογής τύπου Likert. Το ερωτηματολόγιο είχε ως στόχο την ανάδειξη των ιδεών των μαθητών σχετικά με θέματα όπως 1) τι είναι μοντέλο, 2) ποιος είναι ο ρόλος των μοντέλων στις ΦΕ, συμπεριλαμβανομένου του πώς και γιατί χρησιμοποιούνται τα μοντέλα, και 3) τι προκαλεί την αλλαγή ενός μοντέλου. Με το συγκεκριμένο ερωτηματολόγιο διερευνήθηκαν πέντε περιοχές σχετικά με την κατανόηση των μοντέλων: α) Η πολλαπλότητα των μοντέλων ως στοιχείο της φύσης τους. Εξετάζεται εάν οι μαθητές αποδέχονται την ταυτόχρονη χρήση μιας ποικιλίας μοντέλων για την κατανόηση ενός φαινομένου. β) Τα μοντέλα ως πιστά αντίγραφα. Εξετάζονται οι αντιλήψεις των μαθητών σχετικά με το βαθμό ακρίβειας που πρέπει να έχει ένα μοντέλο σε σχέση με τον στόχο που αναπαριστά. γ) Τα μοντέλα ως επεξηγηματικά εργαλεία. Εξετάζονται οι αντιλήψεις των μαθητών σχετικά με τους

τρόπους με τους οποίους βοηθάει ένα μοντέλο τους μαθητές να κατανοήσουν μια έννοια. δ) Οι χρήσεις των επιστημονικών μοντέλων. Εξετάζεται εάν οι μαθητές κατανοούν πώς χρησιμοποιούνται τα μοντέλα στις ΦΕ πέρα από τον περιγραφικό και τον επεξηγηματικό τους σκοπό. ε) Η αλλαγή των μοντέλων ως στοιχείο της φύσης τους. Εξετάζονται οι αντιλήψεις των μαθητών σχετικά με το πότε αλλάζει ένα μοντέλο. Από τις παραπάνω πέντε περιοχές η (β) αντιστοιχεί στη διάσταση «φύση των μοντέλων» και η (γ) μαζί με τη (δ) αντιστοιχούν στη διάσταση «λειτουργία ή σκοπός των μοντέλων», όπως αναφέρθηκαν στις προηγούμενες δύο έρευνες.

Η στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων σχετικά με την κατανόηση των μοντέλων ως πιστά αντίγραφα έδειξε ότι το μεγαλύτερο ποσοστό των μαθητών είχε τη στενή και αφελή αντίληψη ότι τα μοντέλα αποτελούν πιστά αντίγραφα των στόχων που αναπαριστούν. Αυτή η αντίληψη αντιστοιχεί σε μοντέλα κλίμακας τα οποία αναπαριστούν οικεία και εύληπτα αντικείμενα, π.χ. το μοντέλο ενός αυτιού και το μοντέλο της γήινης σφαίρας, για τα οποία η ακρίβεια και η λεπτομέρεια είναι σημαντικά. Παρόλα αυτά, υπήρχαν ορισμένοι μαθητές οι οποίοι αναγνώριζαν ότι, όταν οι επιστήμονες δημιουργούν μοντέλα αντικειμένων, φαινομένων ή αφηρημένων και άγνωστων οντοτήτων, τότε, ενώ δεν υπάρχει ακρίβεια και λεπτομέρεια στην αναπαράσταση, μπορεί και περιγράφεται το γιατί και το πώς λειτουργεί κάτι. Σχετικά με τη διάσταση «σκοπός των μοντέλων» φάνηκε ότι οι περισσότεροι μαθητές αντιλαμβάνονταν την περιγραφική ιδιότητα ενός μοντέλου, επειδή θεωρούσαν ότι τα μοντέλα χρησιμοποιούνται για να αναπαραστήσουν και να δείξουν με φυσικό ή οπτικό τρόπο πώς είναι ή πώς λειτουργεί ένα πραγματικό αντικείμενο. Επίσης, αντιλαμβάνονταν την επεξηγηματική ιδιότητα ενός μοντέλου στη διδασκαλία, επειδή θεωρούσαν ότι ένα μοντέλο μπορεί να δείχνει μια ιδέα σχετικά με ένα πραγματικό αντικείμενο ή φαινόμενο ή ότι τα μοντέλα μπορούν να μας βοηθήσουν να καταλάβουμε το αντικείμενο ή το φαινόμενο. Αντίθετα, οι μαθητές δυσκολεύτηκαν να αντιληφθούν τη δυνατότητα χρήσης των μοντέλων για την πρόβλεψη φαινομένων, τη δημιουργία θεωρίας και τον έλεγχο υποθέσεων.

Ανακεφαλαιώνοντας, από την επισκόπηση των προαναφερθέντων ερευνών παρατηρούμε ότι σχετικά με τη «φύση των μοντέλων» το μεγαλύτερο ποσοστό των μαθητών είχε την αντίληψη ότι τα μοντέλα είναι συνήθως υλικής υπόστασης και αποτελούν πιστά αντίγραφα των στόχων που αναπαριστούν (κατηγορία 1). Λιγότεροι ήταν οι μαθητές που είχαν την αντίληψη ότι τα μοντέλα μπορούν να αναπαριστούν όχι μόνο πραγματικά αντικείμενα αλλά και πραγματικές διαδικασίες,

γεγονότα ή/και συστήματα (κατηγορία 2). Τέλος, οι μαθητές φαίνεται ότι δεν μπορούν να αντιληφθούν ότι τα μοντέλα περιλαμβάνουν θεωρητικές οντότητες και διαδικασίες και άρα αναπαριστούν ιδέες σχετικά με ένα αντικείμενο, μια διαδικασία ή ένα φαινόμενο (κατηγορία 3). Επίσης, η πλειοψηφία των μαθητών έδειξε να θεωρεί ότι «σκοπός των μοντέλων» είναι να μοιάζουν με το πραγματικό αντικείμενο, να μας δείχνουν πώς είναι εξωτερικά ένα αντικείμενο καθώς και ότι τα μοντέλα είναι κυρίως για να τα βλέπουμε και να παίζουμε με αυτά (κατηγορία 1). Λιγότεροι ήταν οι μαθητές που αντιλήφθηκαν τα μοντέλα ως μέσα επικοινωνίας πληροφοριών σχετικά με αντικείμενα, διαδικασίες ή συστήματα του πραγματικού κόσμου με σκοπό να τα κάνουν κατανοητά. Με αυτήν την έννοια μπορούν να αντιληφθούν την περιγραφική και επεξηγηματική ιδιότητα ενός μοντέλου πάντα στο πλαίσιο της περιγραφής και ερμηνείας του πραγματικού κόσμου στη διδασκαλία και μάθηση (κατηγορία 2). Τέλος, οι μαθητές φαίνεται ότι δεν μπορούν να αντιληφθούν τα μοντέλα ως εργαλεία που χρησιμοποιούνται για την ανάπτυξη και τον έλεγχο ιδεών, π.χ. προβλέψεων ή/και ερμηνειών, που σχετίζονται με φαινόμενα (κατηγορία 3). Εξάλλου, παρατηρούμε ότι τόσο οι μαθητές όσο και οι δάσκαλοι αντιλαμβάνονται ευκολότερα τη διάκριση των μοντέλων από το αντικείμενο που αυτά αναπαριστούν παρά το γεγονός ότι τα μοντέλα αναπαριστούν τις ιδέες των επιστημόνων και τα φαινόμενα στα οποία αναφέρονται. Αυτό πιθανόν να συμβαίνει επειδή πολλά από τα μοντέλα που χρησιμοποιούνται στην τάξη είναι απτά και μπορούν να συγκριθούν άμεσα με τους στόχους που αναπαριστούν (Grosslight et al., 1991, Windschitl & Thompson, 2006). Επιπλέον, φαίνεται να κατανοούν ότι η οικοδόμηση ενός μοντέλου επηρεάζεται από ορισμένους σκοπούς του μοντέλου, π.χ. να αναπαραστήσει ή να δείξει πώς λειτουργεί ένα πραγματικό αντικείμενο, πριν κατορθώσουν να κατανοήσουν τον ρόλο που παίζουν τα επεξηγηματικά και θεωρητικά πλαίσια στην οικοδόμησή τους (Grosslight et al., 1991, Treagust et al., 2002).

Από τα παραπάνω, συμπεραίνουμε ότι οι μαθητές στο γυμνάσιο -επομένως και στο δημοτικό- έχουν ελάχιστη γνώση για τη φύση και τον ρόλο των μοντέλων. Η εμπειρία των μαθητών με γενικά μοντέλα, που εντάσσονται συνήθως στην κατηγορία του προπλάσματος υπό κλίμακα, είναι το σημείο αφετηρίας για την κατανόηση των επιστημονικών μοντέλων. Ειδικότερα, οι πιο σημαντικές δυσκολίες των μαθητών σχετικά με τα μοντέλα είναι ότι (Gilbert, 1991, Saari & Viiri, 2003, Treagust et al., 2002):

- Αποτυγχάνουν να διακρίνουν μεταξύ του κόσμου της εμπειρίας και του κόσμου των μοντέλων.
- Υποθέτουν ότι τα μοντέλα έχουν ψυχαγωγικό ή διδακτικό σκοπό.
- Υποθέτουν ότι τα μοντέλα είναι απτά και ακριβή αντίγραφα του στόχου τους, με άλλα λόγια υποθέτουν ότι στόχος ενός μοντέλου είναι η αντιγραφή.
- Υποθέτουν ότι ένα μοντέλο είναι ένα αντικείμενο.
- Υποθέτουν ότι η καταλληλότητα ενός μοντέλου εξαρτάται από το ποιος φτιάχνει το μοντέλο, και ότι αυτό πρέπει να είναι όσο το δυνατόν πιο ακριβές.
- Υποθέτουν ότι ένα μοντέλο μπορεί να αλλάξει εάν έχει σφάλματα ή εάν ο κατασκευαστής του θέλει να το αλλάξει.

2.2.1.3 Διδακτικές προτάσεις για τη φύση και τον ρόλο των μοντέλων και τη μοντελοποίηση

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζουμε τις διδακτικές προτάσεις για τη φύση και τον ρόλο των μοντέλων, καθώς και για τη διαδικασία της μοντελοποίησης, όπως καταγράφονται στη βιβλιογραφία τις τελευταίες δεκαετίες. Πολλοί ερευνητές υποστηρίζουν ότι τα μοντέλα είναι σημαντικά εργαλεία που μπορούν να βελτιώσουν την εννοιολογική κατανόηση, καθώς και τη μεταεννοιολογική επίγνωση (*metaconceptual awareness*) (Schwarz & White, 2005, Vosniadou, 2007, Vosniadou & Kollias, 2003, Wisser & Smith 2008). Επειδή όμως η ερμηνεία των μαθητών για τον όρο επιστημονικό μοντέλο εξαρτάται από τις εμπειρίες τους και την ικανότητα αντίληψης που έχουν (*personal understandings*), υποστηρίζεται ότι οι μαθητές εκτός από το να πραγματοποιούν δραστηριότητες με τα μοντέλα (*acting with models*), θα πρέπει επίσης α) να κατανοήσουν στοιχεία της φύσης και του ρόλου των μοντέλων (Gobert, O'Dwyer, Horwitz, Buckley, Levy & Wilensky, 2011, Treagust et al., 2002, Wisser & Smith, 2008, Vosniadou, 2010), β) να αποκτήσουν εμπειρίες σχετικά με τον τρόπο που χρησιμοποιούνται τα μοντέλα στις ΦΕ, δηλαδή ως νοητικά εργαλεία (Grosslight et al., 1991, Treagust, et al. 2002), μέσα από τη συχνότερη εμπλοκή τους στη χρήση και καλλιέργεια συλλογισμών βασισμένων σε μοντέλα (Perkins & Grotzer 2005), και γ) να κατανοήσουν στοιχεία της διαδικασίας της μοντελοποίησης (Justi & Gilbert, 2002, Papaevripidou, Constantinou & Zacharia, 2007, Saari & Viiri, 2003). Τέλος, προτείνεται ο αναστοχασμός σχετικά με τις εμπειρίες που θα αποκτηθούν από τις δραστηριότητες μοντελοποίησης, καθώς και σχετικά με τη φύση των μοντέλων μέσα από μεταγνωστικές διαδικασίες (Schwarz & White, 2005).

Παρακάτω περιγράφουμε ορισμένες από τις έρευνες στις οποίες υπάρχουν διδακτικές προτάσεις σχετικά με τη διδασκαλία της φύσης και του ρόλου των μοντέλων ή/και τη διδασκαλία της μοντελοποίησης.

Οι Saari και Viiri (2003) σχεδίασαν, εφάρμοσαν και μελέτησαν το αποτέλεσμα μιας διδακτικής μαθησιακής σειράς που είχε στόχο την κατανόηση της έννοιας του μοντέλου και της μοντελοποίησης από 31 μαθητές ηλικίας 12-13 ετών (7th grade). Η σειρά είχε συνολική διάρκεια οκτώ ωρών που πραγματοποιήθηκαν σε διάστημα τριών εβδομάδων. Οι ερευνητές διερεύνησαν τις αντιλήψεις των μαθητών σχετικά με τη φύση και τον ρόλο των μοντέλων, οι οποίες λήφθηκαν υπόψη κατά τη διάρκεια του σχεδιασμού της μαθησιακής σειράς. Η έννοια του μοντέλου και της μοντελοποίησης διδάχθηκε παράλληλα με τη διδασκαλία και μάθηση σχετικά με τις τρεις καταστάσεις της ύλης. Πιο συγκεκριμένα, οι μαθητές συζήτησαν με τη δασκάλα θέματα σχετικά με τη φύση των μοντέλων, διδάχθηκαν το μακροσκοπικό μοντέλο της συνεχούς ύλης (continuous matter), καθώς και το μικροσκοπικό σωματιδιακό μοντέλο της ύλης. Επιπλέον, κατασκεύασαν ανά ομάδες τα παραπάνω μοντέλα, όπως τα κατανοούσαν οι ίδιοι, μέσα από παιχνίδια ρόλων. Η διερεύνηση των αντιλήψεων των μαθητών έγινε κατά κύριο λόγο με συνέντευξη, που περιελάμβανε έργα τα οποία εμπνεύστηκαν από την έρευνα των Grosslight et al. (1991), και συμπληρωματικά με γραπτό ερωτηματολόγιο για την τριγωνοποίηση των αποτελεσμάτων. Οι διαστάσεις κατανόησης της έννοιας του μοντέλου που διερευνήθηκαν ήταν ο ορισμός του μοντέλου, η χρήση και ο σκοπός ενός μοντέλου, η καταλληλότητα ενός μοντέλου και τέλος ο λόγος για τον οποίο μπορεί να γίνει αλλαγή ενός μοντέλου. Οι απαντήσεις των μαθητών σχετικά με την έννοια του μοντέλου κατατάχθηκαν στις εξής τρεις κατηγορίες, οι οποίες προέκυψαν από την ανάλυση των απαντήσεων των μαθητών της συγκεκριμένης έρευνας στη συνέντευξη πριν την παρέμβαση: α) Ένα μοντέλο είναι ένα αντικείμενο ή μια ενέργεια (act) που μπορεί να αντιγραφεί. Η καταλληλότητα του μοντέλου εξαρτάται από το ποιος το κατασκευάζει, αλλά το μοντέλο οφείλει να είναι όσο πιο ακριβές γίνεται. Μπορούμε να αλλάξουμε ένα μοντέλο, εάν διαπιστώσουμε λάθη ή εάν το επιθυμεί ο κατασκευαστής του. β) Ένα μοντέλο αναπαριστά έναν στόχο που μπορεί να είναι είτε γνωστός είτε άγνωστος. Ο κύριος σκοπός ενός μοντέλου είναι να βοηθήσει στη διδασκαλία και τη μάθηση. Η καταλληλότητα ενός μοντέλου εξαρτάται από τη φύση του μοντέλου και η αλλαγή του εξαρτάται από την επιθυμία του ερευνητή για έρευνα. γ) Ένα μοντέλο αναπαριστά έναν στόχο που μπορεί να είναι είτε γνωστός είτε

άγνωστος. Ο σκοπός ενός μοντέλου είναι να παρέχει μια ιδέα για έναν στόχο και να βοηθήσει στο να γίνει αντιληπτός (conceptualization). Ένα μοντέλο παρέχει το απαραίτητο λεξιλόγιο για την αναπαράσταση του στόχου. Η καταλληλότητα του μοντέλου εξαρτάται από τον σκοπό του και η αλλαγή του βασίζεται στην έρευνα. Σύμφωνα με τους ερευνητές, οι αντιλήψεις στην κατηγορία (α) είναι οι αντιλήψεις των μαθητών από την καθημερινή τους εμπειρία ενώ στην κατηγορία (γ) είναι η θεώρηση της σχολικής επιστήμης (school science) σχετικά με τα μοντέλα.

Λαμβάνοντας υπόψη τις αντιλήψεις των μαθητών για τα μοντέλα, οι ερευνητές αποφάσισαν ότι κατά τη διάρκεια της παρέμβασης οι μαθητές θα έπρεπε να προσεγγίσουν με τη βοήθεια συζητήσεων με τη δασκάλα τα εξής θέματα: α) τα μοντέλα μπορεί να είναι υλικής υπόστασης (concrete) ή αφηρημένα (abstract) και όχι απλές κατασκευές (artefacts), β) τα μοντέλα τα χρησιμοποιούμε για να αναπαραστήσουμε έναν στόχο (τη δομή και τις διαδικασίες του) παρά σαν ένα πιστό αντίγραφο του στόχου, γ) ένα μοντέλο έχει σκοπό να απλοποιήσει έναν στόχο παρά να είναι πιστό αντίγραφο του, δ) ένα μοντέλο το χρησιμοποιούμε για να προβλέψουμε ή να εξηγήσουμε τη συμπεριφορά ενός στόχου, ε) τα μοντέλα μπορούν να εφαρμοστούν σε ένα μεγάλο εύρος περιπτώσεων και όχι μόνο στην περίπτωση ενός συγκεκριμένου προβλήματος.

Η ανάλυση των απαντήσεων των μαθητών στο ερωτηματολόγιο πριν την παρέμβαση ανέδειξε ότι οι μαθητές είχαν πολύ περιορισμένη αντίληψη σχετικά με τη φύση και τον ρόλο των μοντέλων, ενώ η αντίστοιχη ανάλυση μετά την παρέμβαση έδειξε βελτίωση των αντίστοιχων αντιλήψεών τους. Επιπλέον, υπήρξε στατιστικά σημαντική διαφορά στην κατανόηση της έννοιας του μοντέλου μεταξύ των μαθητών που παρακολούθησαν τη μαθησιακή σειρά και μαθητών 9th grade που λειτούργησε ως ομάδα ελέγχου, οι οποίοι παρακολούθησαν μόνο την παραδοσιακή διδασκαλία στο μάθημα ΦΕ. Παρόλα αυτά, η ανάλυση των απαντήσεων που δόθηκαν σε ερωτηματολόγιο επτά μήνες μετά την παρέμβαση έδειξε ότι η κατανόηση της έννοιας του μοντέλου διατηρήθηκε μόνο στην περίπτωση που οι μαθητές συνέχισαν να χρησιμοποιούν τα μοντέλα και τη μοντελοποίηση και σε άλλες θεματικές μετά τη διδακτική παρέμβαση της συγκεκριμένης έρευνας. Οι ερευνητές προτείνουν ότι:

- Τα μοντέλα και η μοντελοποίηση χρειάζονται εκτεταμένο χρόνο διδασκαλίας και εξάσκησης, σε πολλές και διαφορετικές γνωστικές περιοχές των ΦΕ, ώστε η αποκτηθείσα γνώση από τους μαθητές να διατηρηθεί.

- Οι δραστηριότητες των μαθητών και η παρουσία του δάσκαλου σε μια διδακτική μαθησιακή σειρά πρέπει να είναι σε ισορροπία. (teacher-directed και student-centered components)
- Ο δάσκαλος είναι ανάγκη να διδάξει με σαφήνεια πότε θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν τα μοντέλα, και να εξηγήσει τα είδη των μοντέλων που θα χρησιμοποιηθούν.
- Είναι σημαντικό να χρησιμοποιηθούν διαφορετικά μοντέλα για τη μοντελοποίηση του ίδιου αντικειμένου ή φαινομένου.
- Είναι σημαντικό να συζητηθούν τα πλεονεκτήματα και οι περιορισμοί των μοντέλων που θα χρησιμοποιηθούν.
- Είναι σημαντικό να συμπεριληφθεί η διδασκαλία σχετικά με τα μοντέλα και τη μοντελοποίηση στην εκπαίδευση των εκπαιδευτικών τόσο των εν ενεργεία όσο και των φοιτητών.

Οι Schwarz και White (2005) σχεδίασαν, εφάρμοσαν και αξιολόγησαν διδασκαλία βασισμένη και εστιασμένη στη διερεύνηση, σε τέσσερα τμήματα 7th grade, συνολικά 87 μαθητών, ηλικίας 12-13 ετών. Κύριος στόχος της σειράς, που είχε διάρκεια 10 εβδομάδες (45 λεπτά καθημερινά), ήταν οι μαθητές να κατανοήσουν τη φύση και τον ρόλο των μοντέλων και να εμπλακούν σε διαδικασίες μοντελοποίησης (metamodeling knowledge). Επιπλέον, η διδασκαλία στόχευε α) στην κατανόηση στοιχείων του κύκλου διερεύνησης (White & Frederiksen, 1998), π.χ. πώς σχεδιάζουμε ένα πείραμα για να διαπιστώσουμε εάν ένας παράγοντας επηρεάζει ένα φαινόμενο, πώς διαχειριζόμαστε τα αποτελέσματα και πώς καταλήγουμε σε συμπέρασμα και β) στην κατανόηση των εννοιών δύναμη και κίνηση. Σημαντικά στοιχεία της διδασκαλίας τους ήταν ότι δόθηκε η δυνατότητα στους μαθητές α) να δημιουργήσουν μοντέλα στον υπολογιστή που να εκφράζουν τις δικές τους ιδέες σχετικά με τις έννοιες δύναμη και κίνηση, β) να αξιολογήσουν τα μοντέλα τους χρησιμοποιώντας κριτήρια όπως η ακρίβεια αναπαράστασης και η αληθοφάνεια του μοντέλου και γ) να εμπλακούν σε συζητήσεις σχετικά με τα μοντέλα και τις διαδικασίες μοντελοποίησης. Τα μοντέλα που δημιουργούσαν οι μαθητές στον υπολογιστή ήταν αιτιακά μοντέλα με λεκτική μορφή αναπαράστασης και η δημιουργία τους γινόταν μέσα από δραστηριότητες πολλαπλής επιλογής, π.χ. σε ερώτημα σχετικά με την επίδραση της τριβής στην ταχύτητα ενός αντικειμένου, μπορούσαν να επιλέξουν εάν η ταχύτητα του αντικειμένου α) μειώνεται, β) αυξάνεται, γ) μένει σταθερή, αλλά έχει πολύ μικρή τιμή, ή δ) δεν επηρεάζεται από την τριβή. Οι

συζητήσεις που πραγματοποιήθηκαν σχετικά με τα μοντέλα είχαν τους εξής τέσσερις άξονες: α) τη φύση των μοντέλων, π.χ. τι είναι ένα μοντέλο και εάν αναπαριστά την απόλυτη πραγματικότητα, β) τη φύση της διαδικασίας της μοντελοποίησης, π.χ. τι περιλαμβάνει η διαδικασία μοντελοποίησης, γ) την αξιολόγηση ενός μοντέλου, π.χ. με ποια κριτήρια αξιολογείται ένα μοντέλο, και δ) τον σκοπό ενός μοντέλου, π.χ. ποιος είναι ο σκοπός ενός μοντέλου ή με ποιο τρόπο μπορεί να είναι χρήσιμο ένα μοντέλο για τους επιστήμονες ή για τους μαθητές. Η αξιολόγηση της μάθησης έγινε με τη βοήθεια γραπτού ερωτηματολογίου που περιελάμβανε έργα κατηγοριοποίησης, ερωτήσεις πολλαπλής επιλογής και ερωτήσεις σωστού – λάθους, και δόθηκε πριν και μετά την παρέμβαση. Επιπλέον, πραγματοποιήθηκαν συνεντεύξεις με δώδεκα μαθητές, για την τριγωνοποίηση των αποτελεσμάτων των γραπτών ερωτηματολογίων. Η κατηγοριοποίηση των απαντήσεων των μαθητών στη συνέντευξη ήταν ισχυρά επηρεασμένη από παλαιότερες έρευνες, όπως αυτή των Grosslight et al. (1991).

Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν ότι υπήρξε σημαντική βελτίωση στις αντιλήψεις των μαθητών για τη φύση και τον ρόλο των μοντέλων και ότι αυτή η βελτίωση παρουσίασε ισχυρές συσχετίσεις με τη μάθηση σχετικά με το γνωστικό περιεχόμενο της σειράς, δηλαδή την έννοια της δύναμης και της κίνησης. Αντίθετα, παρατηρήθηκε ότι δεν υπήρξε αντίστοιχη βελτίωση σχετικά με την κατανόηση της διαδικασίας μοντελοποίησης γεγονός που ερμηνεύτηκε από τους ερευνητές ως ανάγκη για βελτίωση της σειράς όσον αφορά στο συγκεκριμένο θέμα, για αλλαγή του τρόπου αξιολόγησης της κατανόησης της μοντελοποίησης ή συνδυασμό των δύο παραπάνω. Επιπλέον, υπήρξαν ενδείξεις συσχέτισης μεταξύ α) της γνώσης σχετικά με τη φύση και τον ρόλο των μοντέλων και την επιστημονική διερεύνηση, και β) της μάθησης σχετικά με το γνωστικό περιεχόμενο της σειράς.

Οι Papaeniridou et al. (2007) σχεδίασαν και εφάρμοσαν μια σειρά δραστηριοτήτων σχετικά με το γνωστικό περιεχόμενο των θαλάσσιων οικοσυστημάτων σε 16 μαθητές ηλικίας 10-11 ετών (5th grade). Η σειρά, η οποία πραγματοποιήθηκε σε διάστημα δύο μηνών (οκτώ διδακτικές ώρες ανά βδομάδα), είχε στόχο κυρίως την καλλιέργεια δεξιοτήτων μοντελοποίησης, καθώς και την κατανόηση εννοιών, με τις οποίες ερμηνεύεται η λειτουργία ενός οικοσυστήματος. Οι ερευνητές ακολούθησαν μια προσέγγιση μοντελοποίησης για τη διδασκαλία και μάθηση, η οποία εστιάζει κυρίως στην οικοδόμηση και τη βελτιωτική ρύθμιση των μοντέλων των μαθητών και χαρακτηρίζεται ως επαναλαμβανόμενη και κυκλική. Οι μαθητές αρχικά συνέλεξαν

πληροφορίες για τα θαλάσσια οικοσυστήματα (βίντεο, κείμενα) και με βάση αυτά οικοδόμησαν με χαρτί και μολύβι ένα μοντέλο για το τι θεωρούν θαλάσσιο οικοσύστημα περιλαμβάνοντας σε αυτά κυρίως αντικείμενα. Στη συνέχεια, για να δημιουργήσουν πιο δυναμικά μοντέλα και να συμπεριλάβουν στα μοντέλα τους πληροφορίες σχετικά με μεταβλητές, αλληλεπιδράσεις και διαδικασίες που σχετίζονται με τα θαλάσσια οικοσυστήματα, χρησιμοποίησαν το λογισμικό StageCreator (SC) το οποίο δίνει τη δυνατότητα στους μαθητές να οικοδομήσουν τα μοντέλα τους στον υπολογιστή, χωρίς να χρειάζεται να γνωρίζουν προγραμματισμό. Κατά τη διάρκεια των δραστηριοτήτων μοντελοποίησης, δόθηκε έμφαση στους αιτιακούς συλλογισμούς με τους οποίους ερμηνεύονται οι διαδικασίες και οι αλληλεπιδράσεις σε ένα οικοσύστημα (γραμμικός αιτιακός συλλογισμός ή συλλογισμός ντόμινο και διαδραστικός-interactive αιτιακός συλλογισμός).

Για την αξιολόγηση των δεξιοτήτων μοντελοποίησης των μαθητών, καθώς και της κατανόησης των εννοιών που σχετίζονται με τα οικοσυστήματα, χρησιμοποιήθηκαν γραπτά ερωτηματολόγια με έργα ανοιχτού τύπου, πριν και μετά την παρέμβαση. Τα αποτελέσματα έδειξαν σημαντική βελτίωση στην εννοιολογική κατανόηση των οικοσυστημάτων, καθώς και αποδοχή του λογισμικού SC ως εργαλείου για τη μοντελοποίηση, το οποίο δίνει τη δυνατότητα για έλεγχο υποθέσεων και πρόβλεψη.

Οι Gobert et al. (2011) μελέτησαν την επίδραση που είχε η συμμετοχή 736 μαθητών λυκείου ηλικίας 16-18 ετών (9th – 12th grade) σε δραστηριότητες βασισμένες σε μοντέλα και υποβοηθούμενες από υπολογιστή (λογισμικά BioLogica, Dynamica και Connected Chemistry), στο πλαίσιο των μαθημάτων της Βιολογίας (Γενετική), της Φυσικής (Νευτώνεια Μηχανική) ή της Χημείας (Νόμοι των Αερίων), στις αντιλήψεις τους για τη φύση και τον ρόλο των μοντέλων. Τα εκπαιδευτικά υλικά που χρησιμοποιήθηκαν είχαν τη μορφή διαδραστικών δραστηριοτήτων, σχετικά με επιστημονικές διαδικασίες και φαινόμενα και βασίζονταν σε υπολογιστικά μοντέλα κάθε μιας από τις τρεις επιστημονικές περιοχές. Η συμπεριφορά κάθε δραστηριότητας καθορίζεται από τους νόμους και τους κανόνες κάθε γνωστικής περιοχής. Για παράδειγμα, στην περιοχή της Φυσικής, το λογισμικό Dynamica είναι ένα μοντέλο του οποίου η συμπεριφορά καθορίζεται από τους νόμους της Νευτώνειας Μηχανικής όπως αυτή εφαρμόζεται σε σημειακά υλικά σώματα. Κατά τη διάρκεια της εργασίας με τις συγκεκριμένες δραστηριότητες, οι μαθητές εμπλέκονται σε διερευνητικές διαδικασίες οι οποίες περιλαμβάνουν την πραγματοποίηση προβλέψεων με τη χρήση αναπαραστάσεων και μοντέλων, το σχεδιασμό και την

πραγματοποίηση πειραμάτων με μοντέλα, την ερμηνεία δεδομένων (data) που προκύπτουν από τις αναπαραστάσεις (π.χ. μοντέλα, γραφήματα κ.ά.) και τα πειράματα, την παραγωγή ερμηνειών χρησιμοποιώντας μοντέλα, καθώς και την παραγωγή και χρήση εξισώσεων για την αναπαράσταση της συμπεριφοράς μοντέλων. Κάθε δραστηριότητα έχει διάρκεια περίπου δύο με τρεις βδομάδες και εντάσσεται στο πλαίσιο ενός προγράμματος μακράς διάρκειας.

Η αξιολόγηση της κατανόησης του γνωστικού περιεχομένου έγινε με έργα πολλαπλής επιλογής που συμπληρώθηκαν και επεξεργάστηκαν στον υπολογιστή πριν και μετά τη συμμετοχή τους στις δραστηριότητες, ενώ για την αξιολόγηση της κατανόησης της φύσης και του ρόλου των μοντέλων χρησιμοποιήθηκε το γραπτό ερωτηματολόγιο της έρευνας των Treagust et al. (2002). Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν ότι στη χημεία που υπήρχε σαφής (explicit) διδασκαλία σχετικά με τη φύση και τον ρόλο των μοντέλων και τη διαδικασία της μοντελοποίησης, παρατηρήθηκε σημαντική βελτίωση στην κατανόηση των μοντέλων, ενώ στις περιπτώσεις της φυσικής και της βιολογίας που δεν υπήρξε αντίστοιχη διδασκαλία για τα μοντέλα, δεν παρατηρήθηκε βελτίωση στην κατανόησή τους. Τέλος, φάνηκε ότι σε ορισμένες περιπτώσεις η κατανόηση της φύσης και του ρόλου των μοντέλων βοήθησε στην κατανόηση του γνωστικού περιεχομένου.

Οι Perkins και Grotzer (2005) σχεδίασαν και εφάρμοσαν μια διδασκαλία για την έννοια της πυκνότητας σε φαινόμενα Π/Β, στην οποία έδωσαν έμφαση στην εξοικείωση των μαθητών με τα σύνθετα (complex) συσχετιστικά αιτιακά μοντέλα που περιλαμβάνουν οι έννοιες αυτές σε αντιδιαστολή με τα απλά αιτιακά μοντέλα που χρησιμοποιούν οι μαθητές τόσο για την έννοια της πυκνότητας όσο και για το φαινόμενο της Π/Β. Οι μαθητές προσέγγισαν την έννοια της πυκνότητας μακροσκοπικά, αλλά και μικροσκοπικά, χρησιμοποιώντας το σωματιδιακό μοντέλο της ύλης. Η διδασκαλία εφαρμόστηκε σε τέσσερα τμήματα (συνολικά 91 μαθητές) γυμνασίου (8th grade) ηλικίας 13-14 ετών και πραγματοποιήθηκε σε δεκαπέντε 45λεπτα μαθήματα κατά τη διάρκεια πέντε εβδομάδων. Δύο από τα τέσσερα τμήματα αποτέλεσαν την ομάδα ελέγχου, ενώ τα άλλα δύο την πειραματική ομάδα της έρευνας. Η διδασκαλία που παρακολούθησαν τα δύο τμήματα της ομάδας ελέγχου ήταν βασισμένη στη διερεύνηση, περιλάμβανε δραστηριότητες μοντελοποίησης, συζητήσεις σε ομάδες και χρήση προσομοιώσεων στον υπολογιστή. Τα δύο τμήματα της πειραματικής ομάδας παρακολούθησαν μια διδασκαλία που ήταν ακριβώς ίδια με αυτήν που παρακολούθησε η ομάδα ελέγχου,

με μόνη διαφορά ότι περιλάμβανε δραστηριότητες στις οποίες αναδεικνύονταν τα συσχετιστικά αιτιακά μοντέλα και πραγματοποιούνταν συζητήσεις σχετικά με αυτά. Οι δραστηριότητες μοντελοποίησης καθώς και οι προσομοιώσεις που χρησιμοποιήθηκαν σχετικά με τη διδασκαλία της πυκνότητας ήταν επηρεασμένα από την έρευνα των Smith et al. (1992). Οι αντιλήψεις των μαθητών σχετικά με την έννοια της πυκνότητας καθώς και με τον ρόλο της πυκνότητας στο φαινόμενο της Π/Β αξιολογήθηκαν με γραπτό ερωτηματολόγιο πριν και μετά την παρέμβαση. Επιπλέον, δώδεκα μαθητές έδωσαν συνέντευξη μετά την παρέμβαση με στόχο την τριγωνοποίηση των αποτελεσμάτων των γραπτών ερωτηματολογίων. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι, τόσο στην πειραματική ομάδα όσο και στην ομάδα ελέγχου, υπήρξε σημαντική βελτίωση στις απαντήσεις των μαθητών, γεγονός που ήταν αναμενόμενο, σύμφωνα με τους ερευνητές, αφού και στις δύο περιπτώσεις είχαμε διδασκαλία και μάθηση με καινοτομικά στοιχεία. Παρόλα αυτά, η βελτίωση στην πειραματική ομάδα ήταν μεγαλύτερη, όταν μετρήθηκε η συνέπεια με την οποία χρησιμοποιούσαν οι μαθητές το συσχετιστικό αιτιακό μοντέλο μετά την παρέμβαση (86% των μαθητών στην πειραματική ομάδα έναντι 61% των μαθητών στην ομάδα ελέγχου). Συνεπείς θεωρήθηκαν οι μαθητές που χρησιμοποιούσαν το συσχετιστικό αιτιακό μοντέλο σε δύο τουλάχιστον από τα τρία έργα που αξιολογούσαν αυτή τη διάσταση. Οι ερευνητές συμπεραίνουν ότι οι διδακτικές προτάσεις που είναι βασισμένες στη διερεύνηση μπορούν να αποτελέσουν το πλαίσιο στο οποίο θα γίνουν κατανοητά σύνθετα αιτιακά μοντέλα, παρόλα αυτά για να υπάρξει μέγιστη κατανόηση είναι σημαντικό να περιλαμβάνουν σαφή σχετική καθοδήγηση και διδασκαλία, πάντα στο πλαίσιο του συγκεκριμένου γνωστικού περιεχομένου.

Οι έρευνες που επισκοπήσαμε αποτελούν διδακτικές προτάσεις για μαθητές από το δημοτικό έως και το λύκειο, οι οποίες είναι όλες βασισμένες στη διερεύνηση και στα μοντέλα. Παρόλα αυτά, παρουσιάζονται διαφορές στο βαθμό που εστιάζουν στη μάθηση ή/και τη μάθηση της χρήσης των μοντέλων (Gobert et al., 2011, Perkins & Grotzer, 2005), στην οικοδόμηση και βελτιωτική ρύθμισή τους (Papaenripidou et al., 2007) ή και σε συνδυασμό τους (Saari & Viiri, 2003, Schwarz & White, 2005). Στην περίπτωση μάλιστα της έρευνας των Schwarz και White (2005), ο συνδυασμός περιλαμβάνει και την κατανόηση στοιχείων της επιστημονικής διερεύνησης, π.χ. πώς σχεδιάζουμε ένα πείραμα για να διαπιστώσουμε, εάν ένας παράγοντας επηρεάζει ένα φαινόμενο και πώς καταλήγουμε σε συμπέρασμα, στοιχεία τα οποία μελετάμε διεξοδικά στην ενότητα 2.2.2.

Τα χαρακτηριστικά εκείνα που διαφοροποιούν τις προσεγγίσεις των ερευνητών οι οποίοι εφαρμόζουν και χρησιμοποιούν τη μοντελοποίηση στις διδακτικές τους παρεμβάσεις, σύμφωνα με αυτά που αναπτύχθηκαν στις ενότητες 2.2.1.1.γ και 2.2.1.3, είναι τουλάχιστον τρία (Σχήμα 2.6). Πρώτον, εάν υπάρχει ή όχι, σαφής (explicit) διδασκαλία σχετικά με τη φύση και τον ρόλο των μοντέλων. Σε όλες τις περιπτώσεις των ερευνών που επισκοπήθηκαν σε αυτήν την ενότητα η σαφής διδασκαλία θεωρήθηκε σημαντική. Παράδειγμα ερευνητών που δε δίνει έμφαση στη σαφή διδασκαλία περί μοντέλων είναι οι Hestenes (1992) και Halloun (2004). Δεύτερον, εάν η εστίαση στη μοντελοποίηση γίνεται στη μάθηση ή/και στη μάθηση της χρήσης έτοιμων μοντέλων μέσα από διερευνητικές δραστηριότητες ή στην οικοδόμηση και βελτίωση μοντέλων από τους ίδιους τους μαθητές, μέσα από εκφραστικές δραστηριότητες μοντελοποίησης. Τρίτον, εάν η εστίαση είναι κυρίως στα χαρακτηριστικά των μοντέλων και στις διαδικασίες μοντελοποίησης (π.χ. Pappaenripidou et al., 2007) ή εάν αντίθετα είναι σημαντική και η κατανόηση της εννοιολογικής γνώσης ή αλλιώς του γνωστικού περιεχομένου της παρέμβασης (π.χ. Gobert et al. 2011, Hestenes, 1992, Halloun, 2004).



Σχήμα 2.6 Χαρακτηριστικά που διαφοροποιούν τις προσεγγίσεις της μοντελοποίησης στις διδακτικές-μαθησιακές σειρές

Στην τελευταία περίπτωση, καθοριστικός παράγοντας είναι το βάρος του εννοιολογικού φορτίου, της δυσκολίας με άλλα λόγια, του γνωστικού περιεχομένου που θα επιλεγεί να διδαχθεί. Παρατηρούμε ότι οι ερευνητές που εστιάζουν κυρίως στα μοντέλα και τη μοντελοποίηση, σε αντίθεση με αυτούς που εστιάζουν και στο γνωστικό περιεχόμενο, εφαρμόζουν συνήθως τη διδασκαλία σε μικρές ηλικίες, επιλέγοντας ελαφρύ εννοιολογικό φορτίο.

Παρά τις διαφορές που παρατηρούνται, οι περισσότεροι ερευνητές συμφωνούν στο γεγονός ότι η γνώση σχετικά με τα μοντέλα ή/και την μοντελοποίηση θα πρέπει να διδάσκεται με σαφήνεια καθώς και να δημιουργούνται οι προϋποθέσεις ώστε οι μαθητές να αναστοχαστούν τις διαδικασίες μοντελοποίησης στις οποίες ενεπλάκησαν. Επιπλέον, φαίνεται ότι οι μαθητές χρειάζονται χρόνο για να αφομοιώσουν την έννοια του μοντέλου και τη διαδικασία της μοντελοποίησης και μάλιστα χρειάζεται να τη συναντήσουν σε πολλά και διαφορετικά πλαίσια (Saari & Viiri, 2003, van Zee, 2006). Η δε εναλλαγή και η μετάβαση από ένα μοντέλο σε ένα άλλο, όταν υπάρχει τέτοια, θα πρέπει να γίνεται με σαφή και φανερό τρόπο. Είναι σαφές εξάλλου από την επισκόπηση ότι οι μαθητές δεν κατέχουν την έννοια του μοντέλου μετά από ένα παραδοσιακό μάθημα, εκτός και αν δοθεί ιδιαίτερη έμφαση στην έννοια αυτή (Grosslight et al., 1991, Saari & Viiri, 2003). Παρόλα αυτά, είναι επίσης φανερό ότι η κατανόηση της φύσης των μοντέλων και η δεξιότητα της μοντελοποίησης μπορούν να αναπτυχθούν με κατάλληλη βοήθεια και μέσα από την προσωπική εμπλοκή και εμπειρία του μαθητή σε δραστηριότητες μοντελοποίησης (Harrison & Treagust, 2000, Justi & Gilbert, 2002).

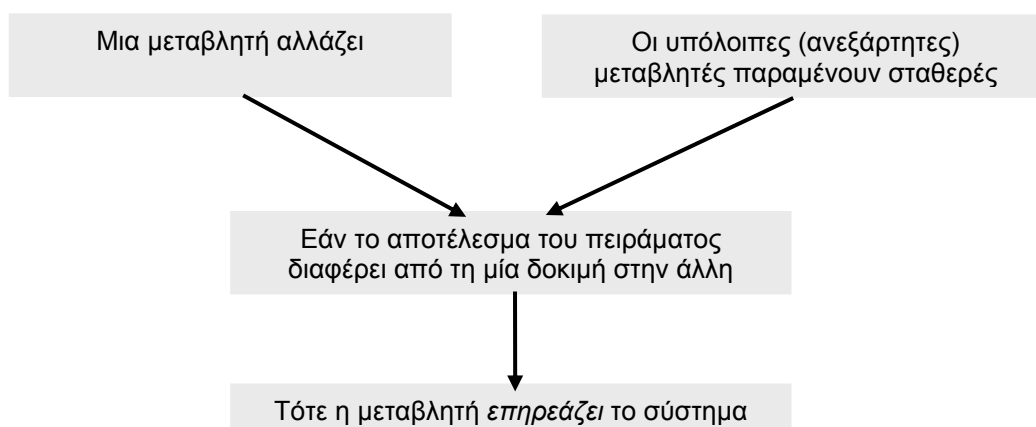
Επιπλέον, η Χαλκιά (2010) αναφέρει ότι από τα χαρακτηριστικά της φύσης και του ρόλου των μοντέλων απορρέουν συγκεκριμένοι *περιορισμοί* για κάθε μοντέλο (λόγω των στοιχείων που παραλείπονται ώστε το μοντέλο να καταστεί λειτουργικό), οι οποίοι μπορεί να δημιουργήσουν ή να ενισχύσουν εναλλακτικές ιδέες για θέματα παράπλευρα αυτών που διδάσκονται. Οι προτάσεις που αναφέρονται για την αποφυγή τέτοιων καταστάσεων είναι η διδασκαλία των μοντέλων να γίνεται: α) με έμφαση στους περιορισμούς του, β) με την αξιοποίηση πολλαπλών ή/και εναλλακτικών μοντέλων ενός φαινομένου, το καθένα από τα οποία εστιάζει σε διαφορετικά σημεία κλειδιά, ή/και γ) με την ιστορική παράθεση όλων των μοντέλων που κατά καιρούς αναπτύχθηκαν (και κατόπιν τροποποιήθηκαν) για την ερμηνεία του συγκεκριμένου φαινομένου (Χαλκιά, 2010).

Τέλος, συμφωνούμε με την πρόταση των ερευνητών (van der Valk et al., 2007), ότι είναι σημαντικό οι δραστηριότητες μοντελοποίησης που συμπεριλαμβάνονται σε διαδικασίες διδασκαλίας και μάθησης, να υποβοηθούν τους μαθητές στην αναγνώριση των κοινών χαρακτηριστικών των μοντέλων που χρησιμοποιούν, ή/και οικοδομούν, κατά τη διάρκεια του μαθήματος (βλέπε και ενότητα 2.2.1.1.α). Θεωρούμε ότι με αυτόν τον τρόπο θα υποβοηθηθεί η κατανόηση της φύσης και του ρόλου των μοντέλων.

2.2.2 Η Στρατηγική Ελέγχου Μεταβλητών

2.2.2.1 Εισαγωγή

Η ικανότητα σχεδιασμού κατάλληλων πειραμάτων και η εξαγωγή έγκυρων συμπερασμάτων από τα αποτελέσματά τους είναι μια από τις βασικές δεξιότητες στην επιστημονική σκέψη (Chen & Klahr, 1999). Η Στρατηγική Ελέγχου Μεταβλητών (ΣΕΜ) αποτελεί μία από τις μεθόδους που χρησιμοποιούν οι επιστήμονες στις διερευνήσεις τους για την εξαγωγή έγκυρων συμπερασμάτων. Πιο συγκεκριμένα, αναφέρεται στο σχεδιασμό και την ερμηνεία ενός πειράματος, στο οποίο ορισμένες μεταβλητές αλλάζουν τιμή με συγκριμένο τρόπο, με στόχο να παρατηρηθεί η επίδραση μιας συγκεκριμένης μεταβλητής στη συμπεριφορά ενός συστήματος (Boudreaux et al., 2008).



Σχήμα 2.7 Ο συλλογισμός που χρειάζεται να γίνει για να ελεγχθεί εάν μια μεταβλητή επηρεάζει ένα σύστημα

Γενικά, μια μεταβλητή μπορεί να σχετίζεται με το αποτέλεσμα ενός πειράματος με τρεις τρόπους: α) η μεταβλητή μπορεί να μην σχετίζεται με το αποτέλεσμα, β) η μεταβλητή μπορεί να *επηρεάζει* το αποτέλεσμα, οπότε στην περίπτωση αυτή

αλλάζοντας τη μεταβλητή μπορεί να αλλάξει το αποτέλεσμα, ή γ) η μεταβλητή μπορεί να *καθορίζει* το αποτέλεσμα, οπότε σε αυτήν την περίπτωση, αυτή η μεταβλητή και μόνο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να προβλεφθεί το αποτέλεσμα του πειράματος. Ο τρόπος με τον οποίο θα διαχειριστούμε τις μεταβλητές ενός πειράματος εξαρτάται από τη σχέση που θέλουμε να ελέγξουμε. Για να ελέγξουμε εάν μια μεταβλητή επηρεάζει το αποτέλεσμα ενός συστήματος χρειάζεται να αναγνωρίσουμε ότι η μεταβλητή που ελέγχεται θα πρέπει να αλλάξει από τη μία δοκιμή στην επόμενη, ενώ οι υπόλοιπες (ανεξάρτητες) μεταβλητές θα παραμείνουν σταθερές. Εάν το αποτέλεσμα αλλάξει, το συμπέρασμα θα είναι ότι η συγκεκριμένη μεταβλητή επηρεάζει το αποτέλεσμα (σχήμα 2.7). Σε αντίθετη περίπτωση, η μεταβλητή δεν επηρεάζει το αποτέλεσμα, τουλάχιστον στο συγκεκριμένο εύρος τιμών της μεταβλητής.

Η διαδικασία η οποία χρειάζεται να ακολουθηθεί για να διαπιστωθεί εάν μια μεταβλητή που επηρεάζει ένα σύστημα, το καθορίζει κιόλας, είναι διαφορετική. Σε αυτήν την περίπτωση η μεταβλητή υπό έλεγχο πρέπει να παραμείνει σταθερή, ενώ οι άλλες να αλλάξουν. Εάν η συμπεριφορά του συστήματος αλλάξει, τότε η μεταβλητή υπό έλεγχο δεν καθορίζει το αποτέλεσμα. Εάν αντίθετα, η συμπεριφορά του συστήματος δεν αλλάξει, τότε υπάρχουν τεκμήρια ότι η συγκεκριμένη μεταβλητή καθορίζει το αποτέλεσμα. Για παράδειγμα, στην περίπτωση που συγκρίνουμε τον αριθμό ταλαντώσεων ($N_1 = 16$ ταλαντώσεις και $N_2 = 8$ ταλαντώσεις) που πραγματοποιούν δύο εκκρεμή ($l_1 = 10\text{cm}$, $m_1 = 30\text{g}$, $\theta_1 = 30^\circ$ και $l_2 = 40\text{cm}$, $m_2 = 30\text{cm}$, $\theta_2 = 15^\circ$ όπου l = μήκος του νήματος, m = μάζα του σώματος που κρέμεται από το νήμα και θ = η γωνία απομάκρυνσης του νήματος από τη θέση ισορροπίας) σε χρόνο 10s, μπορούμε να συμπεράνουμε ότι η μάζα του σώματος που κρέμεται από το νήμα δεν καθορίζει τον αριθμό των ταλαντώσεων που πραγματοποιούνται, χωρίς να είμαστε ακόμη σίγουροι εάν η μάζα επηρεάζει το αποτέλεσμα (Boudreaux et al., 2008). Επίσης, το είδος του υλικού ενός αντικείμενου επηρεάζει την Π/Β του αντικείμενου αλλά δεν την καθορίζει, διότι για να γνωρίζουμε εάν ένα αντικείμενο θα επιπλεύσει ή θα βυθιστεί θα πρέπει να γνωρίζουμε και το είδος του υγρού στο οποίο βρίσκεται το αντικείμενο. Αντίθετα, η υψηλή θερμοκρασία είναι καθοριστικός παράγοντας στην αλλοίωση των τροφίμων, και το χρώμα του ανθρώπινου δέρματος καθορίζεται από την ύπαρξη μίας οργανικής χρωστικής ουσίας, γνωστής και ως μελανίνη. Από τις δύο παραπάνω διαδικασίες αυτή που διδάσκεται ακόμη και σε επίπεδο δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης είναι η πρώτη, δηλαδή αυτή με την οποία

ελέγχουμε εάν μια μεταβλητή επηρεάζει ένα σύστημα. Για το λόγο αυτό, παρακάτω θα ασχοληθούμε μόνο με αυτήν. Καταλήγοντας, μπορούμε να περιγράψουμε τη μέθοδο με δύο τρόπους, εστιάζοντας από τη μία στη διαδικαστική της φύση και από την άλλη στην εννοιολογική της φύση. Διαδικαστικά, η μέθοδος αφορά στο σχεδιασμό και τη δημιουργία πειραμάτων τα οποία να μπορούν να δώσουν τεκμήρια για την εξαγωγή συμπεράσματος. Επιπλέον, η πλήρης μέθοδος περιλαμβάνει και την ικανότητα διάκρισης μεταξύ κατάλληλου (unconfounded) και μη κατάλληλου (confounded) πειράματος για την εξαγωγή συμπεράσματος. Εννοιολογικά, η μέθοδος βασίζεται στην ικανότητα εξαγωγής συμπεράσματος από τα αποτελέσματα αυτών των κατάλληλων πειραμάτων, καθώς και στην κατανόηση του λόγου για τον οποίο ένα πείραμα είναι μη κατάλληλο για την εξαγωγή συμπεράσματος (Toth, Klahr & Chen, 2000).

2.2.2.2 Δυσκολίες των μαθητών στην κατανόηση της Στρατηγικής Ελέγχου Μεταβλητών

Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία σχετικά με τη ΣΕΜ (Boudreaux et al., 2008, Chen & Klahr, 1999, Dean & Kuhn, 2007, Lorch, R., Lorch, E., Calderhead, Dunlap, Hodell, & Freer, 2010, NRC, 1996 και 2000), οι μαθητές όλων των ηλικιών δυσκολεύονται να κατανοήσουν τη λογική που υπάρχει πίσω από τον σχεδιασμό κατάλληλων πειραμάτων με στόχο να ελεγχθεί εάν μια μεταβλητή επηρεάζει ένα φαινόμενο, καθώς και τη λογική με την οποία καταλήγουμε σε συμπέρασμα μετά από τη σύγκριση έγκυρων δοκιμών. Υπάρχουν, για παράδειγμα, περιπτώσεις μαθητών που δεν μπορούν να αντιληφθούν ότι η μεταβλητή που είναι υπό έλεγχο θα πρέπει να αλλάξει από τη μία δοκιμή στην άλλη. Άλλες φορές, οι μαθητές κατανοούν μεν ότι η μεταβλητή που είναι υπό έλεγχο θα αλλάξει από τη μία δοκιμή στην επόμενη, αλλά δεν δείχνουν να κατανοούν πώς πρέπει να διαχειριστούν τις υπόλοιπες μεταβλητές (Chen & Klahr, 1999). Επίσης, οι ίδιοι ερευνητές αναφέρονται στη δυσκολία, κυρίως των μαθητών των πρώτων τάξεων του δημοτικού, να μεταφέρουν τη γνώση σχετικά με τη μέθοδο σε άλλα φαινόμενα, ακόμη και μετά από σαφή διδασκαλία. Η ανάλυση των απαντήσεων των μαθητών στα γραπτά ερωτηματολόγια και τις συνεντεύξεις που πραγματοποιήθηκαν στις παραπάνω έρευνες, οδήγησε κατά κύριο λόγο σε μια κατηγοριοποίηση δύο κατηγοριών (ο μαθητής κατανοεί τον συλλογισμό – ο μαθητής δεν κατανοεί τον συλλογισμό), διότι συνήθως τα έργα αξιολόγησης ήταν κλειστά έργα πολλαπλής επιλογής. Παρόλα αυτά, σε κάθε περίπτωση, υπάρχουν και

ποιοτικά συμπεράσματα, στα οποία αναδεικνύονται οι δυσκολίες των μαθητών στην κατανόηση της ΣΕΜ, οι οποίες παρουσιάζονται παρακάτω:

- *Δεν μπορούν να διακρίνουν μεταξύ των προσδοκιών τους και των τεκμηρίων που τους παρουσιάζονται.* Πιο συγκεκριμένα, μαθητές 4th grade (Dean & Kuhn, 2007) αλλά και φοιτητές (Boudreaux et al., 2008) πολλές φορές στήριζαν τις ερμηνείες τους στην άποψη που είχαν για τη συμπεριφορά ενός συστήματος, με αποτέλεσμα αντί να περιγράψουν με ποιο τρόπο θα ελέγξουν εάν μια μεταβλητή επηρεάζει ένα σύστημα ή με ποιο τρόπο θα χρησιμοποιήσουν τα δεδομένα που τους δόθηκαν για να βγάλουν συμπέρασμα, να περιγράψουν ποιες είναι οι μεταβλητές που το επηρεάζουν, ακόμη και στις περιπτώσεις που τα τεκμήρια έδειχναν το αντίθετο ή που δεν ήταν αρκετά για να οδηγήσουν σε ασφαλές συμπέρασμα.
- *Δεν αντιλαμβάνονται ότι μόνο η μεταβλητή που είναι υπό έλεγχο επιτρέπεται να αλλάξει.* Πιο συγκεκριμένα, οι Boudreaux et al. (2008) αναφέρουν ότι ενώ οι περισσότεροι φοιτητές αντιλαμβάνονταν ότι έπρεπε να μεταβάλλουν την υπό έλεγχο μεταβλητή, δεν μπορούσαν να αντιληφθούν ότι οι υπόλοιπες μεταβλητές έπρεπε να παραμένουν σταθερές. Την ίδια δυσκολία παρουσίασαν και μαθητές του δημοτικού (Chen & Klahr, 1999).
- *Δεν αντιλαμβάνονται ότι η υπό έλεγχο μεταβλητή πρέπει να μεταβληθεί για να ελεγχθεί εάν επηρεάζει ένα φαινόμενο.* Η δυσκολία αυτή παρατηρήθηκε κυρίως σε μαθητές μικρότερης ηλικίας (Chen & Klahr, 1999).
- *Δεν αντιλαμβάνονται τη λογική με την οποία καταλήγουμε σε συμπέρασμα.* Ως συνέπεια αυτής της δυσκολίας παρατηρήθηκε ότι ορισμένοι από τους φοιτητές στην έρευνα των Boudreaux et al. (2008) θεωρούσαν ότι δεν είναι ασφαλές να βγάλουν συμπέρασμα με λίγες μόνο δοκιμές και ότι χρειάζεται να επαναλάβουν το πείραμα πολλές φορές για να είναι σίγουροι. Επίσης, ορισμένοι μαθητές (Chen & Klahr, 1999, Dean & Kuhn, 2007) και φοιτητές (Boudreaux et al., 2008) θεωρούσαν ότι μπορούν να βγάλουν συμπέρασμα ακόμη και όταν το πείραμα δεν είναι έγκυρο, π.χ. στην περίπτωση που εκτός από τη μεταβλητή υπό έλεγχο αλλάζει και άλλη μεταβλητή. Επιπλέον, οι Boudreaux et al. (2008) αναφέρουν ότι ενώ όταν πρόκειται για το σχεδιασμό του πειράματος, οι φοιτητές αντιλαμβάνονταν ότι η μεταβλητή υπό έλεγχο έπρεπε να αλλάζει, δυσκολεύτηκαν να αντιληφθούν αυτή τη διάσταση της

μεθόδου όταν επρόκειτο να ερμηνεύσουν τα αποτελέσματα του πειράματος και να καταλήξουν σε συμπέρασμα.

- Ορισμένοι φοιτητές (Boudreaux et al., 2008) θεωρούσαν ότι *όταν μια μεταβλητή επηρεάζει ένα φαινόμενο τότε δεν είναι δυνατό να το επηρεάζει και άλλη.*
- Τέλος, στην έρευνα των Boudreaux et al. (2008) αναδείχθηκε ότι *οι φοιτητές δυσκολεύονται να εφαρμόσουν τη μέθοδο ΣΕΜ όταν ορισμένες από τις μεταβλητές που επηρεάζουν ένα φαινόμενο είναι εξαρτημένες.* Για παράδειγμα, όπως όταν στην περίπτωση που μεταβάλλεται η μάζα ενός αντικειμένου κρατώντας σταθερή την πυκνότητά του, μεταβάλλεται ταυτόχρονα και ο όγκος του.

2.2.2.3 Διδακτικές προτάσεις για τη Στρατηγική Ελέγχου Μεταβλητών

Υπάρχει συμφωνία μεταξύ των ερευνητών ότι η αποτελεσματική διδασκαλία της Στρατηγικής Ελέγχου Μεταβλητών (ΣΕΜ) είναι σημαντικός παράγοντας για την επιτυχή διδασκαλία διαφόρων γνωστικών περιοχών των ΦΕ (Chen & Klahr 1999, Lorch et al., 2010). Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο η διδασκαλία της ΣΕΜ, ως ένα σημαντικό συστατικό στοιχείο του επιστημονικού συλλογισμού, αποτελεί σημαντικό αντικείμενο έρευνας στον χώρο της διδακτικής των ΦΕ.

Τα τελευταία χρόνια μάλιστα υπάρχει μια μεγάλη συζήτηση σχετικά με την αποτελεσματικότητα και την αναγκαιότητα της σαφούς διδασκαλίας της ΣΕΜ. Οι προσεγγίσεις που διακρίνονται στη σχετική βιβλιογραφία είναι τρεις (Σχήμα 2.8). Μια μερίδα ερευνητών υποστηρίζει ότι καθοριστικός παράγοντας για τη βελτίωση της κατανόησης του συλλογισμού της ΣΕΜ είναι αποκλειστικά η σαφής διδασκαλία της μεθόδου ΣΕΜ (Chen & Klahr 1999, Toth et al., 2000). Από την άλλη, υπάρχουν ερευνητές οι οποίοι υποστηρίζουν ότι οι μαθητές θα βελτιώσουν την κατανόηση της μεθόδου ΣΕΜ αρκεί να τους δοθεί η δυνατότητα να συμμετέχουν σε πειράματα βασισμένα στην ανακάλυψη (discovery-based), χωρίς να είναι απαραίτητη η σαφής διδασκαλία της μεθόδου (Dean & Kuhn, 2007, Schauble, 1996). Υπάρχουν τέλος ερευνητές, οι οποίοι προτείνουν την υποβοήθηση των μαθητών στην οικοδόμηση ενός αφηρημένου και γενικευμένου σχήματος της μεθόδου ΣΕΜ, με την εμπλοκή τους σε όσο γίνεται περισσότερα πειράματα που θα έχουν στόχο να ελέγξουν εάν κάποια μεταβλητή επηρεάζει κάποιο φαινόμενο, δίνοντας ταυτόχρονα περισσότερο

χρόνο και στη σαφή διδασκαλία της μεθόδου ΣΕΜ (Lorch et al., 2010, Strand-Cary & Klahr, 2008, Zohar & David, 2008).

Ένα παράδειγμα της πρώτης περίπτωσης, δηλαδή ερευνών που υποστηρίζουν τη σαφή διδασκαλία της μεθόδου ΣΕΜ, είναι η έρευνα των Chen και Klahr (1999), στην οποία συμμετείχαν 87 μαθητές ηλικίας επτά έως δέκα ετών (2nd, 3rd και 4th grade). Οι μαθητές πραγματοποίησαν δραστηριότητες με πραγματικά υλικά, διερευνώντας εάν συγκεκριμένες μεταβλητές επηρεάζουν φαινόμενα όπως η ταχύτητα βύθισης ενός αντικειμένου, η κύλιση μιας μπάλας σε κεκλιμένο επίπεδο ή η επιμήκυνση ενός ελατηρίου. Οι δραστηριότητες πραγματοποιήθηκαν για τον κάθε μαθητή ξεχωριστά με τη μορφή συνέντευξης, που είχε διάρκεια δύο 40λεπτα με χρονική απόσταση μιας εβδομάδας μεταξύ τους. Διδακτικά, οι ερευνητές ακολούθησαν τρεις διαφορετικές προσεγγίσεις: α) σαφής διδασκαλία της ΣΕΜ με ταυτόχρονες υποβοηθητικές ερωτήσεις σχετικά με τη λογική της μεθόδου, π.χ. «Για ποιο λόγο προτείνεις αυτές τις δοκιμές;» ή «Μπορείς να είσαι σίγουρος με αυτές τις δοκιμές;», β) μόνο υποβοηθητικές ερωτήσεις σχετικά με τη λογική της μεθόδου, και γ) ούτε διδασκαλία της μεθόδου ούτε υποβοηθητικές ερωτήσεις παρά μόνο εμπλοκή των μαθητών στις διερευνητικές δραστηριότητες. Επιπλέον, επτά μήνες μετά την παρέμβαση, οι μαθητές συμπλήρωσαν γραπτό ερωτηματολόγιο, στο οποίο επέλεγαν εάν κάποια προτεινόμενα πειράματα ήταν έγκυρα (valid) ή μη έγκυρα (invalid), για να συμπεράνουν εάν μια συγκεκριμένη μεταβλητή επηρεάζει ένα φαινόμενο. Ένα έγκυρο πείραμα ήταν αυτό στο οποίο άλλαζε μόνο η μεταβλητή υπό έλεγχο ενώ όλες οι άλλες μεταβλητές έμεναν σταθερές. Μη έγκυρα πειράματα ήταν αυτά στα οποία 1) η μεταβλητή υπό έλεγχο παρέμενε σταθερή ενώ άλλαζαν άλλες μεταβλητές, ή 2) εκτός από την μεταβλητή υπό έλεγχο άλλαζε άλλη μία ή περισσότερες μεταβλητές. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι στην περίπτωση (α) στην οποία οι μαθητές αυτών των ηλικιών διδάχθηκαν τη μέθοδο της ΣΕΜ και υποστηρίχθηκαν με υποβοηθητικές ερωτήσεις σχετικά με τη λογική της, οι μαθητές παρουσίασαν βελτίωση στην κατανόηση της ΣΕΜ και στην εφαρμογή αυτής της γνώσης, όταν τους ζητήθηκε να σχεδιάσουν ή/και να αξιολογήσουν πειράματα. Στην περίπτωση (β) που υπήρχαν μόνο οι υποβοηθητικές ερωτήσεις η βελτίωση που παρατηρήθηκε ήταν ασήμαντη. Οι ερευνητές αποδίδουν την επιτυχία της προσέγγισης (α) κυρίως στη σαφή διδασκαλία της μεθόδου ΣΕΜ. Επιπλέον, στην περίπτωση της προσέγγισης (α) οι μαθητές εκτός από βελτίωση στην κατανόηση της μεθόδου παρουσίασαν βελτίωση και στην κατανόηση του γνωστικού περιεχομένου. Παρόλα αυτά, μόνο οι μαθητές 4th grade

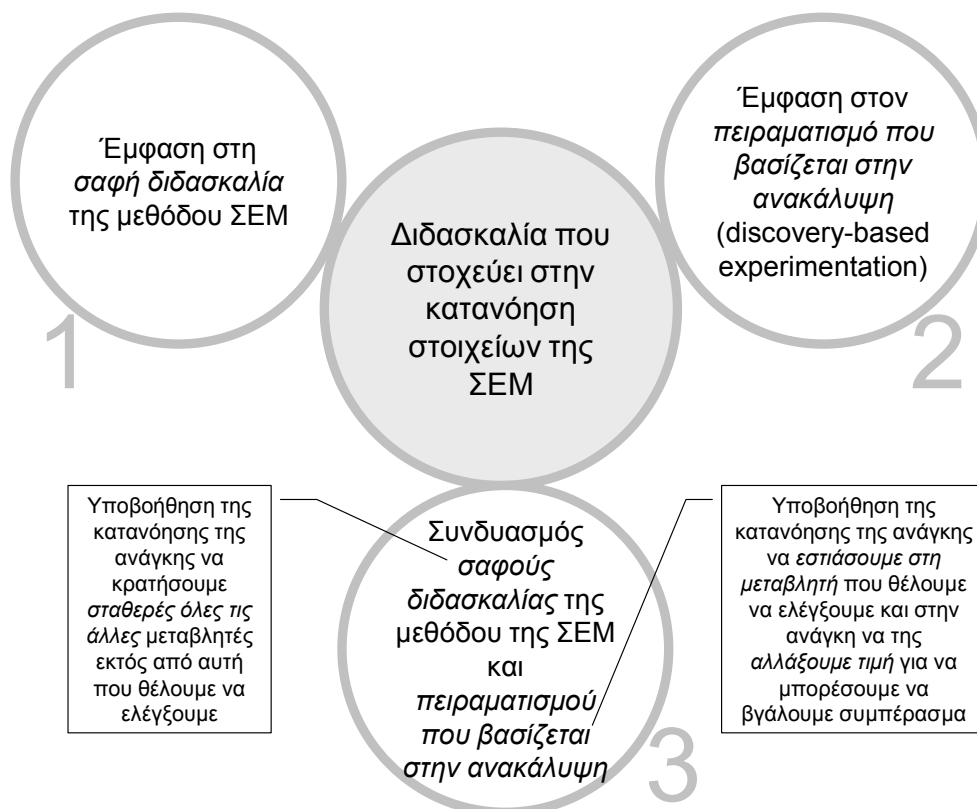
κατόρθωσαν να μεταφέρουν τη γνώση σχετικά με τη μέθοδο ΣΕΜ και σε άλλα φαινόμενα εκτός από αυτά που διδάχθηκαν, διατηρώντας μάλιστα τη γνώση αυτή ακόμη και μετά από επτά μήνες, ενώ οι μαθητές 3rd grade κατόρθωσαν να μεταφέρουν τη γνώση αυτή σε παρόμοια μόνο φαινόμενα. Οι μαθητές 2nd grade δυσκολεύτηκαν να μεταφέρουν τη γνώση σε οποιαδήποτε περίπτωση.

Από την άλλη, υπάρχουν έρευνες στις οποίες μαθητές δημοτικού δείχνουν σταδιακή βελτίωση στην ικανότητά τους να χρησιμοποιούν τη ΣΕΜ όταν τους δίνεται η δυνατότητα να συμμετέχουν σε πειράματα βασισμένα στην ανακάλυψη (discovery-based), χωρίς σαφή διδασκαλία (Dean & Kuhn, 2007, Schauble, 1996). Για παράδειγμα, στην έρευνα των Dean και Kuhn (2007) συμμετείχαν 44 μαθητές ηλικίας 10 ετών (4th grade), οι οποίοι χωρίστηκαν σε τρία τμήματα, ώστε να εφαρμοστεί και να ελεγχθεί η αποτελεσματικότητα τριών διαφορετικών διδακτικών προσεγγίσεων μεγάλης διάρκειας (περίπου 6 μηνών). Στο πρώτο τμήμα υπήρξε σαφής διδασκαλία της μεθόδου ΣΕΜ και συμμετοχή σε διερευνητικές δραστηριότητες στον υπολογιστή με στόχο οι μαθητές να ελέγξουν εάν συγκεκριμένες μεταβλητές επηρεάζουν ή όχι ένα ταξίδι στον ωκεανό. Στο δεύτερο τμήμα, οι μαθητές ενεπλάκησαν στις διερευνητικές δραστηριότητες στον υπολογιστή χωρίς να διδαχθούν τη μέθοδο ΣΕΜ και τέλος, στο τρίτο τμήμα διδάχθηκε η μέθοδος, ενώ οι μαθητές παρακολούθησαν το παραδοσιακό μάθημα των ΦΕ χωρίς να εμπλακούν στις διερευνητικές δραστηριότητες. Κατά τη διάρκεια των δραστηριοτήτων οι μαθητές δούλεψαν σε ζευγάρια. Η κατανόηση της μεθόδου ΣΕΜ αξιολογήθηκε με συνεντεύξεις ανά μαθητή, οι οποίες πραγματοποιήθηκαν τόσο αμέσως μετά τις παρεμβάσεις όσο και μετά από ενάμιση μήνα. Στη συνέντευξη χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό με το οποίο οι μαθητές ήρθαν σε επαφή κατά τη διάρκεια της παρέμβασης. Επιπλέον, για τον έλεγχο μεταφοράς (transfer) της γνώσης σε άλλα γνωστικά περιεχόμενα, χρησιμοποιήθηκαν λογισμικά που στόχο είχαν τον έλεγχο μεταβλητών που επηρεάζουν τη δημιουργία ενός σεισμού ή τη δημιουργία μιας χιονοστιβάδας. Τα αποτελέσματα από την ανάλυση των συνεντεύξεων έδειξαν καταρχήν ότι μόνη της η διδασκαλία της μεθόδου ΣΕΜ δεν επέφερε σημαντική βελτίωση. Στην περίπτωση που η διδασκαλία συνδυάστηκε με την εμπλοκή των μαθητών στις διερευνητικές δραστηριότητες παρατηρήθηκε σημαντική βελτίωση αμέσως μετά την παρέμβαση, η οποία διατηρήθηκε και ενάμιση μήνα μετά. Τέλος, στην περίπτωση που οι μαθητές ενεπλάκησαν στις διερευνητικές διαδικασίες χωρίς να διδαχθούν τη μέθοδο, παρόλο που αμέσως μετά την

παρέμβαση δεν παρουσίασαν σημαντική βελτίωση όπως η προηγούμενη ομάδα μαθητών, ενάμιση μήνα μετά προσέγγισαν τη βελτίωση που εμφάνισαν οι μαθητές αυτοί. Παρόλα αυτά, οι ερευνητές τονίζουν τη δυσκολία των μαθητών αυτής της ηλικίας να κατανοήσουν τη μέθοδο, σε όλες τις παραπάνω περιπτώσεις. Καταρχήν, σημειώνουν ότι οι μαθητές αυτής της ηλικίας δεν χρησιμοποιούν αυθόρμητα τη μέθοδο ΣΕΜ (Kuhn, 2001, Kuhn, Schauble & Garcia-Mila, 1992, Schauble, 1996). Επίσης, σημειώνουν ότι παρά την παρατηρούμενη βελτίωση στη συγκεκριμένη έρευνα, στην οποία καταβλήθηκε ιδιαίτερη προσπάθεια στη διδασκαλία της μεθόδου, υπήρχαν ακόμη αρκετοί μαθητές που δεν κατάφεραν να την κατανοήσουν. Επιπλέον, ακόμη και ανάμεσα σε αυτούς που την κατανόησαν υπήρχαν αρκετοί οι οποίοι δεν την χρησιμοποίησαν με συνέπεια. Συνεπώς, καταλήγουν ότι είναι σημαντικό οι μαθητές να εμπλακούν με τη μέθοδο ΣΕΜ σε πολλά διαφορετικά προβλήματα και για μεγάλο χρονικό διάστημα. Την ίδια άποψη εκφράζουν και οι Boudreaux et al. (2008), οι οποίοι σημειώνουν ότι σύμφωνα με την έρευνα της ομάδας τους, όταν η διδασκαλία σχετικά με κάποια όψη του επιστημονικού συλλογισμού ενσωματώνεται σε συγκεκριμένο γνωστικό περιεχόμενο, τότε οι μαθητές πέρα από τη βελτίωση στην κατανόηση του συγκεκριμένου συλλογισμού, παρουσιάζουν σημαντική βελτίωση και στην εννοιολογική κατανόηση του γνωστικού περιεχομένου.

Οι περισσότεροι από τους ερευνητές που είναι υπέρμαχοι της σαφούς διδασκαλίας στοιχείων της ΣΕΜ θεωρούν ότι η προσέγγισή τους έρχεται σε αντίθεση με την προσέγγιση στην οποία θεωρείται ότι τα στοιχεία της μεθόδου θα γίνουν αντιληπτά από τους μαθητές μέσα από την εμπλοκή τους και μόνο, στον discovery-based πειραματισμό. Παρόλα αυτά, τελευταία, ορισμένοι ερευνητές υποστηρίζουν την άποψη ότι ο συνδυασμός σαφούς διδασκαλίας της ΣΕΜ με την ταυτόχρονη εμπλοκή των μαθητών στην πραγματοποίηση πειραμάτων είναι πολύ σημαντικός για την κατάκτηση της ΣΕΜ, καθώς καθεμία από αυτές μπορεί να συνεισφέρει με διαφορετικό τρόπο στην κατανόηση της ΣΕΜ (Lorch et al., 2010, Zohar & David, 2008). Για παράδειγμα, στην έρευνα των Lorch et al. (2010) συμμετείχαν 36 τμήματα μαθητών ηλικίας 10 ετών (4th grade). Στο ένα τρίτο των τμημάτων υπήρξε σαφής διδασκαλία της μεθόδου ΣΕΜ, σε ένα άλλο τρίτο των τμημάτων οι μαθητές σχεδίασαν και πραγματοποίησαν πειράματα για να ελέγξουν τέσσερις μεταβλητές που πιθανόν να επηρεάζουν την κύλιση μιας μπάλας σε κεκλιμένο επίπεδο (Toth et al., 2000), ενώ στα υπόλοιπα τμήματα πραγματοποιήθηκε συνδυασμός σαφούς

διδασκαλίας και πειραματισμού. Η αξιολόγηση της κατανόησης της μεθόδου έγινε με γραπτό ερωτηματολόγιο στο οποίο ζητήθηκε από τους μαθητές να διαχωρίσουν έγκυρα από μη έγκυρα πειράματα. Η απόδοση των μαθητών βελτιώθηκε σε όλες τις περιπτώσεις από το πριν στο μετά ερωτηματολόγιο και η γνώση διατηρήθηκε πέντε μήνες μετά. Η βελτίωση ήταν μεγαλύτερη στα τμήματα που είχαν συνδυασμό διδασκαλίας και πειραματισμού, ακολουθούμενη από τα τμήματα που είχαν μόνο διδασκαλία και τέλος από αυτά που είχαν μόνο πειραματισμό. Επιπλέον, υπάρχουν έρευνες (Klahr & Nigam, 2004, Strand-Cary & Klahr, 2008) που δείχνουν ότι η διατήρηση (retention) και η μεταφορά (transfer) της γνώσης σχετικά με τη ΣΕΜ δεν εξαρτάται από τον τρόπο με τον οποίο η γνώση αυτή αποκτήθηκε (σαφής διδασκαλία ή μόνο πειραματισμός). Εξάλλου, τα αποτελέσματα της έρευνας των Lorch et al. (2010) δείχνουν ότι από τη μία, η σαφής διδασκαλία βοήθησε τους μαθητές να κατανοήσουν την ανάγκη να κρατήσουν σταθερές όλες τις άλλες μεταβλητές εκτός από αυτήν που θέλουν να ελέγξουν, ενώ από την άλλη, η πραγματοποίηση πειραμάτων βοήθησε τους μαθητές να εστιάσουν στη μεταβλητή που ήθελαν να ελέγξουν και στην ανάγκη να της αλλάξουν τιμή για να μπορέσουν να βγάλουν συμπέρασμα (Σχήμα 2.8).



Σχήμα 2.8 Χαρακτηριστικά που διαφοροποιούν τις προσεγγίσεις της μεθόδου ΣΕΜ στις διδακτικές-μαθησιακές σειρές

Αυτά τα αποτελέσματα ενισχύουν την άποψη για ισορροπία μεταξύ των δύο διδακτικών προσεγγίσεων, ειδικά στην περίπτωση της διδασκαλίας ΦΕ σε μικρές ηλικίες (Lorch et al., 2010). Επιπλέον, υπάρχει συμφωνία μεταξύ των ερευνητών ότι είναι σημαντικό να διερευνηθούν τα αποτελέσματα διαφορετικών προσεγγίσεων σαφούς διδασκαλίας της ΣΕΜ (Strand-Cary & Klahr, 2008).

Περιορισμοί των ερευνών που έχουν μέχρι τώρα πραγματοποιηθεί σχετικά με τη διδασκαλία και μάθηση της ΣΕΜ είναι ότι από τη μία οι μαθητές που επιλέγονταν ήταν συνήθως μαθητές με επιδόσεις πάνω του μετρίου (privileged) (Strand-Cary & Klahr, 2008), και από την άλλη η διδασκαλία ήταν συνήθως προσωπική και όχι διδασκαλία σε πραγματικές συνθήκες τάξης (Lorch et al. 2010). Οι ίδιοι ερευνητές υποστηρίζουν ότι υπάρχει ανάγκη να υιοθετηθούν πρακτικές διδασκαλίας που θα απευθύνονται σε 'όλους' τους μαθητές, ειδικά σε αυτούς που έχουν ισχυρές παρανοήσεις, και να χρησιμοποιηθούν από δασκάλους της πράξης σε συνθήκες πραγματικής τάξης. Στις λίγες έρευνες που έγιναν σε μαθητές που δεν είχαν τόσο υψηλές επιδόσεις (less 'privileged'), οι μαθητές παρουσίασαν πολύ μικρότερη βελτίωση στην κατανόηση της ΣΕΜ τόσο πριν όσο και μετά τη διδασκαλία (Dean & Kuhn, 2007, Strand-Cary & Klahr, 2008).

2.3 Διδακτικές Μαθησιακές Σειρές

2.3.1 Εισαγωγή

Μία από τις σημαντικές περιοχές έρευνας στη ΔΦΕ τις τελευταίες τρεις δεκαετίες αφορά στο σχεδιασμό, ανάπτυξη, εφαρμογή και αξιολόγηση των Διδακτικών Μαθησιακών Σειρών (ΔΜΣ) (Besson, Borghi, De Ambrossis & Mascheretti, 2010, Duit, 1999, Fazio, Guastella, Sperandio-Mineo, & Tarantino, 2008, Kariotoglou, 2002, Lijnse, 1995, Méheut & Psillos, 2004, Psillos, Spyrtou & Kariotoglou, 2005, Tiberghien, Vince & Gaidioz, 2009, Ψύλλος, 1998). Οι προσεγγίσεις αυτές, προέκυψαν ως αποτέλεσμα της έρευνας που κυριάρχησε τη δεκαετία του '80, σχετικά με τις εναλλακτικές ιδέες των μαθητών γύρω από διάφορα φυσικά φαινόμενα, καθώς και της επικράτησης του εποικοδομητισμού, εκείνη την περίοδο, στη διδασκαλία και μάθηση των ΦΕ (Méheut & Psillos, 2004). Οι ΔΜΣ είναι μεσαιάς κλίμακας αναλυτικά προγράμματα (διάρκειας 5-15 ωρών) (Kariotoglou, 2002), οι οποίες αποτελούν προϊόντα *Αναπτυξιακής Έρευνας (Developmental Research, για*

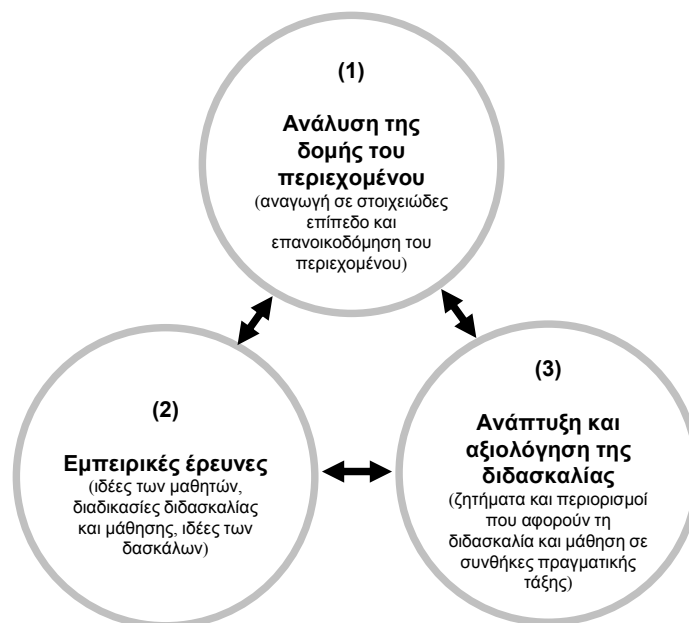
λεπτομέρειες δες παρακάτω) (Lijnse, 1995). Ο όρος Διδακτική Μαθησιακή Σειρά σηματοδοτεί τη στενή σχέση και σύνδεση μεταξύ της προτεινόμενης διδακτικής προσέγγισης και της αναμενόμενης μαθησιακής διαδικασίας που θα ακολουθηθεί από τους μαθητές ως αποτέλεσμα της εφαρμογής της ΔΜΣ (Méheut & Psillos, 2004). Ορισμένοι από τους παράγοντες που επηρεάζουν τον σχεδιασμό και την ανάπτυξη των ΔΜΣ είναι η φύση και η εξέλιξη της επιστημονικής γνώσης, η έρευνα σχετικά με τις εναλλακτικές ιδέες και τους συλλογισμούς των μαθητών, ο διδακτικός μετασχηματισμός του περιεχομένου, και οι τρέχουσες απόψεις σχετικά με τη διδασκαλία και μάθηση (π.χ. εποικοδομητισμός, διερεύνηση) (Duit, 2007, Kariotoglou, 2002, Lijnse, 1995).

2.3.2 Θεωρητικά πλαίσια για την ανάλυση των διαδικασιών σχεδιασμού και ανάπτυξης μιας ΔΜΣ

Ως συνέπεια της πλούσιας αυτής δραστηριότητας, εμφανίστηκε ταυτόχρονα ισχυρό ενδιαφέρον για την ανάπτυξη θεωρητικών πλαισίων, τα οποία να εστιάζουν στους παράγοντες που λαμβάνονται υπόψη και να επιτρέπουν την περιγραφή και ανάλυση των δυναμικών διαδικασιών *σχεδιασμού (design)* και *ανάπτυξης (development)* μιας ΔΜΣ ως μιας ερευνητικής δραστηριότητας (Méheut & Psillos, 2004). Αντιπροσωπευτικά θεωρητικά πλαίσια για την περιγραφή και ανάλυση της διαδικασίας σχεδιασμού και ανάπτυξης μιας ΔΜΣ είναι: α) το μοντέλο της *Αναπτυξιακής Έρευνας (Developmental Research)* (Lijnse, 1995, Lijnse & Klaasen, 2004), β) το μοντέλο της *Εκπαιδευτικής Επανοικοδόμησης (Educational Reconstruction)* (Duit, 2007, Kattmann & Duit, 1996), γ) το μοντέλο του *Διδακτικού Ρόμβου (Didactical Rhobus)* (Méheut & Psillos, 2004), δ) το μοντέλο *Κόσμος – Ιδέες – Τεκμήρια (Cosmos – Ideas – Evidence)* (Psillos, Tselfes & Kariotoglou, 2004), και ε) το μοντέλο της *Βασισμένης στο Σχεδιασμό Έρευνας (Design-based Research)* (Brown, 1992, Design-based Research Collective, 2003, Tiberghien et al., 2009).

Ο Lijnse (1995) πρώτος εισήγαγε τον όρο *Αναπτυξιακή Έρευνα (Developmental Research)*, με τον οποίο ανέδειξε τη σημασία που έχει η πλοκή του σχεδιασμού, της ανάπτυξης και της εφαρμογής μιας σειράς, που αφορά σε συγκεκριμένο γνωστικό περιεχόμενο των ΦΕ, και η οποία μέσα από μια κυκλική *εξελικτική* διαδικασία εμπλουτίζεται με τα δεδομένα της έρευνας αυτής και επανασχεδιάζεται (Lijnse, 1995). Πιο συγκεκριμένα, το θεωρητικό πλαίσιο *Developmental Research*

αναφέρεται στην ανάγκη να δοθεί μεγαλύτερη προσοχή στο επιστημονικό περιεχόμενο και στον τρόπο με τον οποίο διδάσκεται στην τάξη, μέσα από το πρίσμα κατάλληλων *διδακτικών δομών (didactical structures)*. Για τον λόγο αυτό, προτείνει τη δημιουργία ενός σεναρίου που θα περιγράψει και θα αιτιολογεί αναλυτικά τον σχεδιασμό των διδακτικών-μαθησιακών δραστηριοτήτων και των αναμενόμενων διδακτικών-μαθησιακών διαδικασιών. Η χρήση του σεναρίου αυτού από τον δάσκαλο θα βοηθήσει στην παρατήρηση της τάξης με την προοπτική της βελτίωσης και του εμπλουτισμού των μαθησιακών δραστηριοτήτων. Ταυτόχρονα, θέτει τον μαθητή στο επίκεντρο, θεωρώντας ότι υπάρχει ανάγκη να δημιουργηθούν οι κατάλληλες *διδακτικές δομές* μέσα στις οποίες ο μαθητής να έχει την ελευθερία να ακολουθήσει τις προσωπικές του μαθησιακές διαδρομές. Για τον λόγο αυτό, δίνεται έμφαση στα κίνητρα των μαθητών και σε μεταγνωστικές διαδικασίες στη μάθηση. Επομένως, ο Lijnse (1995) θεωρεί τον μαθητή ως κανονιστικό παράγοντα της ανάπτυξης της ΔΜΣ και η προσέγγισή του έχει κυρίως ψυχολογική διάσταση (psychologically based).



Σχήμα 2.9 Το μοντέλο της Εκπαιδευτικής Επανοικοδόμησης (*Educational Reconstruction*) (Duit, 2007, Kattmann & Duit, 1996)

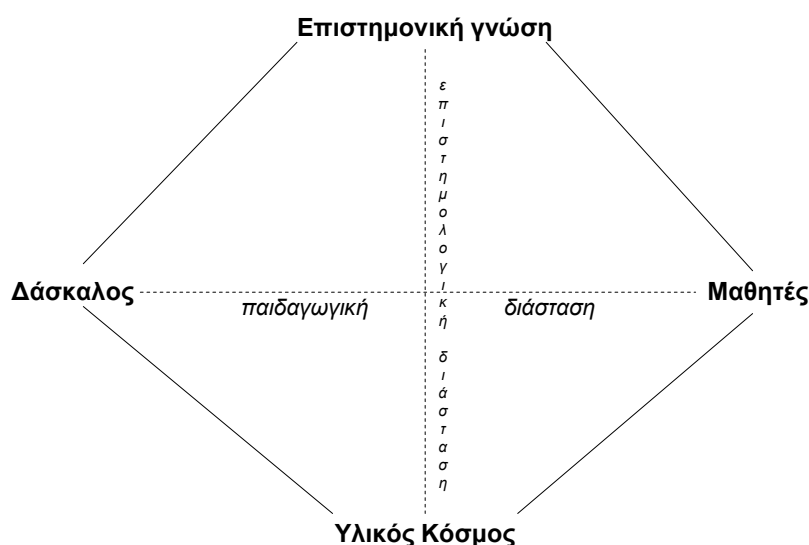
Το μοντέλο της *Εκπαιδευτικής Επανοικοδόμησης (Educational Reconstruction)* (Duit, 2007, Kattmann & Duit, 1996) παρέχει πιο συγκεκριμένο πλαίσιο για την περιγραφή και ανάλυση του σχεδιασμού και της ανάπτυξης μιας ΔΜΣ (Σχήμα 2.9). Το μοντέλο αυτό βασίζεται σε μια επικοινωνιακή επιστημολογική θέση σχετικά με τη διδασκαλία

και τη μάθηση, βασική υπόθεση της οποίας είναι ότι το επιστημονικό περιεχόμενο μιας συγκεκριμένης γνωστικής περιοχής δεν αποτελεί μια «αλήθεια» (Duit, 1999).

Το μοντέλο της *Εκπαιδευτικής Επανοικοδόμησης* περιγράφεται από τις εξής τρεις συνιστώσες: την *ανάλυση της δομής του περιεχομένου*, τις *εμπειρικές έρευνες* και την *ανάπτυξη και αξιολόγηση της διδασκαλίας*. Στόχος της *ανάλυσης της δομής του περιεχομένου* είναι να διαμορφώσει το περιεχόμενο της διδασκαλίας. Η διαδικασία αυτή περιλαμβάνει καταρχήν την αναγωγή του υπό μελέτη περιεχομένου, σε στοιχειώδες επίπεδο (elementarization). Στη συνέχεια, πραγματοποιείται η επανοικοδόμηση του περιεχομένου αυτού, υπό την εκπαιδευτική προοπτική, λαμβάνοντας υπόψη αφενός τους σκοπούς και τους στόχους της διδασκαλίας και της μάθησης του υπό μελέτη περιεχομένου, και αφετέρου τις προοπτικές των μαθητών, για παράδειγμα τις δυσκολίες που αντιμετωπίζουν και τα ενδιαφέροντά τους (Duit, 1999, Méheut & Psillos, 2004). Η δεύτερη συνιστώσα του μοντέλου περιλαμβάνει τις *εμπειρικές έρευνες* σχετικά: α) με τις ιδέες των μαθητών πριν την διδασκαλία, και την εξέλιξή τους σε σχέση με την προσχεδιασμένη επιστημονική άποψη, β) με διαδικασίες διδασκαλίας και μάθησης, καθώς και γ) με τις ιδέες των δασκάλων. Τέλος, η τρίτη συνιστώσα του μοντέλου περιλαμβάνει την *ανάπτυξη και αξιολόγηση διδακτικών ενοτήτων*, στις οποίες λαμβάνονται υπόψη ζητήματα και περιορισμοί που αφορούν στη διδασκαλία και μάθηση σε συνθήκες πραγματικής τάξης (Kattmann & Duit, 1996). Γενικά, το μοντέλο της *Εκπαιδευτικής Επανοικοδόμησης* δίνει έμφαση στον μαθητή, στον δάσκαλο αλλά και στην αλληλεπίδρασή τους στην τάξη και έχει ψυχοκοινωνική διάσταση (psycho-social points of view).

Το μοντέλο του *Διδακτικού Ρόμβου (Didactical Rhombus)* (Méheut & Psillos, 2004), εστιάζει στην ανάδειξη στοιχείων των ΔΜΣ καθώς και των σχέσεων μεταξύ τους (Σχήμα 2.10). Τα στοιχεία αυτά των ΔΜΣ, μπορεί να ανήκουν στην επιστημολογική (epistemic) διάσταση (δηλαδή στον κατακόρυφο άξονα του μοντέλου), π.χ. ποια είναι η σχέση μεταξύ επιστημονικής γνώσης και υλικού κόσμου, ποιες είναι οι υποθέσεις σχετικά με την επιστημονική μέθοδο, και σχετικά με τις διαδικασίες επεξεργασίας (elaboration) και εγκυροποίησης (validation) της επιστημονικής γνώσης που σχετίζεται με τον σχεδιασμό της ΔΜΣ. Άλλα στοιχεία των ΔΜΣ μπορεί να ανήκουν στην παιδαγωγική (pedagogical) διάσταση (δηλαδή στον οριζόντιο άξονα του μοντέλου), π.χ. εάν η διδακτική-μαθησιακή προσέγγιση είναι δασκαλοκεντρική ή μαθητοκεντρική, ποιος είναι ο ρόλος του δασκάλου, ποιο είναι το είδος των

αλληλεπιδράσεων μεταξύ του δασκάλου και των μαθητών ή/και μεταξύ των μαθητών (Méheut & Psillos, 2004). Στην περιοχή μεταξύ των σημείων «Μαθητές – Υλικός Κόσμος» παρατίθενται οι ιδέες των μαθητών για τα φυσικά φαινόμενα, ενώ στην περιοχή «Μαθητές – Επιστημονική Γνώση» παρατίθενται ζητήματα σχετικά με τη στάση των μαθητών απέναντι στην επιστημονική γνώση. Η ανάλυση με βάση το μοντέλο αυτό ανέδειξε ότι μεγάλο ποσοστό των ΔΜΣ αρχικά έδωσε έμφαση στις ιδέες των μαθητών σχετικά με το υπό μελέτη γνωστικό περιεχόμενο ή/και στο περιεχόμενο που επρόκειτο να διδαχθεί, ενώ τελευταία υπάρχουν όλο και περισσότερες περιπτώσεις ερευνών που εστιάζουν και στην άποψη των μαθητών για τη φύση της επιστήμης. Επομένως, οι ΔΜΣ τοποθετήθηκαν κυρίως στη δεξιά περιοχή του μοντέλου του Διδακτικού Ρόμβου και μάλιστα αρχικά κυρίως στην κάτω δεξιά περιοχή του, επεκτεινόμενες την τελευταία περίοδο και στην πάνω δεξιά περιοχή. Από αυτήν την ανάλυση φάνηκε επίσης ότι ελάχιστες είναι οι έρευνες που εστιάζουν στον ρόλο του δασκάλου.



Σχήμα 2.10 Το μοντέλο του Διδακτικού Ρόμβου (Didactical Rhobus) (Méheut & Psillos, 2004)

Το μοντέλο *Κόσμος – Ιδέες – Τεκμήρια* (Cosmos – Ideas – Evidence) αποτελεί ένα μοντέλο επιστημολογικής μοντελοποίησης των διδακτικών-μαθησιακών δραστηριοτήτων, βασισμένο στη θεωρία του Hacking (1992, 1995), όπως αναφέρεται στο Psillos, Tselfes & Kariotoglou (2004), με την παραδοχή ότι οι επιστημονικές πρακτικές μπορούν να εφαρμοστούν όχι μόνο στο επαγγελματικό πλαίσιο, αλλά και στο εκπαιδευτικό (Psillos, Tselfes & Kariotoglou, 2004). Οι ερευνητές χρησιμοποιούν το τριών επιπέδων μοντέλο CEI για την περιγραφή και

ανάλυση των διδακτικών δραστηριοτήτων που περιλαμβάνονται στις δραστηριότητες ορισμένων ΔΜΣ σχετικά με τα ρευστά. Τα αποτελέσματα της έρευνας αυτής αναδεικνύουν τον περιγραφικό (descriptive) και παραγωγικό (productive) χαρακτήρα του μοντέλου CEI. Συνεπώς, ως εργαλείο το μοντέλο CEI μπορεί να χρησιμοποιηθεί και να ενισχύσει τουλάχιστον δύο διαδικασίες: α) τον σχεδιασμό νέων διδακτικών δραστηριοτήτων μιας ΔΜΣ, και β) την ανάδειξη σημαντικών χαρακτηριστικών που επηρεάζουν την ανάπτυξη μιας ΔΜΣ (Psillos et al., 2004), πάντα λαμβάνοντας υπόψη τον περιορισμό της επιστημολογικής αυτής ανάλυσης, στο μικρο – επίπεδο μιας διδακτικής δραστηριότητας που περιλαμβάνεται σε μια συγκεκριμένη ΔΜΣ.

Τέλος, το μοντέλο της *Βασισμένης στο Σχεδιασμό Έρευνας (Design-Based Research, DBR)* (Brown, 1992, Design-based Research Collective, 2003, Tiberghien et al., 2009) αποτελεί ένα μοντέλο το οποίο δίνει έμφαση στα εξής πέντε χαρακτηριστικά της έρευνας σχετικά με το σχεδιασμό και την ανάπτυξη ΔΜΣ: 1) Να υπάρχει πλοκή των κεντρικών στόχων για σχεδιασμό μαθησιακών περιβαλλόντων με τους στόχους για ανάπτυξη θεωριών για τη μάθηση. 2) Η ανάπτυξη των ΔΜΣ και η σχετική έρευνα οφείλει να πραγματοποιείται μέσα από συνεχείς κύκλους σχεδιασμού, εφαρμογής, αξιολόγησης και επανασχεδιασμού, δίνοντας έμφαση στην καλύτερη και αποτελεσματικότερη διαχείριση του τεράστιου όγκου δεδομένων που προκύπτουν μέσα από τις παραπάνω διαδικασίες. 3) Η έρευνα σχετικά με το σχεδιασμό μαθησιακών περιβαλλόντων οφείλει να οδηγήσει σε κοινόχρηστες (sharable) θεωρίες, οι οποίες θα δίνουν τη δυνατότητα της επικοινωνίας των αποτελεσμάτων της, μεταξύ αυτών που εμπλέκονται στην πράξη στον σχεδιασμό των ΔΜΣ (practitioners και educational designers). 4) Στη σχετική έρευνα θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη το πώς λειτουργούν οι συγκεκριμένοι σχεδιασμοί των ΔΜΣ σε πραγματικές συνθήκες (authentic settings). Αυτό συνεπάγεται ότι σκοπός της έρευνας δεν μπορεί να είναι μόνο η καταγραφή της επιτυχίας ή αποτυχίας της ΔΜΣ, αλλά οφείλει να εστιάζει στα στοιχεία εκείνα που θα μπορέσουν να βελτιώσουν την κατανόησή μας σχετικά με ζητήματα μάθησης που εμπλέκονται και ανακύπτουν από την εφαρμογή της ΔΜΣ. 5) Για την επίτευξη των παραπάνω χρειάζεται να αναπτυχθούν μέθοδοι, μέσα από τις οποίες θα είναι δυνατή η καταγραφή και η σύνδεση των διαδικασιών διδακτικής-μαθησιακής πράξης με αποτελέσματα που θα είναι ενδιαφέροντα και χρήσιμα για την εκπαιδευτική κοινότητα. Τέλος, ιδιαίτερα σημαντική για την επίτευξη των παραπάνω θεωρείται και η συνεργασία μεταξύ

ερευνητών και δασκάλων στις προαναφερθείσες διαδικασίες (Design-based Research Collective, 2003).

Συνοψίζοντας τη συζήτηση σχετικά με τα θεωρητικά πλαίσια που αναπτύχθηκαν παραπάνω και έχουν στόχο την περιγραφή και ανάλυση των διαδικασιών σχεδιασμού και ανάπτυξης των ΔΜΣ, παρατηρούμε τα εξής: Το μοντέλο της *Αναπτυξιακής Έρευνας (Developmental Research)* δίνει έμφαση στο μαθητή ως κανονιστικό παράγοντα της ανάπτυξης της ΔΜΣ και έχει κυρίως ψυχολογική διάσταση (psychologically based). Το μοντέλο της *Εκπαιδευτικής Επανοικοδόμησης (Educational Reconstruction)* δίνει έμφαση στον μαθητή, στον δάσκαλο αλλά και στην αλληλεπίδρασή τους στην τάξη και έχει ψυχοκοινωνική διάσταση (psycho-social points of view). Το μοντέλο του *Διδακτικού Ρόμβου (Didactical Rhobus)* εστιάζει στην ανάδειξη στοιχείων των ΔΜΣ καθώς και σχέσεων μεταξύ τους. Τα στοιχεία αυτά μπορεί να έχουν επιστημολογική (epistemic) διάσταση (π.χ. η σχέση μεταξύ επιστημονικής γνώσης και υλικού κόσμου) ή/και παιδαγωγική (pedagogical) διάσταση (π.χ. δασκαλοκεντρική ή μαθητοκεντρική προσέγγιση). Το μοντέλο *Κόσμος – Ιδέες – Τεκμήρια (Cosmos – Ideas – Evidence, CEI)*, μέσω του περιγραφικού και παραγωγικού του χαρακτήρα, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον σχεδιασμό και την ανάδειξη σημαντικών χαρακτηριστικών των επιμέρους διδακτικών-μαθησιακών δραστηριοτήτων μιας ΔΜΣ. Τέλος, το μοντέλο της *Βασισμένης στο Σχεδιασμό Έρευνας (Design-based Research)* δίνει έμφαση στην σύνδεση μεταξύ έρευνας και πράξης, και άρα έχει περισσότερο πραγματιστική διάσταση, δίνοντας μεγαλύτερη έμφαση π.χ. στη συνεργασία μεταξύ δασκάλου και ερευνητή, και στην καλύτερη και αποτελεσματικότερη διαχείριση του τεράστιου όγκου δεδομένων που προκύπτουν από τις διαδικασίες σχεδιασμού, εφαρμογής και αξιολόγησης μιας ΔΜΣ.

Μια σημαντική εξέλιξη στην έρευνα σχετικά με τις ΔΜΣ, η οποία αναδεικνύεται από την παραπάνω βιβλιογραφική επισκόπηση, είναι η μετάβαση από ερευνητικές πρακτικές σχεδιασμού και εφαρμογής των ΔΜΣ σε «εργαστηριακό περιβάλλον» (Méheut & Psillos, 2004), με υπεύθυνο για τον σχεδιασμό αλλά και για την εφαρμογή της, τον ίδιο τον ερευνητή, σε ερευνητικές πρακτικές στις οποίες οι εκπαιδευτικοί της πράξης αποκτούν όλο και πιο σημαντικό ρόλο, όχι μόνο στη διαδικασία εφαρμογής μιας ΔΜΣ, αλλά και στη διαδικασία σχεδιασμού και επανασχεδιασμού της (Besson et al., 2010, Duit, 2007). Πιο συγκεκριμένα, θεωρείται σημαντικό να ληφθεί υπόψη η επαγγελματική ανάπτυξη των δασκάλων (standards and teacher professional development), αφού είναι αυτοί που διαδίδουν την

καινοτομία της ΔΜΣ στο σχολείο (Duit, 2007, Σπύρτου, 2002). Εξάλλου, οι Besson et al. (2010), θεωρούν ότι η επιτυχής εισαγωγή μιας ΔΜΣ στην τάξη προϋποθέτει: α) οι δάσκαλοι να αισθάνονται ότι είναι ικανοί και αποτελεσματικοί για να την εφαρμόσουν (π.χ. να αισθάνονται ότι επεκτείνουν και τις δικές τους γνώσεις, σχετικά με το περιεχόμενο που πρόκειται να διδάξουν), και β) οι ερευνητές να συνεργάζονται στενά με τους δασκάλους που πρόκειται να την εφαρμόσουν.

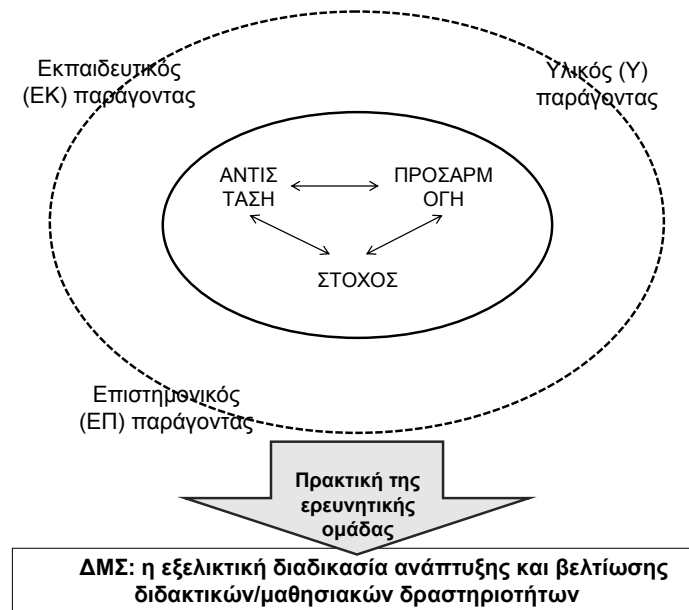
Επιπλέον, οι περισσότεροι ερευνητές υποστηρίζουν ότι η μελλοντική ερευνητική δραστηριότητα σχετικά με τις ΔΜΣ οφείλει να εστιάσει, σε μεγαλύτερο βαθμό από ότι έχει γίνει μέχρι σήμερα, σε ζητήματα όπως το εκπαιδευτικό σύστημα στο οποίο εφαρμόζεται μια ΔΜΣ και οι δυσκολίες που απορρέουν από αυτό (educational constraints), δηλαδή στοιχεία όπως είναι το αναλυτικό πρόγραμμα, οι διδακτικές μέθοδοι που συνηθίζεται να χρησιμοποιούνται, η οργάνωση της τάξης, τα υπάρχοντα διδακτικά υλικά, καθώς και οι υπάρχουσες τεχνικές υποδομές στο σχολείο (Méheut & Psillos, 2004). Επίσης, θεωρείται σημαντικό να ληφθούν υπόψη τα αποτελέσματα της έρευνας σχετικά με τις ιδέες των μαθητών και των εκπαιδευτικών για τον επιστημονικό γραμματισμό (scientific literacy) (Duit, 2007).

Παρόλο που εμφανίζονται διαφορές μεταξύ των πέντε αυτών θεωρητικών πλαισίων, όλα εστιάζουν στην διαδικασία σχεδιασμού και ανάπτυξης μιας ΔΜΣ που είναι βασισμένη στην έρευνα, και πιο συγκεκριμένα: 1) στο περιεχόμενο που πρόκειται να διδαχθεί (π.χ. στις στοιχειώδεις έννοιες ή/και διαδικασίες των Φυσικών Επιστημών και στα κατάλληλα διδακτικά – μαθησιακά υλικά), 2) στην έρευνα σχετικά με τη διδασκαλία και τη μάθηση (π.χ. την έρευνα σχετικά με τις εναλλακτικές ιδέες των μαθητών για τα φαινόμενα και τις έννοιες, καθώς και την έρευνα σχετικά με διδακτικές μαθησιακές προσεγγίσεις), και 3) στην έρευνα σχετικά με την ανάπτυξη και αξιολόγηση της εφαρμογής των ΔΜΣ. Εντούτοις, παρατηρούμε πως ενώ όλοι οι ερευνητές θεωρούν ότι η κυκλική εξελικτική διαδικασία βελτίωσης μιας ΔΜΣ (Lijnse, 1995), η οποία πραγματοποιείται με βάση τα δεδομένα της έρευνας (research-based evolutionary process), είναι το σημαντικότερο χαρακτηριστικό των ΔΜΣ, δεν έχουν ακόμη αναπτυχθεί εκείνα τα εργαλεία τα οποία να εξασφαλίζουν την περιγραφή και την ερμηνεία των βελτιωτικών αλλαγών από την μία φάση μιας ΔΜΣ στην επόμενη.

2.3.3 Το μοντέλο του Pickering ως θεωρητικό πλαίσιο για την ανάδειξη, περιγραφή και ερμηνεία των βελτιωτικών αλλαγών μιας ΔΜΣ

Δεδομένου ότι οι Διδακτικές Μαθησιακές Σειρές (ΔΜΣ) χαρακτηρίζονται από κυκλική, σταδιακή και εξελικτική διαδικασία αναθεώρησης βασισμένη σε ερευνητικά αποτελέσματα (Duit, 1999, Lijnse, 1995, Méheut & Psillos, 2004), και λαμβάνοντας υπόψη τη μεγάλη συζήτηση που υπάρχει στην επιστημονική κοινότητα της Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών (ΔΦΕ) σχετικά με τις διαδικασίες σχεδιασμού, ανάπτυξης, εφαρμογής, αξιολόγησης και εν τέλει εξέλιξης των ΔΜΣ στο χρόνο (δες ενότητα 2.3.2), σε αυτήν τη διδακτορική διατριβή θέλουμε, εκτός από την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας της ΔΜΣ (δες ενότητα 2.3.4), να εστιάσουμε ακριβώς στη διαδικασία εξέλιξης της ΔΜΣ από την πιλοτική στην κανονική φάση εφαρμογής της. Πιο συγκεκριμένα, επιδιώκουμε να καταγράψουμε, να περιγράψουμε και να αιτιολογήσουμε τις αλλαγές που έγιναν από την πιλοτική στην κανονική φάση εφαρμογής της ΔΜΣ. Για την ανάλυση της διαδικασίας εξέλιξης της ΔΜΣ προτείνουμε ένα θεωρητικό πλαίσιο (Pickering, 1995), όπως αυτό προσαρμόστηκε και εξειδικεύτηκε στη Διδακτική των Φυσικών Επιστημών (Kariotoglou, Psillos & Tselfes, 2003, Patsadakis, 2003, Τσελφές, 2002).

Στην προσέγγιση αυτή, η επιστημονική πρακτική θεωρείται «*ένα μεταβλητό 'μοντέλο συμπεριφοράς' των επιστημόνων το οποίο εκτυλίσσεται μέσα στο χρόνο*» (Kariotoglou et al., 2003). Σύμφωνα με την παραπάνω δήλωση, οι Kariotoglou et al. (2003) θεωρούν ότι: α) οι ΔΜΣ είναι προϊόντα αναπτυξιακής έρευνας στο πεδίο της ΔΦΕ και έχουν μεταβλητό χαρακτήρα, β) ένας ερευνητής της ΔΦΕ είναι ο επιστήμονας της περιοχής του πεδίου της ΔΦΕ, ο οποίος μέσα από τις πρακτικές του παράγει μια ΔΜΣ, και γ) τρεις παράγοντες, i. ο εκπαιδευτικός, ii. ο υλικός και iii. ο επιστημονικός παράγοντας, περιορίζουν τις διάφορες δραστηριότητες κατά την ανάπτυξη μιας ΔΜΣ (αντίσταση, προσαρμογή, στόχος), και τις σχέσεις μεταξύ τους. Οι ερευνητές της ΔΦΕ, όταν παράγουν μία ΔΜΣ, επιτυγχάνουν τους στόχους τους και ξεπερνούν τις αντιστάσεις που συναντούν, εφαρμόζοντας μια σειρά από προσαρμογές (δες σχήμα 2.11).



Σχήμα 2.11 Η δυναμική διαδικασία που διαμορφώνει την επιστημονική πρακτική κατά την ανάπτυξη μιας Διδακτικής Μαθησιακής Σειράς (Kariotoglou et al., 2003)

Το επιστημολογικό αυτό θεωρητικό πλαίσιο περιλαμβάνει τρεις κύριους παράγοντες (factors) που είναι πιθανόν να επηρεάσουν τη διαδικασία βελτίωσης μιας ΔΜΣ: (α) τον *εκπαιδευτικό* παράγοντα, (β) τον *υλικό* παράγοντα, και (γ) τον *επιστημονικό* παράγοντα. Από την ανάλυση αυτή ελπίζουμε να αναδειχθεί το περιεχόμενο αυτών των βελτιωτικών αλλαγών, οι πηγές των δεδομένων που τις υπέδειξαν και τέλος να περιγραφεί ο ρόλος καθενός από τους παραπάνω παράγοντες στη διαδικασία βελτίωσης.

Πιο συγκεκριμένα, ο *εκπαιδευτικός* (ΕΚ) παράγοντας σχετίζεται με το εκπαιδευτικό σύστημα, τα αναλυτικά προγράμματα, το συγκεκριμένο σχολείο ή την τάξη, και αναφέρεται στην καθημερινότητα της διδακτικής και μαθησιακής πρακτικής, την εκπαιδευτική παράδοση της περιοχής, τα χαρακτηριστικά των εκπαιδευτικών και των μαθητών (π.χ. εμπειρίες, επάρκεια, δυσκολίες, κ.ά.), τη διοίκηση του σχολείου καθώς και τους γονείς των μαθητών. Ο *υλικός* (Υ) παράγοντας αφορά στις υποδομές του σχολείου, π.χ. εργαστηριακές διατάξεις ΦΕ, απλά υλικά καθημερινής χρήσης, υλικά και διατάξεις εργαστηρίου (ΦΕ ή Πληροφορικής). Ο *επιστημονικός* (ΕΠ) παράγοντας σχετίζεται με τη ΔΦΕ ως επιστημονική δραστηριότητα και όχι με την παραδοσιακή έννοια της επιστήμης. Πιο συγκεκριμένα, αφορά στις τρέχουσες και κυρίαρχες διδακτικές – μαθησιακές θεωρίες στον χώρο της ΔΦΕ (π.χ. εποικοδομητισμός, διερεύνηση), και σε συγκεκριμένα στοιχεία αυτών των θεωριών,

όπως είναι η διαπραγμάτευση των ιδεών των μαθητών, η εισαγωγή στοιχείων της μοντελοποίησης κ.ά.

Οι *στόχοι* σχετίζονται με τους διδακτικούς στόχους και τα αναμενόμενα μαθησιακά αποτελέσματα π.χ. τη μάθηση ενός συγκεκριμένου περιεχομένου ή στοιχείων της επιστημονικής μεθόδου. Οι *αντιστάσεις* σχετίζονται με τις δυσκολίες που εμφανίζονται στη διαδικασία σχεδιασμού, ανάπτυξης και εφαρμογής της ΔΜΣ, π.χ. περιορισμένη μάθηση δηλωτικής ή διαδικαστικής γνώσης, δυσκολίες στη διαχείριση πειραμάτων κ.ά. Οι *προσαρμογές* αφορούν στις τροποποιήσεις που γίνονται στη διδακτική πρόταση ώστε να ξεπεραστεί η αντίσταση, π.χ. αλλαγές στο περιεχόμενο που θα διδαχθεί ή στη διδακτική προσέγγιση, επιλογή κατάλληλων λειτουργικών υλικών, κ.ά.

Σύμφωνα με την παραπάνω συζήτηση, θεωρούμε ότι η ανάλυση με βάση το μοντέλο του *Pickering* (αναλυτικά στην ενότητα 4.3), από τη μία δηλώνει τη διαφορά μεταξύ των δύο περιοχών, δηλαδή την περιοχή της έρευνας στη ΔΦΕ και την περιοχή των εκπαιδευτικών συστημάτων και από την άλλη τις συνδέει μέσα από μια τριπολική διαδικασία, δηλαδή τη διαδικασία *στόχος-αντίσταση-προσαρμογή*.

2.3.4 Μεθοδολογικές προσεγγίσεις αξιολόγησης της αποτελεσματικότητας μιας ΔΜΣ

Στη βιβλιογραφία παρουσιάζονται κυρίως δύο μεθοδολογικές προσεγγίσεις (Méhaut & Psillos, 2004) *αξιολόγησης* της αποτελεσματικότητας μιας ΔΜΣ: α) συγκρίνοντας την τελική με την αρχική γνωστική κατάσταση των μαθητών (final and initial cognitive state), και β) αναδεικνύοντας τα γνωστικά μαθησιακά μονοπάτια (cognitive learning pathways) (Petri & Niedderer, 1998, Psillos & Kariotoglou, 1999) που ακολουθούν οι μαθητές κατά τη διάρκεια της διδακτικής-μαθησιακής διαδικασίας.

Στην πρώτη περίπτωση, η μεθοδολογία στοχεύει να ελέγξει την αποτελεσματικότητα της ΔΜΣ σε σχέση με συγκεκριμένους διδακτικούς στόχους, και τα δεδομένα συλλέγονται με ερωτηματολόγια πριν και μετά την παρέμβαση. Στην περίπτωση που γίνει σύγκριση των απαντήσεων που έδωσαν σε αυτά τα ερωτηματολόγια οι μαθητές που παρακολούθησαν την παρέμβαση, τότε η αξιολόγηση ονομάζεται «εσωτερική» αξιολόγηση, ενώ στην περίπτωση που συγκρίνουμε τις απαντήσεις αυτές με τις απαντήσεις που δίνουν άλλοι μαθητές του ίδιου επιπέδου που δεν παρακολούθησαν την σειρά, η αξιολόγηση ονομάζεται «εξωτερική». Η «εσωτερική» αξιολόγηση έχει στόχο να εξετάσει την αποτελεσματικότητα της σειράς σε σχέση με τους αρχικούς

διδασκικούς στόχους, ενώ η «εξωτερική» αξιολόγηση επιτρέπει να εγκυροποιήσουμε ότι, για τους ίδιους διδασκικούς στόχους, η συγκεκριμένη σειρά είναι πιο αποτελεσματική σε σχέση με άλλες διδασκικές προσεγγίσεις. Η «εσωτερική» ή/και «εξωτερική» αξιολόγηση έχουν επίσης χρησιμοποιηθεί για την διερεύνηση της σχετικής δυσκολίας (σε σχέση με την ηλικία των μαθητών) ενός συγκεκριμένου γνωστικού περιεχομένου (Méhaut & Psillos, 2004). Παρόλα αυτά, αυτού του είδους η αξιολόγηση, και ιδιαίτερα η ονομαζόμενη «εξωτερική» αξιολόγηση, εγείρει ερωτήματα του τύπου *«μπορούν τα αποτελέσματα αυτά να θεωρηθούν γενικεύσιμα και ανεξάρτητα των συνθηκών κάτω από τις οποίες επιτεύχθηκαν;»* ή *«Ποιες είναι εκείνες οι επιλογές στο σχεδιασμό των μαθησιακών δραστηριοτήτων που είναι καθοριστικές για την αποτελεσματικότητα της μαθησιακής διαδικασίας;»*. Με άλλα λόγια, τίθενται ζητήματα που άπτονται της λογικής της στρατηγικής ελέγχου μεταβλητών καθώς και της δυνατότητας αναπαραγωγής της διδασκικής-μαθησιακής διαδικασίας (Méhaut & Psillos, 2004).

Στη δεύτερη περίπτωση, η μεθοδολογία στοχεύει να αναδείξει και να μελετήσει τις μαθησιακές διαδικασίες. Η λεπτομερής ανάλυση των μαθησιακών μονοπατιών των μαθητών μπορεί να χρησιμοποιηθεί: α) στη συζήτηση της αποτελεσματικότητας συγκεκριμένων μαθησιακών καταστάσεων, επιπρόσθετα και επικουρώντας την συνολική αξιολόγηση της σειράς, β) στον έλεγχο υποθέσεων με βάση τις οποίες σχεδιάστηκαν οι μαθησιακές καταστάσεις, και γ) στη βελτίωση των μαθησιακών αυτών καταστάσεων (Méhaut & Psillos, 2004).

3 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΔΙΔΑΚΤΙΚΗΣ ΜΑΘΗΣΙΑΚΗΣ ΣΕΙΡΑΣ (ΔΜΣ)

Στο πλαίσιο του προγράμματος Materials Science (δες ενότητα 1.1) παράχθηκε από την ερευνητική ομάδα Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών της Παιδαγωγικής Σχολής του ΠΑΔΥΜΑΚ, η Διδακτική Μαθησιακή Σειρά (ΔΜΣ) «Η πυκνότητα των υλικών σε φαινόμενα Π/Β: πειραματικές διαδικασίες και μοντελοποίηση», μέσα από μια κυκλική βελτιωτική διαδικασία (Duit, 1999, Lijnse, 1995, Méheut & Psillos, 2004). Η ΔΜΣ εφαρμόστηκε σε δύο φάσεις, την πιλοτική και την κανονική εφαρμογή. Στην ενότητα 3.1 παρουσιάζονται το πλαίσιο και οι σχεδιαστικές αρχές της ΔΜΣ. Στην ενότητα 3.2 παρουσιάζεται μια σύντομη περιγραφή των πέντε ενότητων της ΔΜΣ όπως εφαρμόστηκε στην κανονική εφαρμογή. Τέλος, στην ενότητα 3.3 παρουσιάζονται οι περιορισμοί του μετασχηματισμένου διδακτικά περιεχομένου της ΔΜΣ. Η περιγραφή και ανάλυση των βελτιωτικών αλλαγών, οι οποίες πραγματοποιήθηκαν από την πιλοτική στην κανονική εφαρμογή, θεωρούνται αποτελέσματα της παρούσας έρευνας και περιγράφονται στην ενότητα 5.3. Η μέθοδος ανάλυσης της διαδικασίας βελτίωσης της ΔΜΣ, η οποία περιγράφεται αναλυτικά στην ενότητα 4.3, ακολουθεί το μοντέλο του Pickering (1995).

3.1 Οι σχεδιαστικές αρχές της ΔΜΣ

Η συγκεκριμένη ΔΜΣ υιοθέτησε μια διδακτική μέθοδο βασισμένη στη Διερεύνηση, όπως φαίνεται αναλυτικά παρακάτω στη σχεδιαστική αρχή Δ, στο πλαίσιο του κοινωνικού εποικοδομητισμού, με την έννοια ότι έδωσε έμφαση στη μάθηση η οποία πραγματοποιείται καθώς οι μαθητές εργάζονται και οικοδομούν τη νέα γνώση στο περιβάλλον μιας ομάδας και στο σύνολο μιας τάξης (Βοσνιάδου, 1999, Χαλκιά, 2010). Ειδικότερα, οι βασικές σχεδιαστικές αρχές της ΔΜΣ είναι: Α) η *συνεργασία ερευνητών – εκπαιδευτικών* στη διαδικασία σχεδιασμού και ανάπτυξης της καθώς και στη διαδικασία βελτίωσής της, Β) το *σενάριο* το οποίο διατρέχει όλη τη ΔΜΣ με το σχήμα *τεχνολογικό πρόβλημα – επιστημονική διερεύνηση και επιστροφή στο πρόβλημα για ανεύρεση λύσης*, Γ) ο *διδακτικός μετασχηματισμός του περιεχομένου*, ο οποίος εστιάζει στην πυκνότητα ως ιδιότητα των υλικών για την ερμηνεία φαινομένων Π/Β με χρήση οπτικών και συσχετιστικών αιτιακών μοντέλων, Δ) η *βασισμένη στη Διερεύνηση* (δες ενότητα 2.2) διδασκαλία και μάθηση, και πιο

συγκεκριμένα: Δ1) τη *Διερεύνηση ως μέσο* (IBSE) για μάθηση, Δ2) τη *Διερεύνηση μέσω της μεθόδου της σκαλωσιάς (scaffolding)*, Δ3) τη *Διερεύνηση ως αναμενόμενο μαθησιακό αποτέλεσμα*, π.χ. στοιχεία της επιστημονικής μεθόδου ΣΕΜ καθώς και της φύσης και του ρόλου των μοντέλων, και Δ4) τη *βαθμιαία εισαγωγή στα μοντέλα, και τέλος Ε) η χρήση εκπαιδευτικού λογισμικού*. Πιο αναλυτικά:

Α) *Συνεργασία ερευνητών – εκπαιδευτικών*: Μία από τις πιο σημαντικές σχεδιαστικές αρχές της ΔΜΣ ήταν η *συνεργασία ερευνητών – εκπαιδευτικών* στη διαδικασία σχεδιασμού και ανάπτυξής της. Η ομάδα που ανέλαβε να φέρει εις πέρας τη διαδικασία αυτή περιλάμβανε τους ερευνητές της προαναφερθείσας ερευνητικής ομάδας καθώς και εκπαιδευτικούς της πρωτοβάθμιας και της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης. Οι σχεδιαστικές αρχές της ΔΜΣ, που παρουσιάζονται σε αυτήν την ενότητα, προτάθηκαν κυρίως από τους ερευνητές που σχεδίασαν και ανέπτυξαν τα διδακτικά σενάρια της ΔΜΣ. Οι εκπαιδευτικοί συζήτησαν με τους ερευνητές τη φύση των δραστηριοτήτων της ΔΜΣ, τον τρόπο με τον οποίο οι ίδιοι κατανοούσαν αυτές τις δραστηριότητες, τις πιθανές δυσκολίες που θα αντιμετώπιζαν οι μαθητές, κατά συνέπεια και πιθανές αλλαγές ή/και συγκεκριμένες διδακτικές μεθόδους που θα πρότειναν για την εφαρμογή των συγκεκριμένων δραστηριοτήτων. Αυτή η διαδικασία διήρκεσε τουλάχιστον δύο μήνες, πριν και κατά τη διάρκεια της πιλοτικής εφαρμογής. Η συνεργασία ερευνητών – εκπαιδευτικών συνεχίστηκε και μετά την πιλοτική εφαρμογή, στη διαδικασία βελτίωσης της σειράς όπως αυτή περιγράφεται στην ενότητα 4.3.2.

Β) *Σενάριο της ΔΜΣ και πλοκή τεχνολογίας επιστήμης*: Συμφωνώντας με την άποψη ότι η μάθηση επηρεάζεται από το πλαίσιο στο οποίο γίνεται, θεωρούμε ότι είναι σημαντικό οι μαθητές να προσεγγίσουν μια ποικιλία καταστάσεων προκειμένου να κατανοήσουν την γενικότητα επιστημονικών εννοιών όπως η πυκνότητα (Krajcik, 2001, Tao & Gunstone, 1999, Yeo, Loss, Zadnik & Treagust, 1999). Ακολουθώντας την παραπάνω αρχή, η ΔΜΣ αναπτύχθηκε στη βάση ενός *σεναρίου* που επικεντρώνει στο τεχνολογικό πρόβλημα της ανέλκυσης του ναυαγίου του Sea Diamond. Το σενάριο διατρέχει όλη τη σειρά, από τη μία ως φάση εξοικείωσης, και από την άλλη με το σχήμα *τεχνολογικό πρόβλημα – επιστημονική διερεύνηση και επιστροφή στο πρόβλημα για ανεύρεση λύσης* ως μέσο για την αύξηση των κινήτρων και του ενδιαφέροντος των μαθητών για διερεύνηση. Το σενάριο στην περίπτωση αυτή είναι η βύθιση του SD και ο προβληματισμός που δημιουργήθηκε για την ανέλκυσή του. Το ναυάγιο αυτό, που συνέβη τον Απρίλιο του 2007 στη Σαντορίνη,

έτυχε ευρείας κάλυψης από τα μέσα μαζικής ενημέρωσης. Θεωρήσαμε ότι το σενάριο θα μπορούσε να αποτελέσει κατάλληλο πλαίσιο για τη συνύπαρξη τεχνολογικών και επιστημονικών ζητημάτων. Επιπλέον, θεωρήσαμε ότι αυτό το πραγματικό τεχνολογικό πρόβλημα θα μπορούσε να αποτελέσει όχημα για το σχεδιασμό διεπιστημονικών δραστηριοτήτων που θα υποβοηθήσουν το πέρασμα από τεχνολογικές σε επιστημονικές διερευνήσεις και το αντίθετο, διαπλέκοντας επιστημονική και τεχνολογική γνώση.

Επίσης, θεωρήθηκε ότι η χρήση ενός αυθεντικού προβλήματος στο οποίο συνυπάρχουν τεχνολογικά και επιστημονικά ζητήματα, θα ενίσχυε το ενδιαφέρον των μαθητών του δημοτικού για τις ΦΕ, βοηθώντας τους να διαπιστώσουν ότι οι ΦΕ είναι παντού. Η υπόθεση αυτή βασίστηκε στην επισκόπηση της σχετικής βιβλιογραφίας, σύμφωνα με την οποία ο συνδυασμός τεχνολογικής και επιστημονικής γνώσης στη διδασκαλία και μάθηση: α) προάγει την ενεργό μάθηση, β) βοηθά στη βελτίωση των επιδόσεων και των στάσεων των μαθητών απέναντι στις ΦΕ, και γ) ενισχύει τη θετική αλληλεπίδραση μεταξύ διδασκόντων και μαθητών, παρέχοντας στους μαθητές ευκαιρίες να συμμετέχουν σε αυθεντικές διερευνητικές διαδικασίες, οι οποίες διενεργούνται συνήθως από τους επιστήμονες (Benett, Lubben & Hogarth, 2007, Waight & Abd-El-Khalick, 2007).

Με βάση την παραπάνω λογική, μελετώνται ταυτόχρονα η επιστημονική καθώς και η τεχνολογική πλευρά των ιδιοτήτων των υλικών. Από τη μια μεριά, η πυκνότητα παρουσιάζεται ως μια ιδιότητα των υλικών -μια 'ταυτότητα' των υλικών- με τη χρήση του μοντέλου «τελίτσες-στο-κυβάκι» (Σχήμα 3.2). Οι μαθητές, βασισμένοι σε αυτήν την παρουσίαση, αναμένεται να κατανοήσουν ότι η πυκνότητα εξαρτάται από το είδος του υλικού, καθώς και να είναι ικανοί να προβλέψουν/ερμηνεύσουν φαινόμενα Π/Β, συγκρίνοντας τις πυκνότητες των υλικών. Επιπλέον, εξασκούνται στην εφαρμογή μεθόδων επιστημονικής διερεύνησης, όπως είναι η Στρατηγική Ελέγχου Μεταβλητών, και η μάθηση επιστημονικών μοντέλων (λεπτομέρειες στις επόμενες σχεδιαστικές αρχές).

Από την άλλη μεριά, ζητείται από τους μαθητές να “ανακαλύψουν” και να χρησιμοποιήσουν την ιδιότητα της πυκνότητας στον περίπλοκο τεχνολογικό κόσμο π.χ. για την ανέλκυση ενός βυθισμένου πλοίου ή ενός βυθισμένου αγάλματος. Τους βοηθούμε ακόμη να γίνουν «δημιουργικοί λύτες προβλημάτων», να εκτιμούν την υπάρχουσα τεχνολογία και να είναι ικανοί να την αλλάξουν, να γίνουν καλά ενημερωμένοι χρήστες προϊόντων (π.χ. γλυκερίνη, στην ενότητα 3.2, 3^η ενότητα της

ΔΜΣ) και να βρίσκουν εναλλακτικές τεχνολογικές λύσεις, λαμβάνοντας υπόψη παράγοντες όπως η αισθητική, τα περιβαλλοντικά ζητήματα και η εργονομία (ενότητα 3.2, 5^η ενότητα της ΔΜΣ).

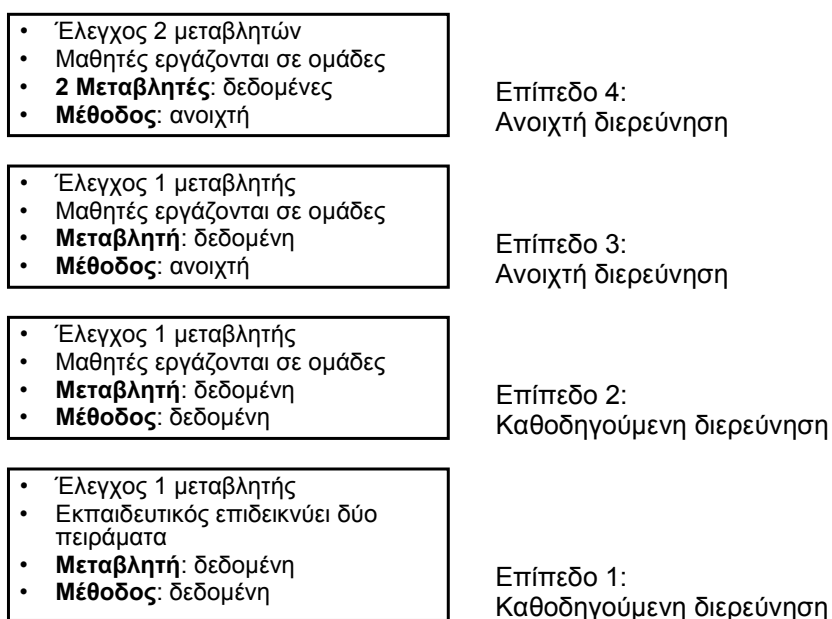
Γ) Το *μετασχηματισμένο διδακτικά περιεχόμενο* της ΔΜΣ: Θεωρούμε τη συγκεκριμένη ΔΜΣ μέρος ενός ευρύτερου αναλυτικού προγράμματος, το οποίο θα έχει γενικό σκοπό την αναδόμηση του εννοιολογικού πλαισίου των μαθητών σχετικά με τις έννοιες της ύλης (matter) και των υλικών (material kind) (Wiser & Smith, 2008). Το *μετασχηματισμένο διδακτικά περιεχόμενο* (Duit, 2007, Kattmann & Duit, 1996, Καριώτογλου, 2006, Κολιόπουλος, 2004) της συγκεκριμένης ΔΜΣ εστιάζει στην έννοια της *πυκνότητας*: α) με ποιοτικό τρόπο, μέσω ενός οπτικού μοντέλου, ως *ιδιότητας των υλικών* (Smith et al., 1992), και β) στο πλαίσιο φαινομένων Π/Β διαφόρων αντικειμένων της καθημερινής ζωής (τόσο ομογενών όσο και σύνθετων), π.χ. ενός κύβου από σίδηρο και ενός πλοίου, και μάλιστα χρησιμοποιώντας συσχετιστικό αιτιακό συλλογισμό (δες ενότητα 2.2.1.3) για την ερμηνεία ή/και πρόβλεψη του φαινομένου (Perkins & Grotzer, 2005). Αποφεύγεται η εισαγωγή της πυκνότητας με τη χρήση του μαθηματικού λόγου μάζα προς όγκο, διότι έχει καταγραφεί η δυσκολία των μαθητών αυτής της ηλικίας να κατανοήσουν τέτοιες σχέσεις. Επίσης, το περιεχόμενο της ΔΜΣ περιλαμβάνει και στοιχεία της μεθόδου της ΣΕΜ καθώς και της φύσης και του ρόλου των μοντέλων τα οποία παρουσιάζονται παρακάτω στη σχεδιαστική αρχή (Δ3).

Δ) Η *βασισμένη στη Διερεύνηση* διδασκαλία και μάθηση (δες ενότητα 2.2):

Δ1) η *Διερεύνηση ως μέσο* (IBSE, δες ενότητα 2.2) για μάθηση: Υιοθετώντας τη Διερεύνηση ως μέσο για μάθηση, στόχος ήταν να δοθεί στους μαθητές η δυνατότητα: α) να εισαχθούν και να ασκηθούν σχετικά με τη λογική της μεθόδου ΣΕΜ, με αποτέλεσμα να την κατανοήσουν και να μπορέσουν να την εφαρμόσουν και σε άλλα φαινόμενα, β) να αναπτύξουν τις επιστημονικές δεξιότητες της ανάγνωσης και της γραφής κατά τη διάρκεια αναζήτησης τεκμηρίων, π.χ. πληροφοριών σχετικά με τις ιδιότητες νέων υλικών, γ) να διερευνήσουν σε ομάδες πραγματικά και προσομοιωμένα πειράματα Π/Β, να τα ερμηνεύσουν χρησιμοποιώντας τα συμπεράσματα από τις διαδικασίες ελέγχου μεταβλητών που επηρεάζουν το φαινόμενο Π/Β, συνδέοντας ταυτόχρονα τις ερμηνείες που δίνουν στα προσομοιωμένα με αυτές που δίνουν στα πραγματικά πειράματα (Jaakkola, Nurmi & Lehtinen, 2010), δ) να βρουν λύσεις σε τεχνολογικά προβλήματα όπως αυτό της ανέλκυσης ενός πλοίου, ε) να μάθουν και να χρησιμοποιήσουν ένα οπτικό μοντέλο

της πυκνότητας με στόχο να αναπτύξουν συσχετιστικό αιτιακό συλλογισμό στις ερμηνείες φαινομένων Π/Β, στ) να επικοινωνήσουν τα ευρήματα των διερευνήσεών τους τόσο στην ομάδα τους όσο και στην υπόλοιπη τάξη.

Δ2) Η *Διερεύνηση* μέσω της μεθόδου της *σκαλωσίας (scaffolding)*: Μελετώντας τα φαινόμενα Π/Β, η διαπραγμάτευση με τις μεταβλητές που πιθανόν επηρεάζουν το φαινόμενο αυτό, κατά τη διάρκεια της διδασκαλίας, αναδεικνύεται σε σημαντικό ζήτημα. Έχοντας κατά νου ότι οι μαθητές θα πρέπει να βοηθηθούν στην κατανόηση των μεταβλητών που επηρεάζουν το φαινόμενο της Π/Β, θεωρήθηκε ότι η χρήση της Στρατηγικής Ελέγχου Μεταβλητών (ΣΕΜ) στο πλαίσιο διερευνητικών δραστηριοτήτων, είναι το κατάλληλο διδακτικό εργαλείο για αυτό το σκοπό. Η διερευνητική μάθηση περιλαμβάνει μια ευρεία κλίμακα μεθόδων. Από τη μία πλευρά την ανοιχτή διερεύνηση, στην οποία το επίπεδο του ελέγχου των δραστηριοτήτων από τους μαθητές είναι υψηλό, π.χ. οργανώνονται από μόνοι τους, θέτουν ερωτήματα, αναπτύσσουν υποθετικές ερμηνείες, και από την άλλη, την πιο δομημένη διερεύνηση, όπου οι εκπαιδευτικοί αποφασίζουν τα ερωτήματα και τις συγκεκριμένες διαδικασίες της έρευνας (Crawford, 2007, Hanauer, Hatfull & Jacobs-Sera, 2009, Herr, 2008). Η συγκεκριμένη ΔΜΣ αφορά στην περίπτωση που οι μαθητές στους οποίους απευθύνεται, έχουν περιορισμένη εμπειρία σε δραστηριότητες διερεύνησης και ως αποτέλεσμα, θεωρούμε ότι χρειάζονται υποστήριξη στη διερεύνηση που αναλαμβάνουν (Krajcik, 2001).



Σχήμα 3.1 Το διάγραμμα της διερεύνησης μέσω της μεθόδου της σκαλωσίας (scaffolding) για την προσέγγιση του επιστημονικού περιεχομένου

Σε συνάρτηση με αυτήν την άποψη, προσεγγίζουμε την έννοια της *σκαλωσιάς (scaffolding)* σύμφωνα με την οποία ο μαθητής καθοδηγείται από τον εκπαιδευτικό να διεκπεραιώσει ένα πείραμα (ή να λύσει ένα πρόβλημα) με σταδιακά όλο και λιγότερη υποστήριξη, καθώς ο μαθητής καθίσταται ικανός να το ολοκληρώσει (Taber, 2009). Η διερευνητική μάθηση με τη μέθοδο της *σκαλωσιάς (scaffolding)* πραγματοποιείται σε τέσσερα επίπεδα (Σχήμα 3.1). Το πρώτο επίπεδο της «καθοδηγούμενης διερεύνησης» αποτελείται από μια δραστηριότητα που πραγματοποιείται με επίδειξη από τον εκπαιδευτικό, μέσα από την οποία οι μαθητές οδηγούνται να ελέγξουν μια μεταβλητή ακολουθώντας τη μέθοδο ΣΕΜ. Το δεύτερο επίπεδο της «καθοδηγούμενης διερεύνησης» αποτελείται από μια διερεύνηση των μαθητών καθοδηγούμενη από τον εκπαιδευτικό, στην οποία οι μαθητές φέρνουν σε πέρας ένα πείραμα προκειμένου να ελέγξουν μια μεταβλητή, ακολουθώντας την ίδια μέθοδο. Το τρίτο επίπεδο της «ανοιχτής διερεύνησης» αποτελείται από μια διερεύνηση των μαθητών προκειμένου να ελέγξουν μια μεταβλητή που τίθεται από τον εκπαιδευτικό. Οι μαθητές αναμένεται να σχεδιάσουν και να διεξάγουν τη διερεύνηση. Τέλος, το τέταρτο επίπεδο της «ανοιχτής διερεύνησης» εμπλέκει τους μαθητές στο σχεδιασμό διερευνητικών πειραμάτων ώστε να ελέγξουν δύο μεταβλητές οι οποίες τίθενται από τον εκπαιδευτικό. Ο έλεγχος δύο μεταβλητών ταυτόχρονα, αποτελεί πρόκληση για μαθητές αυτής της ηλικίας (NRC, 2000).

Δ3) Η *Διερεύνηση ως αναμενόμενο μαθησιακό αποτέλεσμα*: Στο πλαίσιο της σχεδιαστικής αρχής η «*Διερεύνηση ως αναμενόμενο μαθησιακό αποτέλεσμα*», στοιχεία της (επιστημονικής) μεθόδου της ΣΕΜ καθώς και της φύσης και του ρόλου των μοντέλων αποτέλεσαν τη διαδικαστική και επιστημολογική γνώση που διδάσκονται με σαφή (explicit) τρόπο και αναμένεται να κατανοηθούν μετά την εφαρμογή της ΔΜΣ.

Πιο συγκεκριμένα, τα στοιχεία της μεθόδου ΣΕΜ που διδάσκονται και αναμένεται να κατανοηθούν είναι ότι: α) για να ελέγξουμε εάν μια μεταβλητή επηρεάζει ένα φαινόμενο κάνουμε δύο δοκιμές, μεταβάλλοντας μόνο τη μεταβλητή υπό έλεγχο, και κρατώντας ταυτόχρονα όλες τις άλλες (ανεξάρτητες) μεταβλητές σταθερές, και β) για να βγάλουμε συμπέρασμα από τη διαδικασία ελέγχου της μεταβλητής συγκρίνουμε τα αποτελέσματα της διαδικασίας αυτής (εάν το αποτέλεσμα είναι ίδιο και στις δύο δοκιμές, τότε η μεταβλητή δεν επηρεάζει το φαινόμενο, ενώ στην αντίθετη περίπτωση το επηρεάζει) (Boudreaux et al., 2008).

Εξάλλου, σχετικά με τη φύση των μοντέλων διδάσκεται, και αναμένεται να κατανοηθεί, ότι ένα μοντέλο είναι αναπαράσταση της πραγματικότητας μέσα από κάποια αναλογία και όχι ακριβές αντίγραφο ενός στόχου (δηλαδή ενός αντικειμένου, μιας έννοιας, μιας διαδικασίας ή/και ενός φαινομένου), ενώ σχετικά με τον ρόλο των μοντέλων διδάσκεται, και αναμένεται να κατανοηθεί, ότι η λειτουργία ενός μοντέλου δεν είναι ψυχαγωγική (με την έννοια της ομορφιάς, της αισθητικής και της διασκέδασης) (Gilbert, 1991), αλλά χρησιμεύει ως εργαλείο με κύριο στόχο την περιγραφή, την ερμηνεία ή/και την πρόβλεψη ενός φαινομένου (Schwarz & White, 2005, Treagust et al., 2002). Η κατανόηση αυτή θεωρείται σημαντική, διότι οι μαθητές που θεωρούν ότι τα μοντέλα είναι ακριβή αντίγραφα (replica) του στόχου, δυσκολεύονται να κατανοήσουν την έννοια του επιστημονικού μοντέλου (Treagust et al., 2002) καθώς και αφηρημένες έννοιες, όπως είναι η πυκνότητα (Wiser & Smith, 2008). Επίσης, κατά τη διάρκεια των συζητήσεων σχετικά με τη φύση των μοντέλων γίνεται λόγος: α) για την πολλαπλότητα των μοντέλων, δηλαδή ότι ένας στόχος μπορεί να αναπαρίσταται από περισσότερα από ένα μοντέλα (π.χ. ηλιοκεντρικό μοντέλο υλικής υπόστασης και σκίτσο), και β) για τα συστατικά στοιχεία ενός μοντέλου, δηλαδή ότι τα στοιχεία ενός μοντέλου μπορεί να είναι αντικείμενα, μεταβλητές, διαδικασίες ή/και αλληλεπιδράσεις (Constantinou, 1999), επομένως δεν είναι απαραίτητο να μοιάζουν με τον στόχο που αναπαριστούν. Για παράδειγμα, στο προσομοιωμένο μοντέλο του Sea Diamond αντικείμενα είναι οι σωσίβιες λέμβοι, τα αμπάρια και τα καταστρώματα του πλοίου, μεταβλητή είναι η κατάσταση στην οποία μπορεί να βρίσκονται τα αμπάρια του πλοίου (ανοικτά ή κλειστά), διαδικασία είναι π.χ. το γέμισμα των αμπαριών με νερό μετά από το άνοιγμά τους, και τέλος αλληλεπίδραση είναι π.χ. η σχέση που υπάρχει μεταξύ της βύθισης του πλοίου και του ανοίγματος ορισμένων αμπαριών του (δες Εικόνα 6, Παράρτημα Ε).

Δ4) Η βαθμιαία εισαγωγή στα μοντέλα: Ο συλλογισμός που βασίζεται σε μοντέλα μπορεί να εννοηθεί ως ένα συνεχές, στο οποίο οι εκπαιδευτικοί ξεκινούν με τις βασικές αναπαραστατικές δυνατότητες των μαθητών και προσπαθούν να καταλήξουν κοντά στις πρακτικές των επιστημόνων. Στη μέση βρίσκεται μια ενδιάμεση μορφή αναπαράστασης και μοντελοποίησης (Petrosino, 2003). Σύμφωνα με την παραπάνω θέση, είναι αποτελεσματικότερο να εισάγουμε τους μαθητές σε πρακτικές μοντελοποίησης μέσω μοντέλων που έχουν μεγάλο βαθμό ομοιότητας με το στόχο που αναπαριστούν (Gentner, 1983), επειδή τέτοιου είδους μοντέλα πιο εύκολα διατηρούν αντιστοιχίσεις μεταξύ του μοντέλου και του πραγματικού κόσμου,

προχωρώντας σταδιακά στη μελέτη πιο αφηρημένων εννοιολογικών μοντέλων, όπως είναι τα περισσότερα μοντέλα των Φυσικών Επιστημών (Treagust et al., 2002). Με βάση αυτήν την προσέγγιση, υιοθετείται μια *βαθμιαία προσέγγιση της φύσης και του ρόλου των μοντέλων*, η οποία χαρακτηρίζεται από σταδιακή μείωση της ομοιότητας του μοντέλου με τον στόχο, με ταυτόχρονη αύξηση του ενδιαφέροντος σχετικά με τη λειτουργία και τον ρόλο του μοντέλου ως εργαλείο για την ερμηνεία ή/και την πρόβλεψη φαινομένων (Treagust et al., 2002). Έτσι, οι μαθητές σταδιακά αντιλαμβάνονται ότι η ομοιότητα μεταξύ μοντέλου και πραγματικότητας είναι λιγότερο σημαντική από τη λειτουργία του μοντέλου και προετοιμάζονται καλύτερα να εργαστούν με μοντέλα που δε διατηρούν μεγάλο βαθμό ομοιότητας μεταξύ του μοντέλου και του αναπαριστώμενου στόχου. Πιο συγκεκριμένα, οι πρώτες συζητήσεις σχετικά με τη φύση και τον ρόλο των μοντέλων είναι π.χ. για το μοντέλο ενός πλοίου (υλικής υπόστασης και σκίτσο, 1^η ενότητα της ΔΜΣ). Στη συνέχεια, η συζήτηση πραγματοποιείται γύρω από στατικά οπτικά μοντέλα, όπως το οπτικό μοντέλο της πυκνότητας καθώς και λεκτικά συσχετιστικά αιτιακά μοντέλα που αφορούν σε κανόνες της Π/Β (3^η και 4^η ενότητα της ΔΜΣ). Τέλος, η συζήτηση συνεχίζεται γύρω από οπτικά μοντέλα που είναι δυναμικά, για παράδειγμα η προσομοίωση της Π/Β του Sea Diamond (5^η ενότητα της ΔΜΣ) (για μια πλήρη εποπτεία των μοντέλων που χρησιμοποιήθηκαν στις συζητήσεις σχετικά με τη φύση και τον ρόλο των μοντέλων στη ΔΜΣ, δες Παράρτημα Δ).

Ε) *Χρήση εκπαιδευτικού λογισμικού*: Μελετώντας τις υπάρχουσες προτάσεις εκπαιδευτικών λογισμικών που ενσωματώνουν σε μεγαλύτερο ή μικρότερο βαθμό τις έννοιες που μας ενδιαφέρουν, διαπιστώσαμε την έλλειψη ικανοποιητικών προτάσεων κυρίως λόγω του προσανατολισμού τους σε μαθηματική αντιμετώπιση του υπό μελέτη ζητήματος. Γι' αυτό, ήταν συνειδητή η επιλογή μας να αναπτύξουμε ειδικά κατασκευασμένο λογισμικό, από το μηδέν, το οποίο να ακολουθεί πιστά τις έννοιες που θέλουμε να διδάξουμε. Έτσι, για την πραγματοποίηση της προσέγγισης που περιγράφεται στη σχεδιαστική αρχή (Δ) σχεδιάστηκε και αναπτύχθηκε, από μέλη της ερευνητικής ομάδας, ένα λογισμικό (Spyrtou, Zoupidis & Kariotoglou, 2008, Αρβανιτάκης & Κασκάλης, 2009, Καριώτογλου κ.ά., 2010α) που έχει τα παρακάτω χαρακτηριστικά: α) παιγνιώδη χαρακτήρα με έντονα διαδραστικά στοιχεία, β) ημι-ανοιχτή (semi-open) προσέγγιση που επιτρέπει τον πειραματισμό σε ένα ελεγχόμενο περιβάλλον, γ) χωρισμό σε ενότητες (δωμάτια), που ακολουθούν την εξέλιξη της διδασκαλίας, δ) ρεαλιστικό περιβάλλον για την αναπαράσταση υγρών και στερεών,

χωρίς υπερβολικές τρισδιάστατες αναπαραστάσεις που να αποπροσανατολίζουν, ε) εύκολη εγκατάσταση και χαμηλές απαιτήσεις εγκατάστασης και χρήσης, και στ) εύκολη μετάφραση του περιβάλλοντος εργασίας σε άλλες γλώσσες (π.χ. Φινλανδικά).

Τελικά, το λογισμικό κατέληξε σε ένα πρόγραμμα για τα Microsoft Windows, με τη χρήση του λογισμικού Game Maker (<http://www.yoyogames.com/gamemaker>) (για ενδεικτικές οθόνες του λογισμικού δες στο Παράρτημα Ε).

3.2 Η ΔΜΣ στην κανονική εφαρμογή

Η ΔΜΣ αποτελείται από πέντε ενότητες, καθεμία από τις οποίες διαρκεί 80 λεπτά (βλ. Spyrtou et al., 2008, Καριώτογλου κ.ά., 2010α και 2010β). Παρακάτω, παρουσιάζουμε τις ενότητες της ΔΜΣ, όπως αναπτύχθηκαν για την κανονική εφαρμογή του προγράμματος (Πίνακας 3.1). Οι διαφορές από την πιλοτική εφαρμογή γίνονται φανερές από την περιγραφή των βελτιωτικών αλλαγών στην ενότητα 5.3, για αυτό το λόγο δεν παραθέτουμε τη ΔΜΣ όπως εφαρμόστηκε στην πιλοτική εφαρμογή.

Στην **1η ενότητα**, οι διδακτικοί στόχοι είναι: Οι μαθητές: 1) να εξοικειωθούν με τα φαινόμενα της Π/Β, 2) να εισαχθούν στη μέθοδο ΣΕΜ.

Στην 1^η ενότητα, καταρχήν, παρουσιάζεται στους μαθητές το τεχνολογικό πρόβλημα της ανέλκυσης του ναυαγίου του Sea Diamond μέσω ενός βίντεο που σχεδιάστηκε από την ερευνητική ομάδα, και περιλαμβάνει περιγραφή του ατυχήματος και συζήτηση γύρω από τις περιβαλλοντικές του συνέπειες. Επιπλέον, οι μαθητές εργαζόμενοι σε ομάδες εξοικειώνονται με τα φαινόμενα Π/Β μέσα από διάφορες δραστηριότητες, τόσο σε προσομοιωμένο περιβάλλον (π.χ. διαδραστικό σκίτσο ενός πλοίου, Παράρτημα Δ), όσο και με πειράματα με πραγματικά υλικά (π.χ. σιδερένιο μοντέλο ενός πλοίου, Παράρτημα Δ), με την προσέγγιση Προβλέπω-Παρατηρώ-Εξερευνώ (Predict-Observe-Explore) (ΠΠΕ) (White & Gunstone, 1992).

Επιπλέον, πραγματοποιείται συζήτηση γύρω από τη φύση και τον ρόλο των μοντέλων των πλοίων (υλικής υπόστασης και σκίτσο) που χρησιμοποιήθηκαν στις δραστηριότητες της 1^{ης} ενότητας (δες σχεδιαστική αρχή Δ3, ενότητα 3.1).

Στη συνέχεια, οι μαθητές συζητούν και προβλέπουν, με την υποστήριξη της δασκάλας, τις μεταβλητές που πιθανόν επηρεάζουν την Π/Β ενός ομογενούς και συμπαγούς αντικειμένου. Πραγματοποιείται συζήτηση σχετικά με τη την έννοια

συμπαγές αντικείμενο. Μαθητές και δασκάλα καταλήγουν ότι οι μεταβλητές αυτές είναι το βάρος, το σχήμα και το υλικό του αντικειμένου, το φάρδος του δοχείου και το είδος του υγρού.

Τέλος, η δασκάλα ελέγχει, με επίδειξη, εάν το βάρος ενός ομογενούς (άρα και συμπαγούς) αντικειμένου επηρεάζει την Π/Β του αντικειμένου και στη συνέχεια παρουσιάζει τη μέθοδο ΣΕΜ, με την οποία έκανε τον έλεγχο αυτό (δες σχεδιαστική αρχή Δ3, ενότητα 3.1).

Στη **2η ενότητα**, οι διδακτικοί στόχοι είναι: Οι μαθητές 1) να διερευνήσουν τους παράγοντες που πιθανόν να επηρεάζουν το φαινόμενο της Π/Β ομογενούς αντικειμένου, και 2) να ασκηθούν στη διαδικασία ελέγχου μεταβλητών και εξαγωγής συμπερασμάτων (μέθοδος ΣΕΜ).

Στη 2^η ενότητα, οι μαθητές, ακολουθώντας την προσέγγιση ΠΠΕ, εργάζονται σε ομάδες και πραγματοποιούν διερευνήσεις σε προσομοιωμένο περιβάλλον (δες Εικόνα 1, Παράρτημα Ε) αλλά και σε πειράματα με πραγματικά υλικά. Πιο συγκεκριμένα, ελέγχουν τις υπόλοιπες τέσσερις μεταβλητές που πιθανόν να επηρεάζουν το φαινόμενο της Π/Β με τη μέθοδο της *σκαλωσίας (scaffolding)*, ακολουθώντας τα δομημένα φύλλα εργασίας (Καριώτογλου κ.ά., 2010β), τα οποία χαρακτηρίζονται από βαθμιαία μείωση υποστήριξης προς τους μαθητές (δες σχεδιαστική αρχή (Δ2), ενότητα 3.1). Καταρχήν, ελέγχουν τη μεταβλητή φάρδος του δοχείου, έχοντας δεδομένη την υπό έλεγχο μεταβλητή καθώς και τη μέθοδο που θα ακολουθήσουν (επίπεδο 2 της μεθόδου *σκαλωσίας*, σχήμα 3.1). Έπειτα, οι μαθητές καλούνται να ελέγξουν τη μεταβλητή είδος του υγρού, αφού πρώτα σχεδιάσουν οι ίδιοι το πείραμα (επίπεδο 3 της μεθόδου *σκαλωσίας*, σχήμα 3.1). Καταλήγοντας, στο τελευταίο επίπεδο διερεύνησης, οι μαθητές καλούνται να σχεδιάσουν και να εφαρμόσουν ένα ή περισσότερα πειράματα ώστε να ελέγξουν δύο μεταβλητές: το είδος του υλικού και το σχήμα του αντικειμένου, χωρίς να τους δοθεί άλλη υποστήριξη (επίπεδο 4 της μεθόδου *σκαλωσίας*, σχήμα 3.1). Οι μαθητές συζητούν σχετικά με τη μέθοδο ΣΕΜ και παρουσιάζουν στην τάξη τα συμπεράσματα της κάθε ομάδας, κάθε φορά που ολοκληρώνουν την εργασία τους σε ένα από τα παραπάνω επίπεδα. Τέλος, μετά την ολοκλήρωση όλων των διερευνήσεων, πραγματοποιείται συζήτηση αναστοχασμού σχετικά με τους παράγοντες που επηρεάζουν το φαινόμενο Π/Β καθώς και σχετικά με τη μέθοδο ΣΕΜ.



Σχήμα 3.2 Το οπτικό μοντέλο «τελίτσες-στο-κυβάκι», της πυκνότητας διαφόρων υλικών (Smith et al., 1992)

Στην **3η ενότητα** οι διδακτικοί στόχοι είναι: Οι μαθητές: 1) να εισαχθούν στην έννοια της πυκνότητας μέσω οπτικού μοντέλου της, 2) να χρησιμοποιούν την παραπάνω έννοια της πυκνότητας και το *κριτήριο σύγκρισης πυκνοτήτων*, για την πρόβλεψη Π/Β ομογενών αντικειμένων στο νερό, 3) να προσεγγίσουν τη φύση και τον ρόλο των μοντέλων.

Στην 3^η ενότητα, εισάγεται ένα πρόδρομο οπτικό μοντέλο της πυκνότητας, το μοντέλο «τελίτσες-στο-κυβάκι» ενός υλικού (Smith et al., 1992, Σχήμα 3.2). Στο μοντέλο αυτό, οι τελίτσες αναπαριστούν το βάρος του κάθε αντικειμένου, και το κυβάκι αναπαριστά το μέγεθος του αντικειμένου, που στη συγκεκριμένη περίπτωση παραμένει πάντοτε σταθερό. Καταρχήν, οι μαθητές αναζητούν και συλλέγουν πληροφορίες σε ένα εικονικό διαδικτυακό τόπο (δες Εικόνα 3, Παράρτημα Ε), σχετικά με τις ιδιότητες ορισμένων φυσικών και τεχνητών υλικών (γλυκερίνη, καουτσούκ και PVC), συζητούν σχετικά με τις χρήσεις τους και σχετικά με πιθανά περιβαλλοντικά προβλήματα που προκαλούν, ακολουθώντας τις οδηγίες που τους δίνονται στο σχετικό φύλλο εργασίας. Επίσης, πραγματοποιούν πειράματα Π/Β αντικειμένων (π.χ. κύλινδρος από ακρυλικό) σε διάφορα υγρά (π.χ. γλυκερίνη), με στόχο να αναγνωριστεί από τους μαθητές η ανάγκη ενός κριτηρίου, το οποίο θα κάνει εφικτή την ερμηνεία και πρόβλεψη του φαινομένου της Π/Β. Στη συνέχεια, οι μαθητές επεξεργάζονται μικρά κυβάκια, ίδιου όγκου, από διάφορα υλικά και καλούνται να εργαστούν σε ομάδες και να εκφράσουν τις ιδέες τους σχετικά με το πώς θα αναπαριστούσαν τη σχέση *βαρύτερο – ελαφρύτερο* υλικό, μεταξύ τριών κύβων ίδιου όγκου, αλλά από διαφορετικό υλικό (σίδηρο, λάστιχο και ξύλο). Αφού οι μαθητές παρουσιάσουν τις ιδέες τους στην τάξη και συζητήσουν σχετικά με τις αναπαραστάσεις που θα έχουν προταθεί, η δασκάλα προτείνει το μοντέλο «τελίτσες-στο-κυβάκι» ως μία ακόμη πιθανή αναπαράσταση για τη σχέση *βαρύτερο – ελαφρύτερο* υλικό.

Χρησιμοποιώντας ζυγό σύγκρισης σε προσομοιωμένο περιβάλλον (δες Εικόνα 2, Παράρτημα Ε) οι μαθητές με την υποστήριξη της δασκάλας ταξινομούν τους κύβους ίσου όγκου όπως φαίνεται στο σχήμα 3.2. Στη συνέχεια, καλούνται να ερμηνεύσουν

και να προβλέψουν την Π/Β διαφόρων αντικειμένων σε διάφορα υγρά σε προσομοιωμένο περιβάλλον (δες Εικόνα 5, Παράρτημα Ε).

Πίνακας 3.1 Το περιεχόμενο κάθε ενότητας της ΔΜΣ στην κανονική εφαρμογή

Ενότητα	Περιεχόμενο
1 ^η	<input checked="" type="checkbox"/> Το βάρος ενός αντικειμένου δεν επηρεάζει την Π/Β του στο νερό. <input checked="" type="checkbox"/> Τα βασικά βήματα της μεθόδου ΣΕΜ. <input checked="" type="checkbox"/> Τα βασικά χαρακτηριστικά της φύσης και του ρόλου των μοντέλων
2 ^η	<input checked="" type="checkbox"/> Οι μεταβλητές που επηρεάζουν την Π/Β ενός αντικειμένου είναι το είδος του υλικού του αντικειμένου και το είδος του υγρού. <input checked="" type="checkbox"/> Το βάρος ενός αντικειμένου και το φάρδος του δοχείου δεν επηρεάζουν την Π/Β του αντικειμένου στο δοχείο αυτό. <input checked="" type="checkbox"/> Τα βασικά βήματα της μεθόδου ΣΕΜ.
3 ^η	<input checked="" type="checkbox"/> Ιδιότητες φυσικών και τεχνητών υλικών. <input checked="" type="checkbox"/> Το μοντέλο «τελίτσες-στο-κυβάκι» του υλικού ενός αντικειμένου περιγράφει τη σχέση βαρύτερο-ελαφρύτερο μεταξύ διαφόρων υλικών <input checked="" type="checkbox"/> Τα βασικά χαρακτηριστικά της φύσης και του ρόλου των μοντέλων. <input checked="" type="checkbox"/> Το κριτήριο σύγκρισης των μοντέλων «τελίτσες-στο-κυβάκι» του υλικού ενός αντικειμένου και του νερού, εργαλείο για την ερμηνεία και πρόβλεψη του φαινομένου της Π/Β του αντικειμένου στο νερό.
4 ^η	<input checked="" type="checkbox"/> Η πυκνότητα ως ιδιότητα του υλικού ενός ομογενούς και συμπαγούς αντικειμένου μπορεί να αναπαρασταθεί με το μοντέλο «τελίτσες-στο-κυβάκι». <input checked="" type="checkbox"/> Το κριτήριο σύγκρισης πυκνοτήτων του υλικού ενός αντικειμένου και ενός υγρού (γενίκευση χρήσης του κριτηρίου), εργαλείο για την ερμηνεία και πρόβλεψη του φαινομένου της Π/Β του αντικειμένου στο υγρό. <input checked="" type="checkbox"/> Η πυκνότητα ενός σύνθετου αντικειμένου που αποτελείται από δύο υλικά είναι μεταξύ των πυκνοτήτων των δύο αυτών υλικών. <input checked="" type="checkbox"/> Τα βασικά χαρακτηριστικά της φύσης και του ρόλου των μοντέλων.
5 ^η	<input checked="" type="checkbox"/> Το κριτήριο σύγκρισης πυκνοτήτων του υλικού ενός αντικειμένου και ενός υγρού, ως εργαλείο για την πρόβλεψη καταστάσεων Π/Β σε τεχνολογικό περιβάλλον. <input checked="" type="checkbox"/> Επίλυση προβλημάτων ανέλκυσης σε τεχνολογικό πλαίσιο (π.χ. πιθανό ρίσκο, κόστος κ.ά.). <input checked="" type="checkbox"/> Τα βασικά χαρακτηριστικά της φύσης και του ρόλου των μοντέλων.

Οι μαθητές αναμένεται να χρησιμοποιήσουν συσχετιστική αιτιακή λογική (Perkins & Grotzer, 2005) στις ερμηνείες και τις προβλέψεις τους για την Π/Β ομογενών και συμπαγών αντικειμένων. Πιο συγκεκριμένα, οι μαθητές αναμένεται να κατακτήσουν

το κριτήριο σύγκρισης των μοντέλων «τελίτσες-στο-κυβάκι» του υλικού ενός αντικειμένου και του νερού, δηλαδή ότι: *εάν οι «τελίτσες-στο-κυβάκι» ενός υλικού είναι λιγότερες από τις «τελίτσες-στο-κυβάκι» του νερού, τότε το αντικείμενο που είναι από αυτό το υλικό θα επιπλεύσει στο νερό, και ότι εάν οι «τελίτσες-στο-κυβάκι» ενός υλικού είναι περισσότερες από τις «τελίτσες-στο-κυβάκι» του νερού, τότε το αντικείμενο που είναι από αυτό το υλικό θα βυθιστεί στο νερό.*

Στην **4η ενότητα** οι διδακτικοί στόχοι είναι: Οι μαθητές 1) να διαπραγματευτούν την έννοια της πυκνότητας και το κριτήριο σύγκρισης πυκνοτήτων του υλικού ενός αντικειμένου και του υγρού, για την πρόβλεψη Π/Β ομογενών και σύνθετων αντικειμένων, 2) να διαπραγματευτούν όψεις της φύσης και του ρόλου των μοντέλων.

Στην 4^η ενότητα, αντικαθίσταται ο όρος «τελίτσες-στο-κυβάκι» ενός υλικού από τον όρο *πυκνότητα* ενός υλικού. Κατά συνέπεια, οι μαθητές καταλήγουν στο κριτήριο σύγκρισης πυκνοτήτων του υλικού ενός αντικειμένου και του νερού, δηλαδή ότι: *εάν η πυκνότητα ενός υλικού είναι μικρότερη από την πυκνότητα του νερού, τότε το αντικείμενο που είναι από αυτό το υλικό θα επιπλεύσει στο νερό, και ότι εάν η πυκνότητα ενός υλικού είναι μεγαλύτερη από την πυκνότητα του νερού, τότε το αντικείμενο που είναι από αυτό το υλικό θα βυθιστεί στο νερό.* Οι μαθητές προτρέπονται να δουλέψουν σε ομάδες, σε προσομοιωμένο περιβάλλον (δες Εικόνα 5, Παράρτημα Ε), για να ερμηνεύσουν και να προβλέψουν αντίστοιχες περιπτώσεις και για άλλα υγρά εκτός από το νερό, καθώς και για νέα υλικά (π.χ. πολυουρεθάνη, ανθρακόνημα). Με αυτόν τον τρόπο, οι μαθητές αναμένεται να προχωρήσουν σε γενίκευση του κριτηρίου σύγκρισης πυκνοτήτων του υλικού ενός αντικειμένου και ενός υγρού, για την ερμηνεία και πρόβλεψη φαινομένων Π/Β του αντικειμένου στο υγρό.

Επιπλέον, οι μαθητές διαπραγματεύονται, σε πραγματικό περιβάλλον, περιπτώσεις Π/Β σύνθετων αντικειμένων που αποτελούνται από δύο υλικά, π.χ. ένα μπουκάλι γεμάτο με αέρα ή ένα μπουκάλι γεμάτο με νερό. Κατά τη διάρκεια των διαπραγματεύσεων αυτών η δασκάλα προτρέπει τους μαθητές να χρησιμοποιήσουν παρόμοιο συλλογισμό με αυτόν που χρησιμοποίησαν στο προσομοιωμένο περιβάλλον, δηλαδή να χρησιμοποιήσουν το κριτήριο σύγκρισης πυκνοτήτων (Jaakkola et al., 2010). Παράλληλα, πραγματοποιείται συζήτηση σχετικά με την έννοια του *σύνθετου* αντικειμένου σε αντιδιαστολή με το *ομογενές* και *συμπαγές* αντικείμενο. Οι παραπάνω δραστηριότητες αναμένεται να βοηθήσουν τους μαθητές

να κατανοήσουν ότι η πυκνότητα ενός σύνθετου αντικειμένου, το οποίο αποτελείται από δύο υλικά, βρίσκεται μεταξύ των πυκνοτήτων των δύο αυτών υλικών. Έτσι, θα κατορθώσουν να επεκτείνουν τη χρήση του *κριτηρίου σύγκρισης πυκνοτήτων* και για σύνθετα αντικείμενα, σε πραγματικό περιβάλλον, προσεγγίζοντας με αυτόν τον τρόπο τον τεχνολογικό κόσμο, ώστε να είναι ικανοί στην επόμενη (5^η) ενότητα της ΔΜΣ να αντιμετωπίσουν αυθεντικά τεχνολογικά προβλήματα ανέλκυσης αντικειμένων.

Τέλος, γίνεται ανασκόπηση σχετικά με την έννοια του μοντέλου και τα χαρακτηριστικά του, μέσω μιας συζήτησης για τα μοντέλα των πλοίων (υλικής υπόστασης και σκίτσο) και των οπτικών μοντέλων της πυκνότητας που οι μαθητές διαπραγματεύτηκαν κατά τη διάρκεια των προηγούμενων ενοτήτων (δες Εικόνα 4, Παράρτημα Ε). Επιπλέον, συζητούν σχετικά με τα χαρακτηριστικά δύο ηλιοκεντρικών μοντέλων, μιας εικόνας και ενός μοντέλου υλικής υπόστασης, τα οποία η δασκάλα έχει φροντίσει να υπάρχουν στην τάξη (δες Παράρτημα Δ). Κατά τη διάρκεια αυτών των συζητήσεων, η εστίαση είναι σε βασικά χαρακτηριστικά της φύσης και του ρόλου των μοντέλων (δες σχεδιαστική αρχή Δ3, ενότητα 3.1).

Στην **5η ενότητα**, οι διδακτικοί στόχοι είναι: Οι μαθητές: 1) να χρησιμοποιούν την ιδιότητα της πυκνότητας και το *κριτήριο σύγκρισης πυκνοτήτων* του υλικού ενός αντικειμένου και του υγρού, για την ερμηνεία της Π/Β ομογενών και σύνθετων αντικειμένων, 2) να επιλύουν ανοιχτά τεχνολογικά προβλήματα.

Στην 5^η ενότητα, οι μαθητές έχουν τη δυνατότητα να εργαστούν σε ομάδες σε προσομοιωμένο περιβάλλον, ώστε να διερευνήσουν και να ερμηνεύσουν την Π/Β του κρουαζιερόπλοιου Sea Diamond. Η δραστηριότητα αυτή αποτελεί ευκαιρία να συνδυάσουν και να συνδέσουν τις ερμηνείες τους σε φαινόμενα Π/Β σε πραγματικό περιβάλλον, με τις ερμηνείες τους σε παρόμοια φαινόμενα σε προσομοιωμένο περιβάλλον, χρησιμοποιώντας το *κριτήριο σύγκρισης πυκνοτήτων* (Jaakkola et al., 2010). Επίσης, αποτελεί ευκαιρία για μια τελική συζήτηση ανασκόπησης σχετικά με τη φύση και τον ρόλο των μοντέλων καθώς και σχετικά με τα συστατικά στοιχεία των μοντέλων (δες σχεδιαστική αρχή Δ3, ενότητα 3.1).

Ακόμη, οι μαθητές αντιμετωπίζουν το τεχνολογικό πρόβλημα της ανέλκυσης ενός μοντέλου πήλινου αγαλματιδίου και ενός σιδερένιου μοντέλου ενός πλοίου που είναι βυθισμένα σε δοχείο με νερό (με πραγματικά υλικά και όχι σε προσομοίωση). Οι μαθητές συζητούν τα προβλήματα σε ένα τεχνολογικό πλαίσιο, δηλαδή προτρέπονται να λάβουν υπόψη τους στοιχεία όπως τις καιρικές συνθήκες, το

πιθανό ρίσκο και το συνολικό κόστος της πρότασής τους και να προτείνουν λύσεις για την ανέλकुσή τους.

3.3 Περιορισμοί του διδακτικού μετασχηματισμού που προκύπτουν από το οπτικό μοντέλο της πυκνότητας

Κάθε διδακτικός μετασχηματισμός ενός συγκεκριμένου γνωστικού περιεχομένου χαρακτηρίζεται από περιορισμούς που σχετίζονται: α) με την ερμηνεία των φαινομένων που αντιστοιχούν στο γνωστικό περιεχόμενο, ή/και β) με το εύρος των φαινομένων που ερμηνεύονται από το συγκεκριμένο διδακτικό μετασχηματισμό (Duit, 2007, Kattmann & Duit, 1996, Καριώτογλου, 2006, Κολιόπουλος, 2004). Ο διδακτικός μετασχηματισμός της συγκεκριμένης ΔΜΣ αφορά κυρίως στις επιλογές που έγιναν σχετικά με το μοντέλο της έννοιας της πυκνότητας που χρησιμοποιήθηκε στην ερμηνεία και πρόβλεψη των φαινομένων Π/Β. Το ποιοτικό μοντέλο «τελίτσες-στο-κυβάκι» της πυκνότητας, καθώς και ο τρόπος με τον οποίο χρησιμοποιήθηκε, αποτελεί συγκεκριμένη πρόταση ανάλυσης περιεχομένου / διδακτικού μετασχηματισμού με στόχο, καταρχήν τη χρήση της έννοιας αυτής στις ερμηνείες φαινομένων Π/Β, και δεύτερον την ανάδειξη της εντατικότητας της έννοιας της πυκνότητας. Επιπλέον, το μοντέλο αποτελεί ένα πρόδρομο μοντέλο της έννοιας της πυκνότητας. Με αυτήν την έννοια, το μοντέλο αυτό είναι πιο εύκολο να κατανοηθεί και να χρησιμοποιηθεί από μαθητές δημοτικού και γυμνασίου (Kawasaki et al., 2004, Smith et al., 1992), από ό,τι είναι η μαθηματική αναλογία της μάζας προς τον όγκο ενός αντικειμένου, δηλαδή η επιστημονική γνώση του συγκεκριμένου περιεχομένου. Ως συνέπεια, χαρακτηρίζεται από ορισμένους περιορισμούς σε σχέση με το επιστημονικό μαθηματικό μοντέλο της πυκνότητας. Οι περιορισμοί που χαρακτηρίζουν το μοντέλο «τελίτσες-στο-κυβάκι», στη συγκεκριμένη ΔΜΣ, είναι οι εξής:

A) Παρουσιάζεται *αδυναμία ποσοτικής θεώρησης* της πυκνότητας των υλικών: Καταρχήν, το ποιοτικό μοντέλο «τελίτσες-στο-κυβάκι» δεν αποτελεί ακριβή αντιστοίχιση της πραγματικής τιμής της πυκνότητας του υλικού με τον αριθμό από «τελίτσες-στο-κυβάκι» που την αναπαριστούν. Αυτό που περιγράφεται με το συγκεκριμένο μοντέλο είναι η σχέση ανισότητας (*μεγαλύτερο-μικρότερο*) μέσω σύγκρισης του αριθμού από «τελίτσες-στο-κυβάκι» του ενός υλικού σε σχέση με τον αριθμό από «τελίτσες-στο-κυβάκι» ενός άλλου υλικού, και όχι η απόλυτη τιμή της

πυκνότητας κάθε υλικού. Έτσι, π.χ. αυτό που περιγράφει το μοντέλο για τη σχέση μεταξύ της πυκνότητας του αέρα και του ξύλου (Σχήμα 3.2), δεν είναι φυσικά ότι είναι ίση με ένα προς δύο (1:2), αλλά μόνο ότι η πυκνότητα του ξύλου είναι μεγαλύτερη από αυτήν του αέρα.

Κατά συνέπεια, όταν για παράδειγμα απαιτείται να προσδιορίσουμε την πυκνότητα ενός σύνθετου αντικειμένου που αποτελείται από δύο υλικά διαφορετικής πυκνότητας, στην περίπτωση που χρησιμοποιούμε το ποιοτικό μοντέλο «τελίτσες-στο-κυβάκι», το μόνο που μπορούμε να γνωρίζουμε είναι ότι η πυκνότητα του σύνθετου αντικειμένου θα είναι μεταξύ των πυκνοτήτων των δύο υλικών. Εάν αντίθετα, χρησιμοποιούμε τη μαθηματική έκφραση της έννοιας της πυκνότητας των υλικών αυτών, τότε μας δίνεται η δυνατότητα να υπολογίσουμε ακριβώς τη μέση πυκνότητα του σύνθετου αντικειμένου.

Β) Παρουσιάζεται πιθανότητα *ενίσχυσης της εναλλακτικής ιδέας* ότι η πυκνότητα κάθε υλικού έχει μια *σταθερή τιμή*: Η επιθυμητή γνώση για την έννοια της πυκνότητας είναι ότι η πυκνότητα είναι ιδιότητα του υλικού. Αυτή η γνώση από τη μία είναι δυνατόν, όπως επιβεβαιώνεται και από τις σχετικές έρευνες (Smith et al., 1992, Φασουλόπουλος, 2000), να βοηθήσει τους μαθητές να αντιληφθούν την εντατικότητα της έννοιας της πυκνότητας και να διαφοροποιήσουν την έννοια της πυκνότητας από την έννοια του βάρους. Από την άλλη όμως, μπορεί να ενισχύσει την εναλλακτική ιδέα ότι η πυκνότητα κάθε υλικού έχει μια σταθερή τιμή κάτω από οποιοσδήποτε συνθήκες, ενώ στην πραγματικότητα, η πυκνότητα (ιδίως των αερίων) μεταβάλλεται με τις μεταβολές της θερμοκρασίας και της πίεσης. Η εξήγηση των μεταβολών αυτών στις τιμές της πυκνότητας μπορεί να δοθεί μικροσκοπικά, σε μεγαλύτερη ηλικία, χρησιμοποιώντας το σωματιδιακό μοντέλο για την ύλη.

Γ) Δε μελετάται η έννοια της *άνωσης* και του *εκτοπιζόμενου υγρού*: Εστιάζοντας στην έννοια της πυκνότητας ως ιδιότητας του υλικού και στο κριτήριο σύγκρισης πυκνοτήτων για την ερμηνεία και πρόβλεψη των φαινομένων Π/Β, ταυτόχρονα επιλέξαμε να μη μελετήσουμε την άνοση ως εναλλακτικό ερμηνευτικό εργαλείο των φαινομένων αυτών. Η επιλογή αυτή έγινε διότι θεωρήσαμε ότι ο μηχανισμός ισορροπίας δυνάμεων (δες ενότητα 2.1.3), που υπονοείται στο ερμηνευτικό μοντέλο της άνωσης, είναι ιδιαίτερα δύσκολος για το δημοτικό. Ως συνέπεια της παραπάνω απόφασης, θεωρήσαμε ότι δεν ήταν απαραίτητο να μελετήσουμε την έννοια του εκτοπιζόμενου υγρού, η οποία είναι μεν αναγκαία στο ερμηνευτικό μοντέλο που χρησιμοποιεί την άνοση αλλά όχι στο μοντέλο που χρησιμοποιεί την πυκνότητα.

Επιπλέον, θεωρήθηκε ότι η έννοια του εκτοπιζόμενου υγρού θα μπορούσε ακόμη και να αποπροσανατολίσει τους μαθητές από την επιθυμητή γνώση.

Δ) Δε μελετώνται τα *φαινόμενα επίπλευσης λεπτών φύλλων* κατά συνέπεια ούτε και το φαινόμενο της *επιφανειακής τάσης*: Ένας άλλος περιορισμός του μετασχηματισμένου διδακτικά περιεχομένου της ΔΜΣ είναι το γεγονός ότι με την έννοια της πυκνότητας ως ιδιότητας των υλικών και το κριτήριο σύγκρισης πυκνοτήτων, δεν είναι δυνατόν να μελετηθούν τα *φαινόμενα επίπλευσης των λεπτών φύλλων*. Για την ερμηνεία αυτών των περιπτώσεων είναι αναγκαία η εισαγωγή και η περιγραφή του φαινομένου της *επιφανειακής τάσης*. Οι παράγοντες που επηρεάζουν το φαινόμενο αυτό (π.χ. εμβαδό επιφάνειας των λεπτών φύλλων σε σχέση με το βάρος τους) είναι πολύ διαφορετικοί από τους παράγοντες που επηρεάζουν το φαινόμενο της Π/Β αντικειμένων, οπότε θεωρήσαμε ότι πιθανόν να αποπροσανατόλιζε τους μαθητές από την επιθυμητή γνώση. Επιπλέον, επιλέξαμε να επικεντρώσουμε σε μία μόνο ιδιότητα, την πυκνότητα, και σε ένα μόνο φαινόμενο, την Π/Β, θεωρώντας ότι δεν μπορούμε να έχουμε πολύ μεγάλο εννοιολογικό φορτίο από τη στιγμή που δίνουμε έμφαση και στη διερεύνηση καθώς και στη μάθηση διαδικαστικής και επιστημολογικής γνώσης.

Ε) Επιδιώχθηκε με έμμεσο τρόπο η *διαφοροποίηση* των εννοιών πυκνότητας και βάρους: Σε αντίθεση με τους Smith et al. (1992), οι οποίοι επεδίωξαν με άμεσο τρόπο τη διαφοροποίηση των εννοιών της πυκνότητας και του βάρους, η διαφοροποίηση αυτών των εννοιών στη συγκεκριμένη ΔΜΣ είναι έμμεσος στόχος, κυρίως λόγω της μικρότερης ηλικίας των μαθητών. Έτσι, στην έρευνα των Smith et al. (1992), οι μαθητές είχαν τη δυνατότητα να επεξεργαστούν, σε εικονικό περιβάλλον, αντικείμενα από διάφορα υλικά που έχουν διαφορετικό μεταξύ τους μέγεθος, πάντα όμως πολλαπλάσιο του μοναδιαίου κύβου (δες σχήμα 3.2) με τελίτσες του κάθε υλικού. Έστω για παράδειγμα ένα αντικείμενο που είναι από ξύλο και αποτελείται από τέσσερα μοναδιαία κυβάκια. Τότε το σύνολο από τελίτσες που περιλαμβάνει, οι οποίες είναι οκτώ, αναπαριστά το βάρος του αντικειμένου, ενώ η πυκνότητά του εκφράζεται πάντοτε από τις δύο τελίτσες που περιέχονται στον μοναδιαίο κύβο του ξύλου. Θεωρήσαμε ότι αυτού του είδους η διαπραγμάτευση θα είναι δύσκολη για μαθητές που δεν έχουν ακόμη κατακτήσει τη μαθηματική έννοια της αναλογίας, και για αυτό το λόγο στις περιπτώσεις που διαχειρίστηκαν αντικείμενα διαφορετικών μεγεθών, π.χ. στον έλεγχο της μεταβλητής μέγεθος στη 2^η ενότητα της ΔΜΣ, αυτά τα αντικείμενα δεν αναπαραστάθηκαν με τη βοήθεια του μοντέλου

«τελίτσες-στο-κυβάκι», αλλά με εικόνες που προσομοίαζαν το υλικό. Παρόλα αυτά, θεωρούμε ότι η διαφοροποίηση των εννοιών της πυκνότητας και του βάρους μπορεί να γίνει ως αποτέλεσμα του συνδυασμού της παρακάτω γνώσης: α) το βάρος ενός αντικειμένου δεν επηρεάζει την Π/Β επομένως δεν μπορούμε να το χρησιμοποιήσουμε ως κριτήριο για την ερμηνεία και την πρόβλεψη φαινομένων Π/Β, β) το είδος του υλικού ενός αντικειμένου καθώς και το είδος του υγρού επηρεάζουν την Π/Β, επομένως μπορούμε να τα χρησιμοποιήσουμε ως κριτήριο για την ερμηνεία και την πρόβλεψη φαινομένων Π/Β, αρκεί να βρούμε την κατάλληλη ιδιότητα των υλικών, δηλαδή τη σχέση *βαρύτερο – ελαφρύτερο* κυβάκι ίδιου μεγέθους, γ) η πυκνότητα (μοντέλο «τελίτσες-στο-κυβάκι») είναι μια ιδιότητα του υλικού και όχι του αντικειμένου, δ) την πυκνότητα των υλικών (μοντέλο «τελίτσες-στο-κυβάκι») μπορούμε να τη χρησιμοποιήσουμε στο κριτήριο σύγκρισης πυκνοτήτων για να ερμηνεύσουμε και να προβλέψουμε φαινόμενα Π/Β. Με βάση τα παραπάνω, οι μαθητές αναμένεται να αντιληφθούν ότι το βάρος και η πυκνότητα έχουν τις εξής σημαντικές διαφορές: 1) Το βάρος αντιστοιχεί στα αντικείμενα, ενώ η πυκνότητα, με τη μορφή που την έμαθαν στη ΔΜΣ («τελίτσες-στο-κυβάκι»), είναι μια ιδιότητα των υλικών. 2) Το βάρος ενός αντικειμένου δεν αποτελεί ασφαλές κριτήριο για να ερμηνεύσουμε και να προβλέψουμε φαινόμενα Π/Β, ενώ η πυκνότητα («τελίτσες-στο-κυβάκι») του υλικού ενός αντικειμένου σε συνδυασμό με την πυκνότητα του υγρού αποτελούν ασφαλές κριτήριο για την ερμηνεία και την πρόβλεψη φαινομένων Π/Β.

4 ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ

4.1 Τα ερευνητικά ερωτήματα και οι ερευνητικές υποθέσεις

Από την επισκόπηση της βιβλιογραφίας (δες ενότητες 2.1 και 2.2) φαίνεται καθαρά ότι η κατανόηση της φύσης και του ρόλου των μοντέλων στις ΦΕ, καθώς επίσης και η κατανόηση της λογικής που υπάρχει πίσω από τη Στρατηγική Ελέγχου Μεταβλητών, θεωρούνται σημαντικοί παράγοντες, οι οποίοι όταν λαμβάνονται υπόψη στον σχεδιασμό της διδασκαλίας μπορούν να υποστηρίξουν τη μάθηση ενός γνωστικού περιεχομένου των Φυσικών Επιστημών. Επίσης, από την επισκόπηση της βιβλιογραφίας σχετικά με τις ΔΜΣ (δες ενότητα 2.3) φαίνεται ότι είναι σημαντική η αναλυτική περιγραφή της κυκλικής διαδικασίας σχεδιασμού και ανάπτυξης των ΔΜΣ και όχι μόνο η περιγραφή και αξιολόγησή τους μέσα από την αξιολόγηση της μάθησης που επιτυγχάνεται από την εφαρμογή τους (Méheut & Psillos, 2004). Στην παρούσα έρευνα, με βάση τις παραπάνω δύο διαπιστώσεις, επιζητούμε να απαντήσουμε στα εξής δύο ερευνητικά ερωτήματα:

A) Υπήρξε βελτίωση στις απόψεις των μαθητών στις παραπάνω τέσσερις περιοχές μάθησης και πού οφείλεται αυτή; Για να απαντηθεί αυτό το ερώτημα θέτουμε τα παρακάτω υποερωτήματα:

1. Πώς μεταβάλλονται οι ερμηνείες των μαθητών για τα φαινόμενα Π/Β μετά την εφαρμογή (πιλοτική ή κανονική);
2. Ποια είναι η κατανόηση της έννοιας της πυκνότητας πριν και μετά την εφαρμογή;
3. Σε ποιο βαθμό κατανοούν οι μαθητές τη Στρατηγική Ελέγχου Μεταβλητών μετά την εφαρμογή;
4. Σε ποιο βαθμό κατανοούν οι μαθητές βασικά χαρακτηριστικά της φύσης και του ρόλου των μοντέλων μετά την εφαρμογή;
5. Σε ποιο βαθμό υπάρχει σχέση μεταξύ της εννοιολογικής κατανόησης (κατανόηση της πυκνότητας ως ιδιότητας των υλικών, ερμηνείες των φαινομένων Π/Β), και της κατανόησης επιστημολογικής και διαδικαστικής γνώσης (φύση και ρόλος μοντέλων, ΣΕΜ);

B) Ποια ήταν η διαδικασία βελτίωσης της ΔΜΣ και ποιοι παράγοντες συνέβαλαν στις βελτιωτικές αλλαγές; Για να απαντηθεί αυτό το ερώτημα θέτουμε τα παρακάτω υποερωτήματα:

1. Ποιες ήταν οι βελτιωτικές αλλαγές που έγιναν από την 1^η στη 2^η φάση ανάπτυξης της ΔΜΣ και με ποια από τις τέσσερις παραπάνω περιοχές διδασκαλίας και μάθησης σχετίζονται;
2. Ποιες ήταν οι κύριες πηγές δεδομένων που συνεισέφεραν στη βελτιωτική διαδικασία;
3. Ποιοι από τους τρεις παράγοντες του μοντέλου του Pickering (δες ενότητα 2.3.3) καθοδήγησαν τις βελτιωτικές αλλαγές;

Πριν προχωρήσουμε στην παρουσίαση των ερευνητικών υποθέσεων της έρευνας, διευκρινίζουμε τη σημασία των όρων *επιστημολογική γνώση* και *μεταεγνωσιολογική επίγνωση* στην παρούσα διατριβή, όσο και το πλαίσιο στο οποίο τις συζητάμε. Η διαδικαστική γνώση που σχετίζεται με την επιστημονική μέθοδο ΣΕΜ (Boudreaux et al., 2008), καθώς και η επιστημολογική γνώση περί της φύσης και του ρόλου των μοντέλων (Wiser & Smith, 2008), ως εργαλεία των επιστημόνων, αφορούν στο πώς παράγεται, αναπτύσσεται ή/και τεκμηριώνεται η γνώση. Η κατανόηση των παραπάνω διαδικασιών από τους μαθητές αφορά στην και εξαρτάται από την προσωπική τους επιστημολογία, αναφορικά με την οποία υιοθετούμε την άποψη των ερευνητών που την περιγράφουν ως ένα είδος *συνεπούς θεωρίας* (coherent theory) για τη φύση της γνώσης και του γινώσκειν (Hofer, 2001, Hofer & Pintrich, 1997, Stathoroulou & Vosniadou, 2007). Ειδικότερα, ο Paul Pintrich και οι συνεργάτες του θεωρούν ότι οι επιστημολογικές πεποιθήσεις των μαθητών αφορούν στη φύση της γνώσης (σταθερότητα και ανάπτυξη της γνώσης) και τη φύση του γινώσκειν (πηγή και τεκμηρίωση της γνώσης) (Conley, Pintrich, Vekiri & Harrison, 2004).

Με αυτήν την έννοια, και σύμφωνα με τα παραπάνω, στην παρούσα μελέτη, με τον όρο *επιστημολογική γνώση* αναφερόμαστε ταυτόχρονα τόσο στη γνώση περί της μεθόδου ΣΕΜ και του συλλογισμού που τη συνοδεύει, όσο και στη γνώση περί της φύσης και του ρόλου των μοντέλων. Επιπρόσθετα, θεωρούμε ότι ο τρόπος διδασκαλίας και μάθησης είναι πιθανόν να διευκολύνει την ανάπτυξη αυτής της επιστημολογικής γνώσης (Πνευματικός & Παπακανάκης, 2009). Συνεπώς, θεωρούμε σημαντικό να ερευνήσουμε εάν η διδασκαλία και μάθηση, η οποία πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο της συγκεκριμένης ΔΜΣ, σχετικά με την επιστημολογική γνώση, θα βελτιώσει τις απόψεις τους σχετικά με την επιστημονική μέθοδο ΣΕΜ καθώς και σχετικά με τη φύση και τον ρόλο των μοντέλων.

Επίσης, χρησιμοποιούμε τον όρο *μεταεγνωσιολογική επίγνωση* για να αναφερθούμε στη γνώση των σχέσεων μιας έννοιας με άλλες έννοιες (π.χ. η σχέση της έννοιας της πυκνότητας με τις έννοιες του βάρους, του όγκου της μάζας, του υλικού, κ.ά.) και φαινόμενα (π.χ. την Π/Β) (Wiser & Smith, 2008), καθώς επίσης και τον τρόπο με τον οποίο κατηγοριοποιείται μια έννοια (π.χ. η κατηγοριοποίηση της πυκνότητας ως εκτατικής ή εντατικής έννοιας) (Chi, Slotta & De Leeuw, 1994, Chi, 2008). Επιπλέον, θεωρούμε ότι η *μεταεγνωσιολογική επίγνωση* αποτελεί σημαντικό παράγοντα για την εγνωσιολογική κατανόηση (Βοσνιάδου, Βαμβακούση & Σκοπελίτη, 2008). Ως συνέπεια των παραπάνω, θεωρούμε ότι η κατανόηση του πλέγματος των εννοιών και των φαινομένων που σχετίζονται με την πυκνότητα και το είδος των σχέσεων μεταξύ τους, καθώς και η αλλαγή κατηγοριοποίησης της πυκνότητας από *εκτατικό* σε *εντατικό* μέγεθος, αποτελούν σκαλοπάτι (scaffolding) αλλά και προϋπόθεση για την εγνωσιολογική κατανόηση της έννοιας της πυκνότητας, και τη χρήση της, στη συνέχεια, στις ερμηνείες της Π/Β (Wiser & Smith, 2008). Στο πλαίσιο του κονστрукτιβισμού, μια τέτοια αλλαγή οντολογικής κατηγορίας για την έννοια της πυκνότητας μπορεί να οδηγήσει σε ριζοσπαστική αναδιοργάνωση στο εξηγητικό πλαίσιο με το οποίο ο μαθητής ερμηνεύει το φαινόμενο Π/Β (Chi et al., 1994, Chi, 2008, Βοσνιάδου κ.ά., 2008). Επομένως, θεωρούμε ότι η εγνωσιολογική κατανόηση της πυκνότητας ως ιδιότητας των υλικών, από τη στιγμή που θα συντελεστεί και έπειτα, μπορεί να αποτελέσει σημαντικό παράγοντα στη βελτίωση των ερμηνειών στο φαινόμενο Π/Β καθώς και στη διατήρησή της.

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω, οι ερευνητικές υποθέσεις της παρούσας έρευνας έχουν ως εξής:

A. Σχετικά με τη βελτίωση των απόψεων των μαθητών στις τέσσερις περιοχές μάθησης:

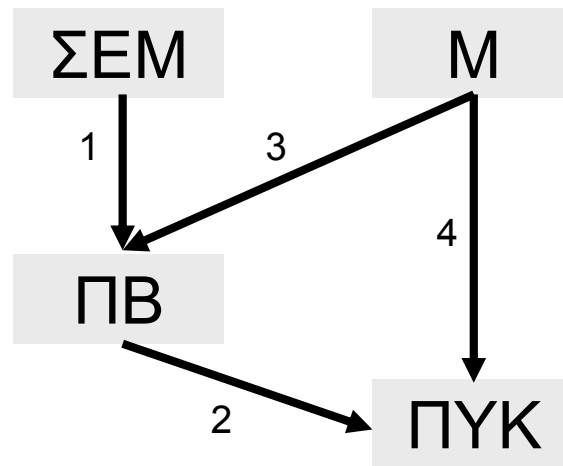
1. Θεωρούμε ότι οι μαθητές έχουν ιδέες σχετικά με φαινόμενα και έννοιες των ΦΕ, π.χ. τα φαινόμενα της Π/Β και την έννοια της πυκνότητας, οι οποίες συνήθως καθορίζονται από τη φαινομενολογία και τα αισθητηριακά χαρακτηριστικά των δραστηριοτήτων, και για αυτό βρίσκονται μακριά από την επιστημονική άποψη (Wiser & Smith, 2008). Υποθέτουμε ότι μετά την εφαρμογή της ΔΜΣ θα υπάρξει βελτίωση προς την επιστημονική άποψη.

2. Θεωρούμε ότι οι μαθητές αυτής της ηλικίας δε γνωρίζουν, και δυσκολεύονται να εφαρμόσουν, τη ΣΕΜ. Υποθέσαμε ότι μόνον εάν η διδακτική παρέμβαση

ενσωματώνει στοιχεία διδασκαλίας για την κατανόηση της ΣΕΜ θα οδηγή στην ολοκληρωμένη κατανόησή της (Chen & Klahr, 1999, Lorch et al., 2010).

3. Θεωρούμε ότι οι μαθητές αυτής της ηλικίας έχουν αφελή (naive) άποψη για τη φύση και τον ρόλο των επιστημονικών μοντέλων (Grosslight et al., 1991). Υποθέσαμε ότι μόνον εάν η διδακτική παρέμβαση ενσωματώνει στοιχεία διδασκαλίας για την κατανόηση της φύσης και του ρόλου των μοντέλων θα οδηγή στην ολοκληρωμένη κατανόησή τους (Schwarz & White, 2005). Επίσης, υποθέσαμε ότι μετά την εφαρμογή της ΔΜΣ θα έχουμε μικρή βελτίωση προς την επιστημονική άποψη (Zoupidis, Pnevmatikos, Spyrtou & Kariotoglou, 2010, Gobert et al., 2011).

4. Υιοθετώντας την άποψη ότι η επιστημολογική γνώση είναι σημαντικός παράγοντας στη διδασκαλία και μάθηση του φαινομένου Π/Β (Snir, 1991, Wisser & Smith, 2008), υποθέτουμε ότι η κατανόηση της Στρατηγικής Ελέγχου Μεταβλητών (ΣΕΜ) ή/και της φύσης των μοντέλων (Μ), μπορούν να βοηθήσουν τους μαθητές στη χρήση ερμηνειών των φαινομένων πλεύσης και βύθισης (Π/Β), οι οποίες να είναι πιο κοντά στις επιστημονικές, καθώς επίσης και στην εννοιολογική κατανόηση της έννοιας της πυκνότητας ως ιδιότητας των υλικών (ΠΥΚ).



Σχήμα 4.1 Το υποθετικό θεωρητικό μοντέλο που περιγράφει τις σχέσεις μεταξύ των απόψεων των μαθητών στις τέσσερις περιοχές διδασκαλίας και μάθησης της ΔΜΣ μία συγκεκριμένη χρονική στιγμή (πριν, μετά ή επτά μήνες μετά την παρέμβαση)

Οι απόψεις των μαθητών στις τέσσερις παραπάνω περιοχές διδασκαλίας και μάθησης της ΔΜΣ θα αποτελέσουν, στη συγκεκριμένη ενότητα, τις τέσσερις μεταβλητές του μοντέλου, που έχει σκοπό να περιγράψει τις σχέσεις μεταξύ των μεταβλητών αυτών (σχήμα 4.1), καθώς και τη δυναμική τους, πριν, αμέσως μετά και επτά μήνες μετά την παρέμβαση. Αναμένουμε ότι η δυναμική των σχέσεων θα

μεταβληθεί ως αποτέλεσμα της διδακτικής παρέμβασης. Για παράδειγμα, η σχέση μεταξύ της ΣΕΜ και της Π/Β καθώς και μεταξύ της Μ και της Π/Β αναμένεται να είναι πιο ισχυρή μετά την παρέμβαση από ό,τι ήταν πριν, ως αποτέλεσμα της διδασκαλίας και της ενεργού εμπλοκής των μαθητών στις σχετικές δραστηριότητες.

Παρακάτω, αιτιολογούμε αναλυτικά την επιλογή των σχέσεων μεταξύ των μεταβλητών του μοντέλου (σχήμα 4.1), ακολουθώντας ταυτόχρονα τη λογική και τη σειρά με την οποία πραγματοποιήθηκε η διδασκαλία και μάθηση. Οι σχέσεις που περιλαμβάνονται στο μοντέλο αυτό αναφέρονται σε μία συγκεκριμένη χρονική στιγμή στην εξέλιξη της μάθησης (πριν, μετά ή επτά μήνες μετά την παρέμβαση).

Καταρχήν, υπάρχει συμφωνία μεταξύ των ερευνητών ότι η αποτελεσματική διδασκαλία της ΣΕΜ είναι σημαντικός παράγοντας για την επιτυχή διδασκαλία, που οδηγεί στην εννοιολογική κατανόηση διαφόρων γνωστικών περιοχών των ΦΕ, ανάμεσα στις οποίες είναι και η Π/Β (Σχήμα 4.1, Σχέση 1) (Boudreaux et al., 2008). Ειδικότερα, οι Chen και Klahr (1999) στην έρευνά τους έδειξαν ότι η σωστή χρήση της ΣΕΜ ερμήνευσε την κατανόηση του γνωστικού περιεχομένου (επιμήκυνση ελατηρίου, κίνηση σε κεκλιμένο επίπεδο, πλεύση και βύθιση) σε ποσοστό 9% στο σύνολο των μαθητών της έρευνας (ομάδα ελέγχου, ενδιάμεση ομάδα και πειραματική ομάδα), ενώ η συνεισφορά της ΣΕΜ στην πειραματική ομάδα, όπου προηγήθηκε η διδασκαλία της ΣΕΜ, έφτασε στο 21% της εξήγησης του τρόπου κατανόησης των φαινομένων από τους μαθητές.

Ταυτόχρονα, οι δραστηριότητες ελέγχου μεταβλητών με τη μέθοδο ΣΕΜ, έχουν στόχο να βοηθήσουν τους μαθητές να αντιληφθούν τις εναλλακτικές ιδέες που έχουν σχετικά με το φαινόμενο της Π/Β, να κατανοήσουν την ανεπάρκεια των ιδεών τους στην ερμηνεία του φαινομένου αυτού, και να αποκτήσουν τις απαραίτητες γνώσεις και εμπειρίες που θα τους βοηθήσουν να κατανοήσουν την έννοια της πυκνότητας ως ιδιότητα του υλικού, δηλαδή ως εντατικό μέγεθος. Για παράδειγμα, γίνεται φανερό ότι το βάρος ενός αντικειμένου δεν επηρεάζει το φαινόμενο Π/Β, ενώ αντίθετα το υλικό του αντικειμένου και το είδος του υγρού το επηρεάζουν. Έτσι, οι μαθητές αποκτούν εμπειρίες, οι οποίες τους βοηθούν να εστιάσουν στο υλικό από το οποίο αποτελείται το αντικείμενο, και όχι στο ίδιο το αντικείμενο, όταν ερμηνεύουν την Π/Β. Σε αυτήν την περίπτωση, θεωρείται ότι οι μαθητές έχουν σχηματίσει ποιοτικά την εντατική έννοια της πυκνότητας (Smith et al., 1992, Φασουλόπουλος, 2000), επομένως ενισχύεται η κατανόηση της έννοιας της πυκνότητας ως ιδιότητας του υλικού (Σχήμα 4.1, Σχέση 2).

Εξάλλου, η κατανόηση της φύσης των μοντέλων θεωρείται απαραίτητη για την κατανόηση εννοιών των ΦΕ και για τη βελτίωση των ερμηνειών που δίνουν οι μαθητές στα φαινόμενα (Vosniadou, 2010). Για παράδειγμα, υπάρχουν συγκεκριμένες έρευνες που ενισχύουν την άποψη αυτή σχετικά με την κατανόηση των εννοιών της δύναμης και της κίνησης (Schwarz & White, 2005), καθώς και σχετικά με την κατανόηση της έννοιας της πυκνότητας, και τη βελτίωση των ερμηνειών που δίνουν οι μαθητές στο φαινόμενο Π/Β (Wiser & Smith, 2008) (Σχήμα 4.1, Σχέσεις 3 και 4).

Επίσης, οι Perkins και Grotzer (2005) έδειξαν ότι η χρήση σύνθετων συλλογισμών βασισμένων σε μοντέλα, π.χ. χρήση συσχετιστικών αιτιακών συλλογισμών έναντι γραμμικών στο φαινόμενο της Π/Β, δίνουν τη δυνατότητα στους μαθητές να χρησιμοποιήσουν τα μοντέλα αυτά στις ερμηνείες τους στο φαινόμενο, και ερμηνεύουν σε ποσοστό 33% την κατανόηση της έννοιας της πυκνότητας σε μακροσκοπικό επίπεδο (Σχήμα 4.1, Σχέση 2). Εξάλλου, τα αποτελέσματα από την ανάλυση μέρους των δεδομένων που προέκυψαν κατά τη διάρκεια της κανονικής εφαρμογής της παρούσας έρευνας έδειξαν ότι υπήρξε στατιστικά σημαντική διαφορά στην κατανόηση της πυκνότητας ως ιδιότητας του υλικού μεταξύ των μαθητών που χρησιμοποίησαν συσχετιστικό αιτιακό συλλογισμό από αυτούς που χρησιμοποίησαν γραμμικό αιτιακό συλλογισμό (Zoupidis, Pnevmatikos, Spyrtou & Kariotoglou, 2011). Παρόμοια άποψη έχουν και οι Kawasaki et al. (2004), οι οποίοι χρησιμοποιώντας ως μέθοδο ανάλυσης των δεδομένων της έρευνάς τους τη μέθοδο ανάλυσης λόγου (discourse analysis), έδειξαν ότι η χρήση σύνθετων συλλογισμών, βασισμένων στο μοντέλο «τελίτσες-στο-κυβάκι» των Smith et al. (1992), είναι σημαντική στην εννοιολογική κατανόηση των εννοιών που εμπλέκονται στο φαινόμενο της Π/Β καθώς και στις ερμηνείες των μαθητών στο φαινόμενο αυτό.

Παρόλο που το μοντέλο του σχήματος 4.1, περιγράφει τις σχέσεις μεταξύ των τεσσάρων μεταβλητών την ίδια χρονική στιγμή (πριν, μετά ή επτά μήνες μετά την παρέμβαση), θεωρούμε ότι η κατανόηση σε οποιαδήποτε από τις τέσσερις περιοχές μάθησης κάποια χρονική στιγμή ερμηνεύεται επίσης, σε μικρότερο ή μεγαλύτερο βαθμό, από την κατανόηση που είχε ο μαθητής σε αυτήν την περιοχή μάθησης την προηγούμενη χρονική στιγμή. Για παράδειγμα, η εννοιολογική κατανόηση του μαθητή για την πυκνότητα αμέσως μετά την παρέμβαση ερμηνεύεται από την εννοιολογική κατανόηση που είχε πριν την παρέμβαση. Ειδικά για την περίπτωση της μεταβλητής ΠΒ θεωρούμε ότι ερμηνεύεται και από την εννοιολογική κατανόηση

της πυκνότητας, επειδή όπως περιγράφηκε αναλυτικά παραπάνω, μια αλλαγή οντολογικής κατηγορίας για την έννοια της πυκνότητας μπορεί να οδηγήσει σε ριζοσπαστική αναδιοργάνωση στο εξηγητικό πλαίσιο με το οποίο ο μαθητής ερμηνεύει το φαινόμενο Π/Β (Chi et al., 1994, Chi, 2008, Βοσνιάδου κ.ά., 2008).

Β) Σχετικά με τις βελτιωτικές αλλαγές στη ΔΜΣ, από την πιλοτική στην κανονική εφαρμογή, θεωρούμε ότι αυτές θα παρατηρηθούν και στις τέσσερις περιοχές διδασκαλίας και μάθησης, κυρίως όμως στις πιο καινοτομικές περιοχές μάθησης, που αφορούν στη μάθηση σχετικά με τη Στρατηγική Ελέγχου Μεταβλητών και τη μάθηση σχετικά με τη φύση των μοντέλων. Παρόλο που δεν έχουμε βρει άλλες έρευνες που να έχουν ασχοληθεί με το συγκεκριμένο ερώτημα σε αυτήν την κατεύθυνση, λαμβάνοντας υπόψη την απόσταση που υπάρχει μεταξύ της διδασκαλίας και μάθησης που πραγματοποιείται στο ελληνικό σχολείο και αυτής που επιχειρήθηκε με την εφαρμογή της ΔΜΣ που περιγράφεται και αξιολογείται σε αυτήν τη διατριβή, υποθέτουμε ότι οι παράγοντες που κυρίως θα καθορίσουν τις αλλαγές αυτές θα είναι ο εκπαιδευτικός και ο επιστημονικός (Kariotoglou, Psillos & Tselfes, 2003, Patsadakis, 2003, Pickering, 1995).

4.2 Το δείγμα

Η Διδακτική Μαθησιακή Σειρά, η οποία αποτελείται από πέντε δίωρα μαθήματα, εφαρμόστηκε σε δύο φάσεις, την πιλοτική και την κανονική (Πίνακας 4.1). Η πιλοτική εφαρμογή έγινε τους μήνες Νοέμβριο και Δεκέμβριο του σχολικού έτους 2007-2008, στο 1ο Πειραματικό Δημοτικό Σχολείο Φλώρινας. Την εφαρμογή παρακολούθησαν 12 μαθητές της Ε' τάξης, από τους οποίους τα έξι ήταν κορίτσια και τα έξι αγόρια, ηλικίας 10–11 ετών. Η δασκάλα ήταν η δασκάλα της τάξης, έμπειρη στη διδασκαλία ΦΕ στην Ε' και ΣΤ', και συνεργάστηκε με την ερευνητική ομάδα στην ανάπτυξη της ΔΜΣ. Η πιλοτική εφαρμογή πραγματοποιήθηκε κατά τη διάρκεια του κανονικού σχολικού ωραρίου. Περιορίσαμε τον αριθμό των μαθητών σε δώδεκα γιατί θεωρήσαμε ότι ο συνολικός αριθμός των είκοσι τεσσάρων μαθητών, που ήταν όλη η τάξη, θα ήταν πάρα πολύ μεγάλος και θα δημιουργούσε πρόβλημα σε μια πιλοτική παρέμβαση ερευνητικού χαρακτήρα. Για παράδειγμα, μόνο η αίθουσα εφαρμογής του προγράμματος απαιτούσε αρκετή προετοιμασία π.χ. μεταφορά των απαραίτητων καλωδίων και προεκτάσεων για την παροχή ηλεκτρικού ρεύματος για

τους φορητούς υπολογιστές και τον προτζέκτορα, τακτοποίηση των θρανίων ώστε οι μαθητές να μπορούν να δουλέψουν σε ομάδες κ.ά. Αμέσως μετά την πιλοτική εφαρμογή έλαβε χώρα η διαδικασία βελτίωσης της ΔΜΣ. Η κανονική εφαρμογή έγινε τους μήνες Μάρτιο και Απρίλιο του σχολικού έτους 2007-2008, σε δύο τμήματα της Ε΄ τάξης του 1ου Δημοτικού Σχολείου Φλώρινας. Την εφαρμογή παρακολούθησαν συνολικά 42 μαθητές της Ε΄ τάξης και πιο συγκεκριμένα 16 κορίτσια και 26 αγόρια, ηλικίας 10-11 ετών. Η δασκάλα δεν ήταν η δασκάλα των συγκεκριμένων τάξεων, παρόλα αυτά ήταν έμπειρη στη διδασκαλία ΦΕ, και συνεργάστηκε με την ερευνητική ομάδα, τόσο ως μεντόρισα φοιτητών και φοιτητριών του τμήματος Δημοτικής Εκπαίδευσης του ΠΑΔΥΜΑΚ επί σειρά ετών, αλλά και στην ανάπτυξη της ΔΜΣ. Η κανονική εφαρμογή πραγματοποιήθηκε και πάλι στο πλαίσιο του συνηθισμένου ωραρίου του σχολείου και η αίθουσα έπρεπε να προετοιμαστεί με παρόμοιο τρόπο. Τα πειράματα με πραγματικά υλικά που προστέθηκαν σε αυτήν την φάση (δες υποενότητα 5.3.1.1), μας οδήγησαν στο να ψάξουμε για μεγαλύτερη αίθουσα.

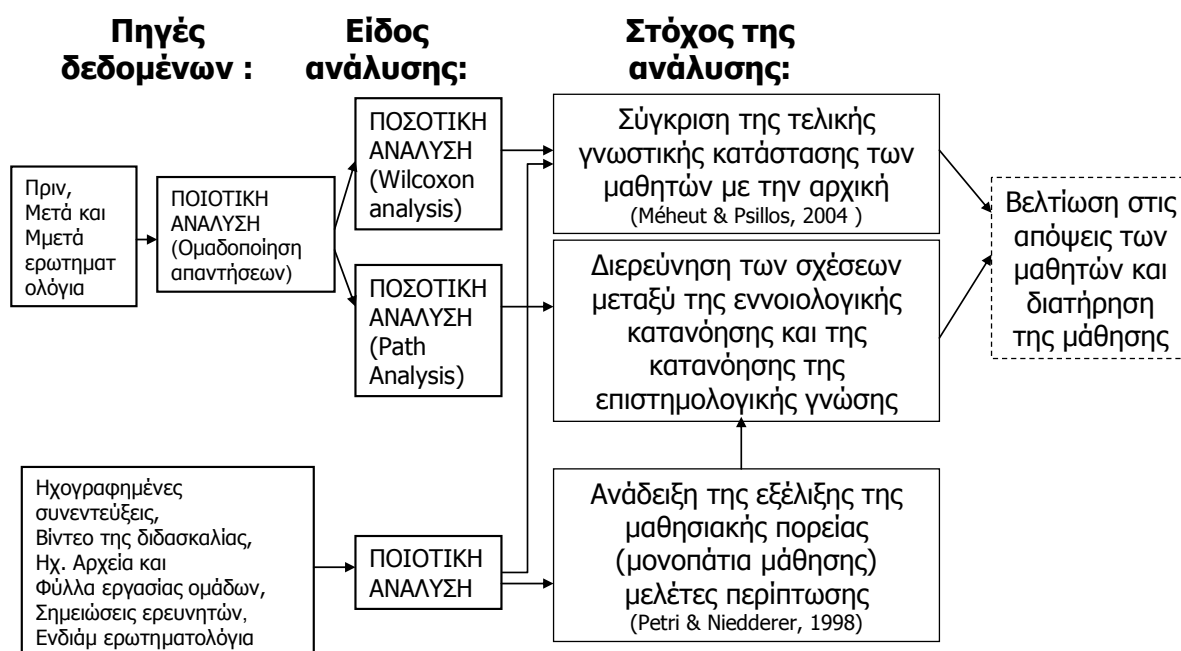
Πίνακας 4.1 Στοιχεία της πιλοτικής και της κανονικής εφαρμογής της ΔΜΣ

Πιλοτική εφαρμογή	Κανονική εφαρμογή
<ul style="list-style-type: none"> • 1^ο Πειραματικό Δημοτικό Σχολείο Φλώρινας • 12 μαθητές Ε΄ τάξης (6 κορίτσια και 6 αγόρια, 10–11 ετών) • Η δασκάλα ήταν η δασκάλα της τάξης, έμπειρη στη διδασκαλία ΦΕ στην Ε΄ και ΣΤ΄, και συνεργάστηκε με την ερευνητική ομάδα στην ανάπτυξη των ΔΜΣ. 	<ul style="list-style-type: none"> • 1^ο Δημοτικό Σχολείο Φλώρινας • 41 μαθητές Ε΄ τάξης (15 κορίτσια και 26 αγόρια, 10–11 ετών) • Η δασκάλα ήταν έμπειρη στη διδασκαλία ΦΕ, και συνεργάστηκε με την ερευνητική ομάδα τόσο ως μεντόρισα αλλά και στην ανάπτυξη των ΔΜΣ.

4.3 Η μέθοδος της έρευνας

4.3.1 Η μέθοδος για την αξιολόγηση της μάθησης στη ΔΜΣ

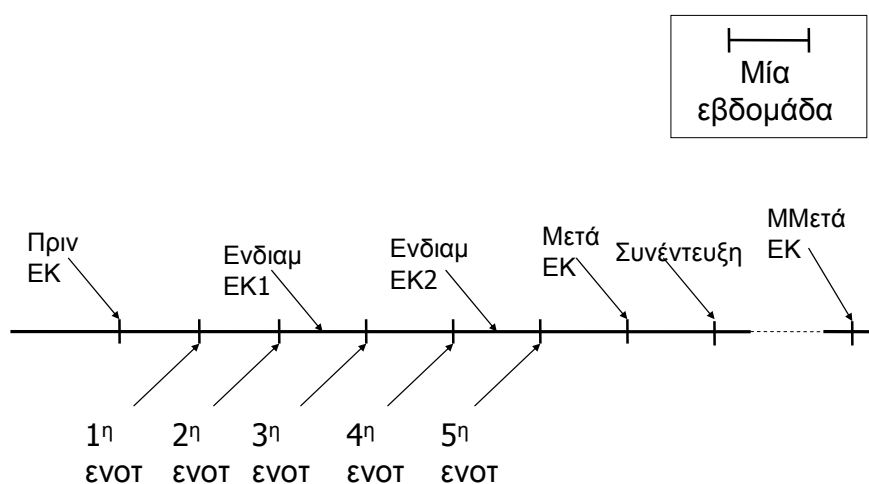
Προκειμένου να απαντήσουμε στο πρώτο από τα δύο ερευνητικά ερωτήματα της έρευνας, δηλαδή εάν υπήρξε βελτίωση στις απόψεις των μαθητών και πού οφείλεται αυτή, πραγματοποιήσαμε σειρά αναλύσεων, τόσο ποιοτικών όσο και ποσοτικών (Σχήμα 4.2). Τα εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν για τη συλλογή των δεδομένων, και κατ' επέκταση για την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας της ΔΜΣ (δες ενότητα 2.3.4), είναι τα εξής.



Σχήμα 4.2 Η διαδικασία αξιολόγησης της αποτελεσματικότητας της ΔΜΣ

Καταρχήν τα πριν, μετά και επτά μήνες μετά γραπτά ερωτηματολόγια, τα οποία χρησιμοποιούνται για την καταγραφή των απόψεων των μαθητών στις τέσσερις περιοχές μάθησης της ΔΜΣ (ερμηνείες Π/Β, πυκνότητα ως ιδιότητα των υλικών, Στρατηγική Ελέγχου Μεταβλητών, φύση και ρόλος των μοντέλων). Οι απαντήσεις των μαθητών στα γραπτά ερωτηματολόγια ομαδοποιούνται σε κατηγορίες με ποιοτική μέθοδο (δες ενότητα 4.4.1). Στη συνέχεια, πραγματοποιείται ποσοτική ανάλυση των μαθησιακών αποτελεσμάτων (Wilcoxon Analysis), με στόχο τη σύγκριση της τελικής γνωστικής κατάστασης των μαθητών με την αρχική (Méheut & Psillos, 2004) (δες ενότητες 5.2 και 5.4). Επίσης, τα αποτελέσματα από τα γραπτά ερωτηματολόγια χρησιμοποιούνται για τη διερεύνηση των σχέσεων μεταξύ της

εννοιολογικής κατανόησης και της κατανόησης της επιστημολογικής γνώσης, που διαπραγματεύτηκε η ΔΜΣ. Συγκεκριμένα, η διερεύνηση αυτή πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια της στατιστικής τεχνικής Ανάλυση Διαδρομών (Path Analysis) (δες ενότητα 5.6), και μπορεί να συνεισφέρει στη συζήτηση σχετικά με το πού οφείλεται η βελτίωση στις απόψεις των μαθητών, σε όποια περιοχή μάθησης παρατηρήθηκε. Επιπλέον, οι μεταγραφές των ηχογραφημένων συνεντεύξεων, οι μεταγραφές των βιντεοσκοπημένων μαθημάτων και των ηχογραφημένων συζητήσεων των ομάδων εργασίας των μαθητών, τα φύλλα εργασίας των ομάδων των μαθητών, οι επιτόπιες σημειώσεις των ερευνητών που παρακολούθησαν τα μαθήματα, και τα ενδιάμεσα ερωτηματολόγια αναλύονται με ποιοτικό τρόπο, με τους εξής δύο στόχους: α) να βοηθήσουν σε μια περαιτέρω διαδικασία τριγωνοποίησης (Cohen, Manion & Morrison, 2007) των ευρημάτων που θα ανακύψουν από την ποσοτική ανάλυση (δες ενότητες 5.2 και 5.4), και β) για την ανάδειξη της εξέλιξης της μαθησιακής πορείας (μονοπάτια μάθησης) συγκεκριμένων περιπτώσεων μαθητών, ως μελέτες περίπτωσης (Malandrakis, 2006, Petri & Niedderer, 1998, Psillos & Kariotoglou, 1999) (δες ενότητα 5.7). Τα αποτελέσματα από την ποιοτική ανάλυση ανάδειξης της εξέλιξης της μαθησιακής πορείας, συσχετιζόμενα με τα αποτελέσματα της Ανάλυσης Διαδρομών (Path Analysis), μπορούν να συνεισφέρουν περαιτέρω στη συζήτηση σχετικά με τις διαδικασίες μάθησης και τους παράγοντες που την επηρεάζουν.



Σχήμα 4.3 Διαδικασία συλλογής δεδομένων στην κανονική εφαρμογή

Στο σχήμα 4.3, φαίνεται παραστατικά πότε δόθηκαν τα γραπτά ερωτηματολόγια καθώς και πότε πραγματοποιήθηκαν οι συνεντεύξεις των μαθητών σε σχέση με την εφαρμογή (πιλοτική, κανονική). Πιο συγκεκριμένα, η διαδικασία συλλογής δεδομένων, που ακολουθήσαμε στην κανονική εφαρμογή, είναι η εξής: Μια

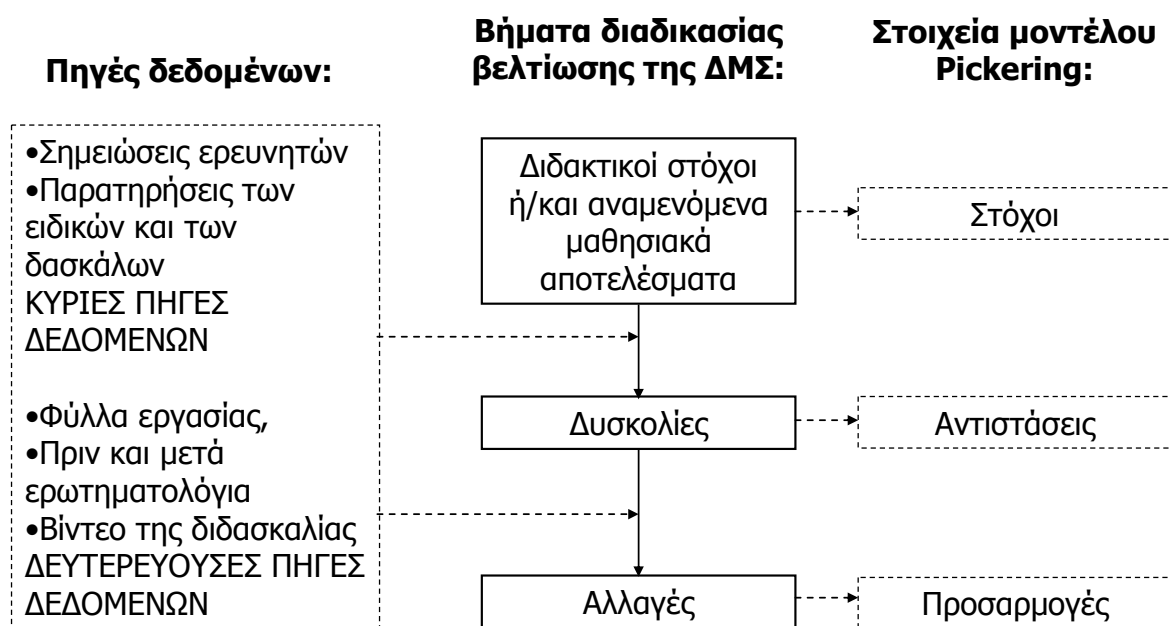
εβδομάδα πριν την εφαρμογή, οι μαθητές συμπλήρωσαν το ΠρινΕΚ γραπτό ερωτηματολόγιο (δες Παράρτημα Β). Αντίστοιχα, μια εβδομάδα μετά το τελευταίο μάθημα, οι μαθητές συμπλήρωσαν το ΜετάΕΚ γραπτό ερωτηματολόγιο. Σε λιγότερο από δέκα μέρες μετά το τελευταίο μάθημα διεξάγονται επίσης και οι συνεντεύξεις (ΜετάΣΕΚ ερωτηματολόγιο συνέντευξης). Τέλος, επτά μήνες μετά την παρέμβαση, οι μαθητές συμπλήρωσαν το ΜΜετάΕΚ γραπτό ερωτηματολόγιο, το οποίο ήταν ίδιο με το ΜετάΕΚ. Μια διαφορά μεταξύ της πιλοτικής και της κανονικής εφαρμογής ήταν ότι στην κανονική εφαρμογή οι μαθητές, εκτός από τα υπόλοιπα ερωτηματολόγια, συμπλήρωσαν και δύο ενδιάμεσα ερωτηματολόγια (ένα μετά το δεύτερο μάθημα, ΕνδιαμΕΚ1, και ένα μετά το τέταρτο, ΕνδιαμΕΚ2) με στόχο την τριγωνοποίηση των αποτελεσμάτων, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, και την ασφαλέστερη ανάδειξη των μονοπατιών μάθησης (δες ενότητα 5.7).

4.3.2 Η μέθοδος για την ανάδειξη και την κατηγοριοποίηση των βελτιωτικών αλλαγών στη ΔΜΣ

Προκειμένου να απαντήσουμε στο *δεύτερο ερευνητικό ερώτημα της έρευνας*, δηλαδή ποια ήταν η διαδικασία βελτίωσης της ΔΜΣ και ποιοι παράγοντες συνέβαλαν στις βελτιωτικές αλλαγές, χρησιμοποιήσαμε τις παρακάτω πηγές δεδομένων: (α) τις σημειώσεις των ερευνητών από την παρατήρηση εφαρμογής της ΔΜΣ στην τάξη, (β) τις παρατηρήσεις των ειδικών και των εκπαιδευτικών, και (γ) τα φύλλα εργασίας των μαθητών, τις συνεντεύξεις, τα πριν και μετά ερωτηματολόγια που επιδόθηκαν στους μαθητές, και τις μεταγραφές των αρχείων βίντεο της διδασκαλίας στην πιλοτική εφαρμογή (Ζουπίδης, Σπύρτου, Μαλανδράκης & Καριώτογλου, 2011, Zoupidis, Spyrtou, Malandrakis & Kariotoglou, υποβλήθηκε σε συλλογικό τόμο ο οποίος είναι υπό έκδοση).

Η διαδικασία βελτίωσης της ΔΜΣ άρχισε αμέσως μετά την ολοκλήρωση της πιλοτικής εφαρμογής. Οι συμμετέχοντες σε αυτήν τη διαδικασία ήταν οι εξής: (α) οι μαθητές, (β) οι εκπαιδευτικοί, (γ) η τοπική ομάδα ερευνητών ΔΦΕ (ερευνητές), (δ) η εξωτερική υποστηρικτική ομάδα ειδικών ερευνητών ΔΦΕ (ειδικοί). Η διαδικασία βελτίωσης πραγματοποιήθηκε κατά τη διάρκεια αρκετών συναντήσεων της τοπικής ερευνητικής ομάδας, ενώ κάθε συμμετέχων συνεισέφερε με διαφορετικό τρόπο και σε διαφορετικό βαθμό. Οι ερευνητές, για παράδειγμα, είχαν την κύρια ευθύνη για τον σχεδιασμό και επανασχεδιασμό των διδακτικών σεναρίων, λαμβάνοντας υπόψη τις

προτάσεις των εκπαιδευτικών. Επιπρόσθετα, παρακολούθησαν την εφαρμογή κάθε ενότητας της ΔΜΣ κρατώντας σημειώσεις σχετικά με τις δυσκολίες των μαθητών ή των εκπαιδευτικών κατά τη διάρκεια του μαθήματος. Οι ειδικοί συνεισέφεραν ως εξ αποστάσεως σύμβουλοι, των οποίων οι παρατηρήσεις βασίστηκαν στα διδακτικά σενάρια και τις περιγραφές των δυσκολιών που τους μετέφεραν οι ερευνητές. Ο ρόλος των εκπαιδευτικών, κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης και της βελτίωσης των διδακτικών σεναρίων ήταν κυρίως συμβουλευτικός. Οι παρατηρήσεις τους εστίασαν κυρίως στις δυσκολίες που αντιμετώπισαν οι ίδιοι ή οι μαθητές, κατά τη διάρκεια της πιλοτικής εφαρμογής, περιλαμβάνοντας προτάσεις για την αντιμετώπισή τους. Επιπλέον, για να διασφαλιστεί η αξιοπιστία και η σημασία των προτάσεων των ερευνητών και των εκπαιδευτικών, που προέκυψαν από την επιτόπου παρακολούθηση της διδασκαλίας, υπήρξε διασταύρωση και αντιστοίχιση με την ανάλυση των απαντήσεων των μαθητών στα φύλλα εργασίας, τις συνεντεύξεις, τα πριν και μετά ερωτηματολόγια, ή/και με τις μεταγραφές των αρχείων βίντεο της διδασκαλίας της πιλοτικής εφαρμογής. Ως εκ τούτου, θεωρούμε ότι οι σημειώσεις των ερευνητών καθώς και οι παρατηρήσεις των ειδικών και των εκπαιδευτικών είναι οι κύριες πηγές δεδομένων στη διαδικασία βελτίωσης της ΔΜΣ, ενώ τα φύλλα εργασίας των μαθητών, οι συνεντεύξεις, τα πριν και μετά ερωτηματολόγια καθώς και οι μεταγραφές των βίντεο της διδασκαλίας της πιλοτικής εφαρμογής, είναι οι δευτερεύουσες πηγές δεδομένων (σχήμα 4.4).



Σχήμα 4.4 Η διαδικασία βελτίωσης της ΔΜΣ από την πιλοτική στην κανονική εφαρμογή

Αμέσως μετά την κανονική εφαρμογή, ακολουθώντας το μοντέλο του *Pickering* (δες ενότητα 2.3.3), αναλύσαμε κάθε μία από τις βελτιωτικές αλλαγές. Όπως κάθε ΔΜΣ, πρόκειται για μια καινοτομία που έχει συγκεκριμένους στόχους. Η ανάλυση των προαναφερθέντων δεδομένων ανέδειξε τις *αντιστάσεις* που επηρέασαν και κατήυθναν τους ερευνητές σε συγκεκριμένες *προσαρμογές*. Έχοντας κατά νου ότι το μοντέλο του *Pickering* ερμηνεύει γενικά την επιστημονική πρακτική, θεωρήσαμε ότι στην περίπτωση αυτής της ΔΜΣ μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να ερμηνεύσει την εξελικτική διαδικασία σχεδιασμού και ανάπτυξης της ΔΜΣ, καθώς και τη διαδικασία βελτίωσής της, με την έννοια της κυκλικής διαδικασίας αναθεώρησής της. Θεωρήσαμε ότι οι βελτιωτικές αλλαγές της ΔΜΣ αντιστοιχούν στις *προσαρμογές* του μοντέλου του *Pickering*. Επιπλέον, θεωρήσαμε ότι οι δυσκολίες που αντιμετώπισαν οι συμμετέχοντες σε αυτό το πρόγραμμα αντιστοιχούν στις *αντιστάσεις* του μοντέλου του *Pickering*. Τέλος, οι διδακτικοί στόχοι και τα αναμενόμενα μαθησιακά αποτελέσματα αντιστοιχούν στους *στόχους* του μοντέλου του *Pickering*. Τα βήματα της διαδικασίας βελτίωσης της ΔΜΣ σε σχέση με τα στοιχεία του μοντέλου του *Pickering* παρουσιάζονται στο σχήμα 4.4.

Η παρουσίαση των αποτελεσμάτων αυτής της ανάλυσης, δηλαδή των βελτιωτικών αλλαγών (ενότητα 5.3), γίνεται σε πλήρη αντιστοίχιση με το περιεχόμενο της ΔΜΣ, δηλαδή α) τις ερμηνείες των φαινομένων Π/Β, και β) την πυκνότητα ως ιδιότητα των υλικών, που αποτελούν τη δηλωτική γνώση της ΔΜΣ, καθώς επίσης και στοιχεία γ) της μεθόδου ΣΕΜ, και δ) της φύσης και του ρόλου των μοντέλων που αποτελούν τη διαδικαστική και επιστημολογική γνώση της ΔΜΣ. Επιπλέον, στην ενότητα 5.5, συζητάμε το αποτέλεσμα της βελτίωσης, συγκρίνοντας τα μαθησιακά αποτελέσματα στην πιλοτική και στην κανονική εφαρμογή (ενότητες 5.2 και 5.4 αντίστοιχα).

4.4 Τα εργαλεία μέτρησης και η διαδικασία ανάλυσής τους

Στους πίνακες 4.2 και 4.3 παρουσιάζονται, ανά περιοχή μάθησης, και περιγράφονται τα έργα των γραπτών ερωτηματολογίων και της ημιδομημένης συνέντευξης αντίστοιχα, τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για την αξιολόγηση της μάθησης. Επιπλέον, παρουσιάζεται ο σκοπός και ο στόχος των έργων αυτών.

Πίνακας 4.2 Σκοποί και στόχοι των έργων των γραπτών ερωτηματολογίων ανά περιοχή μάθησης

Περιοχή μάθησης	Σκοπός έργων (Καταγραφή)	Στόχος έργων (Καταγραφή)	Έργα ΜετάΕΠ (15), ΜετάΕΚ (24)	Τα έργα αξιολογούν
ΠΒ	(Α) ερμηνειών φαινομένων Π/Β	ερμηνειών φαινομένων Π/Β της καθημερινής εμπειρίας (π.χ. βύθιση άγκυρας)	ΠΒ1α, ΠΒ1β, ΠΒ2,	ΜΑΘΗΣΗ
		απόψεων σχετικά με τις μεταβλητές που πιθανόν να επηρεάζουν την Π/Β (μέγεθος αντικειμένου, φάρδος δοχείου)	ΠΒ3(ν), ΠΒ4(ν),	ΜΑΘΗΣΗ
	(Β) της χρήσης συσχετιστικού αιτιακού συλλογισμού στην ερμηνεία φαινομένων Π/Β (σχήμα 4.5)	ερμηνειών της Π/Β με δοσμένο το μοντέλο «τελίτσες-στο-κυβάκι» για κάθε υλικό	ΠΒ5 (r)	ΜΑΘΗΣΗ
		ερμηνειών του επιπέδου πλεύσης αντικειμένων, με δοσμένο το μοντέλο «τελίτσες-στο-κυβάκι» για κάθε υλικό	ΠΒ6 (r)	ΕΠΕΚΤΑΣΙΜΟΤΗΤΑ ΜΑΘΗΣΗΣ
	(Γ) της χρήσης της φαινομενολογίας του πειράματος και συσχετιστικού αιτιακού συλλογισμού για τη σύγκριση πυκνοτήτων (σχήμα 4.6)	απόψεων σχετικά με τη σύγκριση πυκνοτήτων , μέσω της φαινομενολογίας του πειράματος Π/Β αντικειμένου σε υγρό, και της χρήσης συσχετιστικού αιτιακού συλλογισμού	ΠΒ7α, ΠΒ7β, ΠΒ7γ	ΜΑΘΗΣΗ
		απόψεων σχετικά με τη σύγκριση πυκνοτήτων , μέσω της φαινομενολογίας του πειράματος αιώρησης αντικειμένου σε υγρό, και της χρήσης συσχετιστικού αιτιακού συλλογισμού	ΠΒ8	ΕΠΕΚΤΑΣΙΜΟΤΗΤΑ ΜΑΘΗΣΗΣ
ΠΥΚ	απόψεων σχετικά με την πυκνότητα	απόψεων σχετικά με τη σχέση πυκνότητας και υλικού	ΠΥΚ1	ΜΑΘΗΣΗ
		απόψεων σχετικά με τις μεταβλητές που επηρεάζουν την πυκνότητα ενός αντικειμένου (σχήμα ή μέγεθος αντικειμένου)	ΠΥΚ2 (r), ΠΥΚ3 (r),	ΜΑΘΗΣΗ
ΣΕΜ	απόψεων σχετικά με τις διαδικασίες ελέγχου και συμπερασμού της ΣΕΜ	απόψεων σχετικά με τη διαδικασία ελέγχου και τη διαδικασία συμπερασμού από τον έλεγχο μιας μεταβλητής που διδάχθηκε, φαινόμενο Π/Β	ΣΕΜ1α (r), ΣΕΜ1β (r),	ΜΑΘΗΣΗ
		απόψεων σχετικά με τη διαδικασία ελέγχου και τη διαδικασία συμπερασμού από τον έλεγχο μιας μεταβλητής που δε διδάχθηκε, φαινόμενο Π/Β	ΣΕΜ2α(ν), ΣΕΜ2β(ν)	ΕΠΕΚΤΑΣΙΜΟΤΗΤΑ ΜΑΘΗΣΗΣ
		απόψεων σχετικά με τη φύση των μοντέλων	M1	ΜΑΘΗΣΗ
Μ	απόψεων σχετικά με τη φύση και τον ρόλο των μοντέλων	απόψεων σχετικά με την ονομασία μιας αναπαράστασης ενός ματιού και ενός караβιού	M2β(ν), M3β(ν),	ΜΑΘΗΣΗ
		απόψεων σχετικά με τη χρήση μιας αναπαράστασης ενός ματιού, ενός караβιού και του μοντέλου «τελίτσες-στο-κυβάκι»	M2α(ν), M3α(ν), M4(ν)	ΜΑΘΗΣΗ

ΠΒ= Ερμηνείες για φαινόμενα πλεύσης και βύθισης, ΠΥΚ= Κατανόηση της έννοιας της πυκνότητας,

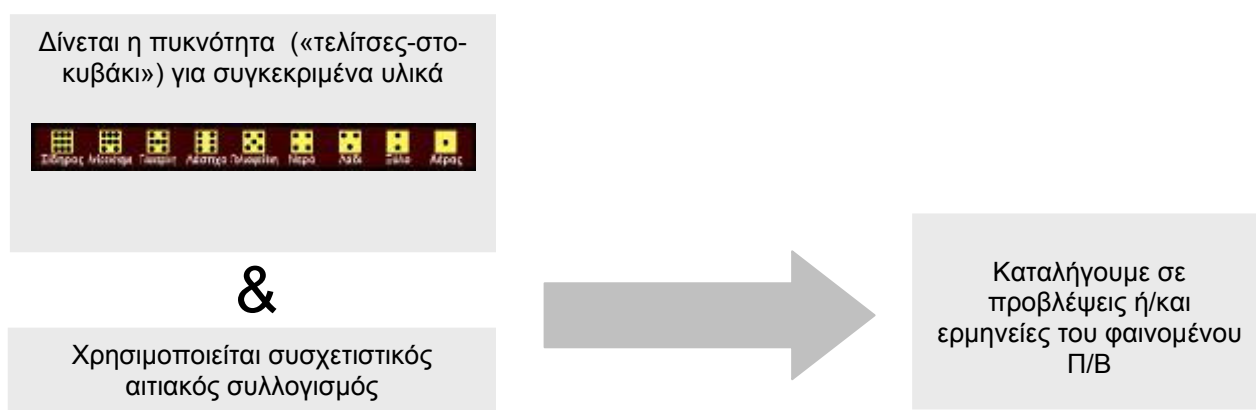
ΣΕΜ= Κατανόηση της Στρατηγικής Ελέγχου Μεταβλητών, Μ= Κατανόηση της φύσης και του ρόλου των μοντέλων,

Υπογραμμισμένα τα έργα που τροποποιήθηκαν από την πιλοτική στην κανονική εφαρμογή

Μαρκκαρισμένα με γκρι χρώμα τα έργα που προστέθηκαν στο ερωτηματολόγιο της κανονικής εφαρμογής

Η κωδικοποίηση που χρησιμοποιείται έχει ως εξής: Η περιοχή μάθησης ΠΒ αφορά στις ερμηνείες για φαινόμενα πλεύσης και βύθισης, η περιοχή μάθησης ΠΥΚ αφορά στην κατανόηση της έννοιας της πυκνότητας ως ιδιότητας των υλικών, η περιοχή μάθησης ΣΕΜ αφορά στην κατανόηση της επιστημονικής μεθόδου Στρατηγικής Ελέγχου Μεταβλητών και η περιοχή μάθησης Μ αφορά στην κατανόηση της φύσης και του ρόλου των μοντέλων. Τα ακρωνύμια ΜετάΕΠ και ΜετάΕΚ αναφέρονται στο Μετά Ερωτηματολόγιο της Πιλοτικής και της Κανονικής εφαρμογής αντίστοιχα (δες Παράρτημα Α). Επιπλέον, όσα έργα είναι υπογραμμισμένα, είναι αυτά που τροποποιήθηκαν από την πιλοτική στην κανονική εφαρμογή. Τέλος, όσα έργα είναι μαρκαρισμένα με γκρι χρώμα, είναι αυτά που προστέθηκαν στο ερωτηματολόγιο της κανονικής εφαρμογής.

Στον πίνακα 4.2, παρατηρούμε ότι τα έργα που αξιολογούν τη μάθηση στην περιοχή ΠΒ χωρίζονται σε τρεις ομάδες, που η καθεμιά έχει διαφορετικό σκοπό. Στην πρώτη (Α) ομάδα έργων, περιλαμβάνονται έργα με τα οποία σκοπεύουμε να καταγράψουμε τις ερμηνείες φαινομένων Π/Β της καθημερινής εμπειρίας. Επιπρόσθετα, μας ενδιαφέρει να διερευνήσουμε τις πιθανές εναλλακτικές ιδέες των μαθητών σχετικά με τις μεταβλητές που επηρεάζουν την Π/Β, όπως είναι το μέγεθος του αντικειμένου και το φάρδος του δοχείου. Η δεύτερη και η τρίτη ομάδα έργων (Β και Γ αντίστοιχα) αφορούν στην αξιολόγηση της χρήσης συσχετιστικού αιτιακού συλλογισμού στις ερμηνείες φαινομένων Π/Β, σε συνδυασμό με το μοντέλο της πυκνότητας «τελίτσες-στο-κυβάκι».

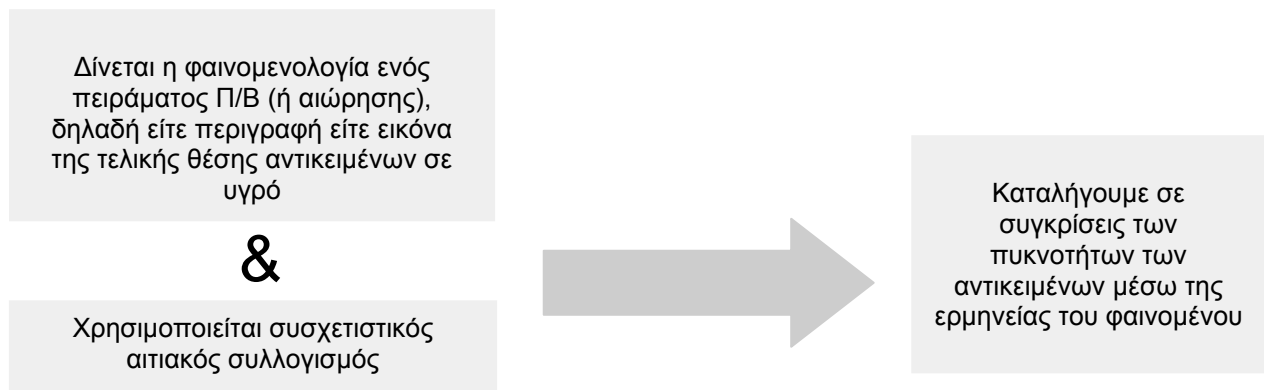


Σχήμα 4.5 Χρήση του συσχετιστικού αιτιακού συλλογισμού στις ερμηνείες Π/Β

Ειδικότερα, στην ομάδα (Β), περιλαμβάνονται έργα με τα οποία σκοπεύουμε να ελέγξουμε εάν οι μαθητές χρησιμοποιούν συσχετιστικό αιτιακό συλλογισμό, όταν τους δίνεται η πυκνότητα των υλικών με τη μορφή «τελίτσες-στο-κυβάκι», για να

ερμηνεύσουν φαινόμενα Π/Β (σχήμα 4.5). Για παράδειγμα μια απάντηση, που ακολουθεί αυτόν τον συλλογισμό, στο έργο ΠΒ5 (Παράρτημα Β.2) θα ήταν: «Το αντικείμενο Α θα επιπλέει στο νερό, επειδή η πυκνότητά του είναι μικρότερη από την πυκνότητα του νερού».

Στην ομάδα (Γ), περιλαμβάνονται τα έργα με τα οποία σκοπεύουμε να ελέγξουμε εάν οι μαθητές χρησιμοποιήσουν τη φαινομενολογία ενός πειράματος Π/Β (ή αιώρησης) αντικειμένων σε υγρό, σε συνδυασμό με συσχετιστικό αιτιακό συλλογισμό, για να συγκρίνουν τις πυκνότητες των αντικειμένων ή ενός αντικειμένου και του υγρού (σχήμα 4.6). Για παράδειγμα, μια απάντηση, που ακολουθεί τον παραπάνω συλλογισμό, στο έργο ΠΒ7β (Παράρτημα Β.2) θα ήταν: «το αντικείμενο Α επιπλέει στο υγρό Γ, άρα έχει μικρότερη πυκνότητα από αυτό».



Σχήμα 4.6 Χρήση της φαινομενολογίας του πειράματος Π/Β (ή αιώρησης) και συσχετιστικού αιτιακού συλλογισμού για τη σύγκριση πυκνοτήτων αντικειμένων ή αντικειμένου και υγρού

Τα έργα που έχουν σκοπό να αξιολογήσουν την κατανόηση της έννοιας της πυκνότητας (ΠΥΚ), έχουν συγκεκριμένους στόχους την καταγραφή των απόψεων σχετικά με τη σχέση της πυκνότητας και του υλικού (π.χ. έργο ΠΥΚ1) καθώς και απόψεων σχετικά με τις μεταβλητές που επηρεάζουν την πυκνότητα ενός αντικειμένου, όπως είναι το σχήμα ή το μέγεθος του αντικειμένου (π.χ. έργο ΠΥΚ2). Τα έργα που έχουν σκοπό να αξιολογήσουν την κατανόηση των διαδικασιών της Στρατηγικής Ελέγχου Μεταβλητών (ΣΕΜ), στοχεύουν στην καταγραφή των απόψεων σχετικά με τη διαδικασία ελέγχου (π.χ. έργο ΣΕΜ1α) και τη διαδικασία συμπερασμού (π.χ. έργο ΣΕΜ1β) από τον έλεγχο μιας μεταβλητής. Τέλος, τα έργα που έχουν σκοπό να αξιολογήσουν την κατανόηση της φύσης και του ρόλου των μοντέλων (Μ), στοχεύουν στην καταγραφή απόψεων σχετικά με τη φύση των μοντέλων (π.χ. έργο

M1) καθώς και σχετικά με την ονομασία και τη χρήση ορισμένων διδαχθέντων μοντέλων, όπως το σχέδιο ενός караβιού (έργα M2α και M2β) και το μοντέλο «τελίτσες-στο-κυβάκι» της πυκνότητας (έργο M4).

Πίνακας 4.3 Σκοποί των έργων της ημιδομημένης συνέντευξης ανά περιοχή μάθησης

Περιοχή μάθησης	Σκοπός του έργου (Καταγραφή)	Έργα ΜετάΣΕΚ (18)	Τα έργα αξιολογούν
ΠΥΚ	απόψεων σχετικά με τη χρήση του κατάλληλου εργαλείου (δοχείο με νερό ή ζυγαριά ισορροπίας), για τη σύγκριση του βάρους και της πυκνότητας αντικειμένων, έλεγχος διαφοροποίησης της πυκνότητας από το βάρος	ΠΥΚ4, ΠΥΚ5, ΠΥΚ6, ΠΥΚ7, ΠΥΚ8, ΠΥΚ9	ΕΠΕΚΤΑΣΙΜΟΤΗΤΑ ΜΑΘΗΣΗΣ
	απόψεων σχετικά με τη διαδικασία ελέγχου και τη διαδικασία συμπερασμού από τον έλεγχο μεταβλητής που διδάχθηκε, φαινόμενο Π/Β	ΣΕΜ3α, ΣΕΜ3β,	ΜΑΘΗΣΗ
ΣΕΜ	απόψεων σχετικά με τη διαδικασία ελέγχου και τη διαδικασία συμπερασμού από τον έλεγχο μεταβλητής που δε διδάχθηκε, φαινόμενο Π/Β	ΣΕΜ4α, ΣΕΜ4β	ΕΠΕΚΤΑΣΙΜΟΤΗΤΑ ΜΑΘΗΣΗΣ
	απόψεων σχετικά με τη διαδικασία ελέγχου και τη διαδικασία συμπερασμού από τον έλεγχο μεταβλητών που δε διδάχθηκαν, φαινόμενο τριβής	ΣΕΜ5α, ΣΕΜ5β, ΣΕΜ6α, ΣΕΜ6β	ΕΠΕΚΤΑΣΙΜΟΤΗΤΑ ΜΑΘΗΣΗΣ
M	απόψεων σχετικά με την αναγνώριση και τη χρήση του μοντέλου «τελίτσες-στο-κυβάκι»	M5α, M5β	ΜΑΘΗΣΗ
	απόψεων σχετικά με την αναγνώριση και τη χρήση του μοντέλου «κύκλος του νερού»	M6α, M6β	ΕΠΕΚΤΑΣΙΜΟΤΗΤΑ ΜΑΘΗΣΗΣ

ΠΒ= Ερμηνείες για φαινόμενα πλεύσης και βύθισης, ΠΥΚ= Κατανόηση της έννοιας της πυκνότητας,

ΣΕΜ= Κατανόηση της Στρατηγικής Ελέγχου Μεταβλητών, M= Κατανόηση της φύσης και του ρόλου των μοντέλων

Στον πίνακα 4.2, παρατηρούμε ότι στις περιοχές μάθησης Π/Β και ΣΕΜ περιλαμβάνονται δύο έργα επεκτασιμότητας της μάθησης αντίστοιχα, ενώ στις περιοχές μάθησης ΠΥΚ και M δεν περιλαμβάνεται κανένα έργο επεκτασιμότητας της μάθησης. Στον πίνακα 4.3, παρατηρούμε ότι στην ημιδομημένη συνέντευξη συμπεριλαμβάνονται έργα που αξιολογούν την επεκτασιμότητα της μάθησης και στις τρεις περιοχές μάθησης (ΣΕΜ, ΠΥΚ και M).

Αναλυτική παρουσίαση των έργων των γραπτών ερωτηματολογίων της πιλοτικής εφαρμογής γίνεται στην ενότητα 4.4.2. Τα νέα έργα της κανονικής εφαρμογής, καθώς και αυτά που τροποποιήθηκαν με βάση τις παρατηρήσεις του ερευνητή στην τάξη ή/και τη σχετική βιβλιογραφία, παρουσιάζονται στην ενότητα 4.4.3. Τα έργα της ημιδομημένης συνέντευξης είναι τα ίδια στην πιλοτική και την κανονική εφαρμογή και παρουσιάζονται στην ενότητα 4.4.4. Στους πίνακες 4.4 και 4.5 παρουσιάζονται τα

έργα των γραπτών ερωτηματολογίων της πιλοτικής εφαρμογής και του ερωτηματολογίου της συνέντευξης αντίστοιχα, σε σχέση με την έρευνα από την οποία προήλθε η έμπνευση για τη δημιουργία τους.

Πίνακας 4.4 Τα έργα γραπτών ερωτηματολογίων της πιλοτικής εφαρμογής και η έρευνα από την οποία προήλθε η έμπνευσή τους

Έργο	Έμπνευση από τους/τον	Τροποποιήθηκε
ΠΒ1α, ΠΒ1β	Havu-Nuutinen, 2005, Smith, Snir & Grosslight, 1992	NAI
ΠΒ2	Havu-Nuutinen, 2005	NAI
ΠΒ5, ΠΒ6	EPEYNHTH	—
Πβ7α, Πβ7β, Πβ7γ, ΠΒ8	Smith, Snir & Grosslight, 1992, Καριώτογλου, 1991	NAI
ΠΥΚ1	Klopper, Champagne & Chaiklin, 1992	NAI
ΠΥΚ2, ΠΥΚ3	Smith, Snir & Grosslight, 1992, Φασουλόπουλος, 2000	NAI
ΣΕΜ1α, ΣΕΜ1β	Schwarz & White, 2005, White & Frederiksen, 1998	NAI
M1	Grosslight et al., 1991, Saari & Viiri, 2003	NAI

Πίνακας 4.5 Τα έργα ερωτηματολογίου ημιδομημένης συνέντευξης και η έρευνα από την οποία προήλθε η έμπνευσή τους

Έργο	Έμπνευση από τους/τον	Τροποποιήθηκε
ΠΥΚ4, ΠΥΚ5, ΠΥΚ6, ΠΥΚ7	Smith, Snir & Grosslight, 1992, Φασουλόπουλος, 2000	NAI
ΠΥΚ8, ΠΥΚ9	Smith, Snir & Grosslight, 1992	NAI
ΣΕΜ3α, ΣΕΜ3β, ΣΕΜ4α, ΣΕΜ4β	Chen & Klahr, 1999, Dean & Kuhn, 2007, Boudreaux, Shaffer, Heron & McDermott, 2008	NAI
ΣΕΜ5α, ΣΕΜ5β, ΣΕΜ6α, ΣΕΜ6β	Chen & Klahr, 1999, Dean & Kuhn, 2007, Boudreaux et al., 2008, Ραβάνης, 1999, Schwarz & White, 2005	NAI
M5α, M5β	EPEYNHTH	—
M6α, M6β	EPEYNHTH	—

Παρακάτω, στην ενότητα 4.4.1, περιγράφουμε τη μέθοδο ανάλυσης και ομαδοποίησης των απαντήσεων στα έργα του γραπτού ερωτηματολογίου και της ημιδομημένης συνέντευξης.

4.4.1 Μέθοδος ανάλυσης και ομαδοποίησης των απαντήσεων

Η ανάλυση των απαντήσεων στα έργα που χρησιμοποιούνται στα γραπτά ερωτηματολόγια και στο ερωτηματολόγιο της συνέντευξης στοχεύουν στην ανάδειξη των ιδεών των μαθητών στις τέσσερις βασικές περιοχές μάθησης αυτής της έρευνας. Η σύγκριση των αποτελεσμάτων πριν και μετά την παρέμβαση, στοχεύει στον έλεγχο της μάθησης ως αποτέλεσμα της διδασκαλίας της σειράς. Πιο συγκεκριμένα,

η μάθηση θα αξιολογηθεί με έργα, ορισμένα από τα οποία είναι διδαχθέντα ή παρεμφερή με τα διδαχθέντα, ενώ άλλα είναι μη διδαχθέντα. Με τα μη διδαχθέντα έργα τόσο των γραπτών ερωτηματολογίων όσο και της συνέντευξης ελέγχουμε την *επεκτασιμότητα* της μάθησης (πίνακες 4.2 και 4.3). Στην περίπτωση της μάθησης της μεθόδου ΣΕΜ η επεκτασιμότητα μπορεί να είναι είτε κοντινή (*near transfer*), όταν αφορά στην ικανότητα των μαθητών να απαντήσουν σε ένα έργο που αφορά στο ίδιο φαινόμενο, αλλά σε ζήτημα που δεν έχουν διδαχθεί, είτε μακρινή (*far transfer*), στην περίπτωση που αφορά στην ικανότητά τους να απαντήσουν σε ένα έργο που αφορά σε άλλο φαινόμενο (Lin & Lehman, 1999). Επιπλέον, η ανάλυση των απαντήσεων των μαθητών επτά μήνες μετά την παρέμβαση, στοχεύει στον έλεγχο *διατήρησης* της μάθησης αυτής.

Η μέθοδος που ακολουθήσαμε για να ομαδοποιήσουμε τις απαντήσεις των μαθητών είναι μια διαδικασία στην οποία λήφθηκε υπόψη η επιθυμητή γνώση στην οποία στόχευε η διδακτική μαθησιακή διαδικασία καθώς και οι κατηγορίες που βρήκαμε στη σχετική βιβλιογραφία. Ταυτόχρονα, όμως, ακολουθήσαμε τη μέθοδο της συνεχούς σύγκρισης της Θεμελιωμένης Θεωρίας (Strauss & Corbin, 1994). Παρόλο που η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται συνήθως σε περιπτώσεις έρευνας στις οποίες δεν υπάρχουν προκαθορισμένες οι κατηγορίες για την ανάλυση των δεδομένων, οι Strauss και Corbin (1994) δεν αποκλείουν την περίπτωση να έχουμε έτοιμες τις κατηγορίες αρκεί να ακολουθήσουμε αυστηρά τη μέθοδο. Για κάθε έργο, καταρχήν διαβάσαμε όλες τις απαντήσεις για να αποκτήσουμε μια γενική εικόνα. Σε αυτό το στάδιο, κατατάξαμε τις απαντήσεις στις κατηγορίες που βρήκαμε στη βιβλιογραφία ομαδοποιώντας παρόμοιες περιπτώσεις. Για να ενταχθεί μια απάντηση σε μια συγκεκριμένη κατηγορία, τη συγκρίναμε με όλες τις άλλες που είχαμε ήδη εντάξει σε αυτήν την κατηγορία. Σε δεύτερο στάδιο, ασχοληθήκαμε με τις απαντήσεις που δεν κατατάσσονταν στις προϋπάρχουσες κατηγορίες. Τις απαντήσεις αυτές τις ομαδοποιήσαμε, με τη μέθοδο της συνεχούς σύγκρισης, σε καινούργιες κατηγορίες. Σε τρίτο στάδιο, ιεραρχήσαμε τις καινούργιες κατηγορίες σε σχέση με τις προϋπάρχουσες από τη βιβλιογραφία. Σε αυτό το στάδιο, μια ομάδα απαντήσεων είτε ενσωματώθηκε σε μια από τις προϋπάρχουσες κατηγορίες ως υποκατηγορία της, είτε αποτέλεσε μια ξεχωριστή κατηγορία με σαφείς αποστάσεις από τις ήδη προϋπάρχουσες. Στη συνέχεια, αφού επεξεργαστήκαμε λεπτομερώς τις κατηγορίες που προέκυψαν, για να καθορίσουμε τις υποκατηγορίες που περιλαμβάνουν,

επιστρέψαμε ξανά στα δεδομένα για να εξετάσουμε όλες τις περιπτώσεις κάθε κατηγορίας σε σχέση με τις υποκατηγορίες τους.

Για να γίνει κατανοητή η διαδικασία που ακολουθήσαμε θα περιγράψουμε, ενδεικτικά, πώς ομαδοποιήσαμε τις απαντήσεις των μαθητών στο έργο ΠΒ1β. Οι κατηγορίες που αναδείχθηκαν σε άλλες παρόμοιες έρευνες σχετικά με τις ερμηνείες μαθητών σε φαινόμενα Π/Β (Hardy et al., 2006, Havu-Nuutinen, 2005, Perkins & Grotzer, 2005, Smith et al., 1992) είναι: α) σύγκριση πυκνοτήτων αντικειμένου και υγρού (συσχετιστικός αιτιακός συλλογισμός – επιθυμητή γνώση), β) αναφορά στο υλικό του αντικειμένου (γραμμικός αιτιακός συλλογισμός – ερμηνείες βασισμένες στην καθημερινή ζωή), γ) αναφορά στο βάρος του αντικειμένου (γραμμικός αιτιακός συλλογισμός – εναλλακτική ιδέα) και δ) αναφορά στον σκοπό του αντικειμένου (τελεολογική ιδέα) .

Πιο συγκεκριμένα, η επιθυμητή γνώση σχετικά με τις ερμηνείες Π/Β, είναι η χρήση συσχετιστικού αιτιακού συλλογισμού και όχι γραμμικού, γιατί όταν οι μαθητές χρησιμοποιούν σύνθετα αιτιακά μοντέλα, όπως είναι τα συσχετιστικά έναντι των γραμμικών, οδηγούνται σε καλύτερη κατανόηση και του γνωστικού περιεχομένου (Perkins & Grotzer, 2005). Στην περίπτωση του συγκεκριμένου έργου, επιθυμητό είναι να κάνουν σύγκριση της πυκνότητας του υλικού της άγκυρας με την πυκνότητα του νερού. Π.χ. «η άγκυρα βυθίζεται επειδή το σίδηρο έχει μεγαλύτερη πυκνότητα από το νερό». Η αναφορά στο υλικό, π.χ. «βυθίζεται γιατί είναι φτιαγμένη από σίδηρο» ή «είναι από σίδηρο ή από μέταλλο και βαραίνει για αυτό θα βυθιστεί» καταδεικνύει μια δυσκολία των μαθητών να περάσουν σε πιο επιστημονικές ερμηνείες, λόγω των εμπειριών τους από την καθημερινότητα, που για αυτό τον λόγο αναφέρονται και ως «ερμηνείες της καθημερινότητας» (Hardy et al., 2006, Havu-Nuutinen, 2005, Perkins & Grotzer, 2005, Smith et al., 1992). Παρόλα αυτά, απαντήσεις αυτού του είδους δεν μπορεί να θεωρηθούν λάθος. Με αυτήν την έννοια, οι απαντήσεις αυτές ομαδοποιούνται, πάλι με διαδοχικές συγκρίσεις, σε ένα επίπεδο το οποίο είναι ιεραρχικά χαμηλότερα από την επιθυμητή γνώση, αλλά σε σωστή κατεύθυνση. Η αναφορά στο βάρος του αντικειμένου, π.χ. «η άγκυρα βυθίζεται γιατί είναι βαριά», είναι διαισθητικού τύπου και είναι ευρέως καταγεγραμμένη στη βιβλιογραφία (Hardy et al., 2006, Havu-Nuutinen, 2005, Perkins & Grotzer, 2005, Smith et al., 1992) ως η βασική εναλλακτική ιδέα των μαθητών στο συγκεκριμένο θέμα. Έτσι οι απαντήσεις αυτές ομαδοποιούνται δύο επίπεδα χαμηλότερα από την επιθυμητή γνώση. Τέλος, η αναφορά στον σκοπό του αντικειμένου, π.χ. «η άγκυρα

βυθίζεται γιατί την έχουν για να σταματά το καράβι», είναι η κατηγορία των απαντήσεων που συνήθως στη βιβλιογραφία αναφέρονται ως τελεολογικές, και οι απαντήσεις αυτές ομαδοποιούνται τρία επίπεδα χαμηλότερα από την επιθυμητή γνώση. Ακολουθώντας την πρακτική που υιοθετείται σε παρόμοιες έρευνες, τις ελάχιστες απαντήσεις που θεωρούνται άσχετες τις κατατάξαμε στην τελευταία κατηγορία των τελεολογικών απαντήσεων.

Κάνοντας σύγκριση κάθε απάντησης με τους συλλογισμούς που αντιστοιχούν στις τέσσερις παραπάνω κατηγορίες, ομαδοποιήσαμε τις απαντήσεις στο έργο ΠΒ1β. Οι απαντήσεις που δεν κατατάχθηκαν σε μία από τις τέσσερις αυτές κατηγορίες ομαδοποιήθηκαν, σε επόμενο στάδιο, με τη μέθοδο της συνεχούς σύγκρισης. Από αυτήν τη διαδικασία, προέκυψαν οι εξής κατηγορίες ερμηνειών της βύθισης της άγκυρας στο νερό: ε) Σύγκριση πυκνοτήτων αντικειμένου και υγρού με ταυτόχρονη αναφορά στο υλικό της άγκυρας, και στ) Αναφορά στο υλικό της άγκυρας με ταυτόχρονη αναφορά στο ότι το υλικό της άγκυρας είναι βαρύ. Θεωρήσαμε ότι οι απαντήσεις της κατηγορίας (ε) είναι σε μετάβαση από την κατηγορία (β) στην κατηγορία (α). Επίσης, περιέχουν χαρακτηριστικά από δύο κατηγορίες που δεν είναι ούτε λανθασμένες ούτε εναλλακτικές, οπότε είναι αρκετά κοντά μεταξύ τους. Για τον λόγο αυτό θεωρήσαμε ότι θα ήταν προτιμότερο να ενσωματώσουμε τις απαντήσεις της κατηγορίας (ε) στην κατηγορία (α) και όχι να δημιουργήσουμε μια ακόμη ξεχωριστή κατηγορία απαντήσεων που είναι κοντά στην επιθυμητή γνώση. Οι απαντήσεις στην κατηγορία (στ) είναι επίσης σε μετάβαση από την κατηγορία (γ) στην κατηγορία (β). Για παράδειγμα μια τέτοια απάντηση είναι «*Βυθίζεται γιατί είναι από σίδερο και το σίδερο είναι βαρύ*». Όπως φαίνεται από την απάντηση ο μαθητής εστιάζει στο υλικό από το οποίο αποτελείται το αντικείμενο αναφέροντας ταυτόχρονα ότι το υλικό αυτό είναι βαρύ. Θεωρήσαμε ότι τέτοιου είδους απαντήσεις είναι προτιμότερο να τις ενσωματώσουμε στις απαντήσεις της κατηγορίας (β) και όχι να δημιουργήσουμε μια ακόμη ξεχωριστή κατηγορία απαντήσεων διαισθητικού τύπου. Με αυτόν τον τρόπο, καθορίσαμε τις υποκατηγορίες που περιλαμβάνει η κάθε κατηγορία. Τέλος, επιστρέψαμε στις απαντήσεις των μαθητών για να ελέγξουμε εάν πράγματι κάθε απάντηση βρίσκεται στη σωστή κατηγορία.

Στην παρουσίαση των αποτελεσμάτων από την ανάλυση των απαντήσεων σε κάθε έργο των γραπτών ερωτηματολογίων, γίνεται αναλυτική συζήτηση των υποκατηγοριών που περιλαμβάνει κάθε κατηγορία απαντήσεων με τις αντίστοιχες χαρακτηριστικές απαντήσεις. Στην περίπτωση του έργου ΠΒ1β, όπως και στα

περισσότερα έργα, οι κατηγορίες που προέκυψαν από τη διαδικασία του δεύτερου σταδίου ανάλυσης και ομαδοποίησης τελικά ενσωματώθηκαν σε κάποιες από τις προϋπάρχουσες κατηγορίες. Μια περίπτωση στην οποία δε συνέβη αυτό είναι π.χ. στο έργο ΠΥΚ1. Οι κατηγορίες που αναδείχθηκαν σε άλλες παρόμοιες έρευνες σχετικά με την κατανόηση της έννοιας της πυκνότητας (Smith et al., 1992, Φασουλόπουλος, 2000) είναι: α) η επιστημονική άποψη (πυκνότητα ως πηλίκο της μάζας προς τον όγκο του αντικειμένου), β) η εντατική άποψη (πυκνότητα ως ιδιότητα του υλικού ανεξάρτητη από την ποσότητα του αντικειμένου), γ) η εκτατική άποψη (πυκνότητα ως ιδιότητα του αντικειμένου και εξαρτημένη από την ποσότητα, μεγαλύτερη ποσότητα – μεγαλύτερη πυκνότητα), και δ) η συμπιεστική άποψη (πυκνότητα υγρού εξαρτημένη από τον όγκο, μικρότερος όγκος – μεγαλύτερη πυκνότητα). Στην περίπτωση της δικής μας έρευνας, οι απαντήσεις στο έργο ΠΥΚ1 στο πρώτο στάδιο της ανάλυσης, ομαδοποιήθηκαν στις κατηγορίες (β) και (γ). Δεν υπήρξε απάντηση που να ταιριάζει στην κατηγορία (α), λόγω της ηλικίας των μαθητών και επειδή στόχος της παρέμβασης ήταν η κατανόηση της πυκνότητας ως ιδιότητας του υλικού και όχι ως πηλίκο της μάζας προς τον όγκο. Επίσης, δεν υπήρξε απάντηση που θα μπορούσε να καταταχθεί στην κατηγορία (δ), διότι δε διαπραγματευτήκαμε την πυκνότητα υγρών. Οι απαντήσεις που δεν κατατάχθηκαν σε μία από τις κατηγορίες (β) και (γ) ομαδοποιήθηκαν σε επόμενο στάδιο, με τη μέθοδο της συνεχούς σύγκρισης. Έτσι, προέκυψε η εξής κατηγορία σχετικά με την κατανόηση της πυκνότητας: ε) εντατική – εκτατική άποψη (πυκνότητα ως ιδιότητα του υλικού και ταυτόχρονα ως ιδιότητα του αντικειμένου). Θεωρήσαμε ότι οι απαντήσεις στην κατηγορία αυτή είναι απόψεις σε μετάβαση από την κατηγορία (γ) στην κατηγορία (β), παρόλα αυτά δεν τις ενσωματώσαμε στην κατηγορία (β), όπως κάναμε στο έργο ΠΒ1β με τις αντίστοιχες κατηγορίες (ε) και (στ). Στο έργο ΠΥΚ1 οι απαντήσεις που κατατάσσονται στην κατηγορία (β) αντιστοιχούν στην επιθυμητή γνώση και δεν αποτελούν διαισθητική άποψη, ενώ οι απαντήσεις που κατατάσσονται στην κατηγορία (γ) είναι διαισθητικού τύπου και εναλλακτικές. Θεωρήσαμε ότι η απόσταση μεταξύ των δύο κατηγοριών είναι αρκετά μεγάλη ώστε με ασφάλεια να ιεραρχήσουμε μια κατηγορία απαντήσεων ανάμεσά τους.

Η ομαδοποίηση των απαντήσεων, εκτός από τον ερευνητή, πραγματοποιήθηκε από έναν ακόμη ερευνητή της ΔΦΕ. Η αρχική συμφωνία στην ανάλυση των δεδομένων κυμάνθηκε μεταξύ 80% και 90%, η οποία μετά από συζήτηση κατέληξε στο 100%. Στη συνέχεια, περιγράφουμε και συζητούμε τα έργα που περιλαμβάνονται στο πριν

και το μετα-ερωτηματολόγιο της πιλοτικής και της κανονικής εφαρμογής καθώς και στο ερωτηματολόγιο της συνέντευξης.

4.4.2 Ανάλυση έργων του πριν και μετά γραπτού ερωτηματολογίου της πιλοτικής εφαρμογής

Στην ενότητα αυτή περιγράφονται αναλυτικά τα έργα της πιλοτικής εφαρμογής. Επίσης, περιγράφονται οι κατηγορίες των απαντήσεων όπως προέκυψαν μέσα από τη διαδικασία που περιγράφηκε στην υποενότητα 4.4.1. Σε κάθε κατηγορία δίνεται η επικρατέστερη περίπτωση χαρακτηριστικής απάντησης και όχι όλες οι υποκατηγορίες, οι οποίες παρουσιάζονται αναλυτικά στην ανάλυση των αποτελεσμάτων για κάθε έργο ξεχωριστά.

4.4.2.1 Έργα αξιολόγησης των ερμηνειών φαινομένων Π/Β στο γραπτό ερωτηματολόγιο της πιλοτικής εφαρμογής

Τα έργα που χρησιμοποιήθηκαν στην πιλοτική εφαρμογή για την αξιολόγηση των ερμηνειών των μαθητών σχετικά με φαινόμενα Π/Β είναι τα εξής: ΠΒ1α, ΠΒ1β, ΠΒ2, ΠΒ5, ΠΒ6, ΠΒ7α, ΠΒ7β, ΠΒ7γ και ΠΒ8 (Πίνακας 4.2 και Παράρτημα Β.1 και Β.2).

4.4.2.1.α Περιγραφή των έργων ΠΒ1α, ΠΒ1β και ΠΒ2

Με τα έργα ΠΒ1α, ΠΒ1β και ΠΒ2 μελετάμε τις ερμηνείες που δίνουν οι μαθητές σχετικά με το φαινόμενο Π/Β ενός αντικειμένου (ενός σωσιβίου, μιας άγκυρας και μιας μπάλας από πλαστελίνη αντίστοιχα). Στα έργα ΠΒ1α και ΠΒ1β ζητείται από τους μαθητές να επιλέξουν εάν το αντικείμενο επιπλέει ή βυθίζεται και στη συνέχεια να αιτιολογήσουν την επιλογή τους (Havu-Nuutinen, 2005, Smith et al., 1992). Αναμένουμε ότι οι μαθητές θα επιλέξουν σωστά ότι ένα σωσίβιο επιπλέει και μία άγκυρα βυθίζεται, λόγω της καθημερινής τους εμπειρίας σε σχετικά φαινόμενα. Αντίθετα, αναμένεται ότι οι ερμηνείες που θα δώσουν σχετικά με την επίπλευση ή βύθιση του αντικειμένου στο νερό θα είναι διαισθητικές, άλλες από αυτές μακριά και άλλες πιο κοντά στην επιθυμητή γνώση. Πιο συγκεκριμένα, οι αναμενόμενες ερμηνείες στο πριν ερωτηματολόγιο, οι οποίες θεωρείται ότι θα είναι μακριά από την επιθυμητή γνώση, είναι αυτές που θα εστιάζουν στο ότι το σωσίβιο είναι ελαφρύ ή η άγκυρα είναι βαριά, με βάση την άποψη «τα ελαφριά επιπλέουν και τα βαριά βυθίζονται», ενώ οι διαισθητικές αλλά ταυτόχρονα κοντά στην επιθυμητή γνώση θα

είναι αυτές που θα εστιάζουν στο ότι το σωσίβιο περιέχει αέρα ή ότι η άγκυρα είναι από σίδηρο, με βάση την άποψη ότι *«ορισμένα υλικά επιπλέουν, ενώ άλλα βυθίζονται»* (Driver et al., 1998).

Στο έργο ΠΒ2, μια μπάλα από πλαστελίνη είναι βυθισμένη σε ένα δοχείο με νερό, και ζητείται από τους μαθητές να αποφασίσουν ποιο χαρακτηριστικό θα άλλαζαν προκειμένου η μπάλα να επιπλεύσει (Havu-Nuutinen, 2005). Οι μαθητές, στο πριν ερωτηματολόγιο, αναμένεται να δώσουν απαντήσεις που θα εκφράζουν την άποψη ότι *«τα βαριά βυθίζονται, ενώ τα ελαφριά επιπλέουν»*, δηλώνοντας για παράδειγμα ότι *«...για να την κάνω να επιπλεύσει θα την κόψω στη μέση...»*. Λιγότεροι μαθητές αναμένεται να δώσουν απαντήσεις που θα εκφράζουν την άποψη ότι *«ορισμένα υλικά επιπλέουν, ενώ άλλα βυθίζονται»*, δηλώνοντας για παράδειγμα ότι *«...θα βάλω μια μπάλα από ξύλο για να επιπλεύσει...»*.

Η επιθυμητή γνώση που αναμένεται να ανιχνευθεί στα τρία παραπάνω έργα, μετά την παρέμβαση, είναι οι μαθητές να χρησιμοποιήσουν το συσχετιστικό αιτιακό μοντέλο της σύγκρισης της πυκνότητας του αντικειμένου με την πυκνότητα του νερού για να ερμηνεύσουν την επίπλευση ή τη βύθισή του στο νερό. Για παράδειγμα, μια απάντηση που θα χρησιμοποιεί το συσχετιστικό αιτιακό μοντέλο στο έργο ΠΒ2, είναι η εξής: *«...θα βάλω μια μπάλα από ξύλο γιατί το ξύλο έχει μικρότερη πυκνότητα από το νερό και έτσι θα επιπλεύσει...»*. Εάν στο έργο αυτό μας ενδιέφερε να αξιολογήσουμε την ικανότητα των μαθητών να προτείνουν λύση για την ανέλκυση της μπάλας από πλαστελίνη, τότε η παραπάνω απάντηση θα ήταν ανεπαρκής, γιατί δεν προτείνει λύση στο συγκεκριμένο πρόβλημα. Παρόλα αυτά, η απάντηση φανερώνει συγκεκριμένο είδος συλλογισμού σχετικά με την ερμηνεία της πλεύσης, και αυτός ο συλλογισμός είναι που αξιολογείται.

Οι καταστάσεις που περιγράφονται στα έργα ΠΒ1α, ΠΒ1β και ΠΒ2 παραπέμπουν στην καθημερινότητα και δε δίνεται στους μαθητές καμιά επιπλέον βοήθεια πέρα από την περιγραφή του φαινομένου. Οι απαντήσεις ομαδοποιήθηκαν με τη διαδικασία που περιγράφεται, για το έργο ΠΒ1β, στην υποενότητα 4.4.1. Συνοπτικά, οι κατηγορίες είναι οι εξής: 3: σύγκριση πυκνοτήτων, 2: αναφορά στο υλικό ή/και στο βάρος, 1: αναφορά στο βάρος, και 0: τελεολογικές (στα έργα ΠΒ1α, ΠΒ1β) ή άσχετες (στο έργο ΠΒ2).

4.4.2.1.β Περιγραφή των έργων ΠΒ5 και ΠΒ6

Με τα έργα ΠΒ5 και ΠΒ6 (Παράρτημα Β.1) διερευνούμε εάν οι μαθητές χρησιμοποιούν το μοντέλο «τελίτσες-στο-κυβάκι» στο πλαίσιο συσχετιστικών αιτιακών συλλογισμών (causal relational reasoning) (Perkins & Grotzer, 2005), προκειμένου: α) να προβλέψουν και να ερμηνεύσουν την Π/Β δύο κύβων σε ένα υγρό (έργο ΠΒ5), και β) να επιλέξουν εάν ένας κύβος επιπλέει στο υγρό ψηλότερα, χαμηλότερα ή στο ίδιο επίπεδο από έναν άλλο (έργο ΠΒ6). Και στα δύο έργα ζητείται να αιτιολογήσουν την άποψή τους. Στα έργα αυτά, δίνονται στους μαθητές κύβοι με τη μορφή του μοντέλου «τελίτσες-στο-κυβάκι», καθώς και ο αντίστοιχος κύβος για το υγρό. Εξάλλου, στο έργο ΠΒ6 ζητείται από τους μαθητές να εφαρμόσουν το μοντέλο που διδάχθηκαν, δηλαδή το μοντέλο «τελίτσες-στο-κυβάκι» στο πλαίσιο συσχετιστικών αιτιακών συλλογισμών, σε πρόβλημα που δεν έχουν διαπραγματευθεί κατά τη διάρκεια της παρέμβασης. Πιο συγκεκριμένα, ζητείται η πρόβλεψη και ερμηνεία του επιπέδου επίπλευσης αντικειμένων με διαφορετική πυκνότητα σε ένα υγρό, που όπως αναφέρουν και οι Smith et al. (1992) αποτελεί ένα διαφορετικό φαινόμενο από την Π/Β. Επομένως, αποτελεί ένα έργο αξιολόγησης της *επεκτασιμότητας* της μάθησης. Επιπλέον, η απάντηση στο έργο ΠΒ5, απαιτεί μόνο τη σύγκριση της πυκνότητας κάθε αντικειμένου με την πυκνότητα του υγρού, ενώ για την απάντηση στο έργο ΠΒ6 απαιτείται επιπλέον, η σύγκριση των πυκνοτήτων των δύο αντικειμένων μεταξύ τους. Για τους παραπάνω λόγους, η απάντηση στο έργο ΠΒ6 θεωρείται ανωτέρου επιπέδου από την απάντηση στο έργο ΠΒ5.

Με βάση τις παραπάνω παρατηρήσεις, μετά την παρέμβαση αναμένεται ότι οι περισσότεροι μαθητές θα χρησιμοποιούν συσχετιστική αιτιακή λογική στο έργο ΠΒ5, για να προβλέψουν την τελική θέση των σωμάτων, ενώ αναμένεται ότι λιγότεροι θα είναι αυτοί που θα μπορούν να αιτιολογήσουν την επίπλευση των δύο σωμάτων στο έργο ΠΒ6. Επιπλέον, στο έργο ΠΒ6, υπάρχει η περίπτωση να χρησιμοποιηθεί μεν συσχετιστικός αιτιακός συλλογισμός, αλλά ο μαθητής να επιλέξει ότι οι δύο κύβοι θα επιπλέουν στο ίδιο επίπεδο. Σε αυτήν την περίπτωση, παρόλο που ο μαθητής θα έχει κατορθώσει να χρησιμοποιήσει τον επιθυμητό αιτιακό συλλογισμό, δε θα έχει επεκτείνει σε νέα γνώση, δηλαδή να επιλέγει σωστά τα επίπεδα επίπλευσης των δύο σωμάτων.

Η ομαδοποίηση των απαντήσεων στα έργα ΠΒ5 και ΠΒ6 οδήγησε στις εξής κατηγορίες: Στην κατηγορία 1 κατατάσσονται οι απαντήσεις που φανερώνουν

συσχετιστικό αιτιακό συλλογισμό για την ερμηνεία της Π/Β. Χαρακτηριστική απάντηση στο έργο ΠΒ5 είναι «*Το Β βυθίζεται γιατί είναι με έξι κουκίδες και έχει περισσότερες από το υγρό Γ, ενώ το Α επιπλέει γιατί έχει λιγότερες κουκίδες από το υγρό Γ*». Στην κατηγορία 0 κατατάσσονται όλες οι υπόλοιπες απαντήσεις είτε φανερώνουν γραμμικό αιτιακό συλλογισμό για την ερμηνεία της Π/Β είτε δεν είναι σχετικές με την ερώτηση. Χαρακτηριστική απάντηση γραμμικού αιτιακού συλλογισμού, στο ίδιο έργο, είναι «*Το Β θα βυθιστεί γιατί είναι βαρύ και το Α θα επιπλέει γιατί είναι ελαφρύτερο*». Συνοπτικά, οι κατηγορίες είναι οι εξής: 1: συσχετιστικός αιτιακός συλλογισμός για την ερμηνεία της Π/Β, και 0: γραμμικός αιτιακός συλλογισμός για την ερμηνεία της Π/Β.

4.4.2.1.γ Περιγραφή των έργων ΠΒ7α, ΠΒ7β, ΠΒ7γ και ΠΒ8

Με τα έργα ΠΒ7α, ΠΒ7β, ΠΒ7γ και ΠΒ8 (Παράρτημα Β.2) σκοπεύουμε να ελέγξουμε εάν οι μαθητές χρησιμοποιήσουν τη φαινομενολογία ενός πειράματος Π/Β (ή αιώρησης) αντικειμένων σε υγρό, σε συνδυασμό με συσχετιστικό αιτιακό συλλογισμό, για να συγκρίνουν τις πυκνότητες των αντικειμένων ή ενός αντικειμένου και του υγρού. Έργα με παρόμοια λογική έχει χρησιμοποιήσει ο Καριώτογλου (1991), στα οποία συνδύασε τη φαινομενολογία του πειράματος με τη γνώση της συνθήκης πλεύσης που στηρίζεται στην έννοια της άνωσης, καθώς και οι Smith et al. (1992), στα οποία συνδύασαν τη φαινομενολογία του πειράματος με τη γνώση της συνθήκης πλεύσης που στηρίζεται στην έννοια της πυκνότητας. Στους βασικούς στόχους της διδασκαλίας της δικής μας έρευνας ήταν να διδαχθεί η πυκνότητα, ώστε να χρησιμοποιηθεί σε ερμηνείες της Π/Β. Με τα έργα ΠΒ7 και ΠΒ8, σκοπεύουμε να διερευνήσουμε εάν οι μαθητές μπορούν να σκεφτούν αντίστροφα (Smith et al., 1992, Καριώτογλου, 1991) και να συγκρίνουν τις πυκνότητες αντικειμένων με βάση την Π/Β τους (έργα ΠΒ7α, ΠΒ7β, ΠΒ7γ) ή με βάση την αιώρησή τους (έργο ΠΒ8) σε κάποιο υγρό (σχήμα 4.5), και όχι με βάση χαρακτηριστικά των αντικειμένων όπως είναι το μέγεθός τους.

Πιο συγκεκριμένα, στο έργο ΠΒ7α ζητείται από τους μαθητές να αποφασίσουν εάν το μεγάλο αντικείμενο Α, που επιπλέει, έχει μεγαλύτερη πυκνότητα από το μικρό αντικείμενο Β, που είναι βυθισμένο. Η απάντηση σε αυτό το έργο προϋποθέτει την σύγκριση της πυκνότητας κάθε αντικειμένου με αυτήν του υγρού. Στο έργο ΠΒ7β, ζητείται από τους μαθητές να συγκρίνουν την πυκνότητα του αντικειμένου Α με την

πυκνότητα του υγρού, ενώ στο τρίτο έργο ΠΒ7γ, να συγκρίνουν την πυκνότητα του αντικειμένου Β με την πυκνότητα του υγρού. Θεωρούμε ότι οι μαθητές που έχουν κατανοήσει την πυκνότητα ως ιδιότητα του υλικού και όχι του αντικειμένου, και έχουν κατακτήσει τη συνθήκη πλεύσης με κριτήριο τη σύγκριση πυκνοτήτων, θα αιτιολογήσουν την επιλογή τους εστιάζοντας στην Π/Β των αντικειμένων. Στην αντίθετη περίπτωση, θεωρούμε ότι οι μαθητές θα αιτιολογήσουν εστιάζοντας στο μέγεθος των αντικειμένων, φανερώνοντας με αυτόν τον τρόπο ότι διατηρούν την εναλλακτική ιδέα της εκτατικότητας της έννοιας της πυκνότητας (Smith et al., 1992).

Εξάλλου, με το έργο ΠΒ8 διερευνούμε εάν οι μαθητές μπορούν να χρησιμοποιήσουν το μοντέλο που διδάχθηκαν, δηλαδή το μοντέλο «τελίτσες-στο-κυβάκι» στο πλαίσιο συσχετιστικού αιτιακού συλλογισμού, για να ερμηνεύσουν μια κατάσταση την οποία δε διαπραγματεύθηκαν, δηλαδή αυτήν της αιώρησης ενός αντικειμένου σε ένα υγρό. Επομένως, το έργο ΠΒ8 αποτελεί ένα έργο αξιολόγησης της *επεκτασιμότητας* της μάθησης. Πιο συγκεκριμένα, ζητείται από τους μαθητές να επιλέξουν εάν η πυκνότητα ενός αντικειμένου, που δεν πάει ούτε προς τα κάτω ούτε προς τα πάνω, είναι μεγαλύτερη, μικρότερη ή ίση με την πυκνότητα του υγρού. Επίσης, τους ζητείται να αιτιολογήσουν την απάντησή τους. Θεωρούμε ότι οι μαθητές που θα απαντήσουν ότι η πυκνότητα του αντικειμένου και του υγρού είναι ίσες, αιτιολογώντας με βάση την αιώρηση του αντικειμένου, κατορθώνουν να επεκτείνουν τη χρήση του μοντέλου «τελίτσες-στο-κυβάκι» και σε άγνωστες, για αυτούς, όψεις του φαινομένου Π/Β (Smith et al., 1992).

Οι απαντήσεις των μαθητών στα έργα ΠΒ7α, ΠΒ7β, ΠΒ7γ και ΠΒ8 ομαδοποιήθηκαν με τη διαδικασία που περιγράφεται στην υποενότητα 4.4.1, ως εξής: Στην κατηγορία 1 κατατάχθηκαν οι απαντήσεις στις οποίες γίνεται χρήση της Π/Β ή της αιώρησης για τη σύγκριση πυκνοτήτων. Χαρακτηριστική απάντηση στο έργο ΠΒ8 *«Η πυκνότητα του αντικειμένου είναι ίδια με την πυκνότητα του νερού γιατί δεν έχει ανέβει πάνω ούτε έχει κατέβει κάτω»*. Στην κατηγορία 0 κατατάχθηκαν οι απαντήσεις στις οποίες δε γίνεται χρήση της Π/Β ή της αιώρησης για τη σύγκριση πυκνοτήτων. Χαρακτηριστική απάντηση στο ίδιο έργο *«Το νερό έχει μεγαλύτερη πυκνότητα από το αντικείμενο γιατί το νερό έχει μεγαλύτερη πίεση»*. Συνοπτικά, οι κατηγορίες των απαντήσεων στα έργα ΠΒ7α, ΠΒ7β, ΠΒ7γ και ΠΒ8 είναι οι εξής: 1: χρήση της Π/Β ή της αιώρησης για τη σύγκριση πυκνοτήτων, και 0: μη χρήση της Π/Β ή της αιώρησης για τη σύγκριση πυκνοτήτων.

Παρατηρούμε ότι στην πρώτη ομάδα έργων (ΠΒ1-ΠΒ2) οι απαντήσεις ομαδοποιήθηκαν σε τέσσερις κατηγορίες ενώ στις άλλες δύο ομάδες έργων (ΠΒ5-ΠΒ6 και ΠΒ7-ΠΒ8) σε δύο κατηγορίες. Θεωρούμε ότι η διαφορετική ομαδοποίηση των απαντήσεων οφείλεται σε δύο λόγους: α) στον διαφορετικό σκοπό των έργων, όπως αυτοί περιγράφηκαν στην αρχή της ενότητας 4.4, και β) στις ίδιες τις απαντήσεις των μαθητών.

4.4.2.2 Έργα αξιολόγησης της κατανόησης της έννοιας της πυκνότητας στο γραπτό ερωτηματολόγιο της πιλοτικής εφαρμογής

Τα έργα που χρησιμοποιήθηκαν στην πιλοτική εφαρμογή για την αξιολόγηση της κατανόησης της έννοιας της πυκνότητας είναι τα εξής: ΠΥΚ1, ΠΥΚ2 και ΠΥΚ3 (Πίνακας 4.2 και Παράρτημα Β.1 και Β.2). Με το έργο ΠΥΚ1 διερευνούμε εάν οι μαθητές συνδέουν την έννοια της πυκνότητας με την έννοια υλικό. Πιο συγκεκριμένα, ζητείται από τους μαθητές να γράψουν μια πρόταση με τις λέξεις πυκνότητα και υλικό. Τέτοιου είδους έργα, ανοικτού τύπου, είναι συνηθισμένα σε σχετικές έρευνες (Klopfel, et al., 1992, Καριώτογλου, 1991) γιατί δίνουν τη δυνατότητα στους μαθητές να απαντήσουν ελεύθερα και να παρουσιάσουν την άποψή τους (Cohen, Manion & Morrison, 2007). Οι απαντήσεις των μαθητών στο πριν ερωτηματολόγιο αναμένεται να αναδείξουν ότι οι μαθητές δε συσχετίζουν τις δύο αυτές έννοιες. Μετά την παρέμβαση, οι μαθητές αναμένεται να απαντούν πιο κοντά στην επιθυμητή γνώση, η οποία είναι ότι η πυκνότητα ενός αντικειμένου εξαρτάται από το υλικό από το οποίο είναι φτιαγμένο, καθώς επίσης και ότι είναι κριτήριο για την Π/Β ενός αντικειμένου σε ένα υγρό.

Με τα έργα ΠΥΚ2 και ΠΥΚ3 (Παράρτημα Β.1) διερευνούμε εάν οι μαθητές συσχετίζουν την πυκνότητα με το υλικό, άποψη που είναι κοντά στην επιστημονική, ή εάν αντίθετα επηρεάζονται από τα αντιληπτά χαρακτηριστικά της ποσότητας των αντικειμένων, δηλαδή το σχήμα τους, στο οποίο διαφέρουν, ή το μέγεθός τους, στο οποίο δε διαφέρουν. Επίσης, επιθυμούμε να αξιοποιήσουμε και να διερευνήσουμε το εύρημα των Fassouloroulos, Kariotoglou & Koumaras (2003), πως η μη διαφοροποίηση βάρους και πυκνότητας γίνεται φανερό στο πλαίσιο διερεύνησης φαινομένων Π/Β, ενώ η μη διαφοροποίηση όγκου και πυκνότητας γίνεται φανερό σε περιπτώσεις σύγκρισης της πυκνότητας υγρών που καταλαμβάνουν δοχεία διαφορετικών διαστάσεων. Εάν οι μαθητές επηρεάζονται από το σχήμα αποτελεί ένδειξη μη διαφοροποίησης όγκου και πυκνότητας, ενώ εάν επηρεάζονται από το

μέγεθος αποτελεί ένδειξη μη διαφοροποίησης βάρους και πυκνότητας. Με βάση το παραπάνω σκεπτικό, ζητείται από τους μαθητές, να επιλέξουν εάν η πυκνότητα μιας σφαίρας είναι ίση, μεγαλύτερη ή μικρότερη από την πυκνότητα ενός κύβου που είναι φτιαγμένος με την ίδια ποσότητα του ίδιου υλικού. Αναμένεται ότι η διαφορά στο σχήμα δε θα επηρεάσει τις ερμηνείες των μαθητών, αφού η έρευνα γίνεται στο πλαίσιο φαινομένων Π/Β, γεγονός που θα ενισχύσει τον ισχυρισμό των Fassoulopoulos et al. (2003). Πριν την παρέμβαση οι μαθητές αναμένεται να αιτιολογούν ότι η πυκνότητα των αντικειμένων είναι ίδια, με βάση το γεγονός ότι τα σώματα είναι φτιαγμένα από την ίδια ποσότητα (Smith et al., 1992, Φασουλόπουλος, 2000). Θεωρούμε ότι αυτό υποδεικνύει πως οι μαθητές έχουν την άποψη ότι η πυκνότητα ενός σώματος εξαρτάται από την ποσότητα (εκτατική άποψη) (Smith et al., 1992, Φασουλόπουλος, 2000). Μετά την παρέμβαση, οι μαθητές αναμένεται να επιλέγουν ότι τα δύο σώματα έχουν ίδια πυκνότητα και να αιτιολογούν με βάση το υλικό. Η διαφορά στα δύο έργα είναι ότι στο έργο ΠΥΚ2 τα αντικείμενα είναι ξύλινα ενώ στο ΠΥΚ3 σιδερένια, για να διερευνήσουμε εάν θα πάρουμε διαφορετικές απαντήσεις στην περίπτωση που τα αντικείμενα επιπλέουν από την περίπτωση που τα αντικείμενα βυθίζονται.

Οι απαντήσεις των μαθητών στα έργα ΠΥΚ1, ΠΥΚ2 και ΠΥΚ3 ομαδοποιήθηκαν, με τη διαδικασία που περιγράφεται στην υποενότητα 4.4.1, στις εξής κατηγορίες: Στην κατηγορία 3 κατατάσσονται οι απαντήσεις στις οποίες δηλώνεται ότι η πυκνότητα είναι ιδιότητα του υλικού. Χαρακτηριστική απάντηση στο έργο ΠΥΚ2 *«έχουν την ίδια πυκνότητα γιατί είναι και τα δύο από το ίδιο υλικό»*. Στην κατηγορία 2 κατατάσσονται οι απαντήσεις στις οποίες φαίνεται ότι η πυκνότητα είναι ιδιότητα του υλικού, αλλά ταυτόχρονα εξαρτημένη από το μέγεθος του αντικειμένου. Χαρακτηριστική απάντηση στο ίδιο έργο *«αφού και τα 2 είναι φτιαγμένα από το ίδιο ξύλο και έχουν την ίδια ποσότητα ξύλου έχουν την ίδια πυκνότητα»*. Στην κατηγορία 1 κατατάσσονται οι απαντήσεις στις οποίες φαίνεται ότι η πυκνότητα είναι εξαρτημένη από το μέγεθος του αντικειμένου. Χαρακτηριστική απάντηση στο έργο ΠΥΚ2 *«έχουν την ίδια πυκνότητα γιατί έχουνε χρησιμοποιήσει την ίδια ποσότητα ξύλου»*. Τέλος, στην κατηγορία 0 κατατάσσονται οι απαντήσεις που είναι άσχετες με το θέμα. Συνοπτικά, οι κατηγορίες στην ομάδα έργων ΠΥΚ1-3 είναι οι εξής: 3: η πυκνότητα ως ιδιότητα του υλικού, 2: η πυκνότητα ως ιδιότητα του υλικού και εξαρτημένη από το μέγεθος του αντικειμένου, 1: η πυκνότητα εξαρτημένη από το μέγεθος του αντικειμένου, 0: άσχετες απαντήσεις.

4.4.2.3 Έργα αξιολόγησης της κατανόησης της Στρατηγικής Ελέγχου Μεταβλητών στο γραπτό ερωτηματολόγιο της πιλοτικής εφαρμογής

Τα έργα που χρησιμοποιήθηκαν στην πιλοτική εφαρμογή για την αξιολόγηση της κατανόησης της ΣΕΜ είναι τα εξής: ΣΕΜ1α και ΣΕΜ1β (Πίνακας 4.2 και Παράρτημα Β.1). Τα έργα αυτά ακολουθούν την προσέγγιση των White και Frederiksen (1998), οι οποίοι αξιολογούν τις διερευνητικές δεξιότητες των μαθητών, ζητώντας τους να διερευνήσουν, για παράδειγμα, εάν το βάρος ενός αντικειμένου επηρεάζει τον τρόπο με τον οποίο η τριβή αλλάζει την κίνηση του αντικειμένου. Οι μαθητές, στην παραπάνω έρευνα, καλούνται να κάνουν υποθέσεις, να σχεδιάσουν ένα πείραμα, να συλλέξουν δεδομένα και να τα αναλύσουν, ώστε να καταλήξουν σε συμπέρασμα (Schwarz & White, 2005, White & Frederiksen, 1998).

Στη δική μας έρευνα, εστιάζουμε σε δύο σημεία του κύκλου διερεύνησης των White και Frederiksen (1998), στον συλλογισμό πίσω από το σχεδιασμό του πειράματος (ΣΕΜ1α) και στον συλλογισμό πίσω από τη διαδικασία για την εξαγωγή συμπεράσματος (ΣΕΜ1β). Πιο συγκεκριμένα, το έργο ΠΒ2 αποτελεί το ερευνητικό ερώτημα που οι μαθητές καλούνται να διερευνήσουν, δηλαδή να προσδιορίσουν έναν παράγοντα που θεωρούν ότι θα επηρέαζε την Π/Β μιας μπάλας από πλαστελίνη στο νερό. Με το έργο ΣΕΜ1α μελετάμε εάν οι μαθητές μπορούν να περιγράψουν το πείραμα και τη διαδικασία με την οποία θα ελέγξουν τον παράγοντα αυτό. Οι απαντήσεις των μαθητών στο έργο ΣΕΜ1α ομαδοποιήθηκαν με τη διαδικασία που περιγράφεται στην υποενότητα 4.4.1, ως εξής: Στην κατηγορία 3 κατατάχθηκαν οι απαντήσεις στις οποίες γίνεται ορθή περιγραφή της μεθόδου ΣΕΜ, δηλαδή ότι αλλάζουμε μόνο τη μεταβλητή που ελέγχουμε κρατώντας σταθερές όλες τις άλλες (Chen & Klahr, 1999). Μοναδική απάντηση που κατατάχθηκε σε αυτήν την κατηγορία, επειδή αναφέρεται και στον έλεγχο του αποτελέσματος μετά τη δοκιμή, είναι η εξής: *«θα βάλω μια μπάλα με μικρότερη πυκνότητα στο δοχείο με το νερό και θα ελέγξω εάν αυτή επιπλεύσει»*. Στην κατηγορία 2 κατατάχθηκαν οι απαντήσεις στις οποίες γίνεται μερικώς ορθή περιγραφή της μεθόδου. Χαρακτηριστική απάντηση *«θα γέμιζα ένα δοχείο με υδράργυρο και θα έριχνα μέσα μια μπάλα»*, θεωρώντας ότι ο μαθητής προτείνει δύο δοκιμές, αυτήν που αναφέρεται στην εκφώνηση του έργου και αυτήν που περιγράφει ο ίδιος. Στην κατηγορία 1 κατατάχθηκαν οι απαντήσεις στις οποίες αντί του συλλογισμού της μεθόδου για τον έλεγχο της μεταβλητής γίνεται αναφορά στο ίδιο το συμπέρασμα. Χαρακτηριστική απάντηση *«να μειώσω την*

πλαστελίνη και θα πλέει». Στην κατηγορία 0 κατατάσσονται οι απαντήσεις που είναι είτε ασαφείς είτε άσχετες με τον έλεγχο της συγκεκριμένης μεταβλητής. Σε αυτήν την κατηγορία, στο έργο ΣΕΜ1α, κατατάχθηκαν δύο μαθητές οι οποίοι δεν κατάφεραν να εκφράσουν άποψη.

Με το έργο ΣΕΜ1β μελετάμε σε ποιο βαθμό οι μαθητές μπορούν να περιγράψουν τη διαδικασία εξαγωγής συμπεράσματος λαμβάνοντας υπόψη τα αποτελέσματα του πειράματος που πρότειναν στο έργο ΣΕΜ1α, δηλαδή λαμβάνοντας υπόψη τις παρατηρήσεις τους (Schwarz & White, 2005, White & Frederiksen, 1998). Οι απαντήσεις των μαθητών στο έργο ΣΕΜ1β ομαδοποιήθηκαν με τη διαδικασία που περιγράφεται στην υποενότητα 4.4.1, ως εξής: Στην κατηγορία 3 κατατάσσονται οι απαντήσεις στις οποίες γίνεται ορθή περιγραφή της μεθόδου. Δηλαδή ο μαθητής αναφέρει ότι σε περίπτωση που το αποτέλεσμα και στις δύο δοκιμές είναι το ίδιο, π.χ. και στις δύο περιπτώσεις τα αντικείμενα βυθίζονται, η μεταβλητή δεν επηρεάζει το φαινόμενο. Αντίθετα, εάν το αποτέλεσμα διαφέρει, π.χ. στη μία περίπτωση το αντικείμενο επιπλέει και στην άλλη βυθίζεται, τότε η μεταβλητή επηρεάζει το φαινόμενο. Δεν υπήρξε καμία τέτοια απάντηση στην πιλοτική εφαρμογή. Στην κατηγορία 2 κατατάσσονται οι απαντήσεις στις οποίες γίνεται μερικώς ορθή περιγραφή της μεθόδου. Χαρακτηριστική απάντηση «*αν επέπλεε θα έβγαζα το συμπέρασμα πως κάτι που είναι ελαφρύ επιπλέει ενώ κάτι που είναι βαρύ πέφτει στον πάτο*», διότι ο μαθητής φαίνεται να λαμβάνει υπόψη το αποτέλεσμα της δοκιμής που προτείνει, και υπονοεί τη σύγκριση με την κατάσταση του συστήματος όπως περιγράφεται στην εκφώνηση του έργου. Το γεγονός ότι δεν καταλήγει σε συμπέρασμα που να προσεγγίζει την επιθυμητή δηλωτική γνώση δεν λαμβάνεται υπόψη, όπως και στην έρευνα των White και Frederiksen (1998). Στην κατηγορία 1 κατατάσσονται οι απαντήσεις στις οποίες αντί της μεθόδου για τον συμπερασμό της μεταβλητής γίνεται αναφορά στο ίδιο το συμπέρασμα. Χαρακτηριστική απάντηση «*Η μπάλα πρέπει να είναι ελαφριά για να επιπλέει και όχι βαριά*». Στην κατηγορία 0 κατατάσσονται οι απαντήσεις οι οποίες είναι ασαφείς ή άσχετες με τον συμπερασμό από τον έλεγχο της συγκεκριμένης μεταβλητής.

Πριν την παρέμβαση, οι μαθητές αναμένεται να δυσκολευτούν να περιγράψουν τόσο τη διαδικασία ελέγχου μεταβλητής όσο και τον τρόπο με τον οποίο σκεφτόμαστε για να συμπεράνουμε εάν μια μεταβλητή επηρεάζει ένα φαινόμενο (Chen & Klahr, 1999). Μετά την παρέμβαση αναμένεται βελτίωση στις απαντήσεις των μαθητών. Συνοπτικά, οι κατηγορίες των απαντήσεων στα έργα ΣΕΜ1α και ΣΕΜ1β φαίνονται

παρακάτω: 3: ορθή περιγραφή της μεθόδου, 2: μερικώς ορθή περιγραφή της μεθόδου, 1: αναφορά του συμπεράσματος αντί της μεθόδου, και 0: ασαφείς ή άσχετες με την μέθοδο.

4.4.2.4 Έργο αξιολόγησης της κατανόησης της φύσης των μοντέλων στο γραπτό ερωτηματολόγιο της πιλοτικής εφαρμογής

Το έργο που χρησιμοποιήθηκε στην πιλοτική εφαρμογή για την αξιολόγηση της κατανόησης της φύσης των μοντέλων είναι το έργο M1 (Πίνακας 4.2 και Παράρτημα Β.2).

Με το έργο M1 μελετάμε εάν οι μαθητές κατανοούν την έννοια του μοντέλου ως την αναπαράσταση ενός αντικειμένου, μιας διαδικασίας, μιας έννοιας ή ενός φαινομένου. Πιο συγκεκριμένα, ζητείται από τους μαθητές να γράψουν μια πρόταση με τη λέξη μοντέλο. Αποτελεί και αυτό ένα έργο ανοικτού τύπου, όπως το έργο ΠΥΚ1, το οποίο δίνει τη δυνατότητα στους μαθητές να εκφράσουν ελεύθερα την άποψή τους. Παρόμοια έργα χρησιμοποιήθηκαν σε έρευνες όπως των Grosslight et al. (1991) και της Saari και Viiri (2003). Οι μαθητές αναμένεται να γράψουν προτάσεις οι οποίες θα φανερώσουν τη δυσκολία τους να διακρίνουν το μοντέλο από την πραγματικότητα και να αναγνωρίσουν την αναπαραστατική του ιδιότητα (Grosslight et al., 1991, Treagust et al., 2002). Αντίθετα, μετά την παρέμβαση, αναμένεται να γράψουν προτάσεις από τις οποίες να φαίνεται ότι αναγνωρίζουν την αναπαραστατική ιδιότητα ενός μοντέλου και ότι δεν είναι απαραίτητο να είναι ακριβώς ίδιο με αυτό το οποίο αναπαριστά. Οι απαντήσεις των μαθητών στο έργο M1 ομαδοποιήθηκαν με τη διαδικασία που περιγράφεται στην υποενότητα 4.4.1, ως εξής: Στην κατηγορία 1 κατατάχθηκαν οι απαντήσεις στις οποίες ο μαθητής αναγνωρίζει το μοντέλο ως αναπαράσταση. Χαρακτηριστική απάντηση «*Το μοντέλο είναι ένα υλικό που αντιπροσωπεύει ένα πράγμα αλλά δεν είναι το πραγματικό. Ο χάρτης είναι ένα μοντέλο*». Στην κατηγορία 0 κατατάχθηκαν οι απαντήσεις στις οποίες φαίνεται ότι ο μαθητής δεν μπορεί να αναγνωρίσει το μοντέλο ως μια αναπαράσταση και δεν μπορεί να διακρίνει το μοντέλο από την πραγματικότητα. Χαρακτηριστική απάντηση «*Το μοντέλο του αυτοκινήτου του μπαμπά μου είναι BMW. Όταν μεγαλώσω θα γίνω μοντέλο*». Συνοπτικά, οι κατηγορίες των απαντήσεων στο έργο M1 είναι οι εξής: 1: αναγνώριση ενός μοντέλου ως αναπαράσταση, 0: μη αναγνώριση ενός μοντέλου ως αναπαράσταση (ψυχαγωγία, αισθητική, πραγματικότητα). Οι κατηγορίες αυτές είναι αντίστοιχες των κατηγοριών 2 και 1 που περιγράφονται στην ανακεφαλαίωση της

υποενότητας «2.2.1.2 *Ιδέες των μαθητών για τη φύση και τον ρόλο των μοντέλων*», ενώ παρατηρούμε ότι καμία απάντηση των μαθητών δεν κατατάχθηκε στην κατηγορία που περιγράφει την επιστημονική άποψη για τη φύση των μοντέλων (κατηγορία 3, στην υποενότητα 2.2.1.2).

4.4.3 Ανάλυση έργων του πριν και μετά γραπτού ερωτηματολογίου της κανονικής εφαρμογής

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζουμε τα νέα (*ν*) (Πίνακας 4.6) και τα τροποποιημένα (*τ*) (Πίνακας 4.7) έργα της κανονικής εφαρμογής. Όσα από τα έργα υπήρχαν στην πιλοτική εφαρμογή και δεν τροποποιήθηκαν έχουν ήδη συζητηθεί στην ενότητα 4.4.2, γι' αυτό δεν παρουσιάζονται ξανά σε αυτήν την ενότητα.

Πίνακας 4.6 Τα νέα έργα της κανονικής εφαρμογής και η έρευνα από την οποία προήλθε η έμπνευσή τους

Έργο	Έμπνευση από τους/τον	Τροποποιήθηκε
ΠΒ3 (<i>ν</i>), ΠΒ4 (<i>ν</i>)	Θασίτης, Φασουλόπουλος & Καριώτογλου, 2004	NAI
ΣΕΜ2α (<i>ν</i>), ΣΕΜ2β (<i>ν</i>)	Boudreaux et al., 2008, Chen & Klahr, 1999, Dean & Kuhn, 2007	NAI
M2α (<i>ν</i>), M2β (<i>ν</i>), M3α (<i>ν</i>), M3β (<i>ν</i>)	Grosslight et al. 1991, Papaevripidou et al. 2007, Schwarz & White, 2005	NAI
M4 (<i>ν</i>)	ΕΡΕΥΝΗΤΗ	—

Πίνακας 4.7 Τα έργα της πιλοτικής εφαρμογής που τροποποιήθηκαν στην κανονική εφαρμογή και η έρευνα σύμφωνα με την οποία έγινε η τροποποίηση

Έργο	Τροποποίηση σύμφωνα με
ΠΒ5, ΠΒ6	ΕΡΕΥΝΗΤΗ
ΠΥΚ2, ΠΥΚ3	Epsimos, Fassoulopoulos & Kariotoglou, 2001
ΣΕΜ1α, ΣΕΜ1β	Boudreaux et al., 2008, Chen & Klahr, 1999, Dean & Kuhn, 2007

Εξάλλου, όπως φαίνεται από τον πίνακα 4.7, η τροποποίηση σχεδόν όλων των έργων των ερωτηματολογίων, από την πιλοτική στην κανονική εφαρμογή, έγινε με βάση τη βιβλιογραφία. Εξαίρεση αποτελούν τα έργα ΠΒ5 και ΠΒ6, τα οποία τροποποιήθηκαν με βάση τις παρατηρήσεις του ερευνητή στην τάξη και τις βελτιωτικές αλλαγές στις οποίες αυτές οδήγησαν τόσο στο διδακτικό σενάριο όσο και στο λογισμικό (υποενότητα 5.3.4.2).

4.4.3.α Έργα αξιολόγησης των ερμηνειών φαινομένων Π/Β στο γραπτό ερωτηματολόγιο της κανονικής εφαρμογής

Διαπιστώσαμε ότι στην πιλοτική εφαρμογή ελέγχεται η μάθηση, σχετικά με τους παράγοντες που επηρεάζουν την Π/Β, μόνο με έργα που παραπέμπουν σε περιβάλλοντα της καθημερινής εμπειρίας (π.χ. βύθιση άγκυρας, επίπλευση σωσιβίου), ενώ δε χρησιμοποιήθηκαν έργα που να προσομοιάζουν το περιβάλλον των πειραμάτων (εικονικών ή/και πραγματικών) με τα οποία οι μαθητές, στη 2^η ενότητα της ΔΜΣ, έλεγξαν εάν κάποιοι παράγοντες επηρεάζουν ή όχι το φαινόμενο της Π/Β. Δύο από τους πέντε παράγοντες που ελέγχθηκαν, ήταν το μέγεθος του αντικειμένου και το φάρδος του δοχείου.

Με τα έργα ΠΒ3 (ν) και ΠΒ4 (ν) (Πίνακας 4.2 και Παράρτημα Β.2), στην κανονική εφαρμογή, καλύπτουμε το κενό που περιγράψαμε παραπάνω, και διερευνούμε εάν οι μαθητές επηρεάζονται από τα αντιληπτά χαρακτηριστικά του συστήματος, όπως είναι το μέγεθος του αντικειμένου (ΠΒ3) ή το φάρδος του δοχείου (ΠΒ4), όταν τους ζητείται να προβλέψουν και να ερμηνεύσουν φαινόμενα Π/Β. Συγκεκριμένα, στο έργο ΠΒ3 ζητείται από τους μαθητές να αποφασίσουν ποια θα είναι η τελική θέση ενός μεγάλου κύβου σε ένα υγρό, εάν γνωρίζουν ότι ένα μικρό κυβάκι από το ίδιο υλικό επιπλέει στο υγρό αυτό. Στο έργο ΠΒ4, ζητείται να αποφασίσουν ποια θα είναι η τελική θέση ενός κύβου σε ένα στενό δοχείο με υγρό, εάν γνωρίζουν ότι ο ίδιος κύβος επιπλέει σε ένα φαρδύ δοχείο με το ίδιο υγρό. Και στις δύο περιπτώσεις, ζητείται από τους μαθητές να ερμηνεύσουν την επιλογή τους.

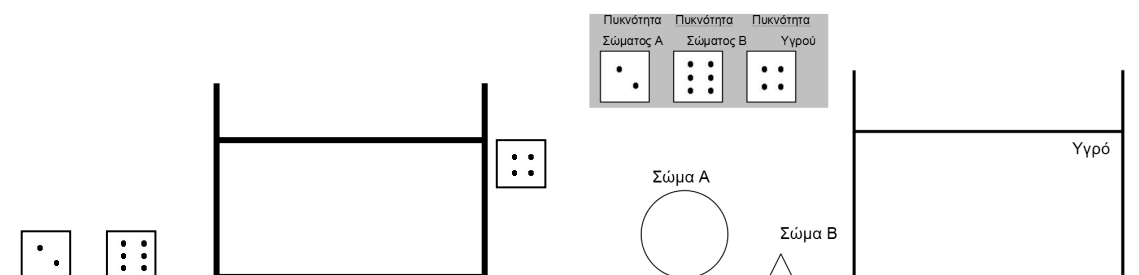
Στο έργο ΠΒ3, στο πριν ερωτηματολόγιο, οι μαθητές αναμένεται να επιλέξουν ότι το μεγάλο κυβάκι θα βυθιστεί και να αιτιολογήσουν, σύμφωνα με την καταγεγραμμένη στη βιβλιογραφία τάση τους να ερμηνεύουν παρόμοιες περιπτώσεις, με βάση την άποψη ότι «τα μεγάλα και βαριά αντικείμενα βυθίζονται, ενώ τα μικρά και ελαφριά επιπλέουν» (Θασίτης κ.ά., 2004). Μετά την παρέμβαση, οι μαθητές αναμένεται να επιλέγουν ότι το μεγάλο κυβάκι θα επιπλεύσει, και να αιτιολογούν είτε με βάση την άποψη ότι «επιπλέουν και τα δύο επειδή είναι από το ίδιο υλικό», είτε χρησιμοποιώντας το συσχετιστικό αιτιακό μοντέλο σύγκρισης πυκνοτήτων αντικειμένου και υγρού, π.χ. «επιπλέουν και τα δύο επειδή έχουν μικρότερη πυκνότητα από το υγρό».

Αντίστοιχα, στο έργο ΠΒ4, στο πριν ερωτηματολόγιο, οι ερμηνείες των μαθητών αναμένεται να αναδείξουν την καταγεγραμμένη στη βιβλιογραφία τάση τους να θεωρούν πως το φάρδος του δοχείου επηρεάζει το φαινόμενο της Π/Β (Θασίτης κ.ά., 2004). Μετά την παρέμβαση, οι μαθητές αναμένεται να επιλέγουν ότι το κυβάκι θα

επιπλέει και στο στενό δοχείο και να αιτιολογούν είτε με βάση την άποψη ότι «επιπλέουν και τα δύο επειδή είναι από το ίδιο υλικό», είτε χρησιμοποιώντας το συσχετιστικό αιτιακό μοντέλο σύγκρισης πυκνοτήτων αντικειμένου και υγρού. Σύμφωνα με τα ευρήματα της έρευνας των Θασίτη κ.ά. (2004), η εναλλακτική ιδέα «τα βαριά αντικείμενα βυθίζονται» είναι πιο σταθερή και ισχυρή από την επιρροή που ασκεί το φάρδος του δοχείου στον τρόπο σκέψης των μαθητών, όταν προσπαθούν να ερμηνεύσουν φαινόμενα Π/Β. Επομένως, αναμένουμε μεγαλύτερη βελτίωση στις απαντήσεις των μαθητών στο έργο ΠΒ4 από ό,τι στο έργο ΠΒ3. Οι κατηγορίες των απαντήσεων των μαθητών στα έργα ΠΒ3 και ΠΒ4 είναι οι ίδιες με τις κατηγορίες των απαντήσεων στο έργο ΠΒ2 (ενότητα 4.4.2.α).

Οι μαθητές, στα δύο παραπάνω έργα, έχουν τη δυνατότητα να επιλέξουν εκτός από την πλεύση ή τη βύθιση, και την αιώρηση του αντικειμένου (δοχείο 2), ως μια άλλη πιθανή κατάσταση του φαινομένου. Αναμένουμε ότι οι επιλογές, σε συνδυασμό με τις αιτιολογήσεις που θα δώσουν οι μαθητές σε αυτές τις περιπτώσεις, θα επιβεβαιώνουν τον ισχυρισμό του Joungh (2009) ότι οι μαθητές θεωρούν ως μόνες περιπτώσεις τις δύο ακραίες εκφάνσεις του φαινομένου, δηλαδή την πλεύση και τη βύθιση και ότι δεν αναγνωρίζουν, τουλάχιστον αυθόρμητα, την αιώρηση ως μια πιθανή θέση για το αντικείμενο.

Με τα έργα ΠΒ5 (τ) και ΠΒ6 (τ) (Πίνακας 4.2 και Παράρτημα Β.2) στην κανονική εφαρμογή, μελετάμε εάν οι μαθητές χρησιμοποιούν το μοντέλο «τελίτσες-στο-κυβάκι» στο πλαίσιο συσχετιστικών αιτιακών συλλογισμών (causal relational reasoning), προκειμένου: α) να προβλέψουν και να ερμηνεύσουν την Π/Β δύο αντικειμένων σε ένα υγρό (έργο ΠΒ5), και β) να επιλέξουν εάν ένα αντικείμενο επιπλέει στο υγρό ψηλότερα, χαμηλότερα ή στο ίδιο επίπεδο με ένα άλλο (έργο ΠΒ6), αιτιολογώντας και στις δύο περιπτώσεις την επιλογή τους.



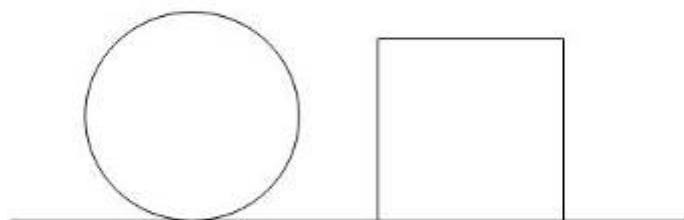
Εικόνα 4.1 Χρήση του μοντέλου «τελίτσες-στο-κυβάκι» στο έργο ΠΒ5 στην πιλοτική (αριστερά) και στην κανονική εφαρμογή (δεξιά)

Η λογική των δύο έργων παραμένει η ίδια όπως αυτή περιγράφηκε για την πιλοτική

εφαρμογή στην ενότητα 4.4.2.α. Παρόλα αυτά, ακολουθώντας τις αλλαγές στο λογισμικό όπως περιγράφονται στην υποενότητα 5.3.4.2, δώσαμε έμφαση στο γεγονός ότι το μοντέλο «τελίτσες-στο-κυβάκι» αναπαριστά την πυκνότητα αντικειμένων. Αυτό το πετύχαμε φροντίζοντας τα αντικείμενα να έχουν χαρακτηριστικά που προσεγγίζουν περισσότερο την πραγματικότητα από ό,τι στα αντίστοιχα έργα στην πιλοτική. Για παράδειγμα, στην εικόνα 4.1 αντιπαραθέτουμε τα σχέδια που χρησιμοποιήσαμε στην πιλοτική και την κανονική εφαρμογή. Στην εικόνα αυτή φαίνεται ότι ενώ στην πιλοτική εφαρμογή τα δύο αντικείμενα είναι κυβάρια του ίδιου όγκου τα οποία διαφέρουν μόνο στην πυκνότητα, όπως αυτή εκφράζεται με το μοντέλο «τελίτσες-στο-κυβάκι», στην κανονική εφαρμογή το αντικείμενο με τη μικρότερη πυκνότητα είναι μεγάλο ενώ αυτό με τη μεγαλύτερη πυκνότητα είναι μικρότερο. Έτσι, οι μαθητές έρχονται αντιμέτωποι με την ευρέως καταγεγραμμένη στη βιβλιογραφία ισχυρή εναλλακτική ιδέα ότι «τα μεγάλα αντικείμενα βυθίζονται, ενώ τα μικρά επιπλέουν» (Driver et al., 1998). Ένας μαθητής που θα σχεδιάσει τη μεγάλη σφαίρα να επιπλέει και τη μικρή πυραμίδα να είναι βυθισμένη, φανερώνει ότι, τουλάχιστον σε αυτήν την περίπτωση, χρησιμοποιεί σωστά τον συσχετιστικό αιτιακό συλλογισμό. Στην αντίθετη περίπτωση, φανερώνει ότι προβλέπει και ερμηνεύει το φαινόμενο με βάση την προαναφερθείσα εναλλακτική ιδέα.

4.4.3.β Έργα αξιολόγησης της κατανόησης της έννοιας της πυκνότητας στο γραπτό ερωτηματολόγιο της κανονικής εφαρμογής

Τα έργα ΠΥΚ2 και ΠΥΚ3 (Παράρτημα Β.1), στην πιλοτική εφαρμογή, διαφέρουν μόνο στο υλικό από το οποίο είναι φτιαγμένα τα αντικείμενα, των οποίων συγκρίνουμε τις πυκνότητες. Στο πρώτο έργο είναι ξύλινα, επομένως επιπλέουν στο νερό, ενώ στο δεύτερο σιδερένια, επομένως βυθίζονται στο νερό. Τα αποτελέσματα στα έργα αυτά, δεν παρουσίασαν σημαντική διαφορά (δες σύνοψη ενότητας 5.2.2.α).



Εικόνα 4.2 Το σχέδιο που χρησιμοποιήθηκε στο έργο ΠΥΚ2 στην κανονική εφαρμογή

Για το λόγο αυτό, στην κανονική εφαρμογή, συγχωνεύσαμε τα δύο έργα στο νέο έργο ΠΥΚ2, στο οποίο αναφέρεται ότι τα δύο αντικείμενα είναι από το ίδιο υλικό, χωρίς να αναφέρεται ποιο είναι αυτό (Εικόνα 4.2 και Παράρτημα Β.2). Έτσι, με το έργο αυτό, όπως έχουμε ήδη περιγράψει στην ενότητα 4.4.2.β, διερευνούμε εάν οι μαθητές συσχετίζουν την πυκνότητα με το υλικό, άποψη που είναι κοντά στην επιστημονική, ή εάν αντίθετα επηρεάζονται από τα αντιληπτά χαρακτηριστικά της ποσότητας των αντικειμένων, δηλαδή το σχήμα, στο οποίο διαφέρουν, ή το μέγεθός τους, στο οποίο δε διαφέρουν (Fassouloroulos et al., 2003, Smith et al., 1992).

Επιπλέον, οι Epsimos et al. (2001) βρήκαν ότι υπήρξε διαφορά στις απαντήσεις των μαθητών, σε έργα σύγκρισης πυκνοτήτων στερεών αντικειμένων, όταν η σύγκριση αφορά: α) στην ίδια ποσότητα στερεού υλικού μετά από αλλαγή στο σχήμα του, ή β) σε δύο διαφορετικές ποσότητες που διαφέρουν τόσο στο σχήμα όσο και στο μέγεθος. Στην έρευνα αυτή, στην πρώτη περίπτωση, έξι από τους δέκα μαθητές απαντούν ότι το αντικείμενο «έχει ίδια πυκνότητα, αφού η ποσότητα παραμένει ίδια» ενώ στη δεύτερη περίπτωση, επτά στους δέκα μαθητές απαντούν ότι τα αντικείμενα «έχουν διαφορετική πυκνότητα, επειδή έχουν διαφορετική ποσότητα». Από τα αποτελέσματα, επιβεβαιώνεται ότι η πλειοψηφία των μαθητών αποφασίζει για την πυκνότητα στερεών αντικειμένων με βάση το μέγεθός τους χωρίς να επηρεάζεται από τις αλλαγές στο σχήμα τους. Θεωρώντας ότι το έργο ΠΥΚ2 της κανονικής εφαρμογής προσομοιάζει τα έργα της πρώτης περίπτωσης της έρευνας των Epsimos et al. (2001), επειδή τα αντικείμενα διαφέρουν μόνο στο σχήμα τους, αποφασίσαμε να θέσουμε και ένα ακόμη έργο, το έργο ΠΥΚ3 (Παράρτημα Β.2), το οποίο να αντιστοιχεί στη δεύτερη περίπτωση. Στο έργο ΠΥΚ3, τα δύο στερεά αντικείμενα διαφέρουν στο μέγεθος και στο σχήμα. Πριν την παρέμβαση οι μαθητές αναμένεται να επιλέγουν ότι η πυκνότητα μικρότερου σώματος είναι μικρότερη από την πυκνότητα του μεγαλύτερου σώματος, και να αιτιολογούν με βάση το μέγεθος των σωμάτων (εκτατική άποψη). Οι μαθητές αναμένεται μετά την παρέμβαση να επιλέγουν ότι τα δύο σώματα έχουν ίδια πυκνότητα επειδή είναι από το ίδιο υλικό. Οι κατηγορίες των απαντήσεων στο νέο έργο ΠΥΚ3, όπως προέκυψαν από την ανάλυση που περιγράφεται στην υποενότητα 4.4.1, είναι ίδιες με τις κατηγορίες στα έργα ΠΥΚ1 και ΠΥΚ2 όπως περιγράφονται στην υποενότητα 4.4.2.β.

4.4.3.γ Έργα αξιολόγησης της κατανόησης της Στρατηγικής Ελέγχου Μεταβλητών στο γραπτό ερωτηματολόγιο της κανονικής εφαρμογής

Κατά τη διάρκεια συμπλήρωσης των ερωτηματολογίων από τους μαθητές, στην πιλοτική εφαρμογή, φάνηκε ότι οι μαθητές δυσκολεύτηκαν να αντιληφθούν πώς έπρεπε να απαντήσουν στα έργα ΣΕΜ1α και ΣΕΜ1β, διότι ζήτησαν επίμονα περαιτέρω εξηγήσεις. Θεωρήσαμε ότι αυτό μπορεί να συνέβαινε γιατί τα έργα ΣΕΜ1α και ΣΕΜ1β ήταν άμεσα εξαρτημένα από το έργο ΠΒ2, το οποίο ναι μεν έθετε το ερευνητικό ερώτημα προς διερεύνηση, δεν προσδιόριζε όμως τη μεταβλητή υπό έλεγχο. Για παράδειγμα, εάν ένας μαθητής απαντούσε στο έργο ΠΒ2 ότι θα άλλαζε το σχήμα της μπάλας για να κάνει την μπάλα να επιπλεύσει, τότε στα έργα ΣΕΜ1α και ΣΕΜ1β θα έπρεπε να περιγράψει πώς θα ελέγξει εάν η μεταβλητή σχήμα του αντικειμένου επηρεάζει την Π/Β του καθώς και τον συλλογισμό με τον οποίο θα κατέληγε σε συμπέρασμα. Ένας άλλος μαθητής, ο οποίος θα απαντούσε στο έργο ΠΒ2 ότι θα άλλαζε το υλικό της μπάλας για να την κάνει να επιπλεύσει, θα έπρεπε αντίστοιχα να περιγράψει πώς θα ελέγξει εάν η συγκεκριμένη μεταβλητή επηρεάζει το φαινόμενο της Π/Β.

Για αυτό, αποφασίσαμε να διαμορφώσουμε τα έργα για την αξιολόγηση της κατανόησης της ΣΕΜ με τέτοιο τρόπο, ώστε να είναι αυτόνομα, και η μεταβλητή που θα είναι υπό έλεγχο, να προσδιορίζεται στην εκφώνηση. Η προσέγγιση αυτή είναι πιο κοντά στην προσέγγιση που ακολουθείται από έρευνες που αξιολογούν την κατανόηση της ΣΕΜ εστιάζοντας στη διαδικασία της ΣΕΜ και στην αξιολόγηση της κατανόησής της (Boudreaux et al., 2008, Chen & Klahr, 1999, Dean & Kuhn, 2007), σε αντίθεση με την προσέγγιση των ερευνών που ακολουθήσαμε στην πιλοτική εφαρμογή (White & Frederiksen, 1998), η οποία εστιάζει σε ένα ερευνητικό ερώτημα και στο σύνολο του κύκλου για τη διερεύνησή του (κάνω υποθέσεις, σχεδιάζω ένα πείραμα, συλλέγω δεδομένα, τα αναλύω, καταλήγω σε συμπέρασμα). Με βάση την παραπάνω λογική, με το έργο ΣΕΜ1α (τ) (Παράρτημα Β.2) μελετάμε εάν οι μαθητές μπορούν να περιγράψουν ένα πείραμα με το οποίο θα ελέγξουν εάν η μεταβλητή «είδος του υγρού» επηρεάζει την Π/Β, και με το έργο ΣΕΜ1β (τ) μελετάμε εάν μπορούν να περιγράψουν τη διαδικασία εξαγωγής συμπεράσματος με βάση τα αποτελέσματα του πειράματος που πρότειναν στο έργο ΣΕΜ1α. Τη μεταβλητή αυτή την έχουν ελέγξει κατά τη διάρκεια της παρέμβασης και έχουν συζητήσει σχετικά με τα βήματα της μεθόδου, τα οποία ακολουθούμε για να ελέγξουμε εάν μια μεταβλητή επηρεάζει ένα φαινόμενο. Επίσης, έχουν καταλήξει στο συμπέρασμα ότι το είδος του υγρού επηρεάζει την Π/Β και έχουν συζητήσει τη διαδικασία με την οποία κατέληξαν

σε αυτό το συμπέρασμα. Πριν την παρέμβαση, οι μαθητές αναμένεται να δυσκολευτούν να περιγράψουν τη διαδικασία ελέγχου της μεταβλητής καθώς και τον συλλογισμό για την εξαγωγή του συμπεράσματος. Μετά την παρέμβαση αναμένεται βελτίωση στις απαντήσεις των μαθητών.

Τα νέα έργα ΣΕΜ2α (ν) και ΣΕΜ2β (ν) ακολουθούν ακριβώς την ίδια λογική με τα έργα ΣΕΜ1α (τ) και ΣΕΜ1β (τ). Μοναδική διαφορά αποτελεί το γεγονός ότι οι μαθητές δεν έχουν ελέγξει τη μεταβλητή υπό έλεγχο, η οποία είναι το «είδος επιφάνειας» του αντικειμένου, κατά τη διάρκεια της παρέμβασης. Με αυτήν την έννοια τα έργα αυτά αξιολογούν *κοντινή επεκτασιμότητα* της γνώσης (Lin & Lehman, 1999). Οι κατηγορίες των απαντήσεων στα τροποποιημένα και τα νέα έργα αξιολόγησης της κατανόησης της ΣΕΜ, είναι ίδιες με τις κατηγορίες στα αντίστοιχα έργα που χρησιμοποιήθηκαν στην πιλοτική εφαρμογή, όπως περιγράφονται στην υποενότητα 4.4.2.γ.

4.4.3.δ Έργα αξιολόγησης της κατανόησης της φύσης και του ρόλου των μοντέλων στο γραπτό ερωτηματολόγιο της κανονικής εφαρμογής

Με το έργο M1, τόσο στην πιλοτική όσο και στην κανονική εφαρμογή, μελετάμε την κατανόηση της φύσης των μοντέλων, και πιο συγκεκριμένα εάν οι μαθητές κατανοούν την έννοια του μοντέλου ως αναπαράσταση ενός αντικειμένου, μιας διαδικασίας, μιας έννοιας ή ενός φαινομένου. Επειδή το έργο αυτό είναι ανοικτού τύπου, δίνει τη δυνατότητα στους μαθητές να εκφράσουν ελεύθερα την άποψή τους σχετικά με το τι θεωρούν ότι είναι μοντέλο. Ακριβώς για αυτόν τον λόγο όμως, τέτοια έργα δε βοηθούν να διερευνηθεί η άποψη των μαθητών σχετικά με πιο συγκεκριμένα ζητήματα (Cohen, Manion & Morrison, 2007), όπως εάν θεωρούν ότι ένα σχεδιάγραμμα είναι μοντέλο ή ποιος νομίζουν ότι είναι ο ρόλος του.

Από την επισκόπηση της βιβλιογραφίας, παρατηρήσαμε ότι παρόλο που αρκετοί ερευνητές αξιολογούν την κατανόηση της φύσης και του ρόλου των μοντέλων με έργα τα οποία δεν αναφέρονται σε συγκεκριμένα μοντέλα (Grosslight et al., 1991, Schwarz & White, 2005), άλλοι ερευνητές (Papaenripidou et al., 2007) χρησιμοποιούν έργα που αναφέρονται σε συγκεκριμένα μοντέλα, τα οποία ορισμένες φορές είναι και υλικής υπόστασης. Αναλυτικότερα, οι Schwarz και White (2005), οι οποίοι στην αξιολόγηση που έκαναν σχετικά με την κατανόηση της φύσης και του ρόλου των μοντέλων επηρεάστηκαν από την έρευνα των Grosslight et al. (1991), χρησιμοποιούν ερωτήματα όπως «*Τι νομίζεις ότι είναι ένα μοντέλο;*» και «*Πού*

μπορεί να μας χρησιμεύει;». Από την άλλη, οι Papaenripidou et al. (2007), χρησιμοποίησαν έργα για την αξιολόγηση της κατανόησης των διαδικασιών μοντελοποίησης, τα οποία κάνουν αναφορά σε συγκεκριμένα μοντέλα όπως είναι το μοντέλο ενός ποδηλάτου, του αναπνευστικού συστήματος, ενός οδικού δικτύου, ενός αγκώνα, του οικοσυστήματος ενός δάσους ή μιας αποικίας μυρμηγκιών. Στη δική μας έρευνα, προσαρμόσαμε τα ερωτήματα που χρησιμοποίησαν οι Schwarz και White (2005) σε συγκεκριμένα μοντέλα (Papaenripidou et al., 2007), τα οποία είναι είτε ίδια είτε παρόμοια με αυτά που χρησιμοποιήθηκαν στις παρεμβάσεις.

Επιπλέον, λαμβάνοντας υπόψη τη βελτιωτική αλλαγή της ΔΜΣ, που αφορά στη βαθμιαία εισαγωγή στα μοντέλα (υποενότητα 5.3.4.1), τα μοντέλα που χρησιμοποιήσαμε στα νέα έργα παρουσιάζουν και αυτά μια βαθμιαία αύξηση αφαίρεσης. Πιο συγκεκριμένα, στην κανονική εφαρμογή, θεωρήσαμε σημαντικό να θέσουμε ερωτήματα με τα οποία να μελετήσουμε την άποψη των μαθητών σχετικά με: α) τον ρόλο και τη φύση (ονομασία) του φυσικού μοντέλου ενός ματιού (M2α και M2β αντίστοιχα) (Παράρτημα Β.2), β) τον ρόλο και τη φύση (ονομασία) του σχεδιαγράμματος των καταστρωμάτων ενός πλοίου (M3α και M3β αντίστοιχα), και γ) τον ρόλο του οπτικού μοντέλου της πυκνότητας «τελίτσες-στο-κυβάκι» (M4). Το μοντέλο της πυκνότητας, το οποίο διδάχθηκε κατά τη διάρκεια της παρέμβασης, είναι αρκετά αφηρημένο γιατί αναπαριστά μια έννοια. Αντίθετα, τα πρώτα δύο μοντέλα, τα οποία δε διδάχθηκαν, είναι λιγότερο αφηρημένα, με την έννοια ότι οι συσχετίσεις μεταξύ μοντέλου και στόχου τον οποίο αναπαριστούν είναι πιο εύκολο να γίνουν αντιληπτές, από ό,τι στην περίπτωση του μοντέλου της πυκνότητας. Το είδος των συσχετίσεων που θα αναφερθούν στις απαντήσεις των μαθητών, θα φανερώσει εάν θεωρούν τα μοντέλα αυτά πιστά αντίγραφα της πραγματικότητας ή αναπαραστάσεις ενός αντικειμένου, μιας διαδικασίας ή ενός φαινομένου.

Πριν την παρέμβαση, στα έργα M2α και M3α, αρκετοί μαθητές αναμένεται να αναφερθούν στη χρήση του καθενός από τα παραπάνω μοντέλα ως μέσα μεταφοράς πληροφοριών, ενώ αναμένεται να υπάρχουν και αρκετοί οι οποίοι απλά να αναφέρονται στον ίδιο τον στόχο του μοντέλου, δηλαδή σε αυτό που το μοντέλο μας «δείχνει», π.χ. μάτι, πλοίο (Treagust et al., 2002). Μετά την παρέμβαση, αναμένεται ότι οι μαθητές που αναφέρονται στη χρήση της κατασκευής ως μέσο μεταφοράς πληροφοριών να είναι περισσότεροι. Αντίθετα, στα έργα M2β και M3β, οι μαθητές αναμένεται, πριν την παρέμβαση, να γράψουν ονόματα που θα παραπέμπουν στο ίδιο το μάτι, ή το πλοίο αντίστοιχα, και όχι στο μοντέλο που το

αναπαριστά (Treagust et al., 2002), φανερώνοντας με αυτόν τον τρόπο ότι δε διακρίνουν το μοντέλο από την πραγματικότητα. Μετά την παρέμβαση, αναμένεται ότι αρκετοί θα είναι οι μαθητές που θα δίνουν ονομασίες οι οποίες θα φανερώνουν την αναπααραστατική ιδιότητα της κατασκευής και ότι τη διακρίνουν από την πραγματικότητα. Τέλος, το έργο M4 δίνεται μετά την παρέμβαση, οπότε αναμένεται οι μαθητές να αναφερθούν στη χρήση του μοντέλου αυτού για την ερμηνεία και την πρόβλεψη της Π/Β αντικειμένων.

Πίνακας 4.8 Έργα σχετικά με τα μοντέλα στην κανονική εφαρμογή

Σκοπός των έργων (Καταγραφή)	Κανονική εφαρμογή	Κατηγορίες απαντήσεων
Απόψεων σχετικά με τη φύση των μοντέλων	M1	1 : αναγνώριση ενός μοντέλου ως αναπαράσταση 0 : μη αναγνώριση ενός μοντέλου ως αναπαράσταση (ψυχαγωγία, αισθητική, πραγματικότητα)
Απόψεων σχετικά με την ονομασία μιας αναπαράστασης ενός ματιού και ενός караβιού	M2β & M3β	1 : Χρήση της λέξης μοντέλο ή αναπαράσταση, ή κάποιας περιγραφής που υποδηλώνει αναπαράσταση, για την περιγραφή της κατασκευής 0 : Χρήση μιας ονομασίας που δε δηλώνει αναπαράσταση αλλά αναφέρεται στην πραγματικότητα
Απόψεων σχετικά με τη χρήση μιας αναπαράστασης ενός ματιού, ενός караβιού και του μοντέλου «τελίτσες-στο-κυβάκι»	M2α, M3α & M4	1 : χρήση του μοντέλου ως μέσο μεταφοράς πληροφοριών για την κατανόηση της μορφολογίας ενός αντικειμένου που δεν είναι αλλιώς προσιτό (το ανθρώπινο μάτι), μιας διαδικασίας (προσανατολισμός στο χώρο π.χ. σε ένα πλοίο), μιας ιδιότητας των υλικών (πυκνότητα), ενός φαινομένου (πλεύση ή βύθιση), δηλαδή τελικά αναγνώριση του μοντέλου ως εργαλείο για τη διδασκαλία και μάθηση ή/και για την ερμηνεία και πρόβλεψη ενός φαινομένου 0 : μη χρήση του μοντέλου ως μέσο μεταφοράς πληροφοριών αλλά για την παρουσίαση ενός αντικειμένου όπως είναι στην πραγματικότητα

Οι κατηγορίες στις οποίες κατατάσσονται οι απαντήσεις των μαθητών στην κανονική εφαρμογή, έχουν παρόμοια λογική με αυτές που περιγράφονται στην υποενότητα 4.4.2.δ για την πιλοτική εφαρμογή, και φαίνονται παραπάνω στον πίνακα 4.8. Οι κατηγορίες αυτές είναι αντίστοιχες των κατηγοριών 2 και 1 που περιγράφονται στην ανακεφαλαίωση της υποενότητας «2.2.1.2 *Ιδέες των μαθητών για τη φύση και τον ρόλο των μοντέλων*», ενώ παρατηρούμε ότι καμία απάντηση των μαθητών δεν κατατάχθηκε στην κατηγορία που περιγράφει την επιστημονική άποψη για τη φύση των μοντέλων ή για τον ρόλο των μοντέλων (κατηγορία 3 στην υποενότητα 2.2.1.2).

4.4.4 Ανάλυση έργων της ημιδομημένης κλινικής συνέντευξης

Στην ενότητα αυτή θα περιγράψουμε τα έργα της ημιδομημένης κλινικής συνέντευξης, τα οποία χρησιμοποιήθηκαν τόσο στην πιλοτική όσο και στην κανονική εφαρμογή, καθώς και τις αντίστοιχες κατηγορίες στις οποίες κατατάχθηκαν οι απαντήσεις των μαθητών. Τα έργα της συνέντευξης αφορούν: α) στη διαφοροποίηση

της πυκνότητας από το βάρος, β) στην κατανόηση της Στρατηγικής Ελέγχου Μεταβλητών, και γ) στην κατανόηση στοιχείων της φύσης και του ρόλου των μοντέλων (Πίνακας 4.3 και Παράρτημα Β.3). Δε συμπεριλαμβάνονται έργα αξιολόγησης των ερμηνειών των φαινομένων Π/Β, γιατί θεωρήθηκε ότι τα έργα των γραπτών ερωτηματολογίων προσφέρουν επαρκείς πληροφορίες σχετικά με αυτήν την περιοχή μάθησης, όπως φαίνεται και στον πίνακα 4.2. Αντίθετα, τα έργα των γραπτών ερωτηματολογίων αξιολογούν μεν την κατανόηση της έννοιας της πυκνότητας ως ιδιότητας του υλικού, αλλά δεν αξιολογούν τη διαφοροποίηση της έννοιας της πυκνότητας από την έννοια του βάρους. Για τον λόγο αυτό, εισάγουμε στη συνέντευξη τα έργα ΠΥΚ4 έως και ΠΥΚ9. Επίσης, τα έργα ΣΕΜ3α έως και ΣΕΜ6β αφορούν καταρχήν στην επιβεβαίωση της αξιολόγησης της κατανόησης της μεθόδου Στρατηγικής Ελέγχου Μεταβλητών που έγινε με τα γραπτά ερωτηματολόγια, αφού πολύ συχνά οι μαθητές δυσκολεύονται να εκφραστούν στο γραπτό λόγο, ειδικά όταν πρόκειται για διαδικαστική γνώση που δεν την διαπραγματεύονται συχνά στην τάξη. Επίσης, αφορούν στην αξιολόγηση της *επεκτασιμότητας* της μάθησης, με τον έλεγχο της εφαρμογής της μεθόδου σε νέα πλαίσια. Τέλος, τα έργα Μ5 και Μ6 χρησιμοποιούνται για λόγους επιβεβαίωσης και εμπάθυνσης της αξιολόγησης, που έγινε με τα γραπτά ερωτηματολόγια, σχετικά με την κατανόηση της φύσης και του ρόλου των μοντέλων.

Θεωρούμε ότι οι μαθητές κατά τη διάρκεια διαδικασιών αξιολόγησης, ιδιαίτερα μάλιστα όταν αυτή έχει τη μορφή της προφορικής συνέντευξης, βρίσκονται σε μια διαδικασία μάθησης και άρα πιθανής μεταβολής της άποψής τους για το εξεταζόμενο θέμα. Με βάση το παραπάνω σκεπτικό, κατά την ανάλυση των απαντήσεων στη συνέντευξη, κατατάσσουμε τους μαθητές στην κατηγορία στην οποία αντιστοιχεί η αρχική τους απάντηση, λαμβάνοντας όμως υπόψη και την τυχόν πορεία βελτίωσης που θα υπάρξει κατά τη διάρκεια της συνέντευξης, μετά από υποβοηθητικές ερωτήσεις. Οι μαθητές αυτοί που θα παρουσιάσουν βελτίωση και θα δώσουν τελικά απάντηση που προσεγγίζει την επιθυμητή γνώση, στους αντίστοιχους πίνακες κατανομής των απαντήσεων των μαθητών, π.χ. στην ενότητα 5.2.3.β, καταγράφονται μέσα σε παρενθέσεις. Παρακάτω, παρουσιάζονται αναλυτικά τα έργα της συνέντευξης και οι αντίστοιχες κατηγορίες των απαντήσεων των μαθητών.

4.4.4.α Έργα αξιολόγησης της διαφοροποίησης των εννοιών του βάρους και της πυκνότητας στο ερωτηματολόγιο της ημιδομημένης συνέντευξης

Με τα έργα ΠΥΚ4 έως και ΠΥΚ9 (Πίνακας 4.3 και Παράρτημα Β.3) αξιολογούμε εάν οι μαθητές διαφοροποιούν την έννοια της πυκνότητας από την έννοια του βάρους. Ο ρόλος των πρώτων τεσσάρων έργων, ΠΥΚ4, ΠΥΚ5, ΠΥΚ6 και ΠΥΚ7 είναι διπτός. Πρώτον, να προετοιμάσουν τον μαθητή προκειμένου να εργαστεί στα έργα ΠΥΚ8 και ΠΥΚ9, και δεύτερον, να προσφέρουν τις πρώτες ενδείξεις σχετικά με τη διαφοροποίηση ή όχι της πυκνότητας από το βάρος. Στα έργα ΠΥΚ4 και ΠΥΚ5, ζητείται από τους μαθητές να συγκρίνουν τα βάρη δύο κύβων από το ίδιο υλικό (ξύλο ή σίδηρο αντίστοιχα) που έχουν διαφορετικό μέγεθος. Οι μαθητές αναμένεται να απαντήσουν σωστά στα έργα αυτά, δηλαδή ότι ο μεγαλύτερος κύβος έχει και μεγαλύτερο βάρος. Στα επόμενα δύο έργα, ΠΥΚ6 και ΠΥΚ7, ζητείται από τους μαθητές να συγκρίνουν τις πυκνότητες των ίδιων κύβων. Οι μαθητές που έχουν την εκτατική άποψη για την πυκνότητα, δηλαδή ότι η πυκνότητα εξαρτάται από το μέγεθος του κύβου, αναμένεται να απαντήσουν πως ο μεγάλος κύβος έχει μεγαλύτερη πυκνότητα από τον μικρό κύβο, παρέχοντας μια πρώτη ένδειξη ότι δε διαφοροποιούν την έννοια της πυκνότητας από την έννοια του βάρους (Smith et al., 1992). Εάν οι μαθητές απαντήσουν ότι οι πυκνότητες των αντικειμένων είναι ίδιες «γιατί αποτελούνται από το ίδιο υλικό» ή «γιατί δεν έχει σημασία το μέγεθος», θα έχουμε τις πρώτες ενδείξεις ότι ο μαθητής αυτός διαφοροποιεί την πυκνότητα και το βάρος (Φασουλόπουλος, 2000). Στο έργο ΠΥΚ8, ζητείται από τους μαθητές να συγκρίνουν το βάρος ενός κύβου από φελλό με το βάρος δύο ξύλινων κύβων, ενός μικρότερου και ενός μεγαλύτερου από τον κύβο από φελλό. Επίσης, τους ζητείται να προτείνουν μια διαδικασία προκειμένου να ελέγξουν εάν η πρόβλεψή τους είναι σωστή, έχοντας τη δυνατότητα να επιλέξουν, σε εικονικό περιβάλλον, μια ζυγαριά ισορροπίας, ένα δοχείο με νερό ή και τα δύο. Τέλος, στο έργο ΠΥΚ9, οι μαθητές καλούνται να συγκρίνουν την πυκνότητα του κύβου από φελλό με την πυκνότητα του καθενός από τους δύο ξύλινους κύβους. Στη συνέχεια, καλούνται να προτείνουν μια διαδικασία προκειμένου να ελέγξουν εάν η πρόβλεψή τους είναι σωστή, έχοντας τη δυνατότητα να επιλέξουν τη ζυγαριά, το δοχείο με το νερό ή και τα δύο. Στην περίπτωση που οι μαθητές αναγνωρίσουν ότι για να συγκρίνουν τα βάρη των κύβων θα πρέπει να χρησιμοποιήσουν τη ζυγαριά ισορροπίας ενώ για να συγκρίνουν τις πυκνότητες των κύβων θα πρέπει να χρησιμοποιήσουν το δοχείο με το νερό, θα έχουμε επιπλέον ενδείξεις ότι οι μαθητές αυτοί διαφοροποιούν την πυκνότητα από το βάρος (Smith et al., 1992). Σε οποιαδήποτε άλλη περίπτωση, θεωρούμε ότι οι

μαθητές δε διακρίνουν τις δύο έννοιες. Με βάση τα παραπάνω, οι μαθητές κατηγοριοποιούνται σε δύο κατηγορίες όπως περιγράφονται παρακάτω. Στην κατηγορία 1, κατατάσσουμε τους μαθητές που: α) συγκρίνουν το βάρος, δύο αντικειμένων από το ίδιο υλικό, με βάση το μέγεθός τους (έργα ΠΥΚ4 και ΠΥΚ5), β) συγκρίνουν την πυκνότητα αντικειμένων με βάση το υλικό από το οποίο είναι φτιαγμένα (έργα ΠΥΚ6 και ΠΥΚ7) και γ) χρησιμοποιούν τη ζυγαριά για να συγκρίνουν βάρη και το δοχείο με το νερό για να συγκρίνουν πυκνότητες (έργα ΠΥΚ8 και ΠΥΚ9). Στην κατηγορία 0 κατατάσσουμε τους μαθητές που: α) συγκρίνουν τόσο το βάρος όσο και την πυκνότητα δύο αντικειμένων από το ίδιο υλικό, με βάση το μέγεθός τους, ή/και β) χρησιμοποιούν είτε τη ζυγαριά είτε το δοχείο με το νερό ανεξάρτητα εάν είναι να συγκρίνουν πυκνότητες ή βάρη αντικειμένων. Ταυτόχρονα, καταγράφουμε τους μαθητές εκείνους οι οποίοι παρουσιάζουν βελτίωση κατά τη διάρκεια της συνέντευξης, και από την κατηγορία 0 μεταβαίνουν στην κατηγορία 1, μετά από υποβοηθητικές ερωτήσεις. Συνοπτικά οι δύο κατηγορίες που συναντούμε στις συνεντεύξεις είναι οι εξής: α) κατηγορία 1: διαφοροποίηση της πυκνότητας από το βάρος, και β) κατηγορία 0: μη διαφοροποίηση της πυκνότητας από το βάρος. Χαρακτηριστικά αποσπάσματα από τις συνεντεύξεις, για κάθε κατηγορία, παρατίθενται στην ενότητα 5.2.2.β, για την πιλοτική εφαρμογή, και 5.4.2.β για την κανονική εφαρμογή.

4.4.4.β Έργα αξιολόγησης της κατανόησης της Στρατηγικής Ελέγχου Μεταβλητών στο ερωτηματολόγιο της ημιδομημένης συνέντευξης

Με τα έργα ΣΕΜ3α έως και ΣΕΜ6β (Πίνακας 4.3 και Παράρτημα Β.3) αξιολογούμε την κατανόηση της μεθόδου της Στρατηγικής Ελέγχου Μεταβλητών με την εφαρμογή της σε ένα πρόβλημα που έχει διδαχθεί, καθώς και τη μεταφορά της γνώσης αυτής με την εφαρμογή της σε ένα πρόβλημα που δεν έχει διδαχθεί. Πιο συγκεκριμένα, με τα έργα ΣΕΜ3α και ΣΕΜ4α διερευνούμε εάν οι μαθητές μπορούν να περιγράψουν ένα πείραμα με το οποίο να ελέγξουν εάν το σχήμα του αντικειμένου, μια μεταβλητή που την έχουν ελέγξει στο μάθημα, αλλά και το υλικό του δοχείου, μία μεταβλητή που δεν την έχουν ελέγξει, επηρεάζει το φαινόμενο της Π/Β (Boudreaux et al., 2008, Chen & Klahr, 1999, Dean & Kuhn, 2007). Είναι προφανές, ότι η αλλαγή στην προσέγγιση της αξιολόγησης της κατανόησης της ΣΕΜ, όπως περιγράφηκε στην ενότητα 4.4.3.γ, επηρέασε τα αντίστοιχα έργα της συνέντευξης, και εφαρμόστηκε σε αυτά, ήδη από την πιλοτική εφαρμογή.

Επίσης, με τα έργα ΣΕΜ5α και ΣΕΜ6α, διερευνούμε εάν οι μαθητές μπορούν να μεταφέρουν αυτήν την αποκτηθείσα γνώση σε άλλο πλαίσιο από αυτό που διδάχθηκαν. Συγκεκριμένα, τους ζητείται να περιγράψουν ένα πείραμα με το οποίο να ελέγξουν εάν το βάρος ενός αντικειμένου, καθώς και το είδος της επιφάνειας, επηρεάζουν το φαινόμενο της τριβής (Schwarz & White, 2005, Ραβάνης, 1999). Ταυτόχρονα, με τα έργα ΣΕΜ3β, ΣΕΜ4β, ΣΕΜ5β και ΣΕΜ6β διερευνούμε εάν οι μαθητές μπορούν να περιγράψουν τον τρόπο με τον οποίο θα καταλήξουν σε συμπέρασμα, σε κάθε ένα από τα έργα ΣΕΜ3α, ΣΕΜ4α, ΣΕΜ5α και ΣΕΜ6α, αντίστοιχα. Οι απαντήσεις των μαθητών, σχετικά με τον έλεγχο μιας μεταβλητής καθώς και σχετικά με τον συμπερασμό, ομαδοποιήθηκαν στις ίδιες κατηγορίες με τις απαντήσεις στα έργα των γραπτών ερωτηματολογίων (ενότητα 4.4.2.γ). Χαρακτηριστικά αποσπάσματα από τις συνεντεύξεις, για κάθε κατηγορία, παρατίθενται στην ενότητα 5.2.3.β, για την πιλοτική εφαρμογή, και 5.4.3.β για την κανονική εφαρμογή.

4.4.4.γ Έργα αξιολόγησης της κατανόησης της φύσης και του ρόλου των μοντέλων στο ερωτηματολόγιο της ημιδομημένης συνέντευξης

Με τα έργα Μ5 και Μ6 αξιολογούμε την κατανόηση στοιχείων της φύσης και του ρόλου των μοντέλων, χρησιμοποιώντας ένα μοντέλο που έχει μεγάλο βαθμό αφαίρεσης αλλά διδάχθηκε και ένα που έχει μικρότερο βαθμό αφαίρεσης και δε διδάχθηκε. Πιο αναλυτικά, με το έργο Μ5 επιδιώκεται να αναδειχθεί εάν οι μαθητές αποδέχονται ότι το διδαχθέν οπτικό μοντέλο «τελίτσες-στο-κυβάκι» της πυκνότητας είναι ένα μοντέλο, καθώς επίσης και αν αναφέρονται στον επεξηγηματικό και προβλεπτικό του ρόλο στις ερμηνείες φαινομένων Π/Β.

Με το έργο Μ6 επιδιώκεται να αναδειχθεί εάν οι μαθητές αποδέχονται ότι ένα οπτικό μοντέλο του κύκλου του νερού, που δεν έχει διδαχθεί στην παρέμβαση, είναι μοντέλο, καθώς και αν αναγνωρίζουν τα συστατικά του στοιχεία (αντικείμενα, διαδικασίες και αλληλεπιδράσεις μεταξύ τους). Επιπλέον, γίνεται έλεγχος εάν οι μαθητές αναφέρονται στον επεξηγηματικό του ρόλο και τον ρόλο του ως μέσου μεταφοράς πληροφοριών (Papaenripidou et al., 2007, Schwarz & White, 2005). Τέλος, εάν το θεωρούν απαραίτητο, καλούνται να το βελτιώσουν.

Σε κάθε ένα από τα δύο έργα, διερευνούμε, καταρχήν, εάν οι μαθητές αναγνωρίζουν ότι η συγκεκριμένη κατασκευή είναι ένα μοντέλο, θεωρώντας ότι η αναγνώριση αυτή αποτελεί ένδειξη για την άποψη των μαθητών περί της φύσης των μοντέλων

(Papaenripidou et al., 2007). Στην περίπτωση του μοντέλου του κύκλου του νερού πραγματοποιείται η συζήτηση σχετικά με τα συστατικά στοιχεία από τα οποία αποτελείται με ερωτήσεις όπως «ποια νομίζεις ότι είναι τα συστατικά στοιχεία από τα οποία αποτελείται και γιατί αποτελείται από αυτά;». Στην κατηγορία 1, κατατάσσονται οι μαθητές που αναφέρουν από μόνοι τους ότι η κατασκευή είναι ένα μοντέλο και ως συστατικά στοιχεία του μοντέλου εκτός από αντικείμενα αναφέρουν και διαδικασίες ή/και αλληλεπιδράσεις. Στην κατηγορία 0, κατατάσσονται οι μαθητές που δεν ονομάζουν αυθόρμητα την κατασκευή μοντέλο ή σε ερώτηση του ερευνητή δηλώνουν ότι η κατασκευή δεν είναι μοντέλο και ως συστατικά στοιχεία του μοντέλου αναφέρουν μόνο αντικείμενα. Στη συνέχεια, πραγματοποιείται η συζήτηση γύρω από τον ρόλο του μοντέλου, με ερωτήματα του τύπου «ποια νομίζεις ότι είναι η χρήση/χρησιμότητα της κατασκευής αυτής;». Στην κατηγορία 1, κατατάσσονται οι μαθητές που αναγνωρίζουν το μοντέλο ως ένα εργαλείο για την ερμηνεία ή/και την πρόβλεψη ενός φαινομένου. Στην κατηγορία 0, κατατάσσονται οι μαθητές που αναγνωρίζουν σε ένα μοντέλο τον ρόλο να αναπαριστά κάποια αντικείμενα όπως είναι στην πραγματικότητα. Οι κατηγορίες αυτές είναι αντίστοιχες των κατηγοριών 2 και 1 που περιγράφονται στην ανακεφαλαίωση της υποενότητας «2.2.1.2 *Ιδέες των μαθητών για τη φύση και τον ρόλο των μοντέλων*», ενώ παρατηρούμε ότι καμία απάντηση των μαθητών δεν κατατάχθηκε στην κατηγορία που περιγράφει την επιστημονική άποψη για τη φύση των μοντέλων ή για τον ρόλο των μοντέλων (κατηγορία 3).

Χαρακτηριστικά αποσπάσματα από τις συνεντεύξεις, για κάθε κατηγορία, παρατίθενται στην ενότητα 5.2.4.β για την πιλοτική εφαρμογή και 5.4.4.β για την κανονική εφαρμογή.

5 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

5.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας. Πιο συγκεκριμένα παρουσιάζονται: α) τα αποτελέσματα από την ανάλυση των απαντήσεων των μαθητών στα γραπτά ερωτηματολόγια και την ημιδομημένη συνέντευξη, τόσο στην πιλοτική (ενότητα 5.2) όσο και στην κανονική εφαρμογή (ενότητα 5.4), β) οι βελτιωτικές αλλαγές στη ΔΜΣ από την πιλοτική στην κανονική φάση εφαρμογής της (ενότητα 5.3), γ) η σύγκριση των αποτελεσμάτων μεταξύ πιλοτικής και κανονικής εφαρμογής για τον έλεγχο της βελτίωσης της ΔΜΣ (ενότητα 5.5), δ) τα αποτελέσματα από την ποσοτική ανάλυση των δεδομένων με την στατιστική τεχνική της Ανάλυσης Διαδρομών (Path Analysis) (ενότητα 5.6) και ε) τρεις περιπτώσεις μαθησιακών μονοπατιών, τα αντίστοιχα τεκμήρια μάθησης και οι παράγοντες που επηρέασαν τη μάθηση (ενότητα 5.7).

5.2 Αποτελέσματα σχετικά με τη μάθηση στην πιλοτική εφαρμογή

Στην ενότητα αυτή θα παρουσιάσουμε τα αποτελέσματα από την ανάλυση των απαντήσεων των μαθητών στο πριν, ενδιάμεσο, μετά και επτά μήνες μετά τη διδασκαλία της πιλοτικής εφαρμογής γραπτό ερωτηματολόγιο, καθώς και τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τις ατομικές ημιδομημένες συνεντεύξεις, που πραγματοποιήθηκαν δύο βδομάδες μετά την παρέμβαση, στο σύνολο των μαθητών της πιλοτικής εφαρμογής.

Τα αποτελέσματα των γραπτών ερωτηματολογίων παρουσιάζονται ανά περιοχή μάθησης και ανά έργο. Η ανάγνωση των πινάκων γίνεται οριζόντια για να αντιληφθούμε καλύτερα την εξέλιξη των απόψεων των μαθητών με τον χρόνο.

Τα αποτελέσματα από την ανάλυση των μεταγραφών των συνεντεύξεων παρουσιάζονται ανά περιοχή μάθησης, με χαρακτηριστικά αποσπάσματα και σχετικά σχόλια που αιτιολογούν την κατάταξη ενός μαθητή σε κάθε κατηγορία απαντήσεων. Όπου υπάρχουν αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης για τον έλεγχο στατιστικής σημαντικότητας στη μεταβολή της γνωστικής κατάστασης των μαθητών είναι αποτελέσματα ανάλυσης Wilcoxon.

5.2.1 Αποτελέσματα σχετικά με τις ερμηνείες για την πλεύση και τη βύθιση στην πιλοτική εφαρμογή

5.2.1.α Αποτελέσματα από τα γραπτά ερωτηματολόγια στην πιλοτική εφαρμογή

Έργο ΠΒ1α Ερμηνεία της Π/Β ενός σωσιβίου στην πιλοτική εφαρμογή

Στο έργο ΠΒ1α (Πίνακας 4.2 και Παράρτημα Β.2) ζητείται από τους μαθητές να επιλέξουν εάν ένα σωσίβιο επιπλέει ή βυθίζεται και στη συνέχεια να αιτιολογήσουν την επιλογή τους. Όπως αναμέναμε, όλοι οι μαθητές επέλεξαν σωστά ότι το σωσίβιο επιπλέει. Αντίθετα, η ερμηνεία της επιλογής αυτής ποικίλλει.

Πίνακας 5.2.1 Απόψεις των μαθητών στο έργο ΠΒ1α σχετικά με την Π/Β ενός σωσιβίου

Κατηγορίες	ΠρινΕΠ	ΜετάΕΠ	ΜΜετάΕΠ
3: σύγκριση πυκνοτήτων	0	4	1
2: αναφορά στο υλικό ή/και στο βάρος	9 (0)	6 (1)	8 (2)
1: αναφορά στο βάρος	0	1	1
0: τελεολογικές	3	1	2
Σύνολο	12	12	12

Στον πίνακα 5.2.1 παρατηρούμε ότι στην κατηγορία 3 κατατάχθηκαν μηδέν μαθητές πριν, τέσσερις μετά την παρέμβαση και μόνο ένας μαθητής επτά μήνες μετά την παρέμβαση. Χαρακτηριστική απάντηση στην κατηγορία αυτή είναι «*πλέει, γιατί είναι φουσκωμένο με αέρα και ο αέρας έχει μικρότερη πυκνότητα από αυτή του νερού*», δηλαδή παρατηρούμε ότι οι μαθητές αυτοί εκτός από τη σύγκριση πυκνοτήτων αναφέρουν και το υλικό του αντικειμένου. Στην κατηγορία 2 κατατάχθηκαν εννέα μαθητές από τους δώδεκα πριν, έξι μετά και οκτώ μαθητές επτά μήνες μετά την παρέμβαση, επειδή αναφέρονται στο υλικό από το οποίο, κατά κύριο λόγο, αποτελείται το σωσίβιο, δηλαδή τον αέρα. Χαρακτηριστική απάντηση είναι «*πλέει γιατί έχει αέρα*». Στην κατηγορία 2 κατατάξαμε και τις λίγες απαντήσεις που αναφέρονται τόσο στο υλικό του αντικειμένου όσο και στο βάρος του υλικού από το οποίο αποτελείται, για τους λόγους που περιγράφονται στην ενότητα 4.4.2.α. Χαρακτηριστική απάντηση είναι «*πλέει, είναι πλαστικό και είναι γεμισμένο με αέρα και επειδή ο αέρας είναι πιο ελαφρύς από το νερό*». Ο αριθμός αυτών των απαντήσεων

φαίνεται στον πίνακα 5.2.1 στις παρενθέσεις. Στην κατηγορία 1 κατατάχθηκαν μηδέν από τους δώδεκα μαθητές πριν, ένας μετά και ένας μαθητής επτά μήνες μετά την παρέμβαση. Χαρακτηριστική απάντηση είναι «πλέει γιατί είναι πολύ ελαφρύ». Τέλος, στην κατηγορία 0 κατατάχθηκαν τρεις μαθητές πριν, ένας μετά και δύο από τους δώδεκα μαθητές επτά μήνες μετά την παρέμβαση. Χαρακτηριστική απάντηση είναι «πλέει για να σώζει τους ανθρώπους».

Παρατηρούμε ότι πριν την παρέμβαση οι περισσότεροι μαθητές κατατάσσονται στην κατηγορία 2 και ότι μετά την παρέμβαση υπάρχει βελτίωση στις απαντήσεις των μαθητών. Σημειώνουμε εδώ ότι όλοι οι μαθητές που κατάφεραν να κάνουν σύγκριση πυκνοτήτων για την ερμηνεία του φαινομένου αναφέρονται ταυτόχρονα και στο υλικό του αντικειμένου, που σημαίνει ότι η διαισθητική άποψη αιτιολόγησης της Π/Β με βάση το υλικό του αντικειμένου είναι ακόμη ισχυρή. Επίσης, επτά μήνες μετά την παρέμβαση η κατάσταση επανέρχεται περίπου σε αυτήν που υπήρχε και πριν την παρέμβαση. Εξάλλου, η βελτίωση στις απόψεις των μαθητών μετά την παρέμβαση είναι στατιστικά σημαντική ($z=2.333$, $p=.020$), αλλά δε διατηρείται επτά μήνες μετά την παρέμβαση, επειδή η μεταβολή από το ΜετάΕΠ στο ΜΜετάΕΠ ερωτηματολόγιο είναι επίσης στατιστικά σημαντική ($z=1.89$, $p=.059$).

Έργο ΠΒ1β Ερμηνεία της Π/Β μιας άγκυρας στην πιλοτική εφαρμογή

Στο έργο ΠΒ1β (Πίνακας 4.2 και Παράρτημα Β.2), ζητείται από τους μαθητές να επιλέξουν εάν μια άγκυρα επιπλέει ή βυθίζεται και στη συνέχεια να αιτιολογήσουν την επιλογή τους. Όπως αναμέναμε όλοι οι μαθητές επέλεξαν σωστά πως η άγκυρα βυθίζεται. Αντίθετα, η ερμηνεία της επιλογής αυτής ποικίλλει.

Στον πίνακα 5.2.2 παρατηρούμε ότι στην κατηγορία 3 κατατάχθηκαν μηδέν μαθητές πριν, τέσσερις μαθητές μετά και ένας μαθητής επτά μήνες μετά την παρέμβαση. Χαρακτηριστική απάντηση είναι «*Βυθίζεται γιατί έχει περισσότερη πυκνότητα από το νερό*» αλλά και «*γιατί η άγκυρα είναι φτιαγμένη από σίδερο και επειδή η πυκνότητά της είναι μεγαλύτερη από του νερού*», με παρόμοια συχνότητα εμφάνισης. Στην κατηγορία 2 κατατάχθηκαν δύο μαθητές πριν, τρεις μαθητές μετά και πέντε μαθητές επτά μήνες μετά την παρέμβαση. Χαρακτηριστική απάντηση είναι «*Βυθίζεται γιατί είναι από σίδερο*». Στην κατηγορία 2 κατατάξαμε και τις απαντήσεις που αναφέρονται τόσο στο υλικό του αντικειμένου όσο και στο βάρος του υλικού από το οποίο αποτελείται. Χαρακτηριστική απάντηση είναι «*Βυθίζεται γιατί είναι από σίδερο και το σίδερο είναι βαρύ*». Ο αριθμός αυτών των απαντήσεων φαίνεται στον πίνακα

5.2.2 στις παρεμβάσεις. Στην κατηγορία 1 κατατάχθηκαν εννιά μαθητές πριν, τέσσερις μετά και πέντε μαθητές επτά μήνες μετά την παρέμβαση. Χαρακτηριστική απάντηση είναι «*Βυθίζεται γιατί είναι βαριά*». Τέλος, στην κατηγορία 0 κατατάχθηκε ένας από τους δώδεκα μαθητές πριν, ένας μετά και ένας μαθητής επτά μήνες μετά την παρέμβαση. Χαρακτηριστική απάντηση είναι «*Βυθίζεται για να μένει το πλοίο σταθερό*».

Πίνακας 5.2.2 Απόψεις των μαθητών στο έργο ΠΒ1β σχετικά με την Π/Β μιας άγκυρας

Κατηγορίες	ΠρινΕΠ	ΜετάΕΠ	ΜΜετάΕΠ
3: σύγκριση πυκνοτήτων	0	4	1
2: αναφορά στο υλικό ή/και στο βάρος	2 (2)	3 (2)	5 (3)
1: αναφορά στο βάρος	9	4	5
0: τελεολογικές	1	1	1
Σύνολο	12	12	12

Παρατηρούμε ότι πριν την παρέμβαση, οι εννιά από τους δώδεκα μαθητές απαντούν διαισθητικά αναφερόμενοι στο βάρος του αντικειμένου. Σταδιακά, οι μαθητές που απαντούν με αυτόν τον τρόπο μειώνονται φτάνοντας στο ΜΜετάΕΠ να είναι λιγότεροι από τους μισούς. Επίσης, παρατηρούμε ότι τέσσερις μαθητές κατορθώνουν να χρησιμοποιήσουν το ερμηνευτικό νοητικό μοντέλο της σύγκρισης των πυκνοτήτων στο ΜετάΕΠ ερωτηματολόγιο και μόνο ένας στο ΜΜετάΕΠ. Από τους μαθητές που κάνουν σύγκριση πυκνοτήτων περίπου οι μισοί αναφέρονται και στο υλικό του αντικειμένου, γεγονός που δείχνει ότι η διαισθητική άποψη αιτιολόγησης της Π/Β με βάση το υλικό του αντικειμένου είναι ακόμη σχετικά ισχυρή, όπως φάνηκε σε μεγαλύτερο βαθμό και στο έργο ΠΒ1α. Εξάλλου, η βελτίωση στις απόψεις των μαθητών μετά την παρέμβαση είναι στατιστικά σημαντική ($z=2.121$, $p=.034$), αλλά δε διατηρείται επτά μήνες μετά την παρέμβαση αφού η μεταβολή από το μετά στο ΜΜετάΕΠ ερωτηματολόγιο είναι επίσης στατιστικά σημαντική ($z=2.00$, $p=.046$).

Έργο ΠΒ2 Ερμηνεία της Π/Β μιας μπάλας από πλαστελίνη στην πιλοτική εφαρμογή

Στο έργο ΠΒ2 (Πίνακας 4.2 και Παράρτημα Β.2) ζητείται από τους μαθητές να αλλάξουν ένα χαρακτηριστικό στο σύστημα «*μπάλα από πλαστελίνη βυθισμένη σε δοχείο με νερό*» ώστε να κάνουν τη μπάλα να επιπλεύσει. Στον πίνακα 5.2.3,

παρατηρούμε ότι στην κατηγορία 3 κατατάχθηκαν δύο μαθητές επτά μήνες μετά την παρέμβαση. Χαρακτηριστική απάντηση είναι «θα βάλω ένα άλλο υγρό που να έχει περισσότερη πυκνότητα από την μπάλα και έτσι θα επιπλεύσει». Στην κατηγορία 2 κατατάχθηκε ένας μαθητής πριν, τρεις μαθητές μετά και τέσσερις μαθητές επτά μήνες μετά την παρέμβαση. Χαρακτηριστική απάντηση είναι «θα βγάλω την πλαστελίνη και θα βάλω φελλό». Ένας μαθητής εστίασε στο υλικό του υγρού, και όχι του αντικειμένου, γράφοντας «θα τη βύθιζα σε υδράργυρο». Στην κατηγορία 2 κατατάξαμε και μία απάντηση, στο πριν ερωτηματολόγιο, που αναφέρεται τόσο στο υλικό του αντικειμένου όσο και στην ύπαρξη κοιλότητας, δηλαδή «να την κάνουμε πλαστικά και κούφια». Στην κατηγορία 1 κατατάχθηκαν δέκα από τους δώδεκα μαθητές πριν, οκτώ μετά και τέσσερις μαθητές επτά μήνες μετά την παρέμβαση. Χαρακτηριστική απάντηση είναι «να μειώσουν την πλαστελίνη και έτσι θα επιπλεύσει». Τέλος, στην κατηγορία 0 κατατάχθηκε ένας μαθητής πριν, ένας μετά και δύο μαθητές επτά μήνες μετά την παρέμβαση. Χαρακτηριστική απάντηση είναι «θα φτιάξω μια μπάλα από φύλλα δέντρου» ή επίσης «θα προσθέσω και άλλη πλαστελίνη στην μπάλα».

Πίνακας 5.2.3 Απόψεις των μαθητών στο έργο ΠΒ2 σχετικά με την Π/Β μιας μπάλας από πλαστελίνη

Κατηγορίες	ΠρινΕΠ	ΜετάΕΠ	ΜΜετάΕΠ
3: σύγκριση πυκνοτήτων	0	0	2
2: αναφορά στο υλικό ή/και στο βάρος	1	3	4
1: αναφορά στο βάρος	10	8	4
0: άσχετες	1	1	2
Σύνολο	12	12	12

Είναι φανερό, ότι οι περισσότεροι μαθητές στο πριν ερωτηματολόγιο απαντούν αναφερόμενοι στο βάρος του αντικειμένου. Στο ΜετάΕΠ ερωτηματολόγιο υπάρχει μικρή αύξηση των μαθητών που απαντούν αναφερόμενοι στο υλικό (κατηγορία 2) με ταυτόχρονη μείωση των μαθητών που απαντούν αναφερόμενοι στο βάρος (κατηγορία 1), ενώ κανένας δεν απαντά κάνοντας σύγκριση πυκνοτήτων (κατηγορία 3). Στο ΜΜετάΕΠ ερωτηματολόγιο παρατηρούμε ότι δύο μαθητές κατορθώνουν να χρησιμοποιήσουν το ερμηνευτικό νοητικό μοντέλο της σύγκρισης των πυκνοτήτων. Τέλος, η βελτίωση στις απόψεις των μαθητών μετά την παρέμβαση δεν είναι στατιστικά σημαντική ($z=.816, p=.414$).

**Έργο ΠΒ5 Ερμηνεία της Π/Β κύβων με βάση το μοντέλο «τελίτσες-στο-κυβάκι»
στην πιλοτική εφαρμογή**

Στο έργο αυτό (Πίνακας 4.2 και Παράρτημα Β.1) οι μαθητές καλούνται να σχεδιάσουν την τελική θέση δύο κύβων ίδιου όγκου, ενός με λιγότερες τελίτσες και ενός με περισσότερες από τον κύβο του νερού, όταν αυτοί αφεθούν στο νερό, και στη συνέχεια να αιτιολογήσουν την επιλογή τους.

Στον πίνακα 5.2.4 φαίνεται ότι η πλειοψηφία των μαθητών σχεδίασε τα δύο αντικείμενα στη σωστή τους τελική θέση τόσο στο ΜετάΕΠ (δέκα από τους δώδεκα) όσο και στο ΜΜετάΕΠ ερωτηματολόγιο (όλοι οι μαθητές). Επίσης, τα νούμερα στις αγκύλες δηλώνουν τον αριθμό των επιλογών που συνοδεύονται από ερμηνείες με συσχετιστικό αιτιακό συλλογισμό. Φαίνεται ότι, ενώ οι μαθητές που σχεδιάζουν σωστά τις τελικές θέσεις των αντικειμένων αυξάνονται από το ΜετάΕΠ στο ΜΜετάΕΠ ερωτηματολόγιο, οι μαθητές που ταυτόχρονα μπορούν να αιτιολογήσουν σωστά τις επιλογές τους μειώνονται από οκτώ σε έξι.

Πίνακας 5.2.4 Επιλογές – σχέδια των μαθητών στο έργο ΠΒ5 σχετικά με την Π/Β αντικειμένων με βάση το μοντέλο «τελίτσες-στο-κυβάκι»

Κατηγορίες	ΜετάΕΠ	ΜΜετάΕΠ
1: Σωστή επιλογή-σχεδίαση "κύβος Α επιπλέει, κύβος Β βυθίζεται"	10 [8]	12 [6]
0: Λάθος επιλογή-σχεδίαση "κύβος Α βυθίζεται, κύβος Β επιπλέει" ή "και τα δύο επιπλέουν ή βυθίζονται"	2	0
Σύνολο	12	12

Πίνακας 5.2.5 Απόψεις των μαθητών στο έργο ΠΒ5 σχετικά με την Π/Β αντικειμένων με βάση το μοντέλο «τελίτσες-στο-κυβάκι»

Κατηγορίες	ΜετάΕΠ	ΜΜετάΕΠ
1: συσχετιστικός αιτιακός συλλογισμός	8	6
0: γραμμικός αιτιακός συλλογισμός	4	6
Σύνολο	12	12

Στον πίνακα 5.2.5 παρατηρούμε ότι οκτώ από τους δώδεκα μαθητές στο ΜετάΕΠ ερωτηματολόγιο και έξι μαθητές στο ΜΜετάΕΠ δίνουν απαντήσεις που κατατάσσονται στην κατηγορία 1, δηλαδή χρησιμοποιούν συσχετιστικό αιτιακό συλλογισμό για να ερμηνεύσουν την Π/Β των δύο αντικειμένων. Στις περισσότερες απαντήσεις αυτής της κατηγορίας υπάρχει άμεση αναφορά στο υγρό, π.χ. «Το Β

βυθίζεται γιατί είναι με έξι κουκίδες και έχει περισσότερες από το υγρό Γ, ενώ το Α επιπλέει γιατί έχει λιγότερες κουκίδες από το υγρό Γ», ενώ υπάρχουν και ελάχιστες περιπτώσεις όπου η αναφορά στο υγρό είναι έμμεση, π.χ. «Το Α κυβάκι επιπλέει γιατί έχει λιγότερες τελίτσες, δηλαδή έχει μικρότερη πυκνότητα, ενώ το κυβάκι Β βυθίζεται επειδή το κυβάκι έχει περισσότερες τελίτσες, δηλαδή έχει μεγαλύτερη πυκνότητα». Στην κατηγορία 0 κατατάχθηκαν τέσσερις από τους δώδεκα μαθητές μετά και έξι μαθητές επτά μήνες μετά την παρέμβαση. Χαρακτηριστικές απαντήσεις των περισσότερων μαθητών είναι «Ο κύβος που είναι με τα δύο κυκλάκια επιπλέει γιατί έχει λιγότερα κυκλάκια από τον άλλο κύβο» ή «Το Β θα βυθιστεί γιατί είναι βαρύ και το Α θα επιπλέει γιατί είναι ελαφρύ» ενώ υπάρχουν και ορισμένοι μαθητές που δίνουν άσχετες ή μη κατατάξιμες απαντήσεις όπως «το υγρό επιπλέει γιατί έχουν την ίδια πυκνότητα και δεν μπορεί να βυθιστεί». Η μείωση, στην κατηγορία 1, από τους οκτώ στους έξι μαθητές δεν είναι στατιστικά σημαντική ($z=1.00$, $p=.317$). Αυτό σημαίνει ότι οι μαθητές συνεχίζουν, επτά μήνες μετά την παρέμβαση, να χρησιμοποιούν σε σημαντικό βαθμό το μοντέλο «τελίτσες-στο-κυβάκι», όταν αυτό τους δίνεται, στις ερμηνείες τους για την Π/Β.

Έργο ΠΒ6 Ερμηνεία του επιπέδου επίπλευσης κύβων με βάση το μοντέλο «τελίτσες-στο-κυβάκι» στην πιλοτική εφαρμογή

Στο έργο αυτό (Πίνακας 4.2 και Παράρτημα Β.1) οι μαθητές καλούνται να επιλέξουν τις τελικές θέσεις δύο κύβων που έχουν μικρότερη πυκνότητα από αυτή του νερού αλλά ταυτόχρονα έχουν και διαφορετική πυκνότητα μεταξύ τους. Αυτό σημαίνει ότι ο ένας θα επιπλέει λίγο ψηλότερα από τον άλλο. Η σωστή επιλογή είναι ότι ο κύβος Α επιπλέει λίγο πιο πάνω από τον κύβο Β επειδή έχει μικρότερη πυκνότητα. Οι επιλογές των μαθητών στο έργο φαίνονται στον πίνακα 5.2.6. Οι μαθητές που επιλέγουν σωστά μετά την παρέμβαση είναι εννέα στους δώδεκα, ενώ επτά μήνες μετά την παρέμβαση επιλέγουν σωστά όλοι οι μαθητές. Στον πίνακα 5.2.6, σε αγκύλες είναι οι μαθητές που ερμηνεύουν με συσχετιστικό αιτιακό συλλογισμό την επιλογή τους.

Όπως φαίνεται στον πίνακα 5.2.7, οι μαθητές που χρησιμοποιούν συσχετιστικό αιτιακό συλλογισμό στο ΜετάΕΠ ερωτηματολόγιο είναι οι οκτώ από τους δώδεκα ενώ στο ΜΜετάΕΠ ερωτηματολόγιο μειώνονται στους έξι από τους δώδεκα. Στις περισσότερες απαντήσεις αυτής της κατηγορίας υπάρχει άμεση αναφορά στο υγρό,

π.χ. «(επιλέγει σωστά 'το A ψηλότερα από το B') Το υγρό έχει 4 τελείες. Ο κύβος A έχει 2 τελείες και ο κύβος Γ 3 τελείες. Και τα δύο επιπλέουν στο υγρό, αλλά αφού ο κύβος A έχει λιγότερες τελείες από τον B θα είναι λίγο πιο πάνω από τον B αφού είναι πιο ελαφρύς», ενώ υπάρχουν και ελάχιστες περιπτώσεις όπου η αναφορά στο υγρό είναι έμμεση, π.χ. «(επιλέγει σωστά 'το A ψηλότερα από το B') Σωστή η 3 γιατί 2 τελίτσες είναι μικρότερη πυκνότητα και θα πλέει και 3 τελίτσες είναι μικρότερη πυκνότητα και πάλι θα πλέει χαμηλότερα». Επίσης, ένας από τους οκτώ μαθητές στο ΜετάΕΠ ερωτηματολόγιο, ενώ χρησιμοποιεί συσχετιστικό αιτιακό συλλογισμό δεν μπορεί να αντιληφθεί το διαφορετικό επίπεδο επίπλευσης των αντικειμένων, δίνοντας την εξής απάντηση «Σωστή η 1 γιατί και οι δύο κύβοι θα επιπλεύσουν γιατί έχουν μικρότερη πυκνότητα από την πυκνότητα του υγρού».

Πίνακας 5.2.6 Επιλογές των μαθητών στο έργο ΠΒ6 σχετικά με το επίπεδο επίπλευσης με βάση το μοντέλο «τελίτσες-στο-κυβάκι»

Κατηγορίες	ΜετάΕΠ	ΜΜετάΕΠ
1: Σωστή επιλογή "Α ψηλότερα από Β"	9 [7]	12 [6]
0: Λάθος επιλογή "στο ίδιο ύψος"	1 [1]	0
0: Λάθος επιλογή "Β ψηλότερα από Α"	2	0
Σύνολο	12	12

Πίνακας 5.2.7 Απόψεις των μαθητών στο έργο ΠΒ6 σχετικά με το επίπεδο επίπλευσης με βάση το μοντέλο «τελίτσες-στο-κυβάκι»

Κατηγορίες	ΜετάΕΠ	ΜΜετάΕΠ
1: συσχετιστικός αιτιακός συλλογισμός	8	6
0: γραμμικός αιτιακός συλλογισμός	4	6
Σύνολο	12	12

Στην κατηγορία 0 κατατάχθηκαν τέσσερις από τους δώδεκα μαθητές μετά, και έξι μαθητές επτά μήνες μετά την παρέμβαση. Χαρακτηριστικές απαντήσεις, με περίπου ίδια συχνότητα εμφάνισης, είναι «(επιλέγει σωστά 'το A ψηλότερα από το B') Σωστή η 3, ο κύβος με τα δύο κυκλάκια επιπλέει γιατί έχει λιγότερους από τον άλλο κύβο και ο άλλος σχεδόν βυθίζεται» ή «(επιλέγει σωστά 'το A ψηλότερα από το B') Γιατί το ελαφρύτερο επιπλέει και το άλλο βυθίζεται» ή «(επιλέγει λάθος 'το B ψηλότερα από το A') Σωστή η 2 γιατί πιστεύω ότι στο δεύτερο υγρό θα κρατήσει τα τετραγωνάκια στην επιφάνεια». Η μείωση, στην κατηγορία 1, από τους οκτώ στους έξι μαθητές δεν είναι στατιστικά σημαντική ($z=1.00$, $p=.317$). Αυτό σημαίνει ότι οι μαθητές συνεχίζουν

να χρησιμοποιούν σε σημαντικό βαθμό το μοντέλο «τελίτσες-στο-κυβάκι» στις ερμηνείες τους για την Π/Β, όταν αυτό τους δίνεται.

Έργο ΠΒ7α Χρήση Π/Β για τη σύγκριση πυκνοτήτων στην πιλοτική εφαρμογή

Στο έργο ΠΒ7α (Πίνακας 4.2 και Παράρτημα Β.2) οι μαθητές καλούνται να επιλέξουν εάν μια πρόταση στην οποία συγκρίνεται η πυκνότητα ενός μικρού κύβου που είναι βυθισμένος και ενός μεγάλου κύβου που επιπλέει, είναι σωστή ή λάθος. Σε έργα, όπως το συγκεκριμένο, στα οποία οι μαθητές είχαν να επιλέξουν μεταξύ συγκεκριμένων απαντήσεων παρατηρήθηκε ότι η επιλογή τους ήταν σε ελάχιστες περιπτώσεις 'ΔΞ', δηλαδή 'Δεν Ξέρω'. Με βάση την παραπάνω παρατήρηση, οι επιλογές των μαθητών κατατάχθηκαν σε δύο κατηγορίες, τις Σωστές (κατηγορία 1) και τις Λάθος (κατηγορία 0), όπου στην κατηγορία 0 κατατάχθηκαν όλες οι άλλες επιλογές εκτός από τη σωστή.

Πίνακας 5.2.8 Επιλογές των μαθητών στο έργο ΠΒ7α σχετικά με τη χρήση Π/Β για τη σύγκριση πυκνοτήτων

Κατηγορίες	ΜετάΕΠ	ΜΜετάΕΠ
1: Σωστή επιλογή "Η πρόταση είναι Λάθος"	8	10
0: Λάθος επιλογή "Η πρόταση είναι Σωστή" ή "Δεν Ξέρω"	4	2
Σύνολο	12	12

Όπως φαίνεται στον πίνακα 5.2.8 οι σωστές επιλογές, δηλαδή ότι η πρόταση είναι λάθος, στο ΜετάΕΠ και το ΜΜετάΕΠ ερωτηματολόγιο είναι σταθερά περισσότερες από τις μισές. Πιο συγκεκριμένα, οι μαθητές αυτοί είναι οκτώ από τους δώδεκα στο ΜετάΕΠ, και δέκα από τους δώδεκα μαθητές στο ΜΜετάΕΠ ερωτηματολόγιο.

Πίνακας 5.2.9 Απόψεις των μαθητών στο έργο ΠΒ7α σχετικά με τη χρήση Π/Β για τη σύγκριση πυκνοτήτων

Κατηγορίες	ΜετάΕΠ	ΜΜετάΕΠ
1: Χρήση της Π/Β για τη σύγκριση πυκνοτήτων	7	8
0: Μη χρήση της Π/Β για τη σύγκριση πυκνοτήτων	5	4
Σύνολο	12	12

Στον πίνακα 5.2.9 φαίνονται οι κατηγορίες των αιτιολογήσεων των επιλογών. Στην κατηγορία 1 κατατάχθηκαν επτά από τους δώδεκα μαθητές μετά, και οκτώ μαθητές επτά μήνες μετά την παρέμβαση. Χαρακτηριστική απάντηση είναι «η πρόταση είναι

λάθος γιατί το σώμα A επιπλέει και το σώμα B έχει βυθιστεί». Στη κατηγορία 0 κατατάχθηκαν πέντε μαθητές μετά και τέσσερις μαθητές επτά μήνες μετά την παρέμβαση. Στις μισές περίπτωσης από αυτές τις απαντήσεις φαίνεται ότι οι μαθητές θεωρούν την πυκνότητα εκτατικό μέγεθος, δηλαδή ότι εξαρτάται από το μέγεθος ή την ποσότητα του αντικειμένου, π.χ. «(επιλέγει λάθος ότι η πρόταση είναι σωστή) γιατί είναι μεγαλύτερο το σώμα A από το σώμα B», ενώ στις υπόλοιπες η απάντηση είναι ταυτολογική, δίχως να δίνει επιπλέον πληροφορία πέρα από την ίδια την επιλογή, π.χ. «(επιλέγει λάθος ότι η πρόταση είναι σωστή) γιατί έχει μεγαλύτερη πυκνότητα από το B» ή «(επιλέγει σωστά ότι η πρόταση είναι λάθος) γιατί φαίνεται στην εικόνα». Παρατηρούμε ότι σημαντικός αριθμός μαθητών αιτιολόγησε τις επιλογές με χρήση της Π/Β, ακόμη και επτά μήνες μετά την παρέμβαση ($z=.577$, $p=.564$). Οι μαθητές χρησιμοποίησαν τη φαινομενολογία του πειράματος για τη σύγκριση πυκνοτήτων των δύο αντικειμένων, σε ένα έργο που απαιτεί από τους μαθητές να πραγματοποιήσουν σύνθετο συλλογισμό. Πιο συγκεκριμένα, θα πρέπει να συγκρίνουν καταρχήν την πυκνότητα του κάθε αντικειμένου με την πυκνότητα του υγρού και στη συνέχεια τις πυκνότητες των δύο αντικειμένων, ώστε να μπορέσουν να επιλέξουν εάν η πρόταση που τους δίνεται είναι σωστή ή λάθος.

Έργο ΠΒ7β Χρήση Π/Β για τη σύγκριση πυκνοτήτων στην πιλοτική εφαρμογή

Στο έργο ΠΒ7β (Πίνακας 4.2 και Παράρτημα Β.2) οι μαθητές καλούνται να επιλέξουν εάν μια πρόταση στην οποία συγκρίνεται η πυκνότητα ενός μικρού κύβου που είναι βυθισμένος και του υγρού στο οποίο είναι βυθισμένος, είναι σωστή ή λάθος. Όπως φαίνεται στον πίνακα 5.2.10 σωστά επέλεξαν δέκα από τους δώδεκα στο ΜετάΕΠ και εννιά από τους δώδεκα μαθητές στο ΜΜετάΕΠ ερωτηματολόγιο.

Πίνακας 5.2.10 Επιλογές μαθητών στο έργο ΠΒ7β σχετικά με τη χρήση Π/Β για τη σύγκριση πυκνοτήτων

Κατηγορίες	ΜετάΕΠ	ΜΜετάΕΠ
1: Σωστή επιλογή "Η πρόταση είναι Σωστή"	10	9
0: Λάθος επιλογή "Η πρόταση είναι Λάθος" ή "Δεν Ξέρω"	2	3
Σύνολο	12	12

Πίνακας 5.2.11 Απόψεις των μαθητών στο έργο ΠΒ7β σχετικά με τη χρήση Π/Β για τη σύγκριση πυκνοτήτων

Κατηγορίες	ΜετάΕΠ	ΜΜετάΕΠ
1: Χρήση της Π/Β για τη σύγκριση πυκνοτήτων	8	8
0: Μη χρήση της Π/Β για τη σύγκριση πυκνοτήτων	4	4
Σύνολο	12	12

Στον πίνακα 5.2.11 φαίνονται οι κατηγορίες των αιτιολογήσεων των επιλογών. Στην κατηγορία 1 κατατάχθηκαν οκτώ από τους δώδεκα μαθητές τόσο μετά όσο και επτά μήνες μετά την παρέμβαση. Χαρακτηριστική απάντηση είναι «(επιλέγει σωστά ότι η πρόταση είναι σωστή) η πρόταση είναι σωστή γιατί το σώμα Β βυθίζεται ενώ το σώμα Α επιπλέει». Στην κατηγορία 0 κατατάχθηκαν τέσσερις μαθητές στο ΜετάΕΠ και τέσσερις στο ΜΜετάΕΠ ερωτηματολόγιο. Οι απαντήσεις είναι είτε λανθασμένες, π.χ. «(επιλέγει σωστά ότι η πρόταση είναι σωστή) η πρόταση είναι σωστή γιατί το σώμα Α είναι μεγαλύτερο και ελαφρύτερο» είτε ταυτολογικές, π.χ. «(επιλέγει σωστά ότι η πρόταση είναι σωστή) γιατί έχει μεγαλύτερη πυκνότητα από την πυκνότητα του υγρού». Παρατηρούμε ότι σημαντικός αριθμός μαθητών αιτιολόγησε τις επιλογές με χρήση της Π/Β, ακόμη και επτά μήνες μετά την παρέμβαση ($z=.000$, $p=1.000$).

Έργο ΠΒ7γ Χρήση Π/Β για τη σύγκριση πυκνοτήτων στην πιλοτική εφαρμογή

Στο έργο ΠΒ7γ (Πίνακας 4.2 και Παράρτημα Β.2) οι μαθητές καλούνται να επιλέξουν εάν μια πρόταση στην οποία συγκρίνεται η πυκνότητα ενός μεγάλου κύβου που επιπλέει σε ένα υγρό και του υγρού στο οποίο επιπλέει, είναι σωστή ή λάθος. Όπως φαίνεται στον πίνακα 5.2.12, οι σωστές επιλογές, δηλαδή ότι η πρόταση είναι λάθος, στο ΜετάΕΠ ερωτηματολόγιο είναι επτά από τις δώδεκα και στο ΜΜετάΕΠ ερωτηματολόγιο είναι εννιά από τους δώδεκα μαθητές.

Πίνακας 5.2.12 Επιλογές των μαθητών στο έργο ΠΒ7γ σχετικά με τη χρήση Π/Β για τη σύγκριση πυκνοτήτων

Κατηγορίες	ΜετάΕΠ	ΜΜετάΕΠ
1: Σωστή επιλογή "Η πρόταση είναι Λάθος"	7	9
0: Λάθος επιλογή "Η πρόταση είναι Σωστή" ή "Δεν Ξέρω"	5	3
Σύνολο	12	12

Πίνακας 5.2.13 Απόψεις των μαθητών στο έργο ΠΒ7γ σχετικά με τη χρήση της Π/Β για τη σύγκριση πυκνοτήτων

Κατηγορίες	ΜετάΕΠ	ΜΜετάΕΠ
1: Χρήση της Π/Β για τη σύγκριση πυκνοτήτων	9	7
0: Μη χρήση της Π/Β για τη σύγκριση πυκνοτήτων	3	5
Σύνολο	12	12

Στον πίνακα 5.2.13, φαίνονται οι κατηγορίες των αιτιολογήσεων των επιλογών. Στην κατηγορία 1 κατατάχθηκαν εννέα από τους δώδεκα μαθητές μετά και επτά μαθητές επτά μήνες μετά την παρέμβαση. Χαρακτηριστική απάντηση είναι *«(επιλέγει σωστά ότι η πρόταση είναι λάθος) Η πρόταση είναι λάθος γιατί το σώμα επιπλέει»*. Δύο από τους εννέα μαθητές που χρησιμοποιούν την Π/Β για να συγκρίνουν τις πυκνότητες στο ΜετάΕΠ ερωτηματολόγιο, το κάνουν με λάθος τρόπο για αυτό και καταλήγουν σε λάθος επιλογή. Πιο συγκεκριμένα, ο ένας επιλέγει ότι η πρόταση είναι σωστή *«γιατί το σώμα επιπλέει»* ενώ ο άλλος επιλέγει ΔΞ και αιτιολογεί, και αυτός, *«γιατί το σώμα επιπλέει»*. Στην κατηγορία 0, κατατάχθηκαν τρεις μετά και πέντε μαθητές επτά μήνες μετά την παρέμβαση. Χαρακτηριστική απάντηση είναι *«(επιλέγει σωστά ότι η πρόταση είναι λάθος) Η πρόταση είναι λάθος γιατί το υγρό έχει μεγαλύτερη πυκνότητα»*. Παρατηρούμε ότι, και σε αυτήν την περίπτωση, σημαντικός αριθμός μαθητών αιτιολόγησε τις επιλογές με χρήση της Π/Β, ακόμη και επτά μήνες μετά την παρέμβαση ($z=1.414$, $p=.157$).

Έργο ΠΒ8 Χρήση της αιώρησης για τη σύγκριση πυκνοτήτων στην πιλοτική εφαρμογή

Στο έργο ΠΒ8 (Πίνακας 4.2 και Παράρτημα Β.2) οι μαθητές καλούνται να επιλέξουν εάν μια πρόταση στην οποία συγκρίνεται η πυκνότητα ενός παιχνιδιού που αιωρείται σε ένα υγρό και του υγρού αυτού, είναι σωστή ή λάθος. Όπως φαίνεται στον πίνακα 5.2.14 οι μαθητές που επιλέγουν σωστά, δηλαδή ότι οι πυκνότητες είναι ίσες, στο ΜετάΕΠ ερωτηματολόγιο είναι εννέα από τους δώδεκα και στο ΜΜετάΕΠ ερωτηματολόγιο είναι οκτώ από τους δώδεκα.

Στον πίνακα 5.2.15 φαίνονται οι κατηγορίες των αιτιολογήσεων των επιλογών. Στην κατηγορία 1 κατατάχθηκαν επτά από τους δώδεκα μαθητές τόσο μετά όσο και επτά μήνες μετά την παρέμβαση. Χαρακτηριστική απάντηση είναι *«Η πυκνότητα του αντικειμένου είναι ίδια με την πυκνότητα του νερού γιατί δεν έχει ανέβει πάνω ούτε*

έχει κατέβει κάτω». Στην κατηγορία 0 κατατάχθηκαν πέντε μαθητές μετά και πέντε μαθητές επτά μήνες μετά την παρέμβαση. Οι περισσότερες απαντήσεις είναι ταυτολογικές, π.χ. «(επιλέγει ότι το αντικείμενο έχει μεγαλύτερη πυκνότητα από το υγρό) γιατί έχει μεγαλύτερη πυκνότητα από το υγρό», ενώ ορισμένες από τις απαντήσεις είναι λανθασμένες, π.χ. «Το νερό έχει μεγαλύτερη πυκνότητα από το αντικείμενο γιατί το νερό έχει μεγαλύτερη πίεση» ή «(επιλέγει σωστά ότι το αντικείμενο έχει ίδια πυκνότητα με το υγρό) γιατί είναι προς τον πυθμένα του δοχείου».

Πίνακας 5.2.14 Επιλογές των μαθητών στο έργο ΠΒ8 σχετικά με τη χρήση αιώρησης για τη σύγκριση πυκνοτήτων

Κατηγορίες	ΜετάΕΠ	ΜΜετάΕΠ
1: Σωστή επιλογή "Η πυκνότητα του αντικειμένου ίση με την πυκνότητα του υγρού"	9	8
0: Λάθος επιλογή "Η πυκνότητα του αντικειμένου μεγαλύτερη ή μικρότερη από του υγρού" ή "Δεν Ξέρω"	3	4
Σύνολο	12	12

Πίνακας 5.2.15 Απόψεις των μαθητών στο έργο ΠΒ8 σχετικά με τη χρήση αιώρησης για τη σύγκριση πυκνοτήτων

Κατηγορίες	ΜετάΕΠ	ΜΜετάΕΠ
1: χρήση της αιώρησης για τη σύγκριση πυκνοτήτων	7	7
0: μη χρήση της αιώρησης για τη σύγκριση πυκνοτήτων	5	5
Σύνολο	12	12

Παρατηρούμε ότι σημαντικός αριθμός μαθητών αιτιολόγησε τις επιλογές με χρήση της αιώρησης, ακόμη και επτά μήνες μετά την παρέμβαση ($z=.000$, $p=1.000$).

Σύνοψη των αποτελεσμάτων από τα γραπτά ερωτηματολόγια σχετικά με τις ερμηνείες για την Π/Β στην πιλοτική εφαρμογή

Από την παραπάνω περιγραφή και ανάλυση των απαντήσεων των μαθητών στα έργα που αξιολογούν τις ερμηνείες τους σε φαινόμενα Π/Β, παρατηρούμε τα εξής: Οι απαντήσεις στα έργα ΠΒ1α και ΠΒ1β, παρουσίασαν στατιστικά σημαντική βελτίωση μετά την παρέμβαση, παρόλα αυτά η βελτίωση αυτή δε διατηρήθηκε επτά μήνες μετά. Επίσης, στο έργο ΠΒ2, οι απαντήσεις των μαθητών δεν παρουσίασαν στατιστικά σημαντική βελτίωση μετά την παρέμβαση. Επομένως, στα παραπάνω έργα, στα οποία οι μαθητές αντιμετωπίζουν καταστάσεις που παραπέμπουν στην

καθημερινότητα και δε δίνεται καμία επιπλέον βοήθεια πέρα από την περιγραφή του φαινομένου, είτε δεν παρατηρήθηκε βελτίωση στη μάθηση είτε αυτή που παρατηρήθηκε δε διατηρήθηκε. Συνολικά, στα τρία παραπάνω έργα, ορισμένοι μαθητές έδωσαν ερμηνείες του φαινομένου Π/Β που περιελάμβαναν σύγκριση πυκνοτήτων (κατηγορία 3), κυρίως στα έργα ΠΒ1α και ΠΒ1β και αμέσως μετά την παρέμβαση. Εντούτοις, οι μαθητές που κατάφεραν να κάνουν σύγκριση πυκνοτήτων για την ερμηνεία του φαινομένου αναφέρθηκαν ταυτόχρονα και στο υλικό του αντικειμένου, που σημαίνει ότι η διαισθητική άποψη αιτιολόγησης της Π/Β με βάση το υλικό του αντικειμένου ήταν ακόμη ισχυρή. Οι περισσότερες ερμηνείες, πριν την παρέμβαση, αλλά και αρκετές από αυτές ακόμη και μετά την παρέμβαση, έκαναν αναφορά στο βάρος (κατηγορία 1), κυρίως στα έργα ΠΒ1β και ΠΒ2, ενώ στο έργο ΠΒ1α κυριάρχησαν, ήδη πριν την παρέμβαση, οι ερμηνείες στις οποίες γίνεται αναφορά στο υλικό του αντικειμένου (κατηγορία 2). Τέλος, υπήρχαν και λίγες ερμηνείες που χαρακτηρίστηκαν τελεολογικές ή άσχετες (κατηγορία 0). Τα αποτελέσματα αυτά δείχνουν ότι στα έργα που σχετίζονται με φαινόμενα της καθημερινότητας, οι μαθητές τείνουν να απαντούν με βάση τις εμπειρίες τους. Επίσης, φαίνεται ότι δεν μπορούν εύκολα να εφαρμόσουν το ερμηνευτικό μοντέλο της σύγκρισης των πυκνοτήτων σε περιπτώσεις που δεν τις έχουν διαπραγματευτεί στο μάθημα.

Αντίθετα, στα έργα ΠΒ5 και ΠΒ6, στα οποία τα αντικείμενα έχουν τη μορφή του μοντέλου «τελίτσες-στο-κυβάκι», η επιτυχία ήταν μεγάλη και διατηρήθηκε επτά μήνες μετά την παρέμβαση. Επίσης, στο έργο ΠΒ6 φαίνεται ότι οι μαθητές αντιλήφθηκαν το διαφορετικό επίπεδο πλεύσης των αντικειμένων, και μάλιστα, σε μεγάλο βαθμό (επτά από τους δώδεκα μαθητές, μετά την παρέμβαση), το αιτιολόγησαν χρησιμοποιώντας τον συσχετιστικό αιτιακό συλλογισμό. Οι απαντήσεις των μαθητών στα έργα ΠΒ5 και ΠΒ6 κατηγοριοποιήθηκαν σε αυτές που χρησιμοποιούν (κατηγορία 1) και σε αυτές που δε χρησιμοποιούν συσχετιστικό αιτιακό συλλογισμό (κατηγορία 0) για την ερμηνεία του φαινομένου Π/Β. Στις απαντήσεις που δε χρησιμοποιήθηκε συσχετιστικός αιτιακός συλλογισμός, υπήρχαν ερμηνείες που έκαναν αναφορά στο βάρος, ενώ άλλες ήταν ταυτολογικές, άσχετες ή μη κατατάξιμες. Οι παραπάνω παρατηρήσεις λήφθηκαν υπόψη στη διαδικασία βελτίωσης της σειράς, όπως φαίνεται στην ενότητα 5.3.1.1.

Τέλος, από τα αποτελέσματα στα έργα ΠΒ7α, ΠΒ7β, ΠΒ7γ, ΠΒ8, με τα οποία διερευνούμε εάν οι μαθητές θα μπορέσουν να χρησιμοποιήσουν την πλεύση, τη

βύθιση ή την αιώρηση αντικειμένων, σε συνδυασμό με συσχετιστικό αιτιακό συλλογισμό, για να συγκρίνουν πυκνότητες, φάνηκε ότι ένας σημαντικός αριθμός μαθητών (επτά έως εννιά από τους δώδεκα μαθητές) χρησιμοποίησε τη φαινομενολογία του πειράματος για τη σύγκριση πυκνοτήτων. Στην περίπτωση μάλιστα του έργου ΠΒ8 φανερώνει επεκτασιμότητα της μάθησης, διότι η αιώρηση αποτελεί ένα φαινόμενο που δε διδάχθηκε στη ΔΜΣ. Η επέκταση αυτή φαίνεται να διατηρήθηκε και επτά μήνες μετά την παρέμβαση της ΔΜΣ. Οι απαντήσεις των μαθητών στα τέσσερα τελευταία έργα κατηγοριοποιήθηκαν σε αυτές που χρησιμοποιούν (κατηγορία 1) και σε αυτές που δε χρησιμοποιούν τη φαινομενολογία ενός πειράματος Π/Β για τη σύγκριση πυκνοτήτων (κατηγορία 0). Στις απαντήσεις που δε χρησιμοποιήθηκε η φαινομενολογία του πειράματος, οι περισσότερες απαντήσεις ήταν ταυτολογικές ενώ οι υπόλοιπες είτε φανέρωναν ότι οι μαθητές θεωρούν ότι η πυκνότητα είναι εκτατικό μέγεθος είτε ήταν λανθασμένες.

5.2.2 Αποτελέσματα σχετικά με την κατανόηση της πυκνότητας στην πιλοτική εφαρμογή

5.2.2.α Αποτελέσματα από τα γραπτά ερωτηματολόγια σχετικά με την κατανόηση της πυκνότητας ως ιδιότητας του υλικού στην πιλοτική εφαρμογή

Έργο ΠΥΚ1 Σύνοψη πρότασης με τη λέξη πυκνότητα στην πιλοτική εφαρμογή

Στο έργο ΠΥΚ1 (Πίνακας 4.2 και Παράρτημα Β.2) ζητείται από τους μαθητές να γράψουν μια πρόταση με τις λέξεις πυκνότητα και υλικό. Στον πίνακα 5.2.16 φαίνεται ότι στην κατηγορία 3 κατατάχθηκαν πέντε μαθητές μετά και τρεις μαθητές επτά μήνες μετά την παρέμβαση, ενώ καμία απάντηση δε συνδέει την πυκνότητα με το υλικό από το οποίο αποτελείται ένα αντικείμενο στο πριν ερωτηματολόγιο. Δύο από τις απαντήσεις αυτές, τόσο στο ΜετάΕΠ όσο και στο ΜΜετάΕΠ ερωτηματολόγιο, φανερώνουν ότι οι μαθητές αυτοί αντιλαμβάνονται την πυκνότητα ενός αντικειμένου ως ιδιότητα του υλικού και πιο συγκεκριμένα ως κριτήριο για την Π/Β του αντικειμένου στο υγρό, π.χ. «*Εάν μικρύνουμε την πυκνότητα ενός υλικού μικρότερη από του υγρού τότε επιπλέει. Εάν κάνουμε ακριβώς το αντίθετο δεν θα επιπλέει. Το αν θα βυθιστεί ή αν θα επιπλεύσει είναι ανάλογα με το υλικό*». Οι υπόλοιπες απαντήσεις στην κατηγορία 3 δείχνουν ότι οι μαθητές συνδέουν την πυκνότητα ενός

αντικειμένου με το υλικό του, χωρίς όμως να καθορίζουν με ποιο τρόπο, π.χ. «η πυκνότητα του υγρού είναι πολύ μεγαλύτερη από την πυκνότητα αυτού του υλικού». Στην κατηγορία 2 κατατάχθηκε ένας μαθητής επτά μήνες μετά την παρέμβαση. Η μοναδική απάντηση που κατατάχθηκε σε αυτήν την κατηγορία, δηλαδή «Τα περισσότερα υλικά είναι συμπαγή. Η πυκνότητα δεν είναι το βάρος», δεν έχει τα χαρακτηριστικά που αναφέρονται στον τίτλο της κατηγορίας. Παρόλα αυτά, θεωρήσαμε ότι η απάντηση κατατάσσεται ενδιάμεσα στις κατηγορίες 1 και 3 διότι αναφέρει ότι η πυκνότητα είναι διαφορετική από το βάρος. Για τον λόγο αυτό την κατατάξαμε στην κατηγορία 2, για την οποία επιλέξαμε να κρατήσουμε τον ίδιο τίτλο με αυτόν που έχουν όλα τα άλλα έργα, τόσο στην πιλοτική όσο και στην κανονική εφαρμογή, για λόγους ομοιομορφίας.

Πίνακας 5.2.16 Απόψεις των μαθητών στο έργο ΠΥΚ1 σχετικά με την πυκνότητα

Κατηγορίες	ΠρινΕΠ	ΜετάΕΠ	ΜΜετάΕΠ
3: πυκνότητα ιδιότητα του υλικού	0	5	3
2: πυκνότητα ιδιότητα του υλικού και εξαρτημένη από το μέγεθος του αντικειμένου	0	0	1
1: πυκνότητα εξαρτημένη από το μέγεθος του αντικειμένου	1	1	3
0: άσχετες απαντήσεις	11	6	5
Σύνολο	12	12	12

Στην κατηγορία 1 κατατάχθηκε ένας μαθητής πριν, ένας μετά και τρεις μαθητές επτά μήνες μετά την παρέμβαση. Χαρακτηριστική απάντηση είναι «Ένα βαρύ υλικό έχει μεγαλύτερη πυκνότητα από ένα άλλο». Στην κατηγορία 0 κατατάχθηκε αρχικά η πλειοψηφία των μαθητών, έντεκα από τους δώδεκα. Μετά την παρέμβαση οι μαθητές που κατατάσσονται σε αυτήν την κατηγορία είναι έξι από τους δώδεκα ενώ γίνονται πέντε από τους δώδεκα μαθητές επτά μήνες μετά την παρέμβαση. Χαρακτηριστική απάντηση είναι «Τα δέντρα έχουν πολλά και πυκνά φύλλα και δίνουν για υλικά το ξύλο. Τα υλικά αγαθά έχουν πυκνή αγάπη». Παρατηρούμε ότι ένας σημαντικός αριθμός μαθητών (πέντε από τους δώδεκα) στο ΜετάΕΠ ερωτηματολόγιο συνδέει την πυκνότητα με το υλικό ενός αντικειμένου, ενώ ορισμένοι από αυτούς αναφέρονται στην πυκνότητα και ως κριτήριο για την Π/Β του αντικειμένου. Η βελτίωση στη μάθηση, που παρατηρείται από το πριν στο μετά ερωτηματολόγιο, είναι στατιστικά σημαντική ($z=2.264$, $p=.024$) και διατηρείται επτά μήνες μετά την παρέμβαση ($z=.552$, $p=.581$).

**Έργο ΠΥΚ2 Εξάρτηση της πυκνότητας από το σχήμα ξύλινων αντικειμένων
στην πιλοτική εφαρμογή**

Στο έργο ΠΥΚ2 (Πίνακας 4.2 και Παράρτημα Β.1) οι μαθητές καλούνται να επιλέξουν τη σχέση των πυκνοτήτων ενός ξύλινου κύβου και μιας ξύλινης σφαίρας που είναι φτιαγμένα από την ίδια ποσότητα. Όπως φαίνεται στον πίνακα 5.2.17, οκτώ από τους δώδεκα μαθητές επέλεξαν σωστά στο πριν ερωτηματολόγιο. Στο ΜετάΕΠ και το ΜΜετάΕΠ ερωτηματολόγιο οι μαθητές που επέλεξαν τη σωστή πρόταση αυξήθηκαν στους δέκα και στους έντεκα από τους δώδεκα μαθητές, αντίστοιχα.

Πίνακας 5.2.17 Επιλογές των μαθητών στο έργο ΠΥΚ2 σχετικά με την εξάρτηση της πυκνότητας από το σχήμα ξύλινου αντικειμένου

Κατηγορίες	ΠρινΕΠ	ΜετάΕΠ	ΜΜετάΕΠ
1: Σωστή επιλογή "πυκνότητα κύβου ίση με πυκνότητα σφαίρας"	8	10	11
0: Λάθος επιλογή "πυκνότητα κύβου μεγαλύτερη ή μικρότερη από πυκνότητα σφαίρας" ή "Δεν Ξέρω"	4	2	1
Σύνολο	12	12	12

Πίνακας 5.2.18 Απόψεις των μαθητών στο έργο ΠΥΚ2 σχετικά με την εξάρτηση της πυκνότητας από το σχήμα ξύλινου αντικειμένου

Κατηγορίες	ΠρινΕΠ	ΜετάΕΠ	ΜΜετάΕΠ
3: πυκνότητα ιδιότητα του υλικού	0	5 [5]	6 [6]
2: πυκνότητα ιδιότητα του υλικού και εξαρτημένη από το μέγεθος του αντικειμένου	2 [2]	0	1 [1]
1: πυκνότητα εξαρτημένη από το μέγεθος του αντικειμένου	4 [2]	4 [3]	5 [4]
0: άσχετες απαντήσεις	6 [4]	3 [2]	0
Σύνολο	12	12	12

Στον πίνακα 5.2.18 φαίνονται οι κατηγορίες των αιτιολογήσεων των επιλογών των μαθητών. Στις αγκύλες φαίνεται ο αριθμός των απαντήσεων που αιτιολογούν τη σωστή επιλογή. Παρατηρούμε ότι υπάρχουν μαθητές που επέλεξαν σωστά αλλά δεν κατόρθωσαν να συνδέσουν την πυκνότητα με το υλικό. Στην κατηγορία 3 κατατάχθηκαν μηδέν μαθητές πριν, πέντε από τους δώδεκα μαθητές μετά και έξι μαθητές επτά μήνες μετά την παρέμβαση. Χαρακτηριστική απάντηση είναι «έχουν την ίδια πυκνότητα γιατί είναι και τα δύο από το ίδιο υλικό» ή σε μια περίπτωση «έχουν την ίδια πυκνότητα γιατί το σχήμα δεν παίζει ρόλο». Στην κατηγορία 2 κατατάχθηκαν δύο μαθητές πριν, κανένας μετά και ένας μαθητής επτά μήνες μετά

την παρέμβαση. Χαρακτηριστική απάντηση «αφού και τα 2 είναι φτιαγμένα από το ίδιο ξύλο και έχουν την ίδια ποσότητα ξύλου έχουν την ίδια πυκνότητα».

Στην κατηγορία 1 κατατάχθηκαν τέσσερις από τους δώδεκα μαθητές πριν, τέσσερις μετά και πέντε μαθητές επτά μήνες μετά την παρέμβαση. Κανένας δεν αναφέρθηκε στο γεγονός ότι το σχήμα μπορεί να επηρεάζει την πυκνότητα. Αντίθετα, αρκετοί ήταν αυτοί που επέλεξαν ότι η σφαίρα ή ο κύβος έχει μεγαλύτερη πυκνότητα, και αναφέρθηκαν στο μέγεθος είτε του κύβου είτε της σφαίρας, που τους φάνηκε μεγαλύτερο, π.χ. «Ο ξύλινος κύβος έχει μεγαλύτερη πυκνότητα. Ο κύβος είναι πιο μεγάλος». Ακόμη περισσότεροι ήταν αυτοί που επέλεξαν ότι η σφαίρα και ο κύβος έχουν ίδια πυκνότητα, γιατί είναι φτιαγμένα από την ίδια ποσότητα, π.χ. «έχουν την ίδια πυκνότητα γιατί έχουνε χρησιμοποιήσει την ίδια ποσότητα ξύλου» ή «και τα δύο έχουν την ίδια πυκνότητα επειδή έχουν τον ίδιο όγκο». Τέλος, στην κατηγορία 0 κατατάχθηκαν έξι μαθητές πριν, τρεις μετά και κανένας μαθητής επτά μήνες μετά την παρέμβαση. Οι περισσότερες από τις απαντήσεις αυτές είναι ταυτολογικές, π.χ. «(επιλέγει ότι έχουν την ίδια πυκνότητα) γιατί έχουν την ίδια πυκνότητα», ενώ ορισμένες είναι μη κατατάξιμες, π.χ. «και τα δύο έχουν την ίδια πυκνότητα γιατί είναι παραλληλόγραμμα». Τα αποτελέσματα αυτά δείχνουν πόσο ισχυρή είναι η εναλλακτική ιδέα των μαθητών, ότι η πυκνότητα είναι εκτατικό μέγεθος, δηλαδή ότι είναι ανάλογη με το μέγεθος ή την ποσότητα του αντικειμένου. Παράλληλα, η βελτίωση στη μάθηση, που παρατηρείται από το πριν στο μετά ερωτηματολόγιο, είναι στατιστικά σημαντική ($z=2.232$, $p=.026$) και διατηρείται επτά μήνες μετά την παρέμβαση ($z=1.730$, $p=.084$).

Έργο ΠΥΚ3 Εξάρτηση της πυκνότητας από το σχήμα σιδερένιων αντικειμένων στην πιλοτική εφαρμογή

Στο έργο ΠΥΚ3 (Πίνακας 4.2 και Παράρτημα Β.1) οι μαθητές καλούνται να επιλέξουν τη σχέση των πυκνοτήτων ενός σιδερένιου κύβου και μιας σιδερένιας σφαίρας που είναι φτιαγμένα από την ίδια ποσότητα. Όπως φαίνεται στον πίνακα 5.2.19, οκτώ από τους δώδεκα μαθητές επέλεξαν σωστά στο πριν ερωτηματολόγιο. Στο ΜετάΕΠ και το ΜΜετάΕΠ ερωτηματολόγιο οι μαθητές που επέλεγαν τη σωστή πρόταση αυξήθηκαν από οκτώ στους έντεκα μαθητές.

Στον πίνακα 5.2.20 φαίνονται οι κατηγορίες των αιτιολογήσεων των επιλογών των μαθητών. Στις αγκύλες φαίνεται ο αριθμός των απαντήσεων που αιτιολογούν τη

σωστή επιλογή. Παρατηρούμε ότι υπάρχουν μαθητές που επέλεξαν σωστά αλλά δεν κατόρθωσαν να συνδέσουν την πυκνότητα με το υλικό. Οι χαρακτηριστικές απαντήσεις στο έργο ΠΥΚ3 είναι παρόμοιες με αυτές στο έργο ΠΥΚ2.

Πίνακας 5.2.19 Επιλογές των μαθητών στο έργο ΠΥΚ3 σχετικά με την εξάρτηση της πυκνότητας από το σχήμα σιδερένιου αντικειμένου

Κατηγορίες	ΠρινΕΠ	ΜετάΕΠ	ΜΜετάΕΠ
1: Σωστή επιλογή "πυκνότητα κύβου ίση με πυκνότητα σφαίρας"	8	11	11
0: Λάθος επιλογή "πυκνότητα κύβου μεγαλύτερη ή μικρότερη από πυκνότητα σφαίρας" ή "Δεν Ξέρω"	4	1	1
Σύνολο	12	12	12

Πίνακας 5.2.20 Απόψεις των μαθητών στο έργο ΠΥΚ3 σχετικά με την εξάρτηση της πυκνότητας από το σχήμα σιδερένιου αντικειμένου

Κατηγορίες	ΠρινΕΠ	ΜετάΕΠ	ΜΜετάΕΠ
3: πυκνότητα ιδιότητα του υλικού	3 [3]	5 [5]	6 [6]
2: πυκνότητα ιδιότητα του υλικού και εξαρτημένη από το μέγεθος του αντικειμένου	1 [1]	2 [2]	0
1: πυκνότητα εξαρτημένη από το μέγεθος του αντικειμένου	2 [0]	2 [1]	6 [5]
0: άσχετες απαντήσεις	6 [4]	3 [3]	0
Σύνολο	12	12	12

Στην ανάλυση των απαντήσεων, όπως και στο ΠΥΚ2, παρατηρήσαμε ότι από τους μαθητές που κατατάσσονται στην κατηγορία 1 κανένας δεν αναφέρθηκε στο γεγονός ότι το σχήμα μπορεί να επηρεάζει την πυκνότητα. Αντίθετα, αρκετοί ήταν αυτοί που επέλεξαν ότι η σφαίρα ή ο κύβος έχει μεγαλύτερη πυκνότητα και ανέφεραν ότι το μέγεθος είτε του κύβου είτε της σφαίρας τους φάνηκε μεγαλύτερο. Ακόμη περισσότεροι ήταν αυτοί που επέλεξαν ότι η σφαίρα και ο κύβος έχουν ίδια πυκνότητα γιατί είναι φτιαγμένα από την ίδια ποσότητα, όπως συνέβη και στο έργο ΠΥΚ2. Το γεγονός αυτό ενισχύει την άποψη ότι η εναλλακτική ιδέα των μαθητών πως η πυκνότητα είναι εκτατικό μέγεθος, δηλαδή ότι είναι ανάλογη με το μέγεθος ή την ποσότητα του αντικειμένου, είναι πολύ ισχυρή και δεν αλλάζει εύκολα. Επίσης, η βελτίωση που παρατηρείται από το πριν στο μετά ερωτηματολόγιο στη μάθηση δεν είναι στατιστικά σημαντική στο έργο ΠΥΚ3 ($z=1.274$, $p=.203$), αντίθετα με τα αποτελέσματα στο έργο ΠΥΚ2. Ωστόσο, οι απαντήσεις των μαθητών στο ΜετάΕΠ και το ΜΜετάΕΠ ερωτηματολόγιο είναι παρόμοιες, τόσο σε ποιότητα όσο και σε

ποσότητα. Με βάση τις παραπάνω παρατηρήσεις, θεωρούμε ότι τα αποτελέσματα στα έργα ΠΥΚ2 και ΠΥΚ3 είναι παρόμοια.

5.2.2.β Αποτελέσματα από τις συνεντεύξεις σχετικά με τη διαφοροποίηση της πυκνότητας από το βάρος στην πιλοτική εφαρμογή

Από την ανάλυση των απαντήσεων στα έργα των συνεντεύξεων (ΠΥΚ4-9, Πίνακας 4.3 και Παράρτημα Β.3), που είναι σχετικά με τη διαφοροποίηση της πυκνότητας από το βάρος, οι μαθητές κατατάχθηκαν σε δύο κατηγορίες. Στην κατηγορία 1, κατατάχθηκαν πέντε από τους δώδεκα μαθητές (ΜΑΘ2, ΜΑΘ3, ΜΑΘ5, ΜΑΘ10, και ΜΑΘ12), οι οποίοι διαφοροποίησαν την πυκνότητα από το βάρος. Τέσσερις από τους πέντε αυτούς μαθητές (όλοι εκτός από τον μαθητή ΜΑΘ12), αντιλήφθηκαν και δικαιολόγησαν σωστά το διαφορετικό επίπεδο πλεύσης των ξύλινων κύβων από τον κύβο από φελλό. Οι υπόλοιποι δεν μπόρεσαν να αντιληφθούν το διαφορετικό επίπεδο πλεύσης των κύβων από διαφορετικό υλικό. Στην κατηγορία 0, κατατάχθηκαν οι υπόλοιποι επτά μαθητές, διότι αρχικά τουλάχιστον, δεν διαφοροποιούσαν την πυκνότητα από το βάρος. Από τους επτά μαθητές, μόνο οι δύο (ΜΑΘ4 και ΜΑΘ8), μετά από υποβοήθηση, έδωσαν απαντήσεις που προσέγγισαν την επιθυμητή γνώση.

Στην ενότητα 5.4.2.β, παραθέτουμε ενδεικτικά αποσπάσματα για κάθε μία από τρεις περιπτώσεις μαθητών: ενός μαθητή που κατατάχθηκε στην κατηγορία 1, ενός μαθητή που κατατάχθηκε αρχικά στην κατηγορία 0 αλλά μετά από υποβοήθηση κατάφερε να δώσει απαντήσεις που δείχνουν ότι διαφοροποίησε την πυκνότητα από το βάρος, και τέλος ενός μαθητή που κατατάχθηκε στην κατηγορία 0.

5.2.2.γ Σύνοψη των αποτελεσμάτων σχετικά με την κατανόηση της πυκνότητας στην πιλοτική εφαρμογή

Με τα έργα ΠΥΚ1, ΠΥΚ2 και ΠΥΚ3, στα γραπτά ερωτηματολόγια, μελετάμε τις ιδέες των μαθητών σχετικά με την έννοια της πυκνότητας και την κατανόησή της ως ιδιότητας του υλικού. Οι μαθητές στο πριν ερωτηματολόγιο, είτε θεωρούν ότι η πυκνότητα εξαρτάται από το μέγεθος του αντικειμένου (κατηγορία 1), είτε δεν μπορούν να δώσουν σχετικές απαντήσεις (κατηγορία 0). Επιπλέον, φάνηκε ότι η διαφορά στο σχήμα των δύο αντικειμένων δεν επηρεάζει τις απόψεις των μαθητών (έργα ΠΥΚ2 και ΠΥΚ3), επιβεβαιώνοντας την άποψη των Fassouloroulos et al. (2003) ότι όταν το πλαίσιο διερεύνησης αφορά σε φαινόμενα Π/Β τότε αναδεικνύεται

η μη διαφοροποίηση βάρους και πυκνότητας, διότι οι απόψεις των μαθητών για την πυκνότητα επηρεάζονται από το μέγεθος και όχι από το σχήμα του αντικειμένου. Μετά την παρέμβαση, πέντε από τους δώδεκα μαθητές προσεγγίζουν την επιθυμητή άποψη ότι η πυκνότητα είναι ιδιότητα του υλικού (κατηγορία 3). Εντούτοις, αρκετοί είναι οι μαθητές που θεωρούν ότι η πυκνότητα εξαρτάται από το μέγεθος ή την ποσότητα των αντικειμένων, φανερώνοντας ότι έχουν την εκτατική άποψη. Επιπλέον, ελάχιστοι είναι οι μαθητές οι οποίοι στις απαντήσεις τους αναφέρουν μεν την πυκνότητα ως ιδιότητα του υλικού αλλά κάνουν ταυτόχρονα αναφορά και στο μέγεθος του αντικειμένου (κατηγορία 2). Επίσης, μόνο δύο από τους δώδεκα μαθητές αναφέρουν αυθόρμητα, στο έργο ΠΥΚ1, την πυκνότητα ως κριτήριο της Π/Β. Τέλος, σύμφωνα με τα αποτελέσματα που περιγράψαμε παραπάνω, οι μαθητές παρουσιάζουν στατιστικά σημαντική βελτίωση, στα έργα ΠΥΚ1 και ΠΥΚ2, η οποία διατηρείται και επτά μήνες μετά την παρέμβαση (Διαγράμματα 3 και 4, Παράρτημα Γ).

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης των συνεντεύξεων σχετικά με τη διαφοροποίηση της πυκνότητας από το βάρος, είναι σε συμφωνία με τα αποτελέσματα της ανάλυσης των γραπτών ερωτηματολογίων σχετικά με την κατανόηση της πυκνότητας ως ιδιότητας του υλικού. Πιο συγκεκριμένα, οι πέντε από τους δώδεκα μαθητές που στις συνεντεύξεις φάνηκε ότι θεωρούν την πυκνότητα εντατικό μέγεθος, και ότι διαφοροποιούν την πυκνότητα από το βάρος, είναι οι ίδιοι που έδειξαν να κατανοούν την πυκνότητα ως ιδιότητα του υλικού και στα γραπτά ερωτηματολόγια, μετά την παρέμβαση.

Εξάλλου, φαίνεται ότι η παρουσία του μοντέλου «τελίτσες-στο-κυβάκι» επηρεάζει και βοηθάει τους μαθητές να αντιληφθούν και να ερμηνεύσουν σωστά το διαφορετικό επίπεδο πλεύσης των αντικειμένων. Οι μαθητές που αντιλήφθηκαν το διαφορετικό επίπεδο πλεύσης στο έργο ΠΒ6 του γραπτού ερωτηματολογίου, στο οποίο δίνεται η πυκνότητα των υλικών, ήταν διπλάσιοι (οκτώ από τους δώδεκα) από αυτούς που μπόρεσαν να το αντιληφθούν στα έργα ΠΥΚ8 και ΠΥΚ9 της συνέντευξης (τέσσερις από τους δώδεκα), στα οποία δε δίνεται η πυκνότητα των υλικών. Τα παραπάνω λήφθηκαν υπόψη στη διαδικασία βελτίωσης της σειράς, όπως φαίνεται στην ενότητα 5.3.1.1.

5.2.3 Αποτελέσματα σχετικά με την κατανόηση της Στρατηγικής Ελέγχου Μεταβλητών στην πιλοτική εφαρμογή

5.2.3.α Αποτελέσματα από τα γραπτά ερωτηματολόγια σχετικά με την κατανόηση της ΣΕΜ στην πιλοτική εφαρμογή

Έργο ΣΕΜ1α Έλεγχος γνωστής και δοθείσας μεταβλητής στην πιλοτική εφαρμογή

Στο έργο ΣΕΜ1α (Πίνακας 4.2 και Παράρτημα Β.1) ζητείται από τους μαθητές να γράψουν τον τρόπο με τον οποίο θα ελέγξουν εάν το χαρακτηριστικό που προτείνουν να αλλάξουν στο σύστημα 'μπάλα από πλαστελίνη βυθισμένη σε δοχείο με νερό', στο έργο ΠΒ2, θα επηρεάσει πράγματι την πλεύση ή τη βύθιση της μπάλας.

Πίνακας 5.2.21 Απόψεις των μαθητών στο έργο ΣΕΜ1α σχετικά με τον έλεγχο γνωστής και δοθείσας μεταβλητής

Κατηγορίες	ΠρινΕΠ	ΜετάΕΠ	ΜΜετάΕΠ
3: Ορθή περιγραφή της μεθόδου για τον έλεγχο της συγκεκριμένης μεταβλητής	0	1	0
2: Μερικώς ορθή περιγραφή της μεθόδου για τον έλεγχο της συγκεκριμένης μεταβλητής	4	4	6
1: Αναφορά του συμπεράσματος αντί της μεθόδου για τον έλεγχο της συγκεκριμένης μεταβλητής	6	7	6
0: Ασαφείς ή Άσχετες για τον έλεγχο της συγκεκριμένης μεταβλητής	2	0	0
Σύνολο	12	12	12

Στον πίνακα 5.2.21 φαίνεται ότι στην κατηγορία 3 κατατάχθηκε μόνο ένας μαθητής από τους δώδεκα, αμέσως μετά την παρέμβαση. Η απάντηση που κατατάχθηκε σε αυτήν την κατηγορία (μαθητής ΜΑΘ3) είναι η εξής: «θα βάλω μια μπάλα με μικρότερη πυκνότητα στο δοχείο με το νερό και θα ελέγξω εάν αυτή επιπλεύσει». Θεωρήθηκε ότι υπονοείται η σύγκριση με την αρχική μπάλα που είναι βυθισμένη επειδή ο μαθητής αναφέρει ότι «...θα ελέγξω εάν αυτή επιπλεύσει» μετά την αλλαγή που προτείνει. Όπως φάνηκε εξάλλου και από την ανάλυση της συνέντευξης του μαθητή, οι απαντήσεις του επιβεβαίωσαν την καταχώρησή του σε αυτήν την κατηγορία (Πίνακας 5.2.23, ενότητα 5.2.3.β). Στην κατηγορία 2 κατατάχθηκαν τέσσερις από τους δώδεκα μαθητές πριν, τέσσερις μετά και έξι μαθητές επτά μήνες μετά την παρέμβαση. Χαρακτηριστική απάντηση είναι «θα γέμιζα ένα δοχείο με

υδράργυρο και θα έριχνα μέσα μια μπάλα» (μαθητής MAΘ10) ή «θα βγάλω την πλαστελίνη και θα βάλω φελλό» (μαθητής MAΘ1). Η κατάταξη στην κατηγορία αυτή επιβεβαιώθηκε και πάλι από την ανάλυση της συνέντευξης των μαθητών (Πίνακας 5.2.23, ενότητα 5.2.3.β).

Στην κατηγορία 1 κατατάχθηκαν έξι μαθητές πριν, επτά μαθητές μετά και έξι μαθητές επτά μήνες μετά την παρέμβαση. Χαρακτηριστική απάντηση είναι *«να μειώσω την πλαστελίνη και θα πλέει»*. Σε αυτήν την περίπτωση, παρόλο που είναι φανερό η δυσκολία του μαθητή να περιγράψει τη μέθοδο με την οποία θα ελέγξει τη μεταβλητή, ο μαθητής αναφέρει το συμπέρασμα σχετικά με τη μεταβλητή και το φαινόμενο. Τέλος, στην κατηγορία 0 κατατάχθηκαν δύο μαθητές, μόνο στο πριν ερωτηματολόγιο, οι οποίοι δεν μπόρεσαν να εκφράσουν άποψη. Επιπλέον, μετά από ενδελεχή διερεύνηση και ανάλυση των συνεντεύξεων, έχουμε ενδείξεις ότι οι περισσότεροι από τους μαθητές που αναφέρουν το συμπέρασμα και όχι τη μέθοδο, σε αντίθεση με αυτούς που έδωσαν ασαφείς απαντήσεις, γνωρίζουν και μπορούν να περιγράψουν τη μέθοδο για τον έλεγχο μιας μεταβλητής, αρκεί να τους δοθεί μια μικρή υποβοήθηση (Πίνακας 5.2.23, ενότητα 5.2.3.β). Το γεγονός αυτό, ενισχύει την άποψή μας να κατατάξουμε τους μαθητές αυτούς στην κατηγορία 1 και όχι στην κατηγορία 0.

Οι μαθητές που αναφέρουν το συμπέρασμα αντί της μεθόδου είναι και στα τρία ερωτηματολόγια (πριν, μετά και επτά μήνες μετά την παρέμβαση) οι μισοί του συνόλου των μαθητών (Πίνακας 5.2.21). Η μικρή βελτίωση, που φαίνεται να πραγματοποιήθηκε στη μάθηση της μεθόδου, δεν είναι στατιστικά σημαντική ($z=1.633, p=.102$).

Έργο ΣΕΜ1β Συμπερασμός από τον έλεγχο γνωστής και δοθείσας μεταβλητής στην πιλοτική εφαρμογή

Στο έργο ΣΕΜ1β (Πίνακας 4.2 και Παράρτημα Β.1) ζητείται από τους μαθητές να περιγράψουν τον τρόπο με τον οποίο θα σκεφτούν για να καταλήξουν σε ένα ασφαλές συμπέρασμα. Στον πίνακα 5.2.22, φαίνεται ότι δεν υπήρξε απάντηση που να μπορεί να καταταχθεί στην κατηγορία 3, δηλαδή απάντηση στην οποία να γίνεται ορθή περιγραφή της μεθόδου εξαγωγής συμπεράσματος και πιο συγκεκριμένα να αναφέρεται με σαφήνεια στη σύγκριση των αποτελεσμάτων των δοκιμών του πειράματος. Στην κατηγορία 2 κατατάχθηκαν ένας μαθητής πριν, δύο μαθητές

ΜετάΕΠ και ένας μαθητής ΜΜετάΕΠ. Χαρακτηριστική απάντηση είναι «αν επέπλεε θα έβγαζα το συμπέρασμα πως κάτι που είναι ελαφρύ επιπλέει ενώ κάτι που είναι βαρύ πέφτει στον πάτο» (μαθητής ΜΑΘ12) ή «με το αποτέλεσμα του πειράματος που έκανα» (μαθητής ΜΑΘ10). Η απάντηση του μαθητή ΜΑΘ12, παρόλο που είναι εναλλακτική ως προς την ερμηνεία του φαινομένου Π/Β, υπονοεί τη σύγκριση των αποτελεσμάτων των δοκιμών που θα έκανε, για να βγάλει συμπέρασμα. Πολύ πιθανόν, στην περίπτωση που της δίνουμε τη δυνατότητα να πραγματοποιήσει τη διαδικασία που πρότεινε, να ερχόταν σε γνωστική σύγκρουση με την εναλλακτική της άποψη. Επίσης, η απάντηση του μαθητή ΜΑΘ10 υπονοεί ότι θα λάμβανε υπόψη του τις παρατηρήσεις που θα έκανε από τις δοκιμές που πρότεινε. Η κατάταξη των μαθητών αυτών στην κατηγορία 2 επιβεβαιώθηκε και από την ανάλυση των απαντήσεών τους στη συνέντευξη (Πίνακας 5.2.24, ενότητα 5.2.3.β).

Πίνακας 5.2.22 Απόψεις των μαθητών στο έργο ΣΕΜ1β σχετικά με τον συμπερασμό από τον έλεγχο γνωστής και δοθείσας μεταβλητής

Κατηγορίες	ΠρινΕΠ	ΜετάΕΠ	ΜΜετάΕΠ
3: Ορθή περιγραφή της μεθόδου για τον συμπερασμό από τον έλεγχο της συγκεκριμένης μεταβλητής	0	0	0
2: Μερικώς ορθή περιγραφή της μεθόδου για τον συμπερασμό από τον έλεγχο της συγκεκριμένης μεταβλητής	1	2	1
1: Αναφορά του συμπεράσματος αντί της μεθόδου για τον συμπερασμό από τον έλεγχο της συγκεκριμένης μεταβλητής	7	9	8
0: Ασαφείς ή Άσχετες για τον συμπερασμό από τον έλεγχο της συγκεκριμένης μεταβλητής	4	1	3
Σύνολο	12	12	12

Στην κατηγορία 1 κατατάχθηκαν επτά μαθητές πριν, εννέα μαθητές μετά και οκτώ μαθητές επτά μήνες μετά την παρέμβαση. Χαρακτηριστική απάντηση είναι «*Η μπάλα πρέπει να είναι ελαφριά για να επιπλέει και όχι βαριά*». Η απάντηση αυτή, αντίθετα με τις προηγούμενες, φανερώνει πως ο μαθητής δεν αμφιβάλλει για την άποψή του και αντί να περιγράψει τη διαδικασία με την οποία θα κατέληγε σε ένα ασφαλές συμπέρασμα αναφέρει το ίδιο το συμπέρασμα. Τέλος, στην κατηγορία 0 κατατάχθηκαν τέσσερις μαθητές πριν, ένας μετά και τρεις μαθητές επτά μήνες μετά την παρέμβαση, οι οποίοι δεν μπόρεσαν να εκφράσουν άποψη ή σε ελάχιστες περιπτώσεις απλά ανέφεραν ότι «*θα κάνουμε πείραμα*». Μετά από ενδελεχή διερεύνηση και ανάλυση των συνεντεύξεων, έχουμε ενδείξεις ότι οι περισσότεροι

από τους μαθητές που αναφέρουν το συμπέρασμα και όχι τη μέθοδο, γνωρίζουν και μπορούν να περιγράψουν τη μέθοδο για τον συμπερασμό από τον έλεγχο μιας μεταβλητής, αρκεί να τους δοθεί μια μικρή υποβοήθηση (Πίνακας 5.2.24, ενότητα 5.2.3.β). Το γεγονός αυτό, ενισχύει την άποψή μας να κατατάξουμε τους μαθητές αυτούς στην κατηγορία 1 και όχι στην κατηγορία 0.

Παρατηρούμε ότι η πλειοψηφία των απαντήσεων στο έργο ΣΕΜ1β συγκεντρώνεται στην κατηγορία 1, δηλαδή οι μαθητές αναφέρουν το συμπέρασμα αντί της μεθόδου εξαγωγής συμπεράσματος από τον έλεγχο της συγκεκριμένης μεταβλητής (Πίνακας 5.2.22). Όπως είναι φανερό και από τα αποτελέσματα στον πίνακα 5.2.22, δεν υπήρξε στατιστικά σημαντική βελτίωση στη μάθηση της μεθόδου για τον συμπερασμό ($z=1.633$, $p=.102$).

5.2.3.β Αποτελέσματα από τις συνεντεύξεις σχετικά με την κατανόηση της ΣΕΜ στην πιλοτική εφαρμογή

Παρακάτω, περιγράφουμε την ανάλυση των απαντήσεων στα έργα των συνεντεύξεων, σχετικά με την κατανόηση της μεθόδου ΣΕΜ για τον έλεγχο μιας μεταβλητής καθώς και της μεθόδου για τον συμπερασμό από τον έλεγχο μιας μεταβλητής. Από την ανάλυση αυτή, οι μαθητές κατατάχθηκαν στις αντίστοιχες τέσσερις κατηγορίες στις οποίες κατατάχθηκαν και οι απαντήσεις στα γραπτά ερωτηματολόγια, όπως περιγράφονται αναλυτικά στην ενότητα 5.2.3.α.

Στους πίνακες 5.2.23 και 5.2.24 παραθέτουμε τα αποτελέσματα από την ανάλυση των συνεντεύξεων. Πιο συγκεκριμένα, στον πίνακα 5.2.23, στη δεύτερη στήλη, παρουσιάζεται η κατανομή των απαντήσεων των μαθητών που έχουν σχέση με τον έλεγχο μεταβλητών στο φαινόμενο Π/Β.

Πίνακας 5.2.23 Απόψεις των μαθητών, στα έργα της ημιδομημένης συνέντευξης, σχετικά με τον έλεγχο μεταβλητής με τη Στρατηγική Ελέγχου Μεταβλητών

Κατηγορίες	ΣΕΜ3α, ΣΕΜ4α, φαινόμενο Π/Β	ΣΕΜ5α, ΣΕΜ6α, φαινόμενο τριβής
3: ορθή περιγραφή της μεθόδου για τον έλεγχο μεταβλητής	2 [ΜΑΘ3, 12]	2 [ΜΑΘ3, 12]
2: μερικώς ορθή περιγραφή της μεθόδου	1 (1) [(ΜΑΘ1)]	3 (3) [(ΜΑΘ1, 6, 10)]
1: αναφορά στο συμπέρασμα αντί για τη μέθοδο	5 (3) [ΜΑΘ9, 11 (ΜΑΘ5, 6, 10)]	3 (1) [ΜΑΘ9, 11 (ΜΑΘ5)]
0: μη ορθή περιγραφή της μεθόδου	4 (2) [ΜΑΘ4, 8 (ΜΑΘ2, 7)]	4 (2) [ΜΑΘ4, 8 (ΜΑΘ2, 7)]
Σύνολο	12	12

Πίνακας 5.2.24 Απόψεις των μαθητών, στα έργα της ημιδομημένης συνέντευξης, σχετικά με τον συμπερασμό από τον έλεγχο μεταβλητής με τη Στρατηγική Ελέγχου Μεταβλητών

Κατηγορίες	ΣΕΜ3β, ΣΕΜ4β, φαινόμενο Π/Β	ΣΕΜ3β, ΣΕΜ4β, φαινόμενο τριβής
3: ορθή περιγραφή της μεθόδου για τον συμπερασμό από τον έλεγχο μεταβλητής	2 [ΜΑΘ3, 12]	2 [ΜΑΘ3, 12]
2: μερικώς ορθή περιγραφή της μεθόδου	0	2 (2) [(ΜΑΘ5, 6)]
1: αναφορά στο συμπέρασμα αντί για τη μέθοδο	8 (5) [ΜΑΘ7, 9, 11 (ΜΑΘ1, 2, 5, 6, 10)]	6 (3) [ΜΑΘ7, 9, 11 (ΜΑΘ1, 2, 10)]
0: μη ορθή περιγραφή της μεθόδου	2 [ΜΑΘ4, 8]	2 [ΜΑΘ4, 8]
Σύνολο	12	12

Παρόλο που η μία μεταβλητή έχει διδαχθεί κατά τη διάρκεια της παρέμβασης (έργο ΣΕΜ3α), ενώ η άλλη δεν έχει διδαχθεί (έργο ΣΕΜ4α), οι απαντήσεις στα δύο αυτά έργα ομαδοποιήθηκαν μαζί, διότι διαπιστώθηκε ότι οι μαθητές εξέφρασαν παρόμοιο συλλογισμό και στις δύο. Στην τρίτη στήλη του πίνακα 5.2.23 παρουσιάζεται η κατανομή των απαντήσεων των μαθητών που έχουν σχέση με τον έλεγχο μεταβλητών στο φαινόμενο της τριβής, ένα φαινόμενο που δεν έχει διδαχθεί κατά τη διάρκεια της παρέμβασης (έργα ΣΕΜ5α και ΣΕΜ6α). Επίσης, στον πίνακα 5.2.24, στη δεύτερη και την τρίτη στήλη, παρουσιάζονται με αντίστοιχο τρόπο οι κατανομές των απαντήσεων των μαθητών σχετικά με τον συμπερασμό από τον έλεγχο μεταβλητής στα παραπάνω δύο φαινόμενα (έργα ΣΕΜ3β, ΣΕΜ4β, ΣΕΜ5β και ΣΕΜ6β). Οι μαθητές που βρίσκονται σε παρένθεση κατόρθωσαν να δώσουν απαντήσεις που προσέγγισαν την επιθυμητή γνώση, μετά από υποβοηθητικές ερωτήσεις από τον ερευνητή.

Στον πίνακα 5.2.23 φαίνεται ότι οι δύο μαθητές που περιέγραψαν ορθά τη μέθοδο για τον έλεγχο μιας μεταβλητής που σχετίζεται με το φαινόμενο της Π/Β, μπόρεσαν να επεκτείνουν τη γνώση τους αυτή και στο φαινόμενο της τριβής, που δεν το είχαν διδαχθεί. Το ίδιο παρατηρούμε στον πίνακα 5.2.24, για τους δύο αυτούς μαθητές, όσον αφορά τη μέθοδο για τον συμπερασμό από τον έλεγχο μιας μεταβλητής. Η παρατήρηση αυτή ισχύει και για τους περισσότερους από τους μαθητές που κατόρθωσαν να περιγράψουν τη μέθοδο μετά από υποβοηθητικές ερωτήσεις. Αντίθετα, οι μαθητές που δεν κατάφεραν να περιγράψουν τη μέθοδο για τον έλεγχο μιας μεταβλητής στο φαινόμενο της Π/Β, ή/και τη μέθοδο για τον συμπερασμό στο ίδιο φαινόμενο, δεν κατόρθωσαν τελικά να περιγράψουν τη μέθοδο ούτε στο φαινόμενο της τριβής, ακόμη και μετά από υποβοήθηση.

Όπως φαίνεται από τους πίνακες 5.2.23 και 5.2.24, όλοι οι μαθητές που αρχικά κατατάχθηκαν στην κατηγορία 2 κατάφεραν να μεταβούν πιο κοντά στην επιθυμητή γνώση μετά από υποβοήθηση του ερευνητή.

Επιπλέον, παρατηρώντας τους δύο παραπάνω πίνακες, βλέπουμε ότι οι περισσότεροι μαθητές που κατόρθωσαν να περιγράψουν τη μέθοδο για τον έλεγχο μιας μεταβλητής, έστω και μετά από υποβοήθηση (Πίνακας 5.2.23), περιέγραψαν επίσης και τη μέθοδο για τον συμπερασμό, ανεξάρτητα από το φαινόμενο (Πίνακας 5.2.24). Εξαίρεση αποτελεί ο μαθητής ΜΑΘ7, ο οποίος ενώ περιέγραψε τη μέθοδο για τον έλεγχο μιας μεταβλητής, δεν κατόρθωσε να περιγράψει και τη μέθοδο για τον συμπερασμό. Πιο συγκεκριμένα, παρατηρούμε ότι σχετικά με τον έλεγχο μιας μεταβλητής, αρχικά κατατάχθηκε στην κατηγορία 0 και στη συνέχεια πέρασε στην κατηγορία 2, ενώ σχετικά με τον συμπερασμό από τον έλεγχο της μεταβλητής κατατάχθηκε στην κατηγορία 1, διότι επέμενε να αναφέρει το συμπέρασμα αντί να περιγράψει τον συλλογισμό με τον οποίο κατέληξε σε αυτό.

Συνοψίζοντας, δύο από τους δώδεκα μαθητές περιέγραψαν ορθά (κατηγορία 3) τόσο τη μέθοδο για τον έλεγχο όσο και τη μέθοδο για τον συμπερασμό από τον έλεγχο μιας μεταβλητής. Οι περισσότεροι από τους μαθητές που περιέγραψαν ορθά τη μέθοδο για τη διδαχθείσα μεταβλητή, έστω και μετά από υποβοήθηση, είχαν την ίδια επίδοση και στην περίπτωση της μη διδαχθείσας μεταβλητής είτε στο φαινόμενο της Π/Β είτε στο φαινόμενο της τριβής που ήταν άγνωστο. Η πλειοψηφία των υπόλοιπων μαθητών ανέφερε το συμπέρασμα αντί της μεθόδου (κατηγορία 1), όπως συνέβη και στα γραπτά ερωτηματολόγια. Οι μισοί περίπου από αυτούς τους μαθητές παρέμειναν τελικά στην κατηγορία 1, ακόμη και μετά από την υποβοήθηση του ερευνητή. Τέλος στην κατηγορία 0, κατατάχθηκαν τέσσερις από τους δώδεκα μαθητές. Οι μαθητές αυτοί έδειξαν ότι δεν κατανοούν ότι για τον έλεγχο μιας μεταβλητής πρέπει να αλλάζουμε μόνο τη μεταβλητή αυτή και να κρατάμε όλες τις άλλες σταθερές, κατά συνέπεια δεν μπόρεσαν να περιγράψουν ορθά τη μέθοδο ΣΕΜ. Επίσης δεν κατάφεραν να συνδέσουν το συμπέρασμα με τις παρατηρήσεις από το πείραμα. Εντούτοις, οι δύο από αυτούς τους μαθητές, μετά από υποβοηθητικές ερωτήσεις από τον ερευνητή, κατόρθωσαν να περιγράψουν τη μέθοδο ορθά (κατηγορία 3), ή μερικώς ορθά (κατηγορία 2).

Στην ενότητα 5.4.3β, παραθέτουμε α) ενδεικτικά αποσπάσματα περιπτώσεων μαθητών της κανονικής εφαρμογής, που καθένας αντιστοιχεί σε μία από τις τέσσερις κατηγορίες (κατηγορίες 0, 1, 2, 3), και β) τις υποβοηθητικές ερωτήσεις της

συνέντευξης, που φάνηκε να βοηθούν τους μαθητές είτε να αντιληφθούν καλύτερα τη μέθοδο και στη συνέχεια να την περιγράψουν με επιτυχία, είτε να κατανοήσουν καλύτερα το ερώτημα για να μπορέσουν να περιγράψουν με μεγαλύτερη σαφήνεια τη μέθοδο.

5.2.3.γ Σύνοψη των αποτελεσμάτων σχετικά με την κατανόηση της ΣΕΜ στην πιλοτική εφαρμογή

Από την περιγραφή και ανάλυση των απαντήσεων των μαθητών στα έργα των γραπτών ερωτηματολογίων που αξιολογούν την κατανόηση της ΣΕΜ στην πιλοτική εφαρμογή, παρατηρούμε τα εξής: Μόνο ένας μαθητής, μετά την παρέμβαση, περιέγραψε ορθά τη μέθοδο (κατηγορία 3) για τον έλεγχο μιας μεταβλητής (έργο ΣΕΜ1α), ενώ κανένας μαθητής δεν μπόρεσε να περιγράψει ορθά τη μέθοδο για τον συμπερασμό (έργο ΣΕΜ1β). Ορισμένοι μαθητές περιέγραψαν μέρος της μεθόδου (κατηγορία 2) σχετικά με τον έλεγχο μιας μεταβλητής και ελάχιστοι σχετικά με τον συμπερασμό από τον έλεγχο της μεταβλητής. Η πλειοψηφία των μαθητών στο έργο ΣΕΜ1α, και ακόμη περισσότερο στο έργο ΣΕΜ1β, αναφέρει το συμπέρασμα (κατηγορία 1) αντί της μεθόδου ελέγχου ή της εξαγωγής συμπεράσματος από τον έλεγχο μιας μεταβλητής αντίστοιχα. Υπάρχουν επίσης ορισμένοι μαθητές οι οποίοι δεν μπορούν να δώσουν σχετικές απαντήσεις στα έργα (κατηγορία 0). Τα παραπάνω αποτελέσματα φανερώνουν τη δυσκολία που αντιμετωπίζουν οι μαθητές αυτής της ηλικίας να κατανοήσουν τον συλλογισμό που υπάρχει πίσω από τη μέθοδο ΣΕΜ. Η ανάλυση των συνεντεύξεων, από τη μία επιβεβαίωσε τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τα γραπτά ερωτηματολόγια και από την άλλη παρείχε ενδείξεις ότι οι περισσότεροι μαθητές, κυρίως της κατηγορίας 1, μετά από υποβοηθητικές ερωτήσεις (δες ενότητα 5.2.3.β), μπορούσαν να περιγράψουν έστω και μερικώς ορθά τη μέθοδο για τον έλεγχο μιας μεταβλητής αλλά και για τον συμπερασμό από τον έλεγχό της.

Τέλος, το γεγονός ότι δεν υπήρξε στατιστικά σημαντική βελτίωση, στα γραπτά ερωτηματολόγια, ούτε στην κατανόηση της μεθόδου για τον έλεγχο ούτε και στην κατανόηση της μεθόδου για τον συμπερασμό από τον έλεγχο μιας μεταβλητής (Διάγραμμα 5, Παράρτημα Γ), λήφθηκε υπόψη στη διαδικασία βελτίωσης της σειράς, όπως φαίνεται στις ενότητες 5.3.3.1 και 5.3.3.2.

5.2.4 Αποτελέσματα σχετικά με την κατανόηση της φύσης και του ρόλου των μοντέλων στην πιλοτική εφαρμογή

5.2.4.α Αποτελέσματα από τα γραπτά ερωτηματολόγια σχετικά με την κατανόηση της φύσης και του ρόλου των μοντέλων στην πιλοτική εφαρμογή

Έργο M1 Φύση των μοντέλων στην πιλοτική εφαρμογή

Στο έργο M1 (Πίνακας 4.2 και Παράρτημα Β.2), ζητείται από τους μαθητές να γράψουν μια πρόταση με τη λέξη μοντέλο. Στον πίνακα 5.2.25 φαίνεται ότι στην κατηγορία 1 κατατάχθηκαν μηδέν μαθητές πριν, τρεις μαθητές μετά και τέσσερις μαθητές επτά μήνες μετά την παρέμβαση. Οι περισσότεροι μαθητές στην κατηγορία αυτή ανέφεραν παραδείγματα μοντέλων που συζητήθηκαν κατά τη διάρκεια της παρέμβασης, π.χ. «*σήμερα στη φυσική η κυρία μας έδειξε ένα μοντέλο ενός караβιού*» ή «*Μοντέλα είναι οι τελίτσες που είναι πάνω σε κυβάρια και έτσι δείχνουν την πυκνότητα του υλικού*». Μόνο ένας μαθητής, εκτός από το παράδειγμα μοντέλου, αναφέρθηκε με σαφήνεια και στη χαρακτηριστική ιδιότητα των μοντέλων να αναπαριστούν κάτι, γράφοντας ότι «*Το μοντέλο είναι ένα υλικό που αντιπροσωπεύει ένα πράγμα αλλά δεν είναι το πραγματικό. Ο χάρτης είναι ένα μοντέλο*».

Πίνακας 5.2.25 Απόψεις των μαθητών στο έργο M1 σχετικά με τη φύση των μοντέλων

Κατηγορίες	ΠρινΕΠ	ΜετάΕΠ	ΜΜετάΕΠ
1: αναπαράσταση	0	3	4
0: πραγματικότητα	12	9	8
Σύνολο	12	12	12

Στην κατηγορία 0 κατατάχθηκαν όλοι οι μαθητές πριν, εννέα μαθητές μετά και οκτώ μαθητές επτά μήνες μετά την παρέμβαση. Χαρακτηριστική απάντηση είναι «*Το μοντέλο του αυτοκινήτου του μπαμπά μου είναι BMW. Όταν μεγαλώσω θα γίνω μοντέλο*».

Είναι φανερό, ότι δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική βελτίωση στη μάθηση περί της φύσης των μοντέλων αμέσως μετά την παρέμβαση ($z=1.732$, $p=.083$), και ότι οι μαθητές δυσκολεύονται να μεταβούν στην άποψη ότι ένα μοντέλο είναι αναπαράσταση, και να διακρίνουν το μοντέλο από την πραγματικότητα. Το γεγονός αυτό λήφθηκε υπόψη στη διαδικασία βελτίωσης της σειράς, όπως φαίνεται στην ενότητα 5.3.4.1.

5.2.4.β Αποτελέσματα από τις συνεντεύξεις σχετικά με την κατανόηση της φύσης και του ρόλου των μοντέλων στην πιλοτική εφαρμογή

Στους πίνακες 5.2.26 και 5.2.27 φαίνονται οι απόψεις των μαθητών σχετικά με την κατανόηση της φύσης και του ρόλου των μοντέλων, με βάση την ανάλυση των απαντήσεών τους στη συνέντευξη. Πιο συγκεκριμένα, στον πίνακα 5.2.26 φαίνονται οι απόψεις των μαθητών σχετικά με τη φύση ενός μοντέλου, δηλαδή με το εάν αναγνώρισαν ότι η αναπαράσταση «τελίτσες-στο-κυβάκι» της πυκνότητας, η οποία διδάχθηκε (έργο M5α), καθώς και μια αναπαράσταση του κύκλου του νερού που δε διδάχθηκε (έργο M6α), είναι μοντέλα. Επίσης, στον πίνακα 5.2.27, φαίνονται οι απόψεις των μαθητών σχετικά με τον ρόλο των δύο παραπάνω μοντέλων. Δηλαδή, εάν οι μαθητές αναγνώρισαν ότι το μοντέλο χρησιμοποιείται ως εργαλείο για την ερμηνεία ή/και την πρόβλεψη: α) του φαινομένου της Π/Β (έργο M5β), και β) φαινομένων που εμπλέκονται στον κύκλο του νερού (έργο M6β) αντίστοιχα.

Πίνακας 5.2.26 Απόψεις των μαθητών σχετικά με τη φύση ενός μοντέλου

Κατηγορίες	M5α (πυκνότητα)	M6α (κύκλος του νερού)
1: αναγνώριση της κατασκευής ως μοντέλο	3 [ΜΑΘ2, 10, 11]	4 [ΜΑΘ1, 2, 10, 11]
0: μη αναγνώριση της κατασκευής ως μοντέλο	9 (9) [(ΜΑΘ1, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 12)]	8 (6) [ΜΑΘ4, 7, (ΜΑΘ3, 5, 6, 8, 9, 12)]
Σύνολο	12	12

Πίνακας 5.2.27 Απόψεις των μαθητών σχετικά με τον ρόλο ενός μοντέλου

Κατηγορίες	M5β (πυκνότητα)	M6β (κύκλος του νερού)
1: χρήση του μοντέλου ως εργαλείο για την ερμηνεία ή/και την πρόβλεψη ενός φαινομένου	3 [ΜΑΘ1, 3, 12]	4 [ΜΑΘ1, 3, 5, 10]
0: χρήση του μοντέλου για την παρουσίαση αντικειμένων όπως είναι στην πραγματικότητα	9 (5) [ΜΑΘ4, 7, 8, 9, (ΜΑΘ2, 5, 6, 10, 11)]	8 (6) [ΜΑΘ4, 7, (ΜΑΘ2, 6, 8, 9, 11, 12)]
Σύνολο	12	12

Από τον πίνακα 5.2.26 φαίνεται ότι οι μαθητές οι οποίοι αναγνώρισαν αυθόρμητα τις δύο κατασκευές ως μοντέλα, ήταν μόνο τρεις από τους δώδεκα, στην περίπτωση της αναπαράστασης «τελίτσες-στο-κυβάκι» ή τέσσερις από τους δώδεκα, στην περίπτωση της αναπαράστασης του κύκλου του νερού. Επίσης, από τον πίνακα 5.2.27 φαίνεται ότι τρεις από τους δώδεκα μαθητές ανέφεραν αυθόρμητα το μοντέλο «τελίτσες-στο κυβάκι» ως εργαλείο για την ερμηνεία ή/και την πρόβλεψη του φαινομένου της Π/Β, και τέσσερις μαθητές ανέφεραν το μοντέλο του κύκλου του

νερού ως εργαλείο για την περιγραφή και την ερμηνεία φαινομένων όπως η εξάτμιση του νερού.

Εντούτοις, μετά από σχετική ερώτηση, αρκετοί μαθητές συμφώνησαν ότι οι δύο παραπάνω αναπαραστάσεις είναι μοντέλα και ανέφεραν στοιχεία που σε μεγαλύτερο ή μικρότερο βαθμό προσέγγισαν την επιθυμητή γνώση σχετικά με τη χρήση των μοντέλων αυτών. Οι μαθητές αυτοί παρουσιάζονται στους παραπάνω πίνακες μέσα σε παρενθέσεις. Στην ενότητα 5.4.4.β, παραθέτουμε ενδεικτικά αποσπάσματα για κάθε μία από τρεις περιπτώσεις μαθητών: ενός μαθητή που κατατάχθηκε στην κατηγορία 1, ενός μαθητή που κατατάχθηκε αρχικά στην κατηγορία 0 αλλά μετά από υποβοήθηση κατάφερε να δώσει απαντήσεις που κατατάσσονται στην κατηγορία 1, και τέλος ενός μαθητή που κατατάχθηκε στην κατηγορία 0. Επίσης, παραθέτουμε τις υποβοηθητικές ερωτήσεις, που φάνηκε να βοηθούν τους μαθητές στη συζήτηση σχετικά με τη χρησιμότητα του μοντέλου «τελίτσες-στο-κυβάκι» και σχετικά με τον ρόλο του μοντέλου του κύκλου του νερού.

Εξάλλου, ένας από τους στόχους της συνέντευξης ήταν να ελέγξει εάν οι μαθητές κατανοούν τα συστατικά στοιχεία των μοντέλων αυτών και τη σημασία τους. Καταρχήν, στην περίπτωση της συζήτησης σχετικά με το μοντέλο του κύκλου του νερού και τα συστατικά του στοιχεία, τα αποτελέσματα έδειξαν τα εξής: Οι τέσσερις μαθητές που αναγνώρισαν τον κύκλο του νερού ως μοντέλο, ανέφεραν ως συστατικά στοιχεία του μοντέλου αυτού, αντικείμενα (π.χ. βουνά, θάλασσα, σύννεφα), διαδικασίες ή/και αλληλεπιδράσεις (π.χ. βελάκια, λεκτικές επεξηγήσεις) μεταξύ τους. Στην περίπτωση που ο μαθητής δήλωνε ότι το μοντέλο του κύκλου του νερού είναι μια αναπαράσταση του τοπίου και ανέφερε μόνο αντικείμενα όπως βουνά, θάλασσα και σύννεφα τότε η υποβοήθηση είχε στόχο να ελέγξει εάν ο μαθητής θεωρεί ότι το μοντέλο περιλαμβάνει και στοιχεία που δεν αντιστοιχούν στην πραγματικότητα, αλλά σε αφηρημένες οντότητες όπως είναι οι διαδικασίες ή οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ αντικειμένων. Ένα τέτοιο στοιχείο στο μοντέλο του κύκλου του νερού είναι τα βελάκια, που αναπαριστούν διαδικασίες και όχι αντικείμενα, π.χ. την εξάτμιση του νερού. Η ερώτηση για την εκκίνηση της συζήτησης σχετικά με τα συστατικά στοιχεία του μοντέλου ήταν για παράδειγμα «*Από τι αποτελείται το μοντέλο;*» ενώ οι υποβοηθητικές ερωτήσεις, στην περίπτωση που ο μαθητής ανέφερε μόνο αντικείμενα ως συστατικά στοιχεία του μοντέλου, ήταν του τύπου «*Τι νομίζεις ότι είναι αυτά τα βελάκια;*». Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η υποβοήθηση αυτή ήταν επιτυχής για αρκετούς από τους μαθητές.

Αντίθετα, στην περίπτωση της συζήτησης σχετικά με το μοντέλο «τελίτσες-στο-κυβάκι» της πυκνότητας, και τα συστατικά του στοιχεία, τα αποτελέσματα ήταν αρνητικά. Οι περισσότεροι μαθητές, στην ερώτηση «*από τι αποτελείται το μοντέλο της πυκνότητας;*», ανέφεραν ότι αποτελείται από υλικά (π.χ. από σίδηρο), ενώ μόνο μετά από διευκρινιστική ερώτηση ανέφεραν α) τις τελίτσες, για τις οποίες άλλοι θεωρούσαν ότι αναπαριστούν την πυκνότητα και άλλοι το βάρος, και β) το κυβάκι, το οποίο δεν το θεωρούσαν σημαντικό ή απαραίτητο. Για παράδειγμα, παραθέτουμε απόσπασμα από τη συνέντευξη του μαθητή ΜΑΘ6:

«.....»

Ερευνητής: Από τι πιστεύεις ότι αποτελείται αυτό το μοντέλο;

ΜΑΘ6: Από σίδηρο ίσως

Ερευνητής: Από σίδηρο είναι το μοντέλο ή το πραγματικό αντικείμενο;

ΜΑΘ6: Και το πραγματικό αντικείμενο αλλά το φτιάχνουμε..

Ερευνητής: Το μοντέλο τι είναι;

ΜΑΘ6: Κι αυτό από σίδηρο είναι.

Ερευνητής: Το μοντέλο του κύκλου του νερού από τι αποτελείται; Είχαμε πει ότι αποτελείται από βουνά, θάλασσα, σύννεφα και βελάκια. Εδώ τι έχουμε σχεδιάσει, αυτό είναι το ερώτημα.

ΜΑΘ6: Τις 9 τελίτσες

Ερευνητής: Και τι άλλο;

ΜΑΘ6: Και ένα κυβάκι.

Ερευνητής: Και τι σημαίνει για σένα αυτό; Τι σημαίνουν για σένα οι τελίτσες και το κυβάκι που είπες;

ΜΑΘ6: Οι τελίτσες μέσα είναι η πυκνότητα του σιδήρου. Και το κυβάκι είναι για να συμβολίζει το σίδηρο. Δηλαδή δεν μπορεί ο σίδηρος να είναι τρίγωνο και η γλυκερίνη να είναι τετράγωνη.

Ερευνητής: Η πυκνότητα είναι οι τελίτσες ή η πυκνότητα είναι οι τελίτσες μαζί με το κυβάκι;

ΜΑΘ6: Οι τελίτσες μόνο

.....»

Γενικότερα, κανένας μαθητής στην πιλοτική εφαρμογή δεν αντιλήφθηκε τη σημασία του γεγονότος ότι τα κυβάκια όλων των υλικών έχουν το ίδιο μέγεθος (σχήμα 3.2). Η δυσκολία που συνάντησαν οι μαθητές να κατανοήσουν τα συστατικά στοιχεία του μοντέλου «τελίτσες-στο-κυβάκι» της πυκνότητας λήφθηκαν υπόψη στις βελτιωτικές αλλαγές της ΔΜΣ, όπως φαίνεται στην ενότητα 5.3.4.2.

5.2.4.γ Σύνοψη των αποτελεσμάτων σχετικά με την κατανόηση της φύσης και του ρόλου των μοντέλων στην πιλοτική εφαρμογή

Τα αποτελέσματα από την ανάλυση των μεταγραφών των συνεντεύξεων, καταρχήν είναι σε συμφωνία με τα αποτελέσματα στα γραπτά ερωτηματολόγια, όπως αυτά περιγράφονται στην ενότητα 5.2.4.α. Παρατηρήσαμε ότι οι τέσσερις μαθητές που στο

γραπτό ερωτηματολόγιο κατατάχθηκαν στην κατηγορία 1 (ΜΑΘ1, ΜΑΘ2, ΜΑΘ3 και ΜΑΘ12), κατατάχθηκαν στην ίδια κατηγορία και στη συνέντευξη και πιο συγκεκριμένα στα έργα σχετικά με τη φύση (αναγνώριση) των μοντέλων (Πίνακας 5.2.26) ή/και σχετικά με τον ρόλο των μοντέλων (Πίνακας 5.2.27). Σε μια δεύτερη ανάγνωση των αποτελεσμάτων από την ανάλυση των συνεντεύξεων, παρατηρούμε ότι οι περισσότεροι από τους μαθητές οι οποίοι με βάση τις αρχικές τους απαντήσεις κατατάχθηκαν στην κατηγορία 0, μετά από υποβοηθητικές ερωτήσεις από τον ερευνητή (δες ενότητα 5.2.4.β) έδωσαν απαντήσεις που σε μικρότερο ή μεγαλύτερο βαθμό προσέγγισαν την επιθυμητή γνώση, ιδίως στην περίπτωση του μοντέλου του κύκλου του νερού.

Τέλος, η δυσκολία των μαθητών να αντιληφθούν: α) τη φύση των μοντέλων, ότι είναι δηλαδή αναπαράσταση και όχι ακριβής απεικόνιση της πραγματικότητας, και β) τη σημασία του γεγονότος ότι όλα τα κυβάρια στο μοντέλο «τελίτσες-στο-κυβάρικι» έχουν τον ίδιο όγκο, λήφθηκαν υπόψη στις βελτιωτικές αλλαγές της ΔΜΣ όπως περιγράφονται στις ενότητες 5.3.4.1 και 5.3.4.2 αντίστοιχα.

5.3 Η διαδικασία βελτίωσης της ΔΜΣ

Η ανάλυση της διαδικασίας βελτίωσης της ΔΜΣ (η μέθοδος αναλυτικά στην ενότητα 4.3) ανέδειξε συνολικά δεκαπέντε βελτιωτικές αλλαγές, οι οποίες ακολουθούν τη δομή *στόχος, αντίσταση, προσαρμογή* (δες πίνακες 5.3.2, 5.3.3 και 5.3.5). Επίσης, κάθε βελτιωτική αλλαγή συσχετίστηκε: α) με τον/τους παράγοντα/ες που κυρίως καθοδήγησαν τη συγκεκριμένη προσαρμογή, και β) με τις πηγές των δεδομένων, κύριων και δευτερευόντων, που επηρέασαν αυτήν την αλλαγή. Κατά τη διάρκεια αυτής της διαδικασίας βελτίωσης της ΔΜΣ, ένας δύο ή ακόμη και οι τρεις παράγοντες (εκπαιδευτικός, επιστημονικός ή υλικός) μπορεί να εμπλέκονται, έχοντας παρόλα αυτά διαφορετικό βαθμό επίδρασης στη διαδικασία. Θεωρούμε ότι ο κύριος παράγοντας που επηρεάζει μια βελτιωτική αλλαγή είναι α) ο εκπαιδευτικός παράγοντας όταν η κύρια αιτία της αλλαγής είναι η εμπειρία των εκπαιδευτικών ή/και οι δυσκολίες των μαθητών, β) ο επιστημονικός παράγοντας όταν η κύρια αιτία της αλλαγής είναι οι τρέχουσες και κυρίαρχες διδακτικές – μαθησιακές θεωρίες στον χώρο της ΔΦΕ, και γ) ο υλικός παράγοντας όταν η κύρια αιτία της αλλαγής είναι, για παράδειγμα οι υποδομές της σχολικής μονάδας. Παρακάτω, παρουσιάζουμε αναλυτικά τις βελτιωτικές αλλαγές, ανά περιοχή διδασκαλίας και μάθησης της ΔΜΣ

(ερμηνείες φαινομένων Π/Β, πυκνότητα, στοιχεία της μεθόδου ΣΕΜ και στοιχεία της φύσης και του ρόλου των μοντέλων).

5.3.1 Ερμηνείες φαινομένων Π/Β

Οι βελτιωτικές αλλαγές που πραγματοποιήθηκαν και σχετίζονται με τις ερμηνείες φαινομένων Π/Β ήταν δύο: α) σύνδεση μεταξύ των ερμηνειών των φαινομένων Π/Β σε πραγματικά και προσομοιωμένα πειράματα, και β) μείωση του χρόνου που αφιερώνεται στη φάση εξοικείωσης των μαθητών με τα φαινόμενα Π/Β.

5.3.1.1 Π/Β, Σύνδεση μεταξύ των ερμηνειών σε πραγματικά και προσομοιωμένα πειράματα

Στόχος: Ένας από τους επιδιωκόμενους στόχους της ΔΜΣ είναι η χρήση του οπτικού μοντέλου της πυκνότητας στις ερμηνείες των μαθητών σε φαινόμενα Π/Β, στο πλαίσιο συσχετιστικού αιτιακού συλλογισμού, δηλαδή χρησιμοποιώντας το κριτήριο σύγκρισης πυκνοτήτων του υλικού του αντικειμένου και του είδους του υγρού (Perkins & Grotzer, 2005). Εντούτοις, η αναφορά στο υλικό του αντικειμένου αποτελεί μια ερμηνεία για το φαινόμενο Π/Β, η οποία παρόλο που είναι διαισθητική, είναι στην κατεύθυνση της επιθυμητής γνώσης (Smith et al., 1992).

Αντίσταση: Η αντίσταση καταρχήν εμφανίστηκε μέσα από την παρατήρηση των ειδικών για πιο ισορροπημένη κατανομή μεταξύ πραγματικών και προσομοιωμένων πειραμάτων για τη διαπραγμάτευση των φαινομένων Π/Β της ΔΜΣ, λόγω του νεαρού της ηλικίας (10-11 ετών) των μαθητών. Θεωρήθηκε ότι θα ήταν δύσκολο για τους μαθητές να κατανοήσουν τη σχέση και την αναλογία μεταξύ προσομοιώσεων και πραγματικών πειραμάτων. Αυτή η δυσκολία επιβεβαιώθηκε και από την ανάλυση των απαντήσεων των μαθητών στα γραπτά ερωτηματολόγια στην πιλοτική εφαρμογή (δες σύνοψη αποτελεσμάτων στην ενότητα 5.2.1.α). Όπως φαίνεται από τα αποτελέσματα, οι μαθητές χρησιμοποιούν συσχετιστικό αιτιακό συλλογισμό στις ερμηνείες των φαινομένων Π/Β κυρίως στα έργα στα οποία τα αντικείμενα έχουν τη μορφή του μοντέλου «τελίτσες-στο-κυβάκι» (έργα ΠΒ5 και ΠΒ6), ενώ δεν καταφέρνουν να χρησιμοποιήσουν συσχετιστικό αιτιακό συλλογισμό στα έργα τα οποία παραπέμπουν στην καθημερινότητα και δε δίνεται καμία επιπλέον βοήθεια πέρα από την περιγραφή του φαινομένου (έργα ΠΒ1, ΠΒ1β και ΠΒ2). Ενδεικτικά,

παραθέτουμε στον πίνακα 5.3.1, τα αποτελέσματα στα έργα ΠΒ2 και ΠΒ5. Επίσης, από την ανάλυση των συνεντεύξεων φάνηκε ότι η παρουσία του μοντέλου «τελίτσες-στο-κυβάκι» είναι σημαντική και βοηθάει τους μαθητές να αντιληφθούν και να ερμηνεύσουν σωστά το διαφορετικό επίπεδο πλεύσης των αντικειμένων (δες σύνοψη στην ενότητα 5.2.2.γ). Βασιζόμενοι στα παραπάνω αποτελέσματα, συμπεραίνουμε ότι οι μαθητές δίνουν ερμηνείες που είναι πιο κοντά στην επιθυμητή γνώση όταν αντιμετωπίζουν καταστάσεις που μοιάζουν με τα προσομοιωμένα πειράματα παρά με την καθημερινότητα.

Η σύγκριση των αποτελεσμάτων, μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι οι μαθητές δυσκολεύτηκαν να εφαρμόσουν αυτά που έμαθαν σε προσομοιωμένο περιβάλλον, σε αντίστοιχες καταστάσεις που παραπέμπουν σε φαινόμενα Π/Β της καθημερινότητας. Θεωρήσαμε ότι ένας τρόπος να βοηθήσουμε τους μαθητές να προσπεράσουν αυτήν τη δυσκολία θα ήταν να αυξήσουμε τον σχετικά μικρότερο αριθμό πραγματικών πειραμάτων έναντι των προσομοιωμένων.

Πίνακας 5.3.1 Ερμηνείες των μαθητών στα φαινόμενα Π/Β

	Πραγματικά πειράματα – Έργο ΠΒ2		Προσομοιωμένα πειράματα – Έργο ΠΒ5	
	Πριν	Μετά	Πριν	Μετά
Σύγκριση πυκνοτήτων του υλικού του αντικειμένου και του υγρού ή αναφορά στο υλικό του αντικειμένου	1*	3	-	10
Αναφορά στο βάρος του αντικειμένου ή τελεολογική απάντηση	11	9	-	2

* Αριθμός μαθητών που εκφράζει τη συγκεκριμένη ερμηνεία

Προσαρμογή: Λαμβάνοντας υπόψη τις παραπάνω παρατηρήσεις κάναμε τις εξής αλλαγές: α) ο αριθμός των πραγματικών πειραμάτων αυξήθηκε από οκτώ σε δέκα, ενώ ο αριθμός των προσομοιωμένων πειραμάτων μειώθηκε από δεκαέξι σε δεκαπέντε, β) τρεις από τις δραστηριότητες οι οποίες στην πιλοτική εφαρμογή πραγματοποιήθηκαν από τη δασκάλα, στην κανονική εφαρμογή πραγματοποιήθηκαν από τους μαθητές σε ομάδες, και γ) οι μαθητές προτρίπονταν να συνδέσουν τις ερμηνείες που έδιναν στα προσομοιωμένα πειράματα με αυτές που έδιναν στα πραγματικά πειράματα (Jaakkola et al., 2010). Οι παραπάνω αλλαγές αποσκοπούν στο να αυξήσουν την ενεργό συμμετοχή των μαθητών σε πραγματικά πειράματα, αναμένοντας να επακολουθήσει βελτίωση των ερμηνειών των φαινομένων Π/Β που αντιστοιχούν σε πραγματικές καταστάσεις. Παρόλο που η

αλλαγή αυτή προτάθηκε καταρχήν από τους ειδικούς, θεωρήσαμε ότι ο παράγοντας που την καθόρισε ήταν ο *εκπαιδευτικός*, καθώς το θέμα ήταν η δυσκολία των μαθητών, και το ζητούμενο να τις προσπεράσουμε. Εντούτοις, δευτερευόντως, θεωρήσαμε ότι η αλλαγή επηρεάστηκε και από τον *επιστημονικό* παράγοντα, επειδή η διδακτική μέθοδος συγκεκριμένων δραστηριοτήτων άλλαξε (από επίδειξη σε εργασία των μαθητών σε ομάδες) ακολουθώντας τις τρέχουσες και κυρίαρχες διδακτικές – μαθησιακές θεωρίες στον χώρο της ΔΦΕ.

5.3.1.2 Π/Β, Μείωση του χρόνου που αφιερώνεται σε δραστηριότητες εξοικείωσης

Στόχος: Ένας από τους επιδιωκόμενους στόχους της ΔΜΣ ήταν η εξοικείωση των μαθητών με τα φαινόμενα Π/Β, στην 1^η ενότητα. Οι δραστηριότητες μέσα από τις οποίες επιδιώχθηκε η εξοικείωση περιλάμβαναν βίντεο και φωτογραφίες με θέμα το ναυάγιο του Sea Diamond, και ένα ηλεκτρονικό διαδραστικό σκίτσο ενός καραβιού (σκίτσο – καράβι). Οι συζητήσεις που πραγματοποιήθηκαν είχαν στόχο την αναγνώριση αντικειμένων που υπάρχουν πάνω σε ένα πλοίο και την ταξινόμησή τους σε αντικείμενα που επιπλέουν και αντικείμενα που βυθίζονται. Επίσης, στόχος ήταν και η ανάδειξη των ερμηνειών των μαθητών σχετικά με την Π/Β τους.

Αντίσταση: Παρατηρήθηκε από τη δασκάλα και επιβεβαιώθηκε από τους ερευνητές που παρακολούθησαν το μάθημα, ότι οι μαθητές εξοικειώθηκαν γρήγορα με τα φαινόμενα Π/Β. Ως αποτέλεσμα, ορισμένες από τις δραστηριότητες φάνηκε να κουράζουν τους μαθητές.

Προσαρμογή: Στην κανονική εφαρμογή, αφαιρέσαμε από τα φύλλα εργασίας ορισμένες ερωτήσεις που φάνηκε να πλεονάζουν, ενώ σε άλλες προσθέσαμε οδηγίες που είχαν στόχο τον περιορισμό του χρόνου ενασχόλησης με αυτές. Για παράδειγμα στη συζήτηση που έγινε με αφορμή το βίντεο από το ναυάγιο του Sea Diamond, αφαιρέθηκε η ερώτηση «*Ξέρετε τι είναι αυτές οι πορτοκαλί σκηνές πάνω στη θάλασσα; Σε τι χρειάζονται;*», επειδή υπήρχε ήδη η ερώτηση «*Γιατί υπάρχουν τα σωσίβια πάνω στο πλοίο;*», η οποία εξυπηρετούσε τον ίδιο σκοπό. Επιπλέον, στη συζήτηση σχετικά με το ηλεκτρονικό σκίτσο – καράβι δόθηκε στους μαθητές σαφής οδηγία να γράψουν μόνο τρία αντικείμενα που νομίζουν ότι επιπλέουν και τρία που νομίζουν ότι βυθίζονται, ενώ να αιτιολογήσουν την άποψή τους μόνο για ένα από την

κάθε κατηγορία. Στην πιλοτική εφαρμογή οι μαθητές μπορούσαν να καταγράψουν όσα αντικείμενα ήθελαν και να αιτιολογήσουν για όλα.

Συνεπώς, θεωρήθηκε ότι ο παράγοντας που καθόρισε αυτήν την βελτιωτική αλλαγή της ΔΜΣ ήταν ο *εκπαιδευτικός*, επειδή η αλλαγή πραγματοποιήθηκε κυρίως λόγω των δυσκολιών που αντιμετώπισαν οι μαθητές στην πιλοτική εφαρμογή.

5.3.2 Πυκνότητα ως ιδιότητα των υλικών

Σχετικά με την κατανόηση της πυκνότητας ως ιδιότητας των υλικών πραγματοποιήθηκε η εξής βελτιωτική αλλαγή:

5.3.2.1 Πυκνότητα, Έμφαση στη διάκριση μεταξύ ομογενών και σύνθετων αντικειμένων

Στόχος: Ένας άλλος επιδιωκόμενος στόχος της ΔΜΣ είναι οι μαθητές να χρησιμοποιήσουν το οπτικό μοντέλο «τελίτσες-στο-κυβάκι» της πυκνότητας για να ερμηνεύσουν και να προβλέψουν φαινόμενα Π/Β ομογενών καθώς και σύνθετων αντικειμένων. Πιο συγκεκριμένα, οι μαθητές αρχικά καλούνται να διαπραγματευτούν την Π/Β ομογενών και συμπαγών αντικειμένων, όπως κύβων και σφαιρών από ένα υλικό, για παράδειγμα από ξύλο ή από σίδηρο, χρησιμοποιώντας το μοντέλο «τελίτσες-στο-κυβάκι» της πυκνότητας και το κριτήριο σύγκρισης πυκνοτήτων του υλικού του αντικειμένου και του υγρού. Στη συνέχεια, καλούνται να χρησιμοποιήσουν το ίδιο κριτήριο και για σύνθετα αντικείμενα, για παράδειγμα ένα μπουκάλι από γυαλί ή ένα σιδερένιο μοντέλο ενός πλοίου, που είναι γεμάτα με αέρα ή με νερό.

Αντίσταση: Σύμφωνα με τις παρατηρήσεις των ερευνητών, φάνηκε ότι οι μαθητές για να κατανοήσουν την έννοια της πυκνότητας του υλικού ενός αντικειμένου, θα έπρεπε να διακρίνουν τα ομογενή και συμπαγή αντικείμενα από τα σύνθετα αντικείμενα (λόγω του νεαρού της ηλικίας χρησιμοποιήσαμε περιπτώσεις σύνθετων αντικειμένων που αποτελούνται μόνο από δύο υλικά). Στην πιλοτική εφαρμογή πραγματοποιήθηκε μια συζήτηση σχετικά με τη διάκριση αυτή, αλλά αυτό συνέβη στο τέλος της ΔΜΣ και συγκεκριμένα στην αρχή της 5^{ης} ενότητας (Πίνακας 3.1, ενότητα 3.2). Η αντίσταση που εμφανίστηκε ήταν ότι οι μαθητές δεν μπορούσαν να χρησιμοποιήσουν το μοντέλο «τελίτσες-στο-κυβάκι» της πυκνότητας στο πλαίσιο συσχετιστικού αιτιακού συλλογισμού όταν επρόκειτο να ερμηνεύσουν και να προβλέψουν την Π/Β ενός

σύνθετου αντικειμένου, παρά τις προτροπές της δασκάλας τους και παρόλο που τα κατάφερναν στις περιπτώσεις που τα αντικείμενα ήταν ομογενή. Το παρακάτω απόσπασμα από τη μεταγραφή του αρχείου βίντεο της διδασκαλίας είναι ενδεικτικό:

«.....»

Συζήτηση μεταξύ της δασκάλας και των μαθητών σχετικά με το λόγο που το σιδερένιο καράβι επιπλέει. Η δασκάλα παροτρύνει τους μαθητές να προσπαθήσουν να το εξηγήσουν με τη βοήθεια του μοντέλου κυβάκι με τελίτσες των διαφόρων υλικών το οποίο προβάλλεται στον πίνακα:

ΜΑΘΗΤΗΣ Α: (προσπαθεί να χρησιμοποιήσει την πυκνότητα στην ερμηνεία της Π/Β του σιδερένιου μοντέλου του πλοίου) Επειδή αυτό το καράβι είναι από έχει μέσα αέρα και ο αέρας έχει μικρότερη πυκνότητα από το σίδηρο και από το νερό το καράβι έχει μέσα αέρα και ο αέρας κρατάει το σίδηρο ψηλά.

ΜΑΘΗΤΗΣ Β: επειδή ο αέρας επιπλέει στο νερό για αυτό επιπλέει το καράβι.

ΔΑΣΚΑΛΑ: Ναι αλλά αυτό είναι από σίδηρο και έχει αέρα μέσα.

ΜΑΘΗΤΗΣ Γ: Είναι σαν σωσίβιο.

ΜΑΘΗΤΗΣ Δ: Δημιουργείται η άνωση. Επειδή αυτό έχει μέσα αέρα, όπως σωστά είπε ο Περικλής, είναι σαν σωσίβιο, και επειδή έχει μέσα αέρα δεν μπορεί να μπει μέσα το νερό...

.....»

Έτσι, όπως φάνηκε από το παραπάνω απόσπασμα, οι ερμηνείες των μαθητών για το φαινόμενο της Π/Β εκφράστηκαν στο πλαίσιο γραμμικού αιτιακού αντί συσχετιστικού αιτιακού συλλογισμού, με κύρια μεταβλητή που επηρεάζει το φαινόμενο να θεωρείται η ύπαρξη του αέρα στο εσωτερικό του πλοίου. Παρόλο που αυτή η ερμηνεία δεν είναι λανθασμένη, αφού γίνεται αναφορά στα υλικά από τα οποία αποτελείται το αντικείμενο, οι μαθητές αδυνατούν να χρησιμοποιήσουν το μοντέλο «τελίτσες-στο-κυβάκι», ενώ μάλιστα η δασκάλα τους παροτρύνει προς αυτήν την κατεύθυνση.

Προσαρμογή: Στην κανονική εφαρμογή, οι συζητήσεις που είχαν στόχο να βοηθήσουν τη χρήση του οπτικού μοντέλου της πυκνότητας στην ερμηνεία των φαινομένων Π/Β ομογενών καθώς και σύνθετων αντικειμένων, πραγματοποιήθηκαν ως εξής: α) η έννοια του ομογενούς και συμπαγούς αντικειμένου συζητήθηκε κατά τη διάρκεια της 1^{ης} ενότητας, ενώ β) η έννοια του σύνθετου αντικειμένου που αποτελείται από δυο υλικά, συζητήθηκε κατά τη διάρκεια της 4^{ης} ενότητας. Επιπλέον, ακολουθώντας τη λογική της αλλαγής που περιγράφεται στην ενότητα 5.3.1.1, κατά τη διάρκεια της 4^{ης} και 5^{ης} ενότητας η δασκάλα φρόντισε ώστε το μοντέλο «τελίτσες-στο-κυβάκι» να προβάλλεται συνεχώς στον πίνακα και προέτρεπε τους μαθητές να το χρησιμοποιήσουν στις ερμηνείες και προβλέψεις φαινομένων Π/Β σύνθετων

αντικειμένων όπως το χρησιμοποίησαν και στα πειράματα (πραγματικά ή/και προσομοιωμένα) με ομογενή αντικείμενα.

Συνεπώς, θεωρήθηκε ότι ο παράγοντας που καθόρισε αυτήν τη βελτιωτική αλλαγή της ΔΜΣ ήταν ο εκπαιδευτικός, επειδή η αλλαγή πραγματοποιήθηκε κυρίως λόγω των δυσκολιών που αντιμετώπισαν οι μαθητές στην πιλοτική εφαρμογή.

Πίνακας 5.3.2 Οι βελτιωτικές αλλαγές σχετικά με τις ερμηνείες φαινομένων Π/Β και την πυκνότητα με βάση το μοντέλο του Pickering (όπου ΕΚ = Εκπαιδευτικός, Υ = Υλικός, ΕΠ = Επιστημονικός)

ΣΤΟΧΟΣ	ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ	ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ	ΠΑΡΑΓΟΝΤΑΣ	ΠΗΓΕΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ
5.3.1.1 Ερμηνεία και πρόβλεψη φαινομένων Π/Β ομογενών αντικειμένων	Μικρότερη επιτυχία στην ερμηνεία πραγματικών έναντι προσομοιωμένων πειραμάτων	<ul style="list-style-type: none"> Σύνδεση μεταξύ των ερμηνειών στα πραγματικά και τα προσομοιωμένα πειράματα Από επίδειξη σε εργασία σε ομάδες 	ΕΚ, ΕΠ	<ul style="list-style-type: none"> Παρατηρήσεις ειδικών Πριν και μετά ερωτηματολόγια Συνεντεύξεις
5.3.1.2 Εξοικείωση με φαινόμενα Π/Β	Αφιερώθηκε πολύ περισσότερος από τον απαραίτητο χρόνο για τον συγκεκριμένο στόχο	<ul style="list-style-type: none"> Μείωση του χρόνου που αφιερώνεται σε δραστηριότητες εξοικείωσης, υπέρ του χρόνου που αφιερώνεται στη συζήτηση σχετικά με στοιχεία της φύσης και του ρόλου των μοντέλων 	ΕΚ	<ul style="list-style-type: none"> Παρατηρήσεις εκπαιδευτικών Φύλλα εργασίας
5.3.2.1 Ερμηνεία και πρόβλεψη φαινομένων Π/Β σύνθετων αντικειμένων χρησιμοποιώντας το μοντέλο «τελίτσες-στο-κυβάκι»	Περιορισμένη επιτυχία στη χρήση του μοντέλου για την ερμηνεία Π/Β σύνθετων αντικειμένων	<ul style="list-style-type: none"> Έμφαση στη διάκριση μεταξύ ομογενών και σύνθετων αντικειμένων Άμεση πρόσβαση στο οπτικό μοντέλο «τελίτσες-στο-κυβάκι» κατά τη διάρκεια των σχετικών συζητήσεων 	ΕΚ	<ul style="list-style-type: none"> Σημειώσεις ερευνητών Μεταγραφές των αρχείων βίντεο της διδασκαλίας

5.3.3 Δεξιότητες Διερεύνησης - Στρατηγική Ελέγχου Μεταβλητών (ΣΕΜ)

Οι βελτιωτικές αλλαγές που πραγματοποιήθηκαν και σχετίζονται με δεξιότητες διερεύνησης ήταν έξι. Πέντε από αυτές αφορούσαν στη μέθοδο ΣΕΜ, και πιο συγκεκριμένα: α) βαθμιαία μείωση της υποστήριξης στη διερεύνηση, β) έμφαση στη διαδικασία εξαγωγής συμπεράσματος, γ) αλλαγή στη σειρά των υπό έλεγχο μεταβλητών, δ) δύο δοκιμές αντί για τρεις, και ε) αλλαγές στα διδακτικά υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάδειξη των μεταβλητών που πιθανόν επηρεάζουν το φαινόμενο Π/Β. Επιπλέον, η έκτη βελτιωτική αλλαγή αφορά στην ανάγνωση κειμένων ως δεξιότητα διερεύνησης, και πιο συγκεκριμένα, στ) δόθηκαν συγκεκριμένες θεματικές διερεύνησης.

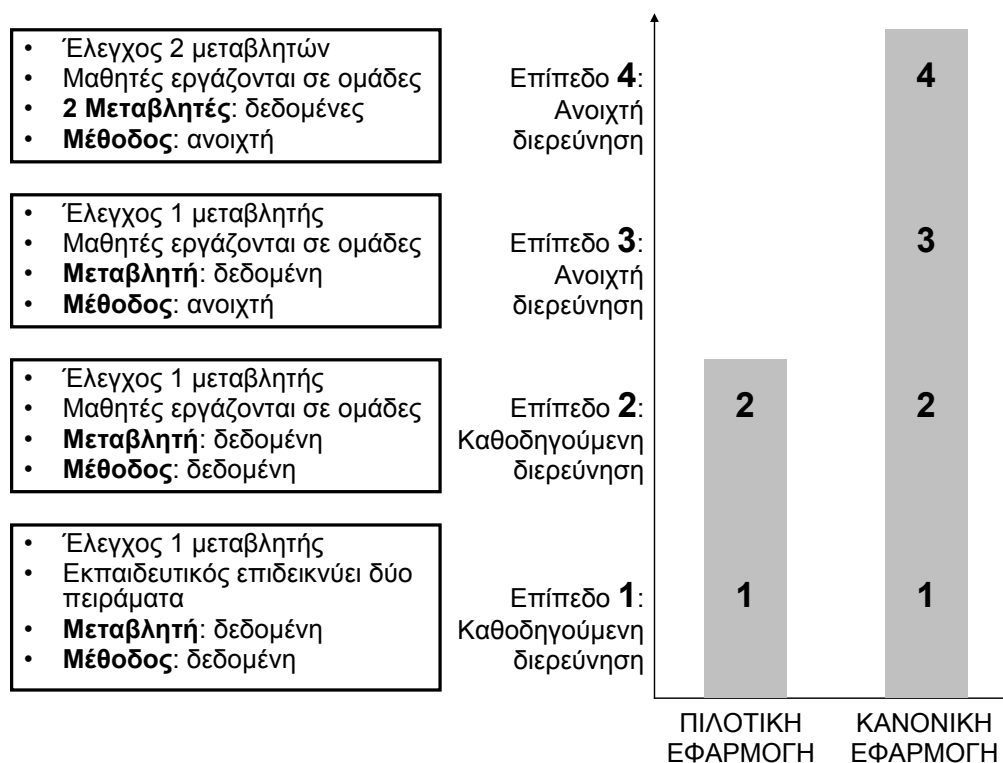
5.3.3.1 ΣΕΜ, Βαθμιαία μείωση της υποστήριξης στη διερεύνηση

Στόχος: Η συγκεκριμένη βελτιωτική αλλαγή αναφέρεται στον βαθμό υποστήριξης (και άρα στη διδακτική μέθοδο) που είχαν οι μαθητές όταν εφάρμοσαν τη μέθοδο ΣΕΜ για να ελέγξουν εάν ορισμένες μεταβλητές επηρεάζουν την Π/Β ενός αντικειμένου σε ένα υγρό. Στην πιλοτική εφαρμογή, υπήρξε μια προσέγγιση της μεθόδου σε δύο επίπεδα (τα πρώτα δύο επίπεδα στο σχήμα 5.3.1). Πιο συγκεκριμένα στο πρώτο επίπεδο, η δασκάλα πραγματοποίησε με επίδειξη τον έλεγχο της μεταβλητής σχήμα του αντικειμένου. Έπειτα, οι μαθητές, σε ομάδες, πραγματοποίησαν πειράματα για τον έλεγχο και των υπόλοιπων μεταβλητών, χρησιμοποιώντας δομημένα φύλλα εργασίας στα οποία δόθηκε η μέθοδος και η μεταβλητή που θα ελεγχθεί (δεύτερο επίπεδο, σχήμα 5.3.1). Θεωρήσαμε ότι οι μαθητές θα κατανοήσουν τη μέθοδο, χρησιμοποιώντας την σε φαινόμενα Π/Β. Επίσης, θεωρήσαμε ότι οι μαθητές χρειάζονται καθοδήγηση στην εφαρμογή της μεθόδου γιατί δεν είναι εξοικειωμένοι με παρόμοιες διερευνήσεις.

Αντίσταση: Οι ειδικοί πρότειναν ότι οι δραστηριότητες για τον έλεγχο των μεταβλητών θα μπορούσαν να πραγματοποιηθούν μέσα από μια πιο ανοιχτή παρά τόσο καθοδηγούμενη προσέγγιση διερεύνησης. Εντούτοις, από τα αποτελέσματα στα γραπτά ερωτηματολόγια καθώς και στη συνέντευξη ήταν σαφές ότι οι μαθητές αντιμετώπιζαν δυσκολίες στην κατανόηση της μεθόδου ΣΕΜ (δες σύνοψη στην ενότητα 5.2.3.α και ενότητα 5.2.3.γ). Παρόλα αυτά, ακολουθώντας τις τρέχουσες και κυρίαρχες διδακτικές – μαθησιακές θεωρίες στον χώρο της ΔΦΕ (παράδειγμα

Διερεύνησης, IBSE, δες ενότητα 2.2), επιμείναμε στην απόκτηση της λογικής της μεθόδου ΣΕΜ, μέσα από μια πιο ανοιχτή προσέγγιση στη διερεύνηση.

Προσαρμογή: Ως αποτέλεσμα των παραπάνω, στην κανονική εφαρμογή σχεδιάστηκε μια βαθμιαία αύξηση της ενεργού συμμετοχής των μαθητών με τη μέθοδο *σκαλωσιάς (scaffolding)* (δες σχεδιαστική αρχή Δ2, ενότητα 3.1), ταυτόχρονα με μια βαθμιαία μείωση της υποστήριξης στις διαδικασίες διερεύνησης, σε τέσσερα επίπεδα (σχήμα 5.3.1). Αρχικά, η δασκάλα εφάρμοσε τη μέθοδο ΣΕΜ με επίδειξη, και συγκεκριμένα έλεγξε εάν η μεταβλητή βάρος του αντικειμένου επηρεάζει το φαινόμενο Π/Β. Στη συνέχεια, οι μαθητές σε ομάδες, έλεγξαν τη μεταβλητή φάρδος του δοχείου, χρησιμοποιώντας δομημένα φύλλα εργασίας, στα οποία η μεταβλητή υπό έλεγχο και η μέθοδος δίνονται με σαφήνεια. Έπειτα, ζητήθηκε από τους μαθητές να ελέγξουν τη μεταβλητή είδος του υγρού, αφού πρώτα σχεδιάσουν οι ίδιοι το πείραμα. Καταλήγοντας, στο τελευταίο επίπεδο διερεύνησης, το οποίο χαρακτηρίζεται από τη μικρότερη υποστήριξη, οι μαθητές καλούνται να σχεδιάσουν και να εφαρμόσουν ένα ή περισσότερα πειράματα ώστε να ελέγξουν δύο μεταβλητές: το είδος του υλικού και το σχήμα του αντικειμένου, χωρίς να τους δοθεί επιπλέον υποστήριξη.



Σχήμα 5.3.1 Σύγκριση της διδακτικής μεθόδου που χρησιμοποιήθηκε στην πιλοτική και την κανονική εφαρμογή κατά την εφαρμογή της μεθόδου ΣΕΜ στο φαινόμενο Π/Β

Ο καθοριστικός παράγοντας που οδήγησε την ερευνητική ομάδα σε μια πιο ανοιχτή προσέγγιση διερεύνησης ήταν οι παρατηρήσεις των ειδικών. Παρά τις δυσκολίες που αντιμετώπισαν οι μαθητές στην κατανόηση της μεθόδου ΣΕΜ, που κανονικά θα οδηγούσε σε μια πιο καθοδηγούμενη προσέγγιση, η απόφαση αυτή ήταν προφανώς επηρεασμένη από τις τρέχουσες και κυρίαρχες διδακτικές – μαθησιακές θεωρίες στον χώρο της ΔΦΕ (Hardy et al., 2006), δηλαδή τις σχετικές με τη Διερεύνηση ως μέσο (IBSE). Συνεπώς, θεωρήθηκε ότι ο παράγοντας που κατά κύριο λόγο καθοδήγησε αυτήν την αλλαγή ήταν ο *επιστημονικός*.

5.3.3.2 ΣΕΜ, Έμφαση στη διαδικασία εξαγωγής συμπεράσματος

Στόχος: Σημαντικό στοιχείο της μεθόδου ΣΕΜ είναι η διαδικασία εξαγωγής συμπεράσματος. Στην πιλοτική εφαρμογή θεωρήσαμε ότι οι μαθητές θα κατανοούσαν τη διαδικασία αυτή συμμετέχοντας στις καθοδηγούμενες πειραματικές δραστηριότητες.

Αντίσταση: Ωστόσο, υπήρξαν τεκμήρια, τα οποία προέκυψαν από τη συλλογή δεδομένων με διαφορετικά εργαλεία, που ανέδειξαν το γεγονός ότι οι μαθητές συνάντησαν μεγάλη δυσκολία στην κατανόηση της μεθόδου ΣΕΜ. Η πρώτη ένδειξη υπάρχει στις σημειώσεις των ερευνητών κατά τη διάρκεια της 3^{ης} ενότητας, σύμφωνα με τις οποίες: «...Στην έναρξη του μαθήματος η δασκάλα κάνει μια ερώτηση ανασκόπησης σχετικά με το ποιοι παράγοντες επηρεάζουν την πλεύση και τη βύθιση ενός αντικειμένου. Οι μαθητές αρχικά αναφέρουν όλους τους παράγοντες που έλεγξαν στα πρώτα δύο μαθήματα και απαντούν ότι επηρεάζουν όλοι αυτοί οι παράγοντες τα φαινόμενα της πλεύσης και της βύθισης...». Η παρατήρηση αυτή ενισχύεται και από την ανάλυση των μεταγραφών των βίντεο της διδασκαλίας. Επιπλέον, τα αποτελέσματα από τα πριν και μετά ερωτηματολόγια και τις συνεντεύξεις (δες σύνοψη στην ενότητα 5.2.3.α και ενότητα 5.2.3.γ) έδειξαν ότι οι μαθητές είχαν μεγάλη δυσκολία να κατανοήσουν τη διαδικασία εξαγωγής συμπεράσματος, και ιδιαίτερα τη σημασία των τεκμηρίων στη διαδικασία αυτή.



Εικόνα 5.3.1 Μία αναπαράσταση της διαδικασίας εξαγωγής συμπεράσματος

Προσαρμογή: Ως αποτέλεσμα των παραπάνω, αποφασίστηκε να διδαχθούν τα βήματα της διαδικασίας εξαγωγής συμπεράσματος. Εξάλλου, η απόφαση αυτή ήταν σε συμφωνία με τη σχετική βιβλιογραφία, στην οποία επισημαίνεται ότι η σημασία της διδασκαλίας αυτής της πτυχής του επιστημονικού συλλογισμού είναι ανοιχτό πεδίο προς περαιτέρω διερεύνηση (Boudreaux et al., 2008, Toth et al., 2000). Έτσι, η διαδικασία εξαγωγής συμπεράσματος παρουσιάστηκε στους μαθητές με μια αναπαράσταση της μορφής *Εάν... τότε, ... ενώ εάν ... τότε ...*, όπως φαίνεται στην εικόνα 5.3.1.

Ακόμη, εστίασαμε στη φύση των παραγόντων, δηλαδή στο γεγονός ότι οι παράγοντες που αναδείχθηκαν στην 1^η ενότητα της ΔΜΣ είναι πιθανό να επηρεάζουν το φαινόμενο Π/Β και ότι για το λόγο αυτό τους ελέγχουμε, όπως φαίνεται από τη σύγκριση της αφίσας που χρησιμοποιήθηκε τόσο για την εισαγωγή όσο και για τη συζήτηση ανασκόπησης σχετικά με τη ΣΕΜ (εικόνα 5.3.2). Πέρα από αυτό, τόσο τα συμπεράσματα στα οποία καταλήγουμε στο τέλος της διαδικασίας όσο και η περιγραφή της μεθόδου διάκρισης και ελέγχου μεταβλητών παρουσιάστηκαν στους μαθητές με μεγαλύτερη λεπτομέρεια ώστε να γίνει όσο πιο σαφής μπορούσε η υποβόσκουσα λογική της μεθόδου.

Για να βρούμε αν ένα υλικό πλέει ή βυθίζεται σε ένα υγρό κάναμε τα ακόλουθα βήματα:

- (1) Διακρίναμε ποιοι είναι οι παράγοντες που πιθανά επηρεάζουν την πλεύση ή τη βύθιση
- (2) Αποφασίσαμε πως θα ελέγξουμε εάν ένας παράγοντας επηρεάζει το φαινόμενο ή όχι
Κρατάμε σταθερούς όλους τους υπόλοιπους
Κάνουμε τουλάχιστον δύο δοκιμές για να μπορούμε να συγκρίνουμε.
- (3) Ελέγξαμε εάν ο παράγοντας αυτός επηρεάζει ή όχι το φαινόμενο.
- (4) Βγάλαμε συμπεράσματα

Για να ελέγξουμε εάν κάποιοι παράγοντες επηρεάζουν την πλεύση ή την βύθιση ενός σώματος σε ένα υγρό, κάνουμε τα ακόλουθα βήματα:

- (1) Διακρίνουμε τους πιθανούς παράγοντες που μπορεί να επηρεάζουν την πλεύση ή τη βύθιση
- (2) Αποφασίζουμε πώς θα ελέγξουμε εάν ένας παράγοντας επηρεάζει το φαινόμενο ή όχι. Για το σκοπό αυτό:
 - Κρατάμε σταθερούς όλους τους υπόλοιπους: Σχήμα, Υλικό, Είδος υγρού, φάρδος δοχείου.
 - Αλλάζουμε τον παράγοντα που θέλουμε να ελέγξουμε.
- (3) Κάνουμε τουλάχιστον δύο δοκιμές για να μπορούμε να συγκρίνουμε τα αποτελέσματα των δοκιμών.
- (4) Βγάζουμε συμπέρασμα:
 - Εάν και στις δύο δοκιμές το σώμα πλέει τότε ο παράγοντας αυτός δεν επηρεάζει την πλεύση.
 - Εάν και στις δύο δοκιμές το σώμα βυθίζεται τότε ο παράγοντας αυτός δεν επηρεάζει τη βύθιση.
 - Εάν στη μία δοκιμή το σώμα πλέει και στην άλλη βυθίζεται τότε ο παράγοντας αυτός επηρεάζει την πλεύση/βύθιση.

Εικόνα 5.3.2 Η περιγραφή της μεθόδου διάκρισης και ελέγχου μεταβλητών στην πιλοτική (αριστερά) και στην κανονική (δεξιά) εφαρμογή

Επιπλέον, η δασκάλα καθοδηγήθηκε από την ερευνητική ομάδα να δώσει περισσότερο χρόνο στους μαθητές να συμμετέχουν σε σχετικές συζητήσεις, παρέχοντάς τους υποστήριξη με ερωτήσεις όπως «*πώς οδηγηθήκαμε σε αυτό το συμπέρασμα;*», «*τι παρατηρήσαμε για να βγάλουμε αυτό το συμπέρασμα;*» και «*τι έπρεπε να παρατηρήσουμε για να βγάλουμε το αντίθετο συμπέρασμα;*». Αντίστοιχες αλλαγές έγιναν και στα φύλλα εργασίας (Εικόνα 5.3.3). Με αυτόν τον τρόπο οι μαθητές καθοδηγήθηκαν να παρουσιάσουν και να επιχειρηματολογήσουν σχετικά με τις απόψεις τους για τη μέθοδο ΣΕΜ, και συγκεκριμένα για τη διαδικασία εξαγωγής συμπεράσματος, ώστε να μπορέσουν τελικά να «*...αναγνωρίσουν τη διαφορά μεταξύ αυτών που ξέρουν (γιατί κάποιος τους τα είπε) και αυτών που κατανοούν...*» (Boudreaux et al., 2008).

Η *προσαρμογή* θεωρήθηκε ότι καθοδηγήθηκε κυρίως από τον *εκπαιδευτικό* παράγοντα επειδή ο σκοπός της βελτιωτικής αλλαγής ήταν να βοηθήσει τους μαθητές να ξεπεράσουν τις προαναφερθείσες δυσκολίες τους.

5.3.3.3 ΣΕΜ, Αλλαγή στη σειρά των υπό έλεγχο μεταβλητών

Στόχος: Σε αυτήν την περίπτωση ο στόχος είναι και πάλι η κατανόηση της μεθόδου ΣΕΜ για τον έλεγχο μιας μεταβλητής. Στην πιλοτική εφαρμογή οι μεταβλητές που πιθανόν επηρεάζουν το φαινόμενο Π/Β, ελέγχθηκαν με την εξής σειρά: σχήμα αντικειμένου, βάρος αντικειμένου, φάρδος δοχείου, είδος υλικού του αντικειμένου και είδος υγρού.

Αντίσταση: Σύμφωνα με τις σημειώσεις των ερευνητών, οι μαθητές δυσκολεύτηκαν να κατανοήσουν ότι αντικείμενα διαφορετικού σχήματος που αποτελούνται από το ίδιο υλικό μπορούν να έχουν ίδιο βάρος. Το παρακάτω απόσπασμα από τις μεταγραφές των βίντεο της διδασκαλίας είναι ενδεικτικό:

«.....»

ΔΑΣΚΑΛΑ: (η δασκάλα συζητάει με τους μαθητές καθώς επιδεικνύει τη μέθοδο ελέγχου της μεταβλητής “σχήμα ενός αντικειμένου”). *Τι έχουμε ίδιο;*

ΜΑΘΗΤΗΣ Α: Το ίδιο υλικό.

ΔΑΣΚΑΛΑ: Τι θα είναι διαφορετικό;

ΜΑΘΗΤΗΣ Α: Το σχήμα και το βάρος.

ΔΑΣΚΑΛΑ: Το βάρος. Γιατί;

ΜΑΘΗΤΗΣ Α: Όχι το βάρος.

ΜΑΘΗΤΗΣ Β: και το υλικό.

ΜΑΘΗΤΗΣ Α: Το υλικό είναι ίδιο.

ΔΑΣΚΑΛΑ: Το υλικό είναι το ίδιο. Το σχήμα όμως δεν είναι σίγουρα διαφορετικό;

ΜΑΘΗΤΕΣ: Ναι

.....»

Επιπλέον, παρόλο που αυτή η δραστηριότητα στόχευε να ελέγξει εάν το σχήμα του αντικειμένου επηρεάζει την Π/Β του, κάποιοι μαθητές θεωρούσαν ότι μπορούμε να βγάλουμε συμπέρασμα σχετικά με το εάν το βάρος του αντικειμένου επηρεάζει το φαινόμενο. Θεωρήθηκε ότι αυτή η δυσκολία οφείλεται σε δύο λόγους: α) η ερμηνεία ότι το βάρος επηρεάζει την Π/Β ενός αντικειμένου είναι μία από τις πιο συνηθισμένες και ισχυρές εναλλακτικές ιδέες των μαθητών (Fassoulopoulos et al., 2003), και β) στην περίπτωση που ελέγχουμε εάν το σχήμα ενός αντικειμένου επηρεάζει την Π/Β του, κρατώντας σταθερό τον όγκο του, εμπλέκονται εξαρτημένες μεταβλητές (βάρος, μάζα, πυκνότητα) που για μαθητές αυτής της ηλικίας παραμένουν ακόμη αδιαφοροποίητες (Wiser & Smith, 2008). Σε τέτοιες περιπτώσεις, ακόμη και μαθητές μεγαλύτερης ηλικίας αντιμετωπίζουν ιδιαίτερη δυσκολία να εφαρμόσουν τη μέθοδο ΣΕΜ (Boudreaux et al., 2008).

Προσαρμογή: Για τους παραπάνω λόγους, άλλαξε η σειρά με την οποία ελέγχουμε τις μεταβλητές. Έτσι, στην κανονική εφαρμογή η πρώτη μεταβλητή που ελέγχθηκε με επίδειξη από τη δασκάλα ήταν το βάρος του αντικειμένου. Οι επόμενες δύο μεταβλητές (φάρδος του δοχείου, είδος του υγρού), που ελέγχονται από τους μαθητές, είναι ανεξάρτητες από άλλες πιθανές μεταβλητές που σχετίζονται με το

φαινόμενο της Π/Β. Τέλος, οι μαθητές καλούνται να ελέγξουν δύο ακόμη μεταβλητές (είδος υλικού, σχήμα αντικειμένου) οι οποίες είναι εξαρτημένες μεταβλητές.

Θεωρήθηκε ότι αυτή η αλλαγή, μπορεί να βοηθήσει στην κατανόηση των βημάτων της ΣΕΜ (σχήμα 5.3.1) καθώς και στην κατανόηση της σημασίας των παρατηρήσεων στη διαδικασία εξαγωγής συμπεράσματος. Εν κατακλείδι, αυτό που προτάθηκε ήταν ότι οι πρώτες μεταβλητές που θα κληθούν να ελέγξουν οι μαθητές, χωρίς υποστήριξη, είναι προτιμότερο να είναι ανεξάρτητες μεταβλητές. Ο διδακτικός μετασχηματισμός στο πλαίσιο αυτής της βελτιωτικής αλλαγής είχε στόχο να βοηθήσει τους μαθητές να κατανοήσουν τη μέθοδο ΣΕΜ και την εφαρμογή της καθώς και τις μεταβλητές που επηρεάζουν την Π/Β, ξεπερνώντας τις δυσκολίες που προαναφέρθηκαν. Συνεπώς, θεωρήθηκε ότι η *προσαρμογή* αυτή καθοδηγήθηκε κυρίως από τον *εκπαιδευτικό* παράγοντα.

5.3.3.4 ΣΕΜ, Δύο δοκιμές αντί για τρεις

Στόχος: Σε αυτήν την περίπτωση ο στόχος είναι η κατανόηση στοιχείων της μεθόδου ΣΕΜ για τον έλεγχο μιας μεταβλητής, και πιο συγκεκριμένα ότι στην περίπτωση που ελέγχουμε εάν μία μεταβλητή επηρεάζει ένα φαινόμενο απαιτούνται τουλάχιστον δύο δοκιμές για να μπορούμε να συγκρίνουμε τα αποτελέσματά τους. Στην πιλοτική εφαρμογή οι μαθητές πραγματοποιούσαν τρεις τουλάχιστον δοκιμές σε κάθε πείραμα, με στόχο την εξοικείωσή τους με τη μέθοδο ΣΕΜ. Επίσης, για τον έλεγχο κάθε μεταβλητής πραγματοποιούσαν τρεις δοκιμές για ένα αντικείμενο που επιπλέει και τρεις δοκιμές για ένα αντικείμενο που βυθίζεται, με στόχο να γίνει έλεγχος και για τις δύο εκφάνσεις του φαινομένου Π/Β.

Αντίσταση: Όπως φάνηκε στην πράξη, το γεγονός πως κατά τη διάρκεια της πιλοτικής εφαρμογής ελέγχαμε κάθε παράγοντα τόσο στην πλεύση (με ξύλινα αντικείμενα) όσο και στη βύθιση (με σιδερένια αντικείμενα), κάνοντας τρεις δοκιμές σε κάθε μια από τις παραπάνω περιπτώσεις, παραπλανούσε τους μαθητές. Για παράδειγμα, κάποιοι από αυτούς νόμισαν ότι πρέπει να κάνουμε έξι δοκιμές για να βγάλουμε συμπέρασμα εάν μια μεταβλητή επηρεάζει ένα φαινόμενο ή όχι. Ένα αντιπροσωπευτικό απόσπασμα από τις μεταγραφές των αρχείων βίντεο της διδασκαλίας είναι το παρακάτω:

«.....»

Κατά την έναρξη της 2ης ενότητας, η δασκάλα συζητά με τους μαθητές σχετικά με τη μέθοδο που

χρησιμοποιήθηκε, με επίδειξη στην 1η ενότητα, για τον έλεγχο του παράγοντα «σχήμα» του αντικειμένου.

ΔΑΣΚΑΛΑ: Λοιπόν, ελέγξαμε εάν το σχήμα ενός αντικειμένου επηρεάζει την πλεύση ή τη βύθιση του. Τι κάναμε με τους άλλους παράγοντες; Τους αλλάξαμε και αυτούς;

ΜΑΘΗΤΕΣ: Όχι

ΔΑΣΚΑΛΑ: Τι αλλάξαμε λοιπόν;

ΜΑΘΗΤΗΣ Α: το μέγεθος και το σχήμα..

ΜΑΘΗΤΗΣ Β: μόνο το σχήμα

ΜΑΘΗΤΗΣ Γ: το βάρος και το μέγεθος

ΜΑΘΗΤΗΣ Β: όχι το βάρος μόνο το σχήμα

ΜΑΘΗΤΗΣ Δ: το υλικό και το σχήμα

ΔΑΣΚΑΛΑ: γιατί αλλάξαμε το υλικό; Στην οθόνη του υπολογιστή, μπορείτε να δείτε τρία αντικείμενα που είναι από το ίδιο υλικό. Τι υλικό είναι αυτό;

ΜΑΘΗΤΗΣ Β: είναι ξύλο

ΔΑΣΚΑΛΑ: Από τι είδους υλικό ήταν τα αντικείμενα στο άλλο πείραμα που κάναμε;

ΜΑΘΗΤΗΣ Ε: από σίδηρο

ΔΑΣΚΑΛΑ: Άρα το μόνο που αλλάξαμε ήταν το σχήμα των αντικειμένων. Όλους τους άλλους παράγοντες τους κρατούσαμε σταθερούς. Πόσες δοκιμές κάναμε σε κάθε πείραμα;

ΜΑΘΗΤΗΣ Α: έξι δοκιμές

.....»

Επίσης σε άλλα σημεία της διδασκαλίας, στα οποία η δασκάλα ρωτά «πόσες τουλάχιστον δοκιμές θα πρέπει κανείς να κάνει για να είναι σίγουρος» οι μαθητές απαντούν «έξι, επτά, τέσσερις, ...» και όχι δύο.

Προσαρμογή: Για τους παραπάνω λόγους, στην κανονική εφαρμογή επιλέξαμε να γίνονται δύο δοκιμές για να ελέγχεται εάν μια μεταβλητή επηρεάζει ή όχι το φαινόμενο της πλεύσης ή της βύθισης. Επίσης, όπου ήταν δυνατόν κάναμε σαφές ότι διαπραγματευόμαστε δύο διαφορετικά φαινόμενα, αυτό της πλεύσης και αυτό της βύθισης. Για παράδειγμα, στο φύλλο εργασίας με το οποίο ελέγχουμε, στην κανονική εφαρμογή, εάν η μεταβλητή βάρος ενός αντικειμένου επηρεάζει την Π/Β (Εικόνα 5.3.3), φροντίσαμε να γίνει σαφές ότι κάθε στήλη του πίνακα αντιστοιχούσε σε διαφορετικό πείραμα.

1 ^η Οθόνη	
Έχουμε τρία ξύλινα σώματα με διαφορετικό σχήμα: ένα τραπέζιο, μια σφαίρα, έναν κύβο.	Έχουμε τρία σιδερένια σώματα με διαφορετικό σχήμα: ένα τραπέζιο, μια σφαίρα, έναν κύβο.
Προβλέπω Αν ρίξω στο νερό το τραπέζιο, θα βυθιστεί ή θα επιπλέυσει; Γιατί;	Προβλέπω Αν ρίξω στο νερό το τραπέζιο, θα βυθιστεί ή θα επιπλέυσει; Γιατί;
.....
Αν ρίξω στο νερό τη σφαίρα, θα βυθιστεί ή θα επιπλέυσει; Γιατί;	Αν ρίξω στο νερό τη σφαίρα, θα βυθιστεί ή θα επιπλέυσει; Γιατί;
.....
Αν ρίξω στο νερό τον κύβο, θα βυθιστεί ή θα επιπλέυσει; Γιατί;	Αν ρίξω στο νερό τον κύβο, θα βυθιστεί ή θα επιπλέυσει; Γιατί;
.....
Ελέγχω - Παρατηρώ Το τραπέζιο (σχεδιάστε)	Ελέγχω - Παρατηρώ Το τραπέζιο (σχεδιάστε)
Η σφαίρα (σχεδιάστε)	Η σφαίρα (σχεδιάστε)
Ο κύβος (σχεδιάστε)	Ο κύβος (σχεδιάστε)
Συμπεραίνω για τα τρία ξύλινα αντικείμενα. Επηρεάζει το σχήμα τους το αν θα πλεύσουν ή θα βυθιστούν;	Συμπεραίνω για τα τρία σιδερένια αντικείμενα. Επηρεάζει το σχήμα τους το αν θα πλεύσουν ή θα βυθιστούν;

Συμπεραίνω γενικότερα.
Επηρεάζει το σχήμα των υλικών την πλεύση ή τη βύθισή τους;

Φύλλο εργασίας 1 Πιλοτικής

Εικόνα 5.3.3 Αλλαγές στα φύλλα εργασίας από την πιλοτική στην κανονική εφαρμογή

Η συγκεκριμένη προσαρμογή είχε στόχο να βοηθήσει τους μαθητές να κατανοήσουν τον τρόπο με τον οποίο χρησιμοποιεί κανείς τα δεδομένα για να καταλήξει σε συμπέρασμα όταν χρησιμοποιεί τη μέθοδο ΣΕΜ, ξεπερνώντας τις δυσκολίες που αντιμετώπισαν οι μαθητές. Συνεπώς, θεωρήθηκε ότι η προσαρμογή αυτή καθοδηγήθηκε κυρίως από τον εκπαιδευτικό παράγοντα.

5.3.3.5 ΣΕΜ, Αλλαγές στα διδακτικά υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάδειξη των μεταβλητών που πιθανόν επηρεάζουν το φαινόμενο Π/Β

Στόχος: Σε αυτήν την περίπτωση ο στόχος είναι η κατανόηση στοιχείων της μεθόδου ΣΕΜ για τον έλεγχο μιας μεταβλητής, και πιο συγκεκριμένα της διαδικασίας με την οποία αναδεικνύονται οι μεταβλητές που πιθανόν να επηρεάζουν το φαινόμενο της Π/Β. Στην πιλοτική εφαρμογή χρησιμοποιήθηκε μια φωτογραφία με ένα σιδερένιο αντικείμενο, σε σχήμα τραπέζιου, στο βυθό της θάλασσας, το οποίο έμοιαζε με βάρκα (Εικόνα 5.3.4). Ο στόχος ήταν να λειτουργήσει ως εργαλείο που θα δημιουργούσε το κατάλληλο περιβάλλον για τη μετάβαση από τον τεχνολογικό

Δ: Μέρος	
1 ^ο Πάραμα με Φελλό	2 ^ο Πάραμα με Ανθρακόκλιμα
Έχουμε δύο σώματα από φελλό με ίδιο σχήμα, που είναι κύβος, αλλά έχουν διαφορετικό βάρος.	Έχουμε δύο σώματα από ανθρακόκλιμα με ίδιο σχήμα, που είναι κύβος, αλλά έχουν διαφορετικό βάρος.
Προβλέπω Αν ρίξω στο νερό το βαρύτερο κύβο, θα βυθιστεί ή θα επιπλέυσει; Γιατί;	Προβλέπω Αν ρίξω στο νερό το βαρύτερο κύβο, θα βυθιστεί ή θα επιπλέυσει; Γιατί;
.....
Αν ρίξω στο νερό τον ελαφρύτερο κύβο, θα βυθιστεί ή θα επιπλέυσει; Γιατί;	Αν ρίξω στο νερό τον ελαφρύτερο κύβο, θα βυθιστεί ή θα επιπλέυσει; Γιατί;
.....
Ελέγχω - Παρατηρώ 1 ^η δοκιμή Ο βαρύτερος κύβος	Ελέγχω - Παρατηρώ 1 ^η δοκιμή Ο βαρύτερος κύβος
2 ^η δοκιμή Ο ελαφρύτερος κύβος	2 ^η δοκιμή Ο ελαφρύτερος κύβος
Συμπεραίνω για τους δύο κύβους. Επηρεάζει το βάρος τους το αν θα πλεύσουν ή θα βυθιστούν;	Συμπεραίνω για τους δύο κύβους. Επηρεάζει το βάρος τους το αν θα πλεύσουν ή θα βυθιστούν;

Συμπεραίνω γενικότερα.
Επηρεάζει το βάρος των σωμάτων την πλεύση ή τη βύθισή τους;

Πώς οδηγήθηκε σε αυτό το συμπέρασμα;

Φύλλο εργασίας 1 Κανονικής

κόσμο (εικόνα του κρουαζιερόπλοιου Sea Diamond) στον κόσμο της επιστήμης (προσομοιωμένα πειράματα Π/Β με συμπαγή αντικείμενα).

Αντίσταση: Παρόλα αυτά, κατά τη διάρκεια της πιλοτικής εφαρμογής παρατηρήσαμε, και το επιβεβαιώσαμε με την ανάλυση του βίντεο του 1ου μαθήματος, ότι οι μαθητές απέδιδαν στο τραπέζιο, το οποίο έμοιαζε με βάρκα, ιδιότητες που δεν είχε στην πραγματικότητα, π.χ. «...έχει τρύπες, για αυτό βυθίστηκε...». Όταν τους υποδεικνύαμε ότι δεν υπήρχαν τρύπες στο αντικείμενο, απαντούσαν ότι «...μπορεί να υπάρχουν τρύπες στο πίσω μέρος που δεν μπορούμε να το δούμε...».



Τραπέζιο στη θάλασσα



Κύβος στη θάλασσα

Εικόνα 5.3.4 Αλλαγή στο εποπτικό υλικό

Προσαρμογή: Για αυτόν τον λόγο, στην κανονική εφαρμογή αντί του τραπεζιού χρησιμοποιήσαμε έναν συμπαγή σιδερένιο κύβο (Εικόνα 5.3.4) βυθισμένο στη θάλασσα. Ταυτόχρονα, χρησιμοποιήσαμε έναν πραγματικό σιδερένιο κύβο τον οποίο τον βυθίζαμε σε ένα δοχείο με νερό. Θεωρήσαμε ότι ο συνδυασμός αυτός θα βοηθούσε να φανεί ότι δεν υπάρχουν τρύπες στο αντικείμενο, δείχνοντας στην τάξη τον πραγματικό κύβο, καθώς και να αναδειχθούν ευκολότερα οι πιθανοί παράγοντες που επηρεάζουν το φαινόμενο της Π/Β όπως για παράδειγμα το είδος του υγρού, κάνοντας αναφορά στα δύο είδη υγρών (καθαρό νερό και αλατόνερο) που έχουν μπροστά τους οι μαθητές.

Επίσης, δώσαμε ιδιαίτερη έμφαση στον ρόλο της δασκάλας, και στον τρόπο με τον οποίο θα διαχειριστεί τη συζήτηση. Πιο συγκεκριμένα, παρατηρήσαμε ότι η ερώτηση που θα έπρεπε γίνει από τη δασκάλα για να ξεκινήσει η ανάδειξη των πιθανών μεταβλητών είναι πολύ σημαντική. Ερώτηση που ενδείκνυται είναι η εξής: «*Ποια είναι τα χαρακτηριστικά του αντικειμένου που το κάνουν να βουλιάζει; Τι θα αλλάζαμε*

στον κύβο για να τον κάνουμε να επιπλεύσει;». Ερώτηση που μπορεί να μπερδέψει τους μαθητές είναι η εξής: «Γιατί βούλιαξε αυτό το κομμάτι από σίδηρο;».

Η ανάλυση των μεταγραφών των βίντεο δείχνει ότι η ανάδειξη των παραγόντων, μετά τις παραπάνω αλλαγές, έγινε με μεγαλύτερη ευκολία. Οι μαθητές δεν αναφέρθηκαν καθόλου στον παράγοντα κοιλότητες ή τρύπες στο αντικείμενο. Αντίθετα, η συζήτηση στράφηκε κατευθείαν σε παράγοντες που πιθανά να επηρεάζουν την Π/Β ενός συμπαγούς αντικειμένου σε ένα υγρό.

Η προσαρμογή θεωρήθηκε ότι καθοδηγήθηκε κυρίως από τον εκπαιδευτικό παράγοντα επειδή ο σκοπός της βελτιωτικής αλλαγής ήταν να βοηθήσει τους μαθητές να ξεπεράσουν τις προαναφερθείσες δυσκολίες τους.

5.3.3.6 Δεξιότητες διερεύνησης, Συγκεκριμένες θεματικές διερεύνησης

Στόχος: Σε αυτήν την περίπτωση ο στόχος είναι η καλλιέργεια και ανάπτυξη δεξιοτήτων διερεύνησης όπως είναι η ανάγνωση και γραφή. Στην πιλοτική, στην 4^η ενότητα, οι μαθητές αναζήτησαν πληροφορίες σχετικά με τις ιδιότητες διαφόρων υλικών σε ένα αρχείο pdf.

Αντίσταση: Όπως φάνηκε στην πιλοτική εφαρμογή, οι μαθητές δυσκολεύτηκαν στην εφαρμογή της παραπάνω δραστηριότητας. Πιο συγκεκριμένα, δεν μπορούσαν να κατανοήσουν σε ποια σημεία του κειμένου έπρεπε να εστιάσουν κατά τη δραστηριότητα αναζήτησης πληροφοριών.

Προσαρμογή: Στην κανονική εφαρμογή έγιναν οι εξής αλλαγές: 1) Μετατροπή του κειμένου από pdf σε αρχείο html, δηλαδή σε ένα διαδικτυακό τόπο με υπερσυνδέσμους, στοχεύοντας στην αύξηση της αίσθησης της αυθεντικότητας στην αναζήτηση και διερεύνηση πληροφοριών από τους μαθητές. 2) Δημιουργία ενός φύλλου εργασίας, στο οποίο δόθηκαν συγκεκριμένες θεματικές διερεύνησης. Πιο συγκεκριμένα οι προτεινόμενες θεματικές αναζήτησης πληροφοριών για κάθε υλικό ήταν: α) τι προϊόν είναι (φυσικό ή τεχνητό), β) πού χρησιμοποιείται και γ) ποια είναι η σχέση του με το περιβάλλον. Οι μαθητές θα έπρεπε να αναζητήσουν πληροφορίες, να τις καταγράψουν και έπειτα να τις ανακοινώσουν.

Η προσαρμογή θεωρήθηκε ότι καθοδηγήθηκε κυρίως από τον εκπαιδευτικό παράγοντα επειδή ο σκοπός της βελτιωτικής αλλαγής ήταν να βοηθήσει τους μαθητές να ξεπεράσουν τις προαναφερθείσες δυσκολίες τους.

Πίνακας 5.3.3 Οι βελτιωτικές αλλαγές σχετικά με τη διερεύνηση και τη μέθοδο ΣΕΜ με βάση το μοντέλο του Pickering (όπου ΕΚ = Εκπαιδευτικός, Υ = Υλικός, ΕΠ = Επιστημονικός)

ΣΤΟΧΟΣ	ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ	ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ	ΠΑΡΑΓΟΝΤΑΣ	ΠΗΓΕΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ
5.3.3.1 Μάθηση της ΣΕΜ	Περιορισμένη μάθηση της ΣΕΜ	<ul style="list-style-type: none"> Βαθμιαία μείωση της υποστήριξης στη διερεύνηση. Από επίδειξη (1 μεταβλητή) και καθοδηγούμενη διερεύνηση (2 μεταβλητές) σε πιο ανοιχτή διερεύνηση (2 μεταβλητές) (βαθμιαία) 	ΕΠ	<ul style="list-style-type: none"> Παρατηρήσεις ειδικών Μεταγραφές των αρχείων βίντεο της διδασκαλίας Συνεντεύξεις
5.3.3.2 Μάθηση της διαδικασίας εξαγωγής συμπεράσματος	Οι μαθητές δεν μπορούν να περιγράψουν με σαφήνεια τον τρόπο με τον οποίο κατέληξαν σε συμπέρασμα	<ul style="list-style-type: none"> Έμφαση στη διαδικασία εξαγωγής συμπεράσματος, π.χ. παρουσίαση της διαδικασίας εξαγωγής συμπεράσματος και κατάλληλα ερωτήματα αναστοχασμού σχετικά με τη διαδικασία αυτή στα φύλλα εργασίας, στοχεύοντας να αναγνωρισθεί ο ρόλος των παρατηρήσεων 	ΕΚ	<ul style="list-style-type: none"> Σημειώσεις ερευνητών Μεταγραφές των αρχείων βίντεο της διδασκαλίας Πριν και μετά ερωτηματολόγια Συνεντεύξεις
5.3.3.3 Μάθηση στοιχείων της ΣΕΜ	Οι μαθητές έχουν δυσκολία στην εφαρμογή της ΣΕΜ όταν η μεταβλητή που ελέγχεται είναι εξαρτημένη από άλλες μεταβλητές	<ul style="list-style-type: none"> Αλλαγή στη σειρά των μεταβλητών που ελέγχουμε 	ΕΚ	<ul style="list-style-type: none"> Σημειώσεις ερευνητών Μεταγραφές των αρχείων βίντεο της διδασκαλίας
5.3.3.4 Μάθηση του ελάχιστου απαιτούμενου αριθμού δοκιμών στη ΣΕΜ	Οι μαθητές θεωρούσαν ότι χρειάζονται 6 δοκιμές για τον έλεγχο κάθε μεταβλητής αντί για δύο που είναι οι ελάχιστες απαιτούμενες	<ul style="list-style-type: none"> Μείωση των δοκιμών από 3 σε 2 (στις ελάχιστες απαιτούμενες) Σαφής διάκριση των δύο φαινομένων: πλεύση και βύθιση 	ΕΚ	<ul style="list-style-type: none"> Σημειώσεις ερευνητών Μεταγραφές των αρχείων βίντεο της διδασκαλίας
5.3.3.5 Μάθηση της διαδικασίας διάκρισης μεταβλητών της ΣΕΜ	Οι μαθητές έχουν δυσκολία να διακρίνουν τις πιθανές μεταβλητές που επηρεάζουν το φαινόμενο Π/Β με τα συγκεκριμένα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν	<ul style="list-style-type: none"> Αλλαγές στα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάδειξη των μεταβλητών που πιθανά επηρεάζουν την Π/Β 	ΕΚ	<ul style="list-style-type: none"> Σημειώσεις ερευνητών Παρατηρήσεις εκπαιδευτικών Μεταγραφές των αρχείων βίντεο της διδασκαλίας
5.3.3.6 Καλλιέργεια και ανάπτυξη δεξιοτήτων διερεύνησης	Οι μαθητές δε γνώριζαν πού να εστιάσουν κατά τη δραστηριότητα αναζήτησης πληροφοριών	<ul style="list-style-type: none"> Δίνονται θεματικές για αναζήτηση π.χ. περιβαλλοντικές συνέπειες Από χρήση αρχείου pdf σε χρήση εικονικού δικτυακού τόπου 	ΕΚ	<ul style="list-style-type: none"> Σημειώσεις ερευνητών

5.3.4 Μοντέλα και μοντελοποίηση

Οι βελτιωτικές αλλαγές που πραγματοποιήθηκαν και σχετίζονται με τα μοντέλα και τη μοντελοποίηση ήταν έξι: α) βαθμιαία εισαγωγή στα μοντέλα, β) αλλαγές στη δραστηριότητα για τη γενίκευση του κριτηρίου πρόβλεψης της Π/Β, γ) έμφαση στο ίδιο μέγεθος των κύβων στο μοντέλο «τελίτσες-στο-κυβάκι», δ) αλλαγή στον κύβο του αέρα στο μοντέλο «τελίτσες-στο-κυβάκι», ε) διεύρυνση της έννοιας της λύσης ενός τεχνολογικού προβλήματος, και στ) έμφαση στη διαφορά μεταξύ του μοντέλου και του στόχου που αναπαριστά.

5.3.4.1 Μοντέλα, Βαθμιαία εισαγωγή στα μοντέλα

Στόχος: Ένας από τους στόχους της ΔΜΣ ήταν οι μαθητές να κατανοήσουν στοιχεία της φύσης και του ρόλου των μοντέλων, μέσω της χρήσης τους σε πραγματικά και προσομοιωμένα περιβάλλοντα (σχεδιαστική αρχή Δ3, ενότητα 3.1).

Αντίσταση: Σύμφωνα με τις σημειώσεις των ερευνητών καθώς και τα αποτελέσματα των πριν και μετά ερωτηματολογίων της πιλοτικής εφαρμογής, ένα μικρό μόνο μέρος των μαθητών έδειξε να κατανοεί το μοντέλο ως μια αναπαράσταση και όχι ως πραγματικότητα (δες ενότητα 5.2.4.α).

Προσαρμογή: Στην κανονική εφαρμογή, αφιερώθηκε σημαντικός χρόνος σε συζητήσεις σχετικά με τη φύση και τον ρόλο των μοντέλων. Επιπλέον, υιοθετήθηκε μια βαθμιαία προσέγγιση εισαγωγής στα μοντέλα (σχεδιαστική αρχή Δ4, ενότητα 3.1, και πίνακας 5.3.4, με υπογραμμισμένα τα στοιχεία που προστέθηκαν στην κανονική εφαρμογή). Πιο συγκεκριμένα, στην 1^η ενότητα, οι μαθητές χρησιμοποίησαν και συζήτησαν σχετικά με τη φύση και τον ρόλο των μοντέλων ενός αντικειμένου (μοντέλα υλικής υπόστασης και σκίτσα πλοίων, δες Παράρτημα Γ), τα οποία είναι πιο κοντά στις ιδέες των μαθητών σχετικά με τα μοντέλα (Treagust et al., 2002), επομένως αποτελούν και το κατάλληλο σημείο εκκίνησης για τη συζήτηση αυτή. Έπειτα, στην 3^η ενότητα, χρησιμοποίησαν και συζήτησαν σχετικά με τα χαρακτηριστικά των οπτικών μοντέλων της πυκνότητας, ενώ στην 4^η ενότητα έκαναν μια συζήτηση σύνοψης σχετικά με όλα τα παραπάνω μοντέλα. Επιπλέον, συζήτησαν σχετικά με τη φύση και τον ρόλο του μοντέλου που περιγράφει τη μέθοδο της ΣΕΜ (εικόνα 5.3.1), των λεκτικών συσχετιστικών αιτιακών μοντέλων, τα οποία

χρησιμοποιήθηκαν στην ερμηνεία ή/και την πρόβλεψη φαινομένων Π/Β, καθώς και δύο ηλιοκεντρικών μοντέλων (υλικής υπόστασης και σκίτσο, δεξ Παράρτημα Γ). Στην τελευταία ενότητα της ΔΜΣ, οι μαθητές πραγματοποίησαν συζητήσεις σχετικά με τα μοντέλα που χρησιμοποίησαν κατά τη διάρκεια και των πέντε ενοτήτων, στοχεύοντας στην ενίσχυση της μεταεγνωστικής επίγνωσης των μαθητών (Schwarz & White, 2005, Vosniadou, 2010, Wisner & Smith, 2008).

Πίνακας 5.3.4 Βαθμιαία εισαγωγή στα μοντέλα (υπογραμμισμένα τα στοιχεία που προστέθηκαν στην κανονική εφαρμογή)

	1 ^η ενότητα	2 ^η ενότητα	3 ^η ενότητα	4 ^η ενότητα	5 ^η ενότητα
Πιλοτική εφαρμογή	Χρήση των μοντέλων ενός αντικειμένου (μοντέλο υλικής υπόστασης και σκίτσο ενός πλοίου)	Χρήση του μοντέλου της μεθόδου ΣΕΜ	Χρήση του μοντέλου μιας έννοιας (μοντέλο «τελίτσες-στο-κυβάκι» της πυκνότητας) για την ερμηνεία ή/και πρόβλεψη ομογενών αντικειμένων και Συζήτηση σχετικά με τη φύση και τον ρόλο των παραπάνω μοντέλων	Συζήτηση σύντομης των προηγούμενων μοντέλων της πυκνότητας καθώς και δύο ηλιοκεντρικών μοντέλων (σκίτσο και υλικής υπόστασης)	Χρήση του μοντέλου «τελίτσες-στο-κυβάκι» της πυκνότητας για την ερμηνεία ή/και πρόβλεψη της Π/Β σύνθετων αντικειμένων
Κανονική εφαρμογή	Χρήση των μοντέλων ενός αντικειμένου (μοντέλο υλικής υπόστασης και σκίτσο ενός πλοίου) <u>Συζήτηση σχετικά με τη φύση και τον ρόλο των παραπάνω μοντέλων</u>	Χρήση του μοντέλου της μεθόδου ΣΕΜ	Χρήση του μοντέλου μιας έννοιας (μοντέλο «τελίτσες-στο-κυβάκι» της πυκνότητας) για την ερμηνεία ή/και πρόβλεψη ομογενών αντικειμένων Συζήτηση σχετικά με τη φύση και τον ρόλο των παραπάνω μοντέλων	Συζήτηση σύντομης των προηγούμενων μοντέλων (<u>των πλοίων, της μεθόδου της ΣΕΜ και της πυκνότητας</u>) καθώς και δύο ηλιοκεντρικών μοντέλων (σκίτσο και υλικής υπόστασης)	Χρήση του μοντέλου «τελίτσες-στο-κυβάκι» της πυκνότητας για την ερμηνεία ή/και πρόβλεψη της Π/Β σύνθετων αντικειμένων <u>Συζήτηση σύντομης με έμφαση στη φύση και τον ρόλο των μοντέλων καθώς και στα συστατικά στοιχεία των μοντέλων</u>

Όπως φαίνεται από τα παραπάνω, υπήρξε μια μετάβαση προς μια διδακτική μαθησιακή προσέγγιση που δεν είναι απλά βασισμένη στα μοντέλα, αλλά εστιάζει και σε στοιχεία της φύσης και του ρόλου των μοντέλων (Treagust et al., 2002), μια προσέγγιση στην οποία οι μαθητές δε χρησιμοποιούν μόνο μοντέλα αλλά συζητούν επίσης σχετικά με αυτά. Επιπλέον, η εισαγωγή στα μοντέλα είναι βαθμιαία, με την έννοια ότι τα πρώτα μοντέλα με τα οποία οι μαθητές έρχονται σε επαφή είναι

μοντέλα υλικής υπόστασης και σκίτσα, ενώ στη συνέχεια εργάζονται με πιο αφηρημένα μοντέλα όπως είναι τα οπτικά μοντέλα της πυκνότητας και τα λεκτικά μοντέλα για την ερμηνεία ή/και πρόβλεψη φαινομένων Π/Β, όπως είναι το κριτήριο σύγκρισης πυκνοτήτων.

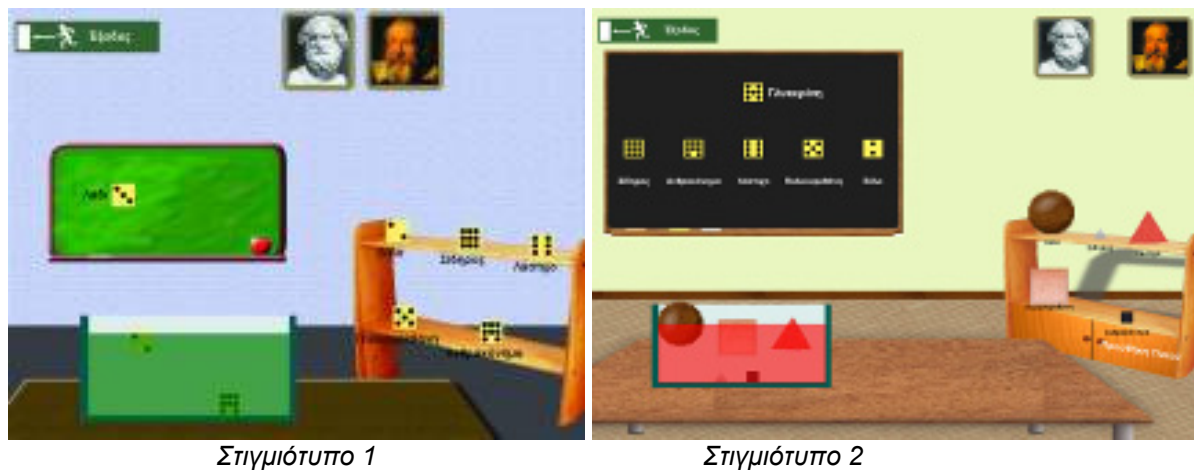
Θεωρήθηκε ότι η *προσαρμογή* καθοδηγήθηκε κυρίως από τον *εκπαιδευτικό* παράγοντα γιατί εμφανίστηκε ως απάντηση στις δυσκολίες των μαθητών. Επίσης δευτερευόντως, καθοδηγήθηκε από τον *επιστημονικό* παράγοντα με την έννοια ότι επηρεάστηκε από την απαίτηση για επιστημονικό γραμματισμό, στοιχείο του παραδείγματος της διερεύνησης.

5.3.4.2 Μοντέλα, Αλλαγές στη δραστηριότητα για τη γενίκευση του κριτηρίου πρόβλεψης της Π/Β

Στόχος: Ένας από τους στόχους της ΔΜΣ ήταν η γενίκευση του κριτηρίου σύγκρισης πυκνοτήτων του υλικού ενός αντικειμένου και του νερού, σε ένα κριτήριο που θα κάλυπτε και την περίπτωση οποιουδήποτε άλλου υγρού εκτός από το νερό (δες ενότητα 3.2, 4^η ενότητα της ΔΜΣ). Για την επίτευξη αυτού του στόχου, στην πιλοτική εφαρμογή οι μαθητές εργάστηκαν σε προσομοιωμένο περιβάλλον (Εικόνα 5.3.5, στιγμιότυπο 1), στο οποίο μπορούσαν να χρησιμοποιήσουν τα μοντέλα «τελίτσες-στο-κυβάκι» διαφόρων υλικών καθώς και ένα δοχείο με λάδι. Οι μαθητές κλήθηκαν να προτείνουν έναν τρόπο για να ελέγξουν εάν το κριτήριο σύγκρισης πυκνοτήτων, που ισχύει για την ερμηνεία και πρόβλεψη της Π/Β στο νερό, μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην περίπτωση άλλων υγρών, για παράδειγμα το λάδι.

Αντίσταση: Σύμφωνα με τις παρατηρήσεις των ερευνητών, οι μαθητές βρήκαν πολύ δύσκολο να προτείνουν τρόπο με τον οποίο να ελέγξουν εάν το κριτήριο σύγκρισης πυκνοτήτων του υλικού ενός αντικειμένου και του νερού μπορεί να εφαρμοστεί και στην περίπτωση που το υγρό είναι άλλο από το νερό. Επίσης, σύμφωνα με τα αποτελέσματα από τις συνεντεύξεις στην πιλοτική εφαρμογή (ενότητα 5.2.4.β), οι μαθητές δυσκολεύτηκαν να αντιληφθούν τη σημασία του ίδιου όγκου των κύβων στο μοντέλο «τελίτσες-στο-κυβάκι», γεγονός που αποτελεί πρόσθετο εμπόδιο στην κατανόηση της διαδικασίας γενίκευσης του κριτηρίου. Ως αποτέλεσμα, οι μαθητές πραγματοποίησαν όλες τις πιθανές δοκιμές που θα μπορούσαν με τα υλικά που τους δόθηκαν, χωρίς να προτείνουν κάποια συγκεκριμένη στρατηγική. Για παράδειγμα, στα φύλλα εργασίας, μία ομάδα παρατηρεί και προτείνει ότι: «*Το σίδηρο*

βυθίζεται στο λάδι, το ανθρακόνημα βυθίζεται στο λάδι, η γλυκερίνη βυθίζεται στο λάδι, το λάστιχο βυθίζεται στο λάδι, η πολυουρεθάνη βυθίζεται στο λάδι, το ξύλο δε βυθίζεται».



Εικόνα 5.3.5 Αλλαγή στο προσομοιωμένο περιβάλλον

Προσαρμογή: Οι παρατηρήσεις που αναφέρονται παραπάνω οδήγησαν στις παρακάτω αλλαγές στο λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε στη ΔΜΣ (Εικόνα 5.3.5, στιγμιότυπο 2). Καταρχήν, αντικαταστάθηκαν τα μοντέλα «τελίτσες-στο-κυβάκι» των υλικών με αναπαραστάσεις, διαφορετικού όγκου και σχήματος, που είναι πιο κοντά στην πραγματική απεικόνιση των αντικειμένων. Χάρη συμμετρίας, αντί για λάδι χρησιμοποιήσαμε τη γλυκερίνη ως υγρό μέσα στο δοχείο. Στην περίπτωση που το υγρό ήταν το λάδι, το μόνο υλικό που επέπλεε ήταν το ξύλο, ενώ στην περίπτωση της γλυκερίνης, δύο επιπλέον και τρία βυθίζονται. Επιπλέον, εκτός του μοντέλου «τελίτσες-στο-κυβάκι» για το υγρό (Στιγμιότυπο 1), δόθηκαν στους μαθητές και τα μοντέλα «τελίτσες-στο-κυβάκι» όλων των υπόλοιπων υλικών (Στιγμιότυπο 2). Θεωρήθηκε ότι αυτές οι αλλαγές θα βοηθούσαν τους μαθητές να κατανοήσουν από τη μία τη σημασία που έχει το γεγονός ότι όλοι οι κύβοι στο μοντέλο «τελίτσες-στο-κυβάκι» έχουν τον ίδιο όγκο, και από την άλλη τη διαφορά μεταξύ του κόσμου των μοντέλων (π.χ. μοντέλο «τελίτσες-στο-κυβάκι» στον πίνακα, Στιγμιότυπο 2) και του κόσμου όπως τον αντιλαμβανόμαστε με τις αισθήσεις μας (π.χ., αναπαραστάσεις των αντικειμένων που προσομοιάζουν την πραγματικότητα, Στιγμιότυπο 2). Θεωρήθηκε ότι η *προσαρμογή* στην περίπτωση αυτή καθοδηγήθηκε κυρίως από τον *εκπαιδευτικό* παράγοντα, με στόχο να ξεπεραστούν οι δυσκολίες των μαθητών.

5.3.4.3 Μοντέλα, Έμφαση στο ίδιο μέγεθος των κύβων στο μοντέλο «τελίτσες-στο-κυβάκι»

Στόχος: Ένας από τους στόχους της ΔΜΣ ήταν να κατανοήσουν ότι το μοντέλο «τελίτσες-στο-κυβάκι» της πυκνότητας αποτελεί μια αναπαράσταση της σχέσης *βαρύτερο – ελαφρύτερο* υλικό. Στην πιλοτική εφαρμογή, θεωρήθηκε ότι εάν οι μαθητές κληθούν αρχικά να αναπαραστήσουν οι ίδιοι τη σχέση *βαρύτερο – ελαφρύτερο* υλικό, μεταξύ τριών κύβων ίδιου όγκου, αλλά από διαφορετικό υλικό (σίδηρο, λάστιχο και ξύλο), θα είναι στη συνέχεια ευκολότερο να αποδεχτούν το μοντέλο «τελίτσες-στο-κυβάκι» ως μια ακόμη αναπαράσταση αυτής της σχέσης (3^η ενότητα της ΔΜΣ).

Αντίσταση: Από τις παρατηρήσεις των ερευνητών στην πιλοτική εφαρμογή, φάνηκε ότι οι μαθητές δεν μπορούσαν να κατανοήσουν τι σημαίνει σχεδιάζω την αναπαράσταση μιας σχέσης όπως είναι αυτή του *βαρύτερο – ελαφρύτερο* υλικό. Η δυσκολία που αντιμετώπισαν ήταν να κατανοήσουν ότι αυτό που θα σχεδιάζαν θα αναπαριστούσε κάτι αφηρημένο σχετικά με τα αντικείμενα και δε θα ήταν μια απεικόνιση των αντικειμένων.

Προσαρμογή: Στην κανονική εφαρμογή, για να ξεπεραστεί η παραπάνω δυσκολία των μαθητών, δόθηκε μεγαλύτερη έμφαση στο γεγονός ότι παρόλο που οι κύβοι των υλικών έχουν το ίδιο μέγεθος δεν έχουν το ίδιο βάρος, και ότι αυτός είναι ο λόγος που μπορούμε και τα τοποθετούμε στη σειρά από το βαρύτερο προς το ελαφρύτερο. Θεωρήθηκε ότι η *προσαρμογή* στην περίπτωση αυτή καθοδηγήθηκε κυρίως από τον *εκπαιδευτικό* παράγοντα, με στόχο να ξεπεραστούν οι δυσκολίες των μαθητών.

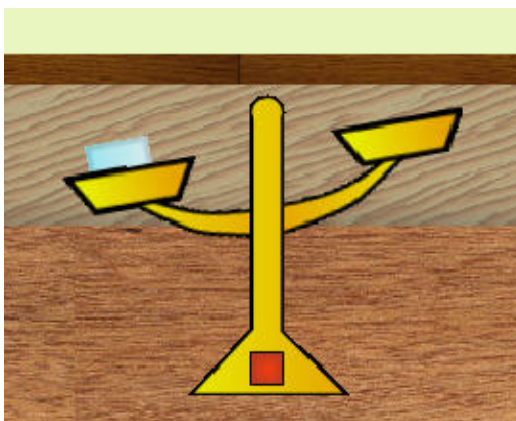
5.3.4.4 Μοντέλα, Αλλαγή στον κύβο του αέρα στο μοντέλο «τελίτσες-στο-κυβάκι»

Στόχος: Ένας από τους στόχους της ΔΜΣ ήταν η κατανόηση της πυκνότητας ως ιδιότητας των υλικών και η ανάδειξη του κριτηρίου σύγκρισης πυκνοτήτων του υλικού ενός αντικειμένου και του υγρού για την ερμηνεία και την πρόβλεψη φαινομένων Π/Β. Στη διαδικασία ανάδειξης του κριτηρίου αυτού (3^η ενότητα της ΔΜΣ), οι μαθητές καλούνται να ταξινομήσουν κυβάκια ίδιου όγκου διαφορετικών υλικών, χρησιμοποιώντας μια ζυγαριά σύγκρισης σε προσομοιωμένο περιβάλλον. Ένα από τα κυβάκια είναι από αέρα. Στην πιλοτική εφαρμογή, το λογισμικό είχε κατασκευαστεί έτσι ώστε όταν οι μαθητές τοποθετούσαν το κυβάκι από αέρα στη ζυγαριά να μην

παρατηρείται καμία μεταβολή στη θέση του βραχίονα της ζυγαριάς. Οποιαδήποτε μεταβολή στο βάρος, λόγω της προσθήκης του κύβου από αέρα είναι πράγματι αμελητέα για να προκαλέσει κάποια τέτοια μεταβολή.

Αντίσταση: Στην πιλοτική εφαρμογή, φάνηκε ότι το γεγονός πως το κυβάκι του αέρα δεν προκαλούσε καμία μεταβολή στη ζυγαριά, δημιούργούσε δυσκολία στους μαθητές να αντιληφθούν ότι έχει κάποιο βάρος. Σε ορισμένες μάλιστα περιπτώσεις φάνηκε ότι πιθανά να ενισχύει την καταγεγραμμένη εναλλακτική ιδέα των μαθητών ότι ο αέρας δεν έχει βάρος γιατί δεν τον βλέπουμε, άρα δεν υπάρχει (Driver et al., 1998, Wiser & Smith, 2008).

Προσαρμογή: Στην κανονική εφαρμογή τροποποιήθηκε το λογισμικό ώστε στην περίπτωση που τοποθετείται το κυβάκι από αέρα να φαίνεται ότι έχει κάποιο βάρος (Εικόνα 5.3.6), άσχετα εάν η ένδειξη είναι υπερβολική. Η αλλαγή αυτή μπορεί να θεωρηθεί στοιχείο του διδακτικού μετασχηματισμού της ΔΜΣ.



Εικόνα 5.3.6 Το κυβάκι του αέρα προκαλεί μεταβολή στη θέση του βραχίονα της ζυγαριάς σύγκρισης

Θεωρήθηκε ότι η *προσαρμογή* στην περίπτωση αυτή καθοδηγήθηκε κυρίως από τον *εκπαιδευτικό* παράγοντα, με στόχο να ξεπεραστούν οι δυσκολίες των μαθητών.

5.3.4.5 Μοντέλα, Διεύρυνση της έννοιας της λύσης ενός τεχνολογικού προβλήματος

Στόχος: Ένας από τους στόχους της ΔΜΣ είναι η επίλυση του τεχνολογικού προβλήματος της ανέλκυσης ενός βυθισμένου αντικειμένου (σχεδιαστική αρχή Β, ενότητα 3.1). Στην πιλοτική εφαρμογή, και συγκεκριμένα στην 5^η ενότητα, οι μαθητές συζητούν, πραγματοποιούν και συγκρίνουν τις προτάσεις ειδικών (αρχαιολόγων και

περιβαλλοντολόγων) για την ανέλκυση ενός αγαλματιδίου από ένα ναυάγιο. Επίσης, τους ζητείται να ερμηνεύσουν την επιτυχία ή την αποτυχία της προσπάθειας. Η ίδια λογική υπήρξε και στην περίπτωση της ανέλκυσης του σιδερένιου μοντέλου ενός πλοίου.

Αντίσταση: Όπως φάνηκε από τις παρατηρήσεις των ερευνητών, οι μαθητές κατά τη διάρκεια των παραπάνω δραστηριοτήτων στην 5^η ενότητα αναζητούσαν τη «σωστή» λύση, με την έννοια ότι εστίασαν στην επιστημονική όψη του προβλήματος και δεν αναφέρθηκαν καθόλου σε παράγοντες που έχουν σχέση με την τεχνολογία όπως είναι το ρίσκο ή το κόστος ενός εγχειρήματος τεχνολογικής φύσης, παρόλο που στην εκφώνηση των σχετικών δραστηριοτήτων, στο φύλλο εργασίας, υπήρχαν τέτοιου είδους αναφορές.

Προσαρμογή: Στην κανονική εφαρμογή φροντίσαμε να δώσουμε μεγαλύτερη έμφαση σε διαστάσεις του προβλήματος που έχουν σχέση με την τεχνολογία, για παράδειγμα το ρίσκο, το κόστος και τον χρόνο που απαιτείται για ένα τέτοιο εγχείρημα τεχνολογικής φύσης. Για τον σκοπό αυτό, οι μαθητές: α) συζήτησαν αναλυτικά με τη δασκάλα σχετικά με τους παράγοντες που είναι αναγκαίο να λαμβάνουμε υπόψη όταν έχουμε να επιλύσουμε ένα τεχνολογικό πρόβλημα, και β) κλήθηκαν να καταθέσουν τις δικές τους προτάσεις για την ανέλκυση του αγάλματος που βρέθηκε στο βυθό της θάλασσας και έπειτα τους ζητήθηκε να σχολιάσουν και να συγκρίνουν τις δύο λύσεις που πρότειναν οι ειδικοί.

Αυτές οι αλλαγές δείχνουν μια μετάβαση από το περιεχόμενο και τη μέθοδο της επιστήμης στο περιεχόμενο και τη μέθοδο της τεχνολογίας, που σημαίνει ότι σε κάποιο βαθμό η *προσαρμογή* καθοδηγήθηκε από τον *επιστημονικό* παράγοντα. Παρόλα αυτά, θεωρήθηκε ότι η *προσαρμογή* καθοδηγήθηκε κυρίως από τον *εκπαιδευτικό* παράγοντα, γιατί είχε στόχο να ξεπεραστεί η δυσκολία των μαθητών να αντιληφθούν την τεχνολογική διάσταση του προβλήματος.

5.3.4.6 Μοντέλα, Έμφαση στη διαφορά μεταξύ του μοντέλου και του στόχου που αναπαριστά

Στόχος: Ένας από τους στόχους της ΔΜΣ είναι οι μαθητές να μεταβούν ομαλά από τον τεχνολογικό κόσμο, δηλαδή τον κόσμο των εμπειριών, στον επιστημονικό κόσμο που είναι πιο αφηρημένος. Στην πιλοτική εφαρμογή, στην 1^η ενότητα, οι μαθητές

αρχικά συζητούν με βάση ένα βίντεο και ορισμένες φωτογραφίες από τη βύθιση του Sea Diamond σχετικά με το τεχνολογικό πρόβλημα της ανέλκυσης του πλοίου. Στη συνέχεια συζητούν, με βάση το σκίτσο ενός πλοίου που βλέπουν στον υπολογιστή τους, σχετικά με τα αντικείμενα που υπάρχουν πάνω σε αυτό και τα ταξινομούν σε δύο ομάδες, αυτά που βυθίζονται και αυτά που επιπλέουν. Τέλος, συζητούν σχετικά με την Π/Β ενός σιδερένιου μοντέλου ενός πλοίου που τους επιδεικνύει η δασκάλα, με στόχο να καταλήξουν να διερευνήσουν τους παράγοντες που επηρεάζουν την Π/Β ομογενών αντικειμένων, χρησιμοποιώντας ομογενείς και συμπαγείς κύβους διαφόρων υλικών σε πραγματικό αλλά και σε προσομοιωμένο περιβάλλον.

Αντίσταση: Όπως παρατηρήθηκε από τις σημειώσεις των ερευνητών αλλά και τα φύλλα εργασίας, οι μαθητές δυσκολεύτηκαν να περάσουν από συγκεκριμένες καταστάσεις σε πιο αφηρημένες. Για παράδειγμα, αυτό που αναμενόταν να απαντήσουν στην ερώτηση «*Κοιτάξτε το εσωτερικό του σιδερένιου πλοίου. Τι παρατηρείτε στο εσωτερικό του;*», ήταν ότι σε αντίθεση με τα προηγούμενα πλοία που είχαν δει στο βίντεο, στις φωτογραφίες ή στο σκίτσο, το πλοίο αυτό ήταν κενό στο εσωτερικό του. Παρόλα αυτά, η πλειοψηφία των μαθητών ανέφερε αντικείμενα που υπάρχουν στο πραγματικό πλοίο.

Προσαρμογή: Στην κανονική εφαρμογή, η δραστηριότητα και η συζήτηση σχετικά με την Π/Β του σιδερένιου μοντέλου ενός πλοίου, αντί επίδειξης από τη δασκάλα, πραγματοποιήθηκε από τους μαθητές σε ομάδες των πέντε μαθητών. Θεωρήσαμε ότι με αυτόν τον τρόπο οι μαθητές θα έχουν περισσότερο χρόνο αλλά και μεγαλύτερη αμεσότητα με το μοντέλο του πλοίου ώστε να μπορέσουν να μεταβούν από τον τεχνολογικό στον επιστημονικό κόσμο. Επίσης, προς αυτήν την κατεύθυνση λειτούργησε και η προσαρμογή που περιγράφεται στη βελτιωτική αλλαγή 5.3.1.2. Θεωρήθηκε ότι η προσαρμογή καθοδηγήθηκε κυρίως από τον εκπαιδευτικό παράγοντα, γιατί είχε στόχο να ξεπεραστεί η δυσκολία των μαθητών στη μετάβαση από τον τεχνολογικό στον επιστημονικό κόσμο.

Πίνακας 5.3.5 Οι βελτιωτικές αλλαγές σχετικά με τα μοντέλα και τη μοντελοποίηση με βάση το μοντέλο του Pickering (όπου ΕΚ = Εκπαιδευτικός, Υ = Υλικός, ΕΠ = Επιστημονικός)

ΣΤΟΧΟΣ	ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ	ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ	ΠΑΡΑΓΟ ΠΗΓΕΣ ΝΤΑΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ
--------	-----------	------------	--------------------------------

5.3.4.1 Μάθηση στοιχείων της φύσης και του ρόλου των μοντέλων	Ελάχιστη επιτυχία στη μάθηση περί μοντέλων	<ul style="list-style-type: none"> Από μια προσέγγιση η οποία εστιάζει μόνο στη χρήση μοντέλων σε μία προσέγγιση που συνδυάζει τη χρήση μοντέλων με έμφαση σε στοιχεία της φύσης και του ρόλου τους. Βαθμιαία εισαγωγή στα μοντέλα (από μοντέλα υλικής υπόστασης σε πιο αφηρημένα μοντέλα), με συζήτηση που στοχεύει στην μεταενοιολογική επίγνωση 	EK, ΕΠ	<ul style="list-style-type: none"> Σημειώσεις ερευνητών Πριν και μετά ερωτηματολόγια
5.3.4.2 Γενίκευση του κριτηρίου σύγκρισης πυκνοτήτων για την ερμηνεία και την πρόβλεψη φαινομένων Π/Β	Μειωμένη κατανόηση α) της σημασίας του ίδιου όγκου των κύβων όλων των υλικών στο μοντέλο «τελίτσες-στο-κυβάκι», και β) της απόστασης μεταξύ μοντέλων και πραγματικότητας	<ul style="list-style-type: none"> Το μοντέλο «τελίτσες-στο-κυβάκι» αντικαταστάθηκε από αναπαραστάσεις διαφορετικού όγκου και σχήματος, που είναι πιο κοντά στην πραγματική απεικόνιση των αντικειμένων 	EK	<ul style="list-style-type: none"> Σημειώσεις ερευνητών Παρατηρήσεις εκπαιδευτικών Φύλλα εργασίας Συνεντεύξεις
5.3.4.3 Μάθηση του μοντέλου «τελίτσες-στο-κυβάκι», Μάθηση στοιχείων της μοντελοποίησης	Δυσκολία στη δημιουργία ενός μοντέλου που περιγράφει τη σχέση βαρύτερο – ελαφρύτερο υλικό	<ul style="list-style-type: none"> Έμφαση στο γεγονός ότι παρόλο που οι κύβοι έχουν τον ίδιο όγκο δεν έχουν το ίδιο βάρος. 	EK	<ul style="list-style-type: none"> Σημειώσεις ερευνητών
5.3.4.4 Κατανόηση της πυκνότητας ως ιδιότητας των υλικών και ανάδειξη του κριτηρίου σύγκρισης πυκνοτήτων για την ερμηνεία και την πρόβλεψη φαινομένων Π/Β	Το γεγονός ότι ο κύβος του αέρα δεν μετακινούσε ούτε στο ελάχιστο τη ζυγαριά σύγκρισης ενίσχυε την εναλλακτική ιδέα των μαθητών ότι ο αέρας δε ζυγίζει καθόλου	<ul style="list-style-type: none"> Όταν τοποθετούμε το κυβάκι του αέρα στη ζυγαριά σύγκρισης δημιουργείται εμφανής μετατόπιση του βραχίονα της ζυγαριάς, για να επισημανθεί το γεγονός ότι ακόμη και ο αέρας έχει βάρος 	EK	<ul style="list-style-type: none"> Σημειώσεις ερευνητών Μεταγραφές των αρχείων βίντεο της διδασκαλίας
5.3.4.5 Επίλυση του τεχνολογικού προβλήματος ανέλκυσης ενός βυθισμένου αντικειμένου με σύγκριση πυκνοτήτων	Οι μαθητές αναζητούν τη «σωστή» λύση στο τεχνολογικό πρόβλημα	<ul style="list-style-type: none"> Διεύρυνση της έννοιας της λύσης ενός τεχνολογικού προβλήματος λαμβάνοντας υπόψη τις συνθήκες του προβλήματος (π.χ. ρίσκο του εγχειρήματος, κόστος κ.ά.) 	EK	<ul style="list-style-type: none"> Σημειώσεις ερευνητών
5.3.4.6 Πέρασμα από τον τεχνολογικό στον επιστημονικό κόσμο	Οι μαθητές δυσκολεύτηκαν να περάσουν από συγκεκριμένες καταστάσεις σε πιο αφηρημένες	<ul style="list-style-type: none"> Αλλαγή στη διδακτική μέθοδο (από επίδειξη σε εργασία σε ομάδες), ώστε να δοθεί έμφαση στη διαφορά μεταξύ του σιδερένιου μοντέλου του πλοίου και του πραγματικού πλοίου που αυτό αναπαριστά 	EK	<ul style="list-style-type: none"> Σημειώσεις ερευνητών Φύλλα εργασίας

5.4 Αποτελέσματα σχετικά με τη μάθηση στην κανονική εφαρμογή

Στην ενότητα αυτή θα παρουσιάσουμε τα αποτελέσματα από την ανάλυση των δεδομένων που πήραμε με το πριν, ενδιάμεσο, μετά και επτά μήνες μετά τη διδασκαλία της κανονικής εφαρμογής γραπτό ερωτηματολόγιο καθώς και τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τις ατομικές ημιδομημένες συνεντεύξεις, που πραγματοποιήθηκαν δύο εβδομάδες μετά την παρέμβαση, σε δεκαεπτά από τους σαράντα ένα μαθητές της κανονικής εφαρμογής. Οι μαθητές αυτοί επιλέχθηκαν με κριτήριο να αποτελέσουν αντιπροσωπευτικό δείγμα της κάθε τάξης. Πιο συγκεκριμένα, κριτήριο επιλογής ήταν η επίδοση τους στο μάθημα των ΦΕ. Η επιλογή έγινε με βάση τις παρατηρήσεις των ερευνητών και των δασκάλων που εφάρμοσαν τη ΔΜΣ. Επιπλέον, λήφθηκε υπόψη η άποψη των δασκάλων της κάθε τάξης.

Τα αποτελέσματα των γραπτών ερωτηματολογίων παρουσιάζονται ανά περιοχή μάθησης και ανά έργο. Η ανάγνωση των πινάκων γίνεται οριζόντια για να αντιληφθούμε καλύτερα την εξέλιξη των απόψεων των μαθητών με τον χρόνο. Τα αποτελέσματα από την ανάλυση των μεταγραφών των συνεντεύξεων παρουσιάζονται ανά περιοχή μάθησης, με χαρακτηριστικά αποσπάσματα και σχετικά σχόλια που αιτιολογούν την κατάταξη ενός μαθητή σε κάθε κατηγορία απαντήσεων. Όπου υπάρχουν αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης για τον έλεγχο στατιστικής σημαντικότητας στη μεταβολή της γνωστικής κατάστασης των μαθητών είναι αποτελέσματα ανάλυσης Wilcoxon.

5.4.1 Αποτελέσματα σχετικά με τις ερμηνείες για την πλεύση και τη βύθιση στην κανονική εφαρμογή

5.4.1.α Αποτελέσματα από τα γραπτά ερωτηματολόγια στην κανονική εφαρμογή

Έργο ΠΒ1α Ερμηνεία της Π/Β ενός σωσιβίου στην κανονική εφαρμογή

Στο έργο ΠΒ1α (Πίνακας 4.2 και Παράρτημα Β.2) ζητείται από τους μαθητές να επιλέξουν εάν ένα σωσίβιο επιπλέει ή βυθίζεται και στη συνέχεια να αιτιολογήσουν την επιλογή τους. Όπως αναμέναμε, όλοι οι μαθητές επέλεξαν σωστά ότι το σωσίβιο επιπλέει. Αντίθετα, η ερμηνεία της επιλογής αυτής ποικίλλει. Στον πίνακα 5.4.1 παρατηρούμε ότι στην κατηγορία 3 κατατάχθηκαν μηδέν μαθητές στο πριν και στο ενδιάμεσο ερωτηματολόγιο, εννιά από τους σαράντα ένα μαθητές μετά την

παρέμβαση, και πέντε μαθητές επτά μήνες μετά την παρέμβαση. Χαρακτηριστική απάντηση των περισσότερων μαθητών είναι «*Επιπλέει γιατί έχει μικρότερη πυκνότητα από το νερό*», ενώ λιγότεροι αναφέρουν και το υλικό του αντικειμένου, π.χ. «*έχει μέσα του αέρα και έχει μικρότερη πυκνότητα*». Στην κατηγορία 2 κατατάχθηκαν τριάντα τέσσερις μαθητές πριν, τριάντα τρεις μαθητές ενδιάμεσα, είκοσι εννέα μαθητές μετά και τριάντα ένα μαθητές επτά μήνες μετά την παρέμβαση, επειδή αναφέρονται στο υλικό από το οποίο κατά κύριο λόγο αποτελείται το σωσίβιο, δηλαδή τον αέρα. Χαρακτηριστική απάντηση για τους περισσότερους μαθητές είναι «*επιπλέει, γιατί έχει μέσα αέρα*». Στην κατηγορία 2, κατατάξαμε και τις απαντήσεις εκείνες που αναφέρονται τόσο στο υλικό του αντικειμένου όσο και στο βάρος του υλικού από το οποίο αποτελείται, για τους λόγους που περιγράφουμε στην υποενότητα 4.4.2.α. Χαρακτηριστική απάντηση είναι «*επιπλέει γιατί έχει αέρα και ο αέρας δεν έχει πολύ βάρος*». Ο αριθμός αυτών των απαντήσεων φαίνεται στον πίνακα 5.4.1 στις παρενθέσεις. Εξάλλου, στην κατηγορία 2 υπάρχουν ελάχιστες περιπτώσεις απαντήσεων που αναφέρονται σε άλλο υλικό εκτός από τον αέρα, όπως «*επιπλέει, γιατί είναι από πλαστικό και έχει μέσα αέρα*» ή που αναφέρονται γενικά στο υλικό του αντικειμένου, όπως «*επιπλέει, γιατί το υλικό επηρεάζει τη βύθιση ή την πλευση*». Στην κατηγορία 1 κατατάχθηκαν ένας μαθητής πριν, τρεις μαθητές ενδιάμεσα, ένας μαθητής μετά και δύο μαθητές επτά μήνες μετά την παρέμβαση. Χαρακτηριστική απάντηση είναι «*επιπλέει γιατί είναι ελαφρύ αντικείμενο*». Τέλος, στην κατηγορία 0 κατατάχθηκαν έξι μαθητές πριν, πέντε μαθητές ενδιάμεσα, δύο μαθητές μετά και τρεις μαθητές επτά μήνες μετά την παρέμβαση. Χαρακτηριστική απάντηση είναι «*για να μην πνιγεί ο άνθρωπος στη θάλασσα*». Δηλαδή οι μαθητές αυτοί αναφέρονται στον σκοπό του αντικειμένου, για τον λόγο αυτό τις χαρακτηρίζουμε 'τελεολογικές'.

Πίνακας 5.4.1 Απόψεις των μαθητών στο έργο ΠΒ1α σχετικά με την Π/Β ενός σωσιβίου

Κατηγορίες	ΠρινΕΚ	ΕνδιαμΕΚ1	ΜετάΕΚ	ΜΜετάΕΚ
3: σύγκριση πυκνοτήτων	0	0	9	5
2: αναφορά στο υλικό ή/και στο βάρος	34 (8)	33 (5)	29 (5)	31 (3)
1: αναφορά στο βάρος	1	3	1	2
0: τελεολογικές	6	5	2	3
Σύνολο	41	41	41	41

Παρατηρούμε ότι η μεγάλη πλειοψηφία των μαθητών αναφέρεται, ήδη από το πριν ερωτηματολόγιο, στο υλικό από το οποίο κατά κύριο λόγο αποτελείται το σωσίβιο,

δηλαδή τον αέρα. Το ίδιο, κατά προσέγγιση, συνεχίζει να συμβαίνει στο ενδιάμεσο, το ΜετάΕΚ και το ΜΜετάΕΚ ερωτηματολόγιο. Σε αντίθεση με την πιλοτική εφαρμογή, ελάχιστοι από τους μαθητές που κάνουν σύγκριση πυκνοτήτων για την ερμηνεία του φαινομένου, στο ΜετάΕΚ και το ΜΜετάΕΚ ερωτηματολόγιο, αναφέρονται ταυτόχρονα και στο υλικό του αντικειμένου, που δείχνει ότι η βελτίωση στη μάθηση στην κανονική εφαρμογή είναι ισχυρότερη από ό,τι στην πιλοτική. Παρατηρούμε ότι η κατανομή των ερμηνειών της Π/Β του σωσιβίου στο ενδιάμεσο ερωτηματολόγιο δεν παρουσιάζει αλλαγή, γεγονός που ήταν αναμενόμενο για δύο λόγους: α) οι δραστηριότητες που πραγματοποιήθηκαν στη 2^η ενότητα για τον έλεγχο των μεταβλητών που πιθανόν να επηρεάζουν την Π/Β, π.χ. το βάρος και το υλικό του αντικειμένου, δε βελτίωσαν τις απαντήσεις των μαθητών, επειδή η πλειοψηφία των απαντήσεων κατατάχθηκε στην κατηγορία 2 ήδη πριν την παρέμβαση, και β) το ενδιάμεσο ερωτηματολόγιο συμπληρώθηκε αμέσως μετά τη 2^η ενότητα της ΔΜΣ, δηλαδή δεν είχε εισαχθεί ακόμη το μοντέλο της πυκνότητας. Η βελτίωση στις απαντήσεις των μαθητών εμφανίζεται αμέσως μετά την παρέμβαση, η οποία είναι στατιστικά σημαντική ($z=2.665$, $p=.008$) και διατηρείται επτά μήνες μετά την παρέμβαση ($z=1.238$, $p=.216$). Ωστόσο, τα αποτελέσματα αυτά ενισχύουν την άποψη ότι, σε τέτοιου είδους ερωτήματα, οι μαθητές τείνουν να απαντούν με βάση τις καθημερινές τους εμπειρίες. Εξάλλου, το γεγονός ότι μόνο δύο από τους εννέα μαθητές που χρησιμοποιούν τον συσχετιστικό αιτιακό συλλογισμό στο ΜετάΕΚ, το χρησιμοποιούν και στο ΜΜετάΕΚ ερωτηματολόγιο, δείχνει τη μεγάλη δυσκολία που αντιμετωπίζουν οι μαθητές να χρησιμοποιήσουν αυτό το μοντέλο στις ερμηνείες της Π/Β.

Έργο ΠΒ1β Ερμηνεία της Π/Β μιας άγκυρας στην κανονική εφαρμογή

Στο έργο ΠΒ1β (Πίνακας 4.2 και Παράρτημα Β.2) ζητείται από τους μαθητές να επιλέξουν εάν μια άγκυρα επιπλέει ή βυθίζεται και στη συνέχεια να αιτιολογήσουν την επιλογή τους. Όπως αναμέναμε όλοι οι μαθητές επέλεξαν σωστά πως η άγκυρα βυθίζεται. Αντίθετα, η ερμηνεία της επιλογής αυτής ποικίλλει. Στον πίνακα 5.4.2 παρατηρούμε ότι στην κατηγορία 3 κατατάχθηκαν μηδέν μαθητές στο πριν και το ενδιάμεσο ερωτηματολόγιο, έντεκα από τους σαράντα ένα μαθητές στο ΜετάΕΚ και επτά μαθητές στο ΜΜετάΕΚ ερωτηματολόγιο. Χαρακτηριστική απάντηση για τους περισσότερους μαθητές είναι «*Βυθίζεται γιατί το σίδερο έχει μεγαλύτερη πυκνότητα από το νερό*» ή σε ελάχιστες περιπτώσεις γίνεται αναφορά και στο υλικό «*γιατί είναι*

από σίδηρο και έχει μεγαλύτερη πυκνότητα». Στην κατηγορία 2 κατατάχθηκαν έντεκα μαθητές πριν, είκοσι τρεις ενδιάμεσα, δεκατρείς μετά την παρέμβαση και δεκαοκτώ μαθητές επτά μήνες μετά την παρέμβαση. Χαρακτηριστική απάντηση είναι «*βυθίζεται γιατί είναι φτιαγμένη από σίδηρο*». Στην κατηγορία 2 κατατάξαμε και τις απαντήσεις που αναφέρονται τόσο στο υλικό του αντικειμένου όσο και στο βάρος του υλικού από το οποίο αποτελείται, π.χ. «*βυθίζεται γιατί είναι από σίδηρο που είναι βαρύ*» ή «*βυθίζεται γιατί είναι φτιαγμένη από βαρύ υλικό*». Ο αριθμός αυτών των απαντήσεων φαίνεται στον πίνακα 5.4.2 στις παρενθέσεις. Εξάλλου, στην κατηγορία 2 υπάρχουν ελάχιστες περιπτώσεις απαντήσεων που αναφέρονται γενικά στο υλικό του αντικειμένου, όπως «*επιπλέει, γιατί το υλικό επηρεάζει τη βύθιση ή την πλεύση*». Στην κατηγορία 1 κατατάχθηκαν είκοσι τρεις μαθητές πριν, δεκατρείς ενδιάμεσα, δεκατέσσερις μετά την παρέμβαση και δώδεκα μαθητές επτά μήνες μετά την παρέμβαση. Χαρακτηριστική απάντηση για τους περισσότερους μαθητές είναι «*βυθίζεται γιατί είναι βαριά*» ενώ ελάχιστες είναι οι απαντήσεις όπως «*έχει μεγάλο όγκο*» ή «*είναι συμπαγές σώμα*». Τέλος, στην κατηγορία 0 κατατάχθηκαν επτά μαθητές πριν, πέντε μαθητές ενδιάμεσα, τρεις μαθητές μετά την παρέμβαση και τέσσερις μαθητές επτά μήνες μετά την παρέμβαση. Χαρακτηριστική απάντηση είναι «*το πλοίο που έρχεται τη ρίχνει για να σταματήσει*». Δηλαδή οι μαθητές αυτοί αναφέρονται στο σκοπό του αντικειμένου, για το λόγο αυτό τις χαρακτηρίζουμε 'τελεολογικές'.

Πίνακας 5.4.2 Απόψεις των μαθητών στο έργο ΠΒ1β σχετικά με την Π/Β μιας άγκυρας

Κατηγορίες	ΠρινΕΚ	ΕνδιαμΕΚ1	ΜετάΕΚ	ΜΜετάΕΚ
3: σύγκριση πυκνοτήτων	0	0	11	7
2: αναφορά στο υλικό ή/και στο βάρος	11 (7)	23 (13)	13 (8)	18 (8)
1: αναφορά στο βάρος	23	13	14	12
0: τελεολογικές	7	5	3	4
Σύνολο	41	41	41	41

Παρατηρούμε ότι οι είκοσι τρεις από τους σαράντα ένα μαθητές στο πριν ερωτηματολόγιο απαντούν διαισθητικά αναφερόμενοι στο βάρος του αντικειμένου. Σταδιακά, οι μαθητές στην κατηγορία 1 μειώνονται φτάνοντας στο ΜΜετάΕΚ ερωτηματολόγιο να είναι λιγότεροι από τους μισούς. Αμέσως μετά την παρέμβαση, έντεκα μαθητές κατορθώνουν να χρησιμοποιήσουν το ερμηνευτικό νοητικό μοντέλο της σύγκρισης των πυκνοτήτων και επτά μαθητές το χρησιμοποιούν στο ΜΜετάΕΚ ερωτηματολόγιο. Έτσι, παρατηρούμε μια σταδιακή εξέλιξη των απόψεων των

μαθητών από το α) εναλλακτικό διαισθητικό μοντέλο ερμηνείας της Π/Β με αναφορά στο βάρος του αντικειμένου, στο β) διαισθητικό μεν αλλά κοντά στην επιθυμητή γνώση μοντέλο ερμηνείας της Π/Β με αναφορά στο υλικό του αντικειμένου, καταλήγοντας τέλος στο γ) σύνθετο συσχετιστικό αιτιακό μοντέλο για την ερμηνεία της Π/Β. Ωστόσο, το γεγονός ότι μόνο τέσσερις από τους έντεκα μαθητές που χρησιμοποιούν το συσχετιστικό αιτιακό μοντέλο μετά την παρέμβαση, το χρησιμοποιούν και επτά μήνες μετά, δείχνει τη μεγάλη δυσκολία που αντιμετωπίζουν οι μαθητές να χρησιμοποιήσουν συσχετιστικό αιτιακό συλλογισμό στις ερμηνείες της Π/Β. Το γεγονός ότι η μεγάλη πλειοψηφία των απαντήσεων των μαθητών είναι διαισθητικές (κατηγορία 1 και 2) καταδεικνύει πόσο ισχυρή είναι η τάση των μαθητών να απαντούν σε τέτοιου είδους ερωτήματα με βάση τις εμπειρίες τους. Παρόλα αυτά η βελτίωση που παρατηρείται από το πριν στο ενδιάμεσο ερωτηματολόγιο ($z=2.401$, $p=.016$), και σε σημαντικότερο βαθμό από το πριν στο μετά ($z=3.446$, $p=.001$), είναι στατιστικά σημαντική και διατηρείται επτά μήνες μετά ($z=.602$, $p=.547$).

Έργο ΠΒ2 Ερμηνεία της Π/Β μιας μπάλας από πλαστελίνη στην κανονική εφαρμογή

Στο έργο ΠΒ2 (Πίνακας 4.2 και Παράρτημα Β.2) ζητείται από τους μαθητές να αλλάξουν ένα χαρακτηριστικό στο σύστημα 'μπάλα από πλαστελίνη βυθισμένη σε δοχείο με νερό' ώστε να κάνουν τη μπάλα να επιπλεύσει. Στον πίνακα 5.4.3, παρατηρούμε ότι στην κατηγορία 3 κατατάχθηκαν μηδέν μαθητές πριν και ενδιάμεσα, έξι μαθητές μετά την παρέμβαση και τέσσερις μαθητές επτά μήνες μετά την παρέμβαση. Χαρακτηριστική απάντηση είναι «Μπορώ να αλλάξω την μπάλα από ξύλο γιατί έχει μικρότερη πυκνότητα από το νερό και θα επιπλεύσει», ενώ υπάρχει και μία απάντηση που εστιάζει στο υγρό «Θα αλλάζα το υγρό του δοχείου έτσι ώστε το υγρό να έχει μεγαλύτερη πυκνότητα από την πλαστελίνη». Στην κατηγορία 2 κατατάχθηκαν είκοσι ένα μαθητές πριν, τριάντα ένα μαθητές ενδιάμεσα, είκοσι ένα μαθητές μετά και δεκαεννιά μαθητές επτά μήνες μετά την παρέμβαση. Χαρακτηριστική απάντηση για τους περισσότερους μαθητές στο πριν ερωτηματολόγιο είναι η αναφορά στο υλικό της μπάλας, π.χ. «Μπορώ να αλλάξω την μπάλα από πλαστελίνη και να την κάνω μπάλα που μέσα της έχει αέρα για να επιπλεύσει» ή σε λιγότερες περιπτώσεις «την πλαστελίνη θα την κάνω πλαστικό» ή σε ακόμη λιγότερες περιπτώσεις «Να αλλάξουμε το υλικό από το οποίο είναι

φτιαγμένη η μπάλα». Στην κατηγορία 2 κατατάξαμε και τις λίγες απαντήσεις που αναφέρονται τόσο στο υλικό του αντικειμένου όσο και στο βάρος του υλικού από το οποίο αποτελείται, π.χ. «Θα αλλάξω το υλικό της σφαίρας με ένα πιο ελαφρύ». Ο αριθμός αυτών των απαντήσεων φαίνεται στον πίνακα 5.4.3 στις παρενθέσεις. Επίσης, στο ενδιάμεσο, το ΜετάΕΚ και το ΜΜετάΕΚ ερωτηματολόγιο εμφανίζονται τουλάχιστον πέντε απαντήσεις ανά ερωτηματολόγιο με αναφορά στο υλικό του υγρού, π.χ. «Θα αλλάξω το υγρό που είναι μέσα στο δοχείο και θα βάλω ένα άλλο ώστε να επιπλέει». Τέλος, με σημαντικά μικρότερη συχνότητα σε σχέση με την αναφορά στο υλικό της μπάλας ή του υγρού, παρουσιάζονται απαντήσεις που έχουν σχέση με το σχήμα της μπάλας όπως «Θα την κάνω επίπεδη» ή «να αλλάξουμε το σχήμα». Οι απαντήσεις αυτές κατατάχθηκαν στην κατηγορία 2 γιατί έχουν διαισθητικό χαρακτήρα, όπως και αυτές που αναφέρονται στο υλικό, και ταυτόχρονα αποτελούν μια αποδεκτή πρόταση στο τεχνολογικό πρόβλημα της επίπλευσης της μπάλας. Στην κατηγορία 1 κατατάχθηκαν δεκατρείς μαθητές πριν, επτά μαθητές ενδιάμεσα, δέκα μαθητές μετά την παρέμβαση και δώδεκα μαθητές επτά μήνες μετά την παρέμβαση. Στις περισσότερες απαντήσεις γίνεται έμμεση αναφορά στο βάρος του αντικειμένου, π.χ. «Θα κόψουμε την μπάλα και θα την κάνουμε πιο μικρή για να μπορεί να επιπλέει», ενώ σε λιγότερες περιπτώσεις, μόνο στο πριν ερωτηματολόγιο, γίνεται αναφορά στο μέγεθος του δοχείου ή την ποσότητα του νερού, π.χ. «να βάλω ένα πιο μεγάλο δοχείο για να είναι πιο πολύ το νερό». Τέλος, στην κατηγορία 0 κατατάχθηκαν επτά μαθητές πριν, τρεις μαθητές ενδιάμεσα, τέσσερις μαθητές μετά την παρέμβαση και έξι μαθητές επτά μήνες μετά την παρέμβαση. Χαρακτηριστική απάντηση είναι «Εγώ με την πλαστελίνη παίζω και βάζω μέσα τα χέρια μου» ή «Την πλαστελίνη θα την έκανα σίδερο και ορθογώνιο».

Πίνακας 5.4.3 Απόψεις των μαθητών στο έργο ΠΒ2 σχετικά με την Π/Β μιας μπάλας από πλαστελίνη

Κατηγορίες	ΠρινΕΚ	ΕνδιαμΕΚ1	ΜετάΕΚ	ΜΜετάΕΚ
3: σύγκριση πυκνοτήτων	0	0	6	4
2: αναφορά στο υλικό ή/και στο βάρος	21 (3)	31 (2)	21 (1)	19 (1)
1: αναφορά στο βάρος	13	7	10	12
0: άσχετες	7	3	4	6
Σύνολο	41	41	41	41

Παρατηρούμε ότι οι μισοί περίπου μαθητές στο πριν ερωτηματολόγιο απαντούν αναφερόμενοι στο υλικό του αντικειμένου (κατηγορία 2), και λιγότεροι στο βάρος του αντικειμένου (κατηγορία 1). Επίσης, παρατηρούμε ότι αρχικά στο ενδιάμεσο

ερωτηματολόγιο υπάρχει μεγάλη αύξηση των μαθητών που κατατάσσονται στην κατηγορία 2, με ταυτόχρονη μείωση των μαθητών που κατατάσσονται στην κατηγορία 1, ενώ κανένας δεν απαντά κάνοντας σύγκριση πυκνοτήτων, για τους ίδιους λόγους που αναφέρθηκαν και στα έργα ΠΒ1α και ΠΒ1β. Σε αντίθεση με την πιλοτική εφαρμογή, στο ενδιάμεσο αλλά και στα δύο επόμενα ερωτηματολόγια, υπάρχουν ορισμένοι μαθητές που αναφέρονται στο υλικό του υγρού. Θεωρούμε σημαντική αυτή τη διαφοροποίηση γιατί είναι καταγεγραμμένη η τάση των μαθητών να εστιάζουν σε χαρακτηριστικά του αντικειμένου που επιπλέει ή βυθίζεται, και να δυσκολεύονται να αντιληφθούν τη σημασία του υγρού στο φαινόμενο (Smith et al., 1992). Στο ΜετάΕΚ ερωτηματολόγιο παρατηρούμε ότι έξι μαθητές κατορθώνουν να χρησιμοποιήσουν το ερμηνευτικό νοητικό μοντέλο της σύγκρισης των πυκνοτήτων και τέσσερις μαθητές το χρησιμοποιούν στο ΜΜετάΕΚ ερωτηματολόγιο. Μόνο ένας μαθητής το χρησιμοποίησε τόσο στο ΜετάΕΚ όσο και το ΜΜετάΕΚ ερωτηματολόγιο, ενισχύοντας το συμπέρασμα που προέκυψε και στα έργα ΠΒ1α και ΠΒ1β, σχετικά με το πόσο ισχυρή είναι η τάση των μαθητών να απαντούν σε τέτοιου είδους ερωτήματα με βάση τις εμπειρίες τους και ότι δυσκολεύονται να χρησιμοποιήσουν το διδαχθέν μοντέλο ερμηνείας, ιδιαίτερα όταν πρόκειται να ερμηνεύσουν το ίδιο φαινόμενο (Π/Β) σε άλλο πλαίσιο. Παρόλα αυτά, η βελτίωση που παρατηρείται από το πριν στο ενδιάμεσο ερωτηματολόγιο ($z=2.368$, $p=.018$), καθώς και αμέσως μετά την παρέμβαση ($z=2.142$, $p=.032$), είναι στατιστικά σημαντική και διατηρείται επτά μήνες μετά ($z=1.160$, $p=.246$).

Έργο ΠΒ3 Ερμηνεία της Π/Β μικρού και μεγάλου κύβου από ίδιο υλικό στην κανονική εφαρμογή

Στο έργο ΠΒ3 (Πίνακας 4.2 και Παράρτημα Β.2) οι μαθητές καλούνται να επιλέξουν εάν ένα μεγάλο αντικείμενο θα επιπλεύσει, θα αιωρείται ή θα βυθιστεί, όταν γνωρίζουν ότι ένα μικρό αντικείμενο από το ίδιο υλικό επιπλέει. Επίσης, τους ζητείται να αιτιολογήσουν την επιλογή τους.

Πίνακας 5.4.4 Επιλογές των μαθητών στο έργο ΠΒ3 σχετικά με την Π/Β μικρού και μεγάλου κύβου

Κατηγορίες	ΠρινΕΚ	ΕνδιαμΕΚ1	ΜετάΕΚ	ΜΜετάΕΚ
1: Σωστή επιλογή "πλεύση"	12	30	31	27
0: Λάθος επιλογή "βύθιση" ή "αιώρηση"	29 (2)	11 (3)	10 (1)	14 (2)
Σύνολο	41	41	41	41

Στον πίνακα 5.4.4 παρατηρούμε ότι πριν την παρέμβαση δώδεκα από τους σαράντα ένα μαθητές επιλέγουν σωστά ότι και το μεγάλο σώμα θα επιπλέει, ενώ οι υπόλοιποι είκοσι εννέα μαθητές επιλέγουν τη βύθιση ή την αιώρηση (δύο μόνο επιλέγουν την αιώρηση). Στα επόμενα ερωτηματολόγια παρατηρούμε τριπλασιασμό των σωστών επιλογών που διατηρείται σταθερός μέχρι και στο ΜΜετάΕΚ ερωτηματολόγιο. Πιο αναλυτικά, οι μαθητές που επιλέγουν σωστά είναι τριάντα στο ενδιάμεσο, τριάντα ένα στο ΜετάΕΚ και είκοσι επτά στο ΜΜετάΕΚ ερωτηματολόγιο. Οι μαθητές που επιλέγουν λάθος είναι έντεκα ενδιάμεσα, δέκα μετά την παρέμβαση και δεκατέσσερις μαθητές επτά μήνες μετά την παρέμβαση. Από αυτούς, οι μαθητές που επέλεξαν την αιώρηση του αντικειμένου είναι τρεις στο ενδιάμεσο, ένας στο ΜετάΕΚ και δύο στο ΜΜετάΕΚ ερωτηματολόγιο, όπως φαίνεται στις παρενθέσεις, στον πίνακα 5.4.4.

Πίνακας 5.4.5 Απόψεις των μαθητών στο έργο ΠΒ3 σχετικά με την Π/Β μικρού και μεγάλου κύβου

Κατηγορίες	ΠρινΕΚ	ΕνδιαμΕΚ1	ΜετάΕΚ	ΜΜετάΕΚ
3: σύγκριση πυκνοτήτων	0	0	0	2
2: αναφορά στο υλικό ή/και στο βάρος	4 (0)	23 (12)	26 (12)	19 (8)
1: αναφορά στο βάρος	24	10	5	12
0: άσχετες	13	8	10	8
Σύνολο	41	41	41	41

Σχετικά με την ερμηνεία των μαθητών στο έργο ΠΒ3 (Πίνακας 5.4.5), στην κατηγορία 3 κατατάχθηκαν μόνο δύο μαθητές, στο ΜΜετάΕΚ ερωτηματολόγιο. Χαρακτηριστική απάντηση είναι «Δεν έχει σχέση το μέγεθος του αντικειμένου γιατί και τα δύο έχουν την ίδια πυκνότητα». Στην κατηγορία 2 κατατάχθηκαν τέσσερις μαθητές πριν, είκοσι τρεις μαθητές ενδιάμεσα, είκοσι έξι μαθητές μετά και δεκαεννιά μαθητές επτά μήνες μετά την παρέμβαση. Χαρακτηριστική απάντηση είναι «αφού το μικρό κομμάτι από κάποιο υλικό επιπλέει, θα επιπλέει και ένα μεγαλύτερο κομμάτι από το ίδιο υλικό μέσα σε ένα δοχείο με νερό». Στην κατηγορία 2 κατατάξαμε και τη μοναδική απάντηση στο πριν ερωτηματολόγιο, όπου ο μαθητής αναφέρεται τόσο στο υλικό του αντικειμένου όσο και στο βάρος του υλικού από το οποίο αποτελείται, γράφοντας «Γιατί είναι και τα δύο από ίδιο υλικό που είναι ελαφρύ». Επίσης, σε αυτήν την κατηγορία κατατάξαμε τις απαντήσεις που δεν αναφέρονται στο υλικό αλλά αναφέρουν ότι το βάρος δεν επηρεάζει την Π/Β, π.χ. «Το βάρος δεν επηρεάζει την πλευση ή την βύθιση» ή «Δεν έχει σημασία η ποσότητα του υλικού» ή, τέλος, «Γιατί δεν επηρεάζει το μέγεθος στην πλευση ή τη βύθιση». Ο αριθμός αυτών των απαντήσεων φαίνεται

στον πίνακα 5.4.5 στις παρενθέσεις, και θεωρούμε ότι είναι αποτέλεσμα της ενεργού εμπλοκής των μαθητών στα πειράματα που πραγματοποίησαν στη 2^η ενότητα για να ελέγξουν τους παράγοντες που επηρεάζουν την Π/Β. Στην κατηγορία 1 κατατάχθηκαν είκοσι τέσσερις μαθητές πριν, δέκα μαθητές ενδιάμεσα, πέντε μαθητές μετά και δώδεκα μαθητές επτά μήνες μετά την παρέμβαση. Χαρακτηριστική απάντηση είναι *«γιατί το μεγάλο κομμάτι είναι πιο βαρύ και έτσι θα κατέβει στον πάτο»* ή *«(θα βυθιστεί) γιατί το ένα κομμάτι είναι μικρό και το άλλο μεγάλο»*. Τέλος, στην κατηγορία 0, κατατάχθηκαν δεκατρείς μαθητές πριν, οκτώ μαθητές ενδιάμεσα, δέκα μαθητές μετά και οκτώ μαθητές επτά μήνες μετά την παρέμβαση. Χαρακτηριστική απάντηση είναι *«γιατί θέλω να βλέπω και τα δύο να βρίσκονται στην επιφάνεια»* ή *«γιατί είναι πιο μεγάλο και για αυτό επιπλέει»*.

Σχετικά με τις αιτιολογήσεις, στον πίνακα 5.4.5, παρατηρούμε ότι οι περισσότεροι μαθητές στο πριν ερωτηματολόγιο αναφέρονται στο βάρος του αντικειμένου. Στα επόμενα ερωτηματολόγια παρατηρούμε ότι η κυρίαρχη αιτιολόγηση είναι αυτή που αναφέρεται στο υλικό του αντικειμένου (κατηγορία 2). Όπως και στα έργα ΠΒ1β και ΠΒ2, στο ενδιάμεσο ερωτηματολόγιο, οι μαθητές που αναφέρονται στο υλικό του αντικειμένου για την ερμηνεία της Π/Β αυξάνονται σημαντικά. Αντίθετα όμως με ό,τι παρατηρήσαμε στα έργα ΠΒ1β και ΠΒ2, εκτός από δύο απαντήσεις στο ΜΜετάΕΚ ερωτηματολόγιο, οι μαθητές δε χρησιμοποίησαν το συσχετιστικό αιτιακό μοντέλο ερμηνείας της Π/Β στο ΜετάΕΚ ερωτηματολόγιο. Αυτό ίσως οφείλεται στο ίδιο το έργο, το οποίο εστιάζει στον έλεγχο ύπαρξης της εναλλακτικής ιδέας ότι τα βαριά βυθίζονται και τα ελαφριά επιπλέουν. Εξάλλου, όλοι οι μαθητές που κατατάχθηκαν στην κατηγορία 3 ή την κατηγορία 2 επέλεξαν σωστά την επίπλευση του μεγάλου κύβου. Αντίθετα, οι μαθητές που κατατάχθηκαν στην κατηγορία 1 επέλεξαν κυρίως τη βύθιση του μεγάλου κύβου, ενώ και οι ελάχιστοι μαθητές από αυτούς που επέλεξαν την αιώρηση του αντικειμένου, εννοούσαν ότι το αντικείμενο βυθίζεται, όπως γίνεται φανερό από την εξής χαρακτηριστική απάντηση *«εγώ νομίζω πως το μικρό κυβάκι θα επιπλεύσει και το μεγάλο κυβάκι λίγο βυθίζεται»*. Τέλος, παρατηρούμε ότι η βελτίωση στις απαντήσεις των μαθητών από το πριν στο ενδιάμεσο ερωτηματολόγιο ($z=3.870$, $p=.000$), καθώς και αμέσως μετά την παρέμβαση ($z=3.801$, $p=.000$), είναι στατιστικά σημαντική και διατηρείται επτά μήνες μετά την παρέμβαση ($z=.184$, $p=.854$).

Έργο ΠΒ4 Ερμηνεία της Π/Β αντικειμένων σε στενό και φαρδύ δοχείο στην κανονική εφαρμογή

Στο έργο ΠΒ4 (Πίνακας 4.2 και Παράρτημα Β.2) οι μαθητές καλούνται να επιλέξουν εάν ένα αντικείμενο θα επιπλεύσει, θα αιωρείται ή θα βυθιστεί σε ένα στενό δοχείο όταν γνωρίζουν ότι επιπλέει σε ένα φαρδύ, καθώς και να αιτιολογήσουν την επιλογή τους.

Στο έργο αυτό φαίνεται, στον πίνακα 5.4.6, ότι στο πριν ερωτηματολόγιο, είκοσι τρεις μαθητές επιλέγουν σωστά ότι το αντικείμενο επιπλέει στο φαρδύ δοχείο. Στα υπόλοιπα δε ερωτηματολόγια, πριν, μετά και επτά μήνες μετά την παρέμβαση, τριάντα τέσσερις από τους σαράντα ένα μαθητές επιλέγουν σωστά. Οι λάθος επιλογές είναι δεκαοκτώ πριν, και επτά ενδιάμεσα, μετά και επτά μήνες μετά την παρέμβαση. Από τις λάθος επιλογές οι μαθητές που επέλεξαν την αιώρηση ήταν επτά πριν, ένας ενδιάμεσα, τέσσερις μετά και ένας μαθητής επτά μήνες μετά την παρέμβαση, όπως φαίνεται στις παρενθέσεις, στον πίνακα 5.4.6.

Πίνακας 5.4.6 Επιλογές των μαθητών στο έργο ΠΒ4 σχετικά με την Π/Β σε στενό και φαρδύ δοχείο

Κατηγορίες	ΠρινΕΚ	ΕνδιαμΕΚ1	ΜετάΕΚ	ΜΜετάΕΚ
1: Σωστή επιλογή "πλεύση"	23	34	34	34
0: Λάθος επιλογή "βύθιση" ή "αιώρηση"	18 (7)	7 (1)	7 (4)	7 (1)
Σύνολο	41	41	41	41

Σχετικά με την ερμηνεία των μαθητών στο έργο ΠΒ4 (Πίνακας 5.4.7), στην κατηγορία 3 κατατάχθηκε μόνο μία απάντηση μετά την παρέμβαση. Η απάντηση είναι «Γιατί έχει μικρότερη πυκνότητα». Στην κατηγορία 2 κατατάχθηκαν δεκατρείς μαθητές πριν, είκοσι έξι μαθητές ενδιάμεσα, είκοσι επτά μαθητές μετά και δεκαεννιά μαθητές επτά μήνες μετά την παρέμβαση. Οι περισσότεροι μαθητές που κατατάχθηκαν στην κατηγορία 2 αναφέρουν άμεσα ή έμμεσα ότι το φάρδος του δοχείου δεν επηρεάζει την Π/Β, π.χ. «αφού επιπλέει στο φαρδύ δοχείο θα επιπλέει και στο στενό». Λιγότερες είναι οι απαντήσεις που αναφέρονται στο υλικό του αντικειμένου, π.χ. «επειδή είναι το ίδιο υλικό και το ίδιο υγρό μέσα σε αυτά τα δύο δοχεία, ο κύβος θα επιπλέει κανονικά». Στην κατηγορία 1 κατατάχθηκαν δεκατέσσερις μαθητές πριν, τέσσερις μαθητές ενδιάμεσα, πέντε μαθητές μετά και έξι μαθητές επτά μήνες μετά την παρέμβαση. Πιο συγκεκριμένα, στην κατηγορία αυτή κατατάξαμε τις απαντήσεις στις οποίες γίνεται αναφορά στο ότι το φάρδος του δοχείου επηρεάζει την Π/Β, π.χ. «Δε θα επιπλέει γιατί το δοχείο είναι πιο στενό», ενώ σε ορισμένες περιπτώσεις, δύο ανά ερωτηματολόγιο, γίνεται αναφορά στο βάρος του αντικειμένου, π.χ. «Γιατί ο

κύβος που έριξε ο Κώστας ήταν πιο ελαφρύς, ενώ αυτός που έριξε η Ειρήνη ήταν πιο βαρύς». Τέλος, στην κατηγορία 0 κατατάχθηκαν δεκατέσσερις μαθητές πριν, έντεκα μαθητές ενδιάμεσα, οκτώ μαθητές μετά και δεκαέξι μαθητές επτά μήνες μετά την παρέμβαση. Χαρακτηριστική απάντηση είναι «γιατί έχει την ίδια ποσότητα υγρού» ή «γιατί και οι δύο το έριξαν στο ίδιο».

Σχετικά με τις αιτιολογήσεις, στον πίνακα 5.4.7, παρατηρούμε ότι οι απαντήσεις στο πριν ερωτηματολόγιο κατατάσσονται ισόποσα είτε στην κατηγορία 2 είτε στην κατηγορία 1, καθώς επίσης υπάρχουν και αρκετοί οι οποίοι δίνουν απαντήσεις που δεν κατατάσσονται, γιατί είναι άσχετες ή μη κατατάξιμες. Οι δώδεκα από τους δεκατέσσερις μαθητές που κατατάχθηκαν στην κατηγορία 1 αναφέρονται στο φάρδος του δοχείου, γεγονός που δείχνει ότι σημαντικός αριθμός των μαθητών έχει αυτήν την εναλλακτική άποψη. Στα επόμενα ερωτηματολόγια παρατηρούμε ότι η εναλλακτική ιδέα για το φάρδος του δοχείου εμφανίζεται σε περιορισμένο βαθμό, ενώ η κυρίαρχη αιτιολόγηση είναι είτε η δήλωση ότι το φάρδος του δοχείου δεν παίζει ρόλο στην Π/Β είτε η αναφορά στο υλικό (κατηγορία 2).

Πίνακας 5.4.7 Απόψεις των μαθητών στο έργο ΠΒ4 σχετικά με την Π/Β σε στενό και φαρδύ δοχείο

Κατηγορίες	ΠρινΕΚ	ΕνδιαμΕΚ1	ΜετάΕΚ	ΜΜετάΕΚ
3: σύγκριση πυκνοτήτων	0	0	1	0
2: αναφορά στο υλικό ή/και στο βάρος	13	26	27	19
1: αναφορά στο φάρδος του δοχείου ή/και στο βάρος τους αντικειμένου	14	4	5	6
0: άσχετες	14	11	8	16
Σύνολο	41	41	41	41

Όπως και στα έργα ΠΒ1β, ΠΒ2 και ΠΒ3, στο ενδιάμεσο ερωτηματολόγιο, οι μαθητές που είτε αναφέρουν ότι το φάρδος του δοχείου δεν επηρεάζει την Π/Β, είτε αναφέρονται στο υλικό του αντικειμένου για την ερμηνεία της Π/Β αυξάνονται σημαντικά. Αντίθετα όμως με ό,τι παρατηρήσαμε στα έργα ΠΒ1β και ΠΒ2, και σε συμφωνία με τα αποτελέσματα στο έργο ΠΒ3, οι μαθητές δε χρησιμοποίησαν το συσχετιστικό αιτιακό μοντέλο ερμηνείας της Π/Β. Εξαίρεση αποτελεί μία απάντηση στο μετά ερωτηματολόγιο. Αυτό ίσως οφείλεται στο ίδιο το έργο, το οποίο εστιάζει στον έλεγχο ύπαρξης της εναλλακτικής ιδέας ότι το φάρδος του δοχείου επηρεάζει το φαινόμενο της Π/Β. Εξάλλου, όπως παρατηρήσαμε και στο έργο ΠΒ3, οι ελάχιστοι μαθητές που επέλεξαν την αιώρηση του αντικειμένου, εννοούσαν ότι το αντικείμενο βυθίζεται. Χαρακτηριστική περίπτωση είναι η εξής απάντηση «όσο πιο στενό είναι το

δοχείο τόσο περισσότερο θα βυθίζεται ο κύβος». Τέλος, παρατηρούμε ότι η βελτίωση στις απαντήσεις των μαθητών σε αυτό το έργο από το πριν στο ενδιάμεσο ($z=2.232$, $p=.026$), καθώς και από το πριν στο μετά ερωτηματολόγιο ($z=2.737$, $p=.006$), είναι στατιστικά σημαντική αλλά δε διατηρείται επτά μήνες μετά την παρέμβαση ($z=2.382$, $p=.017$). Με δεδομένη τη διατήρηση της γνώσης στο έργο ΠΒ3 το οποίο διαπραγματεύεται την πιο ισχυρή εναλλακτική ιδέα των μαθητών στις ερμηνείες της Π/Β (το βαρύ βυθίζεται), θεωρούμε ότι η μη διατήρηση της γνώσης στο έργο ΠΒ4, πιθανώς να μην αντικατοπτρίζει την πραγματικότητα. Την άποψη αυτή ενισχύει το γεγονός ότι το έργο αυτό στο ΜΜετάΕΚ ήταν το τελευταίο και είναι πιθανόν οι μαθητές να μην πρόλαβαν ή να βαρέθηκαν να απαντήσουν, με συνέπεια να εμφανίζονται τόσες πολλές απαντήσεις στην κατηγορία 0.

Έργο ΠΒ5 Ερμηνεία της Π/Β αντικειμένων με βάση το μοντέλο «τελίτσες-στο-κυβάκι» στην κανονική εφαρμογή

Στο έργο ΠΒ5 (Πίνακας 4.2 και Παράρτημα Β.2), οι μαθητές καλούνται να σχεδιάσουν την τελική θέση μιας μεγάλης σφαίρας με μικρότερη πυκνότητα από το νερό, και μιας μικρής πυραμίδας με μεγαλύτερη πυκνότητα από το νερό, όταν αυτές αφεθούν στο νερό και στη συνέχεια να αιτιολογήσουν την επιλογή τους. Η σωστή επιλογή είναι ότι η μεγάλη σφαίρα επιπλέει και η μικρή πυραμίδα βυθίζεται.

Στον πίνακα 5.4.8, φαίνεται ότι η πλειοψηφία των μαθητών σχεδίασε τα δύο αντικείμενα στη σωστή τους τελική θέση στο ενδιάμεσο, το μετά και το επτά μήνες μετά ερωτηματολόγιο. Τα νούμερα στις αγκύλες δηλώνουν τον αριθμό των επιλογών που συνοδεύονται από ερμηνείες με συσχετιστικό αιτιακό συλλογισμό.

Πίνακας 5.4.8 Επιλογές – σχέδια των μαθητών στο έργο ΠΒ5 σχετικά με την Π/Β αντικειμένων με βάση το μοντέλο «τελίτσες-στο-κυβάκι»

Κατηγορίες	ΕνδιαμΕΚ2	ΜετάΕΚ	ΜΜετάΕΚ
1: Σωστή επιλογή-σχεδίαση "σφαίρα επιπλέει, πυραμίδα βυθίζεται"	35 [21]	37 [26]	32 [23]
0: Λάθος επιλογή-σχεδίαση "σφαίρα βυθίζεται, πυραμίδα επιπλέει" ή "και τα δύο επιπλέουν ή βυθίζονται"	6	4	9
Σύνολο	41	41	41

Σχετικά με την ερμηνεία της επιλογής, στον πίνακα 5.4.9, παρατηρούμε ότι στην κατηγορία 1 κατατάχθηκαν είκοσι ένα μαθητές στο ενδιάμεσο ερωτηματολόγιο, είκοσι

έξι μαθητές στο μετά, και είκοσι τρεις μαθητές στο επτά μήνες μετά ερωτηματολόγιο. Στις περισσότερες απαντήσεις σε αυτήν την κατηγορία υπάρχει άμεση αναφορά στο υγρό, π.χ. «*Το σώμα Α θα επιπλεύσει γιατί έχει μικρότερη πυκνότητα από το υγρό. Το σώμα Β θα βυθιστεί γιατί έχει μεγαλύτερη πυκνότητα από το υγρό*», ενώ υπάρχουν και ελάχιστες περιπτώσεις όπου η αναφορά στο υγρό είναι έμμεση, π.χ. «*Το σώμα Α γιατί έχει μικρότερη πυκνότητα και επιπλέει ενώ το σώμα Β έχει μεγαλύτερη πυκνότητα και βυθίζεται*». Στην κατηγορία 0 κατατάχθηκαν είκοσι μαθητές ενδιάμεσα, δεκαπέντε μαθητές μετά και δεκαοκτώ μαθητές επτά μήνες μετά την παρέμβαση. Οι περισσότερες απαντήσεις είναι ταυτολογικές και δε δίνουν καμία επιπλέον πληροφορία πέρα από την επιλογή του μαθητή, π.χ. «*Το σώμα Α θα επιπλεύσει και το Β θα βυθιστεί*». Λιγότερες είναι οι απαντήσεις όπως «*Το Α θα επιπλεύσει και το Β θα βυθιστεί. Η ποσότητα του υλικού δεν έχει σημασία*» στην οποία η αιτιολόγηση δεν περιέχει συσχετιστικό αιτιακό συλλογισμό παρόλα αυτά δεν είναι λανθασμένη. Ακόμη λιγότερες είναι οι απαντήσεις όπως «*Το Α θα επιπλεύσει γιατί είναι ελαφρύ και το Β θα βυθιστεί γιατί είναι βαρύ*» στις οποίες, ναι μεν γίνεται αναφορά στο βάρος και άρα βασίζεται στην εναλλακτική ιδέα ‘τα βαριά βυθίζονται και τα ελαφριά επιπλέουν’, ταυτόχρονα όμως φαίνεται να υπονοείται ότι το Α είναι ‘ελαφρύ για το μέγεθός του’ και το Β είναι ‘βαρύ για το μέγεθός του’. Τέλος, υπάρχουν και λίγες απαντήσεις οι οποίες είναι λανθασμένες, π.χ. «*Το σώμα Α θα βυθιστεί γιατί έχει μεγαλύτερη πυκνότητα. Ενώ το σώμα Β θα επιπλεύσει γιατί έχει μικρότερη πυκνότητα*».

Πίνακας 5.4.9 Απόψεις των μαθητών στο έργο ΠΒ5 σχετικά με την Π/Β αντικειμένων με βάση το μοντέλο «τελίτσες-στο-κυβάκι»

Κατηγορίες	ΕνδιαμΕΚ2	ΜετάΕΚ	ΜΜετάΕΚ
1: συσχετιστικός αιτιακός συλλογισμός	21	26	23
0: γραμμικός αιτιακός συλλογισμός	20	15	18
Σύνολο	41	41	41

Οι μισοί μαθητές, στο ενδιάμεσο ερωτηματολόγιο, έδωσαν απαντήσεις που κατατάχθηκαν στην κατηγορία 1, δηλαδή χρησιμοποίησαν συσχετιστικό αιτιακό συλλογισμό για να ερμηνεύσουν την Π/Β των δύο αντικειμένων. Στο μετά ερωτηματολόγιο παρατηρούμε ότι οι απαντήσεις των μαθητών που κατατάχθηκαν σε αυτήν την κατηγορία αυξήθηκαν, δίχως όμως αυτή η αύξηση να είναι στατιστικά σημαντική ($z=1.508$, $p=.132$). Επίσης, η κατάσταση αυτή διατηρήθηκε και επτά

μήνες μετά την παρέμβαση ($z=.905$, $p=.366$). Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι ένας σημαντικός αριθμός μαθητών χρησιμοποίησε συσχετιστικό αιτιακό συλλογισμό για να αιτιολογήσει τη σωστή επιλογή – σχεδίαση των αντικειμένων στο δοχείο με το νερό, ενδιάμεσα, μετά και επτά μήνες μετά την παρέμβαση.

Έργο ΠΒ6 Ερμηνεία του επιπέδου επίπλευσης αντικειμένων με βάση το μοντέλο «τελίτσες-στο-κυβάκι» στην κανονική εφαρμογή

Στο έργο αυτό (Πίνακας 4.2 και Παράρτημα Β.2), οι μαθητές καλούνται να επιλέξουν τις τελικές θέσεις δύο σωμάτων που έχουν και τα δύο μικρότερη πυκνότητα από αυτή του νερού, έχοντας ταυτόχρονα και διαφορετική πυκνότητα, που συνεπάγεται ότι το ένα θα επιπλέει λίγο ψηλότερα από το άλλο. Η σωστή επιλογή είναι ότι η σφαίρα Α επιπλέει λίγο πιο πάνω από την σφαίρα Β επειδή έχει μικρότερη πυκνότητα. Οι επιλογές των μαθητών στο έργο φαίνονται στον πίνακα 5.4.10. Επίσης, τα νούμερα μέσα στις αγκύλες καταμετρούν τους μαθητές που χρησιμοποίησαν συσχετιστικό αιτιακό συλλογισμό στην αιτιολόγησή τους. Από ό,τι φαίνεται, υπάρχουν αρκετοί μαθητές οι οποίοι επέλεξαν την πλεύση των δύο σφαιρών στο ίδιο επίπεδο αιτιολογώντας με συσχετιστικό αιτιακό συλλογισμό την επιλογή τους. Αυτό σημαίνει ότι ενώ χρησιμοποίησαν το μοντέλο σύγκρισης της πυκνότητας του αντικειμένου και του υγρού δεν μπόρεσαν να αντιληφθούν τη διαφορά στο επίπεδο πλεύσης των δύο σωμάτων.

Πίνακας 5.4.10 Επιλογές των μαθητών στο έργο ΠΒ6 σχετικά με το επίπεδο επίπλευσης με βάση το μοντέλο «τελίτσες-στο-κυβάκι»

Κατηγορίες	ΕνδιαμΕΚ2	ΜετάΕΚ	ΜΜετάΕΚ
1: Σωστή επιλογή "Α ψηλότερα από Β"	21 [18]	26 [22]	20 [12]
0: Λάθος επιλογή "στο ίδιο ύψος"	11 [5]	14 [8]	18 [10]
0: Λάθος επιλογή "Β ψηλότερα από Α"	9	1	3
Σύνολο	41	41	41

Σχετικά με την ερμηνεία της επιλογής (Πίνακας 5.4.11), στην κατηγορία 1 κατατάχθηκαν είκοσι τρεις από τους σαράντα ένα μαθητές ενδιάμεσα, τριάντα μαθητές μετά και είκοσι δύο μαθητές επτά μήνες μετά την παρέμβαση. Οι μαθητές αυτοί επέλεξαν είτε σωστά 'το Α ψηλότερα από το Β' είτε λάθος ότι τα δύο σώματα είναι 'στο ίδιο ύψος'. Στις περισσότερες απαντήσεις υπάρχει άμεση αναφορά στο υγρό αλλά δε γίνεται σύγκριση μεταξύ των πυκνοτήτων των δύο αντικειμένων, π.χ.

«(επιλέγει σωστά 'το A ψηλότερα από το B') Επιλέγω το 3 γιατί και στα δύο η πυκνότητα είναι λιγότερη από το υγρό» ή «(επιλέγει λάθος 'στο ίδιο ύψος') Γιατί η πυκνότητα του νερού είναι μεγαλύτερη και από τα 2 σώματα για αυτό επιπλέει», ενώ υπάρχουν και περιπτώσεις όπου η αναφορά στο υγρό είναι έμμεση, π.χ. «(επιλέγει σωστά 'το A ψηλότερα από το B') Γιατί το σώμα A έχει λιγότερη πυκνότητα από το σώμα B» ή «(επιλέγει σωστά 'το A ψηλότερα από το B') Γιατί το σώμα B έχει περισσότερες τελίτσες από το σώμα A». Τέλος, λιγότερες είναι οι περιπτώσεις στις οποίες οι μαθητές δηλώνουν ρητά στην απάντησή τους και τα δύο σκέλη της πλήρους αιτιολόγησης, δηλαδή ότι α) και τα δύο αντικείμενα επιπλέουν επειδή έχουν μικρότερη πυκνότητα από το υγρό, και β) το αντικείμενο που έχει μεγαλύτερη πυκνότητα από το άλλο επιπλέει χαμηλότερα. Πιο συγκεκριμένα, οι μαθητές που δίνουν πλήρη απάντηση είναι δύο ενδιάμεσα, τρεις μετά και δύο μαθητές επτά μήνες μετά την παρέμβαση. Χαρακτηριστική απάντηση είναι «(επιλέγει σωστά 'το A ψηλότερα από το B') Γιατί και τα δυο έχουν μικρότερη πυκνότητα από το υγρό αλλά το σώμα B έχει μεγαλύτερη πυκνότητα από το σώμα A και γι' αυτό είναι η θέση του έτσι».

Πίνακας 5.4.11 Απόψεις των μαθητών στο έργο ΠΒ6 σχετικά με το επίπεδο επίπλευσης με βάση το μοντέλο «τελίτσες-στο-κυβάκι»

Κατηγορίες	ΕνδιαμΕΚ2	ΜετάΕΚ	ΜΜετάΕΚ
1: συσχετιστικός αιτιακός συλλογισμός	23	30	22
0: γραμμικός αιτιακός συλλογισμός	18	11	19
Σύνολο	41	41	41

Στην κατηγορία 0 κατατάχθηκαν δέκα οκτώ μαθητές ενδιάμεσα, έντεκα μαθητές μετά και δεκαεννιά μαθητές επτά μήνες μετά την παρέμβαση. Ορισμένοι μαθητές απαντούν ταυτολογικά, π.χ. «(επιλέγει λάθος 'στο ίδιο ύψος') Γιατί επιπλέουν και τα δύο», χωρίς να δίνουν άλλη πληροφορία πέρα από αυτή που δίνει η επιλογή που κάνουν. Ορισμένοι απαντούν κάνοντας αναφορά στο βάρος των σωμάτων, π.χ. «(επιλέγει λάθος 'στο ίδιο ύψος') γιατί το σώμα A και το σώμα B είναι ίσα σε βάρος για αυτό και τα δύο δε θα βυθιστούνε» ή «(επιλέγει σωστά 'το A ψηλότερα από το B') γιατί το σώμα A είναι πιο ελαφρύ ενώ το σώμα B είναι πιο βαρύ». Λιγότεροι μαθητές αναφέρονται στην πυκνότητα αλλά θεωρούν ότι το σώμα B θα βυθιστεί, π.χ. «(επιλέγει σωστά 'το A ψηλότερα από το B') το σώμα A έχει λιγότερη πυκνότητα άρα θα επιπλεύσει ενώ το σώμα B έχει μεγαλύτερη άρα θα βυθιστεί». Τέλος, υπάρχουν

κάποιες απαντήσεις οι οποίες είναι άσχετες ή μη κατατάξιμες, π.χ. «(επιλέγει λάθος 'στο ίδιο ύψος') Γιατί μπορεί να έχει διαφορετικό υγρό και να επιπλέει» ή «(επιλέγει λάθος 'στο ίδιο ύψος') δε γίνεται να είναι στη μέση».

Παρατηρούμε ότι αυτοί που αναγνωρίζουν το διαφορετικό επίπεδο πλεύσης και ταυτόχρονα χρησιμοποιούν συσχετιστικό αιτιακό συλλογισμό στην ερμηνεία τους, είναι ήδη δεκαοκτώ στο ενδιάμεσο ερωτηματολόγιο, αυξάνονται σε είκοσι δύο μετά την παρέμβαση και τέλος μειώνονται, επτά μήνες μετά την παρέμβαση, σε δώδεκα μαθητές (Πίνακας 5.4.10). Εξάλλου, παρατηρούμε ότι υπάρχουν αρκετοί μαθητές που χρησιμοποιούν συσχετιστικό αιτιακό συλλογισμό, είτε αντιλαμβάνονται το διαφορετικό επίπεδο επίπλευσης είτε όχι. Αυτές οι ερμηνείες των μαθητών παρουσιάζουν στατιστικά σημαντική βελτίωση από το ενδιάμεσο στο μετά ερωτηματολόγιο ($z=2.111$, $p=.035$), η οποία όμως δε διατηρείται επτά μήνες μετά την παρέμβαση ($z=2.309$, $p=.021$).

Έργο ΠΒ7α. Χρήση Π/Β για τη σύγκριση πυκνοτήτων στην κανονική εφαρμογή

Στο έργο ΠΒ7α (Πίνακας 4.2 και παράρτημα Β.2), οι μαθητές καλούνται να επιλέξουν εάν μια πρόταση στην οποία συγκρίνεται η πυκνότητα ενός μικρού κύβου που είναι βυθισμένος και ενός μεγάλου κύβου που επιπλέει είναι σωστή ή λάθος.

Πίνακας 5.4.12 Επιλογές των μαθητών στο έργο ΠΒ7α σχετικά με τη χρήση Π/Β για τη σύγκριση πυκνοτήτων

Κατηγορίες	ΕνδιαμΕΚ2	ΜετάΕΚ	ΜΜετάΕΚ
1: Σωστή επιλογή "Η πρόταση είναι Λάθος"	26	27	27
0: Λάθος επιλογή "Η πρόταση είναι Σωστή" ή "Δεν Ξέρω"	15	14	14
Σύνολο	41	41	41

Πίνακας 5.4.13 Απόψεις των μαθητών στο έργο ΠΒ7α σχετικά με τη χρήση Π/Β για τη σύγκριση πυκνοτήτων

Κατηγορίες	ΕνδιαμΕΚ2	ΜετάΕΚ	ΜΜετάΕΚ
1: Χρήση της Π/Β για τη σύγκριση πυκνοτήτων	19	18	18
0: Μη χρήση της Π/Β για τη σύγκριση πυκνοτήτων	22	23	23
Σύνολο	41	41	41

Όπως φαίνεται στον πίνακα 5.4.12 οι σωστές επιλογές, δηλαδή ότι η πρόταση είναι λάθος, στο ενδιάμεσο, το μετά και το επτά μήνες μετά ερωτηματολόγιο είναι σταθερά

περισσότερες από τις μισές. Πιο συγκεκριμένα, οι μαθητές αυτοί είναι είκοσι έξι από τους σαράντα ένα στο ενδιάμεσο ερωτηματολόγιο και είκοσι επτά στο μετά και το επτά μήνες μετά ερωτηματολόγιο.

Στον πίνακα 5.4.13 φαίνονται οι κατηγορίες των αιτιολογήσεων των επιλογών. Στην κατηγορία 1 κατατάχθηκαν δεκαεννέα από τους σαράντα ένα μαθητές ενδιάμεσα, δεκαοκτώ μαθητές μετά την παρέμβαση και δεκαοκτώ μαθητές επτά μήνες μετά την παρέμβαση. Χαρακτηριστική απάντηση είναι *«(επιλέγει σωστά ότι η πρόταση είναι λάθος) Λάθος, γιατί το σώμα Α επιπλέει ενώ το σώμα Β βυθίζεται»*. Στην κατηγορία 0 κατατάχθηκαν είκοσι δύο μαθητές ενδιάμεσα, είκοσι τρεις μετά την παρέμβαση και είκοσι τρεις μαθητές επτά μήνες μετά την παρέμβαση. Στις περισσότερες από αυτές, η απάντηση είναι ταυτολογική, δίχως να δίνει επιπλέον πληροφορία πέρα από την ίδια την επιλογή, π.χ. *«(επιλέγει σωστά ότι η πρόταση είναι λάθος) Λ Γιατί έχει μικρότερη πυκνότητα»*, ενώ σε λιγότερες, φαίνεται ότι οι μαθητές θεωρούν την πυκνότητα εκτατικό μέγεθος, δηλαδή ότι εξαρτάται από το μέγεθος ή την ποσότητα του αντικειμένου, π.χ. *«(επιλέγει λάθος ότι η πρόταση είναι σωστή) Σωστό, γιατί είναι μεγάλο»*. Υπάρχουν, τέλος, ορισμένες απαντήσεις οι οποίες είναι είτε λανθασμένες, π.χ. *«(επιλέγει σωστά ότι η πρόταση είναι λάθος) Γιατί είναι πολύ πιο μεγάλο από το Β»*, είτε μη κατατάξιμες, π.χ. *«(επιλέγει σωστά ότι η πρόταση είναι λάθος) Γιατί δεν επηρεάζει το σχήμα»*. Παρατηρούμε ότι ένας σημαντικός αριθμός μαθητών αιτιολογεί τις επιλογές με χρήση της Π/Β, χρησιμοποιώντας δηλαδή τη φαινομενολογία του πειράματος για τη σύγκριση πυκνοτήτων των δύο αντικειμένων, σε ένα έργο που απαιτεί από τους μαθητές να πραγματοποιήσουν σύνθετο συλλογισμό. Πιο συγκεκριμένα, θα πρέπει να συγκρίνουν καταρχήν την πυκνότητα του κάθε αντικειμένου με την πυκνότητα του υγρού και στη συνέχεια τις πυκνότητες των δύο αντικειμένων, ώστε να μπορέσουν να επιλέξουν εάν η πρόταση που τους δίνεται είναι σωστή ή λάθος.

Έργο ΠΒ7β Χρήση Π/Β για τη σύγκριση πυκνοτήτων στην κανονική εφαρμογή

Στο έργο ΠΒ7β (Πίνακας 4.2 και Παράρτημα Β.2), οι μαθητές καλούνται να επιλέξουν εάν μια πρόταση στην οποία συγκρίνεται η πυκνότητα ενός μικρού κύβου που είναι βυθισμένος και του υγρού στο οποίο είναι βυθισμένος, είναι σωστή ή λάθος. Όπως φαίνεται στον πίνακα 5.4.14, σωστά επέλεξαν είκοσι τέσσερις από τους σαράντα ένα

μαθητές στο ενδιάμεσο ερωτηματολόγιο, τριάντα ένα μαθητές στο μετά και είκοσι οκτώ μαθητές στο επτά μήνες μετά ερωτηματολόγιο.

Πίνακας 5.4.14 Επιλογές μαθητών στο έργο ΠΒ7β σχετικά με τη χρήση Π/Β για τη σύγκριση πυκνοτήτων

Κατηγορίες	ΕνδιαμΕΚ2	ΜετάΕΚ	ΜΜετάΕΚ
1: Σωστή επιλογή "Η πρόταση είναι Σωστή"	24	31	28
0: Λάθος επιλογή "Η πρόταση είναι Λάθος" ή "Δεν Ξέρω"	17	10	13
Σύνολο	41	41	41

Πίνακας 5.4.15 Απόψεις των μαθητών στο έργο ΠΒ7β σχετικά με τη χρήση Π/Β για τη σύγκριση πυκνοτήτων

Κατηγορίες	ΕνδιαμΕΚ2	ΜετάΕΚ	ΜΜετάΕΚ
1: Χρήση της Π/Β για τη σύγκριση πυκνοτήτων	17	25	21
0: Μη χρήση της Π/Β για τη σύγκριση πυκνοτήτων	24	16	20
σύνολο	41	41	41

Στον πίνακα 5.4.15, φαίνονται οι κατηγορίες των αιτιολογήσεων των επιλογών. Στην κατηγορία 1 κατατάχθηκαν δεκαεπτά από τους σαράντα ένα μαθητές ενδιάμεσα, είκοσι πέντε μαθητές μετά την παρέμβαση και είκοσι ένα μαθητές επτά μήνες μετά την παρέμβαση. Χαρακτηριστική απάντηση είναι «(επιλέγει σωστά ότι η πρόταση είναι σωστή) Σωστό, γιατί άμα είχε λιγότερη πυκνότητα θα επέπλεε». Στην κατηγορία 0 κατατάχθηκαν είκοσι τέσσερις μαθητές ενδιάμεσα, δεκαέξι μαθητές μετά και είκοσι μαθητές επτά μήνες μετά την παρέμβαση. Στις περισσότερες από αυτές, η απάντηση είναι ταυτολογική, δίχως να δίνει επιπλέον πληροφορία πέρα από την ίδια την επιλογή, π.χ. «(επιλέγει σωστά ότι η πρόταση είναι σωστή) Σ Γιατί έχει μεγαλύτερη πυκνότητα», ενώ σε λιγότερες, φαίνεται ότι οι μαθητές θεωρούν την πυκνότητα εκτατικό μέγεθος, δηλαδή ότι εξαρτάται από το μέγεθος ή την ποσότητα του αντικειμένου, π.χ. «(επιλέγει σωστά ότι η πρόταση είναι σωστή) Σωστό, γιατί είναι πιο βαρύ» ή «(επιλέγει λάθος ότι η πρόταση είναι λάθος) Λάθος, γιατί είναι μικρό». Υπάρχουν, τέλος, ορισμένες απαντήσεις οι οποίες είναι μη κατατάξιμες, π.χ. «(επιλέγει σωστά ότι η πρόταση είναι σωστή) Γιατί είναι υγρό».

Παρατηρούμε ότι οι μαθητές που αιτιολογούν τις επιλογές τους με χρήση της Π/Β, χρησιμοποιώντας δηλαδή τη φαινομενολογία του πειράματος για τη σύγκριση πυκνοτήτων, είναι περισσότεροι από αυτούς που αιτιολογούν με τον ίδιο τρόπο στο έργο ΠΒ7α. Θεωρούμε ότι αυτό συμβαίνει, γιατί στο έργο ΠΒ7β απαιτείται από τους

μαθητές απλούστερος συλλογισμός από αυτόν που απαιτείται στο έργο ΠΒ7α. Πιο συγκεκριμένα, στο έργο ΠΒ7β οι μαθητές χρειάζεται να κάνουν μόνο μια σύγκριση πυκνοτήτων, μεταξύ του αντικειμένου και του υγρού, για να αποφασίσουν εάν η πρόταση που τους δίνεται είναι σωστή ή λάθος, σε αντίθεση με το έργο ΠΒ7α στο οποίο χρειάζεται να κάνουν τρεις συγκρίσεις πυκνοτήτων, όπως περιγράφεται αναλυτικά στην προηγούμενη ενότητα (έργοΠΒ7α).

Έργο ΠΒ7γ Χρήση Π/Β για τη σύγκριση πυκνοτήτων στην κανονική εφαρμογή

Στο έργο ΠΒ7γ (Πίνακας 4.2 και Παράρτημα Β.2), οι μαθητές καλούνται να επιλέξουν εάν μια πρόταση στην οποία συγκρίνεται η πυκνότητα ενός μεγάλου κύβου που επιπλέει σε ένα υγρό και του υγρού στο οποίο επιπλέει είναι σωστή ή λάθος. Όπως φαίνεται στον πίνακα 5.4.16 οι σωστές επιλογές, δηλαδή ότι η πρόταση είναι λάθος, στο ενδιάμεσο στο μετά και το επτά μήνες μετά ερωτηματολόγιο είναι σταθερά περισσότερες από τις μισές.

Πίνακας 5.4.16 Επιλογές των μαθητών στο έργο ΠΒ7γ σχετικά με τη χρήση Π/Β για τη σύγκριση πυκνοτήτων

Κατηγορίες	ΕνδιαμΕΚ2	ΜετάΕΚ	ΜΜετάΕΚ
1: Σωστή επιλογή "Η πρόταση είναι Λάθος"	26	29	25
0: Λάθος επιλογή "Η πρόταση είναι Σωστή" ή "Δεν Ξέρω"	15	12	16
Σύνολο	41	41	41

Πίνακας 5.4.17 Απόψεις των μαθητών στο έργο ΠΒ7γ σχετικά με τη χρήση της Π/Β για τη σύγκριση πυκνοτήτων

Κατηγορίες	ΕνδιαμΕΚ2	ΜετάΕΚ	ΜΜετάΕΚ
1: Χρήση της Π/Β για τη σύγκριση πυκνοτήτων	19	23	20
0: Μη χρήση της Π/Β για τη σύγκριση πυκνοτήτων	22	18	21
Σύνολο	41	41	41

Στον πίνακα 5.4.17 φαίνονται οι κατηγορίες των αιτιολογήσεων των επιλογών. Στην κατηγορία 1 κατατάχθηκαν δέκα εννιά από τους σαράντα ένα μαθητές ενδιάμεσα, είκοσι τρεις μαθητές μετά την παρέμβαση και είκοσι μαθητές επτά μήνες μετά την παρέμβαση. Χαρακτηριστική απάντηση είναι «*Λάθος, γιατί θα έπρεπε να βυθίζεται*». Στην κατηγορία 0 κατατάχθηκαν είκοσι δύο μαθητές ενδιάμεσα, δέκα οκτώ μαθητές

μετά την παρέμβαση και είκοσι ένα μαθητές επτά μήνες μετά την παρέμβαση. Στις περισσότερες από αυτές, η απάντηση είναι ταυτολογική, δίχως να δίνει επιπλέον πληροφορία πέρα από την ίδια την επιλογή, π.χ. «(επιλέγει σωστά ότι η πρόταση είναι λάθος) Λάθος, γιατί το σώμα Α έχει μικρότερη πυκνότητα», ενώ σε λιγότερες, φαίνεται ότι οι μαθητές θεωρούν την πυκνότητα εκτατικό μέγεθος, δηλαδή ότι εξαρτάται από το μέγεθος ή την ποσότητα του αντικειμένου, π.χ. «(επιλέγει λάθος ότι η πρόταση είναι σωστή) Σωστό, γιατί είναι πιο μεγάλο». Υπάρχουν, τέλος, ορισμένες απαντήσεις οι οποίες είναι μη κατατάξιμες, π.χ. «(επιλέγει σωστά ότι η πρόταση είναι λάθος) Γιατί το υγρό έχει πάντα μεγαλύτερη πυκνότητα». Παρατηρούμε ότι οι μαθητές που αιτιολογούν τις επιλογές τους με χρήση της Π/Β, χρησιμοποιώντας δηλαδή τη φαινομενολογία του πειράματος για τη σύγκριση πυκνοτήτων, είναι περισσότεροι από αυτούς που αιτιολογούν με τον ίδιο τρόπο στο έργο ΠΒ7α, και οι ίδιοι με αυτούς που αιτιολογούν με τον ίδιο τρόπο στο έργο ΠΒ7β. Θεωρούμε ότι αυτό συμβαίνει γιατί στο έργο ΠΒ7γ, όπως και στο έργο ΠΒ7β, απαιτείται από τους μαθητές απλούστερος συλλογισμός από αυτόν που απαιτείται στο έργο ΠΒ7α, όπως περιγράφεται αναλυτικά στην προηγούμενη ενότητα (έργο ΠΒ7β).

Έργο ΠΒ8 Χρήση της αιώρησης για τη σύγκριση πυκνοτήτων στην κανονική εφαρμογή

Στο έργο ΠΒ8 (Πίνακας 4.2 και Παράρτημα Β.2), οι μαθητές καλούνται να επιλέξουν εάν μια πρόταση στην οποία συγκρίνεται η πυκνότητα ενός παιχνιδιού που αιωρείται σε ένα υγρό και του υγρού αυτού, είναι σωστή ή λάθος.

Όπως φαίνεται στον πίνακα 5.4.18 οι μαθητές που επιλέγουν σωστά, δηλαδή ότι οι πυκνότητες είναι ίσες, στο ενδιάμεσο ερωτηματολόγιο είναι είκοσι έξι από τους σαράντα ένα, στο μετά ερωτηματολόγιο είναι τριάντα δύο και στο επτά μήνες μετά ερωτηματολόγιο είναι τριάντα μαθητές. Στον πίνακα 5.4.19 φαίνονται οι κατηγορίες των αιτιολογήσεων των επιλογών.

Στην κατηγορία 1 κατατάχθηκαν είκοσι ένα από τους σαράντα ένα μαθητές ενδιάμεσα καθώς και μετά την παρέμβαση, και δεκαεννέα μαθητές επτά μήνες μετά την παρέμβαση. Χαρακτηριστική απάντηση είναι «Αφού δεν κατευθύνεται ούτε προς τα κάτω ούτε στην επιφάνεια του δοχείου αλλά κάθετα στη μέση σημαίνει ότι έχει την ίδια πυκνότητα με το υγρό».

Πίνακας 5.4.18 Επιλογές των μαθητών στο έργο ΠΒ8 σχετικά με τη χρήση αιώρησης για τη σύγκριση πυκνοτήτων

Κατηγορίες	ΕνδιαμΕΚ2	ΜετάΕΚ	ΜΜετάΕΚ
1: Σωστή επιλογή "Η πυκνότητα του αντικειμένου ίση με την πυκνότητα του υγρού"	26	32	30
0: Λάθος επιλογή "Η πυκνότητα του αντικειμένου μεγαλύτερη ή μικρότερη από του υγρού" ή "Δεν Ξέρω"	15	9	11
Σύνολο	41	41	41

Πίνακας 5.4.19 Απόψεις των μαθητών στο έργο ΠΒ8 σχετικά με τη χρήση αιώρησης για τη σύγκριση πυκνοτήτων

Κατηγορίες	ΕνδιαμΕΚ2	ΜετάΕΚ	ΜΜετάΕΚ
1: χρήση της αιώρησης για τη σύγκριση πυκνοτήτων	21	21	19
0: μη χρήση της αιώρησης για τη σύγκριση πυκνοτήτων	20	20	22
Σύνολο	41	41	41

Στη κατηγορία 0 κατατάχθηκαν είκοσι μαθητές ενδιάμεσα και μετά την παρέμβαση και είκοσι δύο μαθητές επτά μήνες μετά την παρέμβαση. Στις περισσότερες από αυτές, η απάντηση είναι ταυτολογική, π.χ. «*Το παιχνίδι έχει μικρότερη πυκνότητα από το υγρό*» ή «*Έχει ίδια πυκνότητα με το υγρό*». Υπάρχουν δε ορισμένες απαντήσεις οι οποίες είναι μη κατατάξιμες, π.χ. «*Έχει μικρότερη πυκνότητα από το υγρό γιατί το αντικείμενο είναι πιο μικρό*». Παρατηρούμε ότι σημαντικός αριθμός μαθητών αιτιολογεί τις επιλογές του με χρήση της αιώρησης.

Σύνοψη των αποτελεσμάτων από τα γραπτά ερωτηματολόγια σχετικά με τις ερμηνείες για την Π/Β στην κανονική εφαρμογή

Από την παραπάνω περιγραφή και ανάλυση των απαντήσεων των μαθητών στα έργα που αξιολογούν τις ερμηνείες τους σε φαινόμενα Π/Β, παρατηρούμε τα εξής: οι απαντήσεις στα έργα ΠΒ1α, ΠΒ1β, ΠΒ2, ΠΒ3 και ΠΒ4, στα οποία οι μαθητές αντιμετωπίζουν προβλήματα που παραπέμπουν στην καθημερινότητα και δε δίνεται καμία επιπλέον βοήθεια πέρα από την περιγραφή του φαινομένου, παρουσίασαν στατιστικά σημαντική βελτίωση αμέσως μετά την παρέμβαση, η οποία διατηρήθηκε επτά μήνες μετά την παρέμβαση. Η βελτίωση αυτή ήταν στατιστικά σημαντική ήδη στο ενδιάμεσο ερωτηματολόγιο (αμέσως μετά τη 2^η ενότητα), για όλα τα έργα εκτός από το ΠΒ1α. Αυτό συνέβη γιατί στο έργο ΠΒ1α, πολλοί από τους μαθητές έδωσαν

απαντήσεις που ήταν κοντά στην επιστημονική άποψη ήδη πριν την παρέμβαση. Οι ερμηνείες που έδωσαν οι μαθητές στο ενδιάμεσο ερωτηματολόγιο, εστίαζαν στο γεγονός ότι η Π/Β εξαρτάται από το υλικό του αντικειμένου, ή σε ορισμένες περιπτώσεις, στα έργα ΠΒ3 και ΠΒ4, ότι δεν εξαρτάται από το βάρος, το μέγεθος, την ποσότητα ή το σχήμα του αντικειμένου, ενώ κανένας μαθητής δε χρησιμοποίησε τη σύγκριση πυκνοτήτων για να ερμηνεύσει την Π/Β. Το παραπάνω αποτέλεσμα ήταν αναμενόμενο για δύο λόγους: α) στη 2^η ενότητα της ΔΜΣ οι μαθητές πραγματοποίησαν πειράματα για τον έλεγχο μεταβλητών που πιθανό να επηρεάζουν την Π/Β, π.χ. το βάρος και το υλικό του αντικειμένου, και β) στη 2^η ενότητα δεν είχε εισαχθεί ακόμη το μοντέλο της πυκνότητας. Μετά την παρέμβαση, αρκετοί μαθητές χρησιμοποίησαν συσχετιστικό αιτιακό συλλογισμό για την ερμηνεία της Π/Β, στα έργα ΠΒ1α, ΠΒ1β και ΠΒ2. Εντούτοις, κανένας μαθητής δε χρησιμοποίησε συσχετιστικό αιτιακό συλλογισμό στο έργο ΠΒ3 ενώ μόνο ένας στο έργο ΠΒ4, πολύ πιθανόν διότι τα έργα αυτά στόχευαν να ελέγξουν συγκεκριμένες εναλλακτικές ιδέες των μαθητών για την Π/Β, όπως για παράδειγμα εάν θεωρούν ότι η Π/Β επηρεάζεται από το μέγεθος του αντικειμένου ή από το φάρδος του δοχείου.

Σε αντίθεση με την πιλοτική εφαρμογή, στο έργο ΠΒ2, στο ενδιάμεσο, το μετά και το επτά μήνες μετά την παρέμβαση ερωτηματολόγιο, υπήρξαν ορισμένοι μαθητές που αναφέρθηκαν στο υλικό του υγρού. Θεωρούμε σημαντική αυτή τη διαφορά γιατί είναι καταγεγραμμένη η τάση των μαθητών να εστιάζουν σε χαρακτηριστικά του αντικειμένου που επιπλέει ή βυθίζεται, και να δυσκολεύονται να αντιληφθούν τη σημασία του υγρού στο φαινόμενο (Smith et al., 1992).

Εξάλλου, από τα αποτελέσματα στα έργα ΠΒ3 και ΠΒ4 επιβεβαιώνεται ότι η εναλλακτική ιδέα *‘το βάρος ενός αντικειμένου επηρεάζει την Π/Β’* είναι ισχυρότερη και απορρίπτεται πιο δύσκολα από την εναλλακτική ιδέα *‘το φάρδος του δοχείου επηρεάζει την Π/Β ενός αντικειμένου σε ένα υγρό’*, όπως έχουν δείξει και άλλες έρευνες (Θασίτης κ.ά., 2004). Επίσης, στα έργα ΠΒ3 και ΠΒ4, οι ερμηνείες των μαθητών έδειξαν ότι όσοι επέλεξαν την εικόνα στην οποία το αντικείμενο αιωρείται στο νερό, θεωρούσαν ότι αυτό βυθίζεται ή ότι θα βυθιστεί. Αυτό είναι σε συμφωνία με τα αποτελέσματα της έρευνας του Joung (2009), ο οποίος αναφέρει ότι οι μαθητές αναγνωρίζουν ως πιθανές καταστάσεις ενός αντικειμένου σε ένα υγρό, την πλεύση ή τη βύθισή του αλλά όχι την αιώρηση του μέσα στο υγρό αυτό.

Επιπλέον, παρατηρήσαμε ότι αρκετοί μαθητές, στα έργα ΠΒ3 και ΠΒ4, αντί να αναφέρουν ότι το υλικό του αντικειμένου ή του υγρού επηρεάζει την Π/Β του

αντικειμένου, αναφέρονται σε παράγοντες που δεν την επηρεάζουν όπως για παράδειγμα το βάρος του αντικειμένου ή το φάρδος του δοχείου. Θεωρούμε ότι αυτού του είδους οι απαντήσεις είναι αποτέλεσμα της ενεργού εμπλοκής των μαθητών στα πειράματα που πραγματοποίησαν στη 2^η ενότητα για να ελέγξουν τους παράγοντες που επηρεάζουν την Π/Β. Επίσης, νομίζουμε ότι αποτελούν σημαντικό σκαλοπάτι προς την επιθυμητή γνώση, η οποία είναι να εστιάσει ο μαθητής στο υλικό και όχι στο ίδιο το αντικείμενο.

Γενικά, παρατηρήθηκε σταδιακή εξέλιξη των απόψεων των μαθητών από το εναλλακτικό διαισθητικό μοντέλο ερμηνείας της Π/Β με αναφορά στο βάρος του αντικειμένου (κατηγορία 1), πριν την παρέμβαση, στο διαισθητικό μεν αλλά κοντά στην επιθυμητή γνώση μοντέλο ερμηνείας της Π/Β με αναφορά στο υλικό του αντικειμένου (κατηγορία 2), στο ενδιάμεσο ερωτηματολόγιο, ενώ υπήρξαν και μαθητές που κατόρθωσαν να κατακτήσουν το σύνθετο συσχετιστικό αιτιακό μοντέλο για την ερμηνεία της Π/Β (κατηγορία 3), μετά την παρέμβαση. Υπήρξαν και ορισμένοι μαθητές οι οποίοι έδωσαν τελεολογικές ή άσχετες απαντήσεις (κατηγορία 0). Η εξέλιξη αυτή των απόψεων των μαθητών ήταν η αναμενόμενη και ακολούθησε την πορεία του διδακτικού σεναρίου της ΔΜΣ.

Στα έργα ΠΒ5 και ΠΒ6, στα οποία εκτός από την περιγραφή του φαινομένου, δίνεται στους μαθητές και η πυκνότητα των υλικών, με τη μορφή του μοντέλου «τελίτσες-στο-κυβάκι», η επιτυχία των μαθητών να χρησιμοποιήσουν το συσχετιστικό αιτιακό μοντέλο ήταν μεγάλη ήδη από το ενδιάμεσο ερωτηματολόγιο, ακόμη μεγαλύτερη αμέσως μετά την παρέμβαση και διατηρήθηκε σε υψηλά επίπεδα επτά μήνες μετά την παρέμβαση. Πιο συγκεκριμένα, είκοσι έξι από τους σαράντα ένα μαθητές, στο έργο ΠΒ5, και τριάντα από τους σαράντα ένα μαθητές, στο έργο ΠΒ6, χρησιμοποίησαν το συσχετιστικό αιτιακό μοντέλο (κατηγορία 1), αμέσως μετά την παρέμβαση. Παρατηρούμε ότι οι μαθητές οι οποίοι χρησιμοποίησαν το συσχετιστικό αιτιακό μοντέλο στις ερμηνείες της Π/Β στα έργα αυτά ήταν τουλάχιστον διπλάσιοι από αυτούς που το χρησιμοποίησαν στα έργα ΠΒ1-4, τόσο στο ενδιάμεσο ερωτηματολόγιο, όσο αμέσως μετά την παρέμβαση καθώς και επτά μήνες μετά την παρέμβαση. Φαίνεται ότι η βελτιωτική αλλαγή 5.3.1.1 που έγινε από την πιλοτική στην κανονική εφαρμογή, και με την οποία επιχειρήθηκε σύνδεση των ερμηνειών πραγματικών και προσομοιωμένων πειραμάτων Π/Β, είχε μεν σχετική επιτυχία (δες ενότητα 5.5), συνάντησε όμως ταυτόχρονα και ισχυρές αντιστάσεις. Επίσης, παρατηρούμε ότι από τους τριάντα μαθητές που στο έργο ΠΒ6, αμέσως μετά την

παρέμβαση, χρησιμοποίησαν το συσχετιστικό αιτιακό μοντέλο, οι είκοσι δύο αντιλήφθηκαν σωστά το διαφορετικό επίπεδο επίπλευσης των δύο αντικειμένων που είχαν διαφορετική πυκνότητα, ενώ οι υπόλοιποι οκτώ θεώρησαν ότι τα δύο αντικείμενα θα επιπλεύσουν στο ίδιο επίπεδο επειδή έχουν μεγαλύτερη πυκνότητα από το υγρό. Οι υπόλοιπες απαντήσεις ομαδοποιήθηκαν στην κατηγορία 0 γιατί χρησιμοποιούσαν γραμμικό αιτιακό συλλογισμό. Επιπρόσθετα, οι μαθητές, οι οποίοι μετά την παρέμβαση (πιλοτική και κανονική), αντιλήφθηκαν το διαφορετικό επίπεδο πλεύσης δύο αντικειμένων με διαφορετική πυκνότητα, στο έργο ΠΒ6 του γραπτού ερωτηματολογίου στο οποίο δίνεται η πυκνότητα των υλικών καθώς και του υγρού, ήταν σημαντικά περισσότεροι από αυτούς που μπόρεσαν να το αντιληφθούν στα έργα ΠΥΚ8 και ΠΥΚ9 της συνέντευξης, στα οποία δε δόθηκε η πυκνότητα των υλικών (δες ενότητες 5.2.2.γ και 5.4.2.γ). Επομένως, όπως και στην πιλοτική εφαρμογή, φάνηκε ότι η παρουσία του μοντέλου «τελίτσες-στο-κυβάκι» επηρεάζει και βοηθάει τους μαθητές να αντιληφθούν και να ερμηνεύσουν σωστά το διαφορετικό επίπεδο πλεύσης των αντικειμένων.

Στα έργα ΠΒ7α, ΠΒ7β, ΠΒ7γ και ΠΒ8 (Πίνακας 4.2), ένας σημαντικός αριθμός μαθητών (δεκαεπτά έως είκοσι πέντε από τους σαράντα ένα μαθητές) χρησιμοποιούν τη φαινομενολογία του πειράματος, σε συνδυασμό με συσχετιστικό αιτιακό συλλογισμό για τη σύγκριση πυκνοτήτων, ήδη από το ενδιάμεσο ερωτηματολόγιο (μετά την 4^η ενότητα). Πιο συγκεκριμένα, παρατηρούμε ότι οι μαθητές μπορούν να χρησιμοποιήσουν την πλεύση ή τη βύθιση αλλά και την αιώρηση για να πραγματοποιήσουν και να αιτιολογήσουν συγκρίσεις πυκνοτήτων μεταξύ αντικειμένων ή/και μεταξύ αντικειμένων και υγρών.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν δύο από τις παραπάνω περιπτώσεις. Η πρώτη αφορά στη χρήση της Π/Β για τη σύγκριση των πυκνοτήτων δύο αντικειμένων, διότι απαιτεί σύνθετο συλλογισμό (δες έργο ΠΒ7α), και η δεύτερη αφορά στη χρήση της αιώρησης για τη σύγκριση πυκνοτήτων ενός αντικειμένου και ενός υγρού, διότι η αιώρηση δεν είναι γνωστή στους μαθητές ως μια από τις ενδεχόμενες καταστάσεις στο φαινόμενο Π/Β, και δε διδάχθηκε κατά τη διάρκεια της παρέμβασης (δες έργο ΠΒ8). Λαμβάνοντας δε υπόψη τα ευρήματα από την επισκόπηση της σχετικής βιβλιογραφίας (Joung, 2009) αλλά και τα αποτελέσματα στα έργα ΠΒ3 και ΠΒ4, συμπεραίνουμε ότι οι μαθητές δυσκολεύονται να αντιληφθούν την αιώρηση ως μια ξεχωριστή κατάσταση του φαινομένου Π/Β, όταν δεν τους δίνεται το μοντέλο «τελίτσες-στο-κυβάκι». Παρόλη τη δυσκολία που παρουσιάζουν τα έργα ΠΒ7α και

ΠΒ8, υπήρξε σημαντικός αριθμός μαθητών που έδωσε απαντήσεις οι οποίες κατατάχθηκαν στην κατηγορία 1, δηλαδή προσέγγισαν την επιθυμητή γνώση.

Τα παραπάνω αποτελέσματα δείχνουν ότι το μοντέλο «τελίτσες-στο-κυβάκι», όπως χρησιμοποιήθηκε στον κανόνα συγκρίσεων για την πρόβλεψη του φαινομένου Π/Β, αποτελεί ένα εργαλείο το οποίο μπορεί να βοηθήσει τους μαθητές να πραγματοποιήσουν σύνθετους συλλογισμούς για τη σύγκριση πυκνοτήτων, καθώς και να αντιληφθούν α) την αιώρηση ως ξεχωριστή κατάσταση του φαινομένου της Π/Β, και β) το διαφορετικό επίπεδο πλεύσης δύο αντικειμένων με διαφορετική πυκνότητα, φανερώνοντας με αυτόν τον τρόπο επεκτασιμότητα της μάθησης.

Τέλος, μια γενική παρατήρηση σχετικά με τα έργα που ζητούσαν από τους μαθητές να πραγματοποιήσουν επιλογή και ερμηνεία, είναι ότι υπήρξε μεγαλύτερη βελτίωση στις επιλογές των έργων από ό,τι στις ερμηνείες. Αυτό σημαίνει ότι οι μαθητές διαισθητικά απάντησαν σωστά αλλά δεν μπόρεσαν να ερμηνεύσουν την επιλογή τους. Πιθανόν να χρειάζεται μεγαλύτερη έμφαση στις σχετικές συζητήσεις κατά τη διδασκαλία.

5.4.2 Αποτελέσματα σχετικά με την κατανόηση της πυκνότητας στην κανονική εφαρμογή

5.4.2.α Αποτελέσματα από τα γραπτά ερωτηματολόγια σχετικά με την κατανόηση της πυκνότητας ως ιδιότητας του υλικού στην κανονική εφαρμογή

Έργο ΠΥΚ1 Σύνθεση πρότασης με τη λέξη πυκνότητα στην κανονική εφαρμογή

Στο έργο ΠΥΚ1 (Πίνακας 4.2 και Παράρτημα Β.2) ζητείται από τους μαθητές να γράψουν μια πρόταση με τις λέξεις πυκνότητα και υλικό. Στον πίνακα 5.4.20 φαίνεται ότι στην κατηγορία 3, όπου δηλώνεται άμεσα ή έμμεσα ότι η πυκνότητα είναι μια ιδιότητα του υλικού, κατατάχθηκαν μόνο δύο μαθητές πριν την παρέμβαση, είκοσι έξι μαθητές ενδιάμεσα, είκοσι επτά μαθητές μετά και είκοσι τέσσερις μαθητές επτά μήνες μετά την παρέμβαση. Δέκα από αυτούς τους μαθητές ενδιάμεσα, δεκατέσσερις μετά και έντεκα μαθητές επτά μήνες μετά την παρέμβαση, αντιλαμβάνονται την πυκνότητα ως ιδιότητα του υλικού αναφέροντάς την ως κριτήριο για την Π/Β, π.χ. «Αν ένα υλικό έχει περισσότερη πυκνότητα από την πυκνότητα του υγρού τότε αυτό το υλικό βυθίζεται» ή σε λιγότερες περιπτώσεις δηλώνοντας με σαφήνεια την

εξάρτηση της πυκνότητας από το υλικό, π.χ. «το υλικό καθορίζει την πυκνότητα όχι το μέγεθος».

Πίνακας 5.4.20 Απόψεις των μαθητών στο έργο ΠΥΚ1 σχετικά με την πυκνότητα

Κατηγορίες	ΠρινΕΚ	ΕνδιάμεΕΚ2	ΜετάΕΚ	ΜΜετάΕΚ
3: πυκνότητα ιδιότητα του υλικού	2	26	27	24
2: πυκνότητα ιδιότητα του υλικού και εξαρτημένη από το μέγεθος του αντικειμένου	2	0	0	0
1: πυκνότητα εξαρτημένη από το μέγεθος του αντικειμένου	2	0	1	3
0: άσχετες απαντήσεις	35	15	13	14
Σύνολο	41	41	41	41

Υπάρχουν, τέλος, λίγες απαντήσεις στην κατηγορία 3, στις οποίες οι μαθητές συνδέουν την πυκνότητα με το υλικό χωρίς να είναι σαφές με ποιο τρόπο, π.χ. «την πιο πολύ πυκνότητα από τα υλικά την έχει το σίδερο». Στην κατηγορία 2 κατατάχθηκαν μόνο δύο μαθητές πριν την παρέμβαση, ενώ δεν υπάρχει κανείς μαθητής σε αυτήν την κατηγορία στα υπόλοιπα ερωτηματολόγια. Χαρακτηριστική απάντηση είναι «Το υλικό και το μέγεθος καθορίζει την πυκνότητα». Στη κατηγορία 1, κατατάχθηκαν δύο μαθητές πριν την παρέμβαση, κανένας μαθητής ενδιάμεσα, ένας μαθητής μετά την παρέμβαση και τρεις μαθητές επτά μήνες μετά την παρέμβαση. Χαρακτηριστική απάντηση είναι «Η πυκνότητα μεγαλώνει όταν μεγαλώνει και το υλικό» ή «το μεγάλο Α υλικό έχει μεγαλύτερη πυκνότητα από το υλικό Β». Τέλος, στην κατηγορία 0 κατατάχθηκαν τριάντα πέντε μαθητές πριν την παρέμβαση, δεκαπέντε μαθητές ενδιάμεσα, δεκατρείς μαθητές μετά την παρέμβαση και δεκατέσσερις μαθητές επτά μήνες μετά την παρέμβαση. Χαρακτηριστική απάντηση είναι «η Ειρήνη έριξε μέσα στο νερό ένα παράξενο υλικό και εκείνο σε 40 λεπτά είχε πυκνώσει» ή «Ο σκύλος μου έχει πολύ πυκνό τρίχωμα».

Συνοπτικά, παρατηρούμε ότι ενώ στο πριν ερωτηματολόγιο μόνο δύο απαντήσεις κατατάσσονται στην κατηγορία 3, στο ενδιάμεσο, το μετά και το επτά μήνες μετά ερωτηματολόγιο οι απαντήσεις που κατατάσσονται στην κατηγορία αυτή είναι πάνω από τις μισές. Στην πλειοψηφία αυτών των απαντήσεων είναι σαφής η χρήση της πυκνότητας ως κριτηρίου για την Π/Β ή η εξάρτηση της πυκνότητας από το υλικό. Ταυτόχρονα, οι περισσότερες από τις υπόλοιπες απαντήσεις παραμένουν κυρίως στην κατηγορία των άσχετων. Ελάχιστες είναι οι απαντήσεις που κατατάσσονται τόσο στην κατηγορία 1, στην οποία οι απαντήσεις φανερώνουν την άποψη ότι η

πυκνότητα είναι εκτατικό μέγεθος, όσο και στην κατηγορία 2, όπου οι απαντήσεις φανερώνουν την ταυτόχρονη ύπαρξη των απόψεων ότι η πυκνότητα είναι ιδιότητα του υλικού αλλά ότι εξαρτάται και από το μέγεθος. Η βελτίωση στη μάθηση, από το πριν στο ενδιάμεσο ($z=4.420$, $p=.000$) καθώς επίσης και από το πριν στο μετά ερωτηματολόγιο ($z=4.772$, $p=.000$) είναι στατιστικά σημαντική, και διατηρείται επτά μήνες μετά την παρέμβαση ($z=.626$, $p=.531$).

Έργο ΠΥΚ2. Εξάρτηση της πυκνότητας από το σχήμα του αντικειμένου στην κανονική εφαρμογή

Στο έργο ΠΥΚ2 (Πίνακας 4.2 και Παράρτημα Β.2) οι μαθητές καλούνται να επιλέξουν τη σχέση των πυκνοτήτων ενός κύβου και μιας σφαίρας που είναι φτιαγμένα από την ίδια ποσότητα και από το ίδιο υλικό. Όπως φαίνεται στον πίνακα 5.4.21, δεκαεπτά από τους σαράντα ένα μαθητές επέλεξαν σωστά στο πριν ερωτηματολόγιο. Στο ενδιάμεσο, το μετά και το επτά μήνες μετά ερωτηματολόγιο οι μαθητές που επέλεξαν τη σωστή πρόταση αυξήθηκαν στους είκοσι τέσσερις, είκοσι επτά και είκοσι επτά, αντίστοιχα.

Πίνακας 5.4.21 Επιλογές των μαθητών στο έργο ΠΥΚ2 σχετικά με την εξάρτηση της πυκνότητας από το σχήμα του αντικειμένου

Κατηγορίες	ΠρινΕΚ	ΕνδιαμΕΚ2	ΜετάΕΚ	ΜΜετάΕΚ
1: Σωστή επιλογή "πυκνότητα κύβου ίση με πυκνότητα σφαίρας"	17	24	27	27
0: Λάθος επιλογή "πυκνότητα κύβου μεγαλύτερη ή μικρότερη από πυκνότητα σφαίρας" ή "Δεν Ξέρω"	24	17	14	14
Σύνολο	41	41	41	41

Πίνακας 5.4.22 Απόψεις των μαθητών στο έργο ΠΥΚ2 σχετικά με την εξάρτηση της πυκνότητας από το σχήμα του αντικειμένου

Κατηγορίες	ΠρινΕΚ	ΕνδιαμΕΚ2	ΜετάΕΚ	ΜΜετάΕΚ
3: πυκνότητα ιδιότητα του υλικού	2 [2]	14 [13]	16 [16]	16 [16]
2: πυκνότητα ιδιότητα του υλικού και εξαρτημένη από το μέγεθος του αντικειμένου	2 [2]	3 [3]	4 [4]	5 [5]
1: πυκνότητα εξαρτημένη από το μέγεθος του αντικειμένου	11 [5]	10 [5]	9 [2]	10 [3]
0: άσχετες απαντήσεις	26 [8]	14 [3]	12 [5]	10 [3]
Σύνολο	41	41	41	41

Στον πίνακα 5.4.22 φαίνονται οι κατηγορίες των αιτιολογήσεων των επιλογών των μαθητών. Στις αγκύλες φαίνεται ο αριθμός των απαντήσεων που αιτιολογούν τη σωστή επιλογή. Παρατηρούμε ότι υπάρχουν μαθητές που επέλεξαν σωστά αλλά δεν κατόρθωσαν να συνδέσουν την πυκνότητα με το υλικό. Στην κατηγορία 3 κατατάχθηκαν δύο από τους σαράντα ένα μαθητές πριν, δεκατέσσερις μαθητές ενδιάμεσα, και δεκαέξι μαθητές μετά και επτά μήνες μετά την παρέμβαση. Χαρακτηριστική απάντηση είναι *«Αφού είναι φτιαγμένα από το ίδιο υλικό έχουν και την ίδια πυκνότητα»* ή σε ελάχιστες περιπτώσεις *«έχουν την ίδια πυκνότητα γιατί δεν έχει σημασία το σχήμα»*. Στην κατηγορία 2, όπου υπάρχουν στοιχεία που συνδέουν την πυκνότητα με το υλικό αλλά και με το βάρος, κατατάχθηκαν δύο μαθητές πριν, τρεις μαθητές ενδιάμεσα, τέσσερις μαθητές μετά και πέντε μαθητές επτά μήνες μετά την παρέμβαση. Χαρακτηριστική απάντηση είναι *«Και τα δύο έχουν την ίδια πυκνότητα επειδή μας λέει ότι έχουν φτιαχτεί από το ίδιο υλικό και με την ίδια ποσότητα υλικού»*. Στην κατηγορία 1, όπου η πυκνότητα συνδέεται με το βάρος, το μέγεθος ή το σχήμα του αντικειμένου, επομένως η πυκνότητα δηλώνεται ως εκτατικό μέγεθος, κατατάχθηκαν έντεκα μαθητές πριν, δέκα μαθητές ενδιάμεσα, εννέα μαθητές μετά και δέκα μαθητές επτά μήνες μετά την παρέμβαση. Χαρακτηριστική απάντηση είναι *«Ο κύβος έχει μεγαλύτερη πυκνότητα από τη σφαίρα, γιατί ο κύβος είναι πιο μεγάλος»* ή *«και τα δύο έχουν την ίδια πυκνότητα γιατί χρησιμοποίησαν την ίδια ποσότητα»* ή σε λιγότερες περιπτώσεις *«Η σφαίρα έχει μεγαλύτερη πυκνότητα επειδή είναι στρογγυλή»*. Τέλος, στην κατηγορία 0 κατατάχθηκαν είκοσι έξι μαθητές πριν, δεκατέσσερις ενδιάμεσα, δώδεκα μαθητές μετά και δέκα μαθητές επτά μήνες μετά την παρέμβαση. Οι περισσότερες από τις απαντήσεις αυτές είναι μη κατατάξιμες, π.χ. *«Ο κύβος έχει μεγαλύτερη πυκνότητα από τη σφαίρα γιατί ο κύβος έχει γωνίες και έχει μεγαλύτερη πυκνότητα»* ή σε λιγότερες περιπτώσεις ταυτολογικές, π.χ. *«Γιατί και τα δύο έχουν την ίδια πυκνότητα»*. Είναι σημαντικό να παρατηρήσουμε ότι από τους μαθητές που κατατάχθηκαν στην κατηγορία 1, ελάχιστοι, κυρίως στο πριν ερωτηματολόγιο, αναφέρθηκαν στο γεγονός ότι το σχήμα μπορεί να επηρεάζει την πυκνότητα. Αντίθετα, πολύ περισσότεροι ήταν αυτοί που επέλεξαν ότι η σφαίρα ή ο κύβος έχει μεγαλύτερη πυκνότητα και αναφέρθηκαν στο μέγεθος είτε του κύβου είτε της σφαίρας που τους φάνηκε μεγαλύτερο το ένα από το άλλο και ακόμη περισσότεροι αυτοί που επέλεξαν ότι η σφαίρα και ο κύβος έχουν ίδια πυκνότητα γιατί είναι φτιαγμένα από την ίδια ποσότητα. Δηλαδή, οι περισσότεροι

μαθητές που κατατάχθηκαν στην κατηγορία 1, απαντούν με τρόπο που δείχνει ότι θεωρούν την πυκνότητα εκτατικό μέγεθος. Το γεγονός αυτό καταδεικνύει το πόσο ισχυρή είναι η εναλλακτική ιδέα των μαθητών ότι το μεγαλύτερο αντικείμενο έχει και μεγαλύτερη πυκνότητα, και ότι όταν το πλαίσιο διερεύνησης αφορά σε φαινόμενα Π/Β τότε αναδεικνύεται η μη διαφοροποίηση βάρους και πυκνότητας (Fassoulopoulos et al., 2003), διότι οι απόψεις των μαθητών για την πυκνότητα επηρεάζεται από το μέγεθος και όχι από το σχήμα του αντικειμένου.

Στο επόμενο έργο, το οποίο διαπραγματεύεται την εξάρτηση της πυκνότητας από το μέγεθος του αντικειμένου, οι ίδιοι μαθητές κατατάσσονται στην κατηγορία 1, γιατί απαντούν με παρόμοιο τρόπο. Παράλληλα, η παρατηρούμενη βελτίωση στη μάθηση, από το πριν στο ενδιάμεσο ($z=3.673$, $p=.000$) καθώς επίσης και από το πριν στο μετά ερωτηματολόγιο ($z=4.107$, $p=.000$) είναι στατιστικά σημαντική, και διατηρείται επτά μήνες μετά την παρέμβαση ($z=.346$, $p=.729$).

Έργο ΠΥΚ3 Εξάρτηση της πυκνότητας από το μέγεθος του αντικειμένου στην κανονική εφαρμογή

Στο έργο ΠΥΚ3 (Πίνακας 4.2 και Παράρτημα Β.2), οι μαθητές επιλέγουν τη σχέση των πυκνοτήτων ενός μικρού και ενός μεγάλου αντικειμένου ακανόνιστου σχήματος που είναι φτιαγμένα από το ίδιο υλικό. Όπως φαίνεται στον πίνακα 5.4.23 οι σωστές επιλογές στο πριν ερωτηματολόγιο ήταν μόνο τέσσερις από τις σαράντα ένα. Στο ενδιάμεσο, το μετά και το επτά μήνες μετά ερωτηματολόγιο οι μαθητές που επέλεξαν τη σωστή πρόταση αυξήθηκαν σε δεκατέσσερις, δεκαεπτά και δεκαπέντε αντίστοιχα. Στον πίνακα 5.4.24 φαίνονται οι κατηγορίες των αιτιολογήσεων των επιλογών των μαθητών. Στις αγκύλες φαίνεται ο αριθμός των απαντήσεων που αιτιολογούν τη σωστή επιλογή. Παρατηρούμε ότι υπάρχουν μαθητές που επέλεξαν σωστά αλλά δεν κατόρθωσαν να συνδέσουν την πυκνότητα με το υλικό. Στην κατηγορία 3 κατατάχθηκαν τρεις μαθητές πριν, έντεκα ενδιάμεσα, δεκαέξι μετά την παρέμβαση και δεκαπέντε μαθητές επτά μήνες μετά την παρέμβαση. Στις περισσότερες απαντήσεις αναφέρεται σαφώς η εξάρτηση της πυκνότητας από το υλικό, π.χ. «Αφού είναι από το ίδιο υλικό φτιαγμένα», ενώ σε ορισμένες αναφέρεται με έμμεσο τρόπο, π.χ. «Γιατί δεν παίζει ρόλο ούτε το βάρος ούτε το μέγεθος». Στην κατηγορία 2 δεν κατατάχθηκε κάποια απάντηση. Στην κατηγορία 1 κατατάξαμε τις απαντήσεις εκείνες που συνδέουν την πυκνότητα με το βάρος ή το μέγεθος του αντικειμένου

επομένως θεωρούν την πυκνότητα ως εκτατικό μέγεθος, π.χ. «Το σώμα Β έχει μεγαλύτερη πυκνότητα από το σώμα Α γιατί το μικρό σώμα έχει μικρότερη πυκνότητα από το μεγάλο σώμα» ή «Το μεγάλο σώμα έχει μεγαλύτερη πυκνότητα γιατί και τα δύο έχουν φτιαχτεί από το ίδιο υλικό αλλά το σώμα Β έχει μεγαλύτερη ποσότητα». Από τα αποτελέσματα επιβεβαιώνεται ότι η εναλλακτική ιδέα πως η πυκνότητα είναι εκτατικό μέγεθος είναι ισχυρή.

Πίνακας 5.4.23 Επιλογές των μαθητών στο έργο ΠΥΚ3 σχετικά με την εξάρτηση της πυκνότητας από το μέγεθος του αντικειμένου

Κατηγορίες	ΠρινΕΚ	ΕνδιαμΕΚ2	ΜετάΕΚ	ΜΜετάΕΚ
1: Σωστή επιλογή "πυκνότητα μεγάλου ίση με πυκνότητα μικρού αντικειμένου"	4	14	17	15
0: Λάθος επιλογή "πυκνότητα μεγάλου μεγαλύτερη ή μικρότερη από πυκνότητα μικρού αντικειμένου" ή "Δεν Ξέρω"	37	27	24	26
Σύνολο	41	41	41	41

Πίνακας 5.4.24 Απόψεις των μαθητών στο έργο ΠΥΚ3 σχετικά με την εξάρτηση της πυκνότητας από το μέγεθος του αντικειμένου

Κατηγορίες	ΠρινΕΚ	ΕνδιαμΕΚ2	ΜετάΕΚ	ΜΜετάΕΚ
3: πυκνότητα ιδιότητα του υλικού	3 [3]	11 [11]	16 [16]	15 [15]
2: πυκνότητα ιδιότητα του υλικού και εξαρτημένη από το μέγεθος του αντικειμένου	0	0	0	0
1: πυκνότητα εξαρτημένη από το μέγεθος του αντικειμένου	21	11	7	11
0: άσχετες απαντήσεις	17 [1]	19 [3]	18 [1]	15
σύνολο	41	41	41	41

Βλέπουμε ότι οι μαθητές που κατατάσσονται στην κατηγορία 1 στο έργο ΠΥΚ2 παρουσιάζουν την ίδια επίδοση και στο έργο ΠΥΚ3. Ταυτόχρονα, ενώ υπήρξε βελτίωση στις απαντήσεις των μαθητών, αρκετοί είναι οι μαθητές εκείνοι οι οποίοι συνεχίζουν να κατατάσσονται στην κατηγορία 1. Η παρατηρούμενη βελτίωση στη μάθηση από το πριν στο ενδιάμεσο ερωτηματολόγιο δεν είναι στατιστικά σημαντική ($z=1.686$, $p=.092$), ωστόσο, από το πριν στο μετά ερωτηματολόγιο είναι στατιστικά σημαντική ($z=2.664$, $p=.008$) και διατηρείται επτά μήνες μετά την παρέμβαση ($z=.079$, $p=.937$).

Σύνοψη των αποτελεσμάτων από τα γραπτά ερωτηματολόγια σχετικά με την κατανόηση της πυκνότητας στην κανονική εφαρμογή

Με τα έργα ΠΥΚ1, ΠΥΚ2 και ΠΥΚ3 μελετάμε τις ιδέες των μαθητών σχετικά με την έννοια της πυκνότητας και την κατανόησή της ως ιδιότητας του υλικού. Οι μαθητές στο πριν ερωτηματολόγιο είτε θεωρούν ότι η πυκνότητα εξαρτάται από το μέγεθος του αντικειμένου (κατηγορία 1), είτε δεν μπορούν να δώσουν σχετικές απαντήσεις (κατηγορία 0). Στο ενδιάμεσο ερωτηματολόγιο (μετά την 4^η ενότητα), οι απαντήσεις των μαθητών στα έργα ΠΥΚ1 και ΠΥΚ2 παρουσιάζουν στατιστικά σημαντική βελτίωση, διότι αρκετοί μαθητές προσεγγίζουν την επιθυμητή γνώση ότι η πυκνότητα εξαρτάται από το υλικό και ότι αποτελεί κριτήριο για την Π/Β (κατηγορία 3). Επιπρόσθετα, παρουσιάζουν στατιστικά σημαντική βελτίωση από το πριν στο μετά ερωτηματολόγιο, και στα τρία έργα, η οποία διατηρείται και επτά μήνες μετά την παρέμβαση. Οι μαθητές οι οποίοι, μετά την παρέμβαση, θεωρούν ότι η πυκνότητα είναι μια ιδιότητα του υλικού, στο έργο ΠΥΚ1 είναι περισσότεροι από τους μισούς, ενώ στα έργα ΠΥΚ2 και ΠΥΚ3 προσεγγίζουν τους μισούς. Ελάχιστοι δε, είναι οι μαθητές οι οποίοι θεωρούν ότι η πυκνότητα είναι μια ιδιότητα του υλικού αλλά εξαρτάται και από το μέγεθος του αντικειμένου (κατηγορία 2).

Ακόμη, όπως και στην πιλοτική εφαρμογή (δες ενότητα 5.2.2), παρατηρήθηκε ότι η διαφορά στο σχήμα των δύο αντικειμένων (έργο ΠΥΚ2) δεν επηρεάζει τις απόψεις των μαθητών, επιβεβαιώνοντας την άποψη των Fassouloroulos et al. (2003), ότι όταν το πλαίσιο διερεύνησης αφορά σε φαινόμενα Π/Β τότε αναδεικνύεται το πόσο ισχυρή είναι η εναλλακτική ιδέα των μαθητών «το μεγαλύτερο αντικείμενο έχει και μεγαλύτερη πυκνότητα», καθώς και η μη διαφοροποίηση βάρους και πυκνότητας.

5.4.2.β Αποτελέσματα από τις συνεντεύξεις σχετικά με τη διαφοροποίηση της πυκνότητας από το βάρος στην κανονική εφαρμογή

Από την ανάλυση των απαντήσεων στα έργα των συνεντεύξεων, που είναι σχετικά με τη διαφοροποίηση της πυκνότητας από το βάρος, οι μαθητές κατατάχθηκαν σε δύο κατηγορίες. Στην κατηγορία 1, κατατάχθηκαν οκτώ από τους δεκαεπτά μαθητές (ΜΑΘ1, ΜΑΘ2, ΜΑΘ6, ΜΑΘ11, ΜΑΘ19, ΜΑΘ20, ΜΑΘ25 και ΜΑΘ31), οι οποίοι διαφοροποίησαν την πυκνότητα από το βάρος. Επτά από τους οκτώ αυτούς μαθητές κατάφεραν να αντιληφθούν και το διαφορετικό επίπεδο επίπλευσης του φελλού από το ξύλο, χρησιμοποιώντας τη σύγκριση των πυκνοτήτων των δύο υλικών, όπως φαίνεται παρακάτω στην περίπτωση του μαθητή ΜΑΘ20. Στην κατηγορία 0,

κατατάχθηκαν εννέα μαθητές οι οποίοι τουλάχιστον αρχικά δεν διαφοροποιούσαν τις δύο έννοιες. Από τους εννέα αυτούς μαθητές οι έξι (ΜΑΘ3, ΜΑΘ4, ΜΑΘ7, ΜΑΘ23, ΜΑΘ28, ΜΑΘ29), μετά από υποβοήθηση, έδωσαν απαντήσεις που προσέγγισαν την επιθυμητή γνώση.

Παρακάτω, παραθέτουμε ενδεικτικά αποσπάσματα από τις συνεντεύξεις τριών μαθητών που αποτελούν αντιπροσωπευτικές περιπτώσεις για κάθε περίπτωση: ενός μαθητή που κατατάχθηκε στην κατηγορία 1 (ΜΑΘ20), ενός μαθητή που κατατάχθηκε αρχικά στην κατηγορία 0 αλλά μετά από υποβοήθηση κατάφερε να δώσει απαντήσεις που δείχνουν ότι διαφοροποίησε την πυκνότητα από το βάρος (ΜΑΘ7) και τέλος ενός μαθητή που κατατάχθηκε στην κατηγορία 0 (ΜΑΘ17).

Πιο συγκεκριμένα, σχετικά με την κατηγορία 1 παραθέτουμε χαρακτηριστικό απόσπασμα από τη συνέντευξη του μαθητή ΜΑΘ20. Καταρχήν, από τις απαντήσεις του στα έργα ΠΥΚ4, ΠΥΚ 5, ΠΥΚ6 και ΠΥΚ7 (Πίνακας 4.3 και Παράρτημα Β.3), φαίνεται ότι συνέδεσε την πυκνότητα με το υλικό των αντικειμένων και είχε την εντατική άποψη, αφού θεώρησε ότι η πυκνότητα δεν εξαρτάται από την ποσότητα του αντικειμένου. Ενδεικτικά, παραθέτουμε το εξής απόσπασμα:

«.....»

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: Στην οθόνη τώρα βλέπουμε τους δύο σιδερένιους κύβους. Έναν μεγάλο και έναν μικρό. Δύο ξύλινους, έναν μεγάλο και έναν μικρό και έναν από φελλό. Είναι τώρα τρεις φίλοι σου και συζητάνε, και ο ένας λέει πως από τους δύο σιδερένιους κύβους ο μεγάλος έχει μεγαλύτερο βάρος από το μικρό. Ο άλλος λέει πως ο μικρός έχει μεγαλύτερο βάρος από το μεγάλο και ο τρίτος λέει ότι και οι δύο έχουν το ίδιο βάρος. Εσύ με ποιον θα συμφωνούσες;

ΜΑΘ20: νομίζω πως πιο βαρύς είναι ο μεγάλος.

.....»

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: Τώρα η ίδια παρέα μιλάει για την πυκνότητα. Ο ένας λέει ότι η πυκνότητα του σιδερένιου μεγάλου κύβου είναι μεγαλύτερη από την πυκνότητα του μικρού σιδερένιου κύβου, ο άλλος λέει ότι του μικρού σιδερένιου κύβου είναι μεγαλύτερη και ο άλλος ότι και τα δύο έχουν την ίδια πυκνότητα. Εσύ με ποιον συμφωνείς;

ΜΑΘ20: με τον τρίτο.

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: μπορείς να το αιτιολογήσεις;

ΜΑΘ20: νομίζω επειδή είναι από το ίδιο υλικό.

.....»

Οι απαντήσεις του μαθητή στα έργα ΠΥΚ8 και ΠΥΚ9 ενισχύουν τη θέση ότι ο μαθητής εκτός του ότι αναγνώρισε την εντατικότητα της πυκνότητας, την διαφοροποίησε επίσης από το βάρος. Όπως φαίνεται παρακάτω, πρότεινε να χρησιμοποιήσουμε τη ζυγαριά ισορροπίας για να συγκρίνουμε τα βάρη δύο κύβων και το δοχείο με το νερό για να συγκρίνουμε τις πυκνότητές τους.

«.....»

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: Εδώ υπάρχουν δύο εργαλεία που μπορείς να χρησιμοποιήσεις, μια ζυγαριά και ένα δοχείο με νερό, τα οποία μπορείς να χρησιμοποιήσεις για να ελέγξεις κάτι. Οι τρεις φίλοι αναρωτιούνται εάν το βάρος του μεγάλου ξύλινου κύβου ή του κύβου από φελλό είναι μεγαλύτερο. Ποιος κύβος νομίζεις εσύ ότι έχει το μεγαλύτερο βάρος;

ΜΑΘ20: αν θυμάμαι καλά ο φελλός.

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: είσαι σίγουρος ή θες να το ελέγξεις;

ΜΑΘ20: να το ελέγξω καλύτερα.

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: πώς θα το ελέγξεις;

ΜΑΘ20: με τη ζυγαριά.

.....»

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: τώρα ας μιλήσουμε λίγο για την πυκνότητα του μεγάλου ξύλινου κύβου και του φελλού. Ποιος απ' αυτούς τους κύβους έχει τη μεγαλύτερη πυκνότητα; Μπορείς να είσαι σίγουρος ή θες να κάνεις κάποια δοκιμή;

ΜΑΘ20: ας κάνω καλύτερα τη δοκιμή γιατί δεν μπορώ να το θυμηθώ καθόλου.

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: πού θα κάνεις δοκιμή;

ΜΑΘ20: στο νερό.

.....»

Στη συνέχεια, μετά από παραίνεση του ερευνητή, ο μαθητής παρατήρησε ότι ο κύβος από φελλό επιπλέει σε διαφορετικό επίπεδο από τον ξύλινο κύβο και χρησιμοποίησε αυτή την παρατήρηση για να συμπεράνει ότι η πυκνότητα του φελλού είναι μικρότερη από την πυκνότητα του ξύλου.

«.....»

ΜΑΘ20: Επιπλέει ... , και το μικρό επιπλέει. Και τα δυο επιπλέουν άρα έχουν μικρότερη πυκνότητα από το νερό. Μεταξύ τους πώς θα το βρούμε αυτό όμως;

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: δεν ξέρω, υπάρχει καμιά ένδειξη που θα μπορούσε να μας βοηθήσει ή δεν μπορεί να μας βοηθήσει αυτό το εργαλείο εδώ τώρα, έτσι όπως χρησιμοποιούμε το δοχείο;

ΜΑΘ20: μπορούμε να το βρούμε με τις τελίτσες που είχαμε κάνει στο μάθημα

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: εδώ πώς μπορούμε να το βρούμε;

ΜΑΘ20: δεν έχει τελίτσες.

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: Σωστά, δεν έχει τελίτσες.

.....»

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: το ξύλο σε σχέση με το φελλό βυθίζεται το ίδιο, λιγότερο ή περισσότερο;

ΜΑΘ20: νομίζω πως το ξύλο βυθίζεται λίγο πιο πολύ και ότι το ξύλο έχει μεγαλύτερη πυκνότητα.

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: το είχες παρατηρήσει αυτό πριν;

ΜΑΘ20: όχι, τώρα το παρατήρησα που έβλεπα πιο προσεκτικά

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: κατά τη διάρκεια των μαθημάτων το είχες προσέξει;

ΜΑΘ20: ούτε τότε. Με ενδιέφερε περισσότερο αν πλέει ή αν βυθίζεται.

.....»

Ο μαθητής ΜΑΘ7, είναι ένας από τους έξι μαθητές που παρουσίασε βελτίωση κατά τη διάρκεια της συνέντευξης, και ενώ αρχικά κατατάχθηκε στην κατηγορία 0, η απάντησή του μετά από υποβοήθηση προσέγγισε την επιθυμητή γνώση. Πιο συγκεκριμένα, οι απαντήσεις που έδωσε στα έργα ΠΥΚ4, ΠΥΚ5, ΠΥΚ6 και ΠΥΚ7 φανερώνουν ότι ο μαθητής έχει την εκτατική άποψη για την πυκνότητα, επειδή θεώρησε ότι η πυκνότητα είναι ανάλογη του μεγέθους. Επίσης, δείχνουν ότι δεν διαφοροποίησε την πυκνότητα από το βάρος, όπως φαίνεται στο παρακάτω ενδεικτικό απόσπασμα:

«.....»

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: Βλέπουμε εδώ δυο σιδερένιους κύβους έναν μεγάλο και έναν μικρό, δύο ξύλινους και έναν από φελλό. Τώρα, κάποιοι φίλοι σου συζητάνε γι' αυτά τα κυβάρια από σίδηρο και μιλάνε για το βάρος που έχουν αυτά και ο ένας λέει ότι ο μεγάλος σιδερένιος κύβος είναι πιο βαρύτερος, ο άλλος λέει ότι ο μικρός κύβος έχει πιο μεγάλο βάρος και ο τρίτος λέει ότι και τα δύο έχουν το ίδιο βάρος, εσύ με ποιον συμφωνείς;

ΜΑΘ7: ο πιο μεγάλος κύβος είναι πιο βαρύτερος

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: γιατί το λες αυτό;

ΜΑΘ7: έχει τη μεγαλύτερη πυκνότητα

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: τι σημαίνει αυτό για σένα;

ΜΑΘ7: έχει πιο πολύ βάρος.

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: τώρα οι φίλοι σου συζητάνε για τους ξύλινους κύβους. Ο ένας λέει ότι ο μεγαλύτερος κύβος έχει μεγαλύτερο βάρος ο άλλος ότι ο μικρός κύβος έχει πιο μεγάλο βάρος και ο τρίτος ότι και τα δύο έχουν το ίδιο βάρος. Εσύ τι πιστεύεις;

ΜΑΘ7: έχουν το ίδιο βάρος γιατί και τα δύο είναι φτιαγμένα απ το ίδιο υλικό

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: ναι αλλά πριν με το σιδερένιο κύβο είπες ότι είναι πιο βαρύτερος ο μεγάλος κύβος.

ΜΑΘ7: λάθος και τα δύο έχουν το ίδιο βάρος γιατί είναι από το ίδιο υλικό.

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: τώρα οι φίλοι σου μιλάνε για την πυκνότητα και ο ένας λέει ότι ο μεγάλος κύβος έχει μεγαλύτερη πυκνότητα ο άλλος λέει ότι ο μικρός κύβος έχει μεγαλύτερη πυκνότητα και ο τρίτος πως έχουν και τα δύο την ίδια πυκνότητα.

ΜΑΘ7: ο μεγάλος κύβος έχει μεγαλύτερη πυκνότητα

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: μπορείς να το αιτιολογήσεις;

ΜΑΘ7: γιατί είναι πιο μεγάλος, χωράει πιο πολύ πυκνότητα απ' ό,τι ο μικρός

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: με τους ξύλινους κύβους τι γίνεται;

ΜΑΘ7: πάλι το ίδιο

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: τι σημαίνει πυκνότητα για σένα;

ΜΑΘ7:.....»

Εξάλλου, στο παρακάτω απόσπασμα φαίνεται ότι, παρόλο που ο μαθητής έχει την εκτατική ιδέα για την πυκνότητα, διαχώρισε τη χρήση της ζυγαριάς από αυτή του δοχείου με νερό, και συνέδεσε σωστά τη δεύτερη με την πυκνότητα των αντικειμένων και του υγρού, μέσω του διδαχθέντος κανόνα σύγκρισης της

πυκνότητας του αντικειμένου με την πυκνότητα του υγρού. Εντούτοις, δεν επέκτεινε τη σύγκριση αυτή μεταξύ των πυκνοτήτων των δύο αντικειμένων, στη διαδικασία αναγνώρισης του διαφορετικού επιπέδου επίπλευσής τους.

«.....»

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: δεν πειράζει πάμε παρακάτω. Τώρα συζητάμε για τον μεγάλο ξύλινο κύβο και τον κύβο από φελλό ποιος έχει το πιο μεγάλο βάρος ή μήπως είναι το ίδιο;

ΜΑΘ7: ο ξύλινος έχει μεγαλύτερο βάρος από το φελλό.

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: αν ήθελες να με πείσεις ότι είναι έτσι τι θα έκανες;

ΜΑΘ7: θα το έβαζα στη ζυγαριά.

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: κάντο στον υπολογιστή και πες μου τι βλέπεις;

ΜΑΘ7: ότι ο ξύλινος είναι πιο βαρύτερος.

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: τώρα οι φίλοι σου συζητάνε για την πυκνότητα και ο ένας λέει ότι ο ξύλινος κύβος έχει μεγαλύτερη πυκνότητα από το φελλό, ο άλλος ότι ο φελλός έχει τη μεγαλύτερη πυκνότητα και ο τρίτος ότι έχουν την ίδια. Εσύ τι λες;

ΜΑΘ7: ο ξύλινος κύβος έχει μεγαλύτερη πυκνότητα.

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: μπορείς να κάνεις κάτι για να με πείσεις;

ΜΑΘ7: θα τα βάλουμε στο νερό.

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: και τι περιμένεις να δούμε;

ΜΑΘ7: αν θα βυθιστεί ή αν θα επιπλεύσει.

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: για δοκίμασε το...τι παρατηρούμε;

ΜΑΘ7: ότι είναι ίδια.

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: γιατί;

ΜΑΘ7: και τα δύο επιπλέουν.

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: το ξύλο γιατί επιπλέει;

ΜΑΘ7: γιατί έχει μεγαλύτερη πυκνότητα από το νερό.

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: και ο φελλός γιατί επιπλέει;

ΜΑΘ7: για τον ίδιο λόγο.

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: άρα ξέρουμε ότι και τα δύο έχουν μικρότερη πυκνότητα από το νερό αλλά ξέρουμε ότι είναι και ίσες μεταξύ τους;

ΜΑΘ7: δεν ξέρω.

.....»

Τέλος, στην κατηγορία 0, κατατάχθηκε ο μαθητής ΜΑΘ17. Οι απαντήσεις που έδωσε στα έργα ΠΥΚ4, ΠΥΚ5, ΠΥΚ6 και ΠΥΚ7 φανερώνουν ότι ο μαθητής είχε την εκτακτική ιδέα για την πυκνότητα, επειδή θεώρησε ότι η πυκνότητα είναι ανάλογη του μεγέθους του αντικειμένου, όπως φαίνεται στο παρακάτω ενδεικτικό απόσπασμα:

«.....»

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: Είναι τρεις συμμαθητές σου και ο ένας λέει ότι ο μεγάλος σιδερένιος κύβος έχει τη μεγαλύτερη πυκνότητα, ένας άλλος λέει ότι ο μικρός σιδερένιος κύβος έχει τη μεγαλύτερη πυκνότητα

και ο τρίτος λέει ότι και οι δύο κύβοι έχουν ίδιες πυκνότητες. Με ποιον από τους συμμαθητές σου συμφωνείς;

ΜΑΘ17: με τον πρώτο.

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: τώρα συζητάνε για τα ξύλινα αντικείμενα και λένε το ίδιο. Ο ένας λέει ότι ο μεγάλος ξύλινος κύβος έχει τη μεγαλύτερη πυκνότητα ο δεύτερος λέει ότι ο μικρός κύβος έχει τη μεγαλύτερη πυκνότητα και ο τρίτος λέει ότι και οι δύο έχουν ίση πυκνότητα.

ΜΑΘ17: εγώ νομίζω ότι ο μεγάλος έχει τη μεγαλύτερη.

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: και ο μικρός έχει το μεγαλύτερο βάρος;

ΜΑΘ17: όχι ο μεγάλος έχει το μεγαλύτερο βάρος.

.....»

Ο μαθητής αυτός φάνηκε να συγχέει τον όγκο με την πυκνότητα. Επίσης, χρησιμοποίησε μεν τη ζυγαριά ισορροπίας για να συγκρίνει τα βάρη δύο αντικειμένων και το δοχείο με το νερό για να συγκρίνει πυκνότητες, αλλά δεν μπόρεσε να ερμηνεύσει σωστά τα αποτελέσματα από τις δοκιμές που πρότεινε να πραγματοποιηθούν, όπως φαίνεται από το παρακάτω ενδεικτικό απόσπασμα:

«.....»

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: ας πάμε να δούμε για τις πυκνότητες. Ο ένας συμμαθητής σου λέει ότι ο μεγάλος ξύλινος κύβος έχει μεγαλύτερη πυκνότητα από τον φελλό. Εσύ τι νομίζεις;

ΜΑΘ17: νομίζω ο ξύλινος κύβος

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: μπορείς να κάνεις κάτι για να με πείσεις γι' αυτό;

ΜΑΘ17: θα τα βάλουμε μέσα στο νερό.

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: δοκίμασέ το. Τι συμπεραίνεις;

ΜΑΘ17: δε βυθίζονται.

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: πώς μπορούμε να βγάλουμε συμπέρασμα για το ποιο έχει τη μεγαλύτερη πυκνότητα;

ΜΑΘ17: και τα δύο έχουν την ίδια πυκνότητα

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: πώς το δικαιολογείς αυτό;

ΜΑΘ17: αν είχαν λιγότερη πυκνότητα θα βυθίζονταν.

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: Αν έβλεπες και ένα τρίτο αντικείμενο που το έριχναν και βυθιζόταν και πήγαινε κάτω στον πάτο τότε αυτό για σένα τι πυκνότητα θα είχε μικρότερη ή μεγαλύτερη;

ΜΑΘ17: λιγότερη

.....»

Ανακεφαλαιώνοντας την ανάλυση των απαντήσεων στις συνεντεύξεις, οκτώ από τους δεκαεπτά μαθητές που συμμετείχαν στη διαδικασία της συνέντευξης, θεωρούν ότι η πυκνότητα είναι εντατικό μέγεθος και διαφοροποιούν την πυκνότητα από το βάρος (κατηγορία 1). Επίσης, έξι από τους υπόλοιπους εννιά μαθητές που αρχικά δεν διαφοροποιούν τις δύο αυτές έννοιες (κατηγορία 0), κατορθώνουν μετά από υποβοηθητικές ερωτήσεις να τις διαφοροποιήσουν. Τέλος, μόνον οι επτά από τους οκτώ μαθητές οι οποίοι στη συνέντευξη κατατάχθηκαν στην κατηγορία 1, δηλαδή

όλοι εκτός από το μαθητή ΜΑ01, αντιλήφθηκαν και δικαιολόγησαν σωστά το διαφορετικό επίπεδο πλεύσης των ξύλινων κύβων από τον κύβο από φελλό.

5.4.2.γ Σύνοψη των αποτελεσμάτων σχετικά με την κατανόηση της πυκνότητας στην κανονική εφαρμογή

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης των συνεντεύξεων σχετικά με τη διαφοροποίηση της πυκνότητας από το βάρος, είναι σε συμφωνία με τα αποτελέσματα της ανάλυσης των γραπτών ερωτηματολογίων σχετικά με την κατανόηση της πυκνότητας ως ιδιότητας του υλικού. Οι μαθητές που στις συνεντεύξεις κατατάχθηκαν στην κατηγορία 1, δηλαδή φάνηκε ότι θεωρούν ότι η πυκνότητα είναι εντατικό μέγεθος και ότι διαφοροποιούν την πυκνότητα από το βάρος, έδειξαν να κατανοούν την πυκνότητα ως ιδιότητα του υλικού και στα γραπτά ερωτηματολόγια, μετά την παρέμβαση. Εξάλλου, όπως και στην πιλοτική εφαρμογή, φάνηκε ότι η παρουσία του μοντέλου «τελίτσες-στο-κυβάκι» επηρεάζει και βοηθάει τους μαθητές να αντιληφθούν και να ερμηνεύσουν σωστά το διαφορετικό επίπεδο πλεύσης των αντικειμένων. Οι μαθητές, οι οποίοι μετά την παρέμβαση, αντιλήφθηκαν το διαφορετικό επίπεδο πλεύσης στο έργο ΠΒ6 του γραπτού ερωτηματολογίου, στο οποίο δίνεται η πυκνότητα των υλικών καθώς και του υγρού με τη μορφή του μοντέλου, ήταν αναλογικά περισσότεροι (είκοσι δύο από τους σαράντα ένα) από αυτούς που μπόρεσαν να το αντιληφθούν στα έργα ΠΥΚ8 και ΠΥΚ9 της συνέντευξης (επτά από τους δεκαεπτά), στα οποία δε δίνεται η πυκνότητα των υλικών.

Επιπλέον, η βελτίωση που παρατηρήθηκε, στο ενδιάμεσο γραπτό ερωτηματολόγιο για τα έργα ΠΥΚ1 και ΠΥΚ2, και μετά την παρέμβαση και στα τρία έργα (ΠΥΚ1, ΠΥΚ2 και ΠΥΚ3) είναι στατιστικά σημαντική και διατηρείται επτά μήνες μετά την παρέμβαση.

5.4.3 Αποτελέσματα σχετικά με την κατανόηση της Στρατηγικής Ελέγχου Μεταβλητών στην κανονική εφαρμογή

5.4.3.α Αποτελέσματα από τα γραπτά ερωτηματολόγια σχετικά με την κατανόηση της ΣΕΜ στην κανονική εφαρμογή

Έργο ΣΕΜ1α Έλεγχος γνωστής και δοθείσας μεταβλητής στην κανονική εφαρμογή

Στο έργο ΣΕΜ1α (Πίνακας 4.2 και Παράρτημα Β.2), ζητείται από τους μαθητές να περιγράψουν τι θα έκαναν για να ελέγξουν εάν το είδος του υγρού, μια μεταβλητή που την έχουν ελέγξει κατά τη διάρκεια της παρέμβασης, επηρεάζει την Π/Β ενός αντικειμένου.

Πίνακας 5.4.25 Απόψεις των μαθητών στο έργο ΣΕΜ1α σχετικά με τον έλεγχο γνωστής και δοθείσας μεταβλητής

Κατηγορίες	Πριν ΕΚ	Ενδιάμ ΕΚ1	Μετά ΕΚ	ΜΜετά ΕΚ
3: Ορθή περιγραφή της μεθόδου για τον έλεγχο της συγκεκριμένης μεταβλητής	3	13	10	8
2: Μερικώς ορθή περιγραφή της μεθόδου για τον έλεγχο της συγκεκριμένης μεταβλητής	5	6	8	8
1: Αναφορά του συμπεράσματος αντί της μεθόδου για τον έλεγχο της συγκεκριμένης μεταβλητής	15	11	10	10
0: Ασαφείς ή Άσχετες για τον έλεγχο της συγκεκριμένης μεταβλητής	18	11	13	15
Σύνολο	41	41	41	41

Στον πίνακα 5.4.25, στην κατηγορία 3 κατατάχθηκαν οι απαντήσεις των μαθητών στις οποίες γίνεται ορθή περιγραφή της μεθόδου ελέγχου μεταβλητών, και πιο συγκεκριμένα τρεις από τους σαράντα ένα μαθητές πριν, δεκατρείς μαθητές ενδιάμεσα, δέκα μαθητές μετά την παρέμβαση και οκτώ μαθητές επτά μήνες μετά την παρέμβαση. Χαρακτηριστική απάντηση των μισών περίπου μαθητών αυτής της κατηγορίας είναι «*Θα έβαζα 2 διαφορετικά υγρά σε 2 δοχεία και μέσα το ίδιο υλικό και θα παρατηρούσα αν θα βυθιστεί ή αν θα επιπλεύσει*», στην οποία φαίνεται ότι προτείνονται δύο δοκιμές, γίνεται αναφορά σε δύο δοχεία με διαφορετικά υγρά και τέλος αναφέρεται και ο έλεγχος της έκβασης του πειράματος. Οι υπόλοιποι μαθητές έδωσαν απαντήσεις στις οποίες γίνεται σαφής περιγραφή της μεθόδου χωρίς όμως να γίνεται αναφορά στη σύγκριση των αποτελεσμάτων από το πείραμα, π.χ. «*Θα έπαιρνα δυο δοχεία γεμάτα, το ένα με νερό και το άλλο με διαφορετικό υγρό. Μετά θα έριχνα μια μικρή μπάλα από σίδερο στο καθένα*». Στην κατηγορία 2 κατατάχθηκαν πέντε μαθητές πριν, έξι μαθητές ενδιάμεσα, οκτώ μαθητές μετά και οκτώ μαθητές επτά μήνες μετά την παρέμβαση. Χαρακτηριστική απάντηση είναι «*Θα πάρω δύο αντικείμενα και θα τα ρίξω μέσα σε μια λεκάνη με υγρά υλικά*» ή «*Θα έκανα ένα πείραμα με δύο διαφορετικά είδη υγρού για να το ελέγξω*». Οι απαντήσεις που κατατάξαμε σε αυτήν την κατηγορία, φανερώνουν ότι οι μαθητές αναφέρονται σε δύο

δοκιμές δίχως να περιγράφουν με σαφήνεια τη διαδικασία. Στην κατηγορία 1 κατατάχθηκαν δεκαπέντε μαθητές πριν, έντεκα μαθητές ενδιάμεσα, δέκα μαθητές μετά και δέκα μαθητές επτά μήνες μετά την παρέμβαση. Χαρακτηριστική απάντηση είναι «*Συμφωνώ με τη Μαρία, γιατί δεν έχει σημασία τι υγρό υπάρχει αλλά τι υλικό*» ή «*Με το Γιώργο γιατί εάν αλλάξει το υλικό μπορεί να μην επιπλέει*». Οι μαθητές που κατατάχθηκαν στην κατηγορία αυτή αναφέρουν την άποψή τους αντί να περιγράψουν τη μέθοδο με την οποία θα ελέγξουν τη μεταβλητή. Τέλος, στην κατηγορία 0 κατατάχθηκαν δεκαοκτώ μαθητές πριν, έντεκα μαθητές ενδιάμεσα, δεκατρείς μαθητές μετά και δεκαπέντε μαθητές επτά μήνες μετά την παρέμβαση. Χαρακτηριστική απάντηση είναι «*θα τους έλεγα τον σωστό τρόπο για να μη μαλώνουν*» ή «*θα κάνουμε το πείραμα αυτό που λέει*». Σε αυτές τις περιπτώσεις οι απαντήσεις είναι εντελώς ασαφείς και δεν περιέχουν κανένα στοιχείο της μεθόδου. Καταρχήν, η μάθηση της μεθόδου για τον έλεγχο μιας μεταβλητής, σε αντίθεση με την πιλοτική εφαρμογή, παρουσιάζει στατιστικά σημαντική βελτίωση τόσο στο ενδιάμεσο ερωτηματολόγιο ($z=3.520, p=.000$) όσο και αμέσως μετά την παρέμβαση ($z=3.307, p=.001$), η οποία διατηρείται επτά μήνες μετά ($z=.801, p=.423$). Παρατηρούμε ότι αρκετοί μαθητές κατορθώνουν να περιγράψουν ορθά τη μέθοδο, μετά την παρέμβαση, ενώ ορισμένοι κάνουν μερικώς ορθή περιγραφή. Θεωρούμε ότι η βελτίωση αυτή οφείλεται στην ενεργό εμπλοκή των μαθητών στα πειράματα για τον έλεγχο μεταβλητών στο φαινόμενο της Π/Β, στη 2^η ενότητα της ΔΜΣ, καθώς και στη σαφή διδασκαλία της μεθόδου στην ίδια ενότητα. Εντούτοις, είναι σημαντικός ο αριθμός των μαθητών που αναφέρουν το συμπέρασμα αντί της μεθόδου αλλά και ο αριθμός των μαθητών που δίνει ασαφείς ή άσχετες απαντήσεις. Μετά από ενδελεχή διερεύνηση και ανάλυση των συνεντεύξεων, έχουμε ενδείξεις, παρόμοιες με αυτές που διαφάνηκαν και στην πιλοτική εφαρμογή, που στηρίζουν την υπόθεση ότι ορισμένοι από τους μαθητές που κατατάχθηκαν στην κατηγορία 1 γνωρίζουν και μπορούν να περιγράψουν τη μέθοδο για τον έλεγχο μιας μεταβλητής, αρκεί να τους δοθεί μια μικρή υποβοήθηση (Πίνακας 5.4.29, ενότητα 5.4.3.β).

Έργο ΣΕΜ1β Συμπέρασμα από τον έλεγχο γνωστής και δοθείσας μεταβλητής στην κανονική εφαρμογή

Στο έργο ΣΕΜ1β (Πίνακας 4.2 και Παράρτημα Β.2), ζητείται από τους μαθητές να περιγράψουν τη λογική με την οποία καταλήγουν σε ένα συμπέρασμα όταν

πραγματοποιήσουν τη διαδικασία που πρότειναν για να ελέγξουν εάν το είδος του υγρού επηρεάζει την Π/Β, όπως περιγράφεται αναλυτικά στην προηγούμενη υποενότητα σχετικά με το έργο ΣΕΜ1α.

Πίνακας 5.4.26 Απόψεις των μαθητών στο έργο ΣΕΜ1β σχετικά με τον συμπερασμό από τον έλεγχο γνωστής και δοθείσας μεταβλητής

Κατηγορίες	Πριν ΕΚ	Ενδιάμ ΕΚ1	Μετά ΕΚ	ΜΜετά ΕΚ
3: Ορθή περιγραφή της μεθόδου για τον συμπερασμό από τον έλεγχο της συγκεκριμένης μεταβλητής	0	3	2	4
2: Μερικώς ορθή περιγραφή της μεθόδου για τον συμπερασμό από τον έλεγχο της συγκεκριμένης μεταβλητής	2	5	4	7
1: Αναφορά του συμπεράσματος αντί της μεθόδου για τον συμπερασμό από τον έλεγχο της συγκεκριμένης μεταβλητής	17	11	15	10
0: Ασαφείς ή Άσχετες για τον συμπερασμό από τον έλεγχο της συγκεκριμένης μεταβλητής	22	22	20	20
Σύνολο	41	41	41	41

Στον πίνακα 5.4.26, στην κατηγορία 3 κατατάχθηκαν μηδέν μαθητές πριν την παρέμβαση, τρεις μαθητές ενδιάμεσα, δύο μαθητές μετά και τέσσερις μαθητές επτά μήνες μετά την παρέμβαση. Στις απαντήσεις των μαθητών αυτών γίνεται άμεση αναφορά στη σύγκριση των αποτελεσμάτων των δοκιμών που πρότειναν για να ελέγξουν τη μεταβλητή, π.χ. «*Είδα ότι στο δοχείο με το λάδι το αντικείμενο θα βυθιζόταν ενώ στον υδράργυρο επέπλεε, άρα το είδος του υγρού επηρεάζει την πλεύση ή τη βύθιση*». Στην κατηγορία 2 κατατάχθηκαν δύο μαθητές πριν την παρέμβαση, πέντε μαθητές ενδιάμεσα, τέσσερις μαθητές μετά και επτά μαθητές επτά μήνες μετά την παρέμβαση. Στις απαντήσεις που κατατάχθηκαν στην κατηγορία 2 γίνεται έμμεση αναφορά στη σύγκριση των αποτελεσμάτων των δοκιμών, π.χ. «*Θα έβλεπα αν επιπλέει ή βυθίζεται στο ένα δοχείο και το ίδιο θα κάναμε και με το άλλο δοχείο*» ή «*θα παρατηρούσαμε αν βυθιστεί ο κύβος στο υγρό*». Στην κατηγορία 1 κατατάχθηκαν δεκαεπτά μαθητές πριν την παρέμβαση, έντεκα ενδιάμεσα, δεκαπέντε μετά και δέκα μαθητές επτά μήνες μετά την παρέμβαση. Οι μαθητές αυτοί αναφέρουν το συμπέρασμα αντί της μεθόδου, π.χ. «*Νομίζω ότι ο Γιώργος έχει δίκιο αλλά δεν είμαι τόσο σίγουρη*» ή «*Το συμπέρασμα είναι πως η μπάλα δε θα βυθιστεί γιατί δεν είναι βαριά*» ή «*Ότι το υγρό επηρεάζει την πλεύση ή τη βύθιση*». Τέλος, στην κατηγορία 0 κατατάχθηκαν είκοσι δύο μαθητές

πριν την παρέμβαση, είκοσι δύο μαθητές ενδιάμεσα, είκοσι μαθητές μετά και είκοσι μαθητές επτά μήνες μετά την παρέμβαση. Οι απαντήσεις αυτές ήταν είτε μη κατατάξιμες είτε ασαφείς, π.χ. «Όσο βαρύ είναι το πράγμα έτσι γίνεται η κατάσταση» ή «θα σκεφτόμουν καλά».

Παρατηρούμε συνολικά ότι ορισμένοι μαθητές κατορθώνουν να περιγράψουν τη μέθοδο συμπερασμού, δίνοντας είτε ορθή είτε μερικώς ορθή περιγραφή της μεθόδου, ενδιάμεσα, μετά και επτά μήνες μετά την παρέμβαση. Παρόλα αυτά, η παραπάνω βελτίωση δεν είναι στατιστικά σημαντική ούτε ενδιάμεσα ($z=1.345$, $p=.179$) ούτε και αμέσως μετά την παρέμβαση ($z=1.325$, $p=.185$), και μάλιστα οι περισσότεροι των μαθητών, δηλαδή τουλάχιστον οι τριάντα από τους σαράντα ένα, επιμένουν να δίνουν απαντήσεις που κατατάσσονται είτε στην κατηγορία 0 είτε στην κατηγορία 1, γεγονός που παρατηρήθηκε και στην πιλοτική εφαρμογή. Το παραπάνω αποτέλεσμα δείχνει το μέγεθος της δυσκολίας που αντιμετωπίζουν οι μαθητές να περιγράψουν τη μέθοδο συμπερασμού από τον έλεγχο μιας μεταβλητής, παρόλο που την έχουν ελέγξει κατά τη διάρκεια της παρέμβασης (Boudreaux et al., 2008). Επιπρόσθετα, μετά από ενδελεχή διερεύνηση και ανάλυση των συνεντεύξεων, αναδείχθηκαν παρόμοια αποτελέσματα, αν και έχουμε ενδείξεις ότι ορισμένοι από τους μαθητές που κατατάχθηκαν στην κατηγορία 1 γνωρίζουν και μπορούν να περιγράψουν τη μέθοδο για τον συμπερασμό από τον έλεγχο μιας μεταβλητής, αρκεί να τους δοθεί μια μικρή υποβοήθηση (Πίνακας 5.4.29, ενότητα 5.4.3.β).

Έργο ΣΕΜ2α Έλεγχος άγνωστης και δοθείσας μεταβλητής στην κανονική εφαρμογή

Στο έργο ΣΕΜ2α (Πίνακας 4.2 και Παράρτημα Β.2), ζητείται από τους μαθητές να περιγράψουν τι θα έκαναν για να ελέγξουν εάν το είδος της επιφάνειας του δοχείου (λεία, τραχιά), μια μεταβλητή που δεν την έχουν ελέγξει κατά τη διάρκεια της παρέμβασης, επηρεάζει την Π/Β ενός αντικειμένου. Στον πίνακα 5.4.27, στην κατηγορία 3 κατατάχθηκαν οι απαντήσεις των μαθητών στις οποίες γίνεται ορθή περιγραφή της μεθόδου ελέγχου μεταβλητών, και πιο συγκεκριμένα, δέκα από τους σαράντα ένα μαθητές ενδιάμεσα, δεκαεπτά μαθητές μετά την παρέμβαση και δεκαπέντε μαθητές επτά μήνες μετά την παρέμβαση. Στις απαντήσεις που έδωσαν οι περισσότεροι μαθητές αυτής της κατηγορίας, προτείνονται δύο δοκιμές και γίνεται

αναφορά σε δύο αντικείμενα με διαφορετική επιφάνεια, π.χ. «Θα έβαζα σε ένα δοχείο με νερό ένα αντικείμενο με τραχιά και ένα με λεία επιφάνεια», ενώ σε λιγότερες αναφέρεται και ο έλεγχος της έκβασης του πειράματος, π.χ. «Θα έπαιρνα ένα δοχείο με νερό και θα έριχνα μέσα ένα υλικό με τραχιά επιφάνεια και ένα με λεία και θα παρατηρούσα τι θα συνέβαινε».

Πίνακας 5.4.27 Απόψεις των μαθητών στο έργο ΣΕΜ2α σχετικά με τον έλεγχο άγνωστης και δοθείσας μεταβλητής

Κατηγορίες	Ενδιαμ EK1	Μετά EK	ΜΜετά EK
3: Ορθή περιγραφή της μεθόδου για τον έλεγχο της συγκεκριμένης μεταβλητής	10	17	15
2: Μερικώς ορθή περιγραφή της μεθόδου για τον έλεγχο της συγκεκριμένης μεταβλητής	4	2	4
1: Αναφορά του συμπεράσματος αντί της μεθόδου για τον έλεγχο της συγκεκριμένης μεταβλητής	2	4	1
0: Ασαφείς ή Άσχετες για τον έλεγχο της συγκεκριμένης μεταβλητής	25	18	21
Σύνολο	41	41	41

Στην κατηγορία 2 κατατάχθηκαν τέσσερις μαθητές ενδιάμεσα, δύο μαθητές μετά και τέσσερις μαθητές επτά μήνες μετά την παρέμβαση. Στις απαντήσεις αυτές προτείνονται δύο δοκιμές αλλά δεν περιγράφεται με σαφήνεια η διαδικασία, π.χ. «Θα έπαιρνα ένα αντικείμενο με τραχιά επιφάνεια και ένα αντικείμενο με λεία επιφάνεια και θα έκανα δοκιμές». Στην κατηγορία 1 κατατάχθηκαν δύο μαθητές ενδιάμεσα, τέσσερις μαθητές μετά και ένας μαθητής επτά μήνες μετά την παρέμβαση. Οι μαθητές αυτοί αναφέρουν το συμπέρασμα και όχι τη μέθοδο, π.χ. «Αν έχει εξογκώματα θα βυθιζόταν, αν όχι θα επέπλεε». Τέλος, στην κατηγορία 0 κατατάχθηκαν είκοσι πέντε μαθητές ενδιάμεσα, δεκαοκτώ μαθητές μετά και είκοσι ένα μαθητές επτά μήνες μετά την παρέμβαση. Οι απαντήσεις αυτές είναι είτε λανθασμένες, π.χ. «Θα πάρω ένα δοχείο με νερό και θα βάλω μέσα ένα κύβο μετά θα πάρω ένα κύβο και θα τον βάλω μέσα στο άλλο δοχείο που έχει λάδι και μετά θα συμπεράνω», είτε ασαφείς, π.χ. «θα έκανα το πείραμα».

Σε αντίθεση με τα αποτελέσματα στο έργο ΣΕΜ1α, σε αυτό το έργο, οι απαντήσεις που κατατάχθηκαν στην κατηγορία 1 είναι ελάχιστες. Ταυτόχρονα, παρατηρούμε ότι οι απαντήσεις που κατατάχθηκαν στην κατηγορία 3 στο μετά και στο επτά μήνες μετά ερωτηματολόγιο, ήταν ελαφρώς αυξημένες και εάν σε αυτές προσθέσουμε και τις απαντήσεις της κατηγορίας 2, τότε προσεγγίζουν τις μισές του συνολικού

δείγματος. Επίσης, είναι πολλές και οι ασαφείς ή μη σχετικές απαντήσεις (κατηγορία 0). Επιπλέον, στο έργο ΣΕΜ2α η βελτίωση από το ενδιαμέσο στο μετά ερωτηματολόγιο είναι στατιστικά σημαντική ($z=2.142$, $p=.032$), σε αντίθεση με την αντίστοιχη βελτίωση στο έργο ΣΕΜ1α ($z=.778$, $p=.437$). Παρατηρούμε δηλαδή, ότι οι μαθητές περιέγραψαν ορθά τη μέθοδο ελέγχου μιας μεταβλητής, σε μεγαλύτερο ποσοστό όταν επρόκειτο για μεταβλητή που δεν είχαν ελέγξει στο μάθημα (έργο ΣΕΜ2α), ενώ αναφέρονταν στο συμπέρασμα αντί της μεθόδου κυρίως όταν απαντούσαν σχετικά με μια μεταβλητή που την είχαν ελέγξει στο μάθημα (έργο ΣΕΜ1α).

Έργο ΣΕΜ2β Συμπέρασμός από τον έλεγχο άγνωστης και δοθείσας μεταβλητής στην κανονική εφαρμογή

Στο έργο ΣΕΜ2β (Πίνακας 4.2 και Παράρτημα Β.2), ζητείται από τους μαθητές να περιγράψουν τη λογική με την οποία καταλήγουν σε ένα συμπέρασμα όταν πραγματοποιήσουν τη διαδικασία που πρότειναν για να ελέγξουν εάν το είδος της επιφάνειας του δοχείου επηρεάζει την Π/Β, όπως περιγράφεται αναλυτικά στην προηγούμενη υποενότητα σχετικά με το έργο ΣΕΜ2α.

Στον πίνακα 5.4.28, στην κατηγορία 3 κατατάχθηκαν τρεις μαθητές ενδιάμεσα, τρεις μετά την παρέμβαση και τέσσερις μαθητές επτά μήνες μετά την παρέμβαση. Χαρακτηριστική απάντηση είναι *«αν το αντικείμενο με τη λεία επιφάνεια επέπλεε και το αντικείμενο με την τραχιά επιφάνεια βυθιζόταν θα έλεγα ότι επηρεάζει η επιφάνεια την πλεύση ή τη βύθιση. Ενώ αν και τα δύο επέπλεαν θα έλεγα ότι δεν επηρεάζει»*.

Στην κατηγορία 2 κατατάχθηκαν πέντε μαθητές ενδιάμεσα, πέντε μετά την παρέμβαση και οκτώ μαθητές επτά μήνες μετά την παρέμβαση. Χαρακτηριστική απάντηση είναι *«θα βλέπαμε αν ο κύβος με τη λεία επιφάνεια επιπλέει ή βυθίζεται και το ίδιο θα κάναμε και με το τραχύ κύβο»* ή *«Τα βήματα που θα ακολουθούσα θα ήταν: αν το υλικό με εξογκώματα θα επέπλεε και αν το υλικό χωρίς εξογκώματα θα επέπλεε»*. Στην κατηγορία 1 κατατάχθηκαν επτά μαθητές ενδιάμεσα, δεκαπέντε μαθητές μετά την παρέμβαση και οκτώ μαθητές επτά μήνες μετά την παρέμβαση. Χαρακτηριστική απάντηση είναι *«ότι όταν το αντικείμενο είναι λείο ή τραχύ επηρεάζει την πλεύση και τη βύθιση»* ή *«Το συμπέρασμα θα ήταν πως δεν επηρεάζει εάν η επιφάνεια είναι τραχιά ή λεία»*. Τέλος, στην κατηγορία 0 κατατάχθηκαν είκοσι έξι μαθητές ενδιάμεσα, δεκαοκτώ μετά την παρέμβαση και είκοσι ένα μαθητές επτά

μήνες μετά την παρέμβαση. Χαρακτηριστική απάντηση είναι «Δεν παίζει ρόλο το στενό/φαρδύ δοχείο γιατί έκανα και πειράματα και μου το απέδειξαν» ή «Ότι το σωσίβιο δε βυθίζεται».

Πίνακας 5.4.28 Απόψεις των μαθητών στο έργο ΣΕΜ2β σχετικά με τον συμπερασμό από τον έλεγχο άγνωστης και δοθείσας μεταβλητής

Κατηγορίες	Ενδιαμ ΕΚ1	Μετά ΕΚ	ΜΜετά ΕΚ
3: Ορθή περιγραφή της μεθόδου για τον συμπερασμό από τον έλεγχο της συγκεκριμένης μεταβλητής	3	3	4
2: Μερικώς ορθή περιγραφή της μεθόδου για τον συμπερασμό από τον έλεγχο της συγκεκριμένης μεταβλητής	5	5	8
1: Αναφορά του συμπεράσματος αντί της μεθόδου για τον συμπερασμό από τον έλεγχο της συγκεκριμένης μεταβλητής	7	15	8
0: Ασαφείς ή Άσχετες για τον συμπερασμό από τον έλεγχο της συγκεκριμένης μεταβλητής	26	18	21
Σύνολο	41	41	41

Παρατηρούμε συνολικά ότι ορισμένοι μαθητές περιγράφουν τη μέθοδο συμπερασμού, δίνοντας είτε ορθή είτε μερικώς ορθή περιγραφή της μεθόδου. Παρόλα αυτά, η βελτίωση αυτή δεν είναι στατιστικά σημαντική και μάλιστα οι περισσότεροι των μαθητών επιμένουν να δίνουν απαντήσεις που κατατάσσονται είτε στην κατηγορία 0 είτε στην κατηγορία 1, γεγονός που παρατηρήθηκε και στην πιλοτική εφαρμογή. Η κατανομή των απαντήσεων στο έργο ΣΕΜ2β στην κανονική εφαρμογή είναι παρόμοια με την κατανομή στο έργο ΣΕΜ1β. Επίσης, σε κανένα από τα δύο αυτά έργα (ΣΕΜ1β και ΣΕΜ2β) δεν παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική βελτίωση από το ενδιάμεσο στο μετά ερωτηματολόγιο ($z=.289$, $p=.773$ και $z=1.454$, $p=.146$ αντίστοιχα). Τα παραπάνω δείχνουν ότι οι μαθητές δυσκολεύτηκαν να περιγράψουν τη μέθοδο συμπερασμού είτε για μεταβλητή που έχουν ήδη ελέγξει (ΣΕΜ1β) είτε για μεταβλητή που δεν την έχουν ελέγξει στο μάθημα (ΣΕΜ2β), στο φαινόμενο της Π/Β.

Σύνοψη των αποτελεσμάτων από τα γραπτά ερωτηματολόγια σχετικά με την κατανόηση της ΣΕΜ στην κανονική εφαρμογή

Με τα έργα ΣΕΜ1α και ΣΕΜ2α διερευνούμε εάν οι μαθητές μπορούν να περιγράψουν το πείραμα και τον συλλογισμό με τον οποίο θα ελέγξουν εάν μια μεταβλητή επηρεάζει ή όχι το φαινόμενο της Π/Β. Καταρχήν, η κατανόηση της

μεθόδου για τον έλεγχο μιας μεταβλητής που οι μαθητές την έχουν ελέγξει στο μάθημα (έργο ΣΕΜ1α), παρουσιάζει στατιστικά σημαντική βελτίωση ήδη στο ενδιάμεσο ερωτηματολόγιο (μετά τη 2^η ενότητα) καθώς και μετά την παρέμβαση, η οποία διατηρείται επτά μήνες μετά την παρέμβαση. Παρόμοια είναι η επίδοση των μαθητών και στην περίπτωση που γίνεται έλεγχος μεταβλητής που δεν έχει ελεγχθεί στο μάθημα (έργο ΣΕΜ2α), χωρίς όμως να μπορούμε να μιλήσουμε για στατιστική σημαντικότητα, επειδή δεν υπάρχουν απαντήσεις για το συγκεκριμένο έργο, πριν την παρέμβαση. Αρκετοί είναι οι μαθητές οι οποίοι καταφέρνουν να περιγράψουν τη μέθοδο είτε ορθά (κατηγορία 3) είτε μερικώς ορθά (κατηγορία 2). Επίσης, σημαντικός αριθμός των μαθητών αναφέρει το συμπέρασμα αντί της μεθόδου (κατηγορία 1) ή δίνει ασαφείς ή μη κατατάξιμες απαντήσεις (κατηγορία 0). Επιπρόσθετα, τα αποτελέσματα στα δύο παραπάνω έργα, τα οποία αφορούν στον έλεγχο μιας μεταβλητής, δείχνουν ότι οι μαθητές αναφέρονται στο συμπέρασμα αντί της μεθόδου (κατηγορία 1), κυρίως όταν απαντούν σχετικά με μια μεταβλητή που την έχουν ελέγξει στο μάθημα (έργο ΣΕΜ1α). Αντίθετα, όταν πρόκειται για μεταβλητή που δεν έχουν ελέγξει στο μάθημα (έργο ΣΕΜ2α), περιγράφουν ορθά τη μέθοδο ελέγχου μιας μεταβλητής σε μεγαλύτερο ποσοστό. Ακόμη, παρατηρήθηκε ότι οι μαθητές οι οποίοι δεν μπορούν να δώσουν σχετικές απαντήσεις είναι περισσότεροι όταν έχουν να περιγράψουν τον έλεγχο μιας μεταβλητής που δεν την έχουν διδαχθεί (έργο ΣΕΜ2α). Παρόλα αυτά, η ανάλυση των συνεντεύξεων (δες ενότητα 5.4.3.β) παρέχει ενδείξεις, οι οποίες φανερώνουν, ότι αρκετοί μαθητές που στα γραπτά ερωτηματολόγια κατατάχθηκαν στην κατηγορία 1, όταν τους δόθηκε μικρή υποβοήθηση, μπόρεσαν να περιγράψουν τη μέθοδο για τον έλεγχο της μεταβλητής είτε ορθά (κατηγορία 3) είτε μερικώς ορθά (κατηγορία 2).

Με τα έργα ΣΕΜ1β και ΣΕΜ2β, ελέγχουμε εάν οι μαθητές μπορούν να περιγράψουν τον συλλογισμό με τον οποίο θα κατέληγαν σε συμπέρασμα, όταν θα πραγματοποιούσαν τον έλεγχο μιας μεταβλητής που την έχουν ελέγξει (έργο ΣΕΜ1β) ή δεν την έχουν ελέγξει (έργο ΣΕΜ2β) στο μάθημα. Παρόλο που ορισμένοι μαθητές κατόρθωσαν να περιγράψουν τη μέθοδο συμπερασμού, δίνοντας είτε ορθή είτε μερικώς ορθή περιγραφή της μεθόδου, δεν παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική βελτίωση. Αντίθετα μάλιστα, οι περισσότεροι μαθητές επέμειναν να δίνουν απαντήσεις που κατατάσσονται είτε στην κατηγορία 0 είτε στην κατηγορία 1.

5.4.3.β Αποτελέσματα από τις συνεντεύξεις σχετικά με την κατανόηση της ΣΕΜ στην κανονική εφαρμογή

Παρακάτω περιγράφουμε την ανάλυση των απαντήσεων στα έργα των συνεντεύξεων, σχετικά με την κατανόηση της μεθόδου ΣΕΜ για τον έλεγχο μιας μεταβλητής καθώς και της μεθόδου για τον συμπερασμό από τον έλεγχο μιας μεταβλητής. Από την ανάλυση αυτή, οι μαθητές κατατάχθηκαν στις αντίστοιχες τέσσερις κατηγορίες που κατατάχθηκαν και οι απαντήσεις στα γραπτά ερωτηματολόγια, όπως περιγράφονται αναλυτικά στην ενότητα 5.4.3.α.

Στους πίνακες 5.4.29 και 5.4.30 παραθέτουμε τα αποτελέσματα από την ανάλυση των συνεντεύξεων. Πιο συγκεκριμένα, στον πίνακα 5.4.29, στη δεύτερη στήλη, κατατάχθηκαν οι απαντήσεις των μαθητών που έχουν σχέση με τον έλεγχο μεταβλητών στο φαινόμενο Π/Β. Παρόλο που η μία μεταβλητή έχει διδαχθεί (έργο ΣΕΜ3α, Πίνακας 4.3 και Παράρτημα Β.3), ενώ η άλλη δεν έχει διδαχθεί (έργο ΣΕΜ4α) κατά τη διάρκεια της παρέμβασης, οι απαντήσεις στα δύο αυτά έργα ομαδοποιήθηκαν μαζί, διότι διαπιστώθηκε ότι οι μαθητές εξέφρασαν παρόμοιο συλλογισμό και στις δύο.

Στην τρίτη στήλη του πίνακα 5.4.29, κατατάχθηκαν οι απαντήσεις των μαθητών που έχουν σχέση με τον έλεγχο μεταβλητών στο φαινόμενο της τριβής, ένα φαινόμενο που δεν έχει διδαχθεί κατά τη διάρκεια της παρέμβασης (έργα ΣΕΜ5α και ΣΕΜ6α). Επίσης, στον πίνακα 5.4.30, στη δεύτερη και την τρίτη στήλη, κατατάχθηκαν με αντίστοιχο τρόπο, οι απαντήσεις των μαθητών σχετικά με τον συμπερασμό από τον έλεγχο μεταβλητής στα παραπάνω δύο φαινόμενα (έργα ΣΕΜ3β, ΣΕΜ4β, ΣΕΜ5β και ΣΕΜ6β). Οι μαθητές που βρίσκονται σε παρένθεση, κατόρθωσαν να δώσουν απαντήσεις που προσέγγισαν την επιθυμητή γνώση, μετά από υποβοηθητικές ερωτήσεις από τον ερευνητή.

Τα αποτελέσματα από τις συνεντεύξεις σχετικά με την κατανόηση της ΣΕΜ στην κανονική εφαρμογή είναι παρόμοια με αυτά που είδαμε και στην πιλοτική εφαρμογή. Στον πίνακα 5.4.29 φαίνεται ότι οι περισσότεροι μαθητές που περιέγραψαν ορθά, είτε αυθόρμητα είτε μετά από υποβοήθηση, τη μέθοδο για τον έλεγχο μιας μεταβλητής που σχετίζεται με το φαινόμενο της Π/Β, μπόρεσαν να επεκτείνουν τη γνώση τους αυτή και στο φαινόμενο της τριβής, που δεν το είχαν διδαχθεί. Το ίδιο παρατηρούμε, στον πίνακα 5.4.30, όσον αφορά στη μέθοδο για τον συμπερασμό από τον έλεγχο μιας μεταβλητής. Αντίθετα, οι μαθητές που δεν κατάφεραν να περιγράψουν τη μέθοδο για τον έλεγχο μιας μεταβλητής στο φαινόμενο της Π/Β, ή/και τη μέθοδο για τον συμπερασμό στο ίδιο φαινόμενο, δεν κατόρθωσαν τελικά να

περιγράψουν τη μέθοδο αυτή ούτε στο φαινόμενο της τριβής, ακόμη και μετά από υποβοήθηση.

Πίνακας 5.4.29 Απόψεις των μαθητών, στα έργα της ημιδομημένης συνέντευξης, σχετικά με τον έλεγχο μεταβλητής με τη Στρατηγική Ελέγχου Μεταβλητών

Κατηγορίες	ΣΕΜ3α, ΣΕΜ4α, φαινόμενο Π/Β	ΣΕΜ5α, ΣΕΜ6α, φαινόμενο τριβής
3: ορθή περιγραφή της μεθόδου για τον έλεγχο μεταβλητής	3 [ΜΑΘ2, 23, 25]	4 [ΜΑΘ2, 20, 25, 31]
2: μερικώς ορθή περιγραφή της μεθόδου	0	4 (4) [(ΜΑΘ4, 11, 19, 28)]
1: αναφορά στο συμπέρασμα αντί για την μέθοδο	9 (7) [ΜΑΘ7, 17, (ΜΑΘ3, 4, 6, 16, 19, 20, 31)]	2 (2) [(ΜΑΘ6, 16)]
0: μη ορθή περιγραφή της μεθόδου	5 (2) [ΜΑΘ1, 29, 41 (ΜΑΘ11, 28)]	7 (1) [ΜΑΘ1, 3, 7, 17, 29, 41, (ΜΑΘ23)]
Σύνολο	17	17

Πίνακας 5.4.30 Απόψεις των μαθητών, στα έργα της ημιδομημένης συνέντευξης, σχετικά με τον συμπερασμό από τον έλεγχο μεταβλητής με τη Στρατηγική Ελέγχου Μεταβλητών

Κατηγορίες	ΣΕΜ3β, ΣΕΜ4β, φαινόμενο Π/Β	ΣΕΜ3β, ΣΕΜ4β, φαινόμενο τριβής
3: ορθή περιγραφή της μεθόδου για τον έλεγχο μεταβλητής	4 [ΜΑΘ2, 23, 25, 31]	4 [ΜΑΘ2, 23, 25, 31]
2: μερικώς ορθή περιγραφή της μεθόδου	3 (3) [(ΜΑΘ4, 20, 28)]	3 (3) [(ΜΑΘ4, 11, 20)]
1: αναφορά στο συμπέρασμα αντί για τη μέθοδο	3 (2) [ΜΑΘ3, (ΜΑΘ6, 19)]	3 (3) [(ΜΑΘ6, 19, 28)]
0: μη ορθή περιγραφή της μεθόδου	7 (2) [ΜΑΘ1, 7, 17, 29, 41, (ΜΑΘ11, 16)]	7 (1) [ΜΑΘ1, 3, 7, 17, 29, 41, (ΜΑΘ16)]
Σύνολο	17	17

Επιπλέον, παρατηρώντας τους δύο παραπάνω πίνακες, βλέπουμε ότι οι περισσότεροι μαθητές που κατόρθωσαν να περιγράψουν τη μέθοδο για τον έλεγχο μιας μεταβλητής, έστω και μετά από υποβοήθηση (Πίνακας 5.4.29), περιέγραψαν επίσης και τη μέθοδο για τον συμπερασμό, ανεξάρτητα από το φαινόμενο (Πίνακας 5.4.30). Εξαίρεση αποτελεί ο μαθητής ΜΑΘ3, ο οποίος ενώ περιγράφει, μετά από υποβοήθηση, τη μέθοδο για τον έλεγχο μιας μεταβλητής, δεν κατορθώνει να περιγράψει και τη μέθοδο για τον συμπερασμό. Πιο συγκεκριμένα, παρατηρούμε ότι σχετικά με τον έλεγχο μιας μεταβλητής, αρχικά κατατάχθηκε στην κατηγορία 1 και στη συνέχεια πέρασε στην κατηγορία 2, ενώ σχετικά με τον συμπερασμό από τον έλεγχο της μεταβλητής κατατάχθηκε στην κατηγορία 1, διότι επέμεινε να αναφέρει το συμπέρασμα αντί να περιγράψει τον συλλογισμό με τον οποίο κατέληξε σε αυτό. Ο μαθητής ΜΑΘ3 δυσκολεύτηκε να περιγράψει τη μέθοδο για τον έλεγχο μεταβλητής,

και δεν μπόρεσε να περιγράψει τη μέθοδο για τον συμπερασμό ούτε στο φαινόμενο της τριβής.

Παρακάτω, παραθέτουμε ενδεικτικά αποσπάσματα από τις συνεντεύξεις τεσσάρων μαθητών που αποτελούν αντιπροσωπευτικές περιπτώσεις για κάθε κατηγορία: ενός μαθητή που κατατάχθηκε στην κατηγορία 3 (ΜΑΘ25), ενός μαθητή που κατατάχθηκε στην κατηγορία 2 (ΜΑΘ4), ενός μαθητή που κατατάχθηκε στην κατηγορία 1 (ΜΑΘ6), και ενός μαθητή που κατατάχθηκε στην κατηγορία 0 (ΜΑΘ41).

Στην κατηγορία 3 κατατάχθηκαν τέσσερις από τους δεκαεπτά μαθητές που συμμετείχαν στη διαδικασία συνέντευξης. Ενδεικτικά, παραθέτουμε αποσπάσματα από τη συνέντευξη του μαθητή ΜΑΘ25. Καταρχήν, από τις απαντήσεις του στα έργα ΣΕΜ3α και ΣΕΜ3β, φαίνεται ότι περιέγραψε σωστά και αναλυτικά τη μέθοδο ελέγχου διδαχθείσας μεταβλητής στο φαινόμενο Π/Β, καθώς επίσης και τη μέθοδο συμπερασμού από τον έλεγχο της, κάνοντας σαφή αναφορά στη σύγκριση των αποτελεσμάτων των δοκιμών που πρότεινε:

«.....

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: Ας πούμε ότι θέλεις να ελέγξεις αν το σχήμα ενός συμπαγούς αντικειμένου, θυμάσαι τι είναι συμπαγές;

ΜΑΘ25: Που είναι γεμάτο από μέσα.

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: Ναι. Ας πούμε ότι θέλεις να ελέγξεις αν το σχήμα ενός συμπαγούς αντικειμένου επηρεάζει την πλεύση ή τη βύθισή του σε ένα δοχείο με υγρό. Μπορείς να περιγράψεις τι θα κάνεις για να το ελέγξεις;

ΜΑΘ25: Θα πάρω δύο δοχεία με νερό κα θα βάλω μέσα δύο αντικείμενα από το ίδιο υλικό όμως, αλλά διαφορετικό σχήμα.

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: Αυτό γίνεται και με ένα δοχείο;

ΜΑΘ25: Γίνεται και με ένα.

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: Είπες ότι θα έχουν διαφορετικό σχήμα. Πες ποιο σχήμα θέλεις να έχουν.

ΜΑΘ25: Κυβάκι και ρόμβος.

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: Σε πειράζει να έχουν διαφορετικό βάρος ή θέλεις να είναι ίδια;

ΜΑΘ25: να έχουν το ίδιο βάρος.

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: Για ποιο λόγο;

ΜΑΘ25: Ωστε να καταλάβουμε αν το σχήμα επηρεάζει την πλεύση ή τη βύθιση του αντικειμένου.

.....

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: Ας πούμε ότι το έκανες αυτό το πείραμα και έβγαλες ένα συμπέρασμα. Μπορείς να μου πεις ποια βήματα έκανε η σκέψη σου για να βγάλεις αυτό το συμπέρασμα;

ΜΑΘ25: Έκανα αυτό το πείραμα με τα δυο αντικείμενα με διαφορετικό σχήμα για να δω αν επηρεάζει το σχήμα την πλεύση ή τη βύθιση.

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: Πιο συγκεκριμένα; Τι έπρεπε να δεις για να βγάλεις αυτό το συμπέρασμα;

ΜΑΘ25: Έπρεπε να προσέξω ότι αφού έκανα το πείραμα το ένα από τα δυο σχήματα βυθίζεται ενώ το άλλο επιπλέει. Ενώ εδώ και τα δύο σχήματα επιπλέουν. Άρα δεν επηρεάζει.

.....»

Με τις απαντήσεις του στα έργα ΣΕΜ4α και ΣΕΜ4β περιέγραψε, επίσης σωστά και αναλυτικά, τη μέθοδο ελέγχου μεταβλητής που δεν έχει διδαχθεί και σχετίζεται με το φαινόμενο Π/Β, καθώς επίσης και τη μέθοδο συμπερασμού από τον έλεγχο της ίδιας μεταβλητής. Ακόμη, ο μαθητής γνωρίζει τι θα έπρεπε να συμβεί στο πείραμα για να βγάλει το αντίθετο συμπέρασμα από αυτό που νομίζει ότι είναι σωστό:

«.....»

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: Πάμε σε ένα άλλο. Μια παρέα συζητάει πάλι για τους παράγοντες που επηρεάζουν την πλεύση ή τη βύθιση ενός αντικειμένου σε ένα δοχείο με νερό. Και ένας από την παρέα λέει ότι πιθανώς να επηρεάζεται και από το είδος του υλικού που είναι φτιαγμένο το δοχείο όμως.

ΜΑΘ25: Όχι

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: Εσύ λες όχι. Τι θα τους συμβούλευες να κάνουν για να το ελέγξουν;

ΜΑΘ25: Θα πάρουμε ένα δοχείο γυάλινο και ένα από πλαστικό, θα έριχνα μέσα δυο αντικείμενα με το ίδιο σχήμα και βάρος.

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: Μέσα στα δοχεία τι θα βάλουμε;

ΜΑΘ25: Νερό.

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: Και στα δύο; Πειράζει να βάλουμε στο ένα νερό και στο άλλο γλυκερίνη;

ΜΑΘ25: Ε μπορούμε να το κάνουμε πρώτα με νερό και μετά με γλυκερίνη άμα δούμε ότι το είδος του δοχείου δεν επηρεάζει.

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: Και μετά τι κάνουμε;

ΜΑΘ25: Βάζουμε στο ένα δοχείο έναν κύβο από ξύλο και στο άλλο έναν άλλο κύβο από ξύλο με το ίδιο βάρος και παρατηρούμε ότι δεν επηρεάζει το υλικό του δοχείου.

.....»

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: Τι βήματα έκανε η σκέψη σου για να βγάλεις συμπέρασμα;

ΜΑΘ25: Παρατήρησα ότι και στα δύο δοχεία οι κύβοι επιπλέουν.

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: Ενώ για να βγάλεις το αντίθετο αποτέλεσμα τι θα έπρεπε να δεις;

ΜΑΘ25: Ότι ο ένας κύβος βυθίζεται και ο άλλος επιπλέει.

.....»

Στο παρακάτω ενδεικτικό απόσπασμα παραθέτουμε τις απαντήσεις του μαθητή στο έργο ΣΕΜ5α και ΣΕΜ5β, από τις οποίες φαίνεται ότι περιέγραψε σωστά τη μέθοδο για τον έλεγχο μεταβλητών που σχετίζονται με το φαινόμενο της τριβής καθώς επίσης και τη μέθοδο για τον συμπερασμό:

«.....»

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: Τώρα είναι μια παρέα παιδιών που βρήκανε ένα κιβώτιο ξύλινο και το γεμίσανε με άμμο και παίζανε, και εκεί που παίζανε αναρωτήθηκαν αν το βάρος του κιβωτίου επηρεάζει το πόσο μακριά θα πάει το κιβώτιο όταν το σπρώχνουν πάνω σε μια ξύλινη σανίδα. Συμφώνησαν μάλιστα να το

σπρώχνουν με την ίδια φόρα. Διαφώνησαν όμως, και άλλοι έλεγαν ότι το βάρος επηρεάζει ενώ άλλοι ότι δεν επηρεάζει. Εσύ τι θα τους πρότεινες να κάνουν για να το διαπιστώσουν;

ΜΑΘ25: Θα το γεμίζανε με άμμο και θα το ρίχνανε και θα βλέπανε πόσο μακριά θα πάει. Μετά θα άδειαζαν την άμμο και θα το έσπρωχναν πάλι και θα παρατηρούσαν τι θα γινόταν.

.....

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: Τι θα παρατηρούσαν;

ΜΑΘ25: Ότι επηρεάζει.

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: Ωραία, αυτό είναι το συμπέρασμα. Τι βήματα θα έκανε η σκέψη σου για να βγάλουμε αυτό το συμπέρασμα;

ΜΑΘ25: Παρατηρήσανε τους κύβους και είδανε ότι ο ένας πάει πολύ μακριά ενώ ο άλλος όχι και τόσο μακριά ενώ το έσπρωχναν με την ίδια φόρα.

.....»

Παρόμοια ήταν η εξέλιξη της συζήτησης και στα έργα ΣΕΜ6α και ΣΕΜ6β. Καταλήγοντας, συμπεραίνουμε ότι ο μαθητής ΜΑΘ25 έχει κατανοήσει τη μέθοδο ΣΕΜ, την εφάρμοσε σωστά στο πλαίσιο του φαινομένου της Π/Β για μια μεταβλητή που διδάχτηκε, επέκτεινε σωστά τη χρήση της στο ίδιο φαινόμενο αλλά σε μεταβλητή που δε διδάχτηκε και τέλος επέκτεινε σωστά τη χρήση της μεθόδου και στο φαινόμενο της τριβής, προτείνοντας τη μέθοδο για τον έλεγχο και για τον συμπερασμό, για δύο μεταβλητές.

Όπως φαίνεται από τους πίνακες 36 και 37, όλοι οι μαθητές που αρχικά κατατάχθηκαν στην κατηγορία 2 κατάφεραν να μεταβούν πιο κοντά στην επιθυμητή γνώση μετά από υποβοήθηση του ερευνητή. Επιλέξαμε να παρουσιάσουμε ως παράδειγμα τον μαθητή ΜΑΘ4, διότι έχει ταυτόχρονα στοιχεία της κατηγορίας 2, και της κατηγορίας 1. Όπως θα φανεί και από τα παρακάτω ενδεικτικά αποσπάσματα στα έργα ΣΕΜ3α και ΣΕΜ3β ανέφερε αρχικά το συμπέρασμα στη συνέχεια όμως περιέγραψε και τη μέθοδο για τον έλεγχο της μεταβλητής και τον συμπερασμό.

«.....

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: Θέλουμε να ελέγξουμε αν το σχήμα ενός αντικειμένου επηρεάζει την πλεύση ή τη βύθιση, τι νομίζεις ότι θα μπορούσαμε να κάνουμε;

ΜΑΘ4: Δεν επηρεάζει

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: Ναι, αλλά τι θα έκανες για να με πείσεις;

ΜΑΘ4: Θα έβαζα σε ένα δοχείο ένα στρόγγυλο και σε ένα άλλο ένα τετράγωνο από ξύλο

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: Και πώς θα έβγαζες το συμπέρασμα που είπες ότι τελικά δεν επηρεάζει το σχήμα;

ΜΑΘ4: Δεν μπορώ να το εξηγήσω

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: Δηλαδή όταν κάνεις το πείραμα σκέφτεσαι κάποια πράγματα για να πεις αν επηρεάζει ή όχι το σχήμα. Τι είναι αυτά που σκέφτηκες για να καταλήξεις σε αυτό το συμπέρασμα;

ΜΑΘ4: Σκέφτηκα αυτά τα πειράματα που κάναμε με την κυρία

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: Τι ακριβώς σκέφτηκες; Δυσκολεύεσαι;

ΜΑΘ4: Ναι

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: Είδες κάτι και σε επηρέασε; Είναι απαραίτητο να παρατηρήσουμε;

ΜΑΘ4: Ναι

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: Τι παρατηρήσαμε;

ΜΑΘ4: Αν βουλιάζει ή αν επιπλέει

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: Το συμπέρασμα που βγάλαμε εξαρτάται από τις παρατηρήσεις μας;

ΜΑΘ4:Ναι

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: Ποιες ήταν οι παρατηρήσεις που κάναμε για να βγάλουμε αυτό το συμπέρασμα;

ΜΑΘ4: Ότι και τα δύο επέπλεαν

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: Ποιο ήταν το συμπέρασμα που βγάλαμε;

ΜΑΘ4: Ότι δεν επηρεάζει

.....»

Στο παραπάνω απόσπασμα φαίνεται ότι ο ΜΑΘ4, στο έργο ΣΕΜ3α, αρχικά ανέφερε την άποψή του και στη συνέχεια περιέγραψε τη μέθοδο για τον έλεγχο της μεταβλητής 'σχήμα του αντικειμένου' στο φαινόμενο Π/Β. Όταν ρωτήθηκε σχετικά με τη μέθοδο του συμπερασμού δυσκολεύτηκε να περιγράψει τη μέθοδο. Μετά όμως από παραίνεση του ερευνητή την περιέγραψε σωστά. Παρόμοια εξέλιξη παρουσίασε και η συζήτηση στα έργα ΣΕΜ4α και ΣΕΜ4β.

Εξάλλου, από τις απαντήσεις του μαθητή στα έργα ΣΕΜ5α και ΣΕΜ5β, φαίνεται ότι δυσκολεύτηκε, αλλά τελικά κατάφερε να περιγράψει τη μέθοδο για τον έλεγχο της μεταβλητής 'βάρος κιβωτίου' στο φαινόμενο της τριβής, καθώς επίσης και τη μέθοδο για τον συμπερασμό. Παραθέτουμε ενδεικτικό απόσπασμα:

«.....»

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: Ας πούμε ότι έχουμε μια παρέα που βρήκε ένα κιβώτιο από ξύλο και το γέμισε με άμμο και κάποια στιγμή προβληματίστηκαν αν το βάρος του κιβωτίου επηρεάζει το πόσο μακριά θα πάει αν το σπρώξουν πάνω σε μια ξύλινη σανίδα και είπαν ότι θα το σπρώχνουν πάντα με την ίδια φόρα. Οι μισοί είπαν ότι το βάρος επηρεάζει το πόσο μακριά θα πάει και οι άλλοι μισοί είπαν ότι το βάρος δεν επηρεάζει. Μπορείς, να προτείνεις έναν τρόπο για να ελέγξουν ποιοι έχουν δίκιο;

ΜΑΘ4: Θα το δοκίμαζαν

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: Τι θα δοκίμαζαν;

ΜΑΘ4: Θα το έσπρωχναν και θα έβλεπαν αν πήγαινε μακριά ή αν δεν πήγαινε τόσο μακριά

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: Περιέγραψε το λίγο πιο καλά

ΜΑΘ4: Θα το έσπρωχναν με την ίδια φόρα και θα έβλεπαν αν θα πήγαινε πιο κοντά ή πιο μακριά

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: Από τι; Θα έχουν κάνει και άλλη δοκιμή πιο πριν;

ΜΑΘ4: Ναι, θα έβγαζαν το μισό το χώμα

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: Θα έκαναν μια δοκιμή με γεμάτο το κιβώτιο και μια με το μισό χώμα;

ΜΑΘ4: Ναι

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: Και τι θα έλεγαν τότε;

ΜΑΘ4: Θα έβλεπαν αν πήγαινε πιο μακριά ή πιο κοντά

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: Τι συμπέρασμα πιστεύεις ότι θα έβγαζαν τελικά;

ΜΑΘ4: Ότι επηρεάζει

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: Για να πεις ότι επηρεάζει τι βήματα θα έκανε η σκέψη σου;

ΜΑΘ4: Θα το δοκίμαζα και μετά θα έβγαζα το συμπέρασμα

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: Με βάση ποια πράγματα θα έβγαζες το συμπέρασμα;

ΜΑΘ4: Θα τα δοκίμαζαμε αρκετές φορές και θα βλέπαμε ότι όταν ήταν γεμάτο δεν θα πήγαινε μακριά και όταν ήταν μισό θα πήγαινε πιο μακριά.

.....»

Καταλήγοντας, σημειώνουμε ότι ο μαθητής ΜΑΘ4, στο γραπτό μετα-ερωτηματολόγιο κατατάχθηκε στην κατηγορία 1 (αναφορά του συμπεράσματος αντί της μεθόδου), τόσο σχετικά με τη μέθοδο για τον έλεγχο μιας μεταβλητής (έργο ΣΕΜ1α) όσο και σχετικά με τη μέθοδο για τον συμπερασμό από τον έλεγχο της μεταβλητής (έργο ΣΕΜ1β). Ωστόσο, όπως φάνηκε από την παραπάνω ανάλυση, μετά από παραινήσεις του ερευνητή, μπόρεσε να περιγράψει τη μέθοδο ΣΕΜ για μεταβλητή που σχετίζεται με το φαινόμενο της Π/Β, ακόμη και όταν αυτή η μεταβλητή δεν είχε διδαχθεί. Τέλος, φάνηκε ότι δυσκολεύτηκε αλλά τελικά τα κατάφερε να επεκτείνει τη χρήση της μεθόδου και στο φαινόμενο της τριβής.

Στην κατηγορία 1 κατατάχθηκε ένα μεγάλο μέρος των μαθητών στα έργα ΣΕΜ3α και ΣΕΜ4α, όπως ακριβώς συνέβη και στα γραπτά ερωτηματολόγια, ενώ πολύ λιγότεροι κατατάχθηκαν στην κατηγορία αυτή στα υπόλοιπα έργα. Ελάχιστοι από αυτούς τους μαθητές παρέμειναν τελικά στην κατηγορία 1, μετά από την υποβοήθηση του ερευνητή, όπως φαίνεται στους πίνακες 36 και 37. Χαρακτηριστική περίπτωση μαθητή του οποίου οι απαντήσεις αρχικά κατατάχθηκαν στην κατηγορία 1, και μετά τις υποβοηθητικές ερωτήσεις κατόρθωσε να περιγράψει τη μέθοδο για τον έλεγχο της μεταβλητής και τη μέθοδο για τον συμπερασμό, αποτελεί ο μαθητής ΜΑΘ6. Παραθέτουμε απόσπασμα από τη συνέντευξή του στην οποία περιλαμβάνονται οι απαντήσεις του στα έργα ΣΕΜ3α και ΣΕΜ3β:

«.....»

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: Έστω ότι θέλεις εσύ να ελέγξεις εάν το σχήμα ενός συμπαγούς αντικειμένου επηρεάζει την πλεύση ή τη βύθισή του μέσα σε ένα υγρό που βρίσκεται μέσα σε ένα δοχείο.

ΜΑΘ6: Δεν επηρεάζει

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: Μπορείς να μου περιγράψεις τι θα έκανες για να το ελέγξεις;

ΜΑΘ6: Θα έβαζα ένα υλικό, ας πούμε ξύλο, που θα είχε τετράγωνο σχήμα μέσα σε ένα υγρό, νερό ας πούμε, θα το έβαζα και θα έβλεπα ότι επιπλέει, μετά θα το έβγαζα και θα έβαζα ένα άλλο που θα είχε τρίγωνο σχήμα και θα έβλεπα ότι και εκείνο επιπλέει, δεν επηρεάζει.

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: Εσύ ελέγχεις εάν το σχήμα επηρεάζει την πλεύση ή τη βύθιση, βάζεις ένα κύβο που έχει κάποιο βάρος, το βγάζεις και βάζεις ένα άλλο που έχει ένα άλλο σχήμα, θέλεις ο κύβος να έχει το ίδιο βάρος ή δε σε πειράζει;

ΜΑΘ6: Δε με πειράζει

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: Γιατί το λες αυτό;

ΜΑΘ6: Γιατί είναι από το ίδιο υλικό με τον κύβο που επέπλεε και έχει μικρότερη πυκνότητα από το υγρό

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: Και είσαι σίγουρος ότι και άλλο βάρος να έχει πάλι δε θα το επηρεάζει;

ΜΑΘ6: Ναι

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: Αν δεν ήξερες αν το βάρος επηρεάζει την πλεύση ή τη βύθιση θα σε πείραζε τώρα να έχει διαφορετικό βάρος ή θα ήθελες να το κρατήσεις ίδιο;

ΜΑΘ6: Θα ήθελα να το κρατάω ίδιο.

.....

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: Αφού δοκίμασες αυτά που είπες και έκανες το πείραμα έτσι όπως το σχεδίασες, έβγαλες ένα συμπέρασμα. Μπορείς να μου περιγράψεις τα βήματα που έκανε η σκέψη σου για να βγάλεις αυτό το συμπέρασμα;

ΜΑΘ6: Θα έπαιρνα ένα δοχείο με νερό και ένα ξύλο που να έχει τετράγωνο σχήμα, θα το έλεγα με πείραμα και θα έβλεπα αν επιπλέει ή όχι. Το ξύλο θα επέπλεε και μετά θα έπαιρνα ένα άλλο ξύλο με άλλο σχήμα θα το βουτούσα και εκείνο μέσα στο νερό και θα έβλεπα ότι και εκείνο επιπλέει, επειδή δεν επηρεάζει το σχήμα.

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: Και τι συμπέρασμα θα έβγαζες;

ΜΑΘ6: Ότι το σχήμα δεν επηρεάζει την πλεύση και τη βύθιση ενός υλικού.

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: Εάν παρατηρούσες ότι το ένα επιπλέει και το άλλο βυθίστηκε θα έβγαζες το ίδιο συμπέρασμα;

ΜΑΘ6: Όχι.

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: Τι συμπέρασμα θα έβγαζες;

ΜΑΘ6: Ότι το σχήμα επηρεάζει την πλεύση ή τη βύθιση ενός υλικού.

.....»

Ο μαθητής ΜΑΘ6 στο έργο ΣΕΜ3α αρχικά αναφέρει το συμπέρασμα. Μετά όμως από την παραίτηση του ερευνητή περιγράφει τη μέθοδο για τον έλεγχο της μεταβλητής 'σχήμα του αντικειμένου' στο φαινόμενο της Π/Β. Στην ερώτηση εάν θα τον πείραζε τα δύο αντικείμενα διαφορετικού σχήματος, να είχαν διαφορετικό βάρος θεωρεί πως δεν θα έπαιζε κάποιο ρόλο γιατί ήδη ξέρει ότι το βάρος δεν επηρεάζει την Π/Β. Όταν στη συνέχεια του επισημαίνεται να θεωρήσει ότι δεν ξέρει εάν το βάρος του αντικειμένου επηρεάζει την Π/Β, τότε αποκρίνεται πως θα ήθελε τα δύο αντικείμενα να μην διαφέρουν στο βάρος. Αυτό το απόσπασμα είναι μια ένδειξη που ενισχύει την υπόθεσή μας, πως οι μαθητές αναφέρουν το συμπέρασμα αντί της μεθόδου για τον έλεγχο μιας μεταβλητής, ιδιαίτερα στις περιπτώσεις που θεωρούν

ότι γνωρίζουν το αποτέλεσμα, επειδή το έχουν διδαχθεί ή από την καθημερινή τους εμπειρία.

Στο έργο ΣΕΜ3β δυσκολεύεται να περιγράψει τη μέθοδο για τον συμπερασμό. Αντί αυτής περιγράφει και πάλι τη διαδικασία για τον έλεγχο της μεταβλητής αναφέροντας το αποτέλεσμα που νομίζει ότι θα προέκυπτε όταν θα έριχνε τα αντικείμενα στο δοχείο με το νερό και καταλήγοντας στο συμπέρασμα που θεωρεί ότι είναι το σωστό. Σε αυτό το σημείο ο ερευνητής κάνει την υποβοηθητική ερώτηση «εάν παρατηρούσες ότι το ένα επιπλέει και το άλλο βυθίστηκε θα έβγαζες το ίδιο συμπέρασμα;». Όπως φάνηκε μετά από αυτήν την ερώτηση ο μαθητής μπόρεσε να εκφράσει έμμεσα τη μέθοδο εξαγωγής συμπεράσματος. Παρόμοια εξέλιξη παρουσίασε και η συζήτηση στα έργα ΣΕΜ4α και ΣΕΜ4β, όπου στο πλαίσιο του φαινομένου Π/Β συζητήθηκε μια μεταβλητή που δεν είχε διδαχθεί κατά τη διάρκεια της παρέμβασης. Από τις απαντήσεις του μαθητή στα έργα ΣΕΜ5α και ΣΕΜ5β φαίνεται ότι ο μαθητής δυσκολεύεται να εκφράσει τη μέθοδο για τον έλεγχο μεταβλητής στο φαινόμενο της τριβής. Παρακάτω, παραθέτουμε ενδεικτικό απόσπασμα από τις απαντήσεις του:

«.....»

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: Μια άλλη ομάδα παιδιών παίζει με ένα κιβώτιο γεμάτο άμμο. Κάποια στιγμή προβληματίστηκαν και διαφώνησαν για το εάν το βάρος του κιβωτίου επηρεάζει το πόσο μακριά θα πάει το κιβώτιο όταν το σπρώξουν πάνω σε μία ξύλινη σανίδα. Αναρωτήθηκαν εάν το βάρος του κιβωτίου επηρεάζει το πόσο μακριά μπορούν να το στείλουνε. Επίσης συμφώνησαν ότι θα το σπρώχνουν πάντα με την ίδια φόρα. Κάποιοι λένε ότι επηρεάζει και κάποιοι λένε ότι δεν επηρεάζει το βάρος του κιβωτίου. Εσύ τι θα τους πρότεινες να κάνουν για να δουν ποιοι έχουν δίκιο;

ΜΑΘ6: Να το δοκιμάσουν.

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: Να σου πω ότι έχουν μόνο αυτό το κιβώτιο και απλά το έχουν γεμίσει με άμμο.

ΜΑΘ6: Θα τους έλεγα να αδειάσουνε λίγη άμμο και μετά θα ήταν πιο εύκολο να το σπρώξουνε.

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: Πόσες δοκιμές να κάνουν;

ΜΑΘ6: Δύο

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: Περίγραψε αυτές τις δοκιμές

ΜΑΘ6: Στην πρώτη το δοχείο θα το γέμιζαν στο μισό με άμμο και θα το έσπρωχναν πάνω στη σανίδα, το δεύτερο πείραμα θα το έκαναν με καθόλου άμμο και θα το έσπρωχναν.

.....

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: Μπορείς να μου πεις πώς θα έβγαζες το συμπέρασμά σου;

ΜΑΘ6: Θα το δοκίμαζα, θα έβαζα ένα κουτί με γεμάτο άμμο και θα το έσπρωχνα πάνω στη σανίδα και μετά θα το άδειαζα από την άμμο και θα το έσπρωχνα με την ίδια δύναμη πάνω στη σανίδα και θα έβλεπα ότι με άδειο ήταν πιο εύκολο να το σπρώξω

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: Αν δεις αυτά που είπες τώρα τι συμπέρασμα θα έβγαζες;

ΜΑΘ6: ότι το βάρος επηρεάζει το πόσο μακριά πάει.

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: Αν έβλεπες το αντίθετο; Αν δηλαδή έβλεπες ότι και στις δύο περιπτώσεις πάει το ίδιο μακριά;

ΜΑΘ6: Θα έλεγα ότι το βάρος δεν επηρεάζει.

.....»

Στο έργο ΣΕΜ5α ο μαθητής αρχικά δυσκολεύεται να περιγράψει τη μέθοδο για τον έλεγχο της μεταβλητής 'βάρος του κιβωτίου' στο φαινόμενο της τριβής. Έπειτα όμως από αρκετές παραιναιτικές ερωτήσεις του ερευνητή καταφέρνει να την περιγράψει. Στο έργο ΣΕΜ5β δε, ο μαθητής αρχικά αναφέρεται στη διαδικασία για τον έλεγχο της μεταβλητής και έμμεσα στο συμπέρασμα αντί της μεθόδου για τον συμπερασμό. Οι υποβοηθητικές ερωτήσεις «*τι συμπέρασμα θα βγάλεις αν δεις αυτά που μόλις είπες*» και «*αν έβλεπες το αντίθετο;*» βοηθούν τον μαθητή να δείξει με έμμεσο τρόπο ότι γνωρίζει τη μέθοδο για τον συμπερασμό, παρόλο που δυσκολεύεται να τον εκφράσει. Παρόμοια εξέλιξη παρουσίασε και η συζήτηση στα έργα ΣΕΜ6α και ΣΕΜ6β, όπου στο πλαίσιο του φαινομένου της τριβής συζητήθηκε η μεταβλητή 'είδος επιφάνειας'. Παρακάτω, παραθέτουμε ενδεικτικό απόσπασμα από τις απαντήσεις του:

«.....»

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: Η παρέα αναρωτήθηκε αν υπάρχει και άλλος παράγοντας που επηρεάζει το πόσο μακριά θα πάει το κιβώτιο όταν το σπρώξουμε. Δηλαδή εκτός από το βάρος τι άλλο θα μπορούσε να το επηρεάζει;

ΜΑΘ6: Αν η σανίδα ήταν λεία και να ήταν σε κατηφόρα.

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: Να ελέγξουμε αν επηρεάσει το πόσο η σανίδα θα είναι λεία. Μπορείς να μου πεις πώς θα έκανες το πείραμα;

ΜΑΘ6: Θα έβαζα ένα κουτί με γεμάτη άμμο και θα το έσπρωχνα πάνω στην επιφάνεια με τα εξογκώματα και θα έβλεπα ότι δεν μπορεί να περάσει εύκολα την επιφάνεια και μετά θα έβαζα το ίδιο κουτί με γεμάτη άμμο πάνω στη λεία επιφάνεια και θα έβλεπα ότι πάει πιο μακριά.

.....»

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: Αν έκανες αυτό το πείραμα που είπες προηγουμένως θα έβγαζες κάποιο συμπέρασμα. Μπορείς να περιγράψεις τα βήματα που θα έκανε η σκέψη σου για να βγάλεις το συμπέρασμα αυτό;

ΜΑΘ6: Ότι η επιφάνεια επηρεάζει αν ένα κουτί θα πάει μακριά

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: Γιατί έβγαλες αυτό το συμπέρασμα; Πού στηρίχθηκες;

ΜΑΘ6: Επειδή έκανα το πείραμα και είδα.

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: Τι είδες;

ΜΑΘ6: Ότι μια επιφάνεια με εξογκώματα επηρεάζει το πόσο μακριά θα πάει το κουτί.

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: Για να έβγαζες το αντίθετο συμπέρασμα ότι δεν επηρεάζει η επιφάνεια της σανίδας τι θα έπρεπε να δεις;

ΜΑΘ6: Θα έπρεπε να δω ότι πάει όσο μακριά πάει και η λεία επιφάνεια σε αυτή με τα εξογκώματα

.....»

Παρατηρούμε ότι ο μαθητής ΜΑΘ6 περιγράφει με μεγαλύτερη ευκολία τη μέθοδο για τον έλεγχο της μεταβλητής στο έργο ΣΕΜ6α. Θεωρούμε ότι οι διαδικασίες της συνέντευξης καθώς και οι υποβοηθητικές ερωτήσεις του ερευνητή τον βοήθησαν να αντιληφθεί τα βήματα της μεθόδου και να μπορέσει να τα εκφράσει. Ωστόσο, παρατηρούμε ότι εκτός από την περιγραφή της μεθόδου αναφέρει και το αναμενόμενο από τον ίδιο αποτέλεσμα του πειράματος, γεγονός που δείχνει πόσο ισχυρή είναι η τάση να αναφέρει το συμπέρασμα στο οποίο νομίζει ότι θα καταλήξει. Αυτό γίνεται πιο φανερό στην απάντηση που δίνει αρχικά στο έργο ΣΕΜ6β, σχετικά με τη μέθοδο συμπερασμού. Χρειάστηκε και πάλι η υποβοηθητική ερώτηση «για να έβγαζες το αντίθετο συμπέρασμα τι θα έπρεπε να δεις;» για να μπορέσει ο μαθητής να περιγράψει τη μέθοδο του συμπερασμού με έμμεσο τρόπο. Καταλήγοντας, παρά τις αρχικές δυσκολίες, ο μαθητής ΜΑΘ6 μπόρεσε να περιγράψει τη μέθοδο ΣΕΜ για μεταβλητή που σχετίζεται με το φαινόμενο της Π/Β ακόμη και όταν αυτή η μεταβλητή δεν είχε διδαχθεί, μετά από τις παραινέσεις και υποβοηθητικές ερωτήσεις του ερευνητή. Τέλος, φάνηκε ότι τα κατάφερε να επεκτείνει τη χρήση της μεθόδου και στο φαινόμενο της τριβής.

Τέλος, στην κατηγορία 0 κατατάχθηκαν περίπου επτά μαθητές, όπως φαίνεται στους πίνακες 36 και 37. Οι μαθητές αυτοί έδειξαν ότι δεν κατανοούν ότι για τον έλεγχο μιας μεταβλητής πρέπει να αλλάζουμε μόνο τη μεταβλητή αυτή και να κρατάμε όλες τις άλλες σταθερές, κατά συνέπεια δεν μπόρεσαν να περιγράψουν ορθά τη μέθοδο ΣΕΜ. Επίσης, δεν κατάφεραν να συνδέσουν το συμπέρασμα με τις παρατηρήσεις από το πείραμα. Ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός ότι οι μαθητές που παρέμειναν σε αυτήν την κατηγορία και μετά από τις υποβοηθητικές ερωτήσεις του ερευνητή ήταν τρεις από τους πέντε, στα έργα ΣΕΜ3α και ΣΕΜ4α, ενώ στις υπόλοιπες περιπτώσεις πέντε έως έξι από τους επτά μαθητές που αρχικά κατατάχθηκαν στην κατηγορία 0. Χαρακτηριστική περίπτωση μαθητή που δεν κατάφερε να κατανοήσει και να περιγράψει τη μέθοδο ΣΕΜ και μετά τις υποβοηθητικές ερωτήσεις είναι ο μαθητής ΜΑΘ41. Στο παρακάτω ενδεικτικό απόσπασμα, φαίνεται η απάντησή του στο έργο ΣΕΜ3α, σχετικά με τον έλεγχο της διδαχθείσας μεταβλητής 'σχήμα αντικειμένου' στο πλαίσιο του φαινομένου της Π/Β καθώς και η απάντησή του στο έργο ΣΕΜ3β, σχετικά με τον συμπερασμό για τη μεταβλητή αυτή:

«.....»

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: Έστω ότι θέλεις να ελέγξεις αν το σχήμα ενός συμπαγούς αντικειμένου επηρεάζει την πλεύση ή τη βύθισή του σε ένα υγρό που βρίσκεται μέσα σε ένα δοχείο. Τι θα έκανες για να το ελέγξεις;

ΜΑΘ41: Δεν επηρεάζει.

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: Πώς θα το ελέγξουμε;

ΜΑΘ41: Θα δοκιμάζαμε ένα συμπαγές σώμα σε πολλά υγρά αν επιπλέει ή αν βυθίζεται.

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: Εμείς θέλουμε να ελέγξουμε όμως το σχήμα.

ΜΑΘ41: Θα δοκιμάζαμε πολλά σχήματα τότε.

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: Πόσα δοχεία.

ΜΑΘ41: Ένα.

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: Και ποιο υγρό;

ΜΑΘ41: Το νερό

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: Πόσα αντικείμενα θα πάρεις;

ΜΑΘ41: Τρία, ένα ορθογώνιο, ένα τετράγωνο και μια σφαίρα.

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: Θα σε πείραζε να είναι από διαφορετικά υλικά;

ΜΑΘ41: Όχι

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: Θα σε πείραζε να είχαν διαφορετικό βάρος;

ΜΑΘ41: Όχι.

.....
ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: Πως θα κατέληγες σε ένα συμπέρασμα;

ΜΑΘ41: Δεν ξέρω.

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: Ας πούμε ότι βγάζεις το συμπέρασμα ότι το σχήμα δεν επηρεάζει, πώς θα το έβγαζες το συμπέρασμα;

ΜΑΘ41: Θα έβλεπα ότι όλα επιπλέουν.

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: Αν όλα βυθίζονταν; Τι θα σήμαινε τότε;

ΜΑΘ41: Δεν είμαι σίγουρος.

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: Ας πούμε ότι βγάζεις το συμπέρασμα ότι το σχήμα επηρεάζει, πώς θα το έβγαζες το συμπέρασμα;

ΜΑΘ41: Με δοκιμές.

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: Τι θα έπρεπε να δεις;

ΜΑΘ41: Θα έβλεπα ποιο θα επέπλεε και ποιο θα βυθίζονταν.

.....»

Ο μαθητής ΜΑΘ41, στο έργο ΣΕΜ3α, αναφέρθηκε αρχικά στο συμπέρασμα αντί για τη μέθοδο ελέγχου της διδαχθείσας μεταβλητής στο φαινόμενο της Π/Β. Στη συνέχεια, στην προσπάθειά του να περιγράψει τη μέθοδο ελέγχου μεταβλητής, γίνεται φανερό ότι δεν κατανόησε την προϋπόθεση της μεθόδου, να αλλάζουμε μόνο τη μεταβλητή που ελέγχουμε και να κρατάμε τις άλλες όλες σταθερές. Στο έργο ΣΕΜ3β, φάνηκε ότι ο μαθητής δεν μπορεί να περιγράψει τη μέθοδο για τον συμπερασμό από τον έλεγχο της διδαχθείσας μεταβλητής στο φαινόμενο της Π/Β. Μετά την υποβοήθηση, μέσω της αναφοράς ενός συγκεκριμένου συμπεράσματος

«ας πούμε ότι βγάζεις το συμπέρασμα ότι», αναφέρει σωστά με βάση ποιες παρατηρήσεις θα κατέληγε σε αυτό. Ωστόσο, η επόμενη ερώτηση «αν όλα βυθίζονταν τι θα σήμαινε;» φαίνεται να μπερδεύει τον μαθητή. Στην ερώτηση δε, «ας πούμε ότι βγάζεις το συμπέρασμα ότι», αναφέροντας το αντίθετο συμπέρασμα από το προηγούμενο, ο μαθητής δεν μπορεί να εκφράσει με σαφήνεια τι θα έπρεπε να δει για να καταλήξει σε αυτό το αντίθετο συμπέρασμα. Παρόμοια εξέλιξη παρουσίασε η συζήτηση στο έργο ΣΕΜ4α, όπου στο πλαίσιο του φαινομένου Π/Β συζητήθηκε μια μεταβλητή που δεν είχε διδαχθεί κατά τη διάρκεια της παρέμβασης. Επίσης, στο έργο ΣΕΜ4β, ο μαθητής δεν μπορεί να περιγράψει τη μέθοδο για τον συμπερασμό από τον έλεγχο της μεταβλητής ούτε μετά την υποβοήθηση της αναφοράς ενός συγκεκριμένου συμπεράσματος, όπως φαίνεται στο παρακάτω απόσπασμα:

«.....»

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: Και πώς θα έβγαζες το συμπέρασμα;

ΜΑΘ41: Δεν ξέρω.

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: Για να έβγαζες το συμπέρασμα ότι το υλικό του δοχείου δεν επηρεάζει, τι έπρεπε να δεις;

ΜΑΘ41: Αν επηρεάζουν τα υλικά που βάλουμε στο δοχείο.

.....»

Καταλήγοντας, συμπεραίνουμε ότι ο μαθητής δυσκολεύτηκε να περιγράψει τη μέθοδο για τον έλεγχο αλλά και για τον συμπερασμό, τόσο στο φαινόμενο της Π/Β, που είχε διδαχθεί, όσο και στο φαινόμενο της τριβής, που δεν είχε διδαχθεί.

Ανακεφαλαιώνοντας την ανάλυση των απαντήσεων στις συνεντεύξεις, επισημαίνουμε ότι τρεις από τους δεκαεπτά μαθητές περιέγραψαν ορθά (κατηγορία 3) τη μέθοδο για τον έλεγχο μιας μεταβλητής στο φαινόμενο της Π/Β, είτε η μεταβλητή ήταν διδαχθείσα είτε μη διδαχθείσα, και τέσσερις από τους δεκαεπτά στο φαινόμενο της τριβής. Επίσης, τέσσερις από τους δεκαεπτά μαθητές περιέγραψαν ορθά τη μέθοδο για τον συμπερασμό από τον έλεγχο μιας μεταβλητής τόσο στο φαινόμενο της Π/Β όσο και στο φαινόμενο της τριβής. Η πλειοψηφία των υπόλοιπων μαθητών είτε ανέφερε το συμπέρασμα αντί της μεθόδου (κατηγορία 1) είτε φάνηκε να μη γνωρίζει τη μέθοδο (κατηγορία 0). Εντούτοις, οι περισσότεροι από αυτούς τους μαθητές, όπως συνέβη και στην πιλοτική εφαρμογή, μετά από υποβοηθητικές ερωτήσεις από τον ερευνητή, κατόρθωσαν να περιγράψουν ορθά (κατηγορία 3) ή έστω μερικώς ορθά (κατηγορία 2) τη μέθοδο. Παράδειγμα αποτελεί ο μαθητής ΜΑΘ4

του οποίου οι απαντήσεις παρουσιάζονται παραπάνω ως χαρακτηριστική περίπτωση στην κατηγορία 2, έχοντας ταυτόχρονα σε αυτές στοιχεία και από την κατηγορία 1. Άλλο παράδειγμα, που περιγράφεται επίσης παραπάνω, αποτελεί ο μαθητής ΜΑΘ6 που κατατάχθηκε στην κατηγορία 1.

Οι περισσότεροι μαθητές που περιέγραψαν ορθά, είτε αυθόρμητα είτε μετά από υποβοήθηση, τη μέθοδο για τον έλεγχο μιας μεταβλητής που σχετίζεται με το φαινόμενο της Π/Β, μπόρεσαν να επεκτείνουν τη γνώση τους αυτή και στο φαινόμενο της τριβής, που δεν το είχαν διδαχθεί. Το ίδιο παρατηρούμε όσον αφορά στη μέθοδο για τον συμπερασμό από τον έλεγχο μιας μεταβλητής. Αντίθετα, οι μαθητές που δεν κατάφεραν να περιγράψουν τη μέθοδο για τον έλεγχο μιας μεταβλητής στο φαινόμενο της Π/Β, ή/και τη μέθοδο για τον συμπερασμό στο ίδιο φαινόμενο, δεν κατόρθωσαν τελικά να περιγράψουν τη μέθοδο αυτή ούτε στο φαινόμενο της τριβής, ακόμη και μετά από υποβοήθηση.

Επιπλέον, παρατηρώντας τους δύο παραπάνω πίνακες, βλέπουμε ότι οι περισσότεροι μαθητές που κατόρθωσαν να περιγράψουν τη μέθοδο για τον έλεγχο μιας μεταβλητής, έστω και μετά από υποβοήθηση (Πίνακας 5.4.29), περιέγραψαν επίσης και τη μέθοδο για τον συμπερασμό, ανεξάρτητα από το φαινόμενο (Πίνακας 5.4.30).

Η εξέλιξη της συζήτησης και οι υποβοηθητικές ερωτήσεις της συνέντευξης, που φάνηκε να βοηθούν τους μαθητές είτε να αντιληφθούν καλύτερα τη μέθοδο και στη συνέχεια να την περιγράψουν με επιτυχία, είτε να κατανοήσουν καλύτερα το ερώτημα για να μπορέσουν να περιγράψουν με μεγαλύτερη σαφήνεια τη μέθοδο, είναι παρόμοιες με αυτές που παρατηρήθηκαν στην πιλοτική εφαρμογή. Παρακάτω, παραθέτουμε συνολικά την εξέλιξη της συζήτησης επισημαίνοντας ποια είναι τα στοιχεία που προέκυψαν στην κανονική εφαρμογή. Στην περίπτωση της μεθόδου για τον έλεγχο της μεταβλητής το αρχικό ερώτημα ήταν συνήθως «*Τι θα έκανες για να το ελέγξεις;*» ή «*Μπορείς να περιγράψεις πώς θα το ελέγξεις;*» ή τέλος, στην περίπτωση που θα προτείναμε ότι τον έλεγχο θα τον έκανε μια άλλη ομάδα παιδιών «*Τι θα τους συμβούλευες να κάνουν για να το ελέγξουν;*». Εάν ο μαθητής δυσκολευόταν να περιγράψει τη μέθοδο για τον έλεγχο της μεταβλητής ή ανέφερε το συμπέρασμα, τότε οι υποβοηθητικές ερωτήσεις που φάνηκε να βοηθούν ήταν «*Τι θα έκανες για να μου το αποδείξεις;*» ή «*Τι θα έκανες για να με πείσεις;*» στην πρώτη περίπτωση, ή «*Εσύ απάντησες ότι θα επηρεάσει. Φαντάστηκες κάποια διαδικασία για να δώσεις αυτήν την απάντηση; Τι φαντάστηκες;*» στη δεύτερη περίπτωση. Επίσης υπήρχαν

περιπτώσεις στις οποίες ο μαθητής περιέγραφε τη διαδικασία αλλά δεν περιλάμβανε όλα τα στοιχεία της, π.χ. ανέφερε τα αντικείμενα που θα χρειαζόταν, τον αριθμό δοκιμών που θα έκανε και ότι θα άλλαζε τη μεταβλητή που θα ήθελε να ελέγξει, αλλά παρέλειπε να δηλώσει εάν θα κρατούσε όλες τις άλλες μεταβλητές σταθερές. Με σκοπό να αναδείξουμε την άποψη του μαθητή σε τέτοιες περιπτώσεις, για παράδειγμα στο έργο ΣΕΜ3α, όπου η μεταβλητή που ελέγχαμε ήταν το 'σχήμα του αντικειμένου' στο φαινόμενο της Π/Β, χρησιμοποιήσαμε ερωτήσεις όπως «*θα σε πείραζε εάν το ένα αντικείμενο είναι από ξύλο και το άλλο από σίδηρο;*».

Μοναδικό στοιχείο υποβοήθησης που αναδείχθηκε κατά τη διάρκεια των συνεντεύξεων στην κανονική εφαρμογή, ήταν στις ελάχιστες περιπτώσεις που ο μαθητής ανέφερε ότι θα έκανε, εν γένει, ένα πείραμα. Ερωτήσεις που φάνηκε να βοήθησαν τους μαθητές σε τέτοιες περιπτώσεις ήταν του τύπου «*Μπορείς να μου πεις αναλυτικά τι πείραμα θα έκανες, τι υλικά θα χρειαζόσουν;*».

Στην περίπτωση της μεθόδου για τον συμπερασμό από τον έλεγχο της μεταβλητής το αρχικό ερώτημα ήταν συνήθως «*Θα έβγαζες κάποιο συμπέρασμα. Μπορείς να περιγράψεις τα βήματα που έκανε η σκέψη σου για να βγάλεις αυτό το συμπέρασμα;*». Εάν ο μαθητής δυσκολευόταν να περιγράψει τη μέθοδο για τον συμπερασμό ή ανέφερε το συμπέρασμα, τότε οι υποβοηθητικές ερωτήσεις που φάνηκε να βοηθούν ήταν ερωτήσεις με τις οποίες ο ερευνητής προσπάθησε να κάνει πιο σαφές ότι δε συζητούσαμε για το συμπέρασμα αλλά για τον συλλογισμό με τον οποίο θα καταλήγαμε στο συμπέρασμα, π.χ. «*Θα έβγαζες κάποιο συμπέρασμα από αυτή τη διαδικασία. Πώς θα το έβγαζες αυτό το συμπέρασμα;*». Επίσης, χρησιμοποιήσαμε ερωτήσεις οι οποίες έδιναν έμφαση στο γεγονός ότι για να βγάλουμε συμπέρασμα θα έπρεπε να παρατηρήσουμε την έκβαση του πειράματος, π.χ. «*Γιατί θα το έλεγες αυτό; Τι θα έπρεπε να δεις για να βγάλεις αυτό το συμπέρασμα;*» ή «*ποιες ήταν οι παρατηρήσεις που κάναμε για να βγάλουμε αυτό το συμπέρασμα;*».

Στην κανονική εφαρμογή, φάνηκε ότι ερωτήσεις του τύπου α) «*Όταν κάνεις το πείραμα σκέφτεσαι κάποια πράγματα για να πεις αν επηρεάζει ή όχι το σχήμα. Τι σκέφτηκες για να καταλήξεις σε αυτό το συμπέρασμα;*» και β) «*Ας πούμε ότι βγάζεις το συμπέρασμα ότι ..., πώς θα έβγαζες αυτό το συμπέρασμα;*» ή «*Ποιο θα ήταν το συμπέρασμα που θα έβγαζες; Τι θα έπρεπε να δεις για να καταλήξεις σε αυτό;*», βοήθησαν αρκετά τους μαθητές να εκφράσουν την άποψή τους. Πιθανόν να παίζει σημαντικό ρόλο το γεγονός ότι οι ερωτήσεις αυτές εστιάζουν είτε στις σκέψεις που

κάνουμε για να καταλήξουμε στο συμπέρασμα, στην περίπτωση (α), είτε σε ένα συγκεκριμένο συμπέρασμα και στον συλλογισμό για να καταλήξουμε σε αυτό, στην περίπτωση (β). Επιπλέον, στην κανονική εφαρμογή φάνηκε ότι σημαντικό ρόλο έπαιξαν και ερωτήσεις που εστιάζουν στο αντίθετο συμπέρασμα από αυτό που ο μαθητής θεωρεί ότι είναι το αναμενόμενο, π.χ. «*Τι νομίζεις ότι θα έπρεπε να δεις για να βγάλεις το αντίθετο συμπέρασμα;*» ή «*αν έβλεπες ότι στο ένα επέπλεε και στο άλλο δοχείο βυθιζόταν τι συμπέρασμα θα έβγαζες;*».

5.4.3.γ Σύνοψη των αποτελεσμάτων σχετικά με την κατανόηση της Στρατηγικής Ελέγχου Μεταβλητών στην κανονική εφαρμογή

Οι απαντήσεις των μαθητών στα γραπτά ερωτηματολόγια της κανονικής εφαρμογής σχετικά με την κατανόηση της μεθόδου για τον έλεγχο μιας μεταβλητής, παρουσίασαν στατιστικά σημαντική βελτίωση, ήδη από το ενδιάμεσο ερωτηματολόγιο, η οποία διατηρήθηκε και επτά μήνες μετά την παρέμβαση. Αντίθετα, δεν υπήρξε στατιστικά σημαντική βελτίωση στην κατανόηση της μεθόδου για τον συμπερασμό από τον έλεγχο μιας μεταβλητής. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης των συνεντεύξεων, σχετικά με την κατανόηση της μεθόδου για τον έλεγχο μιας μεταβλητής, είναι σε συμφωνία με τα αποτελέσματα της ανάλυσης των γραπτών ερωτηματολογίων. Αντίθετα, από τα αποτελέσματα της ανάλυσης των συνεντεύξεων σχετικά με την κατανόηση της μεθόδου για τον συμπερασμό από τον έλεγχο της μεταβλητής φαίνεται ότι οι μαθητές δυσκολεύτηκαν περισσότερο στα γραπτά ερωτηματολόγια από ό,τι στη συνέντευξη.

Επίσης, αρκετοί από τους μαθητές, οι οποίοι στα γραπτά ερωτηματολόγια ανέφεραν το συμπέρασμα αντί της μεθόδου (κατηγορία 1), στις συνεντεύξεις, μετά από υποβοηθητικές ερωτήσεις από τον ερευνητή, περιέγραψαν τόσο τη μέθοδο για τον έλεγχο όσο και τη μέθοδο για τον συμπερασμό από τον έλεγχο μιας μεταβλητής, είτε ορθά (κατηγορία 3) είτε μερικώς ορθά (κατηγορία 2).

Οι περισσότεροι μαθητές οι οποίοι στη συνέντευξη περιέγραψαν ορθά, είτε αυθόρμητα είτε μετά από υποβοήθηση, τη μέθοδο για τον έλεγχο ή για τον συμπερασμό από τον έλεγχο μιας μεταβλητής στο φαινόμενο της Π/Β, το οποίο είχαν διδαχθεί, μπόρεσαν να επεκτείνουν τη γνώση τους αυτή και σε φαινόμενο που δεν το είχαν διδαχθεί (τριβή). Αντίθετα, οι μαθητές που δεν κατάφεραν να περιγράψουν τη μέθοδο ΣΕΜ στο φαινόμενο της Π/Β, δεν μπόρεσαν να περιγράψουν τη μέθοδο αυτή ούτε στο φαινόμενο της τριβής, ακόμη και μετά από

υποβοήθηση. Επιπλέον, οι περισσότεροι μαθητές που κατόρθωσαν να περιγράψουν τη μέθοδο για τον έλεγχο μιας μεταβλητής, έστω και μετά από υποβοήθηση, περιέγραψαν επίσης και τη μέθοδο για τον συμπερασμό, ανεξάρτητα από το φαινόμενο.

5.4.4 Αποτελέσματα σχετικά με την κατανόηση της φύσης και του ρόλου των μοντέλων στην κανονική εφαρμογή

5.4.4.α Αποτελέσματα από τα γραπτά ερωτηματολόγια σχετικά με την κατανόηση της φύσης και του ρόλου των μοντέλων στην κανονική εφαρμογή

Έργο M1 Φύση των μοντέλων στην κανονική εφαρμογή

Στο έργο M1 (Πίνακας 4.2 και Παράρτημα Β.2), ζητείται από τους μαθητές να γράψουν μια πρόταση με τη λέξη μοντέλο. Στην κατηγορία 1 (Πίνακας 5.4.31), κατατάξαμε τις απαντήσεις που δηλώνουν ότι ένα μοντέλο είναι μια αναπαράσταση ενός στόχου, είτε θεωρείται πιστό αντίγραφο είτε όχι, ακόμη και όταν αυτό δηλώνεται έμμεσα. Πιο συγκεκριμένα, στην κατηγορία 1, κατατάχθηκαν μηδέν μαθητές πριν, δεκαοκτώ μαθητές ενδιάμεσα, είκοσι τρεις μαθητές μετά την παρέμβαση και είκοσι δύο μαθητές επτά μήνες μετά την παρέμβαση. Οι περισσότεροι μαθητές ανέφεραν ένα ή περισσότερα από τα χαρακτηριστικά στοιχεία που διδάχθηκαν για τα μοντέλα, ιδίως στο μετά και το επτά μήνες μετά ερωτηματολόγιο. Για παράδειγμα, ορισμένοι από αυτούς ανέφεραν ότι ένα μοντέλο είναι μια αναπαράσταση και ότι δεν είναι ακριβώς ίδιο με αυτό που αναπαριστά, π.χ. «Μοντέλο σημαίνει μία αναπαράσταση ενός πράγματος όχι όμως ακριβώς όπως είναι στην πραγματικότητα» ή «Το μοντέλο αναπαριστά ένα πράγμα, π.χ. τη γη σε υδρόγειο σφαίρα» ή ακόμη «Το μοντέλο είναι μια αναπαράσταση που έχει μικρό μέγεθος». Άλλοι, ανέφεραν τη χρησιμότητα ενός μοντέλου στη διδασκαλία, π.χ. «Στο μάθημα της φυσικής χρησιμοποιούμε μοντέλα για να μπορούμε να καταλάβουμε πώς είναι το πραγματικό, π.χ. Πλοίο» ή «Ένα μοντέλο μας βοηθάει να ελέγξουμε αυτό που απαντήσαμε». Λιγότεροι είναι οι μαθητές που αναφέρθηκαν σε παραδείγματα μοντέλων, από τα οποία άλλα συζητήθηκαν στη διάρκεια της παρέμβασης, π.χ. «Τα κυβάρια με τις τελίτσες είναι μοντέλα», και άλλα δε συζητήθηκαν, π.χ. «Στο χημείο του σχολείου μου υπάρχει ένα μοντέλο με ανθρώπινο σώμα». Κατατάξαμε αυτές τις τελευταίες απαντήσεις στην κατηγορία 1 διότι θεωρήσαμε ότι οι μαθητές που ανέφεραν παραδείγματα μοντέλων

έκαναν έμμεση αναφορά στο γεγονός ότι ένα μοντέλο είναι μια αναπαράσταση. Όλες οι απαντήσεις, εκτός από μία, που κατατάχθηκαν στην κατηγορία 1 στην πιλοτική εφαρμογή, ήταν απαντήσεις αυτής της τελευταίας υποκατηγορίας, δηλαδή απαντήσεις με αναφορά σε παραδείγματα μοντέλων. Αντίθετα, όπως φάνηκε από την παραπάνω παρουσίαση των αποτελεσμάτων, στην κανονική εφαρμογή, αυτές οι απαντήσεις είναι λιγότερες από τις μισές. Στην κατηγορία 0, κατατάξαμε τις απαντήσεις που συνδέουν ένα μοντέλο με την πραγματικότητα και δεν το θεωρούν αναπαράσταση ενός στόχου, π.χ. «τα μοντέλα δεν πρέπει να τρώνε πολύ για να μην παχαίνουν» ή «υπάρχουν πάρα πολλά μοντέλα κινητών» ή «Σήμερα πήρα ένα καινούριο μοντέλο τζάγκουαρ».

Πίνακας 5.4.31 Απόψεις των μαθητών στο έργο M1 σχετικά με τη φύση των μοντέλων

Κατηγορίες	ΠρινΕΚ	ΕνδιαμΕΚ2	ΜετάΕΚ	ΜΜετάΕΚ
1: αναπαράσταση	0	18	23	22
0: πραγματικότητα	41	23	18	19
Σύνολο	41	41	41	41

Στον πίνακα 5.4.31 φαίνεται ότι στο πριν ερωτηματολόγιο σε όλες τις απαντήσεις υπάρχει ταύτιση του μοντέλου με την πραγματικότητα. Ήδη από το ενδιάμεσο ερωτηματολόγιο οι απαντήσεις που κατατάχθηκαν στην κατηγορία 1 διότι ανέφεραν, άμεσα ή έμμεσα, ένα ή περισσότερα από τα χαρακτηριστικά στοιχεία που διδάχθηκαν για τα μοντέλα, προσεγγίζουν τις μισές. Στο μετά αλλά και στο επτά μήνες μετά ερωτηματολόγιο οι απαντήσεις που κατατάσσονται στην κατηγορία 1 είναι περισσότερες από τις μισές. Η βελτίωση που παρατηρείται είναι στατιστικά σημαντική τόσο στο ενδιάμεσο ερωτηματολόγιο ($z=4.243, p=.000$) όσο και αμέσως μετά την παρέμβαση ($z=4.796, p=.000$) και διατηρείται επτά μήνες μετά από αυτήν ($z=.333, p=.739$).

Έργο M2α Χρήση του μοντέλου ενός ματιού στην κανονική εφαρμογή

Στο έργο M2α (Πίνακας 4.2 και Παράρτημα Β.2), στην κατηγορία 1 (Πίνακας 5.4.32), κατατάξαμε τις απαντήσεις στις οποίες το φυσικό μοντέλο ενός ματιού θεωρείται εργαλείο για τη μάθηση και την κατανόηση των συστατικών του ή/και της λειτουργίας του, και στις οποίες αναφέρεται η χρήση του ως μέσο μεταφοράς πληροφοριών. Στην κατηγορία αυτή κατατάχθηκαν είκοσι τέσσερις μαθητές πριν την παρέμβαση,

είκοσι πέντε ενδιάμεσα, είκοσι εννέα μετά και είκοσι επτά μαθητές επτά μήνες μετά την παρέμβαση. Χαρακτηριστική απάντηση είναι «*Μας χρησιμεύει στην ανάλυση του ανθρώπινου ματιού δηλαδή από ποια μέρη αποτελείται*» ή «*Καταλαβαίνουμε περίπου πώς λειτουργεί το πραγματικό μας μάτι και να καταλάβουμε πώς περίπου είναι από μέσα*» ή «*για να μάθουμε πώς είναι το μάτι μας από μέσα*» ή «*μας βοηθάει στο να δούμε τη δομή του ματιού*» ή «*για να δούμε το πόσο μπορεί να στρίψει ένα μάτι και το πώς φαίνεται*». Είναι ενδιαφέρον ότι οι παραπάνω απαντήσεις είναι όλες πριν την παρέμβαση. Στην κατηγορία 0 κατατάξαμε τις απαντήσεις που συνδέουν την κατασκευή του ματιού που φαίνεται στην εικόνα με την πραγματικότητα και δεν τη θεωρούν εργαλείο μάθησης και κατανόησης. Χαρακτηριστική απάντηση είναι «*Μας χρησιμεύει να διαβάζουμε, να βλέπουμε τι κάνουμε και μας βοηθάει σε πολλά πράγματα*» ή «*Μπορούμε να τη χρησιμοποιήσουμε για να φτιάξουμε μια κατασκευή έναν άνθρωπο και πολλά άλλα*» ή «*Μπορεί να μας χρησιμεύσει σαν ένα αντικείμενο για πείραμα ή για μια ηλεκτρική συσκευή*».

Πίνακας 5.4.32 Απόψεις των μαθητών στο έργο M2α σχετικά με τη χρήση του μοντέλου ενός ματιού

Κατηγορίες	ΠρινΕΚ	ΕνδιαμΕΚ2	ΜετάΕΚ	ΜΜετάΕΚ
1: μέσο μεταφοράς πληροφοριών	24	25	29	27
0: πραγματικότητα	17	16	12	14
Σύνολο	41	41	41	41

Παρατηρούμε ότι σημαντικός αριθμός μαθητών αναγνώρισε τον ρόλο ενός φυσικού μοντέλου ήδη πριν την παρέμβαση. Η βελτίωση που παρατηρούμε στις απαντήσεις των μαθητών μετά την παρέμβαση είναι οριακά στατιστικά σημαντική ($z=1.890$, $p=.059$) και διατηρείται επτά μήνες μετά ($z=1.000$, $p=.317$).

Έργο M2β Ονομασία του μοντέλου ενός ματιού στην κανονική εφαρμογή

Στο έργο M2β (Πίνακας 4.2 και Παράρτημα Β.2), στην κατηγορία 1 (Πίνακας 5.4.33) κατατάξαμε τις απαντήσεις στις οποίες το όνομα που αποδίδεται στο φυσικό μοντέλο ενός ματιού δείχνει ότι ο μαθητής αντιλαμβάνεται αυτήν την κατασκευή ως αναπαράσταση ενός ματιού και τη διαφοροποιεί από την πραγματικότητα. Στην κατηγορία 1 κατατάχθηκαν τέσσερις μαθητές πριν την παρέμβαση, δώδεκα μαθητές ενδιάμεσα, δεκαπέντε μαθητές μετά την παρέμβαση και δεκαέξι μαθητές επτά μήνες μετά την παρέμβαση. Χαρακτηριστικές απαντήσεις είναι οι εξής: «*Αναπαράσταση*

ματιού», «Μοντέλο ενός ματιού», «Θα το ονομάσω μοντέλο ενός ματιού επειδή είναι φεύτικο και απλώς παριστάνει το αληθινό» ή «θα το ονόμαζα 'μοντέλο'». Στην ίδια κατηγορία κατατάξαμε και τις ελάχιστες απαντήσεις στις οποίες υπονοείται η χρήση της έννοιας αναπαράσταση ματιού, π.χ. «Το μάτι του ανθρώπου». Οι απαντήσεις αυτές εμφανίστηκαν κυρίως στο πριν και το ενδιάμεσο ερωτηματολόγιο. Στην κατηγορία 0 κατατάξαμε τις απαντήσεις στις οποίες γίνεται χρήση μιας ονομασίας που δε δηλώνει αναπαράσταση, αλλά αναφέρεται στην πραγματικότητα, π.χ. «πλαστικό μάτι», «μια παράξενη κατασκευή», «Μάτι» ή ακόμη «κατασκευή θα την ονόμαζα ένα τεχνητό μάτι».

Πίνακας 5.4.33 Απόψεις των μαθητών στο έργο M2β σχετικά με την ονομασία του μοντέλου ενός ματιού

Κατηγορίες	ΠρινΕΚ	ΕνδιαμΕΚ2	ΜετάΕΚ	ΜΜετάΕΚ
1: αναπαράσταση	4	12	15	16
0: πραγματικότητα	37	29	26	25
Σύνολο	41	41	41	41

Στον πίνακα 5.4.33 φαίνεται ότι στο πριν ερωτηματολόγιο στην πλειοψηφία των απαντήσεων το μοντέλο συνδέεται με την πραγματικότητα. Η βελτίωση που παρατηρούμε μετά την παρέμβαση είναι στατιστικά σημαντική τόσο στο ενδιάμεσο ερωτηματολόγιο ($z=2.828$, $p=.005$) όσο και αμέσως μετά την παρέμβαση ($z=3.317$, $p=.001$) ενώ διατηρείται επτά μήνες μετά ($z=.302$, $p=.763$).

Έργο M3α Χρήση του σχεδιαγράμματος ενός πλοίου στην κανονική εφαρμογή

Στο έργο M3α (Πίνακας 4.2 και Παράρτημα Β.2), στην κατηγορία 1 (Πίνακας 5.4.34) κατατάξαμε τις απαντήσεις στις οποίες τα σχέδια του πλοίου θεωρούνται εργαλείο για την κατανόηση και τον προσανατολισμό και στις οποίες αναφέρεται η χρήση του ως μέσο μεταφοράς πληροφοριών. Στην κατηγορία αυτή κατατάχθηκαν είκοσι τέσσερις μαθητές πριν την παρέμβαση, τριάντα ένα ενδιάμεσα, τριάντα τέσσερις μετά την παρέμβαση και τριάντα δύο επτά μήνες μετά. Χαρακτηριστικές απαντήσεις είναι «Το πρώτο σκίτσο σε περίπτωση που το πλοίο βυθιστεί να ξέρουν οι επιβάτες πού θα πάνε. Το δεύτερο σκίτσο για να ξέρουν πού υπάρχει το καθετί μέσα στο πλοίο», «Για να προσανατολιστούμε στο πλοίο πού βρισκόμαστε» ή ακόμη «Στην

κατανόηση πώς είναι από μέσα οι όροφοι και τα πατώματα». Οι απαντήσεις αυτές είναι από το πριν και το ενδιάμεσο ερωτηματολόγιο.

Πίνακας 5.4.34 Απόψεις των μαθητών στο έργο Μ3α σχετικά με τη χρήση του σχεδιαγράμματος ενός πλοίου

Κατηγορίες	ΠρινΕΚ	ΕνδιαμΕΚ2	ΜετάΕΚ	ΜΜετάΕΚ
1: μέσο μεταφοράς πληροφοριών	24	31	34	32
0: πραγματικότητα	17	10	7	9
Σύνολο	41	41	41	41

Στην κατηγορία 0 κατατάξαμε τις απαντήσεις που συνδέουν τα σχέδια του πλοίου με την πραγματικότητα και δεν τα θεωρούν εργαλεία για την κατανόηση και τον προσανατολισμό στο χώρο. Χαρακτηριστικές απαντήσεις είναι οι εξής: «*Το πρώτο για να μένουν άνθρωποι. Στο άλλο είναι νοσοκομεία*» ή «*θα μας χρησιμεύσει σαν ένα πλοίο*» ή «*Το πρώτο είναι για να μεταφέρει κόσμο και το δεύτερο για να ψαρεύουν*». Τα αποτελέσματα στο έργο Μ3α είναι παρόμοια με αυτά στο έργο Μ2α. Παρατηρούμε ότι και σε αυτήν την περίπτωση, σημαντικός αριθμός μαθητών αναγνώρισε τον ρόλο ενός φυσικού μοντέλου ήδη πριν την παρέμβαση. Η βελτίωση στις απαντήσεις των μαθητών μετά την παρέμβαση είναι οριακά στατιστικά σημαντική στο ενδιάμεσο ερωτηματολόγιο ($z=1.941$, $p=.052$) και στατιστικά σημαντική αμέσως μετά την παρέμβαση ($z=2.887$, $p=.004$), ενώ διατηρείται επτά μήνες μετά ($z=.707$, $p=.480$).

Έργο Μ3β Ονομασία του σχεδιαγράμματος ενός πλοίου στην κανονική εφαρμογή

Στο έργο Μ3β (Πίνακας 4.2 και Παράρτημα Β.2), στην κατηγορία 1 (Πίνακας 5.4.35) κατατάξαμε τις απαντήσεις στις οποίες το όνομα που αποδίδεται στα σχέδια του πλοίου δείχνει ότι ο μαθητής αντιλαμβάνεται αυτά τα σχέδια ως αναπαράσταση ενός πλοίου και τα διαφοροποιεί από την πραγματικότητα.

Στην κατηγορία 1 κατατάχθηκαν δέκα μαθητές πριν την παρέμβαση, δεκαεπτά μαθητές ενδιάμεσα, είκοσι δύο μαθητές μετά την παρέμβαση και δεκαοκτώ μαθητές επτά μήνες μετά την παρέμβαση. Χαρακτηριστικές απαντήσεις είναι οι εξής: «*Το μοντέλο ενός караβιού*», «*Αναπαράσταση ενός πλοίου*» ή ακόμη «*Αντίγραφα των πλοίων*». Στην ίδια κατηγορία κατατάξαμε και τις ελάχιστες απαντήσεις στις οποίες

υπονοείται η χρήση της έννοιας αναπαράσταση πλοίου, π.χ. «σχέδια πλοίων», «οδηγοί πλοίων» ή ακόμη «σκίτσο πλοίου». Οι απαντήσεις αυτές εμφανίστηκαν κυρίως στο πριν και το ενδιάμεσο ερωτηματολόγιο. Στην κατηγορία 0 κατατάξαμε τις απαντήσεις στις οποίες γίνεται χρήση μιας ονομασίας που δε δηλώνει αναπαράσταση, αλλά αναφέρεται στην πραγματικότητα, π.χ. «καράβι», «Θα το ονόμαζα σκίτσο», «Σχεδιάγραμμα», «Ο μεταφορέας ανθρώπων και ο μεταφορέας πραγμάτων» ή ακόμη «Το πρώτο οι όροφοι του πλοίου και το δεύτερο τα πράγματα του πλοίου από ψηλά».

Πίνακας 5.4.35 Απόψεις μαθητών στο έργο M3β σχετικά με την ονομασία του σχεδιαγράμματος ενός πλοίου

Κατηγορίες	ΠρινΕΚ	ΕνδιαμΕΚ2	ΜετάΕΚ	ΜΜετάΕΚ
1: αναπαράσταση	10	17	22	18
0: πραγματικότητα	31	24	19	23
Σύνολο	41	41	41	41

Στον πίνακα 5.4.35 φαίνεται ότι στο πριν ερωτηματολόγιο στην πλειοψηφία των απαντήσεων το μοντέλο συνδέεται με την πραγματικότητα. Η βελτίωση που παρατηρούμε μετά την παρέμβαση είναι στατιστικά σημαντική τόσο στο ενδιάμεσο ερωτηματολόγιο ($z=2.111$, $p=.035$) όσο και αμέσως μετά την παρέμβαση ($z=3.000$, $p=.003$), ενώ διατηρείται επτά μήνες μετά ($z=1.265$, $p=.206$).

Έργο M4 Χρήση του μοντέλου «τελίτσες-στο-κυβάκι» στην κανονική εφαρμογή

Στο έργο M4 (Πίνακας 4.2 και Παράρτημα Β.2), στην κατηγορία 1 (Πίνακας 5.4.36) κατατάξαμε τις απαντήσεις στις οποίες το οπτικό μοντέλο της πυκνότητας θεωρείται μέσο μεταφοράς πληροφοριών και εργαλείο για να βλέπουμε την πυκνότητα ή για να καταλαβαίνουμε ποιο αντικείμενο έχει μεγαλύτερη πυκνότητα από ένα άλλο. Στην κατηγορία αυτή κατατάχθηκαν είκοσι επτά μαθητές ενδιάμεσα, τριάντα ένα μαθητές μετά την παρέμβαση και τριάντα τέσσερις μαθητές επτά μήνες μετά την παρέμβαση. Χαρακτηριστικές απαντήσεις είναι οι εξής: «Μας βοηθάει να βλέπουμε την πυκνότητα», «για να βλέπουμε το πόσο πυκνότητα έχει το κάθε υλικό», «Να καταλάβουμε ποιο υλικό έχει μεγαλύτερη πυκνότητα και ποιο έχει μικρότερη» ή ακόμη «Στο να ξεχωρίσουμε τα υλικά». Στην κατηγορία 1 κατατάξαμε και τις λιγότερες απαντήσεις, στις οποίες το μοντέλο της πυκνότητας θεωρείται ένα

εργαλείο για την εξήγηση ή/και την πρόβλεψη του φαινομένου της Π/Β, π.χ. «Να καταλάβουμε αν αυτά πλέουν ή βυθίζονται», «Για να δούμε αν κάτι επιπλεύσει ή βυθιστεί» ή ακόμη «Με τις τελίτσες καταλαβαίνουμε όταν έχει περισσότερες τελίτσες από το υγρό βυθίζεται και όταν έχει λιγότερες επιπλέει». Στην κατηγορία 0, κατατάξαμε τις απαντήσεις που συνδέουν το μοντέλο της πυκνότητας με την πραγματικότητα και δεν το θεωρούν εργαλείο, π.χ. «Για να βλέπουμε σε τι μας βοηθάει η γλυκερίνη» ή «να μην το ξεχνάμε εύκολα».

Πίνακας 5.4.36 Απόψεις των μαθητών στο έργο M4 σχετικά με τη χρήση του μοντέλου «τελίτσες-στο-κυβάκι»

Κατηγορίες	ΕνδιαμΕΚ2	ΜετάΕΚ	ΜΜετάΕΚ
1: μέσο μεταφοράς πληροφοριών	27	31	34
0: πραγματικότητα	14	10	7
Σύνολο	41	41	41

Παρατηρούμε ότι και σε αυτήν την περίπτωση, όπως και στα έργα M2α και M3α, ένας σημαντικός αριθμός μαθητών αναγνωρίζει τον ρόλο του οπτικού μοντέλου της πυκνότητας ως μέσο μεταφοράς πληροφοριών και ως εργαλείο για τη σύγκριση πυκνοτήτων ή για την εξήγηση ή/και την πρόβλεψη του φαινομένου της Π/Β.

Σύνοψη των αποτελεσμάτων από τα γραπτά ερωτηματολόγια σχετικά με την κατανόηση της φύσης και του ρόλου των μοντέλων στην κανονική εφαρμογή

Με τα έργα M1, M2β και M3β διερευνούμε εάν οι μαθητές αναγνωρίζουν ένα μοντέλο ως αναπαράσταση και εάν το διακρίνουν από την πραγματικότητα. Σε όλα τα έργα παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική βελτίωση, τόσο στο ενδιαμέσο ερωτηματολόγιο (μετά την 4^η ενότητα) όσο και αμέσως μετά την παρέμβαση, η οποία διατηρήθηκε επτά μήνες μετά.

Παρατηρούμε επίσης ότι, στο έργο M1, ένα έργο ανοιχτού τύπου όπου οι μαθητές κλήθηκαν να γράψουν μια πρόταση με τη λέξη μοντέλο, έδειξαν να συγχέουν το μοντέλο με την πραγματικότητα και να μην το αντιλαμβάνονται ως αναπαράσταση, π.χ. ενός αντικειμένου ή μιας διαδικασίας. Αντίθετα στο έργο M2β, όπου το ερώτημα αναφέρεται σε συγκεκριμένο μοντέλο το οποίο τους είναι σχετικά οικείο, τέσσερις από τους σαράντα ένα μαθητές έδωσαν απαντήσεις στις οποίες φάνηκε ότι αντιλήφθηκαν το φυσικό μοντέλο του ματιού ως αναπαράσταση του ματιού. Επίσης,

στο έργο M3β, όπου το ερώτημα αναφέρεται και πάλι σε συγκεκριμένο μοντέλο το οποίο είναι σχετικά οικείο στους μαθητές, δέκα από τους σαράντα ένα μαθητές δίνουν απαντήσεις στις οποίες φάνηκε ότι αντιλήφθηκαν το οπτικό στατικό μοντέλο του πλοίου ως αναπαράσταση του πλοίου.

Με τα έργα M2α, M3α και M4 διερευνήθηκε εάν οι μαθητές αναγνωρίζουν ένα μοντέλο ως μέσο μεταφοράς πληροφοριών. Στα έργα M2α και M3α παρατηρήθηκε ότι σημαντικός αριθμός μαθητών αναγνωρίζει την περιγραφική, και σε ορισμένες περιπτώσεις την ερμηνευτική, ιδιότητα του οπτικού μοντέλου του ματιού και του σχεδιαγράμματος καταστρωμάτων ενός πλοίου, ήδη πριν την παρέμβαση. Η βελτίωση που παρατηρήθηκε στις απαντήσεις των μαθητών μετά την παρέμβαση ήταν στατιστικά σημαντική (οριακά στο έργο M2α) και διατηρήθηκε επτά μήνες μετά. Στην περίπτωση μάλιστα του έργου M3α η βελτίωση ήταν οριακά μεν αλλά στατιστικά σημαντική και στο ενδιάμεσο ερωτηματολόγιο. Τα αποτελέσματα δε στο έργο M4, είναι παρόμοια με αυτά στα έργα M2α και M3α.

5.4.4.β Αποτελέσματα από τις συνεντεύξεις σχετικά με την κατανόηση της φύσης και του ρόλου των μοντέλων στην κανονική εφαρμογή

Στους πίνακες 5.4.37 και 5.4.38 φαίνονται οι απόψεις των μαθητών σχετικά με τη φύση και τον ρόλο των μοντέλων, με βάση την ανάλυση των απαντήσεών τους στη συνέντευξη. Πιο συγκεκριμένα, στον πίνακα 5.4.37 φαίνονται οι απόψεις των μαθητών σχετικά με τη φύση ενός μοντέλου, δηλαδή με το εάν αναγνώρισαν ότι η αναπαράσταση «τελίτσες-στο-κυβάκι» της πυκνότητας, η οποία διδάχθηκε (έργο M5α), καθώς και μια αναπαράσταση του κύκλου του νερού που δε διδάχθηκε (έργο M6α), είναι μοντέλα. Επίσης, στον πίνακα 5.4.38, φαίνονται οι απόψεις των μαθητών σχετικά με τον ρόλο των δύο παραπάνω μοντέλων. Δηλαδή, εάν οι μαθητές αναγνώρισαν ότι το μοντέλο χρησιμοποιείται ως εργαλείο για την ερμηνεία ή/και την πρόβλεψη: α) του φαινομένου της Π/Β (έργο M5β), και β) φαινομένων που εμπλέκονται στον κύκλο του νερού (έργο M6β) αντίστοιχα.

Από τον πίνακα 5.4.37 φαίνεται ότι οι μαθητές οι οποίοι αναγνώρισαν αυθόρμητα τις δύο κατασκευές ως μοντέλα ήταν έξι από τους δέκα επτά, τόσο στην περίπτωση της αναπαράστασης «τελίτσες-στο-κυβάκι» όσο και στην περίπτωση της αναπαράστασης του κύκλου του νερού.

Επίσης, στον πίνακα 5.4.38 φαίνεται ότι δέκα από τους δεκαεπτά μαθητές ανέφεραν αυθόρμητα τη χρήση του μοντέλου ως εργαλείου για την ερμηνεία ή/και την

πρόβλεψη ενός φαινομένου και στις δύο περιπτώσεις. Επίσης, σχεδόν όλοι οι υπόλοιποι μαθητές που κατατάχθηκαν στην κατηγορία 0, προσέγγισαν την επιθυμητή γνώση, σε μικρότερο ή μεγαλύτερο βαθμό, μετά από υποβοηθητικές ερωτήσεις. Οι μαθητές αυτοί παρουσιάζονται μέσα σε παρενθέσεις.

Πίνακας 5.4.37 Απόψεις των μαθητών σχετικά με τη φύση ενός μοντέλου

Κατηγορίες	M5α (πυκνότητα)	M6α (κύκλος του νερού)
1: αναγνώριση της κατασκευής ως μοντέλο	6 [ΜΑΘ1, 4, 19, 20, 28, 31]	6 [ΜΑΘ1, 6, 11, 19, 28, 31]
0: μη αναγνώριση της κατασκευής ως μοντέλο	11 (11) [(ΜΑΘ2, 3, 6, 7, 11, 16, 17, 23, 25, 29, 41)]	11 (11) [(ΜΑΘ2, 3, 4, 7, 16, 17, 20, 23, 25, 29, 41)]
Σύνολο	17	17

Πίνακας 5.4.38 Απόψεις των μαθητών σχετικά με τον ρόλο ενός μοντέλου

Κατηγορίες	M5β (πυκνότητα)	M6β (κύκλος του νερού)
1: χρήση του μοντέλου ως εργαλείο για την ερμηνεία ή/και την πρόβλεψη ενός φαινομένου	10 [ΜΑΘ1, 2, 6, 7, 11, 19, 20, 23, 29, 31]	10 [ΜΑΘ1, 2, 6, 7, 11, 19, 20, 23, 28, 31]
0: χρήση του μοντέλου για την παρουσίαση αντικειμένων όπως είναι στην πραγματικότητα	7 (6) [ΜΑΘ3, (ΜΑΘ4, 16, 17, 25, 28, 41)]	7 (6) [ΜΑΘ3, (ΜΑΘ4, 16, 17, 25, 29, 41)]
Σύνολο	17	17

Χαρακτηριστική περίπτωση στην κατηγορία 1 αποτελεί ο μαθητής ΜΑΘ20. Οι απαντήσεις που έδωσε στα έργα Μ5α και Μ5β, φαίνονται στο παρακάτω απόσπασμα:

«.....»

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: Βλέπουμε εδώ τα κυβάκια με τις τελίτσες. Θυμάσαι πώς το είχαμε πει αυτό;

ΜΑΘ20: Μοντέλο

.....»

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: Θυμάσαι σε τι μας βοήθησε αυτό το μοντέλο;

ΜΑΘ20: Να δούμε την πυκνότητα του κάθε υλικού

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: Μας βοήθησε και σε κάτι ακόμα εκτός από αυτό; Πού το χρησιμοποιήσαμε;

ΜΑΘ20: Για την πλεύση και την ... για όταν επιπλέει ένα υλικό και όταν βυθίζεται. Το χρησιμοποιήσαμε για παράδειγμα, ο σίδηρος έχει εδώ πέρα εννιά τελίτσες και το νερό έχει τέσσερις. Άρα ο σίδηρος βυθίζεται μέσα στο νερό. Το χρησιμοποιήσαμε έτσι.

.....»

Ο μαθητής αναγνώρισε ότι η αναπαράσταση της πυκνότητας είναι ένα μοντέλο και συσχέτισε το μοντέλο της πυκνότητας με την ερμηνεία της Π/Β. Με παρόμοιο τρόπο

απάντησε και στα έργα Μ6α και Μ6β, όπως φαίνεται στο παρακάτω απόσπασμα από τη συνέντευξή του:

«.....

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: Για να σε ρωτήσω τώρα κάτι άλλο. Αυτό εδώ πώς θα το λέγαμε;

ΜΑΘ20: Ένας κύκλος είναι ... Ο κύκλος του νερού

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: Το έχετε κάνει αυτό έ;

ΜΑΘ20: Ναι, και στα πολύ παλιά μαθήματα

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: Αυτό θα μπορούσαμε να το πούμε μοντέλο;

ΜΑΘ20: Να, είναι και αυτό ένα μοντέλο.

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: Για ποιο λόγο το λες αυτό;

ΜΑΘ20: Γιατί είναι σαν το πραγματικό, αλλά δεν είναι ακριβώς το ίδιο. Είναι ένα αντίγραφο από το πραγματικό δηλαδή, και μας βοηθάει να βλέπουμε τι γίνεται.

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: Όταν λες αντίγραφο τι εννοείς. Εννοείς ακριβές, πιστό αντίγραφο;

ΜΑΘ20: Όχι, ακριβώς-ακριβώς, αλλά είναι αναπαράσταση

.....

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: Σε τι μας βοηθάει νομίζεις αυτό εδώ το μοντέλο του κύκλου του νερού;

ΜΑΘ20: Να δούμε τον κύκλο του νερού, πώς ακριβώς γίνεται το νερό. Να δουν πώς βρέχει δηλαδή, πώς δημιουργείται η βροχή.

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: Μπορείς να μου περιγράψεις τι βλέπεις εσύ σε αυτό το μοντέλο; Ποια στοιχεία βλέπεις να αποτελούν αυτό το μοντέλο;

ΜΑΘ20: Ο ήλιος εξατμίζει το νερό, δηλαδή βγαίνει ένας ατμός ...

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: Από πού το καταλαβαίνεις αυτό;

ΜΑΘ20: Από τα βελάκια που μας δείχνουν εκεί πέρα ...

.....»

Ο μαθητής αναγνώρισε το σχέδιο του κύκλου του νερού ως ένα μοντέλο και αναφέρθηκε σε διαδικασίες και αλληλεπιδράσεις οι οποίες περιγράφονται από το μοντέλο του κύκλου του νερού. Αυτό φανερώνει ότι ο μαθητής δεν είδε το μοντέλο του κύκλου του νερού ως μια πιστή αναπαράσταση της πραγματικότητας, γιατί σε αυτήν την περίπτωση θα ανέφερε μόνο αντικείμενα που φαίνονται στο σχέδιο (Paraeniridou et al., 2007), π.χ. βουνά, νερό κ.ά. Επίσης, ο μαθητής έδειξε ότι αντιλαμβάνεται τον ρόλο του μοντέλου ως εργαλείο για την περιγραφή και ερμηνεία του φαινομένου της βροχής.

Χαρακτηριστική περίπτωση μαθητή που οι απαντήσεις του, σχετικά με τη φύση και τον ρόλο ενός μοντέλου, κατατάχθηκαν αρχικά στην κατηγορία 0 αλλά μετά από υποβοήθηση κατόρθωσε να δώσει απαντήσεις που προσεγγίζουν την επιθυμητή γνώση, ήταν ο μαθητής ΜΑΘ16. Οι απαντήσεις που έδωσε στα έργα Μ5α και Μ5β, φαίνονται στο παρακάτω απόσπασμα:

«.....»

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: Θυμάσαι πώς το ονομάσαμε αυτό το σχήμα;

ΜΑΘ16: με αυτό βλέπουμε ποιο είναι πιο βαρύ από ένα άλλο, ποιο έχει μεγαλύτερη πυκνότητα από ένα άλλο.

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: αυτό θα μπορούσαμε να το πούμε μοντέλο; Μοντέλο της πυκνότητας;

ΜΑΘ16: ναι.

.....»

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: σε τι μας βοήθησε αυτό;

ΜΑΘ16: στην πυκνότητα. Ποιο υλικό έχει μεγαλύτερη πυκνότητα.

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: πώς μας βοηθούσε αυτό;

ΜΑΘ16: όποιο είχε περισσότερες τελίτσες είχε μεγαλύτερη πυκνότητα από το άλλο που είχε λιγότερες.

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: πες ένα παράδειγμα.

ΜΑΘ16: κάναμε ένα πείραμα με γλυκερίνη και σίδηρο. Ο σίδηρος έχει περισσότερες τελίτσες ενώ η γλυκερίνη έχει λιγότερες οπότε ο σίδηρος έχει μεγαλύτερη πυκνότητα από τη γλυκερίνη.

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: σήμαινε κάτι αυτό για μας;

ΜΑΘ16: ναι, μπορούσαμε να προβλέψουμε ότι ο σίδηρος είναι πιο βαρύτερος από τη γλυκερίνη.

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: μας βοήθησε αυτό σε πειράματα πλεύσης βύθισης; Και αν ναι, πώς;

ΜΑΘ16: ναι, βάζαμε μέσα στο νερό λάδι και νερό και βλέπαμε ποιο είναι πιο βαρύ. Ποιο έχει μεγαλύτερη πυκνότητα. Βλέπαμε ποιο θα βυθιζόταν και ποιο θα επέπλεε.

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: μπορούσαμε να προβλέψουμε από πριν αν θα βυθιστεί ή όχι;

ΜΑΘ16: ναι με τις τελίτσες. Θα βλέπαμε το νερό που έχει τέσσερις τελίτσες και θα βάζαμε το λάστιχο και λάδι και θα βλέπαμε ότι το λάστιχο έχει περισσότερες τελίτσες και θα βυθιστεί γιατί έχει περισσότερες απ' το νερό ενώ το λάδι έχει λιγότερες και έτσι θα επιπλεύσει.

.....»

Ο μαθητής συμφώνησε με τον ερευνητή ότι η αναπαράσταση της πυκνότητας είναι ένα μοντέλο. Επίσης μετά από παραινετικές ερωτήσεις φάνηκε ότι συσχετίζει το μοντέλο της πυκνότητας με την ερμηνεία και την πρόβλεψη της Π/Β. Με παρόμοιο τρόπο απάντησε και στα έργα Μ6α και Μ6β, όπως φαίνεται στο παρακάτω απόσπασμα από τη συνέντευξή του:

«.....»

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: Ας πούμε τώρα ότι έχουμε αυτό το σχήμα, το έχεις ξαναδεί; Αυτό μπορούμε να το πούμε μοντέλο και γιατί;

ΜΑΘ16: Ναι, γιατί είναι παρόμοιο με το αληθινό. Αυτό είναι ένα αντίγραφο από ένα αληθινό

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: Είναι απαραίτητο αυτό το τοπίο να υπάρχει κάπου ή θα μπορούσε και να μην υπάρχει;

ΜΑΘ16: Για να είναι μοντέλο θα έπρεπε να υπάρχει.

.....»

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: Μέσα σε αυτό το μοντέλο τι βλέπεις;

ΜΑΘ16: Το νερό, ποταμούς, σύννεφα, δέντρα, βουνά, λόφους.

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: Σε τι μας βοηθάει αυτό;

ΜΑΘ16: Δεν ξέρω.

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: Αυτά τα βελάκια τι είναι;

ΜΑΘ16: Δεν ξέρω.

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: Στην τρίτη τάξη κάνατε για τον κύκλο του νερού, και αυτό μας δείχνει τον κύκλο του νερού.

ΜΑΘ16: Ναι, βρέχει, μαζεύεται κάτω από τη γη και πάει στη θάλασσα.

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: Και από τη θάλασσα τι κάνει;

ΜΑΘ16: Εξατμίζεται λίγο νερό και πάει πάνω στα σύννεφα.

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: Άρα τα βελάκια τι μας δείχνουν;

ΜΑΘ16: Τον κύκλο του νερού. Ότι το νερό πάει πάνω, κατεβαίνει κάτω και ξαναπάει.

.....»

Ο μαθητής και σε αυτήν την περίπτωση συμφώνησε με τον ερευνητή ότι το σχέδιο του κύκλου του νερού είναι ένα μοντέλο, θεωρεί όμως ότι πρέπει να είναι πιστό αντίγραφο. Επίσης, μετά από παραινετικές ερωτήσεις φάνηκε ότι αναγνώρισε αφηρημένα στοιχεία του μοντέλου του κύκλου του νερού, όπως είναι τα βελάκια, και ότι τα συσχετίζει με διαδικασίες και φαινόμενα που αναπαριστά ο κύκλος του νερού, όπως είναι η εξάτμιση και η βροχή. Το γεγονός αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό (Papaeniriidou et al., 2007) και καταδεικνύει μετάβαση του μαθητή από την κατηγορία 0 στην κατηγορία 1.

Χαρακτηριστική περίπτωση μαθητή στην κατηγορία 0 αποτελεί ο μαθητής ΜΑΘ3. Οι απαντήσεις που έδωσε στα έργα Μ5α και Μ5β, φαίνονται στο παρακάτω απόσπασμα:

«.....»

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: Θυμάσαι πού είχαμε δει αυτό το σχήμα;

ΜΑΘ3: Ναι.

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: Θυμάσαι πώς το είπαμε;

ΜΑΘ3: Με τελίτσες.

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: Αλλιώς τι όνομα του έχουμε δώσει όλου αυτού;

ΜΑΘ3: Μοντέλο.

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: Είναι το μοντέλο που δείχνει τι;

ΜΑΘ3: Για παράδειγμα το σίδερο πόσο βάρος θα έχει με τις τελίτσες

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: Πού το χρησιμοποιήσαμε αυτό το μοντέλο θυμάσαι;

ΜΑΘ3: Συγκρίναμε μερικά.

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: Τι εννοείς συγκρίναμε; Δώσε ένα παράδειγμα.

ΜΑΘ3: Συγκρίναμε το σίδερο με το λάστιχο και βλέπαμε ποιο θα είναι πιο βαρύ.

.....»

Ο μαθητής αναγνώρισε ότι η αναπαράσταση της πυκνότητας είναι ένα μοντέλο, μετά από υποβοηθητικές ερωτήσεις. Ωστόσο, όπως φάνηκε στη συνέχεια, δε συσχέτισε

το μοντέλο της πυκνότητας με την ερμηνεία της Π/Β ούτε μετά τις υποβοηθητικές ερωτήσεις του ερευνητή. Με παρόμοιο τρόπο απάντησε και στα έργα Μ6α και Μ6β, όπως φαίνεται στο παρακάτω απόσπασμα από τη συνέντευξή του:

«.....»

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: Αυτό το σχήμα πώς θα μπορούσαμε να το πούμε;

ΜΑΘ3: Ότι είναι μια εικόνα

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: Θα μπορούσαμε να το πούμε μοντέλο;

ΜΑΘ3: Ναι.

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: Σε τι νομίζεις ότι μας βοηθάει αυτό;

ΜΑΘ3: Να ξεχωρίσουμε πράγματα

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: Δηλαδή, τι εννοείς;

ΜΑΘ3: Η θάλασσα, τα βουνά, τα σύννεφα.

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: Όταν λες να ξεχωρίσουμε τι εννοείς;

ΜΑΘ3: Μπορεί σε καμιά άλλη εικόνα να είναι αλλιώς.

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: Όταν λες να ξεχωρίσουμε εννοείς να τα δούμε;

ΜΑΘ3: Ναι.

.....»

Ο μαθητής συμφώνησε με τον ερευνητή ότι η αναπαράσταση του κύκλου του νερού είναι ένα μοντέλο. Επίσης, όταν ρωτήθηκε για τη χρησιμότητα του μοντέλου αυτού η απάντηση που έδωσε ήταν αόριστη και γενικόλογη. Τέλος, δεν αναφέρθηκε σε διαδικασίες οι οποίες περιγράφονται από το μοντέλο του κύκλου του νερού, αλλά αντίθετα σε αντικείμενα ή τοπία που αυτό αναπαριστά, π.χ. σύννεφα και βουνά.

Ανακεφαλαιώνοντας την ανάλυση των απαντήσεων στις συνεντεύξεις, έξι από τους δεκαεπτά μαθητές αναγνώρισαν αυθόρμητα το μοντέλο «τελίτσες-στο-κυβάκι» καθώς και το μοντέλο του κύκλου του νερού (Πίνακας 5.4.37). Επίσης, δέκα από τους δεκαεπτά μαθητές ανέφεραν τα δύο παραπάνω μοντέλα ως εργαλεία για την ερμηνεία ή/και την πρόβλεψη ενός φαινομένου, για παράδειγμα της Π/Β ή της εξάτμισης του νερού (Πίνακας 5.4.38). Εντούτοις, μετά από σχετική ερώτηση όλοι οι υπόλοιποι μαθητές συμφώνησαν ότι οι δύο παραπάνω αναπαραστάσεις είναι μοντέλα. Επίσης, μετά από υποβοηθητικές ερωτήσεις όλοι οι μαθητές εκτός από τον μαθητή ΜΑΘ3, ανέφεραν στοιχεία που σε μεγαλύτερο ή μικρότερο βαθμό προσέγγισαν την επιθυμητή γνώση σχετικά με τη χρήση των μοντέλων αυτών. Οι υποβοηθητικές ερωτήσεις είναι παρόμοιες με αυτές που χρησιμοποιήθηκαν και στην πιλοτική εφαρμογή. Πιο συγκεκριμένα, οι υποβοηθητικές ερωτήσεις του τύπου «*πες ένα παράδειγμα*», «*Μας βοήθησε σε κάτι που αλλιώς δεν μπορούσαμε να απαντήσουμε;*» ή «*μας βοήθησε αυτό σε πειράματα πλεύσης βύθισης; Και αν ναι,*

πώς;», φάνηκε να βοηθούν τους μαθητές στη συζήτηση σχετικά με τη χρησιμότητα του μοντέλου «τελίτσες-στο-κυβάκι». Ακόμη, οι υποβοηθητικές ερωτήσεις σχετικά με τον ρόλο του μοντέλου του κύκλου του νερού που φάνηκε να βοηθούν τη συζήτηση είναι οι παρακάτω: «*Τα βελάκια αυτά τι νομίζεις ότι δείχνουν;*», «*Σε τι νομίζεις ότι μας βοηθάνε αυτά τα βελάκια;*», «*Γιατί να τα βάλει εκεί αυτός που το σχεδίασε;*», «*Τι θα έκανες για να το βελτιώσεις;*».

Εξάλλου, ένας από τους στόχους της συνέντευξης ήταν να ελέγξει εάν οι μαθητές κατανοούν τα συστατικά στοιχεία των μοντέλων αυτών και τη σημασία τους. Καταρχήν, στην περίπτωση της συζήτησης σχετικά με το μοντέλο του κύκλου του νερού και τα συστατικά του στοιχεία, τα αποτελέσματα, ήταν παρόμοια με αυτά στην πιλοτική εφαρμογή, και έδειξαν τα εξής: Οι έξι μαθητές που αναγνώρισαν τον κύκλο του νερού ως μοντέλο, ανέφεραν ως συστατικά στοιχεία του μοντέλου αυτού, αντικείμενα (π.χ. βουνά, θάλασσα, σύννεφα), διαδικασίες ή/και αλληλεπιδράσεις (π.χ. βελάκια, λεκτικές επεξηγήσεις) μεταξύ τους. Μια τέτοια περίπτωση είναι ο μαθητής ΜΑΘ20 που περιγράφεται ως χαρακτηριστική περίπτωση της κατηγορίας 1. Στην περίπτωση που ο μαθητής δήλωνε ότι το μοντέλο του κύκλου του νερού είναι μια αναπαράσταση του τοπίου και ανέφερε μόνο αντικείμενα όπως βουνά, θάλασσα και σύννεφα, τότε η υποβοήθηση είχε στόχο να ελέγξει εάν ο μαθητής θεωρεί ότι το μοντέλο περιλαμβάνει και στοιχεία που δεν αντιστοιχούν στην πραγματικότητα αλλά σε αφηρημένες οντότητες όπως είναι οι διαδικασίες ή οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ αντικειμένων. Ένα τέτοιο στοιχείο στο μοντέλο του κύκλου του νερού είναι τα βελάκια, που αναπαριστούν διαδικασίες και όχι αντικείμενα, π.χ. την εξάτμιση του νερού. Η ερώτηση για την εκκίνηση της συζήτησης σχετικά με τα συστατικά στοιχεία του μοντέλου ήταν για παράδειγμα «*Από τι αποτελείται το μοντέλο;*» και οι υποβοηθητικές ερωτήσεις ήταν του τύπου «*Τι νομίζεις ότι είναι αυτά τα βελάκια;*». Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η υποβοήθηση αυτή ήταν επιτυχής για αρκετούς από τους μαθητές.

Στην περίπτωση της συζήτησης σχετικά με το μοντέλο «τελίτσες-στο-κυβάκι» της πυκνότητας, τα αποτελέσματα ήταν ελαφρώς καλύτερα από αυτά στην πιλοτική εφαρμογή. Πιο συγκεκριμένα, στην ερώτηση «*από τι αποτελείται το μοντέλο της πυκνότητας;*», ελάχιστοι ήταν οι μαθητές που ανέφεραν ότι αποτελείται από υλικά (π.χ. από σίδηρο), και αυτοί μετά από διευκρινιστική ερώτηση ανέφεραν ότι αποτελείται από τελίτσες που άλλοι θεωρούσαν ότι αναπαριστά την πυκνότητα και άλλοι το βάρος (για παράδειγμα δες απόσπασμα στην ενότητα 5.2.4.β από την

πιλοτική εφαρμογή). Η πλειοψηφία των μαθητών θεωρούσε ότι συστατικά στοιχεία του μοντέλου της πυκνότητας είναι είτε μόνο οι τελίτσες είτε οι τελίτσες και το κυβάκι, θεωρώντας όμως ότι το κυβάκι δεν παίζει σημαντικό ρόλο και ότι την πυκνότητα την αναπαριστούν μόνο οι τελίτσες. Μόνο τρεις από τους δεκαεπτά μαθητές θεώρησαν σημαντικό στοιχείο του μοντέλου το κυβάκι, δίχως όμως να επισημαίνουν τη σημασία του γεγονότος ότι τα κυβάκια όλων των υλικών έχουν το ίδιο μέγεθος (σχήμα 3.2). Παρόμοια δυσκολία στην κατανόηση του μοντέλου «τελίτσες-στο-κυβάκι» παρατηρήθηκε επίσης και στην έρευνα των Smith et al. (1992). Η βελτίωση στις απαντήσεις των μαθητών στην κανονική εφαρμογή, σε σχέση με την πιλοτική, ενυπάρχει στα εξής σημεία: 1) Η πλειοψηφία των μαθητών στην πιλοτική εφαρμογή θεωρούσε ότι το μοντέλο της πυκνότητας αποτελείται από υλικό, π.χ. σίδηρο, γεγονός που φανερώνει αφελή αντίληψη για τη φύση των μοντέλων και αδυναμία διάκρισης του μοντέλου από την πραγματικότητα. Αυτές οι περιπτώσεις στην κανονική εφαρμογή είναι ελάχιστες. 2) Στην πιλοτική εφαρμογή κανένας μαθητής δε θεωρούσε το κυβάκι σημαντικό στοιχείο του μοντέλου της πυκνότητας, ούτε αντιλήφθηκε τη σημασία του γεγονότος ότι τα κυβάκια όλων των υλικών έχουν το ίδιο μέγεθος. Στην κανονική εφαρμογή τρεις από τους δεκαεπτά μαθητές ανέφεραν ότι θεωρούν το κυβάκι σημαντικό στοιχείο του μοντέλου της πυκνότητας, παρόλα αυτά ούτε αυτοί φάνηκε να αντιλήφθηκαν τη σημασία του γεγονότος ότι τα κυβάκια όλων των υλικών έχουν το ίδιο μέγεθος.

5.4.4.γ Σύνοψη των αποτελεσμάτων σχετικά με την κατανόηση της φύσης και του ρόλου των μοντέλων στην κανονική εφαρμογή

Τα αποτελέσματα από την ανάλυση των μεταγραφών των συνεντεύξεων, καταρχήν είναι σε συμφωνία με τα αποτελέσματα στα γραπτά ερωτηματολόγια όπως αυτά περιγράφονται στην υποενότητα 5.4.4.α. Πιο αναλυτικά, στα γραπτά ερωτηματολόγια της κανονικής εφαρμογής, υπήρξε στατιστικά σημαντική βελτίωση στην κατανόηση της φύσης των μοντέλων, ήδη από το ενδιάμεσο ερωτηματολόγιο, η οποία διατηρήθηκε και επτά μήνες μετά την παρέμβαση. Επίσης, στατιστικά σημαντική βελτίωση, η οποία διατηρήθηκε επτά μήνες μετά την παρέμβαση, υπήρξε σχετικά με την κατανόηση του ρόλου ενός μοντέλου ως μέσου μεταφοράς πληροφοριών.

Επιπλέον, παρατηρήθηκε ότι οι μαθητές που στη συνέντευξη, και συγκεκριμένα στα έργα σχετικά με τη φύση των μοντέλων (Πίνακας 5.4.37) ή/και σχετικά με τον ρόλο

των μοντέλων (Πίνακας 5.4.38) κατατάχθηκαν στην κατηγορία 1, κατατάχθηκαν στην ίδια κατηγορία και στα γραπτά ερωτηματολόγια. Σε μια δεύτερη ανάγνωση των αποτελεσμάτων από την ανάλυση των συνεντεύξεων, παρατηρήθηκε ότι οι περισσότεροι από τους μαθητές οι οποίοι με βάση τις αρχικές τους απαντήσεις κατατάχθηκαν στην κατηγορία 0, μετά από υποβοηθητικές ερωτήσεις από τον ερευνητή έδωσαν απαντήσεις που σε μικρότερο ή μεγαλύτερο βαθμό προσέγγισαν την επιθυμητή γνώση, ιδίως στην περίπτωση του μοντέλου του κύκλου του νερού.

5.5 Σύγκριση των αποτελεσμάτων μεταξύ πιλοτικής και κανονικής εφαρμογής για τον έλεγχο της βελτίωσης της ΔΜΣ

Από τη σύγκριση των αποτελεσμάτων μεταξύ πιλοτικής και κανονικής εφαρμογής (Παράρτημα Γ, Πίνακες και Διαγράμματα) συμπεραίνουμε ότι η μάθηση στην κανονική εφαρμογή επετεύχθη σε μεγαλύτερο βαθμό από ό,τι στην πιλοτική εφαρμογή. Πιο αναλυτικά:

Οι απαντήσεις των μαθητών στα έργα ΠΒ1α, ΠΒ1β, ΠΒ2 (Πίνακας 4.2 και Παράρτημα Β.2), στα οποία οι μαθητές αντιμετωπίζουν προβλήματα που παραπέμπουν στην καθημερινότητα και δε δίνεται καμία επιπλέον βοήθεια πέρα από την περιγραφή του φαινομένου, στην κανονική εφαρμογή παρουσίασαν στατιστικά σημαντική βελτίωση αμέσως μετά την παρέμβαση, η οποία διατηρήθηκε επτά μήνες μετά την παρέμβαση. Αντίθετα, στην πιλοτική εφαρμογή, η βελτίωση ήταν στατιστικά σημαντική μόνο στα δύο πρώτα έργα η οποία δε διατηρήθηκε επτά μήνες μετά την παρέμβαση (δες Παράρτημα Γ). Ένα ποιοτικό στοιχείο, το οποίο προκύπτει από τη σύγκριση των αποτελεσμάτων στις ενότητες 5.2.1.α και 5.4.1.α, και φανερώνει ότι η διδασκαλία στην κανονική εφαρμογή ήταν πιο αποτελεσματική και η μάθηση πιο ισχυρή, είναι ότι σε αντίθεση με την πιλοτική εφαρμογή, οι απαντήσεις των μαθητών που κατατάχθηκαν στην κατηγορία 3, στα τρία προαναφερθέντα έργα, περιλάμβαναν μόνο τη σύγκριση πυκνοτήτων και όχι την αναφορά στο υλικό. Επίσης, σε αντίθεση με την πιλοτική εφαρμογή, στο έργο ΠΒ2, στο ενδιάμεσο, το μετά και το επτά μήνες μετά την παρέμβαση ερωτηματολόγιο, υπάρχουν ορισμένοι μαθητές που αναφέρονται στο υλικό του υγρού. Θεωρούμε σημαντική αυτή τη διαφορά γιατί είναι καταγεγραμμένη η τάση των μαθητών να εστιάζουν σε χαρακτηριστικά του αντικειμένου που επιπλέει ή βυθίζεται, και να δυσκολεύονται να αντιληφθούν τη σημασία του υγρού στο φαινόμενο (Smith et al., 1992).

Οι απαντήσεις των μαθητών στα έργα ΠΥΚ1, ΠΥΚ2 και ΠΥΚ3 (Πίνακας 4.2 και Παράρτημα Β.2), στην κανονική εφαρμογή παρουσίασαν στατιστικά σημαντική βελτίωση ($p < .001$, δες Παράρτημα Γ), η οποία διατηρήθηκε και επτά μήνες μετά την παρέμβαση. Στην πιλοτική εφαρμογή, αυτό συνέβη μόνο στα έργα ΠΥΚ1 και ΠΥΚ2 ($p < .05$, δες Παράρτημα Γ). Επιπλέον, στην κανονική εφαρμογή οι περισσότεροι από τους μαθητές που θεωρούν ότι η πυκνότητα είναι μια ιδιότητα του υλικού (έργο ΠΥΚ1), δηλώνουν με σαφήνεια την πυκνότητα ως κριτήριο για την Π/Β ή την εξάρτηση της πυκνότητας από το υλικό του αντικειμένου (ενότητα 5.4.2.α).

Θεωρούμε ότι η σημαντική βελτίωση στις ερμηνείες της Π/Β και στην κατανόηση της πυκνότητας στην κανονική εφαρμογή, σε σχέση με την κατανόηση που παρατηρήθηκε στην πιλοτική εφαρμογή, είναι κυρίως αποτέλεσμα: α) της βαθμιαίας εισαγωγής και ενεργού εμπλοκής των μαθητών με τη μέθοδο για τον έλεγχο των μεταβλητών που επηρεάζουν το φαινόμενο της Π/Β, στη 2^η ενότητα (βελτιωτική αλλαγή 5.3.3.1), β) των συζητήσεων σχετικά με τα συμπαγή σώματα που πραγματοποιήθηκαν τόσο στην 1η όσο και στην 4η ενότητα της ΔΜΣ (βελτιωτική αλλαγή 5.3.2.1), καθώς και γ) των δραστηριοτήτων ερμηνείας της Π/Β σύνθετων αντικειμένων σε προσομοιωμένο και πραγματικό περιβάλλον, στην 4η και 5η ενότητα, και της σύνδεσής των ερμηνειών τους (Jaakkola et al., 2010), ώστε να περιλαμβάνουν τη χρήση συσχετιστικού αιτιακού συλλογισμού (σύγκριση πυκνοτήτων) (Perkins & Grotzer, 2005, Zoupidis et al., 2011) (βελτιωτική αλλαγή 5.3.1.1).

Εξάλλου, οι απαντήσεις των μαθητών στο έργο ΣΕΜ1α (Πίνακας 4.2 και Παράρτημα Β.2), σχετικά με τη μέθοδο για τον έλεγχο μιας μεταβλητής, στην κανονική εφαρμογή, σε αντίθεση με την πιλοτική, παρουσίασαν στατιστικά σημαντική βελτίωση. Αντίθετα, οι απαντήσεις των μαθητών στο έργο ΣΕΜ2β, σχετικά με τη μέθοδο για τον συμπερασμό δεν παρουσίασε στατιστικά σημαντική βελτίωση ούτε στην πιλοτική ούτε στην κανονική (δες Παράρτημα Γ). Θεωρούμε ότι οι βελτιωτικές αλλαγές που έχουν σχέση με τη μέθοδο ΣΕΜ (ενότητα 5.3.3) επηρέασαν τη βελτίωση στην κατανόηση της μεθόδου για τον έλεγχο μιας μεταβλητής. Ειδικότερα, θεωρούμε ότι ο συνδυασμός σαφούς διδασκαλίας της μεθόδου από τη μία (βελτιωτική αλλαγή 5.3.3.2) και βαθμιαίας μείωσης της υποστήριξης στις δραστηριότητες ελέγχου των μεταβλητών που επηρεάζουν το φαινόμενο της Π/Β από την άλλη (βελτιωτική αλλαγή 5.3.3.1), αποτέλεσε σημαντικό παράγοντα στη βελτίωση της κατανόησης του συλλογισμού που υπάρχει πίσω από τη μέθοδο ΣΕΜ.

Τέλος, οι απαντήσεις των μαθητών στο έργο M1 (Πίνακας 4.2 και Παράρτημα Β.2), σχετικά με τη φύση των μοντέλων, στην κανονική εφαρμογή, σε αντίθεση με ό,τι συνέβη στην πιλοτική, παρουσίασαν στατιστικά σημαντική βελτίωση. Επίσης, στη συνέντευξη, στην περίπτωση της συζήτησης σχετικά με το μοντέλο «τελίτσες-στο-κυβάκι» της πυκνότητας, τα αποτελέσματα ήταν ελαφρώς καλύτερα από αυτά στην πιλοτική εφαρμογή (δες ενότητα 5.4.4.β). Επιπλέον, σύμφωνα με τα δεδομένα από τα ΦΕ και τις μεταγραφές των διαλόγων των μαθητών από τα βίντεο της κανονικής εφαρμογής φαίνεται ότι οι μαθητές είχαν μεγαλύτερη ευκολία να περάσουν στο πιο αφαιρετικό επίπεδο του επιστημονικού κόσμου. Πιο συγκεκριμένα, ενώ στην πιλοτική εφαρμογή τα δύο τρίτα των μαθητών παρατηρούσαν πράγματα που δεν υπήρχαν στο σιδερένιο μοντέλο του πλοίου (π.χ. καθίσματα, τραπέζια κ.ά.), στην κανονική εφαρμογή καμιά ομάδα μαθητών δεν αναφέρεται σε τέτοια αντικείμενα, αντιθέτως ορισμένες ομάδες παρατηρούν ότι είναι άδειο και οι υπόλοιπες παρατηρούν τα υλικά από τα οποία είναι κατασκευασμένο και το πώς είναι κατασκευασμένο π.χ. “... είναι από μέταλλο και έχει χωρίσματα...”. Τέλος, όπως φαίνεται στην ανακεφαλαίωση της ενότητας 5.4.4.β, η βελτίωση στις απόψεις των μαθητών σχετικά με τη φύση των μοντέλων από την πιλοτική στην κανονική εφαρμογή είναι φανερή και στις συνεντεύξεις. Όπως φάνηκε στις συνεντεύξεις, αρκετοί από τους μαθητές στην κανονική εφαρμογή, σε αντίθεση με την πιλοτική, αντιλήφθηκαν τα συστατικά στοιχεία του μοντέλου «τελίτσες-στο-κυβάκι». Θεωρούμε ότι οι βελτιωτικές αλλαγές που σχετίζονται με τα μοντέλα (ενότητα 5.4.4) επηρέασαν τη βελτίωση στην κατανόηση της φύσης των μοντέλων. Ειδικότερα, θεωρούμε ότι η ενίσχυση των δραστηριοτήτων σαφούς διδασκαλίας (Schwarz & White, 2005, Gobert et al., 2011, Zoupidis et al., 2010) καθώς και η έμφαση στη βαθμιαία μείωση της ομοιότητας των μοντέλων, που χρησιμοποιήθηκαν στη ΔΜΣ, με τον στόχο που αναπαριστούν (Petrosino, 2003) (βελτιωτική αλλαγή 5.3.4.1), ήταν οι σημαντικότερες αλλαγές που επηρέασαν προς αυτήν την κατεύθυνση.

Πέρα από τα μαθησιακά αποτελέσματα τα οποία αναδεικνύουν την αποτελεσματικότητα των βελτιωτικών αλλαγών της ΔΜΣ από την πιλοτική στην κανονική εφαρμογή, θεωρούμε ότι τα δεδομένα από τις σημειώσεις των ερευνητών κατά τη διάρκεια της κανονικής εφαρμογής μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν στη συζήτηση αυτή. Σύμφωνα με τις σημειώσεις των ερευνητών, όσες από τις αντιστάσεις, οι οποίες εμφανίστηκαν κατά τη διάρκεια της πιλοτικής εφαρμογής, εμφανίστηκαν και στην κανονική εφαρμογή είχαν σημαντικά μικρότερη ένταση. Για

παράδειγμα, έχει καταγραφεί ότι οι συζητήσεις, οι οποίες στην κανονική εφαρμογή στόχευαν στη διάκριση μεταξύ των εννοιών συμπαγούς/ομογενούς και σύνθετου αντικειμένου (βελτιωτική αλλαγή 5.3.2.1), βοήθησαν σημαντικά τους μαθητές να πραγματοποιήσουν χωρίς ιδιαίτερες δυσκολίες τις δραστηριότητες σχετικά με την ερμηνεία της Π/Β σύνθετων αντικειμένων, όπως είναι οι δραστηριότητες, στην 4^η ενότητα, με το μπουκάλι ή το σιδερένιο πλοίο που άλλες φορές περιείχαν αέρα και άλλες φορές νερό (δες ενότητα 3.2). Επιπλέον, παρατηρήθηκε από τους δάσκαλους, αλλά και από τους ερευνητές ότι οι μαθητές αντιλήφθηκαν και εφάρμοσαν τη μέθοδο ΣΕΜ πιο εύκολα στην κανονική εφαρμογή, κυρίως λόγω της βαθμιαίας μείωσης της υποστήριξης από τη δασκάλα (βελτιωτική αλλαγή 5.3.3.1). Ένα ακόμη παράδειγμα επιτυχίας των βελτιωτικών αλλαγών, και συγκεκριμένα της βελτιωτικής αλλαγής 5.3.4.4, είναι ότι οι μαθητές, στην κανονική εφαρμογή, φάνηκε να αποδέχονται πιο εύκολα το γεγονός ότι ο αέρας έχει βάρος, με συνέπεια να μπορούν να χρησιμοποιήσουν τον κύβο του αέρα με τον ίδιο τρόπο με τον οποίο χρησιμοποίησαν τους κύβους των άλλων υλικών.

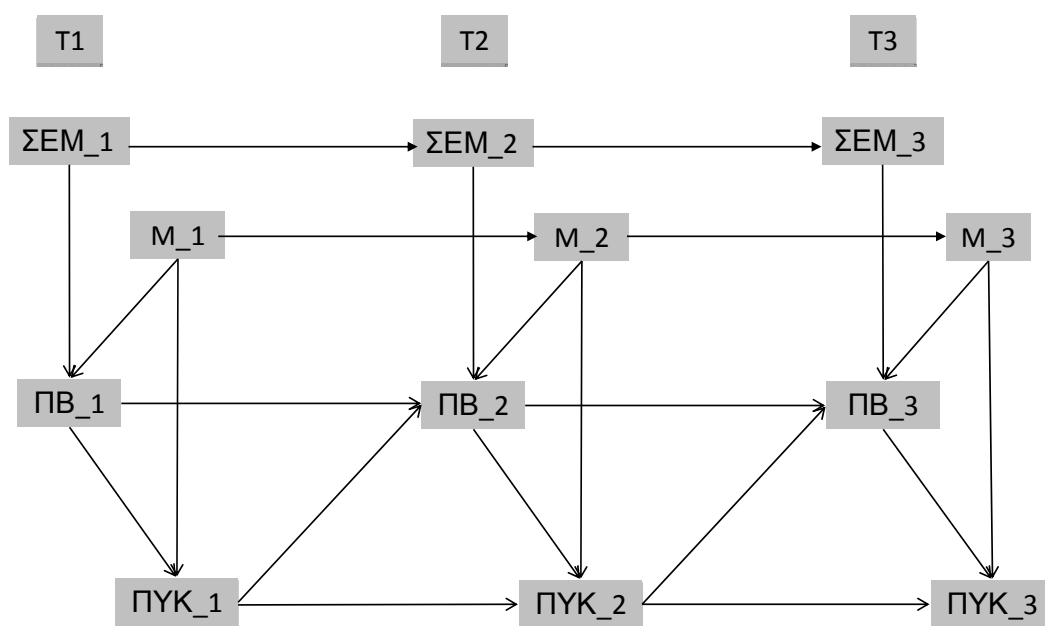
5.6 Αποτελέσματα από την Ανάλυση Διαδρομών (Path Analysis)

Λαμβάνοντας υπόψη τη συζήτηση που έχει γίνει στην ενότητα 4.1, σχετικά με την ερευνητική υπόθεση Α (σχήμα 4.1), το υποθετικό θεωρητικό μοντέλο το οποίο περιγράφει την εξέλιξη της δυναμικής των σχέσεων μεταξύ των τεσσάρων μεταβλητών του, φαίνεται στο σχήμα 5.6.1.

Υπενθυμίζουμε ότι οι τέσσερις μεταβλητές αντιστοιχούν στην κατανόηση της Στρατηγικής Ελέγχου Μεταβλητών (ΣΕΜ), την κατανόηση της φύσης των μοντέλων (Μ), τις ερμηνείες στο φαινόμενο της πλεύσης και της βύθισης (ΠΒ) και την κατανόηση της έννοιας της πυκνότητας ως ιδιότητας των υλικών (ΠΥΚ). Επίσης, διευκρινίζουμε ότι το μοντέλο αναπτύσσεται μεταξύ τριών χρονικών στιγμών, και συγκεκριμένα τις χρονικές στιγμές T1, T2 και T3, δηλαδή πριν, μετά και επτά μήνες μετά την παρέμβαση αντίστοιχα.

Όπως περιγράφηκε στην ενότητα 4.1, η ερευνητική ομάδα που σχεδίασε και ανέπτυξε τη σειρά υπέθεσε ότι, μετά την παρέμβαση, δηλαδή τη χρονική στιγμή T2, η ΠΥΚ θα ερμηνεύεται σε μεγαλύτερο ποσοστό άμεσα από τις μεταβλητές Μ και ΠΒ, καθώς και έμμεσα από τη μεταβλητή ΣΕΜ, μέσω της ΠΒ, ως αποτέλεσμα της διδακτικής παρέμβασης. Επίσης, υπέθεσε ότι η μεταβλητή ΠΒ θα ερμηνεύεται

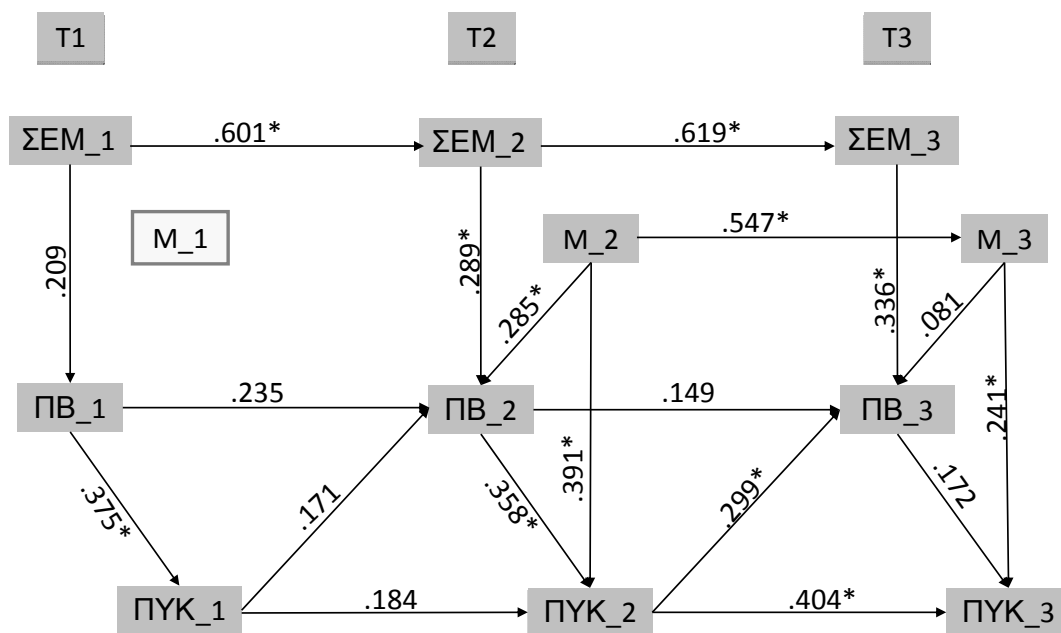
σημαντικά από τις μεταβλητές ΣΕΜ και Μ. Τέλος, λαμβάνοντας υπόψη: α) ότι οι μεταβλητές ΠΒ και ΠΥΚ είναι στενά συνδεδεμένες μέσα στο ίδιο εννοιολογικό πλαίσιο, αυτό της κατανόησης της ύλης και των υλικών (Wiser & Smith, 2008), και β) ότι η μετάβαση από την εκτατική στην εντατική άποψη για την πυκνότητα, συνιστά αλλαγή οντολογικής κατηγορίας (Chi et al., 1994, Chi, 2008, Βοσνιάδου κ.ά., 2008), η ερευνητική ομάδα υπέθεσε ότι μια αλλαγή τέτοιου είδους για την πυκνότητα, από τη στιγμή που θα συμβεί και έπειτα, θα ερμηνεύει σημαντικά τόσο την ΠΥΚ όσο και την ΠΒ. Αυτό σημαίνει ότι αναμένεται η μεταβλητή ΠΥΚ κάποιας χρονικής στιγμής να ερμηνεύει τη μεταβλητή ΠΒ και τη μεταβλητή ΠΥΚ της επόμενης χρονικής στιγμής.



Σχήμα 5.6.1 Το υποθετικό θεωρητικό μοντέλο σε πλήρη ανάπτυξη μεταξύ των χρονικών στιγμών T1 (πριν την παρέμβαση), T2 (αμέσως μετά την παρέμβαση) και T3 (επτά μήνες μετά την παρέμβαση)

Για να ελέγξουμε εάν πράγματι επαληθεύεται η υπόθεση των ερευνητών, προχωρήσαμε σε στατιστική ανάλυση των δεδομένων με την τεχνική της Ανάλυσης Διαδρομών (Path Analysis) και του λογισμικού EQS (Bentler, 1993). Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στη συγκεκριμένη ανάλυση αφορούν στο σύνολο των μαθητών που συμμετείχαν στην πιλοτική και την κανονική εφαρμογή, δηλαδή πενήντα τρεις μαθητές (N=53). Επιπλέον, λήφθηκαν υπόψη οι απαντήσεις των μαθητών στα έργα των γραπτών ερωτηματολογίων που ήταν κοινά στις δύο εφαρμογές. Έτσι, για κάθε μαθητή, υπολογίστηκε η επίδοση που είχε τις τρεις χρονικές στιγμές T1, T2 και T3, σε καθεμία από τις τέσσερις γνωστικές περιοχές ως εξής: α) σχετικά με την κατανόηση της ΣΕΜ υπολογίστηκε ο μέσος όρος στα έργα

ΣΕΜ1α και ΣΕΜ1β, β) σχετικά με την κατανόηση της φύσης των μοντέλων λήφθηκε υπόψη η επίδοση στο έργο M1, γ) σχετικά με τις ερμηνείες φαινομένων πλεύσης βύθισης υπολογίστηκε ο μέσος όρος στα έργα ΠΒ1α, ΠΒ1β και ΠΒ2, και δ) σχετικά με την εννοιολογική κατανόηση της πυκνότητας υπολογίστηκε ο μέσος όρος στα έργα ΠΥΚ1 και ΠΥΚ2. Η Ανάλυση Διαδρομών μας επιτρέπει να οικοδομήσουμε και να επιβεβαιώσουμε την ύπαρξη αιτιωδών σχέσεων (με τη στατιστική έννοια του όρου) μεταξύ των υπό μελέτη μεταβλητών και στη συνέχεια να ελέγξουμε πόσο μέρος της διακύμανσης μιας μεταβλητής ερμηνεύεται από μια άλλη μεταβλητή. Επιπλέον, μας δίνει τη δυνατότητα να προσδιορίσουμε τόσο τις άμεσες όσο και τις έμμεσες επιδράσεις που μπορεί να δέχεται μια μεταβλητή (Μεταλλίδου & Ευκλείδη, 1998).



Σχήμα 5.6.2 Σχηματική αναπαράσταση της δυναμικής των σχέσεων που επιβεβαιώθηκαν ανάμεσα στην κατανόηση επιστημολογικής γνώσης (ΣΕΜ και Μ) και την εννοιολογική κατανόηση της πυκνότητας (ΠΥΚ) στο πλαίσιο φαινομένων πλεύσης και βύθισης (ΠΒ)

Το μοντέλο που βρέθηκε να αντιπροσωπεύει με τον καλύτερο τρόπο τις σχέσεις των υπό εξέταση μεταβλητών (σχήμα 5.6.2) έχει τους εξής στατιστικούς δείκτες: $\chi^2(35)=45.224$, $p=.12$, CFI=.945, IFI=.950, GFI=.883, RMSE=.075. Το αποτέλεσμα αυτό δείχνει ότι η προσαρμογή του υποθετικού θεωρητικού μοντέλου στα δεδομένα, μέσω της τεχνικής της Ανάλυσης Διαδρομών, είναι πολύ καλή. Στο μοντέλο αυτό η κατανόηση της ΣΕΜ και η κατανόηση της φύσης των μοντέλων (Μ) αποτελούν τις ανεξάρτητες μεταβλητές και οι ερμηνείες στα φαινόμενα πλεύσης και βύθισης (ΠΒ)

καθώς και η εννοιολογική κατανόηση της πυκνότητας (ΠΥΚ) ως ιδιότητας των υλικών, αποτελούν τις εξαρτημένες μεταβλητές.

Για να μπορέσουμε να κατανοήσουμε το διάγραμμα στο σχήμα 5.6.2, θα πρέπει να έχουμε υπόψη μας ότι οι σχέσεις που σημειώνονται με αστεράκι είναι στατιστικώς σημαντικές ($p < .05$). Θα διαβάσουμε το διάγραμμα καταρχήν για κάθε μία από τις τρεις χρονικές στιγμές, δηλαδή κατακόρυφα, και στη συνέχεια όπως εξελίσσεται ο χρόνος, δηλαδή οριζόντια. Ειδικότερα, διαπιστώνουμε τα εξής:

Καταρχήν, διευκρινίζουμε γιατί δεν υπάρχει σχέση μεταξύ της μεταβλητής M και των υπόλοιπων μεταβλητών τη χρονική στιγμή T1. Οι τιμές της μεταβλητής M αυτή τη χρονική στιγμή ήταν μηδενικές (flour effect), που σημαίνει ότι οι μαθητές δεν κατανοούσαν το μοντέλο ως αναπαράσταση αλλά το ταύτιζαν με την πραγματικότητα. Σε τέτοιες περιπτώσεις δεν τηρείται η προϋπόθεση της συνδιακύμανσης των τιμών των μεταβλητών, ώστε να πραγματοποιηθεί η στατιστική ανάλυση. Κατά συνέπεια, επειδή δεν υπήρχε η απαιτούμενη διακύμανση στις τιμές των μεταβλητών, το μοντέλο το οποίο συμπεριλάμβανε αυτήν τη σχέση δεν ήταν δυνατό να ελεγχθεί στατιστικώς.

Επιπλέον, παρατηρούμε ότι η ΠΒ1 ερμηνεύεται άμεσα αλλά όχι στατιστικά σημαντικά, από την ΣΕΜ1 ($\beta = .209, p > .05$), σε ποσοστό μόνο 4.4% ($R^2 = .044$). Κατά συνέπεια, η κατανόηση της ΣΕΜ πριν την παρέμβαση δεν μπορούσε να προβλέψει τις ερμηνείες των μαθητών στα φαινόμενα Π/Β. Εξάλλου, η ΠΥΚ1 ερμηνεύεται άμεσα από την ΠΒ1 ($\beta = .375, p < .05$), σε ποσοστό 14% ($R^2 = .140$). Επομένως, οι μαθητές, οι οποίοι πριν την παρέμβαση έδιναν ερμηνείες στα φαινόμενα Π/Β σχετικά κοντά στην επιστημονική άποψη, ήταν πιο πιθανό να κατανοούν και την έννοια της πυκνότητας ως ιδιότητας των υλικών.

Τη χρονική στιγμή T2, δηλαδή αμέσως μετά την παρέμβαση, παρατηρούμε σημαντική αλλαγή στη δυναμική των σχέσεων μεταξύ των μεταβλητών. Η πρώτη παρατήρηση που κάνουμε είναι ότι όλες οι διαδρομές είτε άμεσες είτε έμμεσες είναι στατιστικά σημαντικές. Η διακύμανση της μεταβλητής ΠΒ2 ερμηνεύεται άμεσα από τις μεταβλητές ΣΕΜ2 ($\beta = .289, p < .05$) και M2 ($\beta = .285, p < .05$), ενώ αντίθετα η ΠΒ1 ($\beta = .235, p > .05$) και η ΠΥΚ1 ($\beta = .171, p > .05$) δε συμβάλλουν σημαντικά στην ερμηνεία της ΠΒ2. Αυτό σημαίνει ότι η οποιαδήποτε βελτίωση στην ΠΒ2 θα πρέπει να θεωρηθεί όχι ως αποτέλεσμα της προηγούμενης γνώσης, είτε στην ερμηνεία των φαινομένων Π/Β είτε στην κατανόηση της έννοιας της πυκνότητας, αλλά στη διδασκαλία της ΣΕΜ και της φύσης των μοντέλων. Οι τέσσερις μεταβλητές

ερμηνεύουν συνολικά την ΠΒ2 σε ποσοστό 33.6% ($R^2 = .336$). Επομένως, μετά από την παρέμβαση τα φαινόμενα Π/Β ερμηνεύονται σε ένα σημαντικό βαθμό (33.6%) από την κατανόηση τόσο της ΣΕΜ όσο και της Μ. Εξάλλου, η Μ2 συμβάλλει στην κατανόηση και της έννοιας της πυκνότητας (ΠΥΚ2) μετά από την παρέμβαση, με δύο τρόπους. Άμεσα ($\beta = .391, p < .05$) και έμμεσα, μέσω της βελτίωσης της κατανόησης των φαινομένων Π/Β ($\beta = .358, p < .05$), ενώ αντίθετα η μεταβλητή ΠΥΚ1 δεν συμβάλλει στην ερμηνεία της ΠΥΚ2 ($\beta = .184, p > .05$). Οι παραπάνω μεταβλητές ερμηνεύουν συνολικά την ΠΥΚ2 σε ποσοστό 45.2% ($R^2 = .452$). Επομένως, η διδασκαλία της ΣΕΜ και της φύσης των μοντέλων συμβάλλει έμμεσα στην κατανόηση της έννοιας της ΠΥΚ, μέσω της κατανόησης των φαινομένων Π/Β. Επιπρόσθετα, η κατανόηση της φύσης των μοντέλων συμβάλλει και άμεσα στην κατανόηση της έννοιας της πυκνότητας (ΠΥΚ2).

Ενδιαφέρον, όμως παρουσιάζουν και τα αποτελέσματα τη χρονική στιγμή Τ3, δηλαδή επτά μήνες μετά την παρέμβαση. Παρατηρούμε ότι η δυναμική των σχέσεων έχει και πάλι αλλάξει. Συγκεκριμένα, η διακύμανση της μεταβλητής ΠΒ3 συνεχίζει να ερμηνεύεται άμεσα από τις μεταβλητές ΣΕΜ3 ($\beta = .336, p < .05$) και ΠΥΚ2 ($\beta = .299, p < .05$), ενώ αντίθετα οι μεταβλητές Μ3 ($\beta = .081, p > .05$) και ΠΒ2 ($\beta = .149, p > .05$) δε συμβάλλουν σημαντικά στην ερμηνεία της ΠΒ3. Οι τέσσερις μεταβλητές ερμηνεύουν συνολικά την ΠΒ3 σε ποσοστό 34.8% ($R^2 = .348$). Με άλλα λόγια, εφόσον οι μαθητές κατανόησαν μετά την παρέμβαση την έννοια της πυκνότητας, ερμηνεύουν πλέον τα φαινόμενα της Π/Β χρησιμοποιώντας την έννοια της πυκνότητας, που είχαν αποκτήσει μετά την παρέμβαση, και τη χρήση της ΣΕΜ στη δεδομένη στιγμή, ενώ η κατανόηση των μοντέλων πλέον δε διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην ερμηνεία των φαινομένων Π/Β. Ωστόσο, η κατανόηση των μοντέλων φαίνεται ότι εξακολουθεί να έχει άμεση συμβολή στην κατανόηση της έννοιας της πυκνότητας. Η διακύμανση της μεταβλητής ΠΥΚ3 ερμηνεύεται άμεσα από τις μεταβλητές Μ3 ($\beta = .241, p < .05$) και ΠΥΚ2 ($\beta = .404, p < .05$), ενώ αντίθετα δε συμβάλλει στην ερμηνεία της μεταβλητής αυτής η μεταβλητή ΠΒ3 (άμεσα). Οι τρεις παραπάνω μεταβλητές ερμηνεύουν συνολικά την ΠΥΚ3 σε ποσοστό 38.6% ($R^2 = .386$). Κατά συνέπεια, η εννοιολογική κατανόηση της πυκνότητας, επτά μήνες μετά την παρέμβαση, προβλέπεται από την κατανόηση της φύσης των μοντέλων καθώς και από την προϋπάρχουσα γνώση για την έννοια της πυκνότητας.

Επιπλέον των παραπάνω, παρατηρούμε ότι α) η διακύμανση της μεταβλητής ΣΕΜ2 ερμηνεύεται άμεσα από την ΣΕΜ1 ($\beta = .601, p < .05$) σε ποσοστό 36.2% ($R^2 = .362$),

β) η διακύμανση της μεταβλητής ΣΕΜ3 ερμηνεύεται άμεσα από την ΣΕΜ2 ($\beta = .619$, $p < .05$) σε ποσοστό 38.3% ($R^2 = .383$), και γ) η διακύμανση της μεταβλητής Μ3 ερμηνεύεται άμεσα από την Μ2 ($\beta = .547$, $p < .05$) σε ποσοστό 30% ($R^2 = .299$). Επομένως, η προϋπάρχουσα κατανόηση της επιστημολογικής γνώσης σχετικά με την επιστημονική μέθοδο ΣΕΜ και τη φύση των μοντέλων φαίνεται ότι μπορεί να προβλέψει την κατανόηση της γνώσης αυτής τόσο αμέσως μετά την παρέμβαση, όσο και επτά μήνες μετά την παρέμβαση, σε σημαντικό βαθμό. Τέλος, παρατηρούμε ότι η φόρτιση όλων των σχέσεων είναι θετική, που σημαίνει ότι οι σχέσεις είναι ανάλογες και όχι αντίστροφα ανάλογες. Για παράδειγμα, αυτό σημαίνει ότι οι μαθητές που κατανοούν τη φύση των μοντέλων αμέσως μετά την παρέμβαση (Μ2), έχουν μεγαλύτερη πιθανότητα να την κατανοούν και επτά μήνες μετά την παρέμβαση (Μ3).

5.7 Μαθησιακά μονοπάτια και τεκμήρια μάθησης: τρεις μελέτες περίπτωσης

5.7.1 Εισαγωγή – περιγραφή της μεθόδου

Παρακάτω, θα επιχειρήσουμε να αναδείξουμε αφενός χαρακτηριστικά μονοπάτια μάθησης (Malandrakis, 2006, Petri & Niedderer, 1998, Psillos & Kariotoglou, 1999) σχετικά με τις τέσσερις περιοχές μάθησης της συγκεκριμένης ΔΜΣ (Π/Β, πυκνότητα, ΣΕΜ, μοντέλα), και αφετέρου τεκμήρια που επιβεβαιώνουν καθώς και παράγοντες που ευνοούν τη συγκεκριμένη μάθηση. Ακολουθώντας τη λογική της υπόθεσης που έχουμε κάνει στην ενότητα 4.1, και αναζητώντας, πέρα από τα αποτελέσματα της στατιστικής τεχνικής Ανάλυση Διαδρομών (ενότητα 5.6), ποιοτικά δεδομένα που να επιβεβαιώνουν το μοντέλο που περιγράφει τις σχέσεις μεταξύ των τεσσάρων μεταβλητών (σχήμα 4.1), εστιάζουμε καταρχήν στη βελτίωση που παρουσιάζουν οι μαθητές στη δηλωτική γνώση, δηλαδή στις ερμηνείες της Π/Β και στην κατανόηση της πυκνότητας ως ιδιότητας του υλικού, διότι αποτελούν και τους κύριους διδακτικούς στόχους της ΔΜΣ. Σε δεύτερο επίπεδο, αλλά όχι δευτερεύων, διερευνούμε τη βελτίωση των μαθητών στην κατανόηση της μεθόδου ΣΕΜ, και της φύσης των μοντέλων, η οποία, όπως υποθέσαμε, αποτελεί σημαντικό παράγοντα που επηρεάζει την κατανόηση της δηλωτικής γνώσης.

Για το σκοπό αυτό επιλέγουμε τρεις μαθητές με τα εξής κριτήρια: α) Ο κάθε μαθητής να παρουσιάζει διαφορετικό επίπεδο βελτίωσης (μεγάλο, μέτριο, πολύ μικρό) στη

δηλωτική γνώση, όπως αυτή καταγράφηκε και αναδείχθηκε στα γραπτά ερωτηματολόγια, φανερώνοντας με αυτόν τον τρόπο, πιθανώς, διαφορετικό μαθησιακό μονοπάτι για τον κάθε μαθητή. β) Οι μαθητές να έχουν περάσει από τη διαδικασία της συνέντευξης. Επίσης, να παρουσιάζουν, έστω και σε μικρό ποσοστό και έστω στις δραστηριότητες που έχουν σχέση με τη δηλωτική γνώση, ενεργό συμμετοχή στις διδακτικές μαθησιακές διαδικασίες η οποία να είναι ανιχνεύσιμη στις μεταγραφές των βίντεο (Petri & Niedderer, 1998). Στόχος των δύο αυτών προϋποθέσεων είναι να έχουμε όσο γίνεται περισσότερα ποιοτικά δεδομένα. Οι τρεις μαθητές που τελικά επιλέχθηκαν, με βάση τα παραπάνω κριτήρια, έχουν τα εξής χαρακτηριστικά: α) Ο μαθητής 31, μετά την παρέμβαση, χρησιμοποιεί κυρίως τον συσχετιστικό αιτιακό συλλογισμό στην ερμηνεία της Π/Β φαινομένων της καθημερινής εμπειρίας, ενώ θεωρεί την πυκνότητα εντατικό μέγεθος και την διαφοροποιεί από το βάρος. Ακολούθησε την αναμενόμενη μαθησιακή πορεία κατορθώνοντας να κατακτήσει την επιθυμητή γνώση και στις τέσσερις περιοχές μάθησης. β) Ο μαθητής 29 χρησιμοποιεί κυρίως το ερμηνευτικό μοντέλο «το υλικό του αντικειμένου επηρεάζει την Π/Β». Ακολούθησε την αναμενόμενη μαθησιακή πορεία, χωρίς να μπορέσει να κατακτήσει τον συσχετιστικό αιτιακό συλλογισμό για την ερμηνεία της Π/Β. Επίσης, έδειξε σημάδια βελτίωσης στην κατανόηση της έννοιας της πυκνότητας ως ιδιότητας του υλικού, κατά τη διάρκεια της παρέμβασης, η οποία όμως δεν παρέμεινε σταθερή. γ) Ο μαθητής 07 δεν κατάφερε να βελτιώσει τις ερμηνείες για το φαινόμενο της Π/Β ούτε να κατανοήσει την πυκνότητα ως ιδιότητα των υλικών. Δεν ακολούθησε την αναμενόμενη μαθησιακή πορεία. Χρησιμοποίησε ελάχιστα το ερμηνευτικό μοντέλο «η Π/Β επηρεάζεται από το υλικό του αντικειμένου», χρησιμοποίησε κάποιες φορές τον συσχετιστικό αιτιακό συλλογισμό και στη συνέχεια οπισθοδρόμησε στο ερμηνευτικό μοντέλο «τα βαριά βυθίζονται και τα ελαφριά επιπλέουν».

Για κάθε μαθητή παρουσιάζουμε σχηματικά τις πορείες μάθησης, σε κάθε περιοχή ξεχωριστά (π.χ. σχήμα 5.35, για την περίπτωση ερμηνειών της Π/Β του μαθητή 31), χρησιμοποιώντας την επίδοσή τους στα γραπτά ερωτηματολόγια και τη συνέντευξη, σε σχέση με τις κατηγορίες των απόψεων των μαθητών, που έχουν περιγραφεί στην ανάλυση έργων των γραπτών ερωτηματολογίων (ενότητες 4.4.2 και 4.4.3). Υπενθυμίζουμε ότι οι κατηγορίες των απόψεων των μαθητών είναι είτε τέσσερις (0, 1, 2 και 3) είτε δύο (0 και 1). Κομβικά χρονικά σημεία για την περιγραφή της πορείας μάθησης αποτελούν τα χρονικά σημεία που δόθηκαν τα γραπτά ερωτηματολόγια

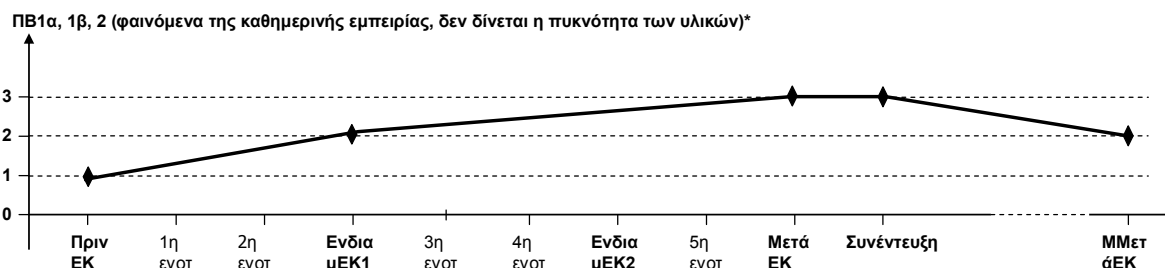
(ΠρινΕΚ, ΕνδιαμΕΚ1, ΕνδιαμΕΚ2, ΜετάΕΚ και ΜΜετάΕΚ), η ημιδομημένη συνέντευξη καθώς και οι ενότητες της ΔΜΣ (π.χ. σχήμα 5.35).

Η επίδοση του μαθητή σε ένα γραπτό ερωτηματολόγιο ή/και στη συνέντευξη καθορίζεται είτε από δύο είτε από τρία έργα. Στην περίπτωση που καθορίζεται από δύο έργα, ο μαθητής κατατάσσεται σε μία κατηγορία εφόσον και οι δύο απαντήσεις του έχουν καταταχθεί σε αυτήν. Στην περίπτωση που καθορίζεται από τρία έργα ο μαθητής κατατάσσεται σε μία κατηγορία, εφόσον δύο τουλάχιστον από τις τρεις απαντήσεις του έχουν καταταχθεί σε αυτήν (Fassouloroulos et al., 2003). Σε αυτήν την περίπτωση τα σημεία στα διαγράμματα αναπαρίστανται με ρόμβο (◊). Εάν η κατάταξη σε κάθε έργο είναι διαφορετική τότε στο διάγραμμα εμφανίζεται μια μέση ένδειξη των απαντήσεών του, υποδηλώνοντας με αυτόν τον τρόπο είτε ασυνέπεια είτε μετάβαση από μια κατηγορία σε μια άλλη. Σε αυτήν την περίπτωση τα σημεία στα διαγράμματα αναπαρίστανται με μία κουκίδα και έναν κύκλο γύρω της (⊙).

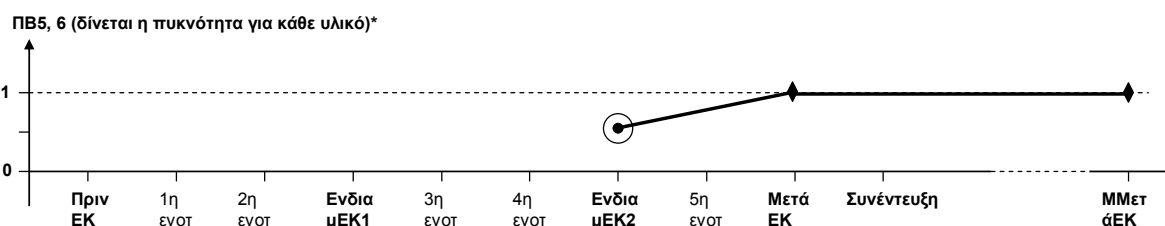
Στη συνέχεια, αξιοποιώντας όλα τα υπάρχοντα δεδομένα –τα γραπτά ερωτηματολόγια, τις μεταγραφές των βίντεο και των ηχητικών αρχείων από τη διδασκαλία, επικουρούμενες από τα φύλλα εργασίας (ΦΕ) που χρησιμοποίησαν οι μαθητές κατά τη διάρκεια της παρέμβασης, και τις μεταγραφές από τη συνέντευξη του κάθε μαθητή– περιγράφουμε «τεκμήρια» (διαλόγους ή/και σημειώσεις στα ΦΕ), που αναδεικνύουν την επίδοση του μαθητή στη συνέντευξη ή σε μία ενότητα της ΔΜΣ. Παρόλο που έχουμε πραγματοποιήσει ενδελεχή ανάλυση των ποιοτικών δεδομένων, παραθέτουμε ενδεικτικά μόνο, κάποια από τα αποσπάσματα, σε περιπτώσεις που θεωρούμε ότι είναι απαραίτητο, για λόγους οικονομίας χώρου. Με αυτήν την ολιστική προσέγγιση στην ανάλυση των δεδομένων θεωρούμε ότι αναδεικνύεται, με μεγαλύτερη ασφάλεια, εάν ο μαθητής έχει μάθει νέα γνώση, εάν βρίσκεται σε μετάβαση, ή τέλος εάν δεν έχει μάθει τη νέα γνώση. Ταυτόχρονα, προσδιορίζουμε τις δραστηριότητες εκείνες που πιθανά συνέβαλαν στη μάθηση.

5.7.2 Πρώτη μελέτη περίπτωσης – Μαθητής 31

5.7.2.1 Ερμηνείες για την Π/Β



* Όπου στον κατακόρυφο άξονα 3: σύγκριση πυκνοτήτων, 2: αναφορά στο υλικό ή/και στο βάρος, 1: αναφορά στο βάρος, και 0: τελεολογικές ή άσχετες



* Όπου στον κατακόρυφο άξονα 1: συσχετιστικός συλλογισμός για την ερμηνεία της Π/Β, και 0: γραμμικός συλλογισμός για την ερμηνεία της Π/Β

Σχήμα 5.35 Διάγραμμα της εξέλιξης του μαθητή 31 σχετικά με τις ερμηνείες Π/Β σε φαινόμενα της καθημερινής εμπειρίας (πρώτο διάγραμμα) καθώς και σε περιπτώσεις που το μοντέλο «τελίτσες-στο-κυβάκι» κάθε αντικειμένου είναι δοσμένο (δεύτερο διάγραμμα). Όπου \blacklozenge : δύο, τουλάχιστον, από τις τρεις ή δύο από τις δύο απαντήσεις κατατάσσονται στην ίδια κατηγορία, και το σημείο αντιστοιχεί σε αυτήν την κατηγορία, και όπου \odot : κάθε απάντηση κατατάσσεται σε άλλη κατηγορία, και το σημείο αντιστοιχεί σε μια μέση ένδειξή τους, υποδηλώνοντας ασυνέπεια ή μετάβαση (δες ενότητα 5.7.1)

Στο σχήμα 5.35, παρουσιάζουμε συνοπτικά την εξέλιξη του μαθητή 31 σχετικά με τις ερμηνείες που δίνει σε φαινόμενα Π/Β. Πιο συγκεκριμένα, στο πρώτο διάγραμμα παρουσιάζουμε την εξέλιξη του μαθητή σχετικά με τις **ερμηνείες** σε φαινόμενα Π/Β της **καθημερινής εμπειρίας** λαμβάνοντας υπόψη τις απαντήσεις των μαθητών στα έργα ΠΒ1α, ΠΒ1β και ΠΒ2 των γραπτών ερωτηματολογίων και στη συνέντευξη. Παράλληλα, συζητούμε τα ποιοτικά «τεκμήρια» που αναδεικνύουν την επίδοση του μαθητή σε κάθε ενότητα της ΔΜΣ.

Εξάλλου, στο δεύτερο διάγραμμα παρουσιάζουμε την εξέλιξη του μαθητή σχετικά με τις προβλέψεις και **ερμηνείες** της Π/Β όταν είναι **δοσμένο το μοντέλο «τελίτσες-στο-κυβάκι»** για κάθε υλικό, με βάση τις απαντήσεις του στα έργα ΠΒ5 και ΠΒ6. Το έργο ΠΒ6 αφορά επίσης και στην κατανόηση του διαφορετικού επιπέδου επίπλευσης αντικειμένων ανάλογα με την πυκνότητά τους.

Παρακάτω, παρουσιάζουμε συνοπτικά την εξέλιξη του μαθητή 31 καθώς επίσης και τις δραστηριότητες, οι οποίες φάνηκε ότι βοήθησαν τον μαθητή 31 να βελτιωθεί.

Ο μαθητής 31, πριν την παρέμβαση, είχε την άποψη ότι «ένα αντικείμενο πλέει όταν είναι ελαφρύ και βυθίζεται όταν είναι βαρύ» (σχήμα 5.35). Αυτό τεκμηριώνεται τόσο από τα γραπτά ερωτηματολόγια πριν την παρέμβαση (έργα ΠΒ1α, ΠΒ1β και ΠΒ2), όσο και από τα ΦΕ αλλά και από αποσπάσματα από τις μεταγραφές των βίντεο της διδασκαλίας και μάθησης στην 1^η και τη 2^η ενότητα. Ενδεικτικά, παραθέτουμε το παρακάτω απόσπασμα στο οποίο ο μαθητής 31, στον έλεγχο της μεταβλητής στενό/φαρδύ δοχείο σε προσομοιωμένο περιβάλλον (δύο δοχεία με νερό, ένα αντικείμενο από μάρμαρο), προβλέπει ότι το αντικείμενο από μάρμαρο θα βυθιστεί επειδή είναι βαρύ:

Δασκάλα: Ωραία, η άλλη ομάδα τι έγραψε; Στο στενό δοχείο, τι έγραψε;

Μαθητής 31: Θα βυθιστεί γιατί είναι πολύ βαρύ

Δασκάλα: Και στο φαρδύ;

Μαθητής 31: Το ίδιο.

Επίσης, στην 1^η και τη 2^η ενότητα, καταγράψαμε συγκεκριμένα σημεία τα οποία αναδεικνύουν τη μετάβαση του μαθητή 31 από την κατηγορία 1 στην κατηγορία 2 σχετικά με τις ερμηνείες για την Π/Β. Στα σημεία αυτά, ο μαθητής 31 είτε αναφέρει ότι το βάρος δεν επηρεάζει την Π/Β είτε αναφέρει ότι το υλικό από το οποίο αποτελείται το αντικείμενο, ή το υγρό, επηρεάζει το φαινόμενο.

Μετά την 2^η ενότητα, στο 1^ο ενδιαμέσο ερωτηματολόγιο (ΕνδιαμΕΚ1), ο μαθητής 31 έδωσε απαντήσεις που τον κατέταξαν στην κατηγορία 2, δηλαδή ερμήνευσε την Π/Β με κριτήριο το υλικό του αντικειμένου (σχήμα 5.35).

Στην 4^η ενότητα οι μαθητές έκαναν προβλέψεις και ερμήνευσαν καταστάσεις Π/Β ομογενών/συμπαγών και σύνθετων σωμάτων σε πραγματικό περιβάλλον. Ο μαθητής 31, στις παραπάνω δραστηριότητες, χρησιμοποίησε το συσχετιστικό αιτιακό μοντέλο ερμηνείας της Π/Β τόσο για ομογενή/συμπαγή όσο και για σύνθετα σώματα. Τις πρώτες φορές αυτό έγινε μόνο μετά από υποδείξεις της δασκάλας, οι οποίες είχαν στόχο να δημιουργήσουν σύνδεσμο μεταξύ των ερμηνειών στα πειράματα σε προσομοιωμένο περιβάλλον, στο οποίο ήταν δοσμένο το μοντέλο «τελίτσες-στοκυβάκι» των υλικών, και των ερμηνειών στα πειράματα σε πραγματικό περιβάλλον (Jaakkola et al., 2010). Ενδεικτικά, παραθέτουμε το παρακάτω απόσπασμα από τη συζήτηση για την *επίπλευση του σιδερένιου μοντέλου πλοίου*:

Δασκάλα: Επίπλεει. Γιατί επιπλέει παιδιά; Πότε είπαμε ότι επιπλέει ένα σώμα σε ένα υγρό, γιατί επιπλέει;

Μαθητής 31: Όταν έχει αέρα;

Δασκάλα: Ο συμμαθητής σας λέει όταν έχει αέρα. Άστο λίγο αυτό! Γιατί επιπλέει, πότε είπαμε σε σχέση με την πυκνότητα, τον κανόνα που χρησιμοποιήσαμε στα πειράματα με τον υπολογιστή, πότε επιπλέει;

Μαθητής 24: Όταν δεν είναι πολύ πυκνό μέσα

Μαθητής 31: Όταν έχει μικρότερη πυκνότητα από το νερό

Δασκάλα: Δηλαδή αυτό το καράβι σε σχέση με το νερό, τι πυκνότητα έχει; Μεγαλύτερη ή μικρότερη;

Μαθητής 31: Μικρότερη

Επιπλέον, ο μαθητής 31 ανέφερε ότι το υλικό ενός αντικειμένου επηρεάζει την Π/Β του σε ένα υγρό, ενώ το μέγεθος του αντικειμένου δεν επηρεάζει. Επομένως, παρατηρούμε ότι στην 4^η ενότητα οι ερμηνείες του μαθητή 31 για την Π/Β κατατάσσονται στις κατηγορίες 3 και 2, ενώ δεν εμφανίζονται πια ερμηνείες της κατηγορίας 1.

Όταν, στην 5^η ενότητα, κλήθηκαν να ερμηνεύσουν τη βύθιση του πλοίου Sea Diamond σε προσομοιωμένο περιβάλλον, οι μαθητές της ομάδας στην οποία εργάστηκε ο μαθητής 31 κατέφυγαν και πάλι σε περιγραφικές ερμηνείες, π.χ. «μπήκε νερό μέσα στα αμπάρια και βυθίστηκε». Μετά από παρέμβαση της δασκάλας, ο μαθητής 31 χρησιμοποίησε τον κανόνα σύγκρισης πυκνοτήτων αντικειμένου-υγρού για να εξηγήσει τη βύθιση αλλά και την ανέλκυση του πλοίου. Παρόλα αυτά, όταν ο μαθητής 31 αντιμετώπισε το τεχνολογικό πρόβλημα ανέλκυσης ενός αντικειμένου από το βυθό της θάλασσας, η λύση που πρότεινε εστίασε σε χαρακτηριστικά τεχνολογικής επίλυσης ενός προβλήματος, π.χ. «να το τραβήξουμε πάνω με ένα δίχτυ», και δεν περιέλαβε τον κανόνα σύγκρισης πυκνοτήτων για την ερμηνεία Π/Β.

Επιπλέον, ο μαθητής 31 δήλωσε ρητά, στη διάρκεια της 4^{ης} και της 5^{ης} ενότητας, καθώς και στη συνέντευξη μετά την παρέμβαση, ότι είναι η πυκνότητα του υλικού που επηρεάζει την Π/Β του σε ένα υγρό και όχι το βάρος. Επίσης, δήλωσε ότι αντιλήφθηκε την αλλαγή στην άποψή του και ότι θεωρεί πως αυτή οφείλεται στα πειράματα που έκαναν στην 1^η και 2^η ενότητα, όπου έλεγξαν τους παράγοντες που επηρεάζουν το φαινόμενο, φανερώνοντας με αυτόν τον τρόπο ότι έχει μεταγνωστική επίγνωση της μεταβολής της γνωστικής του κατάστασης στη συγκεκριμένη περιοχή μάθησης.

Στο ερωτηματολόγιο αμέσως μετά την παρέμβαση (ΜετάΕΚ) οι απαντήσεις που έδωσε τον κατέταξαν στην κατηγορία 3, γιατί χρησιμοποίησε τον κανόνα σύγκρισης πυκνοτήτων αντικειμένου – υγρού για να ερμηνεύσει και να προβλέψει τα φαινόμενα

Π/Β. Παρόλα αυτά, στο ερωτηματολόγιο επτά μήνες μετά την παρέμβαση (ΜΜετάΕΚ), ο μαθητής 31 επέστρεψε στο μοντέλο ερμηνείας της Π/Β με βάση το υλικό του αντικειμένου, δηλαδή στην κατηγορία 2 (σχήμα 5.35). Παράλληλα, στα έργα ΠΒ5 και ΠΒ6, στα οποία το μοντέλο της πυκνότητας «τελίτσες-στο-κυβάκι» είναι δοσμένο, ο μαθητής 31 στο ερωτηματολόγιο αμέσως μετά την 4^η ενότητα (ΕνδιαμΕΚ2) απάντησε σωστά μόνο στην ΠΒ6, ενώ στα ερωτηματολόγια ΜετάΕΚ και ΜΜετάΕΚ απάντησε σωστά και στα δύο έργα και αιτιολόγησε κάνοντας σύγκριση πυκνοτήτων (Σχήμα 5.35). Ταυτόχρονα, οι απαντήσεις του στο έργο ΠΒ6 έδειξαν ότι αντιλήφθηκε το διαφορετικό επίπεδο επίπλευσης των δύο αντικειμένων, γεγονός που επιβεβαιώθηκε και στη συνέντευξη, στη συζήτηση σχετικά με την πυκνότητα. Αυτό αποτελεί στοιχείο επεκτασιμότητας της μάθησης, επειδή παρόλο που αφορά στο φαινόμενο της Π/Β, είναι σχετικό με ζήτημα που δε διδάχθηκε. Επομένως, παρατηρούμε ότι ο μαθητής 31, επτά μήνες μετά την παρέμβαση, χρησιμοποίησε τον κανόνα σύγκρισης πυκνοτήτων (κατηγορία 3) αλλά μόνο στις περιπτώσεις που δίνεται το μοντέλο «τελίτσες-στο-κυβάκι» των υλικών, ενώ στις υπόλοιπες περιπτώσεις ερμήνευσε την Π/Β με τη διαισθητική άποψη που είναι κοντά στην επιστημονική, δηλαδή λαμβάνοντας υπόψη το υλικό του αντικειμένου (κατηγορία 2). Οι δραστηριότητες οι οποίες ενίσχυσαν τη μετάβαση του μαθητή από την κατηγορία 1 στην κατηγορία 2, θεωρούμε ότι ήταν:

α) Η συζήτηση για την *ανάδειξη των μεταβλητών* που πιθανόν να επηρεάζουν το φαινόμενο, στην 1^η ενότητα, γιατί έδωσε τη δυνατότητα στον μαθητή να εντάξει στη συζήτηση αυτή παλαιότερες εμπειρίες του από φαινόμενα της Π/Β. Ειδικότερα, ο μαθητής 31 ανέφερε πως ένας τρόπος για να κάνουμε τον βυθισμένο σιδερένιο κύβο να επιπλεύσει είναι να ρίξουμε αλάτι στο νερό. Θεωρούμε ότι οι εμπειρίες αυτές αποτέλεσαν σημαντικό σκαλοπάτι (scaffolding) για την κατανόηση του ρόλου του υγρού στο φαινόμενο Π/Β.

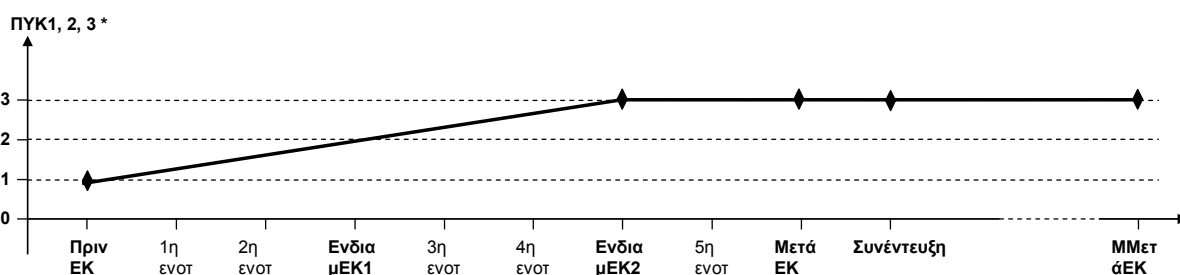
β) Ο *έλεγχος της μεταβλητής βάρους* και η δραστηριότητα εξαγωγής συμπεράσματος, στην 1^η ενότητα, γιατί έφερε τον μαθητή σε σύγκρουση με την άποψη που είχε, δηλαδή ότι το βάρος ενός αντικειμένου επηρεάζει την Π/Β του.

γ) Η δραστηριότητα κατά την οποία οι μαθητές *έλεγξαν εάν το είδος του υγρού* επηρεάζει την Π/Β, στη 2^η ενότητα. Σε αυτήν τη δραστηριότητα, οι μαθητές παρατήρησαν με έκπληξη την πλεύση του κύβου από σίδηρο στον υδράργυρο.

Οι δραστηριότητες οι οποίες θεωρούμε ότι βοήθησαν τη μετάβαση του μαθητή σε ερμηνείες Π/Β με συσχετιστικό αιτιακό συλλογισμό, δηλαδή ερμηνείες της κατηγορίας 3, είναι:

- α) Η δραστηριότητα ανάδειξης του κανόνα σύγκρισης των μοντέλων «τελίτσες-στο-κυβάκι» του αντικειμένου και του νερού, για την ερμηνεία της Π/Β του αντικειμένου στο νερό, στο τέλος της 3^{ης} ενότητας.
- β) Η δραστηριότητα γενίκευσης του κανόνα σύγκρισης πυκνοτήτων και σε άλλα υγρά εκτός από το νερό και οι σχετικές τους συζητήσεις, στην αρχή της 4^{ης} ενότητας, και
- γ) οι δραστηριότητες Π/Β σύνθετων αντικειμένων και οι σχετικές τους συζητήσεις, στην 4^η ενότητα. Ειδικότερα, οι δραστηριότητες αυτές ήταν: i) η δραστηριότητα ερμηνείας της βύθισης μιας σιδερένιας μπάλας και επίπλευσης ενός σιδερένιου μοντέλου πλοίου, και ii) η δραστηριότητα ερμηνείας της βύθισης ενός κομματιού από γυαλί και επίπλευσης ενός γυάλινου μπουκαλιού που περιέχει αέρα.
- δ) Η δραστηριότητα με την *προσομοίωση της βύθισης και της ανέλκυσης του Sea Diamond*, σε συνδυασμό με τη σχετική συζήτηση, στην 5^η ενότητα, βοήθησε τους μαθητές να χρησιμοποιήσουν συσχετιστικό αιτιακό συλλογισμό σε πραγματικά προβλήματα.
- ε) Ο συνδυασμός πειραμάτων Π/Β σε πραγματικό περιβάλλον, όπου το μοντέλο «τελίτσες-στο-κυβάκι» δε δίνεται, και σε προσομοιωμένο περιβάλλον, όπου το μοντέλο των υλικών είναι δοσμένο, καθώς και η σύνδεση μεταξύ των ερμηνειών στα πειράματα αυτά (Jaakkola et al., 2010).

5.7.2.2 Πυκνότητα ως ιδιότητα των υλικών



* Όπου στον κατακόρυφο άξονα 3: η πυκνότητα ως ιδιότητα του υλικού, 2: η πυκνότητα ως ιδιότητα του υλικού και εξαρτημένη από το μέγεθος του αντικειμένου, 1: η πυκνότητα εξαρτημένη από το μέγεθος του αντικειμένου, 0: άσχετες απαντήσεις

Σχήμα 5.36 Διάγραμμα της εξέλιξης του μαθητή 31 σχετικά με την κατανόηση της πυκνότητας ως ιδιότητας των υλικών.

Στο σχήμα 5.36, παρουσιάζουμε συνοπτικά την εξέλιξη του μαθητή σχετικά με τις απόψεις του για την **έννοια της πυκνότητας και τη σχέση της με το υλικό**. Η κατάταξη έγινε λαμβάνοντας υπόψη τις απαντήσεις των μαθητών στα έργα ΠΥΚ1, ΠΥΚ2 και ΠΥΚ3, στα γραπτά ερωτηματολόγια. Επιπλέον, στο διάγραμμα αυτό φαίνονται οι απόψεις του μαθητή για την έννοια της πυκνότητας κατά τη διάρκεια της συνέντευξης. Παράλληλα, συζητούμε τα ποιοτικά «τεκμήρια» που αναδεικνύουν την επίδοση του μαθητή κατά τη διάρκεια πραγματοποίησης της 4^{ης} και 5^{ης} ενότητας. Υπενθυμίζουμε σε αυτό το σημείο, ότι η εισαγωγή της έννοιας της πυκνότητας ως ιδιότητας του υλικού έγινε στην αρχή της 4^{ης} ενότητας, για το λόγο αυτό δεν έχουμε σχετικά δεδομένα κατά τη διάρκεια των τριών πρώτων ενοτήτων.

Παρακάτω, παρουσιάζουμε συνοπτικά την εξέλιξη του μαθητή 31 καθώς επίσης και τις δραστηριότητες, οι οποίες φάνηκε ότι βοήθησαν τον μαθητή να βελτιωθεί. Πριν την παρέμβαση, ο μαθητής κατατάχθηκε στην κατηγορία 1, με βάση τις απαντήσεις του στο γραπτό ερωτηματολόγιο. Δηλαδή έχει την εκτατική άποψη, επειδή ισχυρίζεται ότι το μεγαλύτερο αντικείμενο έχει και μεγαλύτερη πυκνότητα.

Ήδη μετά την 4^η ενότητα, ο μαθητής απέκτησε την εντατική άποψη για την πυκνότητα (ΕνδιαμΕΚ2, σχήμα 5.36), βελτίωση που εμφανίζεται και αμέσως μετά την παρέμβαση (ΜετάΕΚ), η οποία διατηρείται και επτά μήνες μετά την παρέμβαση (ΜΜετάΕΚ).

Επιπλέον, από τις απαντήσεις του μαθητή 31 στα έργα της συνέντευξης, προέκυψε ότι ο μαθητής:

α) Διαφοροποίησε την έννοια της πυκνότητας από την έννοια του βάρους, στοιχείο επεκτασιμότητας της μάθησης, αφού η διαφοροποίηση των δύο αυτών εννοιών ήταν έμμεσος στόχος της ΔΜΣ. Η διαφοροποίηση φάνηκε από το γεγονός ότι ο μαθητής: i) θεωρεί ότι το βάρος εξαρτάται από το μέγεθος του αντικειμένου ενώ η πυκνότητα από το υλικό του, και επίσης διότι ii) για να συγκρίνει βάρη χρησιμοποιεί τη ζυγαριά σύγκρισης, ενώ για να συγκρίνει πυκνότητες χρησιμοποιεί το δοχείο με νερό.

β) Κατανόησε την πυκνότητα ως ιδιότητα ενός υλικού, αφού έκανε επαγωγική σκέψη, δηλώνοντας ότι επειδή γνωρίζει ότι ο μεγάλος ξύλινος κύβος έχει μεγαλύτερη πυκνότητα από τον κύβο από φελλό τότε και ο μικρός ξύλινος κύβος θα έχει μεγαλύτερη πυκνότητα από τον κύβο από φελλό.

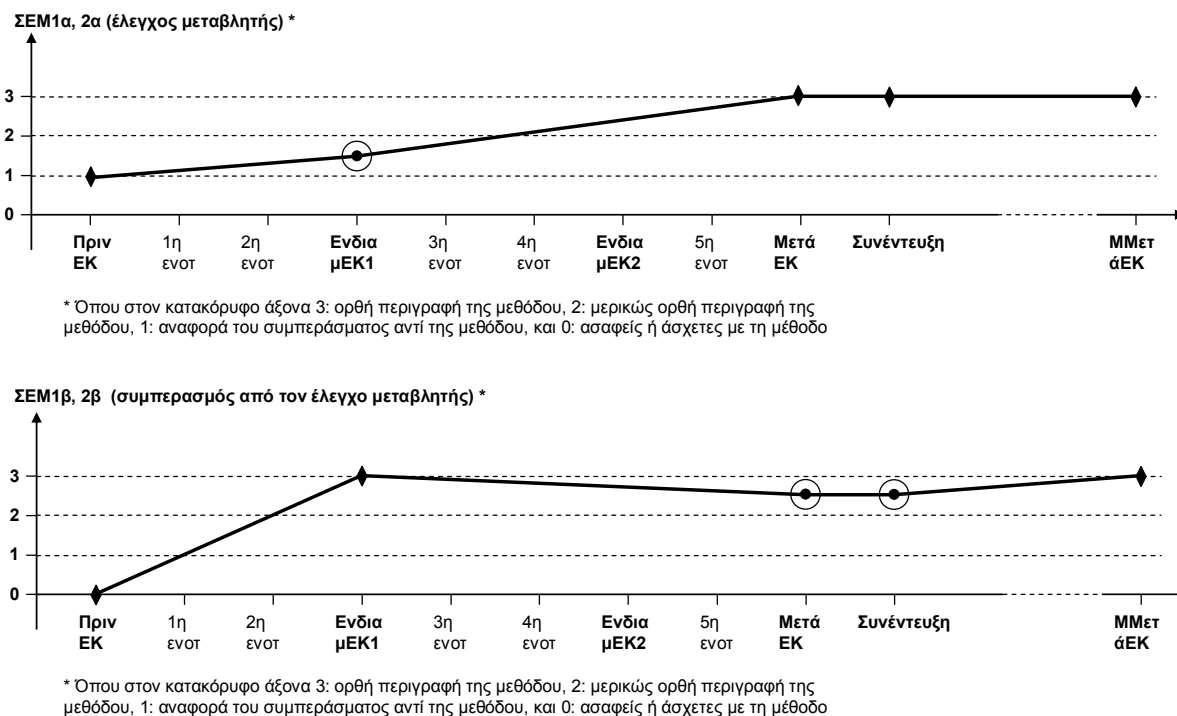
γ) έχει μεταγνωστική επίγνωση για τη μεταβολή στη γνωστική του κατάσταση σχετικά με την έννοια της πυκνότητας.

Στην κατανόηση της πυκνότητας ως ιδιότητας του υλικού και τη διαφοροποίησή της από το βάρος φαίνεται να βοήθησαν οι εξής δραστηριότητες:

α) οι δραστηριότητες *ελέγχου των μεταβλητών* που επηρεάζουν την Π/Β, στη 2^η ενότητα, και οι δραστηριότητες *μοντελοποίησης της σχέσης ελαφρύτερο – βαρύτερο υλικό*, στην 3^η ενότητα της ΔΜΣ (ενότητα 3.2). Θεωρούμε ότι αυτές οι δραστηριότητες βοήθησαν τον μαθητή να αντιληφθεί την πυκνότητα ως μια έννοια που σχετίζεται με το φαινόμενο της Π/Β, όπως άλλωστε δήλωσε ο ίδιος στη συνέντευξη, διότι εστίασαν την προσοχή του στο υλικό τόσο του αντικειμένου όσο και του υγρού και ενέταξαν αυτές τις έννοιες στις ερμηνείες για τα φαινόμενα Π/Β.

β) οι δραστηριότητες *ερμηνείας της Π/Β σύνθετων αντικειμένων*, για παράδειγμα στην 4^η ενότητα η δραστηριότητα με το γυαλί και το μπουκάλι, και στην 5^η ενότητα η δραστηριότητα με την *προσομοίωση της βύθισης και της ανέλκυσης του Sea Diamond*, καθώς και η συζήτηση ανασκόπησης σχετικά με την πυκνότητα σύνθετων σωμάτων, που πραγματοποιήθηκε στην αρχή της 5^{ης} ενότητας. Επιπλέον, θεωρούμε ότι στην κατεύθυνση αυτή βοήθησε και η σύνδεση μεταξύ των ερμηνειών στα πειράματα σε προσομοιωμένο περιβάλλον, στο οποίο ήταν δοσμένο το μοντέλο «τελίτσες-στο-κυβάκι» των υλικών, και των ερμηνειών στα πειράματα σε πραγματικό περιβάλλον (Jaakkola et al., 2010).

5.7.2.3 Στρατηγική Ελέγχου Μεταβλητών (ΣΕΜ)



Σχήμα 5.37 Διάγραμμα της εξέλιξης του μαθητή 31 σχετικά με την κατανόηση της ΣΕΜ.

Στο σχήμα 5.37, παρουσιάζουμε συνοπτικά την εξέλιξη του μαθητή σχετικά με την κατανόηση της **Στρατηγικής Ελέγχου Μεταβλητών (ΣΕΜ)**. Πιο συγκεκριμένα, στο πρώτο διάγραμμα του σχήματος φαίνεται η εξέλιξη σχετικά με τον **έλεγχο** μιας μεταβλητής, ενώ στο δεύτερο διάγραμμα του σχήματος φαίνεται η εξέλιξη σχετικά με τον **συμπερασμό** από τον έλεγχο μιας μεταβλητής. Η κατάταξη έγινε λαμβάνοντας υπόψη τις απαντήσεις των μαθητών στα έργα ΣΕΜ1α και ΣΕΜ2α και στα έργα ΣΕΜ1β και ΣΕΜ2β αντίστοιχα, στα γραπτά ερωτηματολόγια. Επιπλέον, στα διαγράμματα αυτά φαίνεται η κατανόηση των μαθητών για τη μέθοδο ΣΕΜ, κατά τη διάρκεια της συνέντευξης. Παράλληλα, συζητούμε τα ποιοτικά «τεκμήρια» που αναδεικνύουν την επίδοση του μαθητή κατά τη διάρκεια πραγματοποίησης της 1^{ης} και 2^{ης} ενότητας. Υπενθυμίζουμε σε αυτό το σημείο, ότι οι δραστηριότητες εφαρμογής της ΣΕΜ καθώς και οι σχετικές συζητήσεις πραγματοποιήθηκαν μόνο στην 1^η και 2^η ενότητα της ΔΜΣ, με αποτέλεσμα τα δεδομένα να είναι ελάχιστα κατά τη διάρκεια των τριών τελευταίων ενότητων.

Παρακάτω, παρουσιάζουμε συνοπτικά την εξέλιξη του μαθητή 31 καθώς επίσης και τις δραστηριότητες, οι οποίες φάνηκε ότι τον βοήθησαν να βελτιωθεί.

5.7.2.3.α Έλεγχος μεταβλητής

Πριν την παρέμβαση, οι απαντήσεις του μαθητή 31, κατατάχθηκαν στην κατηγορία 1, διότι όταν του ζητήθηκε να περιγράψει με ποιο τρόπο θα μπορούσε να ελέγξει εάν μια μεταβλητή επηρεάζει ή όχι ένα φαινόμενο ανέφερε την προσωπική του άποψη για το εάν η μεταβλητή επηρεάζει ή όχι (σχήμα 5.37, πρώτο διάγραμμα).

Στη διάρκεια της 1^{ης} ενότητας, και ακόμη περισσότερο της 2^{ης} ενότητας, φάνηκε ότι ο μαθητής 31 συμμετείχε ενεργά και έδειξε ενδιαφέρον για τις σχετικές δραστηριότητες και τελικά κατανόησε τη λογική της μεθόδου ελέγχου μιας μεταβλητής. Ιδιαίτερα στην περίπτωση ελέγχου της μεταβλητής είδος υγρού, στη 2^η ενότητα, αναφέρθηκε ρητά στην παρατήρηση της έκβασης του πειράματος. Οι απαντήσεις του μαθητή στο ΕνδιαμΕΚ1, δείχνουν ότι βρίσκεται σε μια μεταβατική φάση στην κατανόηση της μεθόδου αφού η μία κατατάχθηκε στην κατηγορία 3, ως ορθή περιγραφή της μεθόδου ΣΕΜ, και η άλλη στην κατηγορία 0. Επιπλέον, οι απαντήσεις του στο ΜετάΕΚ και το ΜΜετάΕΚ γραπτό ερωτηματολόγιο, δείχνουν πλήρη κατανόηση της μεθόδου αμέσως μετά την παρέμβαση και διατήρηση της κατανόησης αυτής και επτά μήνες αργότερα. Τέλος οι απαντήσεις του μαθητή στη συνέντευξη επιβεβαιώνουν την κατανόηση της μεθόδου ελέγχου μεταβλητής, καθώς και την επεκτασιμότητα της μάθησης σχετικά με τον έλεγχο μιας μεταβλητής, σε άλλο φαινόμενο από αυτό που διδάχθηκε.

5.7.2.3.β Συμπερασμός από τον έλεγχο μεταβλητής

Πριν την παρέμβαση, οι απαντήσεις του μαθητή 31 κατατάσσονται στην κατηγορία 0, διότι όταν του ζητείται να περιγράψει με ποιο τρόπο θα έβγαζε συμπέρασμα σχετικά με το εάν μια μεταβλητή επηρεάζει ή όχι ένα φαινόμενο δε δίνει απάντηση. Στη διάρκεια της παρέμβασης (1^η και 2^η ενότητα), ο μαθητής 31 παρουσίασε σημαντική βελτίωση σχετικά με την κατανόηση του συλλογισμού για τον συμπερασμό από τον έλεγχο μιας μεταβλητής. Η βελτίωση αυτή έγινε φανερή στις απαντήσεις του μαθητή στο γραπτό ερωτηματολόγιο ΕνδιάμΕΚ1, αμέσως μετά τη 2^η ενότητα, οι οποίες κατατάχθηκαν στην κατηγορία 3, διότι ο μαθητής κάνει σύγκριση των παρατηρήσεων που θα έκανε στο πείραμα ώστε να καταλήξει σε ένα συμπέρασμα. Θεωρούμε ιδιαίτερα σημαντικό το γεγονός ότι οι μαθητές 31 και 35, στην 3^η ενότητα, στη συζήτηση που είχε στόχο την κατανόηση της αναγκαιότητας ύπαρξης ενός κανόνα για να μπορούν να προβλέπουν εάν ένα αντικείμενο πλέει ή βυθίζεται σε ένα υγρό

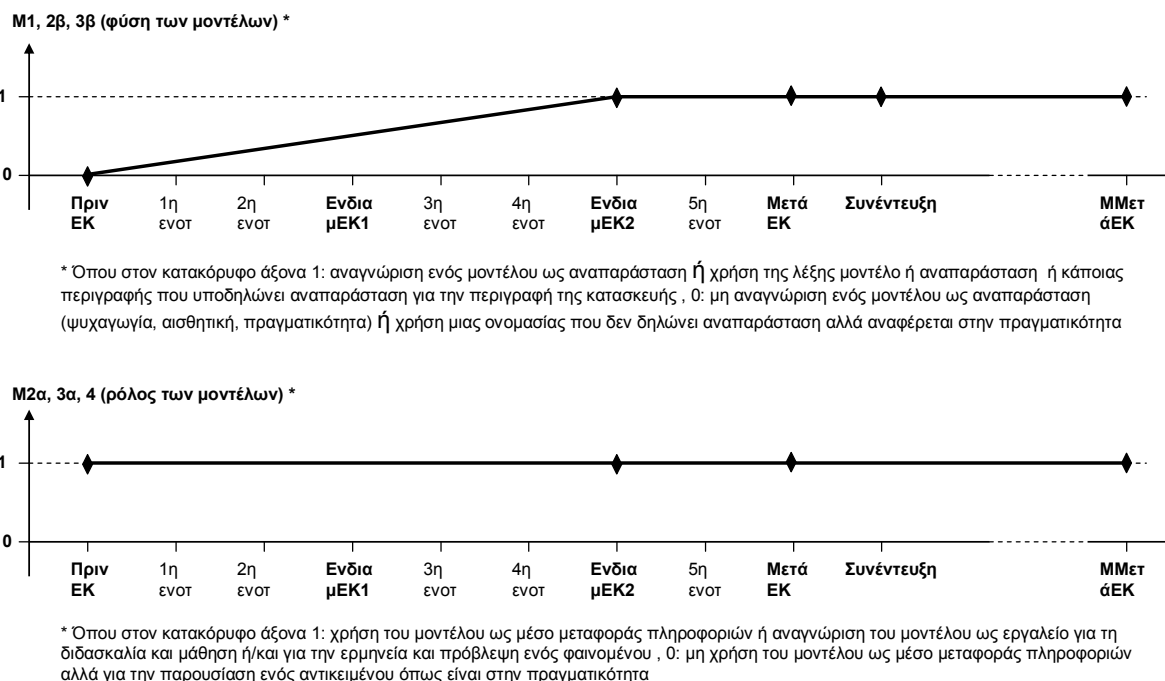
(π.χ. ένας κύλινδρος από ακρυλικό σε γλυκερίνη ή σιρόπι), ανέφεραν την αναγκαιότητα να κάνουμε πείραμα και ότι «το πείραμα το χρειαζόμαστε για να βγάλουμε συμπέρασμα και στη συνέχεια κανόνα». Οι μαθητές με αυτόν τον τρόπο έδειξαν ότι αναγνώρισαν τη σημασία του πειράματος και των τεκμηρίων που προκύπτουν από αυτό, στη διαδικασία συμπερασμού. Εξάλλου, οι απαντήσεις του μαθητή 31 στο ΜετάΕΚ και το ΜΜετάΕΚ γραπτό ερωτηματολόγιο, δείχνουν κατανόηση της μεθόδου αμέσως μετά την παρέμβαση και διατήρηση της κατανόησης αυτής και επτά μήνες αργότερα. Τέλος, οι απαντήσεις του μαθητή στη συνέντευξη επιβεβαιώνουν την κατανόηση της μεθόδου ελέγχου μεταβλητής, καθώς και την επεκτασιμότητα της μάθησης σχετικά με τον συμπερασμό από τον έλεγχο μιας μεταβλητής, σε άλλο φαινόμενο από αυτό που διδάχθηκε.

Συνολικά, θεωρούμε ότι οι δραστηριότητες που βοήθησαν τον μαθητή 31 να κατανοήσει τη μέθοδο ελέγχου μιας μεταβλητής, και τη μέθοδο συμπερασμού από τον έλεγχό της, είναι οι παρακάτω:

α) η σαφής διδασκαλία καθώς και η εκτενής και σε βάθος συζήτηση των βημάτων για τον έλεγχο και για τον συμπερασμό από τον έλεγχο μιας μεταβλητής. Ειδικότερα, η συζήτηση για τη μέθοδο του ελέγχου μιας μεταβλητής επικουρήθηκε από σχετικά ερωτήματα στο ΦΕ, π.χ. καρτέλες με τις μεταβλητές που πιθανόν επηρεάζουν την Π/Β, οι οποίες με οπτικό τρόπο βοήθησαν τον μαθητή να αντιληφθεί ποια μεταβλητή αλλάζει και ποιες παραμένουν σταθερές κατά τη διάρκεια του πειράματος. Επίσης, η συζήτηση για τον συμπερασμό επικουρήθηκε από ερωτήματα στο ΦΕ, π.χ. τι θα έπρεπε να παρατηρήσω για να βγάλω το αντίθετο συμπέρασμα, καθώς και από σχετικό εποπτικό υλικό (εικόνα 1, ενότητα 5.3.3.2) το οποίο με οπτικό τρόπο βοήθησε τον μαθητή να αντιληφθεί πώς διαχειριζόμαστε τις παρατηρήσεις για να βγάλουμε συμπέρασμα. Με αυτόν τον τρόπο, θεωρούμε ότι έγινε φανερός και ευκολότερα αντιληπτός ο συλλογισμός της μεθόδου ΣΕΜ.

β) η βαθμιαία μείωση της καθοδήγησης στις σχετικές δραστηριότητες ελέγχου μιας μεταβλητής, διότι ενίσχυσε την ενεργό εμπλοκή του μαθητή στις διερευνητικές δραστηριότητες.

5.7.2.4 Φύση και ρόλος των μοντέλων



Σχήμα 5.38 Διάγραμμα της εξέλιξης του μαθητή 31 σχετικά με την κατανόηση της φύσης και του ρόλου των μοντέλων.

Στο σχήμα 5.38, παρουσιάζουμε συνοπτικά την εξέλιξη του μαθητή σχετικά με την κατανόηση της **φύσης και του ρόλου των μοντέλων (M)**. Πιο συγκεκριμένα, στο πρώτο διάγραμμα του σχήματος φαίνεται η εξέλιξη του μαθητή σχετικά με τη **φύση** ενός μοντέλου, ενώ στο δεύτερο διάγραμμα του σχήματος φαίνεται η εξέλιξή του σχετικά με τον **ρόλο** ενός μοντέλου. Η κατάταξη έγινε λαμβάνοντας υπόψη τις απαντήσεις των μαθητών στα έργα M1, M2β και M3β και στα έργα M2α, M3α και M4 αντίστοιχα, στα γραπτά ερωτηματολόγια. Επιπλέον, στα διαγράμματα αυτά φαίνεται η κατανόηση των μαθητών για τη φύση και τον ρόλο των μοντέλων κατά τη διάρκεια της συνέντευξης. Παράλληλα, συζητούμε τα ποιοτικά «τεκμήρια» που αναδεικνύουν την επίδοση του μαθητή κατά τη διάρκεια πραγματοποίησης της 1^{ης}, 4^{ης} και 5^{ης} ενότητας. Υπενθυμίζουμε σε αυτό το σημείο, ότι οι συζητήσεις σχετικά με τη φύση και τον ρόλο των μοντέλων πραγματοποιήθηκαν στην 1^η, 4^η και 5^η ενότητα της ΔΜΣ, με αποτέλεσμα τα δεδομένα να είναι ελάχιστα κατά τη διάρκεια της 2^{ης} και της 3^{ης} ενότητας.

Παρακάτω, παρουσιάζουμε συνοπτικά την εξέλιξη του μαθητή 31 καθώς επίσης και τις δραστηριότητες, οι οποίες φάνηκε ότι τον βοήθησαν να βελτιωθεί.

5.7.2.4.α Φύση των μοντέλων

Πριν την παρέμβαση, οι απαντήσεις του μαθητή 31, κατατάχθηκαν στην κατηγορία 0, διότι θεωρούσε τα μοντέλα ταυτόσημα με την πραγματικότητα ή/και θεωρούσε ότι ο σκοπός τους είναι η αναψυχή (Σχήμα 5.38).

Στη διάρκεια της 1^{ης} ενότητας ο μαθητής έδωσε απαντήσεις που δείχνουν ότι η άποψή του μεταβλήθηκε προς μια πιο επιστημονική θεώρηση της φύσης των μοντέλων, αναγνωρίζοντας ότι «ένα μοντέλο είναι αναπαράσταση» ενός στόχου και ότι «δεν είναι απαραίτητο να είναι ακριβώς ίδιο» με τον στόχο. Επίσης, στην 4^η ενότητα ο μαθητής έδειξε ότι αντιλήφθηκε τη διάκριση μεταξύ μοντέλων και πραγματικότητας αναφέροντας ότι «ένα μοντέλο μας χρησιμεύει για να δούμε πώς είναι κάτι στην πραγματικότητα» και επανέλαβε ότι «ένα μοντέλο είναι αναπαράσταση». Η μετάβαση αυτή προς πιο επιστημονικές απόψεις του μαθητή σχετικά με τη φύση των μοντέλων, επιβεβαιώνεται στο ΕνδιαμΕΚ2 όπου οι απαντήσεις του κατατάχθηκαν στην κατηγορία 1.

Στην 5^η ενότητα, ο μαθητής επιβεβαίωσε τη βελτίωση που έχει πραγματοποιηθεί στην άποψή του για τη φύση των μοντέλων, ενώ με τις απαντήσεις του στο ΜετάΕΚ γραπτό ερωτηματολόγιο ανιχνεύτηκε η βελτίωση αυτή αμέσως μετά την παρέμβαση. Από τη συνέντευξη εξάλλου, φάνηκε ότι ο μαθητής εκτός από τα μοντέλα που έχει διδαχθεί, π.χ. το μοντέλο «τελίτσες-στο-κυβάκι» της πυκνότητας, αναγνωρίζει ως μοντέλα και αναπαραστάσεις που δεν έχει διδαχθεί, όπως είναι ο κύκλος του νερού. Αυτό αποτελεί στοιχείο επεκτασιμότητας της μάθησης σχετικά με την κατανόηση της φύσης των μοντέλων. Επιπλέον, όταν του ζητήθηκε να αναφέρει ποια στοιχεία περιλαμβάνει το μοντέλο του κύκλου του νερού, δεν ανέφερε μόνο αντικείμενα, αλλά επεκτάθηκε και στην αναφορά διαδικασιών και αλληλεπιδράσεων μεταξύ τους, στοιχείο που θεωρείται ιδιαίτερα σημαντικό στην κατανόηση της φύσης των μοντέλων (Paraeniridou et al., 2007). Παρόλα αυτά, σε αντίστοιχη ερώτηση σχετικά με το μοντέλο «τελίτσες-στο-κυβάκι» φάνηκε να αναγνωρίζει ως σημαντικό στοιχείο του μοντέλου μόνο τις τελίτσες και όχι το κυβάκι, γεγονός που φανερώνει τη δυσκολία της πλήρους κατανόησης της έννοιας της πυκνότητας, ως έννοια που περιλαμβάνει ταυτόχρονα το βάρος και τον όγκο ενός αντικειμένου σε μια σχέση αναλογίας. Τέλος, οι απαντήσεις του μαθητή στο ΜΜετάΕΚ γραπτό ερωτηματολόγιο έδειξαν ότι η βελτίωση στην κατανόηση της φύσης των μοντέλων διατηρήθηκε επτά μήνες μετά την παρέμβαση.

5.7.2.4.β Ρόλος των μοντέλων

Πριν την παρέμβαση, οι απαντήσεις του μαθητή 31 σχετικά με τον ρόλο των μοντέλων, κατατάχθηκαν στην κατηγορία 1, διότι φανερώνουν ότι αντιλήφθηκε το μοντέλο υλικής υπόστασης του ματιού και το μοντέλο-σχεδιάγραμμα ενός πλοίου ως μέσα μεταφοράς πληροφοριών (Σχήμα 5.38).

Στη διάρκεια της 4^{ης} και της 5^{ης} ενότητας, ο μαθητής έδειξε ότι κατανοεί το μοντέλο «τελίτσες-στο-κυβάκι» ως ένα εργαλείο για την ερμηνεία και την πρόβλεψη της Π/Β, δηλώνοντας για παράδειγμα ότι το μοντέλο αυτό το φτιάξαμε «για να δούμε πότε βυθίζεται (ένα αντικείμενο)». Στα γραπτά ερωτηματολόγια ΕνδιαμΕΚ2 και ΜετάΕΚ, οι απαντήσεις του μαθητή σε όλα τα σχετικά έργα κατατάχθηκαν επίσης στην κατηγορία 1.

Από τη συνέντευξη εξάλλου, φαίνεται ότι ο μαθητής εκτός από τα μοντέλα που είχε διδαχθεί, π.χ. το μοντέλο «τελίτσες-στο-κυβάκι» της πυκνότητας, μπόρεσε να αναγνωρίσει ως μέσο μεταφοράς πληροφοριών ή/και εργαλείο για την ερμηνεία φαινομένων, μια αναπαράσταση που δεν την είχε διδαχθεί, όπως είναι ο κύκλος του νερού, δηλώνοντας για παράδειγμα ότι μας βοηθάει «για να δούμε πώς εξατμίζεται το νερό». Με βάση τα παραπάνω αποτελέσματα, παρόλο που στο διάγραμμα δεν είναι φανερό, θεωρούμε ότι υπήρξε ποιοτική βελτίωση στην κατανόηση του ρόλου των μοντέλων, επειδή ο μαθητής στη διάρκεια της ΔΜΣ διαπραγματεύτηκε μοντέλα με συνεχώς μειούμενη ομοιότητα με τον στόχο. Επίσης, οι απαντήσεις του μαθητή στο ΜΜετάΕΚ γραπτό ερωτηματολόγιο έδειξαν ότι η ποιοτική βελτίωση στην κατανόηση του ρόλου των μοντέλων διατηρήθηκε επτά μήνες μετά την παρέμβαση.

Συνολικά, θεωρούμε ότι οι δραστηριότητες που βοήθησαν τον μαθητή 31 να βελτιώσει την κατανόησή του σχετικά με τη φύση και τον ρόλο των μοντέλων είναι οι παρακάτω:

- α) η σαφής διδασκαλία και η αναλυτική συζήτηση σχετικά με χαρακτηριστικά της φύσης των μοντέλων. Συγκεκριμένα, πραγματοποιήθηκαν τέτοιες συζητήσεις κατά τη διάρκεια της 1^{ης} ενότητας, σχετικά με τα μοντέλα (σκίτσο και υλικής υπόστασης) ενός πλοίου, κατά τη διάρκεια της 4^{ης} ενότητας, σχετικά με τα μοντέλα της πυκνότητας και δύο ηλιοκεντρικών μοντέλων, και τέλος κατά τη διάρκεια της 5^{ης} ενότητας, σχετικά με το προσομοιωμένο μοντέλο της βύθισης και ανέλκυσης του Sea Diamond. Αντίστοιχες συζητήσεις σχετικά με τον ρόλο των μοντέλων πραγματοποιήθηκαν μόνο κατά τη

διάρκεια της 4^{ης} και της 5^{ης} ενότητας. Σημαντικό χαρακτηριστικό της σαφούς διδασκαλίας της φύσης των μοντέλων είναι ότι πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο των δραστηριοτήτων της σειράς, που περιλάμβαναν χρήση ενός ή περισσότερων συγκεκριμένων μοντέλων, π.χ. μοντέλα πλοίου, μοντέλα πυκνότητας, μοντέλα ερμηνείας της Π/Β κ.ά.

β) η *βαθμιαία μείωση της ομοιότητας* των μοντέλων που χρησιμοποιήθηκαν στη ΔΜΣ με τον στόχο που αναπαριστούν, διότι ενίσχυσε τη διαφοροποίηση του κόσμου των μοντέλων από την πραγματικότητα και βοήθησε τους μαθητές να αντιληφθούν ότι η λειτουργία των μοντέλων είναι σημαντικότερο στοιχείο από την ομοιότητά τους με τον στόχο που αναπαριστούν.

5.7.2.5 Σύνοψη για τον μαθητή 31 (συσχετιστικός αιτιακός συλλογισμός στην Π/Β, εντατικότητα της πυκνότητας και διαφοροποίηση από το βάρος, κατανόηση της ΣΕΜ, κατανόηση περί μοντέλων)

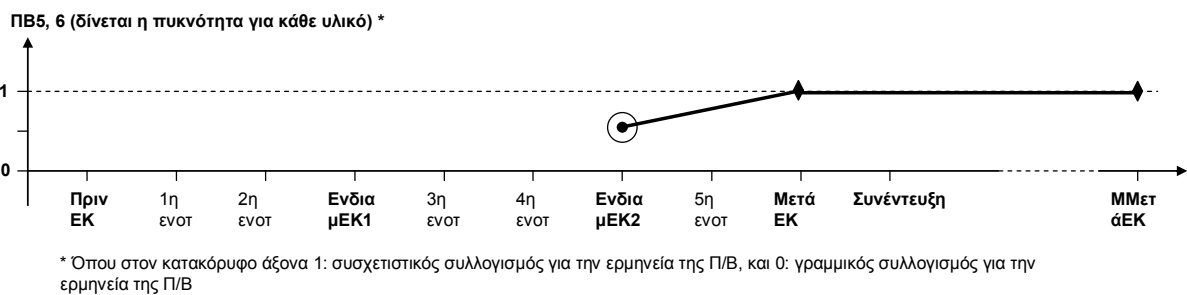
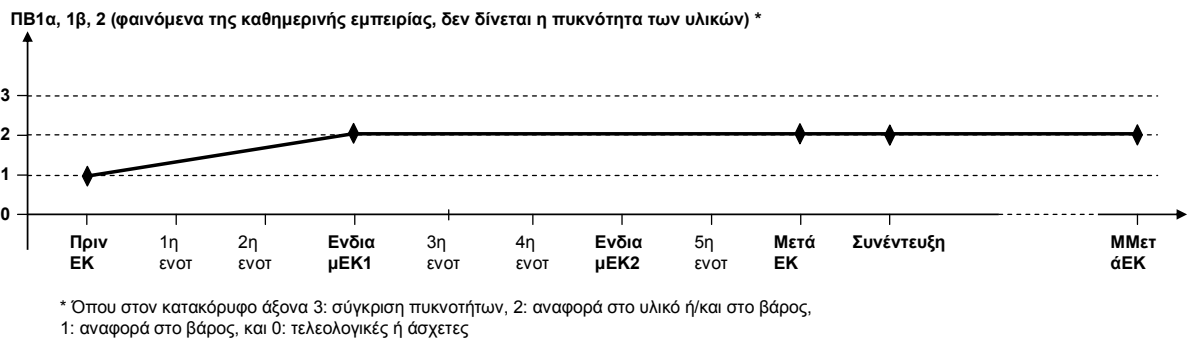
Ο μαθητής 31 σε γενικές γραμμές ακολούθησε με επιτυχία την αναμενόμενη, με βάση τους διδακτικούς στόχους, μαθησιακή πορεία σε όλες τις περιοχές μάθησης. Συμμετείχε ενεργά στις συζητήσεις της τάξης καθώς και στις ομαδικές δραστηριότητες και τις αντίστοιχες συζητήσεις. Επίσης, αρχικά είχε τις κύριες εναλλακτικές ιδέες και δυσκολίες σε κάθε περιοχή μάθησης.

Ειδικότερα, η βελτίωση των ερμηνειών για φαινόμενα Π/Β, από την κατηγορία 1 στην κατηγορία 2 (σχήμα 5.35), έγινε παράλληλα με τη βελτίωση της κατανόησης της μεθόδου ΣΕΜ (σχήμα 5.37). Επιπλέον, η περαιτέρω βελτίωση στις ερμηνείες για την Π/Β, από την κατηγορία 2 στην κατηγορία 3, έγινε παράλληλα με τη βελτίωση της κατανόησης περί της φύσης και του ρόλου των μοντέλων (σχήμα 5.38). Ταυτόχρονα, υπήρξε βελτίωση της κατανόησης της πυκνότητας ως ιδιότητας του υλικού (σχήμα 5.36), και διαφοροποίησή της από το βάρος, στοιχεία που καταδεικνύουν αλλαγή οντολογικής κατηγορίας για την έννοια της πυκνότητας. Θεωρούμε ότι τα παραπάνω στοιχεία της εξέλιξης του μαθητή 31, αποτελούν ενδείξεις που ενισχύουν το υποθετικό θεωρητικό μοντέλο των σχέσεων της κατανόησης στις τέσσερις περιοχές μάθησης της ΔΜΣ (ενότητα 4.1, σχήμα 4.1). Συνοπτικά, φαίνεται ότι η βελτίωση στην κατανόηση τόσο της μεθόδου ΣΕΜ όσο και της φύσης και του ρόλου των μοντέλων συνεισέφεραν στη βελτίωση των ερμηνειών της Π/Β καθώς επίσης και στην εννοιολογική κατανόηση της πυκνότητας ως ιδιότητας του υλικού. Τέλος, η αλλαγή

οντολογικής κατηγορίας, η οποία φαίνεται να επιτυγχάνεται για την έννοια της πυκνότητας, ενισχύει τη βελτίωση στο εξηγητικό πλαίσιο του φαινομένου της Π/Β.

5.7.3 Δεύτερη μελέτη περίπτωσης – Μαθητής 29

5.7.3.1 Ερμηνείες για την Π/Β



Σχήμα 5.39 Διάγραμμα της εξέλιξης του μαθητή 29 σχετικά με τις ερμηνείες Π/Β σε φαινόμενα της καθημερινής εμπειρίας (πρώτο διάγραμμα), καθώς και σε περιπτώσεις που το μοντέλο «τελίτσες-στο-κυβάκι» κάθε αντικείμενου είναι δοσμένο (δεύτερο διάγραμμα).

Στο σχήμα 5.39, παρουσιάζουμε συνοπτικά την εξέλιξη του μαθητή 29 σχετικά με τις ερμηνείες που δίνει σε φαινόμενα Π/Β. Πιο συγκεκριμένα, στο πρώτο διάγραμμα παρουσιάζουμε την εξέλιξη του μαθητή σχετικά με τις **ερμηνείες** σε φαινόμενα Π/Β της **καθημερινής εμπειρίας**, ενώ στο δεύτερο διάγραμμα παρουσιάζουμε την εξέλιξη του μαθητή σχετικά με τις προβλέψεις και **ερμηνείες** της Π/Β όταν είναι **δοσμένο το μοντέλο «τελίτσες-στο-κυβάκι»** για κάθε υλικό. Η μέθοδος ανάλυσης είναι παρόμοια με αυτήν που εφαρμόσαμε για τον μαθητή 31.

Παρακάτω, παρουσιάζουμε συνοπτικά την εξέλιξη του μαθητή 29 καθώς επίσης και τις δραστηριότητες, οι οποίες φάνηκε ότι τον βοήθησαν να βελτιωθεί.

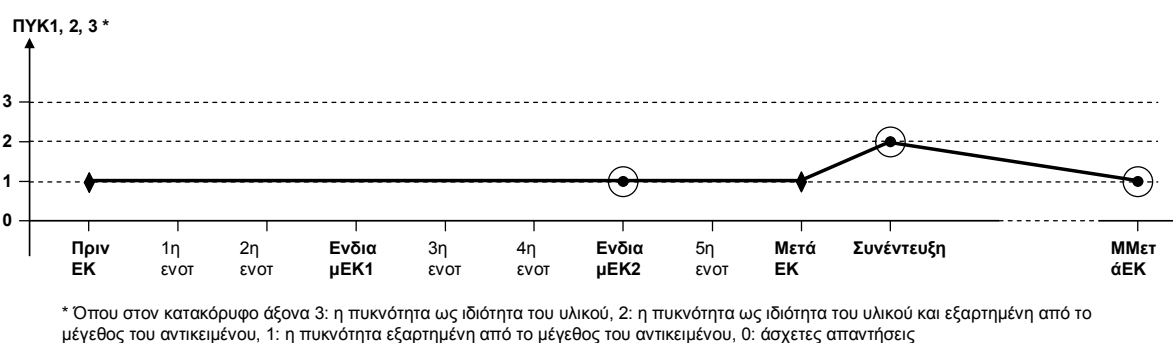
Πριν την παρέμβαση ο μαθητής 29 είχε την άποψη ότι «ένα αντικείμενο πλέει όταν είναι ελαφρύ και βυθίζεται όταν είναι βαρύ» (σχήμα 5.39, πρώτο διάγραμμα). Στη

διάρκεια της 1^{ης} και της 2^{ης} ενότητας ο μαθητής μεταβαίνει από το ερμηνευτικό μοντέλο «ένα αντικείμενο επιπλέει όταν είναι ελαφρύ και βυθίζεται όταν είναι βαρύ» σε ερμηνείες της Π/Β που βασίζονται στο υλικό του αντικειμένου. Αυτό επιβεβαιώνεται στο ενδιάμεσο γραπτό ερωτηματολόγιο ΕνδιαμΕΚ1 αμέσως μετά την 2^η ενότητα (σχήμα 5.39, πρώτο διάγραμμα). Στη διάρκεια της 3^{ης} ενότητας, και συγκεκριμένα στη δραστηριότητα των μαθητών σε προσομοιωμένο περιβάλλον, κατά την οποία κατέληξαν στον κανόνα σύγκρισης πυκνοτήτων αντικειμένου-υγρού για την ερμηνεία φαινομένων Π/Β, καταγράψαμε σημεία στα οποία ο μαθητής 29 μαζί με τους συμμαθητές της ομάδας του αντί να εργαστούν με βάση το ΦΕ, χρησιμοποίησαν το λογισμικό για να παίξουν. Αυτό φαίνεται ότι αποτέλεσε εμπόδιο στην κατανόηση της χρήσης του μοντέλου «τελίτσες-στο-κυβάκι» στην ερμηνεία και πρόβλεψη φαινομένων Π/Β. Στην 4^η και την 5^η ενότητα υπάρχουν σημεία όπου ο μαθητής είτε αναφέρεται στο συσχετιστικό αιτιακό μοντέλο (κατά τη διάρκεια της δραστηριότητας γενίκευσης του κανόνα σύγκρισης πυκνοτήτων και σε άλλα υγρά εκτός από το νερό), είτε το χρησιμοποιεί για την ερμηνεία της Π/Β (κατά τη διάρκεια της ερμηνείας Π/Β σύνθετων αντικειμένων, και συγκεκριμένα του γυάλινου μπουκαλιού που περιέχει αέρα). Παρόλα αυτά, υπάρχουν εξίσου, σημεία στα οποία αναφέρεται στο υλικό ή ακόμη και στο βάρος του αντικειμένου για να ερμηνεύσει την Π/Β. Στο γραπτό ερωτηματολόγιο μετά την παρέμβαση αλλά και στη συνέντευξη φαίνεται ότι κυριαρχεί τελικά το ερμηνευτικό μοντέλο με αναφορά στο υλικό του αντικειμένου. Επομένως, ο μαθητής παρουσίασε βελτίωση σχετικά με τις ερμηνείες για την Π/Β, που έδινε πριν την παρέμβαση, και χρησιμοποίησε το συσχετιστικό αιτιακό μοντέλο κατά τη διάρκεια της παρέμβασης σε ορισμένες περιπτώσεις. Παρόλα αυτά, μετά την παρέμβαση η βελτίωσή του περιορίστηκε στην κατηγορία 2, δηλαδή στις ερμηνείες με βάση το υλικό του αντικειμένου, κατάσταση η οποία διατηρήθηκε και επτά μήνες μετά την παρέμβαση (σχήμα 5.39, πρώτο διάγραμμα). Εντούτοις, όπως φαίνεται στο δεύτερο διάγραμμα στο σχήμα 5.39, στα έργα ΠΒ5 και ΠΒ6 στα οποία το μοντέλο «τελίτσες-στο-κυβάκι» είναι δοσμένο, ο μαθητής χρησιμοποιεί τον κανόνα σύγκρισης πυκνοτήτων στο ΕνδιαμΕΚ2, στο ΜετάΕΚ καθώς και στο ΜΜετάΕΚ στις ερμηνείες της Π/Β. Αυτό δείχνει ότι ο μαθητής καταφέρνει να χρησιμοποιήσει το συσχετιστικό αιτιακό μοντέλο, ακόμη και επτά μήνες μετά την παρέμβαση, αλλά μόνο στις περιπτώσεις που το μοντέλο «τελίτσες-στο-κυβάκι» της πυκνότητας των υλικών που περιλαμβάνονται στα ερωτήματα είναι δοσμένο.

Η μετάβαση του μαθητή από την κατηγορία 1 στην κατηγορία 2, φαίνεται να έγινε κυρίως στις δραστηριότητες στις οποίες οι μαθητές πραγματοποίησαν έλεγχο των μεταβλητών που πιθανώς επηρεάζουν την Π/Β (έλεγχος των μεταβλητών βάρος και είδος υγρού).

Επιπλέον, οι δραστηριότητες στις οποίες ο μαθητής κατάφερε να χρησιμοποιήσει το συσχετιστικό αιτιακό μοντέλο στις ερμηνείες της Π/Β ήταν: α) η δραστηριότητα γενίκευσης του κανόνα σύγκρισης πυκνοτήτων και σε άλλα υγρά εκτός από το νερό, και β) η δραστηριότητα ερμηνείας της Π/Β σύνθετων αντικειμένων, π.χ. του γυάλινου μπουκαλιού.

5.7.3.2 Πυκνότητα ως ιδιότητα των υλικών



Σχήμα 5.40 Διάγραμμα της εξέλιξης του μαθητή 29 σχετικά με την κατανόηση της πυκνότητας ως ιδιότητας των υλικών.

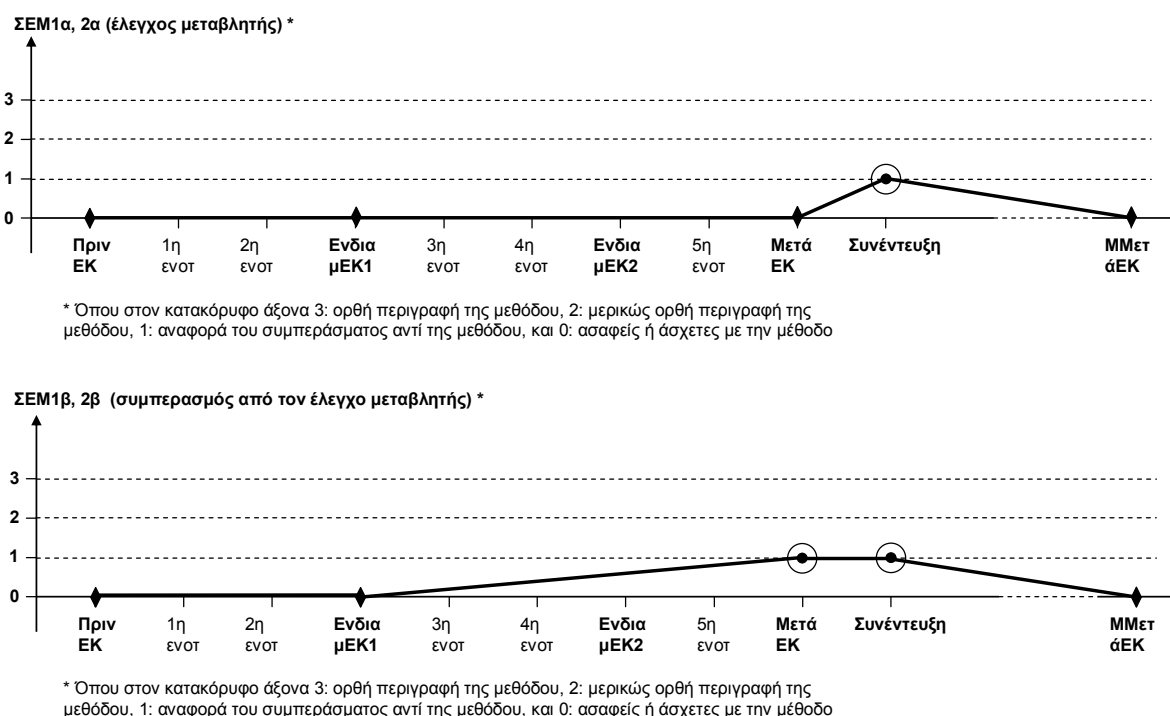
Στο σχήμα 5.40, παρουσιάζουμε συνοπτικά την εξέλιξη του μαθητή 29 σχετικά με τις απόψεις του για την **έννοια της πυκνότητας και τη σχέση της με το υλικό**. Η μέθοδος ανάλυσης είναι παρόμοια με αυτήν που εφαρμόσαμε για τον μαθητή 31. Παρακάτω, παρουσιάζουμε συνοπτικά την εξέλιξη του μαθητή καθώς επίσης και τις δραστηριότητες, οι οποίες φάνηκε ότι τον βοήθησαν να βελτιωθεί.

Πριν την παρέμβαση (ΠρινΕΚ), ο μαθητής 29 κατατάχθηκε στην κατηγορία 1 (σχήμα 5.40), δηλαδή είχε την άποψη ότι το μεγαλύτερο αντικείμενο έχει και μεγαλύτερη πυκνότητα που σημαίνει ότι είχε την εκτατική άποψη για την πυκνότητα.

Μετά την παρέμβαση φαίνεται ότι παρέμεινε στην ίδια άποψη για την πυκνότητα, όπως φαίνεται από την κατάταξη των απαντήσεων που έδωσε στο ερωτηματολόγιο ΜετάΕΚ (σχήμα 5.40), αδυνατώντας ταυτόχρονα να διαφοροποιήσει την πυκνότητα από το βάρος, όπως φάνηκε στη συνέντευξη. Η κατάταξη δε των απαντήσεων που έδωσε στο ΕνδιαμΕΚ2 γραπτό ερωτηματολόγιο, καθώς και οι απαντήσεις του

μαθητή στην 4^η και την 5^η ενότητα φανερώνουν ότι υπήρξε μια προσπάθεια για την κατανόηση της πυκνότητας ως ιδιότητας του υλικού η οποία, παρόλο που έγινε φανερή στη συνέντευξη, τελικά φάνηκε να μένει ατελέσφορη επτά μήνες μετά την παρέμβαση. Για παράδειγμα, στο τέλος της 5^{ης} ενότητας, και μετά από όλη τη σχετική συζήτηση για την ερμηνεία της προσπάθειας ανέλκυσης του πηλίνου αγαλαματιδίου και του σιδερένιου μοντέλου του πλοίου, οι μαθητές της ομάδας στην οποία εργάστηκε ο μαθητής 29, αναφέρονται στο υλικό «να αδειάσουμε το νερό, να φουσκώσουμε τα μπαλόνια», χρησιμοποιώντας ταυτόχρονα και το συσχετιστικό αιτιακό μοντέλο για την ερμηνεία της ανέλκυσης του σιδερένιου μοντέλου του πλοίου. Τέλος, οι απαντήσεις του μαθητή επτά μήνες μετά την παρέμβαση, στο ΜΜετΑΕΚ γραπτό ερωτηματολόγιο, χαρακτηρίζονται από ασυνέπεια με την έννοια ότι υπάρχει μία απάντηση που κατατάχθηκε στην κατηγορία 3, ενώ ταυτόχρονα οι άλλες δύο στην κατηγορία 0 και 1 αντίστοιχα (σχήμα 5.40).

5.7.3.3 Στρατηγική Ελέγχου Μεταβλητών (ΣΕΜ)



Σχήμα 5.41 Διάγραμμα της εξέλιξης του μαθητή 29 σχετικά με την κατανόηση της ΣΕΜ.

Στο σχήμα 5.41, παρουσιάζουμε συνοπτικά την εξέλιξη του μαθητή σχετικά με την κατανόηση της **Στρατηγικής Ελέγχου Μεταβλητών (ΣΕΜ)**. Πιο συγκεκριμένα, στο πρώτο διάγραμμα του σχήματος φαίνεται η εξέλιξη σχετικά με τον **έλεγχο** μιας

μεταβλητής, ενώ στο δεύτερο διάγραμμα του σχήματος φαίνεται η εξέλιξη σχετικά με τον **συμπερασμό** από τον έλεγχο μιας μεταβλητής. Η μέθοδος ανάλυσης είναι παρόμοια με αυτήν που εφαρμόσαμε για τον μαθητή 31. Παρακάτω, παρουσιάζουμε συνοπτικά την εξέλιξη του μαθητή 29 καθώς επίσης και τις δραστηριότητες, οι οποίες φάνηκε ότι βοήθησαν τον μαθητή 29 να βελτιώσει, στο βαθμό που τα κατάφερε, την κατανόηση της μεθόδου για τον έλεγχο και για τον συμπερασμό από τον έλεγχο μιας μεταβλητής.

5.7.3.3.α Έλεγχος μεταβλητής

Πριν την παρέμβαση, οι απαντήσεις του μαθητή 29 κατατάχθηκαν στην κατηγορία 0, διότι δεν μπόρεσε να περιγράψει με ποιο τρόπο θα ελέγξει εάν μια μεταβλητή επηρεάζει ή όχι ένα φαινόμενο (σχήμα 5.41, πρώτο διάγραμμα).

Στη διάρκεια της 1^{ης} και της 2^{ης} ενότητας φάνηκε ότι ο μαθητής 29 δε συμμετείχε ενεργά και έδειξε ελάχιστο ενδιαφέρον για τις σχετικές δραστηριότητες, με αποτέλεσμα να μην κατανοήσει τη λογική της μεθόδου ελέγχου μιας μεταβλητής. Μοναδική περίπτωση στην οποία ο μαθητής περιέγραψε σωστά τη διαδικασία, χωρίς όμως να κάνει αναφορά στην παρατήρηση της έκβασης του πειράματος είναι στη δραστηριότητα για τον έλεγχο της μεταβλητής είδος του υγρού:

Δασκάλα: Ναι, για πες τι θα έκανες;

Μαθητής 29: Θα έπαιρνα τον κύβο και θα τον έβαζα πρώτα στο λάδι και μετά στον υδράργυρο.

Η δυσκολία του μαθητή να κατανοήσει τη μέθοδο επιβεβαιώνεται και από τις απαντήσεις του στο ΕνδιαμΕΚ1, οι οποίες κατατάχθηκαν στην κατηγορία 0 (σχήμα 5.41, πρώτο διάγραμμα). Επιπλέον, οι απαντήσεις του στο ΜετάΕΚ και το ΜΜετάΕΚ γραπτό ερωτηματολόγιο, δείχνουν ότι δεν έχει κατανοήσει τη μέθοδο μετά την παρέμβαση. Τέλος, οι απαντήσεις του μαθητή στη συνέντευξη επιβεβαιώνουν τη δυσκολία του μαθητή στην κατανόηση της μεθόδου ελέγχου μεταβλητής. Για παράδειγμα, στην ερώτηση ΣΕΜ3α, περιέγραψε τη μέθοδο για τον έλεγχο της μεταβλητής ως εξής:

Ερευνητής: Ας πούμε τώρα ότι θέλεις να ελέγξεις αν το σχήμα ενός συμπαγούς αντικειμένου επηρεάζει την πλεύση ή τη βύθισή του στο νερό που βρίσκεται μέσα σε ένα δοχείο. Μπορείς να μου πεις τι θα έκανες για να το ελέγξεις;

Μαθητής 29: Θα έκανα δοκιμές

Ερευνητής: Τι θα έκανες ακριβώς; Μπορείς να μου πεις πιο συγκεκριμένα;

Μαθητής 29: Θα πάρω ένα δοχείο με νερό, ένα με λάδι και ένα με γλυκερίνη και θα δοκιμάσω αυτό το υλικό.

Ερευνητής: Ναι, αλλά εγώ δε σου είπα ποιο υλικό. Σου είπα να ελέγξεις αν το σχήμα του αντικειμένου μπορεί να επηρεάσει την πλεύση ή τη βύθιση. Από αντικείμενο τι θα πάρεις;

Μαθητής 29: Ένα κυβάκι ξύλο, ένα μάρμαρο και ένα φελλό.

Ερευνητής: Και αυτά μπορεί να είναι οτιδήποτε σχήμα θέλουμε ή όλα το ίδιο;

Μαθητής 29: Το ίδιο

Ο ερευνητής, λαμβάνοντας υπόψη την περιγραφή που κάνει ο μαθητής στο προηγούμενο απόσπασμα, του ζητάει να περιγράψει τη μέθοδο για να ελέγξει εάν το είδος του υγρού επηρεάζει την Π/Β. Αυτή τη φορά τα κατάφερε καλύτερα. Όταν όμως του ζητήθηκε για δεύτερη φορά να περιγράψει τη μέθοδο για να ελέγξει την μεταβλητή σχήμα του αντικειμένου, ο μαθητής και πάλι μπερδεύεται, με αποτέλεσμα ακόμη και όταν κάποια στιγμή έδειξε να έχει κατανοήσει ποια είναι η υπό έλεγχο μεταβλητή, να μην κρατήσει τις υπόλοιπες σταθερές. Τέλος, όταν του ζητήθηκε να ελέγξει τη μεταβλητή βάρος στο πλαίσιο του φαινομένου της τριβής (έργο ΣΕΜ5α), ο μαθητής δεν μπόρεσε να εστιάσει στην υπό έλεγχο μεταβλητή. Παρόλο που ανέφερε ότι θα έκανε δύο δοκιμές, θεώρησε ότι δε θα ήταν απαραίτητο να κάνει κάποια αλλαγή από τη μία στην άλλη.

5.7.3.3.α Συμπερασμός από τον έλεγχο μεταβλητής

Πριν την παρέμβαση, οι απαντήσεις του μαθητή 29 κατατάσσονται στην κατηγορία 0, διότι όταν του ζητείται να περιγράψει με ποιο τρόπο θα έβγαζε συμπέρασμα σχετικά με το εάν μια μεταβλητή επηρεάζει ή όχι ένα φαινόμενο δε δίνει απάντηση (σχήμα 5.41, δεύτερο διάγραμμα). Στη διάρκεια της 1^{ης} και της 2^{ης} ενότητας ο μαθητής 29 δε συμμετείχε ενεργά και έδειξε ελάχιστο ενδιαφέρον για τις σχετικές δραστηριότητες, ενώ όταν συμμετείχε, αρχικά φάνηκε να δυσκολεύεται να περιγράψει τη μέθοδο, ενώ μπόρεσε να περιγράψει τη μέθοδο σχετικά ικανοποιητικά μόνο στην περίπτωση της μεταβλητής είδος του υγρού:

Δασκάλα: Τι παρατηρήσατε για να βγάλετε αυτό το συμπέρασμα;

Μαθητής 29: Ότι στο λάδι βυθίστηκε ενώ στον υδράργυρο όχι.

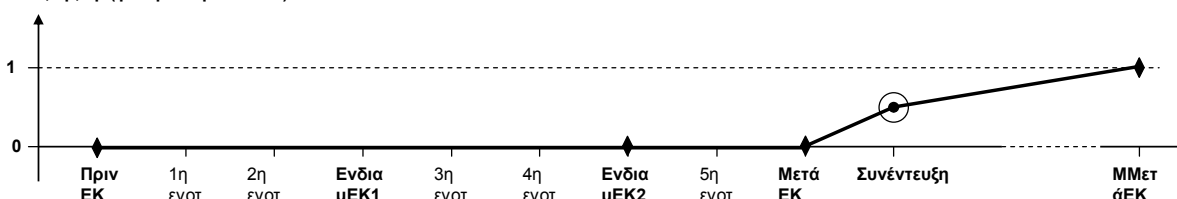
Γενικά, φάνηκε να μην έχει κατανοήσει τη λογική της μεθόδου συμπερασμού από τον έλεγχο μιας μεταβλητής, κάτι που επιβεβαιώνεται και από τις απαντήσεις του μαθητή στο ΕνδιαμΕΚ1, οι οποίες κατατάχθηκαν στην κατηγορία 0 (σχήμα 5.41, δεύτερο διάγραμμα). Επιπλέον, οι απαντήσεις του στο ΜετάΕΚ και το ΜΜετάΕΚ γραπτό ερωτηματολόγιο, δείχνουν ότι δεν έχει κατανοήσει τη μέθοδο μετά την παρέμβαση.

Τέλος οι απαντήσεις του μαθητή στη συνέντευξη επιβεβαιώνουν τη δυσκολία του μαθητή στην κατανόηση της μεθόδου συμπερασμού από τον έλεγχο μεταβλητής, καθώς και την αδυναμία εφαρμογής της σε φαινόμενο που δε διδάχθηκε.

Θεωρούμε ότι η δυσκολία στην κατανόηση της μεθόδου για τον έλεγχο και τον συμπερασμό μιας μεταβλητής οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στην έλλειψη ενδιαφέροντος και ενεργού συμμετοχής του μαθητή κατά τη διάρκεια των σχετικών συζητήσεων.

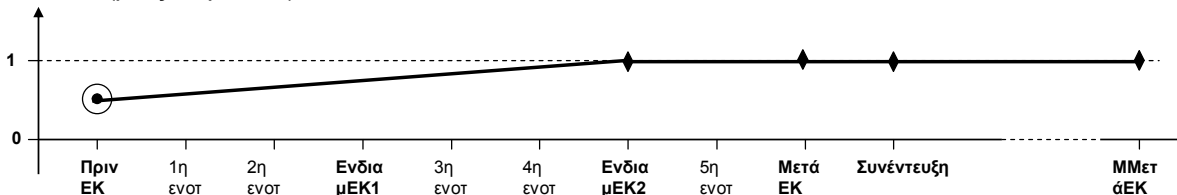
5.7.3.4 Φύση και ρόλος των μοντέλων

M1, 2β, 3β (φύση των μοντέλων) *



* Όπου στον κατακόρυφο άξονα 1: αναγνώριση ενός μοντέλου ως αναπαράσταση ή χρήση της λέξης μοντέλο ή αναπαράσταση ή κάποιας περιγραφής που υποδηλώνει αναπαράσταση για την περιγραφή της κατασκευής, 0: μη αναγνώριση ενός μοντέλου ως αναπαράσταση (ψυχαγωγία, αισθητική, πραγματικότητα) ή χρήση μιας ονομασίας που δεν δηλώνει αναπαράσταση αλλά αναφέρεται στην πραγματικότητα

M2α, 3α, 4 (ρόλος των μοντέλων) *



* Όπου στον κατακόρυφο άξονα 1: χρήση του μοντέλου ως μέσο μεταφοράς πληροφοριών ή αναγνώριση του μοντέλου ως εργαλείο για τη διδασκαλία και μάθηση ή/και για την ερμηνεία και πρόβλεψη ενός φαινομένου, 0: μη χρήση του μοντέλου ως μέσο μεταφοράς πληροφοριών αλλά για την παρουσίαση ενός αντικείμενου όπως είναι στην πραγματικότητα

Σχήμα 5.42 Διάγραμμα της εξέλιξης του μαθητή 29 σχετικά με την κατανόηση της φύσης και του ρόλου των μοντέλων.

Στο σχήμα 5.42, παρουσιάζουμε συνοπτικά την εξέλιξη του μαθητή σχετικά με την κατανόηση της **φύσης και του ρόλου των μοντέλων (M)**. Ειδικότερα, στο πρώτο διάγραμμα του σχήματος φαίνεται η εξέλιξη του μαθητή σχετικά με τη **φύση** ενός μοντέλου, ενώ στο δεύτερο διάγραμμα του σχήματος φαίνεται η εξέλιξη του σχετικά με τον **ρόλο** ενός μοντέλου. Η μέθοδος ανάλυσης είναι παρόμοια με αυτήν που εφαρμόσαμε για τον μαθητή 31. Παρακάτω, παρουσιάζουμε συνοπτικά την εξέλιξη του μαθητή 29 καθώς επίσης και τις δραστηριότητες, οι οποίες φάνηκε ότι τον βοήθησαν να βελτιώσει, στον βαθμό που τα κατάφερε, την κατανόηση της φύσης και του ρόλου των μοντέλων.

5.7.3.4.α Φύση των μοντέλων

Πριν την παρέμβαση, οι απαντήσεις του μαθητή 29 κατατάχθηκαν στην κατηγορία 0, διότι θεωρούσε τα μοντέλα ταυτόσημα με την πραγματικότητα ή/και θεωρούσε ότι ο σκοπός τους είναι η αναψυχή (Σχήμα 5.42).

Στη διάρκεια της 1^{ης}, 4^{ης} και 5^{ης} ενότητας φάνηκε ότι ο μαθητής συμμετείχε ενεργά στις σχετικές συζητήσεις για τη φύση των μοντέλων, αναγνωρίζοντας στοιχεία των μοντέλων όπως, για παράδειγμα, ότι δεν είναι ακριβές αντίγραφα των στόχων τους. Αυτή η συμμετοχή όμως φάνηκε να περιορίζεται στις συζητήσεις που έγιναν σχετικά με τα μοντέλα του πλοίου (σκίτσο και υλικής υπόστασης) και τα ηλιοκεντρικά μοντέλα, τα οποία παρουσιάζουν μεγάλη ομοιότητα με τον στόχο που αναπαριστούν. Όταν η συζήτηση αφορούσε στο μοντέλο «τελίτσες-στο-κυβάκι» της πυκνότητας, ο μαθητής δε συμμετείχε στις σχετικές συζητήσεις, στοιχείο που κατά την άποψή μας δείχνει ότι πιθανά να μην ήταν έτοιμος να συζητήσει σχετικά με ένα τόσο αφηρημένο μοντέλο. Η παραπάνω εικόνα για τον μαθητή 29 επιβεβαιώνεται από την κατάταξη των απαντήσεών του στα γραπτά ερωτηματολόγια ΕνδιαμΕΚ2 και ΜετάΕΚ, στην κατηγορία 0 (σχήμα 5.42). Επιπλέον, στη συνέντευξη φάνηκε η δυσκολία του μαθητή να αναγνωρίσει ως μοντέλο την αναπαράσταση «τελίτσες-στο-κυβάκι», ενώ η αντίστοιχη συζήτηση σχετικά με τον κύκλο του νερού έγινε με μεγαλύτερη ευκολία. Ειδικότερα, ο μαθητής 29 αναγνώρισε ως μοντέλο την αναπαράσταση του κύκλου του νερού, χωρίς να το έχει διδαχθεί, στοιχείο επεκτασιμότητας της μάθησης σχετικά με την κατανόηση της φύσης των μοντέλων. Εντούτοις, δεν μπορεί να αντιληφθεί ότι τα αφηρημένα στοιχεία του μοντέλου που αναπαριστούν διαδικασίες ή/και αλληλεπιδράσεις, για παράδειγμα τα βελάκια, είναι πιο σημαντικά από τα αντικείμενα του μοντέλου, όπως είναι τα βουνά. Ενδιαφέρον είναι το γεγονός ότι ο μαθητής 29, επτά μήνες μετά, στο γραπτό ερωτηματολόγιο ΜΜετάΕΚ, δίνει απαντήσεις που κατατάχθηκαν στην κατηγορία 1. Θεωρούμε ότι αυτό είναι σε συμφωνία με τα προηγούμενα δεδομένα της εξέλιξης του μαθητή, τα οποία έδειξαν μια σταδιακή αλλά αργή βελτίωση κατά τη διάρκεια των ενοτήτων καθώς και της συνέντευξης, η οποία δεν μπόρεσε να εκφραστεί στα υπόλοιπα γραπτά ερωτηματολόγια. Πιθανώς, μαθητές με αυτήν τη συμπεριφορά να χρειάζονται πιο ομαλή εισαγωγή στα μοντέλα. Αυτό ίσως να μπορεί να επιτευχθεί, με μια μετάβαση, η οποία θα περιλαμβάνει περισσότερα «σκαλοπάτια» (scaffolding), από μοντέλα που παρουσιάζουν ομοιότητα με τον στόχο σε μοντέλα που είναι ιδιαίτερα αφηρημένα. Για παράδειγμα, μεγαλύτερης διάρκειας και πιο εστιασμένες

συζητήσεις γύρω από τη φύση μοντέλων που παρουσιάζουν ομοιότητα με τον στόχο, οι οποίες θα δίνουν τη δυνατότητα να αντιληφθούν τα χαρακτηριστικά που διακρίνουν τα μοντέλα.

5.7.3.4.β Ρόλος των μοντέλων

Πριν την παρέμβαση, οι απαντήσεις του μαθητή 29 σχετικά με τον ρόλο των μοντέλων κατατάχθηκαν τόσο στην κατηγορία 0 όσο και στην 1, φανερώνοντας ότι άλλες φορές αντιλαμβάνεται ένα μοντέλο ως μέσο μεταφοράς πληροφοριών ενώ άλλες φορές αδυνατεί να το αντιληφθεί ως τέτοιο (Σχήμα 5.42).

Κατά τη διάρκεια της 4^{ης} ενότητας, ο μαθητής έδειξε ότι κατανοεί το ηλιοκεντρικό μοντέλο ως ένα εργαλείο, μέσο μεταφοράς πληροφοριών. Επίσης, κατά τη διάρκεια της 5^{ης} ενότητας ενώ αντιλαμβάνεται την προσομοίωση της βύθισης και της ανέλκυσης του Sea Diamond ως αναπαράσταση δεν αναφέρεται σε αυτήν ως ένα εργαλείο για την ερμηνεία και την πρόβλεψη της Π/Β. Από τα παραπάνω φαίνεται ότι υπήρξε βελτίωση στην κατανόηση του ρόλου των μοντέλων. Η βελτίωση αυτή, επιβεβαιώνεται στο ΕνδιαμΕΚ2 και στο ΜετάΕΚ γραπτό ερωτηματολόγιο, όπου οι απαντήσεις του μαθητή σε όλα τα σχετικά έργα κατατάχθηκαν στην κατηγορία 1.

Από τη συνέντευξη εξάλλου, φαίνεται ότι ο μαθητής εκτός από το μοντέλο «τελίτσες-στο-κυβάκι» της πυκνότητας, το οποίο το είχε διδαχθεί, μπόρεσε να αναγνωρίσει ως μέσο μεταφοράς πληροφοριών ή/και εργαλείο για την ερμηνεία φαινομένων, τον κύκλο του νερού, που δεν τον είχε διδαχθεί. Επίσης, οι απαντήσεις του μαθητή στο ΜΜετάΕΚ γραπτό ερωτηματολόγιο έδειξαν ότι η βελτίωση στην κατανόηση του ρόλου των μοντέλων διατηρήθηκε επτά μήνες μετά την παρέμβαση.

5.7.3.5 Σύνοψη για τον μαθητή 29 (γραμμικός αιτιακός συλλογισμός στην Π/Β βασισμένος στο υλικό, εκτατικότητα - εντατικότητα της πυκνότητας, αδυναμία κατανόησης της ΣΕΜ, κατανόηση περί μοντέλων)

Ο μαθητής 29, είχε αρχικά τις κύριες εναλλακτικές ιδέες και δυσκολίες σε κάθε περιοχή μάθησης και σε γενικές γραμμές ακολούθησε την αναμενόμενη με βάση τους διδακτικούς στόχους μαθησιακή πορεία, όπως και ο μαθητής 31. Παρόλα αυτά, εμφανίζει αδυναμία να εδραιώσει και να σταθεροποιήσει τη μετάβασή του προς την επιθυμητή γνώση. Αυτό συμβαίνει και στις τέσσερις περιοχές μάθησης, άλλες φορές σε μεγαλύτερο και άλλες σε μικρότερο βαθμό. Ειδικότερα, σχετικά με τις ερμηνείες σε φαινόμενα Π/Β της καθημερινής εμπειρίας, κατόρθωσε κατά τη διάρκεια της

παρέμβασης, καταρχήν (2^η ενότητα) να χρησιμοποιήσει το υλικό ως κριτήριο για την ερμηνεία της Π/Β. Στη συνέχεια (4^η και 5^η ενότητα) ενώ κατόρθωσε να χρησιμοποιήσει τον κανόνα σύγκρισης πυκνοτήτων, χρησιμοποίησε επίσης στον ίδιο βαθμό τόσο το ερμηνευτικό μοντέλο «η Π/Β σχετίζεται με το υλικό του αντικειμένου» όσο και το ερμηνευτικό μοντέλο «τα βαριά βυθίζονται και τα ελαφριά επιπλέουν». Τελικά, μετά την παρέμβαση φαίνεται ότι σταθεροποιήθηκε στις ερμηνείες με βάση το υλικό, κατάσταση που διατηρήθηκε και επτά μήνες μετά την παρέμβαση. Εντούτοις, όταν το μοντέλο «τελίτσες-στο-κυβάκι» είναι δοσμένο, ο μαθητής καταφέρνει να χρησιμοποιήσει τον κανόνα σύγκρισης πυκνοτήτων, μετά την 4^η ενότητα, αμέσως μετά την ολοκλήρωση της παρέμβασης, ακόμη και επτά μήνες μετά την παρέμβαση.

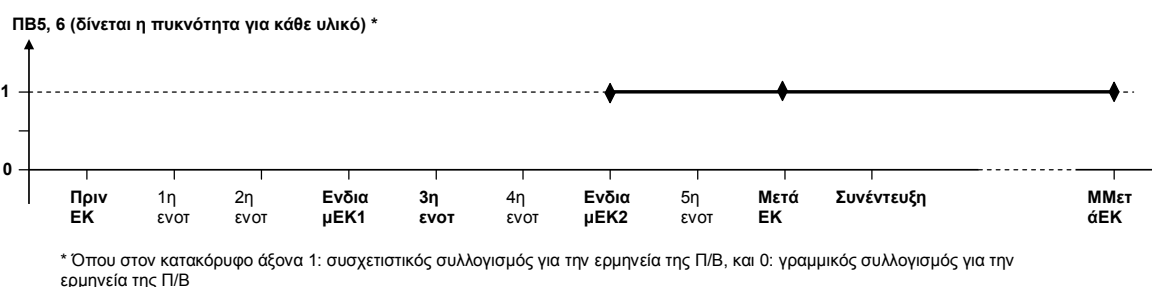
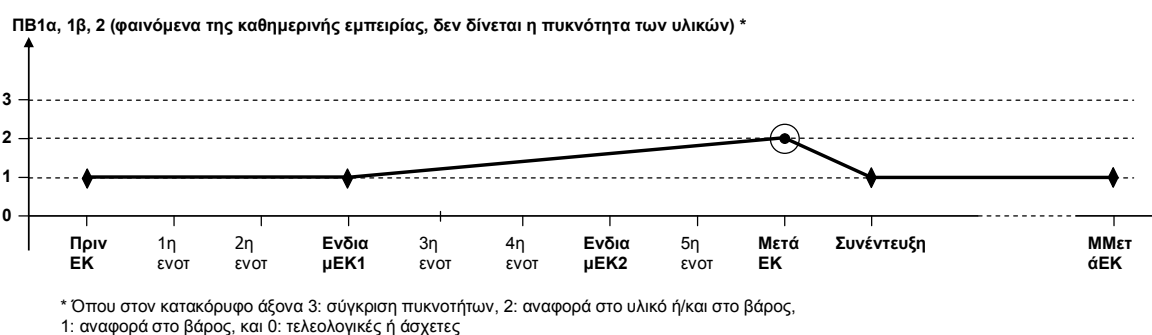
Η βελτίωση των ερμηνειών για το φαινόμενο της Π/Β, από την κατηγορία 1 στην κατηγορία 2 (σχήμα 5.39), έγινε παράλληλα με την έστω και παροδική βελτίωση της κατανόησης της μεθόδου ΣΕΜ, η οποία γίνεται φανερή κατά τη διάρκεια της 2^{ης} ενότητας και δεν ανιχνεύεται στο ενδιάμεσο γραπτό ερωτηματολόγιο (σχήμα 5.41), καθώς και με την αργή αλλά σταδιακή βελτίωση της κατανόησης περί της φύσης και του ρόλου των μοντέλων (σχήμα 5.42). Επιπλέον, παρόλο που ο μαθητής παρουσίασε στοιχεία βελτίωσης της κατανόησης της πυκνότητας ως ιδιότητας του υλικού, κυρίως στη συνέντευξη, έχει ταυτόχρονα ισχυρή την εναλλακτική ιδέα της πυκνότητας ως εκτατικό μέγεθος και δεν κατορθώνει να διαφοροποιήσει την πυκνότητα από το βάρος (σχήμα 5.40). Θεωρούμε ότι αυτά είναι στοιχεία που δείχνουν ότι στην περίπτωση του μαθητή 29 δεν έχει συμβεί αλλαγή οντολογικής κατηγορίας για την έννοια της πυκνότητας, αλλά ο μαθητής βρίσκεται σε μια διαδικασία μετάβασης από την εκτατική στην εντατική άποψη για την πυκνότητα, με συνέπεια να μην μπορεί να σταθεροποιήσει τη βελτίωση στις ερμηνείες για την Π/Β, από την κατηγορία 2 στην κατηγορία 3, η οποία φάνηκε να συμβαίνει, παροδικά, στην 4^η και 5^η ενότητα.

Θεωρούμε ότι τα παραπάνω στοιχεία της εξέλιξης του μαθητή 29, αποτελούν ενδείξεις που ενισχύουν το υποθετικό θεωρητικό μοντέλο των σχέσεων της κατανόησης στις τέσσερις περιοχές μάθησης της ΔΜΣ (ενότητα 4.1, σχήμα 4.1). Συνοπτικά, η έστω και παροδική βελτίωση στην κατανόηση της ΣΕΜ καθώς και η αργή αλλά σταδιακή βελτίωση στην κατανόηση της φύσης και του ρόλου των μοντέλων φαίνεται ότι συνεισέφεραν στη βελτίωση των ερμηνειών της Π/Β καθώς επίσης και στην εννοιολογική κατανόηση της πυκνότητας ως ιδιότητας του υλικού

(ΠΥΚ), στο βαθμό που αυτή συνέβη. Ταυτόχρονα, η αδυναμία του μαθητή να σταθεροποιήσει την κατανόηση της μεθόδου ΣΕΜ φαίνεται να στέκεται εμπόδιο στην περαιτέρω βελτίωση της ΠΒ αλλά και της ΠΥΚ. Ως συνέπεια, η αδυναμία αλλαγής οντολογικής κατηγορίας για την έννοια της πυκνότητας, δεν μπορεί να οδηγήσει σε ενίσχυση του εξηγητικού πλαισίου των φαινομένων Π/Β με το κριτήριο της σύγκρισης των πυκνοτήτων αντικειμένου και υγρού.

5.7.4 Τρίτη μελέτη περίπτωσης – Μαθητής 07

5.7.4.1 Ερμηνείες για την Π/Β



Σχήμα 5.43 Διάγραμμα της εξέλιξης του μαθητή 07 σχετικά με τις ερμηνείες Π/Β σε φαινόμενα της καθημερινής εμπειρίας (πρώτο διάγραμμα), καθώς και σε περιπτώσεις που το μοντέλο «τελίτσες-στο-κυβάκι» κάθε αντικειμένου είναι δοσμένο (δεύτερο διάγραμμα).

Στο σχήμα 5.43, παρουσιάζουμε συνοπτικά την εξέλιξη του μαθητή 07 σχετικά με τις ερμηνείες που δίνει σε φαινόμενα Π/Β. Πιο συγκεκριμένα, στο πρώτο διάγραμμα παρουσιάζουμε την εξέλιξη του μαθητή σχετικά με τις **ερμηνείες** σε φαινόμενα Π/Β της **καθημερινής εμπειρίας**, ενώ στο δεύτερο διάγραμμα παρουσιάζουμε την εξέλιξη του μαθητή σχετικά με τις προβλέψεις και **ερμηνείες** της Π/Β όταν είναι **δοσμένο το μοντέλο «τελίτσες-στο-κυβάκι»** για κάθε υλικό. Η μέθοδος ανάλυσης είναι παρόμοια με αυτήν που εφαρμόσαμε για τον μαθητή 31.

Παρακάτω, παρουσιάζουμε συνοπτικά την εξέλιξη του μαθητή 07. Πριν την παρέμβαση, ο μαθητής 07 είχε την άποψη ότι «ένα αντικείμενο πλέει όταν είναι ελαφρύ και βυθίζεται όταν είναι βαρύ» (σχήμα 5.43, πρώτο διάγραμμα). Στη διάρκεια της 1^{ης} και της 2^{ης} ενότητας ο μαθητής συνεχίζει να χρησιμοποιεί το ίδιο ερμηνευτικό μοντέλο. Αυτό επιβεβαιώνεται και στο ενδιάμεσο γραπτό ερωτηματολόγιο ΕνδιαμΕΚ1 αμέσως μετά την 2^η ενότητα (σχήμα 5.43, πρώτο διάγραμμα). Στο τέλος της 3^{ης} ενότητας, ο μαθητής 07 χρησιμοποιεί για πρώτη φορά τον κανόνα σύγκρισης πυκνοτήτων κάνοντας όμως ταυτόχρονα αναφορά και στο βάρος του αντικειμένου:

Δασκάλα: Ποιος μπορεί να μου πει; Ναι;

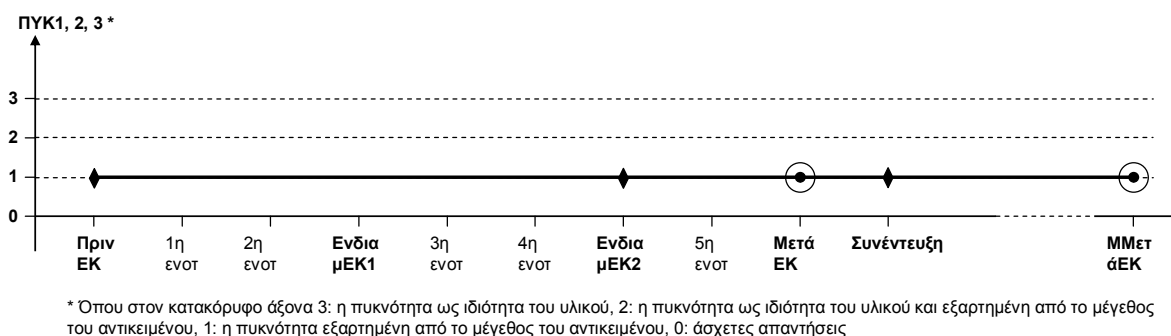
Μαθητής 07: Όταν έχει περισσότερες τελίτσες είναι πιο βαρύ και βυθίζεται.

Ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός ότι μέχρι και αυτό το σημείο δε γίνεται κάποια αναφορά στο υλικό του αντικειμένου για την ερμηνεία της Π/Β. Αυτό πιθανώς να αποτέλεσε εμπόδιο στην κατανόηση της χρήσης του μοντέλου «τελίτσες-στο-κυβάκι» στην ερμηνεία και πρόβλεψη φαινομένων Π/Β. Στην 4^η και την 5^η ενότητα υπάρχουν σημεία όπου ο μαθητής είτε αναφέρεται στο συσχετιστικό αιτιακό μοντέλο είτε το χρησιμοποιεί για την ερμηνεία της Π/Β. Παρόλα αυτά, υπάρχουν εξίσου, σημεία στα οποία ο μαθητής αναφέρεται στο βάρος του αντικειμένου για να ερμηνεύσει την Π/Β, και λιγότερα στα οποία αναφέρεται στο υλικό. Επομένως, ο μαθητής χαρακτηρίζεται από μια ασυνέπεια στις ερμηνείες που δίνει. Στο γραπτό ερωτηματολόγιο μετά την παρέμβαση εμφανίζει την ίδια ασυνέπεια στις απαντήσεις του με αυτήν που περιγράφηκε στις ενότητες 4 και 5, ενώ στη συνέντευξη φαίνεται ότι κυριαρχεί τελικά το ερμηνευτικό μοντέλο με αναφορά στο βάρος του αντικειμένου. Συνολικά, ο μαθητής παρουσίασε βελτίωση σχετικά με τις ερμηνείες που έδινε για την Π/Β, πριν την παρέμβαση, μεταβαίνοντας, στο τέλος της 3^{ης} ενότητας, απευθείας από την κατηγορία 1 στην κατηγορία 3. Στη συνέχεια, σε ελάχιστες περιπτώσεις έδωσε και ερμηνείες με αναφορά στο υλικό (κατηγορία 2), καταλήγοντας μετά την παρέμβαση, στη συνέντευξη να χρησιμοποιεί και πάλι μόνο το ερμηνευτικό μοντέλο «τα βαριά βυθίζονται και τα ελαφριά επιπλέουν». Επίσης, επτά μήνες μετά την παρέμβαση ο μαθητής συνέχισε να χρησιμοποιεί το ίδιο ερμηνευτικό μοντέλο (σχήμα 5.43, πρώτο διάγραμμα).

Εντούτοις, όπως φαίνεται στο δεύτερο διάγραμμα στο σχήμα 5.43, στα έργα ΠΒ5 και ΠΒ6 στα οποία το μοντέλο «τελίτσες-στο-κυβάκι» είναι δοσμένο, ο μαθητής χρησιμοποιεί τον κανόνα σύγκρισης πυκνοτήτων στο ΕνδιαμΕΚ2, το ΜετάΕΚ καθώς και στο ΜΜετάΕΚ στις ερμηνείες της Π/Β. Αυτό δείχνει ότι ο μαθητής καταφέρνει να

χρησιμοποιήσει το συσχετιστικό αιτιακό μοντέλο, ακόμη και επτά μήνες μετά την παρέμβαση, αλλά μόνο στις περιπτώσεις που το μοντέλο «τελίτσες-στο-κυβάκι» της πυκνότητας των υλικών που περιλαμβάνονται στα ερωτήματα είναι δοσμένο.

5.7.4.2 Πυκνότητα ως ιδιότητα των υλικών



Σχήμα 5.44 Διάγραμμα της εξέλιξης του μαθητή 07 σχετικά με την κατανόηση της πυκνότητας ως ιδιότητας των υλικών.

Στο σχήμα 5.44, παρουσιάζουμε συνοπτικά την εξέλιξη του μαθητή σχετικά με τις απόψεις του για την **έννοια της πυκνότητας και τη σχέση της με το υλικό**. Η μέθοδος ανάλυσης είναι παρόμοια με αυτήν που εφαρμόσαμε για τον μαθητή 31. Παρακάτω, παρουσιάζουμε συνοπτικά την εξέλιξη του μαθητή 07.

Πριν την παρέμβαση, ο μαθητής 07 κατατάχθηκε στην κατηγορία 1 (σχήμα 5.44), δηλαδή έχει την άποψη ότι το μεγαλύτερο αντικείμενο έχει και μεγαλύτερη πυκνότητα που σημαίνει ότι έχει την εκτατική άποψη.

Κατά τη διάρκεια της 4^{ης} και 5^{ης} ενότητας, ο μαθητής 07 γενικά δε συμμετείχε στις συζητήσεις της τάξης, ενώ όταν το έκανε οι ερμηνείες του για την Π/Β διέφεραν από περίπτωση σε περίπτωση, αφού χρησιμοποίησε τόσο το υλικό και την πυκνότητά του όσο και το βάρος ενός αντικειμένου για να ερμηνεύσει το φαινόμενο. Το γεγονός αυτό θεωρούμε ότι αποτελεί ένδειξη μη διαφοροποίησης της πυκνότητας από το βάρος, ισχυρισμός που ενισχύεται από το παρακάτω απόσπασμα της συνέντευξης, όπου ο μαθητής δήλωσε ότι πριν τη παρέμβαση δεν ήξερε τι είναι πυκνότητα, ενώ τώρα μετά την παρέμβαση θεωρεί ότι **«είναι μπερδεμένος»**:

Ερευνητής: Τι ήταν για σένα η πυκνότητα πριν;

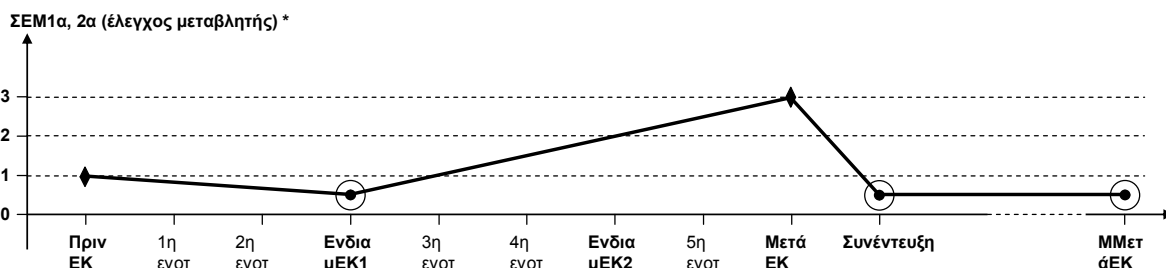
Μαθητής 07: Δεν την είχα ξανακούσει τη λέξη.

Ερευνητής: Μετά το μάθημα που κάναμε; Την κατάλαβες ή νιώθεις ότι είσαι μπερδεμένος;

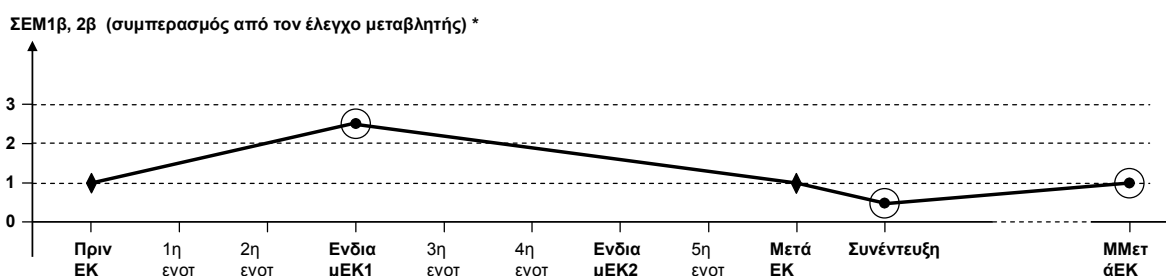
Μαθητής 07: Είμαι μπερδεμένος.

Αμέσως μετά την 4^η ενότητα, στο ΕνδιαμΕΚ2 γραπτό ερωτηματολόγιο, φαίνεται ότι ο μαθητής 07 παρέμεινε στην εκτατική άποψη για την πυκνότητα (σχήμα 5.44). Μετά την παρέμβαση, στο ΜετάΕΚ γραπτό ερωτηματολόγιο, οι απαντήσεις του μαθητή δεν κατατάσσονται σε μία κατηγορία. Μία απάντηση κατατάχθηκε στην κατηγορία 3, ενώ οι άλλες δύο στην κατηγορία 0 και 1 αντίστοιχα. Επιπλέον, στη συνέντευξη, οι απαντήσεις του μαθητή κατατάσσονται και πάλι στην κατηγορία 1, αναδεικνύοντας ταυτόχρονα την αδυναμία του να διαφοροποιήσει την πυκνότητα από το βάρος. Τέλος, οι απαντήσεις του μαθητή στο ΜΜετάΕΚ γραπτό ερωτηματολόγιο χαρακτηρίζονται από ασυνέπεια, με την έννοια ότι υπάρχει μία απάντηση που κατατάχθηκε στην κατηγορία 3, ενώ ταυτόχρονα οι άλλες δύο στην κατηγορία 0 και 1 αντίστοιχα (σχήμα 5.44).

5.7.4.3 Στρατηγική Ελέγχου Μεταβλητών (ΣΕΜ)



* Όπου στον κατακόρυφο άξονα 3: ορθή περιγραφή της μεθόδου, 2: μερικώς ορθή περιγραφή της μεθόδου, 1: αναφορά του συμπεράσματος αντί της μεθόδου, και 0: ασαφείς ή άσχετες με την μέθοδο



* Όπου στον κατακόρυφο άξονα 3: ορθή περιγραφή της μεθόδου, 2: μερικώς ορθή περιγραφή της μεθόδου, 1: αναφορά του συμπεράσματος αντί της μεθόδου, και 0: ασαφείς ή άσχετες με την μέθοδο

Σχήμα 5.45 Διάγραμμα της εξέλιξης του μαθητή 07 σχετικά με την κατανόηση της ΣΕΜ.

Στο σχήμα 5.45, παρουσιάζουμε συνοπτικά την εξέλιξη του μαθητή σχετικά με την κατανόηση της **Στρατηγικής Ελέγχου Μεταβλητών (ΣΕΜ)**. Πιο συγκεκριμένα, στο πρώτο διάγραμμα του σχήματος φαίνεται η εξέλιξη σχετικά με τον **έλεγχο** μιας μεταβλητής, ενώ στο δεύτερο διάγραμμα του σχήματος φαίνεται η εξέλιξη σχετικά με τον **συμπερασμό** από τον έλεγχο μιας μεταβλητής. Η μέθοδος ανάλυσης είναι παρόμοια με αυτήν που εφαρμόσαμε για τον μαθητή 31. Παρακάτω, παρουσιάζουμε συνοπτικά την εξέλιξη του μαθητή 07.

5.7.4.3.α Έλεγχος μεταβλητής

Πριν την παρέμβαση, οι απαντήσεις του μαθητή 07 κατατάχθηκαν στην κατηγορία 1, διότι έγραψε την άποψή του αντί για τη μέθοδο με την οποία θα έκανε έλεγχο της μεταβλητής (σχήμα 5.45, πρώτο διάγραμμα).

Στη διάρκεια της 1^{ης} και της 2^{ης} ενότητας φάνηκε ότι ο μαθητής 07 δε συμμετείχε ενεργά στις σχετικές δραστηριότητες, με αποτέλεσμα να μην κατανοήσει τη λογική της μεθόδου ελέγχου μιας μεταβλητής. Αυτό επιβεβαιώνεται και από τις απαντήσεις του μαθητή στο ΕνδιαμΕΚ1, οι οποίες κατατάχθηκαν στις κατηγορίες 0 και 1 (σχήμα 5.45, πρώτο διάγραμμα). Οι απαντήσεις του στο ΜετάΕΚ, αμέσως μετά την

παρέμβαση, δείχνουν ότι εκείνη τη χρονική στιγμή ο μαθητής κατάφερε να περιγράψει ορθά τη μέθοδο για τον έλεγχο μιας μεταβλητής. Παρόλα αυτά, οι απαντήσεις του στη συνέντευξη έρχονται σε αντίθεση με το αποτέλεσμα στο ΜετάΕΚ. Η γενική εικόνα του μαθητή και το γεγονός ότι δεν κατάφερε να περιγράψει τη μέθοδο ούτε επτά μήνες μετά την παρέμβαση, στο ΜΜετάΕΚ γραπτό ερωτηματολόγιο συνηγορούν στο ότι η βελτίωση που παρουσιάστηκε στο ΜετάΕΚ ήταν παροδική.

5.7.4.3.β Συμπερασμός από τον έλεγχο μεταβλητής

Πριν την παρέμβαση, οι απαντήσεις του μαθητή 07 κατατάσσονται στην κατηγορία 1, διότι έγραψε την άποψή του αντί για τη μέθοδο με την οποία θα έβγαζε συμπέρασμα από τον έλεγχο της μεταβλητής (σχήμα 5.45, δεύτερο διάγραμμα).

Στη διάρκεια της 1^{ης} και της 2^{ης} ενότητας ο μαθητής 07 δε συμμετείχε ενεργά στις σχετικές δραστηριότητες, ενώ όταν συμμετείχε αρχικά φάνηκε να δυσκολεύεται να περιγράψει τη μέθοδο και στη συνέχεια φάνηκε να έχει καλύτερη αλλά όχι πλήρη κατανόηση της μεθόδου:

Δασκάλα: Τι παρατηρήσατε και βγάλατε το συμπέρασμα αυτό; Τι παρατήρησες;

Μαθητής 07: Ότι και στις δύο δοκιμές βυθίζεται

Δασκάλα: Τι θα έπρεπε να παρατηρήσω για να βγάλω το αντίθετο συμπέρασμα;

Μαθητής 07: Θα επηρεάσει το μάρμαρο.

Οι απαντήσεις του μαθητή στο ΕνδιαμΕΚ1 κατατάχθηκαν στις κατηγορίες 2 και 3 (σχήμα 5.45, δεύτερο διάγραμμα). Εντούτοις, οι απαντήσεις του στο ΜετάΕΚ γραπτό ερωτηματολόγιο, τη συνέντευξη και το ΜΜετάΕΚ γραπτό ερωτηματολόγιο, δείχνουν ότι δεν κατόρθωσε να διατηρήσει τη βελτίωση που παρουσίασε στην κατανόηση της μεθόδου ούτε μετά την παρέμβαση ούτε και επτά μήνες μετά την παρέμβαση. Ειδικότερα, οι απαντήσεις του μαθητή στη συνέντευξη επιβεβαιώνουν τη δυσκολία του μαθητή στην κατανόηση της μεθόδου συμπερασμού από τον έλεγχο μεταβλητής, καθώς και την αδυναμία εφαρμογής της σε φαινόμενο που δε διδάχθηκε:

Μαθητής 07: Θα πάρουμε ένα υγρό και θα βάλουμε μέσα ένα υλικό και θα δούμε αν βυθιστεί ή αν επιπλεύσει

Ερευνητής: Και μετά θα βγάλουμε συμπέρασμα;

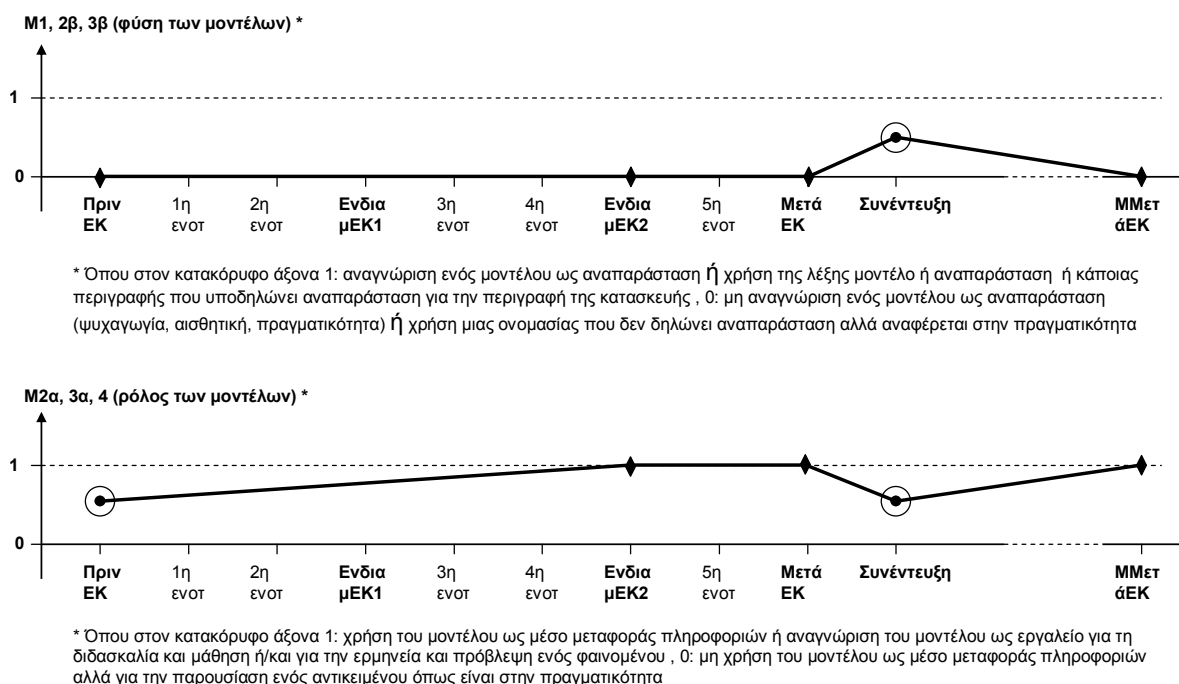
Μαθητής 07: Ναι, θα το δούμε.

Ερευνητής: Τι θα δούμε;

Μαθητής 07: Το πείραμα

Συνοψίζοντας, θεωρούμε ότι η δυσκολία στην κατανόηση της μεθόδου για τον έλεγχο, καθώς και για τον συμπερασμό από τον έλεγχο μιας μεταβλητής, οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στην έλλειψη ενεργού συμμετοχής του μαθητή κατά τη διάρκεια των σχετικών συζητήσεων. Επίσης, θεωρούμε ότι η αδυναμία του μαθητή να διατηρήσει τη βελτίωση που παρουσίασε αμέσως μετά την 2^η ενότητα, δείχνει πόσο δύσκολη είναι η κατανόηση του συλλογισμού της μεθόδου για τον συμπερασμό. Πιθανώς, η βελτίωση αυτή να ήταν πιο σταθερή στην περίπτωση που οι μαθητές αντιμετώπιζαν δραστηριότητες οι οποίες θα παρουσίαζαν μεγαλύτερη υποβοήθηση και περισσότερα σκαλοπάτια (scaffolding).

5.7.4.4 Φύση και ρόλος των μοντέλων



Σχήμα 5.46 Διάγραμμα της εξέλιξης του μαθητή 07 σχετικά με την κατανόηση της φύσης και του ρόλου των μοντέλων.

Στο σχήμα 5.46, παρουσιάζουμε συνοπτικά την εξέλιξη του μαθητή σχετικά με την κατανόηση της **φύσης και του ρόλου των μοντέλων (M)**. Ειδικότερα, στο πρώτο διάγραμμα του σχήματος φαίνεται η εξέλιξη του μαθητή σχετικά με τη **φύση** ενός μοντέλου, ενώ στο δεύτερο διάγραμμα του σχήματος φαίνεται η εξέλιξή του σχετικά με τον **ρόλο** ενός μοντέλου. Η μέθοδος ανάλυσης είναι παρόμοια με αυτήν που εφαρμόσαμε για τον μαθητή 31. Παρακάτω, παρουσιάζουμε συνοπτικά την εξέλιξη του μαθητή 07.

5.7.4.4.α Φύση των μοντέλων

Πριν την παρέμβαση, οι απαντήσεις του μαθητή 07 κατατάχθηκαν στην κατηγορία 0, διότι θεωρούσε τα μοντέλα ταυτόσημα με την πραγματικότητα ή/και θεωρούσε ότι ο σκοπός τους είναι η αναψυχή (Σχήμα 5.46).

Στη διάρκεια της 1^{ης}, 4^{ης} και 5^{ης} ενότητας φάνηκε ότι ο μαθητής συμμετείχε ενεργά μόνο στη συζήτηση σχετικά με τη φύση των μοντέλων ενός πλοίου, αναγνωρίζοντας στοιχεία των μοντέλων, όπως για παράδειγμα ότι δεν είναι ακριβές αντίγραφο των στόχων τους. Αντίθετα, στις αντίστοιχες συζητήσεις για τη φύση σχετικά με τα

ηλιοκεντρικά μοντέλα, και με το μοντέλο «τελίτσες-στο-κυβάκι» της πυκνότητας, ο μαθητής δε συμμετείχε, στοιχείο που κατά την άποψή μας δείχνει ότι πιθανά να μην ήταν έτοιμος να συζητήσει όχι μόνο σχετικά με ένα αφηρημένο μοντέλο όπως αυτό της πυκνότητας αλλά και με ένα λιγότερο αφηρημένο όπως το ηλιοκεντρικό μοντέλο. Η παραπάνω εικόνα για τον μαθητή 07 επιβεβαιώνεται από την κατάταξη των απαντήσεών του στα γραπτά ερωτηματολόγια ΕνδιαμΕΚ2 και ΜετάΕΚ στην κατηγορία 0 (σχήμα 5.46).

Επιπλέον, στη συνέντευξη φάνηκε η δυσκολία του μαθητή να αναγνωρίσει ως μοντέλο τόσο την αναπαράσταση «τελίτσες-στο-κυβάκι» όσο και το μοντέλο του κύκλου του νερού, παρόλο που η συζήτηση σχετικά με τον κύκλο του νερού έγινε με μεγαλύτερη ευκολία. Επίσης, δεν μπορεί να περιγράψει με σαφήνεια τι αναπαριστούν τα αφηρημένα στοιχεία του μοντέλου του κύκλου του νερού, στοιχείο που θεωρείται σημαντικό για την κατανόηση της φύσης ενός μοντέλου (Papaenigiroidou et al., 2007). Ακόμη, φαίνεται ότι αντιλαμβάνεται το μοντέλο της πυκνότητας ως αναπαράσταση των υλικών και όχι ως αναπαράσταση μιας ιδιότητας των υλικών, όπως θα συνέβαινε εάν χρησιμοποιούσε τις έννοιες «βαρύ για το μέγεθός του και ελαφρύ για το μέγεθός του» ή «βαρύτερο και ελαφρύτερο υλικό». Τέλος, επτά μήνες μετά την παρέμβαση, στο γραπτό ερωτηματολόγιο ΜΜετάΕΚ, δίνει απαντήσεις που κατατάχθηκαν στην κατηγορία 0.

Πιθανώς, οι μαθητές με αυτήν τη συμπεριφορά να χρειάζονται μια πιο ομαλή εισαγωγή στα μοντέλα, όπως περιγράφεται για την περίπτωση του μαθητή 29.

5.7.4.4.β Ρόλος των μοντέλων

Πριν την παρέμβαση, οι απαντήσεις του μαθητή 07 σχετικά με τον ρόλο των μοντέλων κατατάχθηκαν τόσο στην κατηγορία 0 όσο και στην 1, φανερώνοντας ότι άλλες φορές αντιλαμβάνεται το μοντέλο ως μέσο μεταφοράς πληροφοριών ενώ άλλες φορές αδυνατεί να το αντιληφθεί ως τέτοιο (Σχήμα 5.46).

Κατά τη διάρκεια της 5^{ης} ενότητας, ο μαθητής αντιλήφθηκε την προσομοίωση της βύθισης και της ανέλκυσης του Sea Diamond ως εργαλείο για την ερμηνεία και την πρόβλεψη της Π/Β. Έτσι, φαίνεται ότι υπήρξε σχετική βελτίωση στην κατανόηση του ρόλου των μοντέλων. Η βελτίωση αυτή, επιβεβαιώνεται στο ΕνδιαμΕΚ2 και στο ΜετάΕΚ γραπτό ερωτηματολόγιο, όπου οι απαντήσεις του μαθητή σε όλα τα σχετικά έργα κατατάχθηκαν στην κατηγορία 1.

Από τη συνέντευξη εξάλλου, φαίνεται ότι ο μαθητής εκτός από το μοντέλο «τελίτσες-στο-κυβάκι» της πυκνότητας, το οποίο το είχε διδαχθεί, μπόρεσε να αναγνωρίσει ως μέσο μεταφοράς πληροφοριών ή/και εργαλείο για την ερμηνεία φαινομένων, τον κύκλο του νερού, που δεν τον είχε διδαχθεί. Επίσης, οι απαντήσεις του μαθητή στο ΜΜετάΕΚ γραπτό ερωτηματολόγιο έδειξαν ότι η βελτίωση στην κατανόηση του ρόλου των μοντέλων διατηρήθηκε επτά μήνες μετά την παρέμβαση.

5.7.4.5 Σύνοψη για τον μαθητή 07 (ερμηνευτικό μοντέλο για την Π/Β βασισμένο στο βάρος του αντικειμένου, εκτατικότητα της πυκνότητας, αδυναμία κατανόησης της ΣΕΜ, αδυναμία κατανόησης περί μοντέλων)

Ο μαθητής 07 σε γενικές γραμμές δεν μπόρεσε να ακολουθήσει την αναμενόμενη με βάση τους διδακτικούς στόχους μαθησιακή πορεία, όπως έκαναν οι μαθητές 31 και 29. Επιπλέον, παρουσιάζει δυσκολία να μεταβεί προς την επιθυμητή γνώση, ενώ ακόμη και όταν αυτό συμβαίνει, είναι πολύ σύντομο και παροδικό. Ειδικότερα, ο μαθητής παρουσίασε βελτίωση σχετικά με τις ερμηνείες σε φαινόμενα Π/Β της καθημερινής εμπειρίας, μεταβαίνοντας, στο τέλος της 3^{ης} ενότητας, απευθείας από την κατηγορία 1 στην κατηγορία 3. Στη συνέχεια, σε ελάχιστες περιπτώσεις έδωσε και ερμηνείες κάνοντας αναφορά στο υλικό. Στη συνέντευξη, καθώς και επτά μήνες μετά, στο γραπτό ερωτηματολόγιο ΜΜετάΕΚ, ο μαθητής χρησιμοποίησε και πάλι μόνο το ερμηνευτικό μοντέλο «τα βαριά βυθίζονται και τα ελαφριά επιπλέουν». Εντούτοις, όπως φαίνεται στο δεύτερο διάγραμμα στο σχήμα 5.43, όταν το μοντέλο «τελίτσες-στο-κυβάκι» είναι δοσμένο, ο μαθητής καταφέρνει να χρησιμοποιήσει τον κανόνα σύγκρισης πυκνοτήτων, μετά την 4^η ενότητα, αμέσως μετά την ολοκλήρωση της παρέμβασης αλλά ακόμη και επτά μήνες μετά την παρέμβαση.

Η αδυναμία που παρουσιάζει ο μαθητής να σταθεροποιήσει τη βελτίωση στις ερμηνείες φαινομένων Π/Β της καθημερινής εμπειρίας στην κατηγορία 3, και η οπισθοδρόμησή του στην κατηγορία 1 (σχήμα 5.43, πρώτο διάγραμμα), παρατηρείται ταυτόχρονα με τη δυσκολία στην κατανόηση της μεθόδου ΣΕΜ (σχήμα 5.45) και με τη δυσκολία για βελτίωση της κατανόησης περί της φύσης και του ρόλου των μοντέλων (σχήμα 5.46). Επιπλέον, παρόλο που ο μαθητής παρουσίασε κάποια στοιχεία βελτίωσης της κατανόησης της πυκνότητας ως ιδιότητας του υλικού, κατά τη διάρκεια των ενοτήτων, φαίνεται ότι η εναλλακτική ιδέα της πυκνότητας ως εκτατικό μέγεθος είναι πολύ ισχυρή (σχήμα 5.44).

Θεωρούμε ότι τα παραπάνω στοιχεία της εξέλιξης του μαθητή 29, αποτελούν ενδείξεις που ενισχύουν το υποθετικό θεωρητικό μοντέλο των σχέσεων της κατανόησης στις τέσσερις περιοχές μάθησης της ΔΜΣ (ενότητα 4.1, σχήμα 4.1). Συνοπτικά, η έστω και παροδική βελτίωση στην κατανόηση της ΣΕΜ καθώς και η αργή αλλά σταδιακή βελτίωση στην κατανόηση της φύσης και του ρόλου των μοντέλων φαίνεται ότι συνεισέφεραν στη βελτίωση των ερμηνειών της Π/Β καθώς επίσης και στην εννοιολογική κατανόηση της πυκνότητας ως ιδιότητας του υλικού (ΠΥΚ), στο βαθμό που αυτή συνέβη. Ταυτόχρονα, η αδυναμία του μαθητή να κατανοήσει τη μέθοδο ΣΕΜ καθώς και τη φύση και τον ρόλο των μοντέλων φαίνεται να στέκεται εμπόδιο στη βελτίωση των ερμηνειών της ΠΒ αλλά και της ΠΥΚ. Επιπλέον, η αδυναμία αλλαγής οντολογικής κατηγορίας για την έννοια της πυκνότητας, δεν μπορεί να οδηγήσει σε ενίσχυση του εξηγητικού πλαισίου των φαινομένων Π/Β με το κριτήριο της σύγκρισης των πυκνοτήτων αντικειμένου και υγρού.

Το γεγονός ότι μέχρι και πριν την 4^η ενότητα, ο μαθητής δε χρησιμοποίησε το ερμηνευτικό μοντέλο «η Π/Β σχετίζεται με το υλικό του αντικειμένου», είναι πιθανόν να αποτέλεσε εμπόδιο στη σταθεροποίηση της χρήσης του μοντέλου «τελίτσες-στο-κυβάκι» στην ερμηνεία και πρόβλεψη φαινομένων Π/Β. Ταυτόχρονα, αναδεικνύεται ότι οι ερμηνείες της Π/Β με βάση το υλικό του αντικειμένου ίσως είναι απαραίτητο σκαλοπάτι για τη μετάβαση ορισμένων μαθητών σε ερμηνείες με βάση το συσχετιστικό αιτιακό μοντέλο.

6 ΣΥΖΗΤΗΣΗ

6.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό, παρουσιάζουμε τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας με στόχο να τα συζητήσουμε και να τα ερμηνεύσουμε καθώς και να τα συσχετίσουμε με τη βιβλιογραφία που έχει παρουσιαστεί στο θεωρητικό μέρος της διατριβής ή/και στην ενότητα που περιγράφεται η μέθοδος ανάλυσης των δεδομένων. Η συζήτηση θα πραγματοποιηθεί σε δύο ενότητες με βάση τα δύο ερευνητικά ερωτήματα της έρευνας. Στην πρώτη ενότητα θα συζητήσουμε τα αποτελέσματα που έχουν σχέση με το πρώτο ερευνητικό ερώτημα, δηλαδή εάν υπήρξε βελτίωση στις απόψεις των μαθητών μετά την παρέμβαση σχετικά με τις τέσσερις περιοχές μάθησης της ΔΜΣ και πού οφείλεται αυτή. Με άλλα λόγια θα συζητήσουμε τα αποτελέσματα από την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας της ΔΜΣ (Méheut & Psillos, 2004). Στη δεύτερη ενότητα θα συζητήσουμε τα αποτελέσματα που έχουν σχέση με το δεύτερο ερευνητικό ερώτημα, δηλαδή σχετικά με το ποια ήταν η διαδικασία βελτίωσης της ΔΜΣ και ποιοι παράγοντες συνέβαλαν στις βελτιωτικές αλλαγές της (Kariotoglou, Psillos & Tselfes, 2003, Patsadakis, 2003, Τσελφές, 2002).

6.2 Αποτελεσματικότητα της ΔΜΣ

6.2.1 Συζήτηση των αποτελεσμάτων σχετικά με τις ερμηνείες για την Π/Β

Από την περιγραφή και ανάλυση των απαντήσεων των μαθητών στα έργα που αξιολογούν τις ερμηνείες τους σε φαινόμενα Π/Β, στην κανονική εφαρμογή, παρατηρήσαμε τα εξής.

Οι μαθητές παρουσίασαν στατιστικά σημαντική βελτίωση στις ερμηνείες τους σε φαινόμενα Π/Β της καθημερινής εμπειρίας, δηλαδή στις περιπτώσεις έργων στα οποία δεν τους δινόταν το μοντέλο «τελίτσες-στο-κυβάκι», η οποία διατηρήθηκε επτά μήνες μετά την παρέμβαση. Η βελτίωση αυτή ήταν, σε γενικές γραμμές, στατιστικά σημαντική ήδη στο ενδιάμεσο ερωτηματολόγιο, δηλαδή αμέσως μετά τη 2η ενότητα.

Γενικά, παρατηρήθηκε σταδιακή εξέλιξη των απόψεων των μαθητών από το εναλλακτικό διαισθητικό μοντέλο ερμηνείας της Π/Β με αναφορά στο βάρος του αντικειμένου, πριν την παρέμβαση, στο διαισθητικό μεν αλλά κοντά στην επιθυμητή γνώση μοντέλο ερμηνείας της Π/Β με αναφορά στο υλικό του αντικειμένου, στο

ενδιάμεσο ερωτηματολόγιο, ενώ υπήρξαν και μαθητές που κατόρθωσαν να κατακτήσουν το σύνθετο συσχετιστικό αιτιακό μοντέλο για την ερμηνεία της Π/Β, μετά την παρέμβαση. Η εξέλιξη αυτή των απόψεων των μαθητών ήταν η αναμενόμενη και ακολούθησε την πορεία του διδακτικού σεναρίου της ΔΜΣ (δες ενότητα 3.2). Παρόλα αυτά, η πλειοψηφία των μαθητών, ιδιαίτερα επτά μήνες μετά την παρέμβαση, χρησιμοποίησε ως κριτήριο για την Π/Β το υλικό του αντικειμένου και όχι τη σύγκριση πυκνοτήτων. Αντίθετα, σε έργα, στα οποία εκτός από την περιγραφή του φαινομένου, δίνεται στους μαθητές και η πυκνότητα των υλικών, οι μαθητές χρησιμοποιούν συσχετιστικό αιτιακό συλλογισμό, δηλαδή σύγκριση πυκνοτήτων αντικειμένου και υγρού, για την ερμηνεία της Π/Β του αντικειμένου. Κατορθώνουν μάλιστα να χρησιμοποιήσουν το μοντέλο «τελίτσες-στο-κυβάκι», για να επεκτείνουν τη μάθηση στις εξής δύο περιπτώσεις, που δε διδάχθηκαν κατά τη διάρκεια της παρέμβασης: α) την αναγνώριση του διαφορετικού επιπέδου επίπλευσης δύο αντικειμένων σε ένα υγρό, όταν αυτά έχουν διαφορετική πυκνότητα, και β) τη χρήση της αιώρησης ενός αντικειμένου σε ένα υγρό στη σύγκριση της πυκνότητας του αντικειμένου με του υγρού, την ίδια στιγμή μάλιστα που φάνηκε, σε συμφωνία με τον Jung (2009), ότι όταν οι μαθητές αντιμετωπίζουν φαινόμενα Π/Β της καθημερινής εμπειρίας, τότε αναγνωρίζουν ως πιθανές καταστάσεις ενός αντικειμένου σε ένα υγρό, την πλεύση ή τη βύθισή του αλλά όχι την αιώρησή του μέσα στο υγρό αυτό. Σε αυτό το σημείο, είναι σημαντικό να σχολιάσουμε μια ποιοτική διαφορά στις απαντήσεις των μαθητών, η οποία παρατηρήθηκε και στην πιλοτική εφαρμογή, και πιθανόν να ερμηνεύει ένα μέρος της δυσκολίας των μαθητών να χρησιμοποιήσουν το συσχετιστικό αιτιακό μοντέλο ερμηνείας σε προβλήματα που παραπέμπουν στην καθημερινότητα. Οι μαθητές οι οποίοι ερμηνεύουν την επίπλευση του σωσιβίου, (έργο ΠΒ1α, ενότητα 5.4.1.α), αναφέρονται σε μεγαλύτερο ποσοστό στον αέρα που περιέχει, δηλαδή σε ένα από τα υλικά που το αποτελούν, ακόμη και πριν την παρέμβαση. Αντίθετα, όταν ερμηνεύουν τη βύθιση της άγκυρας (έργο ΠΒ1β, ενότητα 5.4.1.α), πριν την παρέμβαση, αναφέρονται στο γεγονός ότι η άγκυρα είναι βαριά. Φαίνεται ότι οι ερμηνείες των μαθητών καθοδηγούνται ισχυρά από τη φαινομενολογία που αντιστοιχεί στην κάθε περίπτωση, αδυνατώντας να αντιληφθούν την πλεύση και τη βύθιση ως τις δύο όψεις του ίδιου φαινομένου, αλλά ως δύο διαφορετικά φαινόμενα, γεγονός που παρατηρήθηκε και στην έρευνα των Smith et al. (1992). Όταν οι μαθητές, κατά τη διάρκεια του μαθήματος, κατανοήσουν ότι η πλεύση και η βύθιση είναι δύο όψεις του ίδιου φαινομένου, χρησιμοποιούν στις

απαντήσεις τους και τα δύο κριτήρια (βάρος και υλικό του αντικειμένου) για να ερμηνεύσουν την Π/Β, γεγονός που έστω και προσωρινά μάλλον τους μπερδεύει. Ήδη μετά τη 2^η ενότητα, στο ενδιάμεσο ερωτηματολόγιο, φαίνεται ότι οι μαθητές συνειδητοποιούν ότι η πλεύση και η βύθιση οφείλουν να ερμηνεύονται με έναν τρόπο, αφού ένα μεγάλο μέρος των μαθητών ερμηνεύει την Π/Β με κριτήριο το υλικό του αντικειμένου. Το γεγονός ότι το διαισθητικό αυτό κριτήριο φαίνεται να «δουλεύει» καλά, και το γεγονός ότι τα πειράματα που χρησιμοποιήθηκαν στην 4^η και 5^η ενότητα (π.χ. η πλεύση του γυάλινου μπουκαλιού) μπορούν να ερμηνευτούν το ίδιο καλά με το κριτήριο αυτό όπως και με το κριτήριο της σύγκρισης πυκνοτήτων, φανερώνει ότι ίσως η διαισθητική αυτή ιδέα δεν αμφισβητήθηκε με την ίδια ένταση που αμφισβητήθηκε η εναλλακτική ιδέα ότι «τα βαριά βυθίζονται και τα ελαφριά επιπλέουν». Πιθανώς, αυτό να ερμηνεύει το μικρότερο ποσοστό επιτυχίας στη χρήση του κριτηρίου σύγκρισης πυκνοτήτων, στις περιπτώσεις που οι μαθητές αντιμετωπίζουν φαινόμενα Π/Β της καθημερινής εμπειρίας, στα οποία δε δίνεται η πυκνότητα των υλικών.

Αποδίδουμε τη βελτίωση των ερμηνειών των μαθητών στους εξής τρεις παράγοντες. Πρώτον, στην ενεργό εμπλοκή των μαθητών στις δραστηριότητες διερεύνησης της 2ης ενότητας, που είχαν στόχο τον έλεγχο των παραγόντων που επηρεάζουν το φαινόμενο της Π/Β. Η διερεύνηση αυτή πραγματοποιήθηκε μέσω της μεθόδου σκαλωσιάς, όπως αυτή περιγράφεται στη σχεδιαστική αρχή Δ2 της ΔΜΣ στο σχήμα 3.1, και φαίνεται να αποτέλεσε ιδιαίτερα σημαντική υποστήριξη για τους μαθητές, ενισχύοντας την αντίστοιχη άποψη του Krajcik (2001) και του Taber (2009). Ενδεικτικά αναφέρουμε ότι οι μαθητές, στο πλαίσιο της μεθόδου σκαλωσιάς, πραγματοποίησαν διερευνήσεις με βαθμιαία αύξηση της ανοιχτότητας, ξεκινώντας από επίδειξη του πειράματος από τη δασκάλα, και καταλήγοντας να προτείνουν και να πραγματοποιούν οι ίδιοι τη διαδικασία με την οποία θα ελέγξουν δύο διαφορετικές μεταβλητές στο φαινόμενο της Π/Β. Δεύτερον, στις δραστηριότητες ανάδειξης και γενίκευσης του κανόνα σύγκρισης πυκνοτήτων για την ερμηνεία του φαινομένου Π/Β. Οι δραστηριότητες αυτές βοήθησαν τους μαθητές να μεταβούν από τις ερμηνείες του φαινομένου Π/Β με κριτήριο το υλικό του αντικειμένου, σε ερμηνείες που χρησιμοποιούν συσχετιστικό αιτιακό συλλογισμό (Perkins & Grotzer, 2005). Τρίτον, στη σύνδεση των ερμηνειών των μαθητών στα προσομοιωμένα φαινόμενα Π/Β με τις ερμηνείες που έδιναν στα φαινόμενα Π/Β της καθημερινής εμπειρίας. Η σύνδεση αυτή θεωρείται σημαντικό υποστηρικτικό πλαίσιο (scaffolding), το οποίο μπορεί να

οδηγήσει σε βελτίωση των ερμηνειών φαινομένων όπως υποστηρίζουν οι Jaakkola et al. (2010). Το γεγονός ότι οι μαθητές δυσκολεύτηκαν, αν και σε μικρότερο βαθμό, να χρησιμοποιήσουν τον συσχετιστικό αιτιακό συλλογισμό στα πραγματικά πειράματα και στην κανονική εφαρμογή, θεωρούμε ότι φανερώνει την ανάγκη για μεγαλύτερη έμφαση στη σύνδεση των ερμηνειών στα πραγματικά και τα προσομοιωμένα πειράματα.

6.2.2 Συζήτηση των αποτελεσμάτων σχετικά με την εννοιολογική κατανόηση της πυκνότητας

Από την περιγραφή και ανάλυση των απαντήσεων των μαθητών στα έργα με τα οποία μελετήσαμε τις ιδέες των μαθητών σχετικά με την έννοια της πυκνότητας και την κατανόησή της ως ιδιότητας του υλικού, παρατηρήσαμε στατιστικά σημαντική βελτίωση, η οποία διατηρήθηκε και επτά μήνες αργότερα. Ειδικότερα, παρατηρήθηκε μια σημαντική μετατόπιση των απόψεων των μαθητών, σχετικά με την έννοια της πυκνότητας, από την εκτατική άποψη, δηλαδή ότι η πυκνότητα εξαρτάται από την ποσότητα του αντικειμένου, στην εντατική άποψη, δηλαδή ότι η πυκνότητα εξαρτάται από το υλικό. Ταυτόχρονα, όπως φάνηκε από τις συνεντεύξεις, οι μαθητές που κατάφεραν την παραπάνω μετατόπιση προς την εντατική άποψη, διαφοροποίησαν επίσης την πυκνότητα από το βάρος, γεγονός που αποτελεί ένδειξη επεκτασιμότητας της μάθησης, διότι η διαφοροποίηση των δύο αυτών εννοιών ήταν έμμεσος στόχος της ΔΜΣ. Εξάλλου, το αποτέλεσμα αυτό είναι σε συμφωνία με την άποψη του Φασουλόπουλου (2000) καθώς και των Smith et al. (1992), ότι όσοι μαθητές καταφέρνουν να συνδέσουν την πυκνότητα με το είδος του υλικού, μετατοπίζουν το ενδιαφέρον τους από τα αντικείμενα στα υλικά κατασκευής, με αποτέλεσμα να μην συνδέουν το βάρος με την πυκνότητα. Εντούτοις, αρκετοί ήταν οι μαθητές, που ακόμη και μετά την παρέμβαση, θεωρούσαν ότι η πυκνότητα εξαρτάται από το μέγεθος ή την ποσότητα των αντικειμένων, φανερώνοντας ότι συνεχίζουν να έχουν την εκτατική άποψη, παρόμοια με την έρευνα των Smith et al. (1992).

Θεωρούμε ότι η σημαντική βελτίωση στην κατανόηση της πυκνότητας στην κανονική εφαρμογή είναι αποτέλεσμα: α) της βαθμιαίας εισαγωγής και ενεργού εμπλοκής των μαθητών με τη μέθοδο για τον έλεγχο των μεταβλητών που επηρεάζουν το φαινόμενο της Π/Β, στη 2η ενότητα, β) των δραστηριοτήτων μοντελοποίησης της σχέσης ελαφρύτερο-βαρύτερο υλικό, στην 3η ενότητα της ΔΜΣ, κατά τη διάρκεια της

οποίας δόθηκε η δυνατότητα στους μαθητές να εκφράσουν με χαρτί και μολύβι τα δικά τους μοντέλα σχετικά με τη σχέση αυτή, γ) των συζητήσεων σχετικά με τα συμπαγή σώματα που πραγματοποιήθηκαν τόσο στην 1^η όσο και στην 4^η ενότητα της ΔΜΣ και δ) των δραστηριοτήτων ερμηνείας της Π/Β σύνθετων αντικειμένων σε προσομοιωμένο και πραγματικό περιβάλλον, στην 4η και 5η ενότητα, και της σύνδεσής των ερμηνειών τους (Jaakkola et al., 2010), ώστε να περιλαμβάνουν τη χρήση συσχετιστικού αιτιακού συλλογισμού (σύγκριση πυκνοτήτων) (Perkins & Grotzer, 2005, Zoupidis et al., 2011) (δες ενότητα 3.2). Οι παραπάνω δραστηριότητες βοήθησαν τους μαθητές να αντιληφθούν την πυκνότητα ως μια έννοια που σχετίζεται με το φαινόμενο της Π/Β, εστιάζοντας στο υλικό του αντικειμένου και του υγρού και εντάσσοντας αυτές τις έννοιες στις ερμηνείες των φαινομένων Π/Β.

6.2.3 Συζήτηση των αποτελεσμάτων σχετικά με την κατανόηση της ΣΕΜ

Από την περιγραφή και ανάλυση των απαντήσεων των μαθητών στα έργα που αξιολογούν την κατανόηση της μεθόδου ΣΕΜ, στην κανονική εφαρμογή, παρατηρήσαμε τα εξής.

Πρώτον, ενώ παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική βελτίωση στην κατανόηση της μεθόδου για τον έλεγχο μιας μεταβλητής, η οποία διατηρήθηκε και επτά μήνες μετά την παρέμβαση, δεν υπήρξε στατιστικά σημαντική βελτίωση στην κατανόηση της μεθόδου συμπερασμού από τον έλεγχο μιας μεταβλητής (δες ενότητα 5.4.3.α). Το παραπάνω αποτέλεσμα, σε συμφωνία με τα αποτελέσματα της πιλοτικής εφαρμογής αλλά και της επισκόπησης της βιβλιογραφίας (Boudreaux et al., 2008), δείχνει το μέγεθος της δυσκολίας που αντιμετωπίζουν οι μαθητές να περιγράψουν τη μέθοδο συμπερασμού από τον έλεγχο μιας μεταβλητής, είτε η μεταβλητή αυτή έχει ελεγχθεί κατά τη διάρκεια της παρέμβασης είτε δεν έχει ελεγχθεί. Σημαντική δυσκολία που φάνηκε να επηρεάζει τους μαθητές είναι η τάση να αναφέρουν το συμπέρασμα, δηλαδή την άποψή τους για το φαινόμενο, αντί των βημάτων που χρειάζεται να ακολουθήσουν για να καταλήξουν στο συμπέρασμα, όπως αναφέρουν και οι Boudreaux et al. (2008), και μάλιστα για μαθητές λυκείου και τριτοβάθμιας εκπαίδευσης. Το γεγονός ότι αρκετοί από τους μαθητές, οι οποίοι ενώ στα γραπτά ερωτηματολόγια ανέφεραν το συμπέρασμα αντί της μεθόδου (είτε για τον έλεγχο είτε για τον συμπερασμό), στη συνέντευξη μπορούσαν να περιγράψουν τη μέθοδο, μετά

από υποβοήθηση από τον ερευνητή, ανέδειξε συγκεκριμένες υποβοηθητικές ερωτήσεις, π.χ. «*Τι νομίζεις ότι θα έπρεπε να δεις για να βγάλεις το αντίθετο συμπέρασμα;*», οι οποίες μπορούν να λειτουργήσουν ως υποστήριξη (scaffolding) προς την επιθυμητή γνώση (για περισσότερες λεπτομέρειες δες ενότητα 5.4.3.β). Πιθανόν να παίζει σημαντικό ρόλο το γεγονός ότι οι ερωτήσεις αυτές, είτε εστιάζουν γενικά στις σκέψεις που κάνουμε για να καταλήξουμε σε ένα συμπέρασμα, είτε αναδεικνύουν ένα συγκεκριμένο συμπέρασμα και εστιάζουν στον συλλογισμό που πραγματοποιούμε για να καταλήξουμε σε αυτό. Το παραπάνω αποτέλεσμα ενισχύει την άποψη ότι σημαντικό υποστηρικτικό πλαίσιο για την κατανόηση του συλλογισμού της μεθόδου ΣΕΜ αποτελεί η συζήτηση και αιτιολόγηση της καταλληλότητας συγκεκριμένων πειραμάτων, από τα οποία άλλα να είναι κατάλληλα και άλλα να μην είναι κατάλληλα για την εξαγωγή συμπεράσματος (Boudreaux et al., 2008). Για παράδειγμα, ένα πείραμα με το οποίο δεν μπορούμε να καταλήξουμε σε ασφαλές συμπέρασμα θα προσφέρει τη δυνατότητα να συζητηθούν οι λόγοι για τους οποίους συμβαίνει αυτό, καθώς και οι αλλαγές που θα μπορούσαμε να κάνουμε στο σχεδιασμό του πειράματος ώστε να γίνει κατάλληλο για να καταλήξουμε σε ασφαλές συμπέρασμα.

Δεύτερον, παρόλο που η κατανόηση της μεθόδου για τον έλεγχο μιας μεταβλητής παρουσίασε στατιστικά σημαντική βελτίωση, η αναφορά στο συμπέρασμα αντί της μεθόδου με την οποία θα πραγματοποιήσουμε τον έλεγχο της μεταβλητής φάνηκε να δυσκολεύει τους μαθητές και σε αυτήν την περίπτωση, σε συμφωνία με τα αποτελέσματα της έρευνας των Dean & Kuhn (2007), στην οποία αναφέρεται ότι παρά την παρατηρούμενη βελτίωση υπήρξαν αρκετοί μαθητές οι οποίοι δεν κατάφεραν να κατανοήσουν τη μέθοδο. Στην παρούσα έρευνα, η δυσκολία αυτή ήταν ιδιαίτερα σημαντική στην περίπτωση που ζητήθηκε από τους μαθητές να περιγράψουν τη μέθοδο για τον έλεγχο μιας μεταβλητής την οποία την είχαν ελέγξει στο μάθημα, ενώ αντίθετα όταν επρόκειτο για μεταβλητή που δεν την είχαν ελέγξει, τότε περιέγραφαν ορθά τη μέθοδο σε μεγαλύτερο ποσοστό. Μια πιθανή εξήγηση είναι ότι στην περίπτωση της γνωστής μεταβλητής οι μαθητές γνωρίζουν το αποτέλεσμα και για αυτό θεωρούν ότι δεν είναι απαραίτητο να περιγράψουν τον τρόπο με τον οποίο ελέγχουν την μεταβλητή, αλλά αντίθετα αναφέρουν το τελικό συμπέρασμα στο οποίο κατέληξαν κατά τη διάρκεια των μαθημάτων. Θεωρούμε επίσης ότι αυτή η συμπεριφορά μπορεί να αποδοθεί, εν μέρει, και στον τρόπο με τον οποίο έχουν συνηθίσει να εργάζονται και να εξετάζονται οι μαθητές στο ισχύον

εκπαιδευτικό σύστημα, το οποίο δίνει ελάχιστο έως μηδενικό χρόνο για συζήτηση σχετικά με διαδικαστική και επιστημολογική γνώση.

Τρίτον, παρατηρήθηκε ότι οι μαθητές οι οποίοι στη συνέντευξη περιέγραψαν ορθά, είτε αυθόρμητα είτε μετά από υποβοήθηση, τη μέθοδο για τον έλεγχο ή για τον συμπερασμό από τον έλεγχο μιας μεταβλητής στο φαινόμενο της Π/Β, που το είχαν διδαχθεί, μπόρεσαν να επεκτείνουν τη γνώση τους αυτή και σε φαινόμενο που δεν το είχαν διδαχθεί (τριβή), σε συμφωνία με τους Chen και Klahr (1999). Αντίθετα, οι μαθητές που δεν κατάφεραν να περιγράψουν τη μέθοδο ΣΕΜ στο φαινόμενο της Π/Β, δεν μπόρεσαν να περιγράψουν τη μέθοδο αυτή ούτε στο φαινόμενο της τριβής, ακόμη και μετά από σχετική υποβοήθηση (scaffolding) από τον ερευνητή (δες ενότητα 5.4.3.β). Συνεπώς, φάνηκε ότι όσοι μαθητές περιέγραψαν ορθά τη μέθοδο για τον έλεγχο μιας μεταβλητής που δεν την έχουν ελέγξει, αλλά αφορά στο φαινόμενο Π/Β, φανερώνοντας κοντινή επεκτασιμότητα της μάθησης, ήταν ικανοί να περιγράψουν ορθά τη μέθοδο και για τον έλεγχο μιας μεταβλητής σχετικά με ένα φαινόμενο που δεν το έχουν διδαχθεί, π.χ. το φαινόμενο της τριβής, φανερώνοντας μακρινή επεκτασιμότητα της μάθησης (Lin & Lehman, 1999). Σύμφωνα δε με τους Lin και Lehman (1999) καθώς και τους Hatano και Inagaki (1986), όταν δεν παρουσιάζεται σημαντική διαφορά στην επίδοση μεταξύ κοντινής και μακρινής επεκτασιμότητας της μάθησης της μεθόδου ΣΕΜ, αυτό αποτελεί ένδειξη ότι η μάθηση της μεθόδου δεν έχει περιοριστεί σε απλή αποστήθιση αλλά έχει γίνει σε βάθος αναγνωρίζοντας τη δομή και τις αρχές της μεθόδου (deep conceptual understanding of underlying structures and principles).

Τέλος, θεωρούμε ότι ο συνδυασμός σαφούς διδασκαλίας της μεθόδου από τη μία και βαθμιαίας μείωσης της υποστήριξης στις δραστηριότητες ελέγχου των μεταβλητών που επηρεάζουν το φαινόμενο της Π/Β από την άλλη, όπως υποστηρίζουν και οι Lorch et al. (2010), αποτέλεσε σημαντικό παράγοντα στη βελτίωση της κατανόησης του συλλογισμού που υπάρχει πίσω από τη μέθοδο ΣΕΜ.

6.2.4 Συζήτηση των αποτελεσμάτων σχετικά με την κατανόηση της φύσης και του ρόλου των μοντέλων

Από την περιγραφή και ανάλυση των απαντήσεων των μαθητών στα έργα που αξιολογούν την κατανόηση της φύσης και του ρόλου των μοντέλων, στην κανονική εφαρμογή, παρατηρήσαμε στατιστικά σημαντική βελτίωση, η οποία διατηρήθηκε

ακόμη και επτά μήνες μετά την παρέμβαση, τόσο σχετικά με τη φύση όσο και σχετικά με τον ρόλο των μοντέλων. Υπενθυμίζουμε σε αυτό το σημείο ότι η βασική εναλλακτική ιδέα των μαθητών για τα μοντέλα ήταν ότι αυτά έχουν σχέση με την αισθητική και την ομορφιά, π.χ. καλλιστεία, ή/και ότι ένα μοντέλο ταυτίζεται με την πραγματικότητα. Επίσης, η αναμενόμενη και επιθυμητή γνώση μετά την παρέμβαση σχετικά με τη φύση των μοντέλων ήταν ότι «ένα μοντέλο είναι μια αναπαράσταση και όχι ένα ακριβές αντίγραφο του στόχου που αναπαριστά», ενώ σχετικά με τον ρόλο των μοντέλων ότι «ένα μοντέλο είναι μέσο μεταφοράς πληροφορίας ή εργαλείο για την περιγραφή, ερμηνεία ή/και πρόβλεψη ενός φαινομένου». Θεωρούμε ότι σημαντικός παράγοντας που βοήθησε στη βελτίωση των απόψεων των μαθητών ήταν ο συνδυασμός δύο στοιχείων στη διδακτική μέθοδο της ΔΜΣ. Από τη μία, η σαφής διδασκαλία στοιχείων της φύσης και του ρόλου των μοντέλων, όπως προτείνεται από πολλούς ερευνητές (π.χ. Schwarz & White, 2005, Gobert et al., 2011), και από την άλλη η βαθμιαία εισαγωγή στα μοντέλα με σταδιακή μείωση της ομοιότητας των μοντέλων με τον στόχο που αναπαριστούν, όπως προτείνεται από τον Petrosino (2003) (δες ενότητα 3.1).

Το γεγονός ότι οι μαθητές οι οποίοι αναγνωρίζουν τις κατασκευές αυτές ως αναπαραστάσεις, πριν την παρέμβαση, είναι ελάχιστοι, φανερώνει τη δυσκολία που αντιμετωπίζουν οι μαθητές, αυτής της ηλικίας, να αντιληφθούν τη φύση των μοντέλων, σε συμφωνία με τους Treagust et al. (2002). Εντούτοις, φαίνεται ότι οι κατασκευές που παρουσιάζουν μεγαλύτερη ομοιότητα με τον στόχο που αναπαριστούν, π.χ. φυσικό μοντέλο ματιού ή σχεδιάγραμμα πλοίου, αναγνωρίζονται πιο εύκολα, από ορισμένους μαθητές, ως αναπαραστάσεις (δες ενότητα 5.4.4.α). Αντίθετα, παρατηρήθηκε ότι σημαντικός αριθμός μαθητών, πριν την παρέμβαση, αναγνώριζε την περιγραφική, και σε ορισμένες περιπτώσεις την ερμηνευτική, ιδιότητα ενός μοντέλου, ιδίως όταν επρόκειτο για μοντέλο με σχετική ομοιότητα με τον στόχο που αναπαριστούσε, όπως είναι π.χ. το φυσικό μοντέλο ενός ματιού, σε συμφωνία με τα αποτελέσματα της έρευνας των Treagust et al. (2002). Από την παραπάνω παρατήρηση, συμπεραίνουμε ότι ίσως είναι πιο εύκολο, η συζήτηση σχετικά με τα μοντέλα να ξεκινήσει από τον ρόλο των μοντέλων και όχι από τη φύση τους. Μια ερμηνεία για τα συγκεκριμένα αποτελέσματα είναι ότι οι μαθητές έχουν ήδη εμπειρίες ή γνωρίζουν από άλλες πηγές τα μοντέλα αυτά και τις λειτουργίες τους. Επίσης, θεωρούμε ότι τα παραπάνω αποτελέσματα είναι μια σημαντική ένδειξη ότι φυσικά μοντέλα όπως αυτό ενός ματιού, ή/και οπτικά στατικά μοντέλα όπως τα

σχέδια ενός πλοίου, μπορούν να αποτελέσουν σημείο εκκίνησης για τη συζήτηση γύρω από τη φύση και τον ρόλο των μοντέλων, όπως υποστηρίζεται από ερευνητές που έχουν ασχοληθεί με το συγκεκριμένο ζήτημα (Gentner, 1983, Treagust et al., 2002, Vosniadou, 2010).

Η ανάλυση των συνεντεύξεων έδωσε και άλλες ενδείξεις οι οποίες ενισχύουν την παραπάνω άποψη. Συγκεκριμένα, οι περισσότεροι από τους μαθητές οι οποίοι, στη συνέντευξη, αρχικά δεν μπορούσαν να κατανοήσουν τη φύση και τον ρόλο των μοντέλων, μετά από υποβοηθητικές ερωτήσεις από τον ερευνητή, έδωσαν απαντήσεις που προσέγγισαν την επιθυμητή γνώση, ιδιαίτερα στην περίπτωση που το μοντέλο χαρακτηριζόταν από μικρότερο βαθμό αφαίρεσης (κύκλος του νερού). Η συζήτηση γύρω από τον ρόλο ενός τέτοιου μοντέλου, όπως είναι αυτό του κύκλου του νερού, καθώς και σχετικά με τη φύση του, και συγκεκριμένα σχετικά με τα συστατικά στοιχεία από τα οποία αποτελείται (Papaeniriidou et al., 2007), φάνηκε ότι είναι πιο εύκολη από την αντίστοιχη συζήτηση σχετικά με το μοντέλο της πυκνότητας «τελίτσες-στο-κυβάκι», πιθανόν λόγω του μικρότερου βαθμού αφαίρεσης που το χαρακτηρίζει, και της μεγαλύτερης ομοιότητας με τον στόχο που αναπαριστά (Wiser & Smith, 2008). Με άλλα λόγια, ο μεγάλος βαθμός αφαίρεσης που χαρακτηρίζει το μοντέλο «τελίτσες-στο-κυβάκι», σε αντίθεση για παράδειγμα με το σκίτσο ή το σιδερένιο μοντέλο ενός πλοίου, που χαρακτηρίζονται από μεγαλύτερη ομοιότητα με τον στόχο που αναπαριστούν, στέκεται εμπόδιο στη συζήτηση σχετικά με τη φύση του, π.χ. σχετικά με τα συστατικά στοιχεία από τα οποία αποτελείται και σχετικά με τι αναπαριστά το καθένα από αυτά (Vosniadou, 2010), όπως εξάλλου φάνηκε και στην έρευνα των Smith et al. (1992). Επομένως, τα μοντέλα που χαρακτηρίζονται από μικρό βαθμό αφαίρεσης, π.χ. το μοντέλο του κύκλου του νερού, μπορούν να αποτελέσουν σκαλοπάτι για την κατανόηση στοιχείων της φύσης και του ρόλου των μοντέλων και να βοηθήσουν στην κατανόηση μοντέλων με μεγαλύτερο βαθμό αφαίρεσης όπως είναι το μοντέλο «τελίτσες-στο-κυβάκι» της πυκνότητας. Ως συνέπεια των παραπάνω, και παρόλο που τα συστατικά στοιχεία του μοντέλου της πυκνότητας αποτελούν σημαντικά στοιχεία για την εννοιολογική κατανόηση της πυκνότητας, είναι πιθανόν να αργήσουν να γίνουν κατανοητά, αφού η κατανόηση της πυκνότητας ως πηλίκου της μάζας προς τον όγκο ενός αντικειμένου προϋποθέτει ότι θα έχουν κατανοηθεί στοιχεία σχετικά με τις καταστάσεις της ύλης και σχετικά με τα μοντέλα (Wiser & Smith, 2008). Αντίθετα, από τις συνεντεύξεις φάνηκε ότι θα ήταν ευκολότερο να συζητηθεί ο τρόπος με τον οποίο

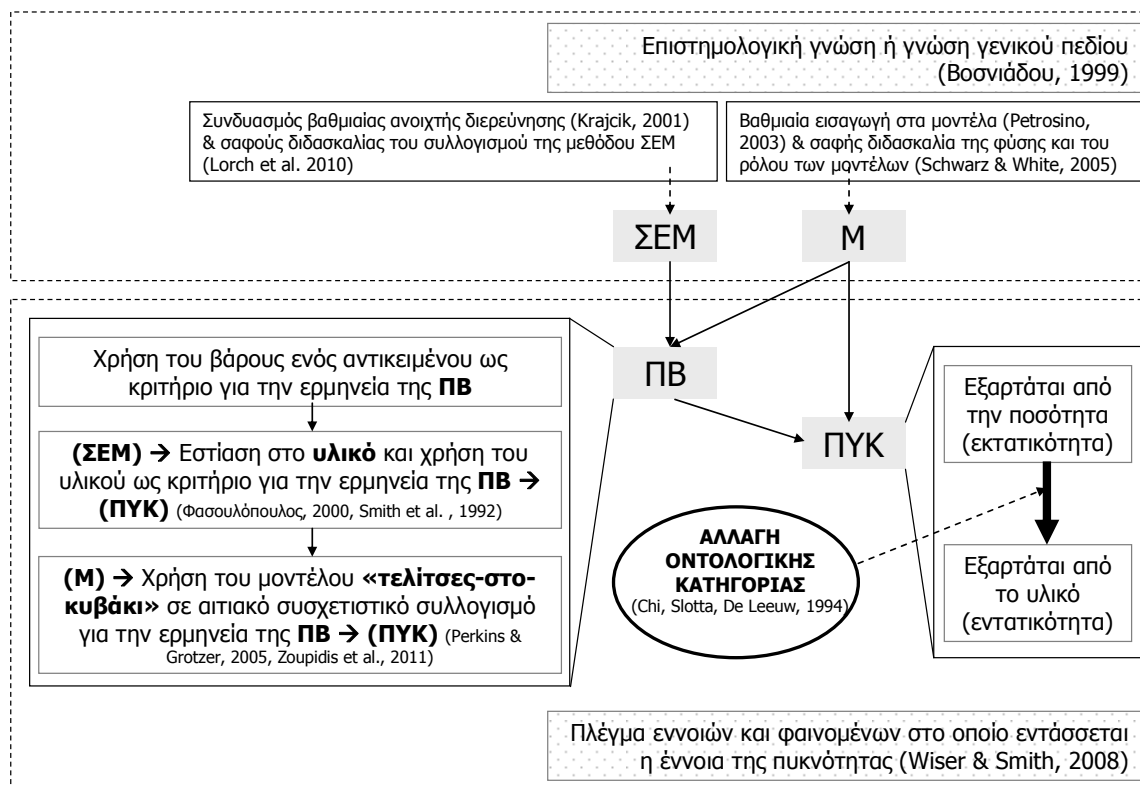
χρησιμοποιήσαμε το μοντέλο της πυκνότητας στα φαινόμενα της Π/Β στις εξής δύο διαδικασίες: α) σε διαδικασίες σύγκρισης πυκνοτήτων, και β) στην πρόβλεψη και ερμηνεία της Π/Β ενός αντικειμένου σε ένα υγρό. Με αυτόν τον τρόπο είναι δυνατόν οι μαθητές να αντιληφθούν την έννοια της πυκνότητας ως ιδιότητας του υλικού και όχι του αντικειμένου, καθώς επίσης και ως εργαλείου για την πρόβλεψη και ερμηνεία φαινομένων Π/Β.

Εν κατακλείδι, φαίνεται ότι μια συζήτηση γύρω από τη φύση και τον ρόλο των μοντέλων είναι καλύτερο να ξεκινάει με μοντέλα που είναι κοντά στην καθημερινότητα των μαθητών και που αναπαριστούν αντικείμενα ή/και φαινόμενα που είναι εύκολα αντιληπτά από τους μαθητές, και στη συνέχεια να προχωρήσει σε πιο σύνθετα και αφηρημένα μοντέλα των Φυσικών Επιστημών, όπως είναι αυτό της πυκνότητας. Με άλλα λόγια, είναι σημαντικό το σημείο εκκίνησης για τη συζήτηση σχετικά με τη φύση και τον ρόλο των μοντέλων να αποτελέσουν τα απλά μοντέλα απεικόνισης αντικειμένων (Treagust et al., 2002). Τέτοια μοντέλα είναι για παράδειγμα, το φυσικό μοντέλο ενός ματιού, τα οπτικά στατικά μοντέλα (σχέδια) ενός πλοίου ή/και το οπτικό στατικό μοντέλο του κύκλου του νερού, τα οποία παρουσιάζουν και μια βαθμιαία αύξηση αφάισης. Επιπρόσθετα, φαίνεται ότι η συζήτηση γύρω από τα συστατικά στοιχεία ενός μοντέλου καθώς και σχετικά με αυτά που αναπαριστούν (Papaenripidou et al., 2007), μπορεί να βοηθήσει στην κατανόηση της φύσης των μοντέλων, και συγκεκριμένα στην απομάκρυνση από την άποψη: α) ότι ένα μοντέλο οφείλει να είναι το ίδιο με την πραγματικότητα ή να περιγράφει την πραγματικότητα, και β) ότι ένα μοντέλο πρέπει να είναι πιστό αντίγραφο αυτού που αναπαριστά. Η κατανόηση των παραπάνω μπορεί να βοηθήσει να γίνει αντιληπτό ότι ένα μοντέλο μπορεί να αναπαριστά και κάτι πιο αφηρημένο από ένα αντικείμενο ή ένα τοπίο, για παράδειγμα μια διαδικασία ή ένα φαινόμενο. Επίσης, φαίνεται ότι είναι πιο εύκολο να ξεκινήσει η συζήτηση για τα μοντέλα εστιάζοντας στον ρόλο τους παρά στη φύση τους, ίσως επειδή ο ρόλος των μοντέλων έχει μεγαλύτερη σχέση με τις καθημερινές εμπειρίες των μαθητών μέσα από τη χρήση τέτοιων μοντέλων, ενώ η φύση των μοντέλων είναι μια έννοια μάλλον πιο αφηρημένη και για τον λόγο αυτό δυσνόητη. Μέσα από μια σταδιακή διαδικασία, όπως αυτή που προτείνεται παραπάνω, σε συμφωνία με τους Saari και Viiri (2003) και τον van Zee (2006), οι οποίοι προτείνουν τη χρήση μοντέλων και μοντελοποίησης σε βάθος χρόνου και σε διαφορετικές θεματικές, οι μαθητές θα μπορέσουν να μελετήσουν όλο και πιο αφηρημένα εννοιολογικά μοντέλα, όπως είναι

τα περισσότερα μοντέλα των Φυσικών Επιστημών. Επομένως, μια συζήτηση με τα παραπάνω χαρακτηριστικά μπορεί να αποτελέσει υποβοηθητικό σκαλοπάτι (scaffolding), όταν θα απαιτηθεί να μελετηθούν πιο αφηρημένα μοντέλα στις ΦΕ, ή αλλιώς ενός διδακτικού μετασχηματισμού της φύσης της επιστήμης όπως την εννοεί η Develaki (2007).

6.2.5 Συζήτηση των αποτελεσμάτων από την Ανάλυση Διαδρομών

Εκτός από το ερώτημα, εάν υπήρξε βελτίωση στις απόψεις των μαθητών στις τέσσερις περιοχές μάθησης της ΔΜΣ, το οποίο συζητήθηκε στις προηγούμενες υποενότητες, ένα σημαντικό ερώτημα που διερευνήθηκε με την παρούσα έρευνα ήταν εάν υπήρχε σχέση μεταξύ της κατανόησης των τεσσάρων αυτών περιοχών μάθησης.



Σχήμα 6.1 Η υπόθεση της ερευνητικής ομάδας που σχεδίασε και ανέπτυξε τη ΔΜΣ

Η υπόθεση της ερευνητικής ομάδας που σχεδίασε και ανέπτυξε τη ΔΜΣ (σχήμα 6.1) ήταν πως υπήρχε σημαντική σχέση μεταξύ τους, η οποία καθορίστηκε από τις εξής τρεις σημαντικές αρχές: α) η επιστημολογική γνώση είναι σημαντικός παράγοντας στη διδασκαλία και μάθηση του φαινομένου Π/Β (Snir, 1991, Wiser & Smith, 2008), β) η εστίαση στο υλικό και η χρήση του ως κριτήριο για την ερμηνεία της Π/Β (Smith

et al., 1992, Φασουλόπουλος, 2000) και η χρήση του μοντέλου «τελίτσες-στο-κυβάκι» στο πλαίσιο συσχετιστικού αιτιακού συλλογισμού (Perkins & Grotzer, 2005, Ζουριδής et al., 2011), μπορούν να βοηθήσουν στην εννοιολογική κατανόηση της πυκνότητας ως ιδιότητας των υλικών, και γ) μια αλλαγή οντολογικής κατηγορίας για την έννοια της πυκνότητας μπορεί να οδηγήσει σε ριζοσπαστική αναδιοργάνωση στο εξηγητικό πλαίσιο με το οποίο ο μαθητής ερμηνεύει το φαινόμενο της Π/Β (Chi et al., 1994, Chi, 2008, Βοσνιάδου κ.ά., 2008).

Η παραπάνω υπόθεση φάνηκε να επιβεβαιώνεται από τα αποτελέσματα της εφαρμογής της στατιστικής τεχνικής Ανάλυση Διαδρομών (Path Analysis, δες ενότητα 5.6) στα σχετικά δεδομένα. Επίσης, τα αποτελέσματα αυτά ενισχύονται από τα αποτελέσματα της ποιοτικής ανάλυσης και παρουσίασης μαθησιακών μονοπατιών τριών μελετών περίπτωσης (Learning Pathways, δες ενότητα 5.7).

Καταρχήν, από την Ανάλυση Διαδρομών φάνηκε ότι ο τρόπος με τον οποίο σχεδιάστηκε και εφαρμόστηκε η ΔΜΣ είχε σημαντική επίδραση στη βελτίωση των ερμηνειών που δίνουν οι μαθητές σε φαινόμενα Π/Β, καθώς και στην εννοιολογική κατανόηση της πυκνότητας ως ιδιότητας των υλικών (δες ενότητα 5.6, χρονική στιγμή T2).

Συγκεκριμένα, η κατανόηση του συλλογισμού της Στρατηγικής Ελέγχου Μεταβλητών φάνηκε να είναι σημαντικός και απαραίτητος παράγοντας για τη βελτίωση των ερμηνειών στα φαινόμενα Π/Β, σε συμφωνία με τα αποτελέσματα άλλων ερευνών (Boudreaux et al., 2008, Chen & Klahr, 1999), οι οποίες δείχνουν ότι η κατανόηση των διαδικασιών διερεύνησης μέσω των οποίων παράγεται η γνώση μπορεί να υποστηρίξει την κατανόηση και ερμηνεία των φαινομένων. Το ίδιο σημαντική φάνηκε να είναι και η κατανόηση στοιχείων της φύσης των μοντέλων, τόσο για τη βελτίωση των ερμηνειών του φαινομένου Π/Β όσο και για την κατανόηση της πυκνότητας ως ιδιότητας των υλικών. Το αποτέλεσμα αυτό είναι σε συμφωνία με τα αποτελέσματα των Schwarz και White (2005), ενισχύοντας έτσι την άποψη της Vosniadou (2010) και των Wisner και Smith (2008) ότι η έλλειψη της γνώσης σχετικά με τα μοντέλα και τη φύση τους στέκεται εμπόδιο στην εννοιολογική κατανόηση της πυκνότητας και την ερμηνεία του φαινομένου Π/Β.

Επιπλέον, η εννοιολογική κατανόηση της πυκνότητας ως ιδιότητας των υλικών μπορεί να ερμηνευτεί σε σημαντικό βαθμό από τη βελτίωση στις ερμηνείες του φαινομένου Π/Β, σε συμφωνία με το εύρημα των Smith et al. (1992) ότι η βελτίωση στην κατανόηση και την ερμηνεία της Π/Β φαίνεται να συμβαδίζει με την κατανόηση

της πυκνότητας ως ιδιότητας των υλικών. Αυτό μπορεί να εξηγηθεί ως εξής. Μέσα από τις διερευνητικές δραστηριότητες ελέγχου των μεταβλητών που πιθανόν να επηρεάζουν το φαινόμενο της Π/Β, οι μαθητές αντιλήφθηκαν ότι σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει το φαινόμενο είναι το είδος του υλικού και όχι κάποια χαρακτηριστικά των αντικειμένων (π.χ. το βάρος ή το σχήμα). Μέσα από αυτόν τον συλλογισμό, εστίασαν στο υλικό και όχι στο αντικείμενο, με αποτέλεσμα να μπορούν ευκολότερα να αντιληφθούν την εντατικότητα της έννοιας της πυκνότητας, έστω και ποιοτικά (Smith, et al., 1992, Φασουλόπουλος, 2000).

Επιπρόσθετα, φάνηκε ότι από τη στιγμή που η πυκνότητα κατανοήθηκε ως ιδιότητα των υλικών, επομένως άλλαξε οντολογική κατηγορία (Chi et al., 1994, Chi, 2008) από εκτατική σε εντατική, το γεγονός αυτό επηρέασε θετικά τις ερμηνείες των μαθητών στα φαινόμενα Π/Β καθώς και την εννοιολογική κατανόηση της πυκνότητας ακόμα και επτά μήνες μετά την παρέμβαση, σε συμφωνία με τα αποτελέσματα των Βοσνιάδου κ.ά. (2008).

Οι τρεις μελέτες περίπτωσης που περιγράψαμε στην ενότητα 5.7, ενισχύουν τα παραπάνω αποτελέσματα. Ειδικότερα, ο μαθητής 31, ακολούθησε με επιτυχία την αναμενόμενη, με βάση τους διδακτικούς στόχους, μαθησιακή πορεία σε όλες τις περιοχές μάθησης, γεγονός που αποτελεί μια πρώτη ένδειξη ενίσχυσης του υποθετικού θεωρητικού μοντέλου (δες ενότητα 5.7.2). Αντίθετα, ο μαθητής 07, παρουσίασε δυσκολία να μεταβεί προς την επιθυμητή γνώση, ενώ ακόμη και όταν αυτό συνέβη, ήταν σύντομο και παροδικό (δες ενότητα 5.7.4). Η δυσκολία αυτή του μαθητή 07 θα μπορούσε να ερμηνευτεί ως εξής. Καταρχήν, δεν κατόρθωσε να κατανοήσει την επιστημολογική γνώση που σχετίζεται με τη μέθοδο ΣΕΜ, ούτε και αυτήν που σχετίζεται με τη φύση των μοντέλων. Ως αποτέλεσμα, δεν μπόρεσε να εστιάσει στο υλικό των αντικειμένων και να το χρησιμοποιήσει ως κριτήριο για την ερμηνεία φαινομένων Π/Β. Αντίθετα, πέρασε κατευθείαν από τη χρήση του κριτηρίου «τα βαριά βυθίζονται και τα ελαφριά επιπλέουν» στη χρήση του κριτηρίου σύγκρισης πυκνοτήτων. Ενδεχομένως, να έγινε εμπλουτισμός στην προηγούμενη εννοιολογική δομή δίχως να πραγματοποιηθεί αλλαγή οντολογικής κατηγορίας (Chi et al., 1994) για την έννοια της πυκνότητας, με αποτέλεσμα ο μαθητής να επιστρέψει και πάλι στο αρχικό κριτήριο για την ερμηνεία του φαινομένου, αμέσως μετά την παρέμβαση. Ενδιαφέρον παρουσιάζει επίσης το γεγονός ότι ο μαθητής 07 δεν κατόρθωσε να χρησιμοποιήσει το υλικό του αντικειμένου ως κριτήριο για την ερμηνεία του φαινομένου Π/Β, γεγονός που ενισχύει την άποψη των Hardy et al. (2006) ότι οι

ερμηνείες της καθημερινότητας (π.χ. η χρήση του υλικού ως κριτήριο για την Π/Β) πιθανόν να αποτελούν θεμελιώδες, μεταβατικό και υποβοηθητικό στάδιο για την κατανόηση των επιστημονικά αποδεκτών ερμηνειών του φαινομένου. Φαίνεται ότι τα στοιχεία που «λείπουν» από τον μαθητή 07, και με την έννοια αυτή ερμηνεύουν την αδυναμία για βελτίωση των ερμηνειών της Π/Β καθώς και της εννοιολογικής κατανόησης της πυκνότητας, αντιστοιχούν στις τρεις σχεδιαστικές αρχές της ΔΜΣ, οι οποίες αναφέρθηκαν στην αρχή της ενότητας.

Τέλος, ενδιαφέρον παρουσιάζει και ο μαθητής 29, ο οποίος σε γενικές γραμμές ακολούθησε την αναμενόμενη μαθησιακή πορεία, όπως και ο μαθητής 31. Παρόλα αυτά, ο μαθητής 29 φαίνεται να βρίσκεται σε φάση μετάβασης προς την επιθυμητή γνώση με την εξής έννοια.

Καταρχήν, το γεγονός ότι κατανόησε έστω και παροδικά τη μέθοδο ΣΕΜ θεωρούμε ότι ήταν σημαντικός παράγοντας για τη μετάβασή του από το ερμηνευτικό μοντέλο «τα βαριά βυθίζονται και τα ελαφριά επιπλέουν» στο ερμηνευτικό μοντέλο «το υλικό του αντικειμένου επηρεάζει την Π/Β του». Σημαντικός παράγοντας προς την ίδια κατεύθυνση θεωρούμε ότι ήταν και η κατανόηση της φύσης και του ρόλου των μοντέλων, στον βαθμό που αυτή συνέβη. Επομένως, ο μαθητής 29 κατάφερε να χρησιμοποιήσει το υλικό του αντικειμένου ως κριτήριο για την ερμηνεία της Π/Β, κάτι που δεν μπόρεσε να κάνει ο μαθητής 07. Ωστόσο, δεν κατάφερε να χρησιμοποιήσει το κριτήριο της σύγκρισης πυκνοτήτων, σε αντίθεση με τον μαθητή 31, ο οποίος χρησιμοποίησε τη σύγκριση πυκνοτήτων τουλάχιστον μέχρι και αμέσως μετά την παρέμβαση. Αυτό θεωρούμε ότι συνέβη επειδή για τον μαθητή 29 δεν πραγματοποιήθηκε αλλαγή οντολογικής κατηγορίας για την έννοια της πυκνότητας, όπως συνέβη με τον μαθητή 31.

Λαμβάνοντας υπόψη την παραπάνω συζήτηση, νομίζουμε ότι γίνεται φανερό η σημασία της κατανόησης της επιστημολογικής γνώσης (ΣΕΜ και μοντέλα) στη βελτίωση της κατανόησης των φαινομένων Π/Β αλλά και η ισχυρή σχέση που υπάρχει μεταξύ των στοιχείων που συνιστούν το πλέγμα των εννοιών και των φαινομένων που σχετίζονται με την πυκνότητα καθώς και η αναγκαιότητα ριζοσπαστικής αναδιοργάνωσης στο πλέγμα αυτό για τη βελτίωση του επεξηγηματικού πλαισίου των φαινομένων. Καταλήγοντας, θα συνοψίζαμε τη συζήτηση σχετικά με τη βελτίωση στις ερμηνείες για την Π/Β με το παρακάτω σχήμα το οποίο περιλαμβάνει δύο στοιχεία: Α) Η κατάκτηση της επιστημολογικής γνώσης, φαίνεται να βοηθάει στη μετάβαση από το ερμηνευτικό μοντέλο «τα βαριά βυθίζονται

και τα ελαφριά επιπλέον» (κατηγορία 1) στο ερμηνευτικό μοντέλο «το υλικό ενός αντικειμένου επηρεάζει την Π/Β του» (κατηγορία 2), δίχως να έχει διευκρινιστεί εάν είναι απαραίτητη η κατανόηση της ΣΕΜ, η κατανόηση περί της φύσης των μοντέλων ή και τα δύο. Β) Η αλλαγή στην οντολογική κατηγορία της πυκνότητας φαίνεται να βοηθάει στη μετάβαση από το ερμηνευτικό μοντέλο «το υλικό ενός αντικειμένου επηρεάζει την Π/Β του» στο ερμηνευτικό μοντέλο της σύγκρισης πυκνοτήτων ενός αντικειμένου και ενός υγρού για την ερμηνεία της Π/Β του αντικειμένου αυτού.

6.3 Η διαδικασία βελτίωσης της ΔΜΣ

Μπορούμε να συζητήσουμε τη διαδικασία βελτίωσης και τις δεκαπέντε βελτιωτικές αλλαγές που συνέβησαν από την πιλοτική στην κανονική εφαρμογή με τρεις διαφορετικούς τρόπους, αλλάζοντας κάθε φορά το κριτήριο με το οποίο τις περιγράφουμε και τις ομαδοποιούμε, και απαντώντας αντίστοιχα στα τρία υποερωτήματα του δεύτερου ερευνητικού ερωτήματος (δες ενότητα 4.1). Συγκεκριμένα, η συζήτηση που θα ακολουθήσει θα γίνει με βάση τα εξής κριτήρια: α) το περιεχόμενο με το οποίο σχετίζονται οι αλλαγές, β) τις κύριες πηγές δεδομένων που ανέδειξαν την ανάγκη για τις βελτιωτικές αλλαγές, και γ) τους παράγοντες που επηρέασαν και καθοδήγησαν τις αλλαγές αυτές. Επιπρόσθετα, συζητούνται οι βελτιωτικές αλλαγές με βάση τον χαρακτήρα τους ως *τοπικές – καθοδηγητικές* ή *ολιστικές – ανοιχτές*. Εξάλλου, από τους πίνακες 5.3.2, 5.3.3 και 5.3.5 παρατηρούμε ότι οι αλλαγές σχετίζονται με: α) το περιεχόμενο της ΔΜΣ, β) τη διδακτική-μαθησιακή προσέγγιση των δραστηριοτήτων, γ) τα υλικά και το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε στις δραστηριότητες αυτές, ή δ) τη διάρκεια των δραστηριοτήτων, σε συμφωνία με τη σχετική βιβλιογραφία (Méheut & Psillos, 2004).

6.3.1 Οι βελτιωτικές αλλαγές και το περιεχόμενο με το οποίο σχετίζονται

Οι περισσότερες από τις δεκαπέντε βελτιωτικές αλλαγές που συνέβησαν από την πιλοτική στην κανονική εφαρμογή αφορούν στην επιστημολογική και διαδικαστική γνώση. Συγκεκριμένα, έξι από τις δεκαπέντε αλλαγές σχετίζονται με τη μέθοδο ΣΕΜ και έξι με τη φύση και τον ρόλο των μοντέλων. Πολύ λιγότερες είναι οι αλλαγές που σχετίζονται με τη δηλωτική γνώση, και συγκεκριμένα δύο από αυτές σχετίζονται με τις ερμηνείες φαινομένων Π/Β και μία με την εννοιολογική κατανόηση της πυκνότητας. Θεωρούμε ότι αυτό συνέβη για τους εξής δύο λόγους. Πρώτον, επειδή

τα καινοτομικά χαρακτηριστικά του προγράμματος Materials Science, στο πλαίσιο του οποίου πραγματοποιήθηκε η παρούσα έρευνα, αναφέρονται κυρίως στην έμφαση που θα έπρεπε να δοθεί στην επιστημολογική και τη διαδικαστική γνώση (διδασκαλία και μάθηση της Στρατηγικής Ελέγχου Μεταβλητών και στοιχείων της φύσης και του ρόλου των μοντέλων) όπως αυτή περιγράφεται στην ενότητα 3.1. Δεύτερον, όπως είναι καλά τεκμηριωμένο στη σχετική βιβλιογραφία, τόσο οι δάσκαλοι (Crawford, 2007), ακόμη και αν είναι έμπειροι στη διδασκαλία ΦΕ, όσο και οι μαθητές (Boudreaux et al. 2008, Treagust et al., 2002), δυσκολεύονται να προσαρμοστούν σε τέτοιου είδους καινοτομίες, σε σχέση με το περιεχόμενο της διδασκαλίας.

6.3.2 Οι βελτιωτικές αλλαγές και οι κύριες πηγές δεδομένων που τις ανέδειξαν

Λαμβάνοντας υπόψη το δεύτερο κριτήριο, δηλαδή τις κύριες πηγές δεδομένων που ανέδειξαν την ανάγκη για τις βελτιωτικές αλλαγές, παρατηρούμε ότι οι περισσότερες αλλαγές επηρεάστηκαν από δύο ή/και περισσότερες πηγές δεδομένων, στοιχείο που ενισχύει την εγκυρότητα της ανάλυσης με την έννοια της τριγωνοποίησης των δεδομένων. Ένα ενδιαφέρον εύρημα είναι ότι η κύρια πηγή δεδομένων για την ανάδειξη των αλλαγών ήταν οι σημειώσεις των ερευνητών, και μάλιστα στις δώδεκα από τις δεκαπέντε περιπτώσεις. Οι σημειώσεις των ερευνητών είναι σημαντικές όχι μόνο λόγω της ποσότητάς τους, αλλά επίσης επειδή αναφέρονται στα καινοτομικά στοιχεία του περιεχομένου της ΔΜΣ, δηλαδή τη φύση και τον ρόλο των μοντέλων καθώς και τον συλλογισμό της μεθόδου ΣΕΜ. Επιπρόσθετα, οι δάσκαλοι λόγω έλλειψης σχετικής εμπειρίας και κατάλληλου υπόβαθρου έπαιξαν δευτερεύοντα και συμβουλευτικό ρόλο (Duit, 2007). Αυτός είναι πιθανόν και ο λόγος για τον οποίο η παρέμβαση των δασκάλων στις βελτιωτικές αλλαγές περιορίζεται σε δύο περιπτώσεις (βελτιωτικές αλλαγές 5.3.1.2 και 5.3.4.2). Παρόλα αυτά, η συνεισφορά των δασκάλων ήταν σημαντική, διότι συμμετείχαν στην εξελικτική διαδικασία ανάπτυξης των διδακτικών σεναρίων και των διδακτικών υλικών, σχολιάζοντας το είδος και το περιεχόμενο των δραστηριοτήτων, και τη δυνατότητα να πραγματοποιηθούν από μαθητές αυτής της ηλικίας.

Τα μαθησιακά αποτελέσματα που προέκυψαν από τα γραπτά ερωτηματολόγια, τα φύλλα εργασίας και τις μεταγραφές των βίντεο της διδασκαλίας ήταν επίσης

σημαντικές πηγές δεδομένων (έντεκα από τις δεκαπέντε περιπτώσεις), παρά το γεγονός ότι ανήκουν στις λεγόμενες δευτερεύουσες πηγές δεδομένων (δες σχήμα 4.4). Για παράδειγμα, η βελτιωτική αλλαγή που σχετίζεται με τη σύνδεση μεταξύ των ερμηνειών των μαθητών στα πραγματικά και τα προσομοιωμένα πειράματα, καθοδηγήθηκε, δευτερευόντως, από την ανάλυση των απαντήσεων στα γραπτά ερωτηματολόγια και τις συνεντεύξεις, και κυρίως από τις παρατηρήσεις των ειδικών εξωτερικών παρατηρητών του προγράμματος (βελτιωτική αλλαγή 5.3.1.1).

Οι προτάσεις των ειδικών εξωτερικών παρατηρητών του προγράμματος ήταν σημαντικές σε δύο από τις δεκαπέντε περιπτώσεις. Ο μικρός αριθμός των αλλαγών είναι λογικός, λαμβάνοντας υπόψη ότι ο ρόλος τους ήταν συμβουλευτικός και ότι η συνεργασία μαζί τους πραγματοποιήθηκε από απόσταση. Η μία βελτιωτική αλλαγή στην οποία συνεισέφεραν ήταν η προαναφερθείσα 5.3.1.1, ενώ η δεύτερη αφορούσε στην ανοιχτότητα των διερευνητικών δραστηριοτήτων των μαθητών (βελτιωτική αλλαγή 5.3.3.1)

6.3.3 Οι βελτιωτικές αλλαγές και οι παράγοντες που τις καθοδήγησαν

Λαμβάνοντας υπόψη το τρίτο κριτήριο, δηλαδή τους παράγοντες Pickering (δες ενότητα 2.3.3) που επηρέασαν και καθοδήγησαν κάθε βελτιωτική αλλαγή, παρατηρούμε ότι οι αλλαγές που καθοδηγήθηκαν από τον εκπαιδευτικό παράγοντα (ΕΚ) είναι δώδεκα από τις δεκαπέντε, ενώ υπάρχουν δύο ακόμη αλλαγές, οι οποίες καθοδηγήθηκαν κυρίως από τον εκπαιδευτικό παράγοντα και παράλληλα, με δευτερεύοντα αλλά σημαντικό τρόπο, από τον επιστημονικό παράγοντα (πίνακες 5.3.2, 5.3.3 και 5.3.5).

Παρόλο που το ισχύον αναλυτικό πρόγραμμα του Δημοτικού προτείνει ένα είδος ανακαλυπτικής διδακτικής μεθόδου, η πλειοψηφία των δασκάλων ακολουθεί μάλλον παραδοσιακές διδακτικές μεθόδους, οι οποίες βασίζονται κυρίως στη μεταφορά της γνώσης, υποβοηθούμενες από πειράματα επίδειξης. Η συγκεκριμένη ΔΜΣ υιοθέτησε μια διδακτική μέθοδο βασισμένη στη Διερεύνηση στο πλαίσιο του κοινωνικού εποικοδομητισμού (Βοσνιάδου, 1999, Χαλκιά, 2010). Η προσπάθεια εφαρμογής ενός τόσο καινοτομικού προγράμματος σε ένα παραδοσιακό εκπαιδευτικό σύστημα σαν το Ελληνικό, φαίνεται ότι απαίτησε πολλές τροποποιήσεις και προσαρμογές, οι οποίες καθοδηγήθηκαν από τον εκπαιδευτικό (ΕΚ) παράγοντα. Παρατηρούμε ότι οι ΕΚ παράγοντες σχετίζονται κυρίως με τις δυσκολίες που αντιμετωπίζουν οι μαθητές,

και αυτό συμβαίνει διότι οι μαθητές ήταν το κύριο αντικείμενο παρατήρησης των ερευνητών. Παρόλα αυτά, και παρά το γεγονός ότι οι δασκάλες που εφάρμοσαν τη ΔΜΣ ήταν έμπειρες στη διδασκαλία ΦΕ στο δημοτικό, αντιμετώπισαν επίσης δυσκολίες. Οι δυσκολίες αυτές αφορούν κυρίως στην επιστημολογική και τη διαδικαστική γνώση, και συγκεκριμένα τη φύση και τον ρόλο των μοντέλων, τόσο ως προς την αναγκαιότητα να διδαχθεί αυτό το περιεχόμενο σε μαθητές του δημοτικού όσο και ως προς τη δυνατότητα των μαθητών αυτής της ηλικίας να κατανοήσουν τέτοιου είδους γνώση.

Τρεις από τις δεκαπέντε βελτιωτικές αλλαγές (περιπτώσεις 5.3.1.1, 5.3.3.1 και 5.3.4.1) καθοδηγήθηκαν από τον επιστημονικό παράγοντα (ΕΠ), και ειδικότερα η μία από αυτές πλήρως, ενώ οι άλλες δύο εν μέρει και δευτερευόντως. Παρόλα αυτά, οι συγκεκριμένες αλλαγές συνιστούν τις πιο σημαντικές αλλαγές τις οποίες θα τις αποκαλούσαμε *πυλώνες*, διότι αναφέρονται στις κεντρικές σχεδιαστικές αρχές της ΔΜΣ, επηρεάζοντας σημαντικά όλες τις ενότητες της και όχι μόνο μία δραστηριότητα. Ειδικότερα, στη βελτιωτική αλλαγή 5.3.1.1, η αντίσταση ήταν ότι υπήρξε μικρότερη επιτυχία στην ερμηνεία πραγματικών έναντι προσομοιωμένων πειραμάτων. Η προσαρμογή για να ξεπεραστεί αυτή η δυσκολία αφορούσε στη σύνδεση μεταξύ των ερμηνειών πραγματικών και προσομοιωμένων πειραμάτων, με στόχο τη βελτίωση των ερμηνειών των μαθητών και στα πραγματικά πειράματα (Jaakkola et al., 2010). Δεύτερον, στη βελτιωτική αλλαγή 5.3.3.1, η αντίσταση ήταν ότι υπήρξε περιορισμένη μάθηση στη ΣΕΜ. Παρόλα αυτά, η προσαρμογή που επιλέχθηκε από την ερευνητική ομάδα ήταν η βαθμιαία μείωση της καθοδήγησης στη διερεύνηση με τη μέθοδο της σκαλωσιάς, ξεκινώντας με επίδειξη της μεθόδου ΣΕΜ στο πλαίσιο «καθοδηγούμενης διερεύνησης» και καταλήγοντας σε «ανοιχτή διερεύνηση», η οποία εμπλέκει τους μαθητές στο σχεδιασμό διερευνητικών πειραμάτων (Taber, 2009). Τρίτον, στη βελτιωτική αλλαγή 5.3.4.1, η αντίσταση ήταν η ελάχιστη επιτυχία στη μάθηση περί μοντέλων. Η προσαρμογή για να ξεπεραστεί αυτή η δυσκολία ήταν η μετάβαση από μια προσέγγιση η οποία εστιάζει μόνο στη χρήση μοντέλων σε μια προσέγγιση που συνδυάζει τη χρήση μοντέλων με έμφαση σε στοιχεία της φύσης και του ρόλου τους (Schwarz & White, 2005). Όπως φαίνεται από τις παραπάνω αλλαγές, η εξελικτική διαδικασία βελτίωσης την οποία μελετήσαμε στην παρούσα έρευνα δεν αφορούσε μόνο στην ίδια τη ΔΜΣ ή τους δάσκαλους που την εφάρμοσαν και τους μαθητές που την παρακολούθησαν, αλλά ακόμη και τους ίδιους τους ερευνητές που είχαν την κύρια ευθύνη για τον σχεδιασμό και την ανάπτυξη της.

Τέλος, παρατηρούμε ότι δεν υπήρξαν βελτιωτικές αλλαγές που να καθοδηγήθηκαν από τον υλικό παράγοντα (Υ). Θεωρούμε ότι ο λόγος για τον οποίο συνέβη αυτό είναι ότι η ερευνητική ομάδα είχε την απαραίτητη υλικοτεχνική υποστήριξη από το πρόγραμμα, γεγονός που εξουδετέρωσε τον Υ παράγοντα.

6.3.4 Τοπικές – Καθοδηγητικές και Ολιστικές – Ανοιχτές βελτιωτικές αλλαγές

Πέρα από τους τρεις παραπάνω τρόπους κατηγοριοποίησης των βελτιωτικών αλλαγών, παρατηρήσαμε ότι υπήρχαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των αλλαγών που καθοδηγήθηκαν από τον επιστημονικό παράγοντα (είτε πλήρως είτε εν μέρει) και αυτών που καθοδηγήθηκαν από τον εκπαιδευτικό παράγοντα. Από τη μία, οι αλλαγές που καθοδηγήθηκαν από τον επιστημονικό παράγοντα έχουν έναν *ολιστικό* – *ανοιχτό* χαρακτήρα, ενώ από την άλλη οι αλλαγές που καθοδηγήθηκαν από τον εκπαιδευτικό παράγοντα έχουν έναν *τοπικό* – *καθοδηγητικό* χαρακτήρα.

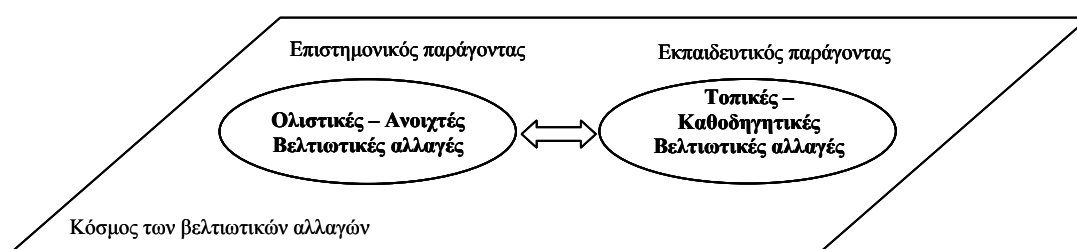
Συγκεκριμένα, οι αλλαγές που καθοδηγήθηκαν από τον επιστημονικό παράγοντα (περίπτώσεις 5.3.1.1, 5.3.3.1 και 5.3.4.1): α) επηρεάζουν το σύνολο της ΔΜΣ, αφού οι προσαρμογές αυτές σχετίζονται με πολλές δραστηριότητες και στις πέντε ενότητες της ΔΜΣ, β) έχουν άμεση σχέση με την IBSE (EU, 2007), δηλαδή τη διερεύνηση ως μέσο (δες σχεδιαστική αρχή Δ1, ενότητα 3.1), με την έννοια ότι βασικό ενδιαφέρον των ερευνητών είναι να ακολουθήσουν τις αρχές του παραδείγματος της Διερεύνησης, και γ) προτείνουν βαθμιαία μείωση της υποστήριξης στις διερευνητικές δραστηριότητες που πραγματοποιούν οι μαθητές, με την έννοια ότι οι μαθητές αναμένεται να οικοδομήσουν την επιθυμητή γνώση μέσα από την προσωπική τους παρέμβαση και ενεργό συμμετοχή στη μαθησιακή διαδικασία. Επομένως, ονομάζουμε αυτές τις αλλαγές *ολιστικές* – *ανοιχτές* και θα μπορούσαν να ερμηνευτούν από την εξελικτική διαδικασία υιοθέτησης και εφαρμογής, από τους ερευνητές, διδακτικών μαθησιακών μεθόδων που εντάσσονται στο πλαίσιο του παραδείγματος της Διερεύνησης ως μέσο (IBSE). Για παράδειγμα, στην περίπτωση 5.3.3.1, η προσαρμογή που επιλέχθηκε από τους ερευνητές ήταν *ολιστική* – *ανοιχτή*, με την έννοια ότι παρόλο που οι μαθητές αντιμετώπιζαν δυσκολίες στην κατανόηση και την εφαρμογή της επιστημονικής μεθόδου ΣΕΜ, αποφασίστηκε να εφαρμοστεί μια διδακτική μαθησιακή προσέγγιση η οποία παρουσιάζει μια βαθμιαία αύξηση *ανοιχτότητας* (*openness*) στο είδος και την έκταση της διερεύνησης που

πραγματοποιείται από τους ίδιους τους μαθητές, ακολουθώντας την τάση της τρέχουσας βιβλιογραφίας (EU, 2007, NRC, 2000).

Αντίθετα, οι βελτιωτικές αλλαγές που καθοδηγήθηκαν από τον εκπαιδευτικό παράγοντα: α) είναι τοπικές και εστιασμένες σε μία συγκεκριμένη δραστηριότητα μιας ενότητας της ΔΜΣ, β) σχετίζονται κυρίως με τις δυσκολίες των μαθητών, και γ) είναι καθοδηγητικές, με την έννοια ότι, ορισμένες φορές, υπάρχει μια συγκεκριμένη αλλαγή στα υλικά που χρησιμοποιούνται κατά τη διάρκεια της εφαρμογής, χωρίς καμία αλλαγή στην ανοιχτότητα των διδακτικών μαθησιακών μεθόδων. Ταυτόχρονα, παρατηρούμε ότι σε αυτές τις περιπτώσεις η νέα γνώση, άλλοτε προτείνεται να εισαχθεί με έμμεσο τρόπο (*implicitly*) (περιπτώσεις 5.3.1.2, 5.3.3.3, 5.3.3.4, 5.3.3.5, 5.3.4.2, 5.3.4.4 και 5.3.4.6), ενώ άλλοτε με σαφή διδασκαλία (*explicitly*) (περιπτώσεις 5.3.2.1, 5.3.3.2, 5.3.3.6, 5.3.4.3 και 5.3.4.5). Για τους παραπάνω λόγους, ονομάζουμε αυτές τις βελτιωτικές αλλαγές *τοπικές – καθοδηγητικές (έμμεσες και άμεσες)* αλλαγές, οι οποίες αναμένεται να βοηθήσουν τους μαθητές να ξεπεράσουν τις δυσκολίες που αντιμετώπισαν στην πιλοτική εφαρμογή. Ένα παράδειγμα *τοπικής – καθοδηγητικής έμμεσης* αλλαγής είναι η περίπτωση 5.3.3.3, στην οποία ο διδακτικός στόχος είναι οι μαθητές να κατανοήσουν στοιχεία της μεθόδου ΣΕΜ. Η αντίσταση σε αυτήν την περίπτωση ήταν η δυσκολία των μαθητών να εφαρμόσουν τα βήματα της μεθόδου όταν η υπό έλεγχο μεταβλητή ήταν εξαρτημένη. Η προσαρμογή που πραγματοποιήθηκε για να ξεπεραστεί αυτή η αντίσταση είναι *τοπική – καθοδηγητική έμμεση* με την έννοια ότι έχει σκοπό να βοηθήσει έμμεσα την απόκτηση της επιθυμητής γνώσης, μέσα από την αλλαγή στη σειρά με την οποία ελέγχονται οι μεταβλητές που πιθανόν να επηρεάζουν το φαινόμενο της Π/Β. Ένα παράδειγμα *τοπικής – καθοδηγητικής άμεσης* αλλαγής είναι η περίπτωση 5.3.3.2, στην οποία ο διδακτικός στόχος είναι, επίσης, οι μαθητές να κατανοήσουν στοιχεία της μεθόδου ΣΕΜ. Η αντίσταση σε αυτήν την περίπτωση ήταν η δυσκολία των μαθητών να κατανοήσουν τον συλλογισμό που υπάρχει πίσω από τη διαδικασία με την οποία συμπεραίνουμε εάν μια μεταβλητή επηρεάζει ένα φαινόμενο. Η προσαρμογή που επιλέχθηκε για να ξεπεραστεί αυτή η αντίσταση ήταν *τοπική – καθοδηγητική άμεση*, με την έννοια ότι στοχεύει σε μια σαφή διδασκαλία του συλλογισμού που υπάρχει πίσω από τη μέθοδο ΣΕΜ, συμπεριλαμβάνοντας τον ρόλο των παρατηρήσεων που πραγματοποιούνται κατά τη διάρκεια ενός πειράματος στη διαδικασία εξαγωγής συμπεράσματος.

Συνοψίζοντας την παραπάνω συζήτηση, θεωρούμε ότι προκύπτουν οι εξής προτάσεις ως προέκταση της παρούσας έρευνας:

- Οι βελτιωτικές αλλαγές διαφοροποιούνται μεταξύ τους με βάση τον παράγοντα που τις καθοδήγησε (σχήμα 6.2). Ο εκπαιδευτικός παράγοντας καθοδηγεί τοπικές – καθοδηγητικές αλλαγές, ενώ ο επιστημονικός παράγοντας καθοδηγεί ολιστικές – ανοιχτές αλλαγές, δηλαδή στην πρώτη περίπτωση οι βελτιωτικές αλλαγές είναι απαραίτητες για να ξεπεραστούν οι δυσκολίες και ανάγκες των μαθητών, ενώ στην δεύτερη περίπτωση για να προσαρμοστεί η ΔΜΣ στις σύγχρονες τάσεις της ΔΦΕ.



Σχήμα 6.2 Οι βελτιωτικές αλλαγές μιας ΔΜΣ σε σχέση με τον παράγοντα που τις καθοδηγεί

- Όταν σχεδιάζεται μια καινοτομική Διδακτική Μαθησιακή Σειρά, η οποία θα εφαρμοστεί σε συνθήκες που είναι πολύ κοντά στις συνθήκες καθημερινής τάξης, δηλαδή από τον δάσκαλο της τάξης, και περιλαμβάνει μια σειρά διδακτικών στόχων που σχετίζονται με το επιστημονικό περιεχόμενο και την επιστημολογική γνώση, τότε είναι πολύ πιθανό να απαιτηθεί μια ποικιλία από προσαρμογές. Αντίθετα, στην περίπτωση που η ΔΜΣ πρόκειται να εφαρμοστεί από τους ίδιους τους ερευνητές, σε ένα περιβάλλον με καθαρά ερευνητικά χαρακτηριστικά, και επομένως σε ένα περιβάλλον το οποίο είναι σε μεγάλο βαθμό «ελεγχόμενο», οι προσαρμογές είναι συνήθως λιγότερες.
- Όταν μια καινοτομική παρέμβαση σχεδιάζεται και αναπτύσσεται στο πλαίσιο ενός παραδοσιακού εκπαιδευτικού συστήματος, κεντρικά καθοδηγούμενου όπως είναι το ελληνικό, τότε οι βελτιωτικές αλλαγές και οι προτάσεις για τις απαραίτητες προσαρμογές, ώστε να ξεπεραστούν συγκεκριμένες αντιστάσεις, γίνονται σε μεγαλύτερο βαθμό και σε μεγαλύτερο βάθος από τους ερευνητές. Σημαντικός, αλλά σε μικρότερο βαθμό, είναι επίσης και ο ρόλος των δασκάλων, καθώς επίσης και των εξωτερικών παρατηρητών και αξιολογητών του προγράμματος.

- Κατά τη διάρκεια σχεδιασμού και ανάπτυξης της ΔΜΣ που περιγράφεται και αναλύεται στην παρούσα διατριβή, η ερευνητική ομάδα έκανε προσπάθεια να συνδυάσει, από τη μία χαρακτηριστικά που σχετίζονται και απορρέουν από τις σύγχρονες τάσεις της επιστήμης της ΔΦΕ, και από την άλλη χαρακτηριστικά που σχετίζονται με τις ανάγκες των μαθητών. Για παράδειγμα, από τη μία λήφθηκαν υπόψη οι ανάγκες για εκπαίδευση των εκπαιδευτικών, και από την άλλη δόθηκε έμφαση στις δυσκολίες, τα ενδιαφέροντα και τις μαθησιακές διαδικασίες μέσα από τις οποίες οι μαθητές κατακτούν τη νέα γνώση (Duit, 2007).

Επιπλέον, παρόλο που δεν αποτελούν άμεσα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας, μπορούν να γίνουν οι εξής γενικές παρατηρήσεις:

- Καθώς ο σχεδιασμός και η ανάπτυξη μιας ΔΜΣ δεν αποτελεί μια διαδικασία η οποία γίνεται εφάπαξ αλλά αντίθετα μια εξελικτική διαδικασία στο χρόνο (Méhaut & Psillos, 2004), είναι δυνατόν να γίνουν διάφορες προτάσεις για βελτιωτικές αλλαγές που θα αφορούν σε μια τρίτη εφαρμογή, μετά την κανονική. Αυτές οι αλλαγές αφορούν, ως επί το πλείστον, διαφορετικά ζητήματα από αυτά που αφορούσαν οι αλλαγές που έγιναν αμέσως μετά την πιλοτική εφαρμογή. Για παράδειγμα, μια βελτιωτική αλλαγή σε μια επόμενη εφαρμογή της ΔΜΣ θα μπορούσε να αφορά στη μεγαλύτερη έμφαση στην τεχνολογική γνώση και τη χρήση της στη βελτίωση έτοιμων τεχνολογικών λύσεων ενός προβλήματος, π.χ. στη συγκεκριμένη περίπτωση της ανέλκυσης ενός ναυαγίου, όπως προτείνεται από το NRC (2000) για μαθητές αυτής της ηλικίας.
- Παρόλο που υπήρξαν πολλές και εκτενείς συζητήσεις μεταξύ των δασκάλων και των ερευνητών, υπάρχει ακόμη διάχυτη η αμφιβολία σχετικά με το εάν και κατά πόσο οι δασκάλες πραγματικά πείστηκαν και συμφώνησαν με την επιλογή των ερευνητών να γίνει σαφής διδασκαλία στοιχείων της φύσης και του ρόλου των μοντέλων σε μαθητές δημοτικού. Επομένως, θεωρούμε ότι η εκπαίδευση των δασκάλων σχετικά με τα καινοτομικά χαρακτηριστικά του προγράμματος και της ΔΜΣ, και συγκεκριμένα σχετικά με τη φύση και τον ρόλο των μοντέλων, είναι ένα πολύ σημαντικό σημείο στο οποίο θα έπρεπε να εστιάσει ένα μελλοντικό αντίστοιχο πρόγραμμα (Duit, 2007).

7 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

7.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζουμε συνοπτικά τα συμπεράσματα της έρευνας, τόσο σχετικά με την αποτελεσματικότητα της ΔΜΣ όσο και σχετικά με τη διαδικασία βελτίωσης της ΔΜΣ. Στη συνέχεια συζητάμε τους περιορισμούς και την πρωτοτυπία της έρευνας. Τέλος, παρουσιάζουμε τις, εν δυνάμει, προεκτάσεις της έρευνας.

7.2 Συμπεράσματα της έρευνας

Η παρούσα έρευνα είχε ως στόχο από τη μία την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας μιας καινοτομικής ΔΜΣ, η οποία σχεδιάστηκε και αναπτύχθηκε στο πλαίσιο του προγράμματος Materials Science, και από την άλλη την περιγραφή και ερμηνεία της διαδικασίας βελτίωσής της.

Σχετικά με την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας της ΔΜΣ προέκυψαν τα εξής. Υπήρξε στατιστικά σημαντική βελτίωση σε όλες τις περιοχές μάθησης, αμέσως μετά την παρέμβαση. Η βελτίωση δε αυτή, διατηρήθηκε και επτά μήνες μετά την παρέμβαση (ενότητα 6.2). Ειδικότερα, οι μαθητές βελτίωσαν σημαντικά τις ερμηνείες τους στα φαινόμενα της Π/Β της καθημερινής εμπειρίας, μεταβαίνοντας κυρίως από τις ερμηνείες που χρησιμοποιούν ως κριτήριο το βάρος του αντικειμένου σε ερμηνείες που χρησιμοποιούν ως κριτήριο το υλικό του αντικειμένου. Ταυτόχρονα, παρατηρήθηκε ότι στις περιπτώσεις που τους δόθηκε η πυκνότητα των αντικειμένων, οι μαθητές χρησιμοποίησαν ως κριτήριο για την Π/Β ενός αντικειμένου τη σύγκριση πυκνοτήτων του αντικειμένου και του υγρού, καταφέροντας μάλιστα να επεκτείνουν τη μάθηση αυτή και σε φαινόμενα που δεν είχαν διδαχθεί. Δεύτερον, παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική βελτίωση στην εννοιολογική κατανόηση της πυκνότητας ως ιδιότητας των υλικών. Τρίτον, οι μαθητές κατανόησαν σε σημαντικό βαθμό τη μέθοδο ΣΕΜ για τον έλεγχο μιας μεταβλητής, αλλά φάνηκε ότι δυσκολεύτηκαν να κατανοήσουν το σκέλος της μεθόδου αυτής που σχετίζεται με τον συμπερασμό από τον έλεγχο της μεταβλητής. Τέταρτον, υπήρξε σημαντική βελτίωση στις απόψεις των μαθητών σχετικά με τη φύση και τον ρόλο των μοντέλων. Σε όλες τις περιπτώσεις επίσης φάνηκε ότι οι μαθητές οι οποίοι παρουσίασαν βελτίωση κατόρθωσαν, εν γένει, να επεκτείνουν τη μάθηση αυτή και σε φαινόμενα που δεν είχαν διδαχθεί. Το γεγονός αυτό μαζί με τη διατήρηση της μάθησης επτά μήνες μετά

την παρέμβαση αναδεικνύουν ότι η μάθηση που πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο της ΔΜΣ κατόρθωσε να προκαλέσει ριζοσπαστική αναδιοργάνωση στο εννοιολογικό πλαίσιο αρκετών από τους μαθητές που συμμετείχαν στην παρέμβαση.

Επιπλέον, το υποθετικό θεωρητικό μοντέλο, το οποίο περιγράφει τις σχέσεις μεταξύ της κατανόησης των τεσσάρων περιοχών μάθησης της ΔΜΣ, επιβεβαιώθηκε τόσο με τη στατιστική τεχνική Ανάλυσης Διαδρομών (Path Analysis) όσο και με την ποιοτική ανάλυση ανάδειξης μαθησιακών μονοπατιών (ενότητα 6.2.5). Από τον συνδυασμό των αποτελεσμάτων των παραπάνω αναλύσεων αναδείχθηκε η σημασία της διδασκαλίας και της κατανόησης της επιστημολογικής γνώσης (ΣΕΜ και Μ) στην εννοιολογική κατανόηση της πυκνότητας και του φαινομένου της Π/Β. Επιπλέον, αναδείχθηκε ο καθοριστικός ρόλος της πραγματοποίησης μιας αλλαγής οντολογικής κατηγορίας (Chi et al., 1994) της έννοιας της πυκνότητας στο εξηγητικό πλαίσιο των φαινομένων Π/Β.

Με βάση τα παραπάνω θεωρούμε ότι τρία ήταν τα είδη υποστήριξης (scaffolding) τα οποία βοήθησαν στη βελτίωση των απόψεων των μαθητών στην παραπάνω διαδικασία: α) η σταδιακή μείωση της υποστήριξης στην εφαρμογή της μεθόδου ΣΕΜ, β) η βαθμιαία εισαγωγή των μοντέλων, και γ) η σαφής διδασκαλία της παραπάνω επιστημολογικής γνώσης (ενότητα 3.1).

Σχετικά με τη διαδικασία βελτίωσης της ΔΜΣ (ενότητα 6.3) προέκυψαν τα εξής. Οι βελτιωτικές αλλαγές που πραγματοποιήθηκαν στη ΔΜΣ, από την πιλοτική στην κανονική εφαρμογή, ήταν συνολικά δεκαπέντε. Από αυτές οι δύο σχετίζονταν με την Π/Β, μία με την πυκνότητα, έξι με τη μέθοδο ΣΕΜ και έξι με τη φύση και τον ρόλο των μοντέλων. Οι ερευνητές είχαν τον κύριο ρόλο στον σχεδιασμό και την ανάπτυξη της ΔΜΣ και μάλιστα κυρίως στις καινοτομίες που εισάγονται με αυτήν όπως είναι η διερεύνηση και η μοντελοποίηση. Από την άλλη οι δάσκαλοι ενώ συμμετέχουν στις διαδικασίες, στοιχείο που από μόνο του είναι σημαντικό, η συμμετοχή τους είναι δευτερεύουσα, κυρίως λόγω έλλειψης εμπειριών σχετικά με τα καινοτομικά στοιχεία της σειράς και κατάλληλου υπόβαθρου. Ο παράγοντας που καθόρισε την πλειοψηφία των βελτιωτικών αλλαγών ήταν ο εκπαιδευτικός. Στις περιπτώσεις αυτές οι αλλαγές χαρακτηρίζονται ως *τοπικές – καθοδηγητικές*. Αντίθετα, οι λίγες αλλαγές, οι οποίες είτε εν μέρει είτε πλήρως καθοδηγήθηκαν από τον επιστημονικό παράγοντα, χαρακτηρίζονται ως *ολιστικές – ανοιχτές*.

7.3 Περιορισμοί της έρευνας

Παρακάτω, περιγράφουμε τους περιορισμούς της παρούσας έρευνας. Θεωρούμε ότι για την επιτυχή πραγματοποίηση ενός τόσο καινοτομικού προγράμματος, ιδιαίτερα σημαντικό και κομβικό στοιχείο αποτελεί η εκπαίδευση των εκπαιδευτικών σε ζητήματα που αφορούν ακριβώς στα καινοτομικά στοιχεία της ΔΜΣ, όπως για παράδειγμα στη συγκεκριμένη περίπτωση ήταν η διδασκαλία της φύσης και του ρόλου των μοντέλων. Ο σύντομος χρόνος στον οποίο έπρεπε να σχεδιαστεί, να αναπτυχθεί και να εφαρμοστεί η ΔΜΣ, δεν άφησε το περιθώριο για μια πλήρη και σε βάθος εκπαίδευση των εκπαιδευτικών που συμμετείχαν στις παραπάνω διαδικασίες. Δεύτερον, είναι πιθανόν ότι σε περίπτωση που υπήρχε μεγαλύτερο βάθος χρόνου στη συγκεκριμένη έρευνα, θα ήταν εφικτό να προχωρήσουμε, τουλάχιστον σε μία ακόμη εφαρμογή της ΔΜΣ, γεγονός που θα αναδείκνυε περισσότερες και άλλου είδους βελτιωτικές αλλαγές, με αποτέλεσμα να προκύψει μια τρίτη πιο βελτιωμένη εκδοχή της ΔΜΣ. Πιθανόν, επίσης να πραγματοποιούνταν μια εφαρμογή της ΔΜΣ σε δασκάλους ώστε να προκύψουν συμπεράσματα που θα έχουν σχέση με την εκπαίδευσή τους.

Ένας άλλος παράγοντας που περιόρισε την παρούσα έρευνα θεωρούμε ότι ήταν ο τρόπος με τον οποίο έγινε η καταγραφή ποιοτικών δεδομένων. Πράγματι, υπήρξε πληθώρα ποιοτικών δεδομένων, όπως ήταν οι βιντεοσκοπήσεις κάθε διδασκαλίας από δύο κάμερες και η επιπλέον καταγραφή των συνομιλιών των μαθητών, με ηλεκτρονικό καταγραφέα ήχου, όταν εργάζονταν σε ομάδες. Παρόλα αυτά, φάνηκε ότι υπήρξε δυσκολία στην ανίχνευση διαλόγων, κυρίως μεταξύ των μαθητών, λόγω της μεγάλης φασαρίας που υπήρχε στην τάξη, κατά τη διάρκεια του μαθήματος.

7.4 Πρωτοτυπία της έρευνας

Θεωρούμε ότι η πρωτοτυπία της συγκεκριμένης διατριβής έγκειται στα ακόλουθα στοιχεία: α) στην επιδίωξη να αναδειχθεί, να περιγραφεί και να ερμηνευτεί η διαδικασία βελτίωσης της ΔΜΣ, β) στην ανάδειξη ενός σύνθετου μοντέλου σχέσεων μεταξύ της κατανόησης της επιστημολογικής γνώσης και της εννοιολογικής κατανόησης της πυκνότητας στο πλαίσιο των φαινομένων Π/Β, και γ) στη μεθοδολογική προσέγγιση της διατριβής ως σύνθεσης ποσοτικών (Wilcoxon Analysis & Path Analysis) και ποιοτικών μεθόδων (Θεμελιωμένη Θεωρία & Ανάδειξη Μαθησιακών Μονοπατιών).

7.5 Προεκτάσεις της έρευνας

Σύμφωνα με τα ζητήματα που συζητήθηκαν στην παρούσα έρευνα, προκύπτουν οι παρακάτω προτάσεις, οι οποίες θα μπορούσαν να ληφθούν υπόψη στην περίπτωση που άλλες ερευνητικές ομάδες θα είχαν την πρόθεση να ξεκινήσουν παρόμοια ερευνητική δραστηριότητα αναπτυξιακού τύπου.

Πρώτον, στην περίπτωση που επιχειρείται η εφαρμογή μιας καινοτομικής ΔΜΣ, η οποία στοχεύει για παράδειγμα στην εισαγωγή επιστημολογικής γνώσης όπως είναι τα στοιχεία της φύσης και του ρόλου των μοντέλων ή/και της επιστημονικής μεθόδου ΣΕΜ, ειδικά για μαθητές του δημοτικού, είναι σημαντικό: α) Η εισαγωγή αυτή να γίνει βαθμιαία. Για παράδειγμα, από καθοδηγούμενες σε πιο ανοιχτές διερευνητικές μαθησιακές διαδικασίες και από συγκεκριμένα φυσικά μοντέλα στα πιο αφηρημένα μοντέλα των Φυσικών Επιστημών, με έμφαση στις διαδικασίες μεταγνώσης ώστε ο μαθητής να συνειδητοποιήσει τη γνωσιακή του πορεία και εξέλιξη. β) Η παραπάνω βαθμιαία αύξηση της ανοιχτότητας στις διερευνητικές μαθησιακές διαδικασίες να συνδυαστεί με σαφή διδασκαλία της επιστημολογικής γνώσης.

Δεύτερον, το σχήμα *τεχνολογικό πρόβλημα – επιστημονική διερεύνηση και επιστροφή στο πρόβλημα για ανεύρεση λύσης*, για παράδειγμα το σενάριο της ανέλκυσης του ναυαγίου του Sea Diamond στη συγκεκριμένη ΔΜΣ, αυξάνει το κίνητρο και το ενδιαφέρον των μαθητών να εμπλακούν στη διερεύνηση της επιστημονικής διάστασης ενός προβλήματος, στο πλαίσιο μιας αυθεντικής και πραγματικής κατάστασης επίλυσης προβλήματος, παρά να αντιμετωπίσουν τη μάθηση ως αυτοσκοπό.

Τρίτον, παρόλο που η χρήση των ΤΠΕ είναι εξαιρετικά χρήσιμο διδακτικό εργαλείο, διότι συχνά συνεισφέρει στην εξοικονόμηση πολύτιμου διδακτικού χρόνου, ειδικά όταν εφαρμόζουμε διαδικαστική γνώση σε πειράματα, είναι σημαντικό να συνδυάσουμε καθώς και να συσχετίσουμε τα πραγματικά με τα προσομοιωμένα πειράματα, ειδικά για μαθητές του δημοτικού, ώστε: α) να αποφευχθεί η σύγχυση μεταξύ του πραγματικού κόσμου, όπως τον αντιλαμβανόμαστε μέσω των αισθήσεών μας, και του κόσμου των μοντέλων, και β) να ενισχυθούν οι ερμηνείες των μαθητών στα φαινόμενα της καθημερινής εμπειρίας από τις ερμηνείες που δίνουν στα προσομοιωμένα πειράματα.

Τέταρτον, για την ασφαλέστερη καταγραφή ποιοτικών δεδομένων, η οποία θα επιτρέπει και την καλύτερη και εγκυρότερη περιγραφή και ανάλυση της μάθησης που πραγματοποιείται ως αποτέλεσμα της διδακτικής παρέμβασης, προτείνουμε: α) Να

δοθεί μεγαλύτερη προσοχή στη βιντεοσκόπηση ώστε να δίνει περισσότερα και πιο ποιοτικά δεδομένα. Για παράδειγμα, μια βιντεοκάμερα θα μπορούσε να εστιάσει σε μια συγκεκριμένη ομάδα κατά τη διάρκεια της παρέμβασης. β) Τα φύλλα εργασίας θα μπορούσαν να δοθούν ανά άτομο και όχι ανά ομάδα, για να μπορούν να αναδειχθούν οι απόψεις των μαθητών με μεγαλύτερη ασφάλεια.

Τέλος, μια μελλοντική έρευνα θα μπορούσε να εστιάσει περισσότερο στον ρόλο που παίζει ο δάσκαλος στη διαδικασία ανάπτυξης, βελτίωσης και εφαρμογής της ΔΜΣ. Στο πλαίσιο αυτό μπορεί να ενταχθεί η διερεύνηση των χαρακτηριστικών των δασκάλων που εμπλέκονται σε μια τέτοια διαδικασία, η διερεύνηση των εναλλακτικών τους ιδεών σχετικά με τα καινοτομικά στοιχεία της ΔΜΣ, και τέλος η συστηματικότερη εκπαίδευση των δασκάλων αυτών, με αποτέλεσμα να προκύπτουν εκπαιδευτικοί οι οποίοι θα είναι ικανοί να συνεισφέρουν σε όλο και μεγαλύτερο βαθμό σε επόμενα παρόμοια ερευνητικά προγράμματα.

8 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Abd-El-Khalick, F., BouJaoude, S., Duschl, R. A., Hofstein, A., Lederman, N. G., Mamlok, R., Niaz, M., Treagust, D., & Tuan, H. (2004). Inquiry in science education: international perspectives. *Science Education*, 88(3), 397–419. doi:[10.1002/sce.10118](https://doi.org/10.1002/sce.10118)
- Acher, A., Arca, M., & Sanmarti, N. (2007). Modeling as a teaching learning process for understanding materials: a case study in primary education. *Science Education*, 91, 398-418. doi:[10.1002/sce.20196](https://doi.org/10.1002/sce.20196)
- Benett, J., Lubben, F., & Hogarth, S. (2007). Bringing science to life: a synthesis of the research evidence on the effects of context-based and STS approaches to science teaching. *Science Education*, 91, 347 – 370. doi:[10.1002/sce.20186](https://doi.org/10.1002/sce.20186)
- Bentler, P.M. (1993). EQS: Structural equations program manual (2nd ed.). Los Angeles, CA: BMDP Statistical Software
- Besson, U., Borghi, L., De Ambrossis, A. & Mascheretti, P. (2010). A three-dimensional approach and open source structure for the design and experimentation of Teaching-Learning Sequences: the case of friction. *International Journal of Science Education*, 32(10), 1289-1313. doi:[10.1080/09500690903023350](https://doi.org/10.1080/09500690903023350)
- Biddulph, F., & Osborne, R. (1984). Pupil's ideas about floating and sinking. *Research in Science Education*, 14, 114-124. doi:[10.1007/BF02356797](https://doi.org/10.1007/BF02356797)
- Bliss, J. (1996). Εξωτερικεύοντας τη σκέψη μέσω της δημιουργίας μοντέλων: Το ερευνητικό πρόγραμμα «Εργαλεία για τη διερευνητική μάθηση», στο Βοσνιάδου, Σ. (2006), *Σχεδιάζοντας Περιβάλλοντα Μάθησης Υποστηριζόμενα από τις Σύγχρονες Τεχνολογίες*, Gutenberg, σσ. 269-292.
- Boudreaux, A., Shaffer, P., Heron, P., & McDermott, L. (2008). Student understanding of control of variables: Deciding whether or not a variable influences the behavior of a system, *American Journal of Physics*, vol. 76, no.2, 163-170. doi:[10.1119/1.2805235](https://doi.org/10.1119/1.2805235)
- Boulter, C. and Buckley, B. (2000). Constructing a typology of models for science education. In J.K. Gilbert and C.J. Boulter (eds), *Developing Models in Science Education* (Dordrecht: Kluwer), 41–57.

- Brown, A.L. (1992). Design Experiments: Theoretical and Methodological Challenges in Creating Complex Interventions in Classroom settings. *The Journal of the Learning Sciences*, 2(2), 141-178.
- Bybee, R. W. (2006). Scientific inquiry and science teaching. In: L. B. Flick & N. G. Lederman (Eds.), *Scientific Inquiry and Nature of Science* (pp. 1-14). The Netherlands: Springer.
- Chen, Z., & Klahr, D. (1999). All other things being equal: acquisition and transfer of the control of variables strategy. *Child Development*, 70(5), 1098-1120.
- Chi, M.T.H., Slotta, J.D. & De Leeuw, N.D. (1994). From things to processes: a theory of conceptual change for learning science concepts. *Learning and Instruction*, 4(1), 27-43.
- Chi, M.T.H. (2008). Three types of conceptual change: Belief revision, Mental model transformation and Categorical shift. In S. Vosniadou (ed.), *International Handbook of Research on Conceptual Change*, (pp. 61-82). New York: Routledge.
- Cohen, L., Manion, L. & Morrison, K. (2007). *Μεθοδολογία Εκπαιδευτικής Έρευνας (Research Methods in Education)*, Εκδόσεις Μεταίχμιο.
- Cole, H., & Raven, R. J. (1969). Principle learning as a function of instruction on excluding irrelevant variables. *Journal of Research in Science Teaching*, 6, 234-241.
- Conley, A., Pintrich, P., Vekiri, I., & Harrison, D. (2004). Changes in epistemological beliefs in elementary science students. *Contemporary Educational Psychology*, 29, 186-204.
- Constantinou, C.P. (1999). The Cocoa Microworld as an Environment for Modeling Physical Phenomena. *International Journal of Continuing Education and Life-Long Learning*, 9(2), 201-213.
- Crawford, B. A. (2007). Learning to teach science as inquiry in the rough and tumble of practice. *Journal of Research in Science Teaching*, 44(4), 613-642. doi:[10.1002/tea.20157](https://doi.org/10.1002/tea.20157)
- Crawford, B. A., & Cullin, M. J. (2004). Supporting prospective teachers' conceptions of modeling in science. *International Journal of Science Education*, 26 (11), 1379 – 1401. doi:[10.1080/09500690410001673775](https://doi.org/10.1080/09500690410001673775)

- Danusso, L., Testa, I., & Vicentini, M. (2010). Improving prospective teachers' knowledge about scientific models and modelling: design and evaluation of a teacher education intervention. *International Journal of Science Education*, 32(7), 871-905. doi:[10.1080/09500690902833221](https://doi.org/10.1080/09500690902833221)
- De Jong, O., & van Driel, J.H. (2001). Developing pre-service teachers' content knowledge and PCK of models and modelling. Paper presented at the National Association for Research in Science Teaching Annual Meeting, St. Louis, MO.
- Dean, Jr., D., & Kuhn, D. (2007). Direct instruction vs. discovery: The long view. *Science Education*, 91(3), 384-397. doi:[10.1002/sce.20194](https://doi.org/10.1002/sce.20194)
- Design-Based Research Collective (2003). Design-based research: An emerging paradigm for educational inquiry. *Educational Researcher*, 32(1), 5-8.
- Develaki, M. (2007). The model-based view of scientific theories and the structuring of school science programmes. *Science & Education*, 16, 725-749. doi:[10.1007/s11191-006-9058-2](https://doi.org/10.1007/s11191-006-9058-2)
- Drake, S. (1981). *Cause, experiment and science*. Chicago: University of Chicago Press.
- Driver, R., Squires, A., Rushworth, P., & Wood-Robinson, V. (1998). *Οικο-δομώντας τις Έννοιες των Φυσικών Επιστημών - Μια παγκόσμια σύνοψη των ιδεών των μαθητών*. Αθήνα: Τυπωθήτω - Δαρδάνος.
- Duckworth, E. (1986, November). *Inventing Density*. Grand Forks: University of North Dakota, Center for Teaching and Learning, North Dakota Study Group on Evaluation.
- Duit, R. (1999). A model of educational Reconstruction – A framework for research and development in Science Education. In: P. Koumaras, P. Kariotoglou, V. Tselfes, & D. Psillos (Eds.), *Proceedings of the 1st Panhellenic conference on Science Education and New Technologies* (pp. 30-34). Thessaloniki, Greece: Christodoulides.
- Duit, R. (2007). Science education research internationally: conceptions, research methods, domains of research. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 3(1), 3-15. Retrieved from http://www.ejmste.com/v3n1/abstv3n1artc1_duit.html

- Duschl, R. A., & Gitomer, D. W. (1997). Strategies and challenges to changing the focus of assessment and instruction in science classrooms. *Educational Assessment*, 4(1), 37-73.
- Duschl, R., & Grandy, R. (2008). Reconsidering the character and role of inquiry in school science: framing the debates. In R. Duschl & R. Grandy (Eds.), *Teaching Scientific Inquiry: Recommendations for Research and Implementation* (pp. 1-37). Rotterdam, The Netherlands: Sense Publishers.
- Epsimos, G., Fassouloupoulos, G., & Kariotoglou, P. (2001). Pupils' conceptions about intensive variables across the states of matter, paper presented in *ESERA 2001 Conference*.
- EU (2007). Science Education NOW: A Renewed Pedagogy for the Future of Europe. Retrieved 2011-03-30 from http://ec.europa.eu/research/science-society/document_library/pdf_06/report-rocard-on-science-education_en.pdf
- Fassouloupoulos, G., Kariotoglou, P., & Koumaras, P. (2003). Consistent and Inconsistent Pupil's Reasoning about Intensive Quantities, The Case of Density and Pressure, *Research in Science Education*, 33: 71-87. Retrieved from <http://www.ingentaconnect.com/content/klu/rise/>
- Fazio, C., Guastella, I., Sperandeo-Mineo, R. M., & Tarantino, G. (2008). Modelling mechanical wave propagation: guidelines and experimentation of a teaching-learning sequence. *International Journal of Science Education*, 30(11), 1491-1530. doi:[10.1080/09500690802234017](https://doi.org/10.1080/09500690802234017)
- Gennaro, E. (1981). Assessing Junior high students, understanding of density and solubility, *School Science and Mathematics*, 81, 399-404.
- Gentner, D. (1983). Structure-mapping: A theoretical framework for analogy. *Cognitive Science*, 7, 155-170.
- Gibson, J. (1997). Floating and Sinking again. *Primary Science Review*, 46, 10-11.
- Giere, R.N. (1999). Using models to represent reality. In L. Magnani, N. J. Nersessian, και P. Thagard (Eds.), *Model-based reasoning in scientific discovery* (pp. 41-57). New York: Kluwer/Plenum.
- Giere, R.N. (2004). How models are used to represent reality. *Philosophy of science*, 71, 742-752.
- Gilbert, S. W. (1991). Model building and a definition of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 28(1), 73-79. doi:[10.1002/tea.3660280107](https://doi.org/10.1002/tea.3660280107)

- Gilbert, J.K., Boulter, C., & Rutherford, M. (1998). Models in explanations, Part1: horses for courses? *International Journal of Science Education*, 20(1), 83-97.
- Gilbert, J.K., Boulter, C.J., & Elmer, R. (2000). Positioning models in science education and in design and technology education. In J.K. Gilbert και C.J. Boulter (Eds.), *Developing models in science education* (pp. 3–18). Dordrecht, The Netherlands: Kluwer.
- Gobert, J.D., O'Dwyer, L., Horwitz, P., Buckley, B.C., Levy, S.T., Wilensky, U. (2011). Examining the relationship between students' understanding of the nature of models and conceptual learning in Biology, Physics, and Chemistry. *International Journal of Science Education*, 33(5), 653-684. doi:[10.1080/09500691003720671](https://doi.org/10.1080/09500691003720671)
- Grandy, R.E. (2003). What are models and why do we need them? *Science & Education*, 12, 773-777.
- Grosslight, L., Unger, C., Jay, E., & Smith, C.L. (1991). Understanding models and their use in science: Conceptions of middle and high school students and experts. *Journal of Research in Science Teaching*, 28, 799–822.
- Halloun, I.A. (2004). *Modelling theory in science education*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Hanauer, D., Hatfull, G., & Jacobs-Sera, D. (2009). Active Assessment. Assessing Scientific Inquiry. Springer, USA, 14-15.
- Hardy, I., Jonen, A., Moeller, K., & Stern, E. (2006). Effects of Instructional Support Within Constructivist Learning Environments for Elementary School Students' Understanding of "Floating and Sinking". *Journal of Educational Psychology*, 98(2), 307-326. doi:[10.1037/0022-0663.98.2.307](https://doi.org/10.1037/0022-0663.98.2.307)
- Harrison, A. G., & Treagust, D. F. (2000). A typology of school science models. *International Journal of Science Education*, 22 (9), 1011 – 1026.
- Hatano, G., & Inagaki, K. (1986). Two courses of expertise. In H. Stevenson, H. Azuma, και K. Hakuta (Eds.), *Child development and education in Japan* (pp. 262–272). New York: W.H. Freeman.
- Havu-Nuutinen, S. (2005). Examining young children's conceptual change process in floating and sinking from a social constructivist prospective. *International Journal of Science Education*, 27(3), 259-279. doi:[10.1080/0950069042000243736](https://doi.org/10.1080/0950069042000243736)

- Herr, N. (2008). The Sourcebook for teaching science. Strategies, activities, and instructional resources. Published by Jossey-Bass, San Francisco, United States of America, 458-472.
- Hestenes, D. (1987). Toward a modeling theory of physics instruction. *American Journal of Physics*, 55(5), 440-454.
- Hestenes, D. (1992). Modeling games in the Newtonian world. *American Journal of Physics*, 60, 732-748.
- Hewson, M. (1986). The Acquisition of Scientific Knowledge: Analysis and Representation of Student Conceptions Concerning Density, *Science Education*, 70(2), 159-170.
- Hewson, M. G., & Hewson, P. W. (1983). Effect of instruction using students' prior knowledge and conceptual change strategies in science learning. *Journal of Research in Science Teaching*, 20(8), 731-743.
- Hofer, B. K. (2001). Personal epistemology research: Implications for learning and teaching. *Educational Psychology Review*, 13, 353-383.
- Hofer, B. K., & Pintrich, P.K. (1997). The development of epistemological theories: Beliefs about knowledge and knowing and their relation to learning. *Review of Educational Research*, 67, 88-140.
- Inhelder, B., & Piaget, J. (1958). *The growth of logical thinking from childhood to adolescent*. New York: Basic Books.
- Jaakkola, T., Nurmi, S., & Lehtinen, E. (2010). Conceptual change in learning electricity. In Verschaffel et al. (eds), *Use of representations in reasoning and problem solving*, (pp. 36-54). New York: Routledge.
- Joung, Y.J. (2009). Children's typically-perceived-situations of floating and sinking. *International Journal of Science Education*, 31(1), 101-127. doi:[10.1080/09500690701744603](https://doi.org/10.1080/09500690701744603)
- Justi, S. R., & Gilbert, K. J. (2002). Science teachers' knowledge about and attitudes towards the use of models and modelling in learning science. *International Journal of Science Education*, 24, 1273 - 1292. doi:[10.1080/09500690210163198](https://doi.org/10.1080/09500690210163198)
- Kariotoglou, P. (2002). A Laboratory – based teaching learning sequence on fluids: developing primary student teachers' conceptual and procedural knowledge. In D. Psillos & H. Niedderer (Eds.), *Teaching and Learning in the Science Laboratory* (pp. 79 – 90). The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.

- Kariotoglou, P., Psillos, D., & Vallasiades, O. (1990). Understanding pressure: didactical transposition and pupils' conceptions. *Physics Education*, 25, 92-96.
- Kariotoglou, P., Psillos, D., & Tselfes, V. (2003). Modelling the evolution of Teaching – Learning Sequences: from discovery to constructivism. In D. Psillos, P. Kariotoglou, V. Tselfes, E. Hatzikraniotis, G. Fassoulopoulos, & M. Kallery (Eds.), *Science Education Research in the Knowledge-based Society* (p.p. 259-268). The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- Kattmann, U., & Duit, R. (1996). Educational reconstruction: bringing together issues of scientific clarification and students' conceptions. Paper presented at the *First European Conference on Didactic of Biology (ERIDOB)*, November, Kiel, Germany.
- Kawasaki, K., Herrenkohl, L., & Yeary, S. (2004). Theory Building and modeling in a sinking and floating unit: a case study of third and fourth grade students' developing epistemologies of science. *International Journal of Science Education*, 26(11), 1299-1324. doi:[10.1080/0950069042000177226](https://doi.org/10.1080/0950069042000177226)
- Klahr, D., & Nigam, M. (2004). The equivalence of learning paths in early science instruction. *Psychological Science*, 15(10), 661-667.
- Klopfer, L., Champagne A., & Chaiklin, S. (1992). The Ubiquitous Quantities: Explorations that inform the design of instruction on the physical properties of matter, *Science Education*, 76, 597-614.
- Koponen, I.T. (2007). Models and modelling in physics education: a critical re-analysis of philosophical underpinnings and suggestions for revisions. *Science & Education*, 16, 751-773. doi:[10.1007/s11191-006-9000-7](https://doi.org/10.1007/s11191-006-9000-7)
- Krajcik, J. (2001). Supporting Science Learning in Context: Project-Based Learning. In: Tinker, R. και Krajck, J. (eds), *Portable Technologies: Science Learning in Context*. Kluwer Academic/Plenum Publishers, ISBN 0-306-46643-0, New York, 92.
- Kuhn, D. (2001). How do people know? *Psychological Science*, 12, 1–8.
- Kuhn, D., Schauble, L., & Garcia-Mila, M. (1992). Cross-domain development of scientific reasoning. *Cognition and Instruction*, 9, 285–332.
- Lijnse, P. L. (1995). 'Developmental research' as a way to an empirically-based 'didactical structure' of science. *Science Education*, 79(2), 189-199. doi:[10.1002/sce.3730790205](https://doi.org/10.1002/sce.3730790205)

- Lijnse, P., & Klaassen, K. (2004). Didactical structures as an outcome of research on teaching-learning sequences? *International Journal of Science Education*, 26(5), 537-554. doi:[10.1080/09500690310001614753](https://doi.org/10.1080/09500690310001614753)
- Lin, X. & Lehman, J.D. (1999). Supporting learning of variable control in computer-based Biology environment: effects of prompting college students to reflect on their own thinking. *Journal of Research in Science Teaching*, 36(7), 837-858.
- Lorch, R.F., Lorch, E.P., Calderhead, W.J., Dunlap, E.E., Hodell, E.C., & Freer, B.D. (2010). Learning the Control of Variables Strategy in Higher and Lower Achieving Classrooms: Contributions of Explicit Instruction and Experimentation. *Journal of Educational Psychology*, 102(1), 90-101. doi:[10.1037/a0017972](https://doi.org/10.1037/a0017972)
- Malandrakis, G.N. (2006). Learning pathways in environmental science education: the case of hazardous household items. *International Journal of Science Education*, 28(14), 1627-1645. doi:[10.1080/09500690600560738](https://doi.org/10.1080/09500690600560738)
- Mandl, F. (1981). *Στατιστική Φυσική*, (Ελληνική μετάφραση), Έκδοση: Γ.Α. Πνευματικού, Αθήνα.
- Méheut, M., & Psillos, D. (2004). Teaching-Learning Sequences: aims and tools for science education research. *International Journal of Science Education*, 26(5), 515-535. doi:[10.1080/09500690310001614762](https://doi.org/10.1080/09500690310001614762)
- National Research Council. (1996). *National Science Education Standards: Observe, interact, change, learn*. Washington, DC: National Academy Press.
- National Research Council. (2000). *Inquiry and the National Science Education Standards: A guide for teaching and learning*. Washington, DC: National Academy Press.
- Nersessian, N. (2008). Model-based reasoning in scientific practice. In Richard A. Duschl and Richard E. Grandy (Eds.), *Teaching Scientific Inquiry: Recommendations for Research and Implementation*, (pp. 57-79). Rotterdam, The Netherlands: Sense Publishers.
- Papaevripidou, M., Constantinou, C.P. & Zacharia, Z.C. (2007). Modelling complex marine ecosystems: an investigation of two teaching approaches with fifth graders. *Journal of Computer Assisted Learning*, 1-13. doi:[10.1111/j.1365-2729.2006.00217.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2729.2006.00217.x)
- Patsadakis, M. (2003). 'Educational practices of teachers and students in the teaching / learning of sciences'. In: D. Krnel (Ed.), *Proceedings, ESERA*

- (*European Science Education Research Association*), *Summer School 2002* (p.p. 163-174). Ljubljana: University of Ljubljana, Faculty of Education. (In digital format – CD).
- Perkins, D.N., & Grotzer, T.A. (2005). Dimensions of causal understanding: the role of complex causal models in students' understanding of science. *Studies in Science Education*, 41, 117-166. doi:[10.1080/03057260508560216](https://doi.org/10.1080/03057260508560216)
- Petri, J., & Niedderer, H. (1998). A learning pathway in high-school level quantum atomic physics. *International Journal of Science Education*, 20(9), 1075–1088.
- Petrosino, A. (2003). Commentary: A framework for supporting learning and teaching about mathematical and scientific models. *Contemporary Issues in Technology and Teacher Education*, 3(3), 288-299. Retrieved from <http://www.citejournal.org/vol3/iss3/mathematics/article1.cfm>
- Pickering, A. (1995). *The Mangle of Practice*. Chicago: The University Chicago Press.
- Pnevmatikos, D., Kariotoglou, P., & Nikolopoulou E. (2006). Children's conceptions about floating and sinking: A microgenetic approach, presented in 5th European symposium *Conceptual change: bridging the gap between mental models and situated cognition?*, Stockholm, Sweden.
- Posner, G.J, Strike, K.A. Hewson, P.W., & Gertzog, W.A. (1982). Accommodation of scientific conceptions: Towards a theory of conceptual change, *Science Education*, 66, 211-217.
- Psillos, D., & Kariotoglou, P. (1999). Teaching Fluids: intended knowledge and students' actual conceptual evolution, *International Journal of Science Education*, 21(1), 17-38.
- Psillos, D., Tselfes, V., & Kariotoglou, P. (2004). An epistemological analysis of the evolution of didactical activities in teaching-learning sequences: the case of fluids. *International Journal of Science Education*, 26(5), 555-578. doi:[10.1080/09500690310001614744](https://doi.org/10.1080/09500690310001614744)
- Psillos, D., Spyrtou, A., & Kariotoglou, P. (2005). Science teachers education: issues and proposals. In: K. Boersma, M. Goedhart, O. De Jong & H. Eijkelhof (Eds.), *Research and the Quality of Science Education* (p.p. 119-128). The Netherlands: Springer.

- Raghavan, K., Santoris, M., Glaser, R. (1998). Why does it go up? The Impact of the MARS Curriculum as revealed through changes in student explanations of a Helium balloon, *Journal of Research in Science Teaching*, 35(5). 547-567.
- Reid, C. (1990). *Chemical Thermodynamics*, Mc Graw Hill. New York.
- Reif, F. (1973). *Berkeley Physics Course*, Volume 5, Statistical Physics, Mc Graw Hill. New York.
- Resnick, R., Halliday, D., & Krane, K.S. (1992). *Φυσική, τόμος πρώτος*, μετ. Ακύλας Α., Διαμαντόπουλος, Γ., Εκδόσεις Πνευματικός.
- Rowell, J., & Dawson, C. (1977). Teaching about Floating and Sinking: An Attempt to Link Cognitive Psychology with Classroom Practice, *Science Education*, 61(2), 245-253.
- Saari, H., & Viiri, J. (2003). A research-based teaching sequence for teaching the concept of modelling to seventh-grade students. *International Journal of Science Education*, 25, 1333 - 1352. doi:[10.1080/0950069032000052081](https://doi.org/10.1080/0950069032000052081)
- Schauble, L. (1996). The development of scientific reasoning in knowledge-rich contexts. *Developmental Psychology*, 32(1), 102-119.
- Schwartz, R.S. & Lederman, N.G. (2008). What scientists say: Scientists' views of nature of science and relation to science context. *International Journal of Science Education*, 30(6), 727–771. doi:[10.1080/09500690701225801](https://doi.org/10.1080/09500690701225801)
- Schwarz, C., & White, B. (2005). Metamodeling Knowledge: Developing Students' Understanding of Scientific Modeling. *Cognition and Instruction*, 23(2), 165-205.
- Serway, R. A. (1990). *Physics for scientists & Engineers*, (μετάφραση: Ρεσβάνης Λ. Κ.), Εκδ.: Saunders College Publishing, Chicago.
- Sins, H. M. P., Savelsbergh, R. E., & van Joolingen, R. W. (2005). The difficult Process of Scientific Modelling: An analysis of novices' reasoning during computer-based modelling. *International Journal of Science Education*, 27(14), 1695–1721. doi:[10.1080/09500690500206408](https://doi.org/10.1080/09500690500206408)
- Smith, C. L., Carey, S., & Wiser, M. (1985). On differentiation: A case study of the development of the concepts of size, weight, and density. *Cognition*, 21, 177–237.
- Smith, C., Snir, J., & Grosslight, L. (1992). Using Conceptual Models to Facilitate Conceptual Change: The Case of Weight-Density Differentiation, *Cognition and Instruction*, 9(3), 221-283. doi:[10.1207/s1532690xci0903_3](https://doi.org/10.1207/s1532690xci0903_3)

- Smith, C., Maclin, D., Grosslight, L., & Davis, H. (1997). Teaching for understanding: A study of students' preinstruction theories of matter and a comparison of the effectiveness of two approaches to teaching students about matter and density. *Cognition and Instruction, 15*, 317–393.
- Snir, J. (1991). Sink or Float – What do the Experts think? The Historical Development of Explanations for Floatation, *Science Education 75*(5), 595-609.
- Spyrtou, A., Zoupidis, A., & Kariotoglou, P. (2008). The design and development of an ICT Enhanced Module concerning density as a property of materials applied in floating-sinking phenomena. In: C. P. Constantinou και N. Papadouris (Eds.), GIREP INTERNATIONAL CONFERENCE, *Physics Curriculum Design, Development and Validation*, Selected Papers, 391-407. ISBN 978-9963-689-20-0.
<http://lsg.ucy.ac.cy/girep2008/papers/THE%20DESIGN%20AND%20DEVELOPMENT%20OF%20AN%20ICT-ENHANCED.pdf>
- Stathopoulou, C., & Vosniadou, S. (2007). Conceptual Change in Physics and Physics Related Epistemological Beliefs: A Relationship Under Scrutiny. In S., Vosniadou, A., Baltas & X., Vamvakoussi, (Eds.), *Re-Framing the Conceptual Change Approach in Learning and Instruction*. Advances in Learning and Instruction Series, Elsevier Press. pp.145-165.
- Stavy, R., & Berkovitz, B. (1980). Cognitive conflict as a basis for teaching quantitative aspects of the concept of temperature, *Science Education, 64*(5), 679-692.
- Strand-Cary, M., & Klahr, D. (2008). Developing elementary science skills: Instructional effectiveness and path independence. *Cognitive Development, 23*, 488-511. doi: [10.1016/j.cogdev.2008.09.005](https://doi.org/10.1016/j.cogdev.2008.09.005)
- Strauss, A., & Corbin, J. (1994). Grounded theory methodology: An overview. In N. Denzin & Y. Lincoln (Eds.), *Handbook of qualitative research* (pp. 273-285). Thousand Oaks, CA: Sage.
- Strauss, S., Globerson, T., & Mintz, R. (1983). The influence of training for the atomistic of the development of the density concept among gifted and non gifted children. *Journal of Applied Developmental Psychology, 4*, 125-147.

- Sutman, F., Schmuckler, J. & Woodfield, J. (2008). *The Science Quest. Using Inquiry/Discovery to Enhance Student Learning*, Grades 7-12. Published by Jossey-Bass, USA, 89, 125.
- Taber, K. (2009). *Progressing Science Education. Constructing the Scientific Research Programme into the Contingent Nature of Learning*. Springer, USA, 45, 310.
- Tao, P., & Gunstone, R. (1999). The process of conceptual change in force and motion during computer-supported physics instruction. *Journal of Research in Science Teaching*, 36(17), 859–882.
- Tiberghien, A. (1994). Modeling as a basis for analyzing teaching-learning situations. *Learning and Instruction*, 4, 71-87.
- Tiberghien, A., Vince, J., & Gaidoz, P. (2009). Design-based research: case of a teaching sequence on mechanics. *International Journal of Science Education*, 31(17), 2275-2314. doi:[10.1080/09500690902874894](https://doi.org/10.1080/09500690902874894)
- Toth, E. E., Klahr, D., & Chen, Z. (2000). Bridging research and practice: a research-based classroom intervention for teaching experimentation skills to elementary school children. *Cognition and Instruction*, 18(4), 423–459. Retrieved from <http://www.tandf.co.uk/journals/HCGI>
- Treagust, D. F., Chittleborough, G., & Mamiala, L. T. (2002). Students' understanding of the role of scientific models in learning science. *International Journal of Science Education*, 24, 357 – 368. doi:[10.1080/09500690110066485](https://doi.org/10.1080/09500690110066485)
- Van der Valk, T., van Driel, J. H., & de Vos, W. (2007). Common characteristics of models in present-day scientific practice. *Research in Science Education*, 37(4), 469-488. doi:[10.1007/s11165-006-9036-3](https://doi.org/10.1007/s11165-006-9036-3)
- Van Driel, J.H., & Van der Valk, A.E. (2007). Towards a validated conception of scientific models. In R. Pinto & D. Couso (eds.), *Contributions from Science Education Research*, Springer. 321-332.
- Van Driel, J.H., & Verloop, N. (1999). Teachers' knowledge of models and modelling in science. *International Journal of Science Education*, 21(11), 1141-1153.
- Van Zee, E. H., (2006). Teaching “Science Teaching“ Through Inquiry, in Appleton, K. (eds.), *Elementary Science Teacher Education*, London: Lawrence Erlbaum Associates.

- Vosniadou, S. (2007). The cognitive-situative divide and the problem of conceptual change. *Educational Psychologist*, 42(1), 55-66.
- Vosniadou, S. (2010). Instructional considerations in the use of external representations. In Verschaffel et al. (eds), *Use of representations in reasoning and problem solving*, (pp. 36-54). New York: Routledge.
- Vosniadou, S. & Kollias, V. (2003). Using Collaborative, Computer-Supported, Model Building to Promote Conceptual Change in Science. In E. De Corte, L. Verschaffel, N. Entwistel and J. Van Merriënboer (Eds) *Powerful learning environments: Unravelling basic components and dimensions. Advances in Learning and Instruction*, Elsevier Press. 181-196.
- Waight, N., & Abd-El-Khalick, F. (2007). The impact of technology on the enactment of “inquiry” in a technology enthusiast’s sixth grade science classroom. *Journal of Research in Science Teaching*, 44(1), 154–182. doi:[10.1002/tea.20158](https://doi.org/10.1002/tea.20158)
- Wenning, C.J. (2005). Levels of inquiry: Hierarchies of pedagogical practices and inquiry processes. *Journal of Physics Teacher Education Online*, 2(3), 3-11.
- Wenning, C.J. (2007). Assessing inquiry skills as a component of scientific literacy. *Journal of Physics Teacher Education Online*, 4(2), 21-24.
- White, B., Frederiksen, J. (1998). Inquiry, modeling, and metacognition: Making science accessible to all students. *Cognition and Instruction*, 16(1), 3-118.
- White, R., & Gunstone, R. (1992). Probing Understanding. Chapter 3. London: Falmer Press.
- Windschitl, M., & Thompson, J. (2006). Transcending Simple Forms of School Science Investigation: The Impact of Preservice Instruction on Teachers’ Understandings of Model – Based Inquiry. *American Educational Research Journal*, 43(4), 783-835.
- Wiser, M., & Smith, C. (2008). Learning and teaching about matter in grades K-8: When should the atomic-molecular theory be introduced? In S. Vosniadou (ed.), *International Handbook of Research on Conceptual Change*, (pp. 205-239). New York: Routledge.
- Xu, L., & Clarke, D. (2011). Student difficulties in learning density: A Distributed Cognition Perspective, *Research in Science Education*. doi:[10.1007/s11165-011-9232-7](https://doi.org/10.1007/s11165-011-9232-7)

- Yeo, S., Loss, R., Zadnik, M., & Treagust, D. (1999). Changing conceptions with an "intelligent tutor". In K. Martin, N. Stanley, & N. Davison (Eds.), *Proceedings of the 8th Annual Teaching Learning Forum, Teaching in the Disciplines/ Learning in Context* (pp. 474–483). The University of Western Australia. February. <http://lsn.curtin.edu.au/tlf/tlf1999/yeo.html>.
- Zohar, A., & David, A.B. (2008). Explicit teaching of meta-strategic knowledge in authentic classroom situations. *Metacognition Learning*, 3, 59-82. doi:[10.1007/s11409-007-9019-4](https://doi.org/10.1007/s11409-007-9019-4)
- Zoupidis, A., Pnevmatikos, D., Spyrtou, A., & Kariotoglou, P. (2010). The gradual approach of the nature and role of models as means to enhance 5th grade students' epistemological awareness. In G. Cakmakci & M.F. Tasar (Eds.), *Contemporary science education research: learning and assessment* (pp. 415 – 423). Ankara, Turkey: Pegem Akademi.
- Zoupidis, A., Pnevmatikos, D., Spyrtou A. and Kariotoglou, P. (2011). Causal relational reasoning of 5th graders using density in explaining floating-sinking phenomena, In C. Bruguière, A. Tiberghien & P. Clément (Eds.), *E-book Proceedings of the ESERA 2011 Conference, Science learning and citizenship* (pp. 104-109). Lyon, France: Université de Lyon. http://lsg.ucy.ac.cy/esera/e_book/base/index.html
- Zoupidis, A., Spyrtou, A., Malandrakis, G., Kariotoglou, P. The evolutionary refinement process of a Teaching Learning Sequence for introducing inquiry aspects and density as materials' property in floating / sinking phenomena, υποβλήθηκε σε συλλογικό τόμο ο οποίος είναι υπό έκδοση.
- Αρβανιτάκης, Ι., Κασκάλης, Θ. (2009). Ανάπτυξη λογισμικού προσομοίωσης για την διδασκαλία της πλεύσης-βύθισης στην Ε΄ τάξη του δημοτικού, στο Καριώτογλου, Π., Σπύρτου, Α. και Ζουπίδης, Α. (επιμ.), *Πρακτικά του 6ου Πανελληνίου Συνεδρίου Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών και νέων Τεχνολογιών στην εκπαίδευση – Οι πολλαπλές προσεγγίσεις της διδασκαλίας και της μάθησης των Φυσικών Επιστημών*, σσ. 198 – 206. <http://www.uowm.gr/kodifeet>, ημερομηνία πρόσβασης 08/08/2011.
- Βοσνιάδου, Σ. (1999). Η εννοιολογική αλλαγή στην παιδική ηλικία, στο Βοσνιάδου (επ.), *Σκέψη*, Gutenberg, Αθήνα.

- Βοσνιάδου, Σ., Βαμβακούση, Ξ., & Σκοπελίτη, Ε. (2008). Το πρόβλημα της εννοιολογικής αλλαγής στην ψυχολογία, στο Σ. Βοσνιάδου & Σ. Ψύλλος (επ.), *Νόησις, τεύχος 3*, τυπωθήτω.
- Γραμμένος, Σ., & Σταυρίδου, Ε. (2006). «Το Τετράδιο της Πυκνότητας»: σχεδιάζοντας ένα εκπαιδευτικό λογισμικό για μια καινοτόμο διδακτική προσέγγιση της έννοιας της πυκνότητας, *Έρευνα & Πράξη*, τεύχος 19, σσ. 6-15.
- Ζαχαρίας, Ζ., Καλυφομμάτου, Ν., Κωνσταντίνου, Κ.Π., Νικολάου, ΧΡ.Θ., Παπαευριπίδου, Μ., & Χατζηγαππίου, Μ. (2004). Σχεδιασμός ανάπτυξη και υλοποίηση διδακτικού υλικού για την καλλιέργεια της δεξιότητας της μοντελοποίησης σε ποικίλα συγκείμενα, στο: *Φυσικές Επιστήμες, Διδασκαλία, Μάθηση & Εκπαίδευση, Τόμος Β'*, (Επιμέλεια: Τσελφές, Β., Καριώτογλου, Π., Πατσαδάκης, Μ.), *Πρακτικά 4ου Πανελληνίου Συνεδρίου για τη Διδακτική των Φυσικών Επιστημών και τις Νέες Τεχνολογίες στην Εκπαίδευση*, σσ. 45-48.
- Ζουπίδης, Α., Σπύρτου, Α., Μαλανδράκης, Γ. και Καριώτογλου, Π. (2011). Μια Διδακτική Μαθησιακή Σειρά για την εισαγωγή στοιχείων της διερευνητικής μεθόδου καθώς και της πυκνότητας ως ιδιότητας των υλικών, στα φαινόμενα πλεύσης και βύθισης: η διαδικασία βελτίωσης της σειράς, στο Παπαγεωργίου, Γ. & Κουντουριώτης, Γ. (επιμ.), *Πρακτικά 7ου Πανελληνίου Συνεδρίου Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών και Νέων Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση – Αλληλεπιδράσεις Εκπαιδευτικής Έρευνας και Πράξης στις Φυσικές Επιστήμες*, σσ. 151 – 158. <http://www.7sefepet.gr>, ημερομηνία πρόσβασης 08/08/2011.
- Θασίτης, Μ., Φασουλόπουλος, Γ., & Καριώτογλου, Π. (2004). Μελέτη της (α)συνέπειας των συλλογισμών των μαθητών: εφαρμογή στην πλεύση βύθιση των σωμάτων, στο: *Φυσικές Επιστήμες, Διδασκαλία, Μάθηση & Εκπαίδευση, Τόμος Α'*, (Επιμέλεια: Τσελφές, Β., Καριώτογλου, Π., Πατσαδάκης, Μ.), *Πρακτικά 4ου Πανελληνίου Συνεδρίου για τη Διδακτική των Φυσικών Επιστημών και τις Νέες Τεχνολογίες στην Εκπαίδευση*, σσ. 399-455.
- Καριώτογλου, Π. (1991). *Προβλήματα διδασκαλίας και μάθησης της Μηχανικής των Ρευστών στο Γυμνάσιο*, Αδημοσίευτη Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Φυσικής, Α.Π.Θ.
- Καριώτογλου, Π. (2006). *Παιδαγωγική γνώση περιεχομένου Φυσικών Επιστημών*. Θεσσαλονίκη: Γράφημα.

- Καριώτογλου, Π., Σπύρτου, Α., Πνευματικός, Δ., Κασκάλης, Θ., Μαλανδράκης, Γ., Ζουπίδης, Α., Κολλίνη, Κ., Μπλούχου, Σ., Πολατίδου, Θ., Σουλτάνης, Κ., Τριανταφυλλίδου, Ρ., & Αρβανιτάκης, Ι., (2010α). *Η πυκνότητα των υλικών σε φαινόμενα πλεύσης / βύθισης: πειραματικές διαδικασίες και μοντελοποίηση*, Βιβλίο εκπαιδευτικού. Λευκωσία: Ερευνητική Ομάδα Μάθησης στις Φυσικές και Περιβαλλοντικές Επιστήμες, Πανεπιστήμιο Κύπρου, ISBN 978-9963-689-69-9 (επίσης στα αγγλικά με ISBN 978-9963-689-71-2).
- Καριώτογλου, Π., Σπύρτου, Α., Πνευματικός, Δ., Κασκάλης, Θ., Μαλανδράκης, Γ., Ζουπίδης, Α., Κολλίνη, Κ., Μπλούχου, Σ., Πολατίδου, Θ., Σουλτάνης, Κ., Τριανταφυλλίδου, Ρ., & Αρβανιτάκης, Ι., (2010β). *Η πυκνότητα των υλικών σε φαινόμενα πλεύσης / βύθισης: πειραματικές διαδικασίες και μοντελοποίηση*, Διδακτικό υλικό. Λευκωσία: Ερευνητική Ομάδα Μάθησης στις Φυσικές και Περιβαλλοντικές Επιστήμες, Πανεπιστήμιο Κύπρου, ISBN 978-9963-689-68-2 (επίσης στα αγγλικά με ISBN 978-9963-689-70-5).
- Κολιόπουλος, Δ. (2004). *Θέματα διδακτικής φυσικών επιστημών*, Εκδόσεις Μεταίχμιο.
- Κουμαράς, Π., Καριώτογλου, Π., & Ψύλλος, Δ. (1994). Αιτιακοί συλλογισμοί των μαθητών: Η περίπτωση της μηχανικής, *Σύγχρονη Εκπαίδευση*, τεύχος 79, σσ. 71-79.
- Κυριάκος, Δ., & Καρακώστας, Θ. (2001). *Φυσική, Εισαγωγή στη μηχανική*, Εκδόσεις Ζήτη.
- Μεταλλίδου, Π., & Ευκλείδη, Α. (1998). Θυμικές, γνωστικές, και μεταμνημονικές επιδράσεις στην εκτίμηση της ορθότητας της λύσης προβλημάτων και της ικανοποίησης από αυτή τη λύση. *Ψυχολογία*, 5(1), 53-70.
- Πετρίδου, Ε. (2008). *Ανάπτυξη, εφαρμογή και διερεύνηση προσομοιωμένων μοντέλων στη διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών*, Δημοσίευτη Διδακτορική Διατριβή, ΠΤΔΕ, ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη.
- Πνευματικός, Δ., Παπακανάκης, Π. (2009). Ανάπτυξη της προσωπικής επιστημολογίας για την επιστήμη της Φυσικής & εφαρμογές στην εκπαίδευση, στο Καριώτογλου, Π., Σπύρτου, Α. και Ζουπίδης, Α. (επιμ.), *Πρακτικά του 6ου Πανελληνίου Συνέδριου Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών και νέων Τεχνολογιών στην εκπαίδευση – Οι πολλαπλές προσεγγίσεις της διδασκαλίας και*

της μάθησης των Φυσικών Επιστημών, σσ. 729 – 737.
<http://www.uowm.gr/kodifeet>, ημερομηνία πρόσβασης 01/03/2012.

- Ραβάνης, Κ. (1999). *Οι Φυσικές Επιστήμες στην Προσχολική Εκπαίδευση. Διδακτική και γνωστική προσέγγιση*. Αθήνα: Τυπωθήτω-Γιώργος Δαρδανός.
- Σμυρναίου, Ζ., & Βαβουράκη, Α. (2004). Η χρήση της μοντελοποίησης στη Διδασκαλία της χημείας: οξέα και βάσεις, στο Τσελφές κ.ά. (2004) *Πρακτικά του 4^{ου} Πανελληνίου Συνεδρίου για τη Διδακτική των Φυσικών Επιστημών και τις Νέες Τεχνολογίες στην Εκπαίδευση*, Τόμος Α', σσ. 335-342.
- Σπύρτου, Α. (2002). *Μελέτη εποικοδομητικής στρατηγικής για την εκπαίδευση των δασκάλων στις Φυσικές Επιστήμες*. Αδημοσίευτη διδακτορική διατριβή. Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
- Σταυρίδου, Ε. (1995). *Μοντέλα Φυσικών Επιστημών και διαδικασίες μάθησης*. Εκδόσεις Σαββάλα.
- Τσελφές, Β. (2002). *Δοκιμή και πλάνη: Το εργαστήριο στη διδασκαλία των ΦΕ*, Αθήνα: Νήσος.
- Φασουλόπουλος, Γ. (2000). *Οι αντιλήψεις των μαθητών για τη σχέση εντατικών φυσικών μεγεθών με την ποσότητα του συστήματος και οι συνέπειές τους στη διδασκαλία*. Αδημοσίευτη Διδακτορική Διατριβή, ΠΤΔΕ, ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη.
- Χαλκιά, Κ. (2001), Η μετεκπαίδευση των νηπιαγωγών στις έννοιες των Φυσικών Επιστημών: Εμπειρίες από το Μαράσλειο Διδασκαλείο της Αθήνας, Στο Κ. Ραβάνης (επιμ.), *Η μύηση των μικρών παιδιών στις Φυσικές Επιστήμες*, 95-99, Πάτρα.
- Χαλκιά, Κ. (2010). *Διδάσκοντας Φυσικές Επιστήμες. Θεωρητικά ζητήματα, προβληματισμοί, προτάσεις*, Α' τόμος. Εκδόσεις Πατάκη.
- Ψύλλος, Δ. (1998). Όψεις της έρευνας και ανάπτυξης στη Διδακτική των Φυσικών Επιστημών, στο: Κουμαράς, Π., Καριώτογλου, Β., Τσελφές, Β. & Ψύλλος, Δ. (επιμ.), *Πρακτικά 1ου Πανελληνίου Συνεδρίου: Διδακτική των Φυσικών Επιστημών και Εφαρμογή των Νέων Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση*, Εκδόσεις Χριστοδουλίδη, Θεσσαλονίκη.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

A Ακρωνύμια

Θεματικές Διδασκαλίας και Μάθησης

ΠΒ = Πλεύση Βύθιση

ΣΕΜ = Στρατηγική Ελέγχου Μεταβλητών

ΠΥΚ = Πυκνότητα

Μ = Μοντέλα

Ερωτηματολόγια

ΠρινΕΠ = Πριν Ερωτηματολόγιο Πιλοτικής Εφαρμογής

ΜετάΕΠ = Μετά Ερωτηματολόγιο Πιλοτικής Εφαρμογής

ΜΜετάΕΠ = Μετά Μετά Ερωτηματολόγιο Πιλοτικής Εφαρμογής (επτά μήνες μετά την παρέμβαση)

ΠρινΕΚ = Πριν Ερωτηματολόγιο Κανονικής Εφαρμογής

ΕνδιαμΕΚ = Ενδιάμεσο Ερωτηματολόγιο Κανονικής Εφαρμογής

ΜετάΕΚ = Μετά Ερωτηματολόγιο Κανονικής Εφαρμογής

ΜΜετάΕΚ = Μετά Μετά Ερωτηματολόγιο Κανονικής Εφαρμογής (επτά μήνες μετά την παρέμβαση)

ΜετάΣΕΚ = Μετά Συνέντευξης Ερωτηματολόγιο Κανονικής Εφαρμογής

Γενικά

ΠΑΔΥΜΑΚ = Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας

B Ερωτηματολόγια

Το σύνολο των έργων που χρησιμοποιήθηκαν τόσο στην πιλοτική όσο και στην κανονική εφαρμογή, στα γραπτά ερωτηματολόγια και στη συνέντευξη, φαίνονται στον πίνακα 1. Τα έργα του ΜΜετά ερωτηματολογίου, επτά μήνες μετά την παρέμβαση, είναι ίδια με αυτά του Μετά ερωτηματολογίου, γι' αυτό δεν παρουσιάζονται στον πίνακα. Τα έργα που τροποποιήθηκαν ή αντικατέστησαν άλλα, σημειώνονται με (τ) και είναι υπογραμμισμένα. Τα έργα που είναι καινούργια στα ερωτηματολόγια της κανονικής εφαρμογής σημειώνονται με (ν) και είναι μαρκαρισμένα με γκρι χρώμα. Τα ερωτηματολόγια ΕνδιαμΕΚ1 και ΕνδιαμΕΚ2 δόθηκαν μόνο στην κανονική εφαρμογή, μετά την 2^η και 4^η ενότητα αντίστοιχα.

Πίνακας 1 Τα έργα των γραπτών ερωτηματολογίων και της συνέντευξης, ανά περιοχή μάθησης, για την πιλοτική (ΠΙΛ) και την κανονική (ΚΑΝ) εφαρμογή

Περιοχή μάθησης	Έργα Πριν ΠΙΛ=9 έργα, ΚΑΝ=15 έργα	Έργα Ενδιαμ1 ΠΙΛ=∅, ΚΑΝ=9 έργα	Έργα Ενδιαμ2 ΠΙΛ=∅, ΚΑΝ=16 έργα	Έργα Μετά ΠΙΛ=15 έργα, ΚΑΝ=24 έργα	Έργα Συνέντευξης ΠΙΛ=18 έργα ΚΑΝ=18 έργα
ΠΒ	ΠΒ1α, ΠΒ1β, ΠΒ2, <u>ΠΒ3 (ν)</u> , <u>ΠΒ4 (ν)</u>	ΠΒ1α, ΠΒ1β, ΠΒ2, <u>ΠΒ3 (ν)</u> , <u>ΠΒ4 (ν)</u>	<u>ΠΒ5 (τ)</u> , <u>ΠΒ6 (τ)</u> Πβ7α, ΠΒ7β, ΠΒ7γ, ΠΒ8	ΠΒ1α, ΠΒ1β, ΠΒ2, <u>ΠΒ3 (ν)</u> , <u>ΠΒ4 (ν)</u> , <u>ΠΒ5 (τ)</u> , <u>ΠΒ6 (τ)</u> Πβ7α, ΠΒ7β, ΠΒ7γ, ΠΒ8	—
ΠΥΚ	ΠΥΚ1, <u>ΠΥΚ2 (τ)</u> , <u>ΠΥΚ3 (τ)</u>	—	ΠΥΚ1, <u>ΠΥΚ2 (τ)</u> , <u>ΠΥΚ3 (τ)</u>	ΠΥΚ1, <u>ΠΥΚ2 (τ)</u> , <u>ΠΥΚ3 (τ)</u>	ΠΥΚ4, ΠΥΚ5, ΠΥΚ6, ΠΥΚ7, ΠΥΚ8, ΠΥΚ9
ΣΕΜ	<u>ΣΕΜ1α (τ)</u> , <u>ΣΕΜ1β (τ)</u>	<u>ΣΕΜ1α (τ)</u> , <u>ΣΕΜ1β (τ)</u> , <u>ΣΕΜ2α (ν)</u> , <u>ΣΕΜ2β (ν)</u>	—	<u>ΣΕΜ1α (τ)</u> , <u>ΣΕΜ1β (τ)</u> , <u>ΣΕΜ2α (ν)</u> , <u>ΣΕΜ2β (ν)</u>	ΣΕΜ3α, ΣΕΜ3β, ΣΕΜ4α, ΣΕΜ4β ΣΕΜ5α, ΣΕΜ5β, ΣΕΜ6α, ΣΕΜ6β
Μ	M1, <u>M2α (ν)</u> , <u>M2β (ν)</u> , <u>M3α (ν)</u> , <u>M3β (ν)</u>	—	M1, <u>M2α (ν)</u> , <u>M2β (ν)</u> , <u>M3α (ν)</u> , <u>M3β (ν)</u> , <u>M4 (ν)</u>	M1, <u>M2α (ν)</u> , <u>M2β (ν)</u> , <u>M3α (ν)</u> , <u>M3β (ν)</u> , <u>M4 (ν)</u>	M5α, M5β, M6α, M6β

ΠΒ= Ερμηνείες για φαινόμενα πλεύσης και βύθισης, ΠΥΚ= Κατανόηση της έννοιας της πυκνότητας,

ΣΕΜ= Κατανόηση της Στρατηγικής Ελέγχου Μεταβλητών, Μ= Κατανόηση της φύσης και του ρόλου των μοντέλων

Υπογραμμισμένα τα έργα που τροποποιήθηκαν από την πιλοτική στην κανονική εφαρμογή

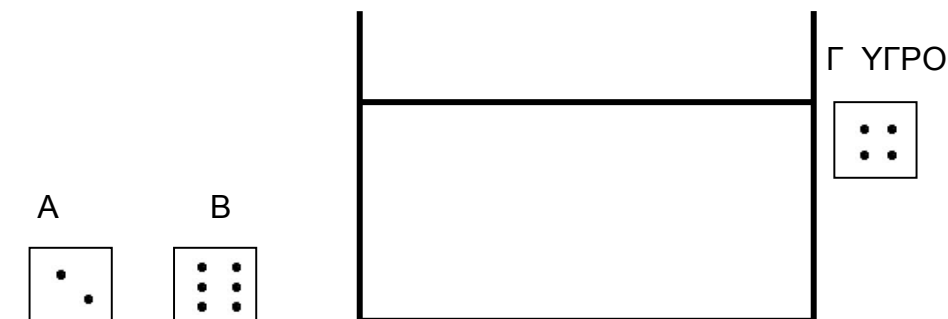
Μαρκαρισμένα με γκρι χρώμα τα έργα που προστέθηκαν στο ερωτηματολόγιο της κανονικής εφαρμογής

Παρακάτω, (Παράρτημα Β.1) παραθέτουμε τα έργα των ερωτηματολογίων της πιλοτικής τα οποία τροποποιήθηκαν στην κανονική εφαρμογή (ΠΒ5, ΠΒ6, ΠΥΚ2, ΠΥΚ3, ΣΕΜ1α και ΣΕΜ1β) ώστε να μπορεί να γίνει συζήτηση σχετικά με την

τροποποίησή τους καθώς και άμεση σύγκρισή τους με τα αντίστοιχα έργα που χρησιμοποιήθηκαν στην κανονική εφαρμογή (Παράρτημα Β.2). Όσα έργα δεν τροποποιήθηκαν και χρησιμοποιήθηκαν ως είχαν και στην κανονική εφαρμογή (ΠΒ1α, ΠΒ1β, ΠΒ2, ΠΒ7α, ΠΒ7β, ΠΒ7γ, ΠΒ8, ΠΥΚ1, και Μ1) παρατίθενται στο παράρτημα Β.2. Τέλος, στην ενότητα Β.3 του Παραρτήματος, παρατίθενται τα έργα της ημιδομημένης συνέντευξης, η οποία χρησιμοποιήθηκε τόσο στην πιλοτική όσο και στην κανονική εφαρμογή.

B.1 Έργα γραπτών ερωτηματολογίων της πιλοτικής τα οποία τροποποιήθηκαν στην κανονική εφαρμογή

Έργο ΠΒ5



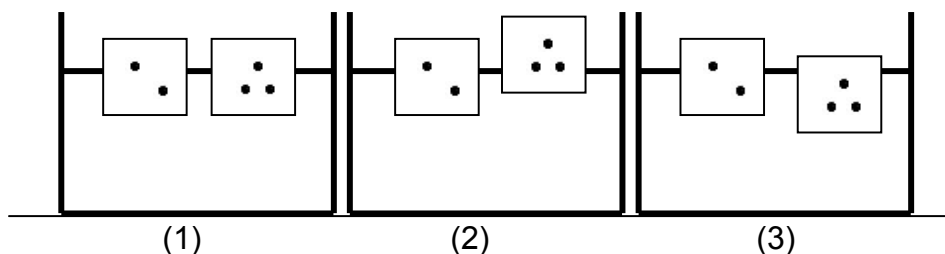
Σου δίνονται δύο κύβοι A και B και ένα δοχείο το οποίο περιέχει υγρό Γ. Τοποθέτησε τους κύβους A και B στο δοχείο με το υγρό, στην τελική θέση που πιστεύεις ότι θα έχουν αφού τους ρίξεις μέσα στο υγρό αυτό. Δικαιολόγησε την απάντησή σου:

.....

Έργο ΠΒ6



Ρίχνουμε τους δύο κύβους που φαίνονται παραπάνω μέσα σε ένα δοχείο με υγρό. Κύκλωσε τον αριθμό 1, 2 ή 3 της εικόνας η οποία πιστεύεις ότι αναπαριστά τις τελικές θέσεις των δύο κύβων αφού τους ρίξουμε στο δοχείο.



Δικαιολόγησε την επιλογή σου:

.....

Έργο ΠΥΚ2

Στην εικόνα φαίνονται δύο ξύλινα αντικείμενα. Μία ξύλινη σφαίρα και ένας ξύλινος κύβος. Για να κατασκευάσουμε τη σφαίρα και τον κύβο χρησιμοποιήσαμε το ίδιο κομμάτι ξύλου και την ίδια ποσότητα ξύλου. Τα δύο αυτά αντικείμενα, δηλαδή, έχουν την ίδια ποσότητα ξύλου.



Με ποια από τις παρακάτω προτάσεις συμφωνείς:

- A. Η ξύλινη σφαίρα έχει μεγαλύτερη πυκνότητα
- B. Ο ξύλινος κύβος έχει μεγαλύτερη πυκνότητα
- Γ. Και τα δύο έχουν την ίδια πυκνότητα
- Δ. Δεν ξέρω

Δικαιολόγησε την απάντησή σου:

.....
.....

Έργο ΠΥΚ3

Στην εικόνα φαίνονται δύο σιδερένια αντικείμενα. Μία σιδερένια σφαίρα και ένας σιδερένιος κύβος. Για να κατασκευάσουμε τη σφαίρα και τον κύβο χρησιμοποιήσαμε το ίδιο κομμάτι σιδήρου και την ίδια ποσότητα σιδήρου. Τα δύο αυτά αντικείμενα, δηλαδή, έχουν την ίδια ποσότητα σιδήρου.



Με ποια από τις παρακάτω προτάσεις συμφωνείς:

- A. Η σιδερένια σφαίρα έχει μεγαλύτερη πυκνότητα
- B. Ο σιδερένιος κύβος έχει μεγαλύτερη πυκνότητα
- Γ. Και τα δύο έχουν την ίδια πυκνότητα
- Δ. Δεν ξέρω

Δικαιολόγησε την απάντησή σου:

.....
.....

Έργο ΣΕΜ1

ΣΕΜ1α Μπορείς να περιγράψεις τι ακριβώς θα έκανες για να ελέγξεις εάν το χαρακτηριστικό που προτείνεις να αλλάξεις στο ερώτημα ΠΒ2, πράγματι επηρεάζει την πλεύση ή τη βύθιση της μπάλας;

.....
.....
.....
.....

ΣΕΜ1β Αν πραγματοποιούσες τις παραπάνω προτάσεις σου θα έβγαζες κάποιο συμπέρασμα. Μπορείς να περιγράψεις πώς θα έβγαζες το συμπέρασμα αυτό;

.....
.....
.....
.....

B.2 Έργα γραπτών ερωτηματολογίων κανονικής εφαρμογής

Έργο ΠΒ1

Πάνω σε ένα μεγάλο καράβι μπορείς να συναντήσεις τα παρακάτω αντικείμενα: σωσίβιο, άγκυρα. Ποια νομίζεις ότι πλέουν και ποια βυθίζονται αν τα ρίξουμε στη θάλασσα; Αιτιολόγησε την απάντησή σου.

ΠΒ1α Το σωσίβιο: πλέει βυθίζεται δεν ξέρω

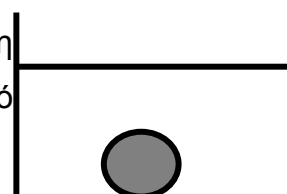
Γιατί:.....
.....

ΠΒ1β Η άγκυρα: πλέει βυθίζεται δεν ξέρω

Γιατί.....
.....

Έργο ΠΒ2

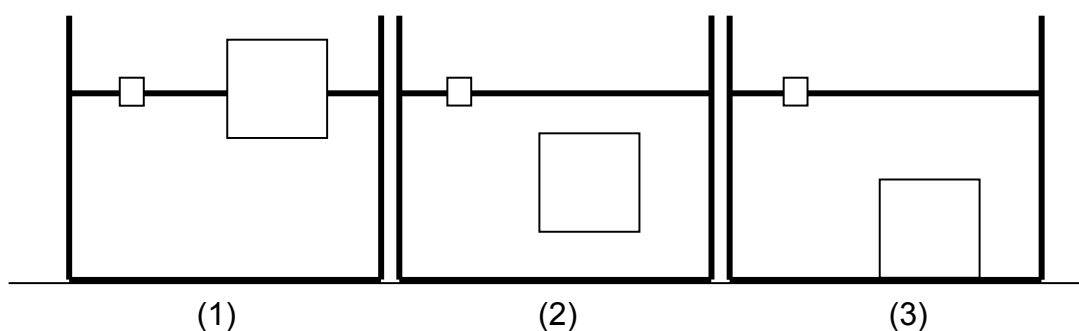
Στο δοχείο αυτό με το νερό βλέπουμε μια μπάλα από πλαστελίνη που είναι βυθισμένη. Μπορείς να αλλάξεις κάποιο χαρακτηριστικό ώστε η μπάλα να επιπλεύσει;



.....
.....

Έργο ΠΒ3

Ο Κώστας ρίχνει ένα μικρό κομμάτι από κάποιο υλικό σε ένα δοχείο με υγρό και παρατηρεί ότι επιπλέει. Στη συνέχεια η Ειρήνη ρίχνει ένα μεγάλο κομμάτι από το ίδιο υλικό μέσα στο ίδιο δοχείο. Πού νομίζεις ότι θα σταθεί το μεγάλο κομμάτι; Κύκλωσε τον αριθμό 1, 2 ή 3 της εικόνας που νομίζεις ότι αναπαριστά την **τελική** θέση των δύο σωμάτων που ο Κώστας και η Ειρήνη έριξαν στο δοχείο.

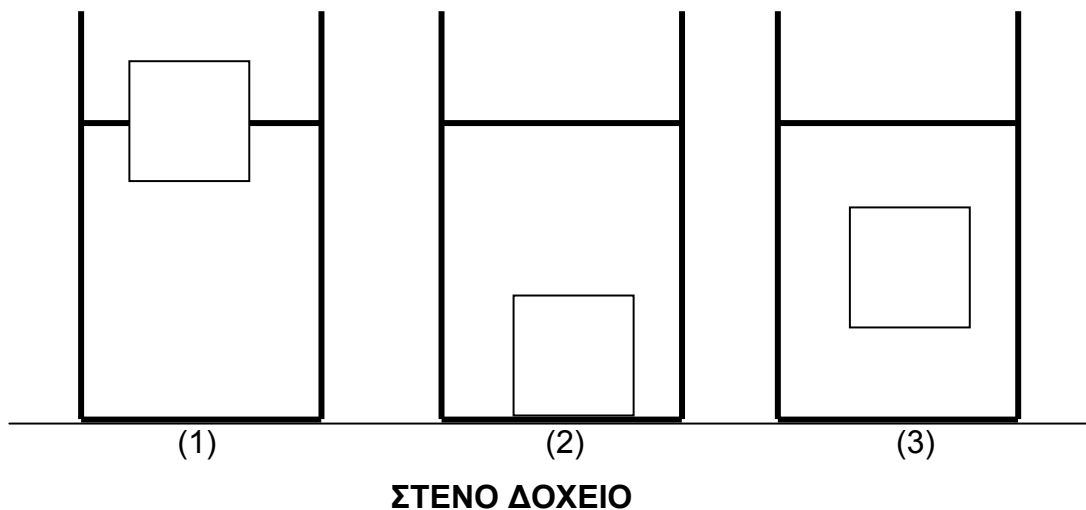
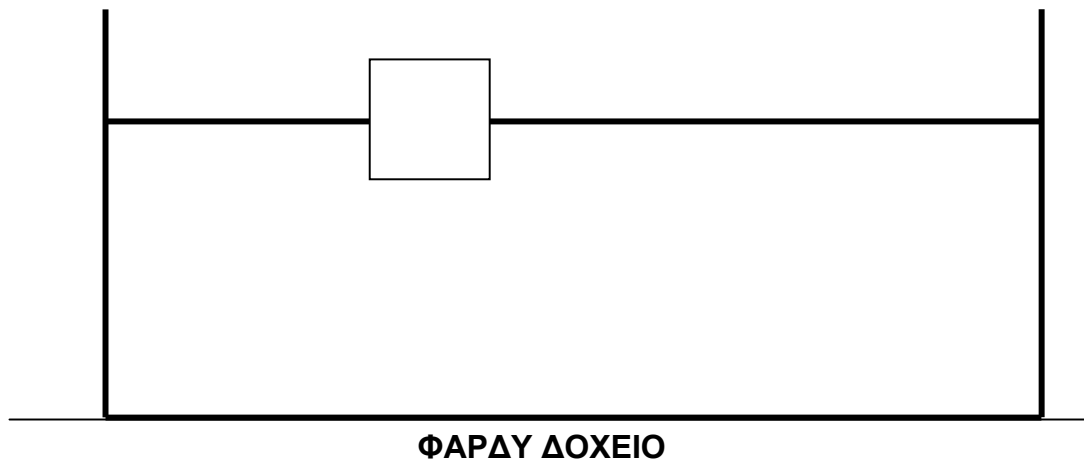


Δικαιολόγησε την επιλογή σου:

.....
.....
.....

Έργο ΠΒ4

Ο Κώστας έριξε τον κύβο στο υγρό που βρίσκεται στο φαρδύ δοχείο που φαίνεται παρακάτω και ο κύβος επιπλέει. Η Ειρήνη ρίχνει τον ίδιο κύβο σε ένα στενό δοχείο, που περιέχει το ίδιο υγρό. Πού νομίζεις ότι θα σταθεί ο κύβος στο στενό δοχείο; Κύκλωσε τον αριθμό 1, 2 ή 3 της εικόνας που νομίζεις ότι αναπαριστά την **τελική** θέση του κύβου που έριξε η Ειρήνη στο στενό δοχείο.



Δικαιολόγησε την επιλογή σου:

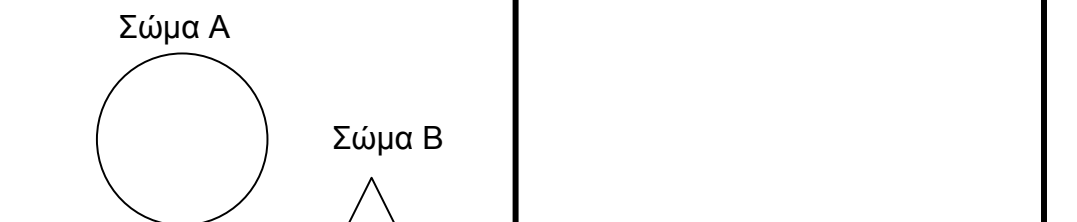
.....

.....

.....

Έργο ΠΒ5

Πυκνότητα Σώματος A	Πυκνότητα Σώματος B	Πυκνότητα Υγρού
		



Σου δίνονται δύο σώματα A και B και ένα υγρό μέσα σε ένα δοχείο, των οποίων οι πυκνότητες αναπαρίστανται με «τα κυβάκια και τις τελίτσες» όπως φαίνεται στο γκρι πλαίσιο. Εάν αφήσεις τα σώματα A και B στο δοχείο με το υγρό, ποια νομίζεις ότι θα είναι η τελική τους θέση; Δικαιολόγησε την απάντησή σου:

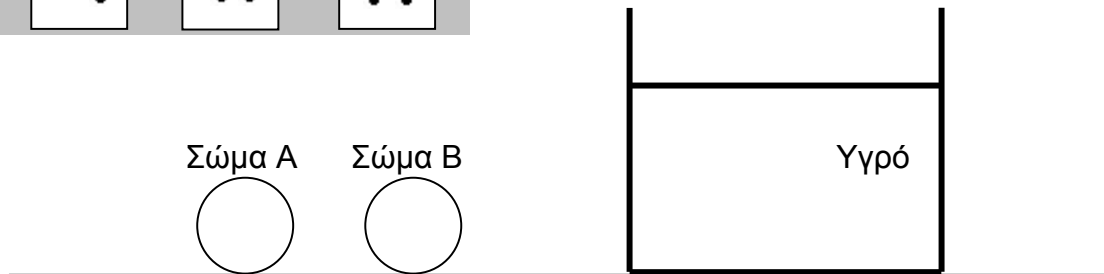
.....

.....

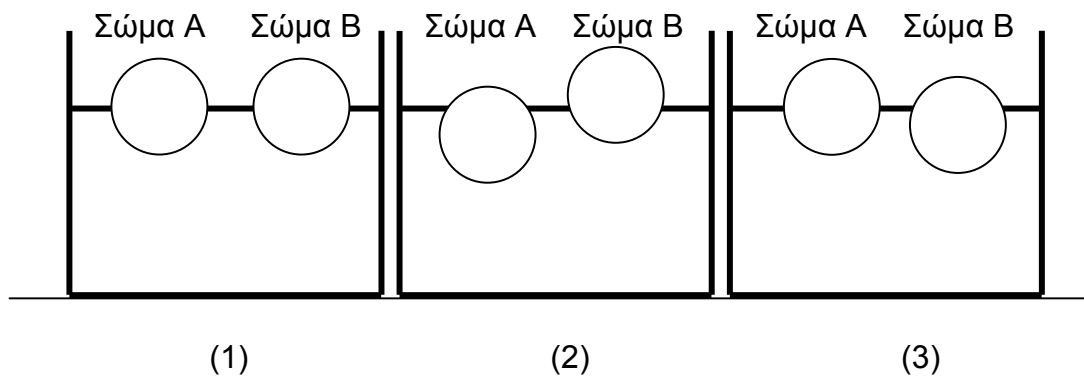
.....

Μπορείς να σχεδιάσεις τα σώματα A και B στην **τελική** τους θέση στο υγρό;

Έργο ΠΒ6



Οι πυκνότητες των σωμάτων Α και Β καθώς και του υγρού που βρίσκεται στο δοχείο αναπαρίστανται με τα «κυβάρια με τις τελίτσες» όπως φαίνεται στο γκρι πλαίσιο. Ρίχνουμε τα δύο σώματα Α και Β στο υγρό. Κύκλωσε τον αριθμό 1, 2 ή 3 της εικόνας η οποία πιστεύεις ότι αναπαριστά τις **τελικές** θέσεις των δύο σωμάτων αφού τα ρίξουμε στο υγρό.



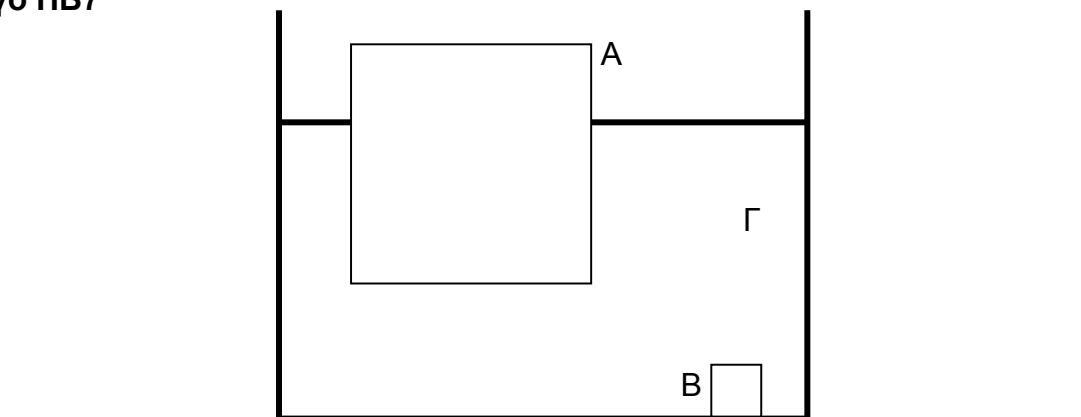
Δικαιολόγησε την επιλογή σου:

.....

.....

.....

Έργο ΠΒ7



Ρίχνουμε τα δύο αντικείμενα Α και Β στο υγρό Γ. Το Α επιπλέει στο υγρό Γ ενώ το Β βυθίζεται στο υγρό Γ. Αποφάσισε εάν οι παρακάτω προτάσεις είναι σωστές ή λάθος:

ΠΒ7α Το σώμα Α έχει μεγαλύτερη πυκνότητα από το σώμα Β.

σωστή λάθος δεν ξέρω

Γιατί.....
.....
.....

ΠΒ7β Το σώμα Β έχει μεγαλύτερη πυκνότητα από το υγρό Γ.

σωστή λάθος δεν ξέρω

Γιατί.....
.....
.....

ΠΒ7γ Το σώμα Α έχει μεγαλύτερη πυκνότητα από το υγρό Γ.

σωστή λάθος δεν ξέρω

Γιατί.....
.....
.....

Έργο ΠΒ8



Η Γεωργία, η Σοφία και η Πετρούλα καθώς έπαιζαν με διάφορα παιχνίδια, ένα τους έφυγε κατά λάθος μέσα στο δοχείο με το υγρό που φαίνεται στην εικόνα. Τότε παρατήρησαν ότι αυτό δεν πήγαινε ούτε προς την επιφάνεια του υγρού αλλά ούτε και προς τα κάτω, δηλαδή προς τον πυθμένα του δοχείου. Αναρωτήθηκαν για την πυκνότητα που μπορεί να έχει αυτό το παιχνίδι και διαφώνησαν:

Η Γεωργία λέει ότι το αντικείμενο αυτό έχει μεγαλύτερη πυκνότητα από το υγρό.

Η Πετρούλα αντίθετα πιστεύει ότι το αντικείμενο έχει μικρότερη πυκνότητα από το υγρό.

Η Σοφία τέλος λέει ότι το αντικείμενο έχει την ίδια πυκνότητα με το υγρό.

Με ποια από τις παραπάνω μαθήτριες συμφωνείς; Με την:

Γεωργία Πετρούλα Σοφία Δεν ξέρω

Γιατί.....
.....
.....

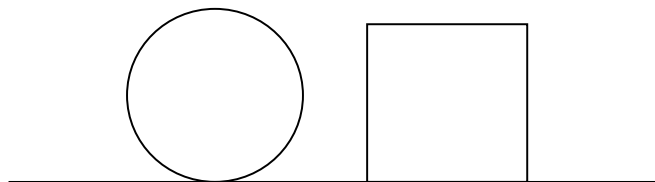
Έργο ΠΥΚ1

Γράψε μία πρόταση, την πιο αντιπροσωπευτική για σένα, που να περιέχει και τις δύο λέξεις: **πυκνότητα** και **υλικό**. Μπορείς να τις αναφέρεις μέσα στην πρόταση με όποια σειρά θέλεις.

.....
.....
.....

Έργο ΠΥΚ2

Στην εικόνα φαίνονται δύο αντικείμενα που είναι από το ίδιο υλικό. Για να κατασκευάσουμε τη σφαίρα και τον κύβο χρησιμοποιήσαμε το ίδιο κομμάτι και την ίδια ποσότητα αυτού του υλικού. Τα δύο αυτά αντικείμενα, δηλαδή, έχουν την ίδια ποσότητα υλικού.



Με ποια από τις παρακάτω προτάσεις συμφωνείς:

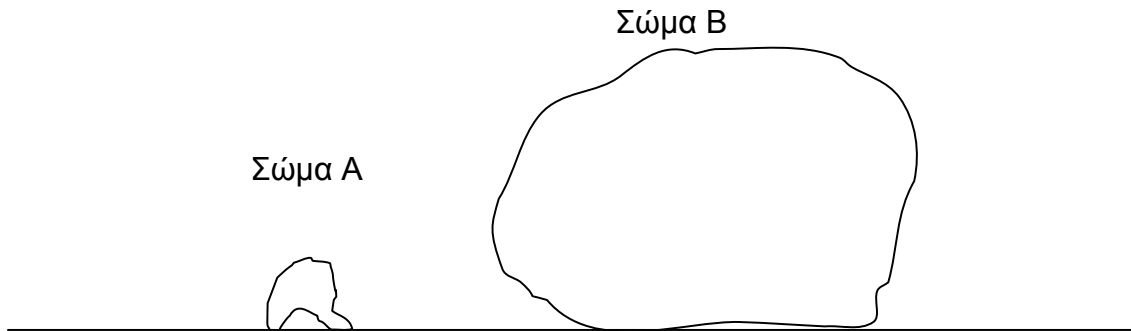
- A. Η σφαίρα έχει μεγαλύτερη πυκνότητα από τον κύβο
- B. Ο κύβος έχει μεγαλύτερη πυκνότητα από την σφαίρα
- Γ. Και τα δύο έχουν την ίδια πυκνότητα
- Δ. Δεν ξέρω

Δικαιολόγησε την απάντησή σου:

.....
.....
.....

Έργο ΠΥΚ3

Στην εικόνα φαίνονται δύο κομμάτια που είναι από το ίδιο υλικό: πλαστικό.



Με ποια από τις παρακάτω προτάσεις συμφωνείς:

- A. Το σώμα Α έχει μεγαλύτερη πυκνότητα από το σώμα Β
- B. Το σώμα Β έχει μεγαλύτερη πυκνότητα από το σώμα Α
- Γ. Και τα δύο έχουν την ίδια πυκνότητα
- Δ. Δεν ξέρω

Δικαιολόγησε την απάντησή σου:

.....
.....
.....

Έργο ΣΕΜ1

ΣΕΜ1α Ο Γιώργος λέει ότι «...το είδος υγρού που υπάρχει σε ένα δοχείο επηρεάζει το εάν θα επιπλεύσει ή θα βυθιστεί ένα αντικείμενο στο υγρό αυτό...» ενώ η Μαρία λέει το αντίθετο, δηλαδή πως «...όποιο υγρό και αν υπάρχει στο δοχείο αυτό δεν επηρεάζει το εάν θα επιπλεύσει ή θα βυθιστεί ένα αντικείμενο στο υγρό αυτό...». Έστω ότι θέλεις να ελέγξεις ποιος από τους δύο μαθητές έχει δίκιο. Μπορείς να περιγράψεις τι θα έκανες για να το ελέγξεις;

.....
.....
.....

ΣΕΜ1β Αν πραγματοποιούσες τις παραπάνω προτάσεις σου θα έβγαζες κάποιο συμπέρασμα. Περιγράψε πώς θα έβγαζες το συμπέρασμα αυτό.

.....
.....
.....

Έργο ΣΕΜ2

ΣΕΜ2α Μια παρέα παιδιών συζητά για τους παράγοντες από τους οποίους μπορεί να επηρεάζεται η πλεύση ή η βύθιση ενός αντικειμένου σε ένα υγρό που βρίσκεται μέσα σε ένα δοχείο. Κάποιος από την παρέα λέει ότι πιθανόν να επηρεάζεται από το εάν η επιφάνεια του αντικειμένου είναι τραχιά ή λεία. Δηλαδή εάν το αντικείμενο έχει ή δεν έχει εξογκώματα. Μπορείς να περιγράψεις τι θα έκανες για να το ελέγξεις;

.....
.....
.....

ΣΕΜ2β Αν πραγματοποιούσες μαζί τους τις παραπάνω προτάσεις σου θα βγάzaτε κάποιο συμπέρασμα. Περιγράψε τα βήματα που θα ακολουθούσε η σκέψη σου για να φτάσεις σε ένα ασφαλές συμπέρασμα.

.....
.....
.....

Έργο Μ1

Γράψε μία πρόταση, την πιο αντιπροσωπευτική για σένα, που να περιέχει τη λέξη **μοντέλο**.

.....
.....
.....

Έργο M2

Παρακάτω βλέπεις μια κατασκευή που παριστάνει ένα μάτι.



M2α Σε τι νομίζεις ότι μας χρησιμεύει αυτή η κατασκευή;

.....
.....
.....

M2β Πώς θα ονόμαζες την παραπάνω κατασκευή;

.....
.....
.....

Έργο M3

Παρακάτω βλέπεις το σκίτσο ενός πλοίου στο οποίο φαίνονται τα καταστρώματα-πατώματα από τα οποία αποτελείται και από κάτω, στο δεύτερο σκίτσο, ένα από τα καταστρώματα-πατώματά του όπως φαίνεται από πάνω. Τα σκίτσα αυτά υπάρχουν στις πόρτες των διαμερισμάτων στα οποία μένουν οι επιβάτες του πλοίου.

B.3 Ημιδομημένο ερωτηματολόγιο Μετά – Συνέντευξης (ΜετάΣΕΚ)

Έργα ΠΥΚ Αξιολόγηση της διαφοροποίησης των εννοιών του βάρους και της πυκνότητας

Στην οθόνη (εικόνα 1) βλέπεις δύο κύβους από ξύλο, δύο κύβους από σίδηρο και ένα κύβο από φελλό. Επίσης έχεις στη διάθεσή σου μια ζυγαριά και ένα δοχείο με νερό.



Εικόνα 1 Οθόνη που χρησιμοποιήθηκε κατά τη διάρκεια της συνέντευξης για την αξιολόγηση της διαφοροποίησης της έννοιας του βάρους και της πυκνότητας

Έργο ΠΥΚ4 Σύγκριση του βάρους των σιδερένιων κύβων

Ας μιλήσουμε πρώτα για τους δύο σιδερένιους κύβους. Φέρε τους μπροστά στην οθόνη. Ένας συμμαθητής σου λέει ότι ο μεγάλος κύβος έχει μεγαλύτερο βάρος. Ένας άλλος ότι ο μικρός κύβος έχει μεγαλύτερο βάρος και ένας τρίτος ότι οι δύο αυτοί κύβοι έχουν το ίδιο βάρος.

Εσύ με ποιον συμφωνείς;

.....
.....
.....

Μπορείς να δικαιολογήσεις την άποψή σου;

.....
.....
.....

Έργο ΠΥΚ5 Σύγκριση του βάρους των ξύλινων κύβων

Ας μιλήσουμε τώρα για του δύο ξύλινους κύβους. Φέρε τους ξύλινους κύβους μπροστά στην οθόνη. Ένας συμμαθητής σου λέει ότι ο μεγάλος κύβος έχει μεγαλύτερο βάρος. Ένας άλλος ότι ο μικρός κύβος έχει μεγαλύτερο βάρος και ένας τρίτος ότι οι δύο αυτοί ξύλινοι κύβοι έχουν το ίδιο βάρος.

Εσύ με ποιον συμφωνείς;

.....
.....
.....

Μπορείς να δικαιολογήσεις την άποψή σου;

.....
.....
.....

Έργο ΠΥΚ6 Σύγκριση των πυκνοτήτων των σιδερένιων κύβων

Ας μιλήσουμε τώρα για τους δύο σιδερένιους κύβους. Φέρε τους πάλι μπροστά στην οθόνη. Ένας συμμαθητής σου λέει ότι ο μεγάλος κύβος έχει μεγαλύτερη πυκνότητα. Ένας άλλος ότι ο μικρός κύβος έχει μεγαλύτερη πυκνότητα και ένας τρίτος ότι οι δύο αυτοί κύβοι έχουν την ίδια πυκνότητα. Εσύ με ποιον συμφωνείς;

.....
.....
.....

Μπορείς να δικαιολογήσεις την άποψή σου;

.....
.....
.....

Έργο ΠΥΚ7 Σύγκριση των πυκνοτήτων των ξύλινων κύβων

Ας μιλήσουμε τώρα για τους δύο ξύλινους κύβους. Φέρε τους ξύλινους κύβους μπροστά στην οθόνη. Ένας συμμαθητής σου λέει ότι ο μεγάλος κύβος έχει

μεγαλύτερη πυκνότητα. Ένας άλλος ότι ο μικρός κύβος έχει μεγαλύτερη πυκνότητα και ένας τρίτος ότι οι δύο αυτοί κύβοι έχουν την ίδια πυκνότητα. Εσύ με ποιον συμφωνείς;

.....
.....
.....

Μπορείς να δικαιολογήσεις την άποψή σου;

.....
.....
.....

Έργο ΠΥΚ8 Σύγκριση του βάρους του κύβου από φελλό με το βάρος καθενός από τους δύο ξύλινους κύβους

Για φέρε τώρα εδώ μπροστά και τον κύβο από φελλό.

Μπορείς να μου πεις εάν ο κύβος από φελλό έχει μεγαλύτερο ή μικρότερο βάρος από τον μεγάλο ξύλινο κύβο;

.....
.....
.....

Μπορείς να μου πεις εάν ο κύβος από φελλό έχει μεγαλύτερο ή μικρότερο βάρος από τον μικρό ξύλινο κύβο;

.....
.....
.....

Πώς το ξέρεις; Μπορείς να κάνεις κάτι για να με πείσεις;

.....
.....
.....

Έργο ΠΥΚ9 Σύγκριση της πυκνότητας του κύβου από φελλό με την πυκνότητα καθενός από τους δύο ξύλινους κύβους

Συνεχίζουμε να μιλάμε για τους τρεις αυτούς κύβους.

Μπορείς να μου πεις εάν ο κύβος από φελλό έχει μεγαλύτερη ή μικρότερη πυκνότητα από τον μεγάλο ξύλινο κύβο;

.....
.....
.....
Μπορείς να μου πεις εάν ο κύβος από φελλό έχει μεγαλύτερη ή μικρότερη πυκνότητα από τον μικρό ξύλινο κύβο;

.....
.....
.....
Πώς το ξέρεις; Μπορείς να κάνεις κάτι για να με πείσεις;

Έργα ΣΕΜ Αξιολόγηση της κατανόησης της Στρατηγικής Ελέγχου Μεταβλητών

Έργο ΣΕΜ3 Μεταβλητή που ήδη έχουν ελέγξει κατά την διάρκεια της εφαρμογής

Έστω ότι θέλεις να ελέγξεις εάν το σχήμα ενός συμπαγούς αντικειμένου επηρεάζει την πλεύση ή τη βύθισή του σε ένα υγρό που βρίσκεται μέσα σε ένα δοχείο.

ΣΕΜ3α Μπορείς να περιγράψεις τι θα έκανες για να το ελέγξεις;

.....
.....
.....
Σε περίπτωση που ο μαθητής δεν απαντά πλήρως μπορούμε να ανιχνεύσουμε τη μάθηση με τις παρακάτω ερωτήσεις:

- Θα μπορούσε το ένα αντικείμενο να είναι από σίδηρο και το άλλο από ξύλο;
- Θα μπορούσε το ένα σώμα να είναι πιο βαρύ από το άλλο;

.....
.....
.....
ΣΕΜ3β Ας υποθέσουμε ότι δοκίμασες αυτά που είπες. Τότε θα έβγαζες κάποιο συμπέρασμα. Περιγράψε τα βήματα που θα ακολουθούσε η σκέψη σου για να φτάσεις σε ένα ασφαλές συμπέρασμα.

Έργο ΣΕΜ4 Ίδιο πρόβλημα, διαφορετική μεταβλητή

Μια παρέα παιδιών συζητά για τους παράγοντες από τους οποίους μπορεί να επηρεάζεται η πλεύση ή η βύθιση ενός αντικειμένου σε ένα υγρό που βρίσκεται μέσα σε ένα δοχείο. Κάποιος από την παρέα λέει ότι πιθανόν να επηρεάζεται από το υλικό από το οποίο είναι φτιαγμένο το δοχείο. Δηλαδή εάν το δοχείο είναι από σίδηρο τα αντικείμενα βουλιάζουν, ενώ εάν είναι από ξύλο δε βουλιάζουν.

ΣΕΜ4α Μπορείς να περιγράψεις τι θα έκανες για να το ελέγξεις;

.....
.....
.....

Σε περίπτωση που ο μαθητής δεν απαντά πλήρως μπορούμε να ανιχνεύσουμε τη μάθηση με τις παρακάτω ερωτήσεις:

Θα μπορούσαν τα δύο δοχεία να έχουν διαφορετικό υγρό;

Θα πρέπει να έχουν το ίδιο μέγεθος ή θα μπορούσε να είναι και διαφορετικό;

Εάν το σώμα που θα χρησιμοποιήσεις επιπλέει νομίζεις ότι χρειάζεται να ελέγξεις και ένα σώμα που θα βυθίζεται ή δεν είναι απαραίτητο;

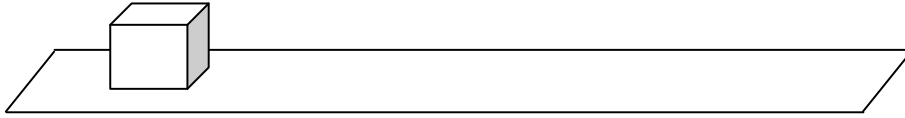
.....
.....
.....

ΣΕΜ4β Αν πραγματοποιούσες μαζί τους τις παραπάνω προτάσεις σου θα βγάzaτε κάποιο συμπέρασμα. Περιγράψε τα βήματα που θα ακολουθούσε η σκέψη σου για να φτάσεις σε ένα ασφαλές συμπέρασμα.

.....
.....
.....

Έργο ΣΕΜ5 Διαφορετικό πρόβλημα, μεταβλητή γνωστή

Μια ομάδα παιδιών έπαιζε με ένα κιβώτιο που το είχαν γεμίσει με άμμο. Κάποια στιγμή προβληματίστηκαν και στη συνέχεια διαφώνησαν για το εάν το βάρος του κιβωτίου επηρεάζει το πόσο μακριά θα πάει το κιβώτιο όταν το σπρώχνουνε πάνω σε μια ξύλινη σανίδα. Συμφώνησαν μάλιστα ότι θα το σπρώχνουνε πάντα με την ίδια φόρα.



ΣΕΜ5α Περιγράψε τι θα τους πρότεινες να κάνουν για να ελέγξουν ποιοι έχουν δίκιο.

.....
.....
.....

Σε περίπτωση που ο μαθητής δεν απαντά πλήρως μπορούμε να ανιχνεύσουμε τη μάθηση με τις παρακάτω ερωτήσεις:

Θα μπορούσαν μήπως να χρησιμοποιήσουν άλλο κιβώτιο με λιγότερη άμμο;

.....
.....
.....

ΣΕΜ5β Αν πραγματοποιούσες μαζί τους τις παραπάνω προτάσεις σου θα βγάzaτε κάποιο συμπέρασμα. Περιγράψε τα βήματα που θα ακολουθούσε η σκέψη σου για να φτάσεις σε ένα ασφαλές συμπέρασμα.

.....
.....
.....

Έργο ΣΕΜ6 Διαφορετικό πρόβλημα, άγνωστη μεταβλητή

Η ίδια παρέα συνεχίζει να αναρωτιέται μήπως υπάρχει και άλλος παράγοντας που να επηρεάζει το πόσο μακριά θα πάει το κιβώτιο όταν το σπρώξουνε. Μπορείς να προτείνεις άλλον έναν εκτός από το βάρος του σώματος που προτείναμε πριν;

.....
.....
.....

ΣΕΜ6α Περιγράψε τι θα τους πρότεινες να κάνουν για να το ελέγξουν.

.....
.....
.....

Σε περίπτωση που ο μαθητής δεν απαντά πλήρως μπορούμε να ανιχνεύσουμε τη μάθηση με τις παρακάτω ερωτήσεις:

Η σανίδα παίζει ρόλο;

Το κιβώτιο παίζει ρόλο;

Άμα ήταν μια τραχιά σανίδα και μια λεία;

.....

.....

.....

ΣΕΜ6β Αν πραγματοποιούσες μαζί τους τις παραπάνω προτάσεις σου θα βγάzaτε κάποιο συμπέρασμα. Περιγράψε τα βήματα που θα ακολουθούσε η σκέψη σου για να φτάσεις σε ένα ασφαλές συμπέρασμα.

.....

.....

.....

Έργα Μ Αξιολόγηση κατανόησης της φύσης και του ρόλου των μοντέλων

Έργο Μ5 Αξιολόγηση κατανόησης της φύσης και του ρόλου των μοντέλων – μοντέλα για την πυκνότητα που χρησιμοποιήθηκαν στο λογισμικό

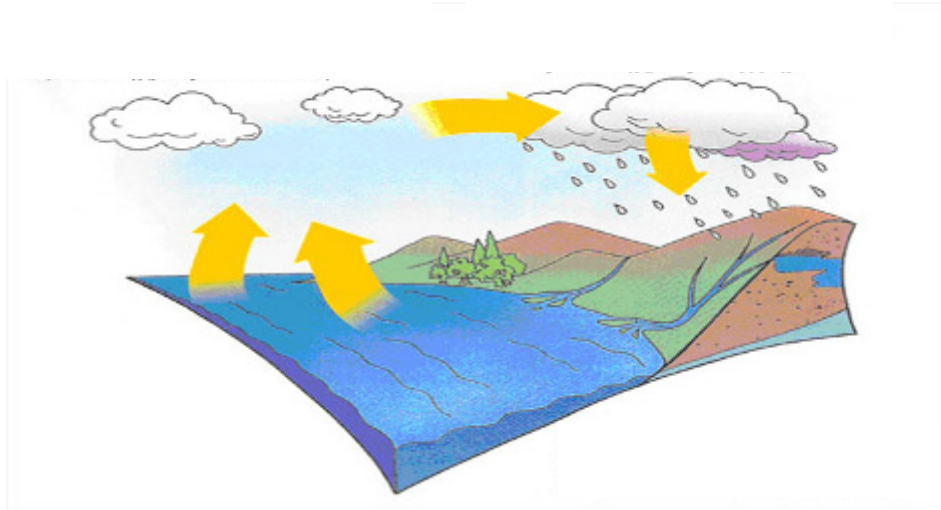
Παρακάτω βλέπεις το σχήμα που χρησιμοποιήσαμε για να αναπαραστήσουμε την πυκνότητα.



- Θυμάσαι πως είπαμε ότι θα το λέμε αυτό το σχήμα;
- Σε τι μας βοήθησε το μοντέλο της πυκνότητας; Ποια είναι η χρησιμότητά του; Πώς το χρησιμοποιήσαμε;

Έργο Μ6 Αξιολόγηση κατανόησης της φύσης και του ρόλου των μοντέλων – μοντέλο που δε διαπραγματευτήκαμε στην εφαρμογή

Στην οθόνη βλέπεις ένα σχήμα (εικόνα 2) που περιγράφει τον κύκλο του νερού.



Εικόνα 2 Μοντέλο του κύκλου του νερού

- Πώς θα ονόμαζες αυτό το σχήμα;
- Σε τι νομίζεις ότι μας βοηθάει αυτό το μοντέλο; Ποια είναι η χρησιμότητά του; Ποια είναι τα στοιχεία από τα οποία αποτελείται;
- Νομίζεις ότι το μοντέλο αυτό περιέχει όλες τις πληροφορίες που χρειάζεται για να καταλάβει κάποιος την πορεία που ακολουθεί το νερό και τον λόγο για τον οποίο ακολουθεί αυτήν την πορεία; Μπορείς να βελτιώσεις το μοντέλο αυτό ώστε να συμπεριλάβει τις απαραίτητες πληροφορίες που πρότεινες ότι λείπουν;

Γ Στατιστική ανάλυση - Διαγράμματα

Στατιστικά σημαντικό ($p < .05$)

Μη στατιστικά σημαντικό ($p > .05$)

Πίνακας 1 Αποτελέσματα της ανάλυσης Wilcoxon στα έργα των ερωτηματολογίων της πιλοτικής και της κανονικής εφαρμογής (έργα που υπήρχαν στο πριν ερωτηματολόγιο)

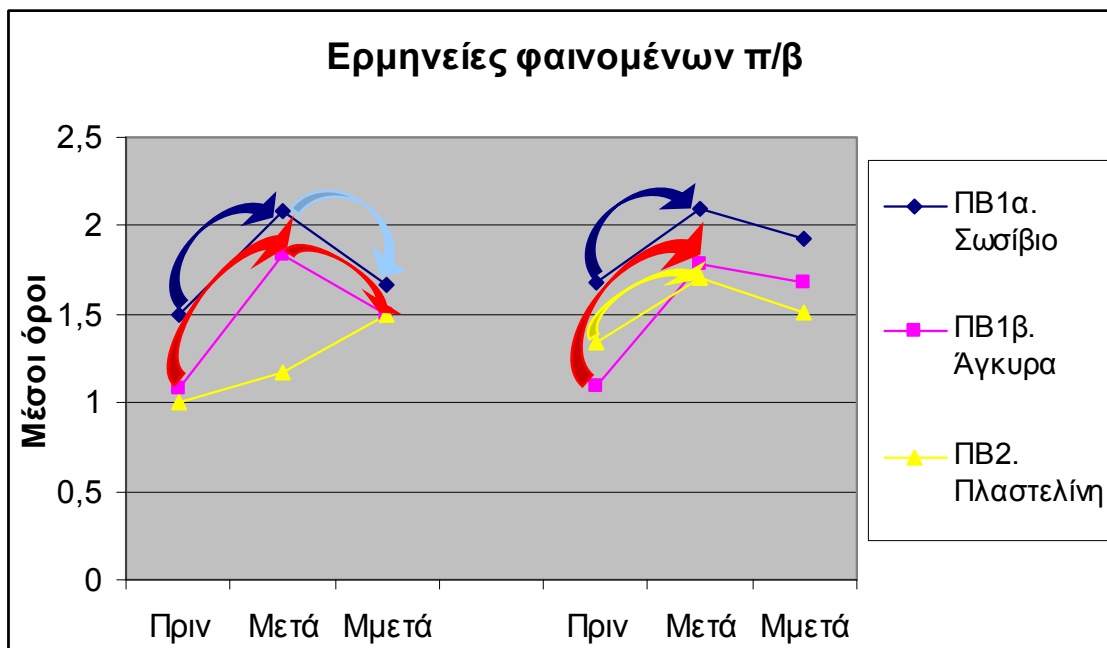
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΝΑΛΥΣΗ WILCOXON					
	Πιλοτική εφαρμογή		Κανονική εφαρμογή		
	Πριν - Μετά	Μετά - ΜΜετά	Πριν - Ενδιαμ	Πριν - Μετά	Μετά - ΜΜετά
ΠΒ1α ¹	$z^2=2.333, p=.020$	$z=1.89, p=.059$	$z=.122, p=.903$	$z=2.665, p=.008$	$z=1.238, p=.216$
ΠΒ1β	$z=2.121, p=.034$	$z=2.00, p=.046$	$z=2.401, p=.016$	$z=3.446, p=.001$	$z=.602, p=.547$
ΠΒ2	$z=.816, p=.414$	$z=.850, p=.395$	$z=2.368, p=.018$	$z=2.142, p=.032$	$z=1.160, p=.246$
ΠΒ3			$z=3.870, p=.000$	$z=3.801, p=.000$	$z=.184, p=.854$
ΠΒ4			$z=2.232, p=.026$	$z=2.737, p=.006$	$z=2.382, p=.017$
ΠΥΚ1	$z=2.264, p=.024$	$z=.552, p=.581$	$z=4.420, p=.000$	$z=4.772, p=.000$	$z=.626, p=.531$
ΠΥΚ2	$z=2.232, p=.026$	$z=1.730, p=.084$	$z=3.673, p=.000$	$z=4.107, p=.000$	$z=.346, p=.729$
ΠΥΚ3	$z=1.274, p=.203$	$z=.791, p=.429$	$z=1.686, p=.092$	$z=2.664, p=.008$	$z=.079, p=.937$
ΣΕΜ1α	$z=1.633, p=.102$	$z=.000, p=1.000$	$z=3.520, p=.000$	$z=3.307, p=.001$	$z=.801, p=.423$
ΣΕΜ1β	$z=1.633, p=.102$	$z=1.134, p=.257$	$z=1.345, p=.179$	$z=1.325, p=.185$	$z=1.130, p=.258$
Μ1	$z=1.732, p=.083$	$z=.577, p=.564$	$z=4.243, p=.000$	$z=4.796, p=.000$	$z=.333, p=.739$
M2α			$z=.447, p=.655$	$z=1.890, p=.059$	$z=1.000, p=.317$
M2β			$z=2.828, p=.005$	$z=3.317, p=.001$	$z=.302, p=.763$
M3α			$z=1.941, p=.052$	$z=2.887, p=.004$	$z=.707, p=.480$
M3β			$z=2.111, p=.035$	$z=3.000, p=.003$	$z=1.265, p=.206$

¹ Τα έργα που είναι με έντονη γραφή (**bold**) είναι τα έργα που θεωρήθηκαν ότι είναι κοινά στην πιλοτική και κανονική εφαρμογή. Η τεχνική Ανάλυσης Διαδρομών (Path Analysis) εφαρμόστηκε σε αυτά τα έργα.

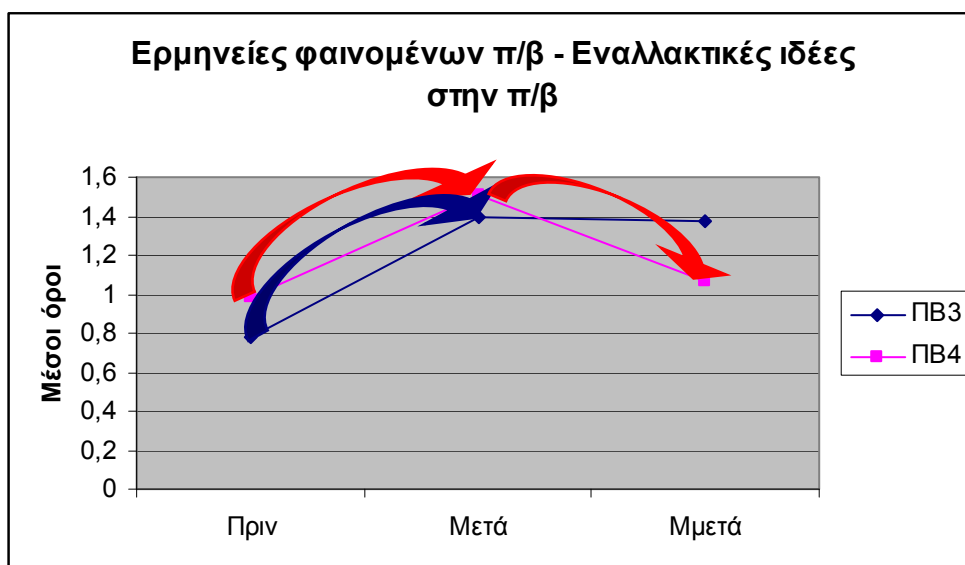
² Σε όλες τις περιπτώσεις υπήρξε αύξηση στο μέσο όρο επίδοσης των μαθητών

Πίνακας 2 Αποτελέσματα της ανάλυσης Wilcoxon στα έργα των ερωτηματολογίων της πιλοτικής και της κανονικής εφαρμογής (έργα που δεν υπήρχαν στο πριν ερωτηματολόγιο)

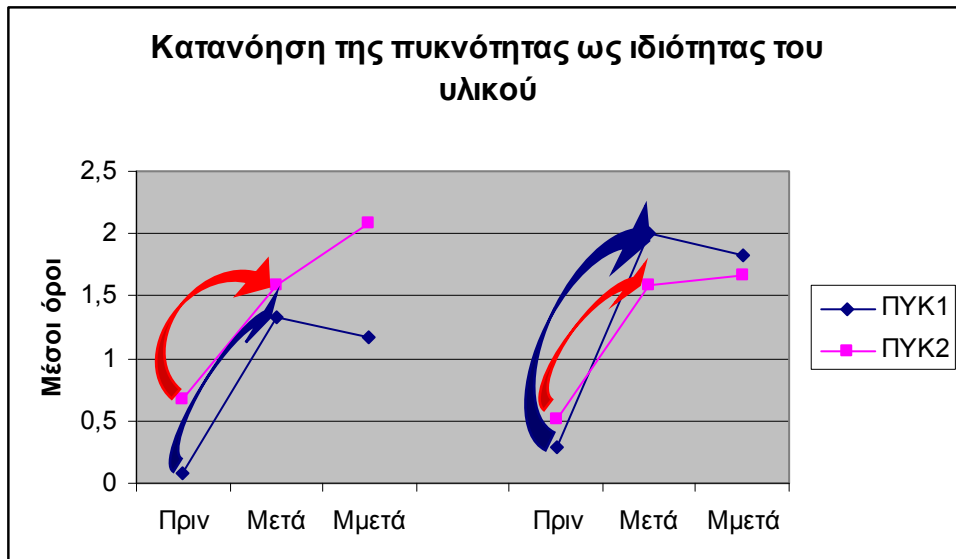
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΝΑΛΥΣΗ WILCOXON					
	Πιλοτική εφαρμογή		Κανονική εφαρμογή		
	Πριν - Μετά	Μετά - ΜΜετά	Πριν - Ενδιαμ	Ενδιαμ - Μετά	Μετά - ΜΜετά
ΠΒ5		$z=1.00, p=.317$		$z=1.508, p=.132$	$z=.905, p=.366$
ΠΒ6		$z=1.00, p=.317$		$z=2.111, p=.035$	$z=2.309, p=.021$
ΠΒ7α		$z=.577, p=.564$		$z=.378, p=.705$	$z=.000, p=1.000$
ΠΒ7β		$z=.000, p=1.000$		$z=2.530, p=.011$	$z=1.414, p=.157$
ΠΒ7γ		$z=1.414, p=.157$		$z=1.414, p=.157$	$z=.905, p=.366$
ΠΒ8		$z=.000, p=1.000$		$z=.000, p=1.000$	$z=.535, p=.593$
ΣΕΜ2α				$z=2.142, p=.032$	$z=.684, p=.494$
ΣΕΜ2β				$z=1.454, p=.146$	$z=.279, p=.781$
M4				$z=1.265, p=.206$	$z=1.134, p=.257$



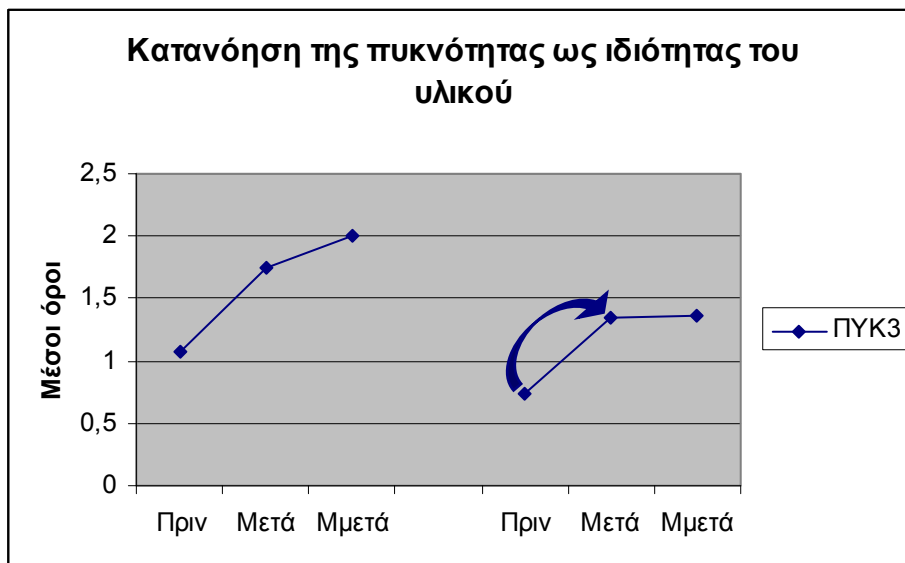
Διάγραμμα 1 Ερμηνείες φαινομένων Π/Β στα έργα ΠΒ1α, ΠΒ1β και ΠΒ2 στην πιλοτική (αριστερά) και στην κανονική (δεξιά) εφαρμογή. Με βέλος σημειώνουμε τις στατιστικά σημαντικές μεταβολές.



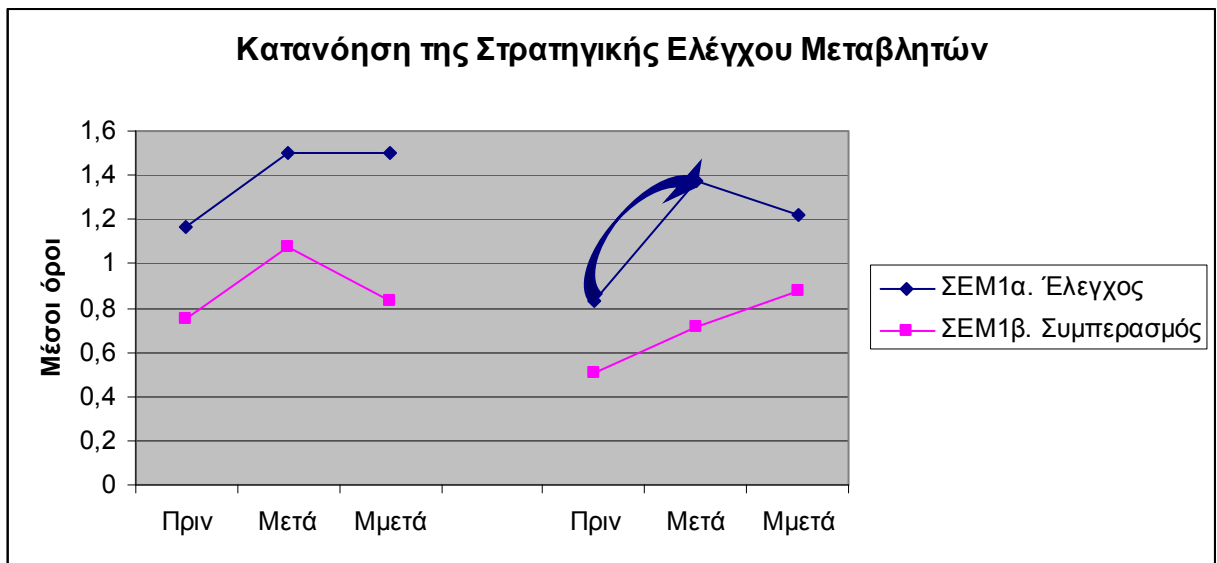
Διάγραμμα 2 Ερμηνείες φαινομένων Π/Β στα έργα ΠΒ3 και ΠΒ4 στην κανονική εφαρμογή. Με βέλος σημειώνουμε τις στατιστικά σημαντικές μεταβολές.



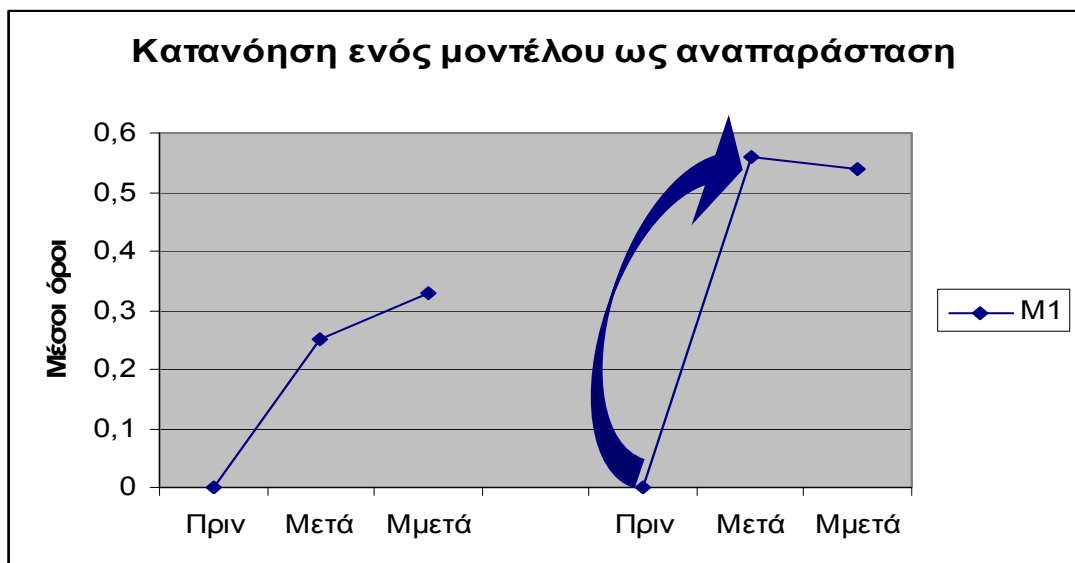
Διάγραμμα 3 Κατανόηση της πυκνότητας ως ιδιότητας του υλικού στα έργα ΠΑΚ1 και ΠΑΚ2 στην πιλοτική (αριστερά) και στην κανονική (δεξιά) εφαρμογή. Με βέλος σημειώνουμε τις στατιστικά σημαντικές μεταβολές.



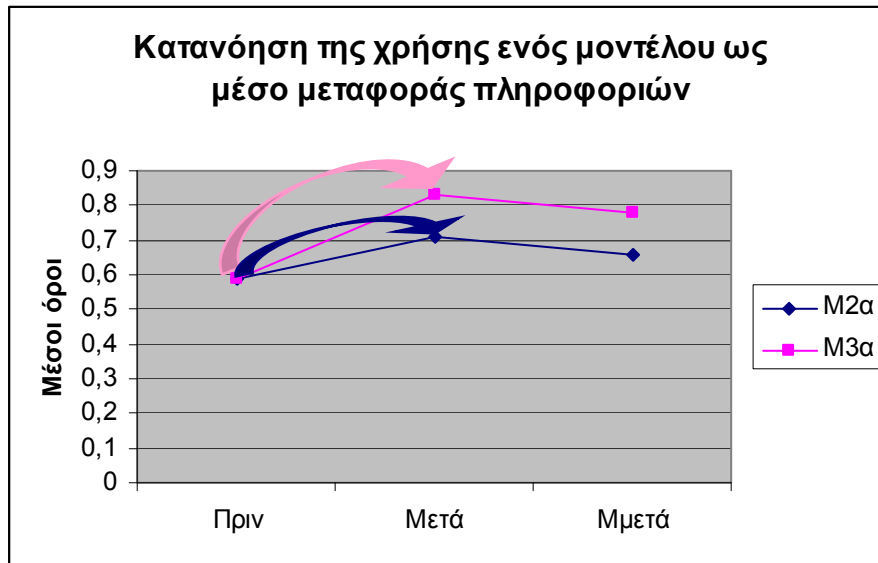
Διάγραμμα 4 Κατανόηση της πυκνότητας ως ιδιότητας του υλικού στο έργο ΠΑΚ3 στην πιλοτική (αριστερά) και στην κανονική (δεξιά) εφαρμογή. Με βέλος σημειώνουμε τις στατιστικά σημαντικές μεταβολές.



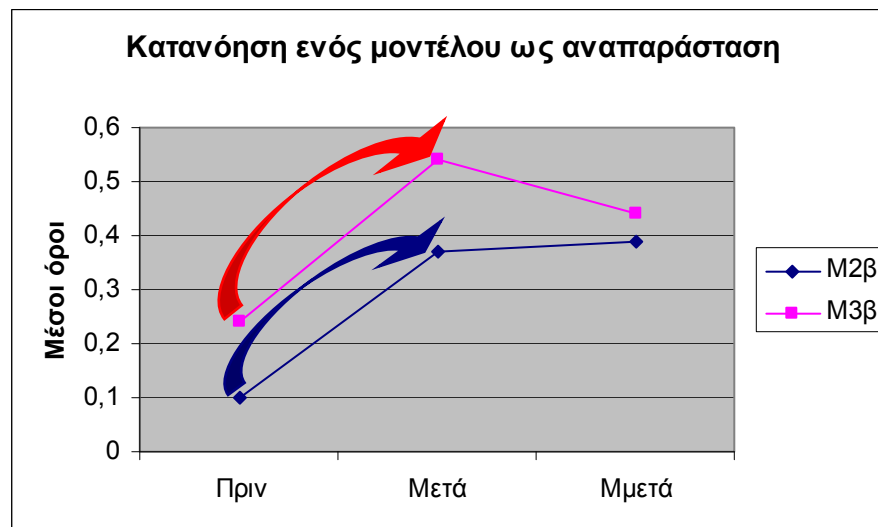
Διάγραμμα 5 Κατανόηση της Στρατηγικής Ελέγχου Μεταβλητών στα έργα ΣΕΜ1α και ΣΕΜ1β στην πιλοτική (αριστερά) και στην κανονική (δεξιά) εφαρμογή. Με βέλος σημειώνουμε τις στατιστικά σημαντικές μεταβολές.



Διάγραμμα 6 Κατανόηση ενός μοντέλου ως αναπαράσταση στο έργο M1 στην πιλοτική (αριστερά) και στην κανονική (δεξιά) εφαρμογή. Με βέλος σημειώνουμε τις στατιστικά σημαντικές μεταβολές.




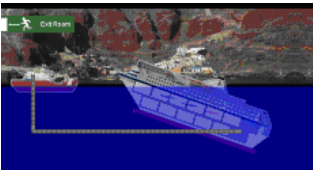




Διάγραμμα 7 Κατανόηση της χρήσης ενός μοντέλου ως μέσο μεταφοράς πληροφοριών στα έργα M2α και M3α στην πιλοτική (αριστερά) και στην κανονική (δεξιά) εφαρμογή. Με βέλος σημειώνουμε τις στατιστικά σημαντικές μεταβολές.



Διάγραμμα 8 Κατανόηση ενός μοντέλου ως αναπαράσταση στα έργα M2β και M3β στην πιλοτική (αριστερά) και στην κανονική (δεξιά) εφαρμογή. Με βέλος σημειώνουμε τις στατιστικά σημαντικές μεταβολές.

Δ Μοντέλα που χρησιμοποιήθηκαν στη ΔΜΣ

Μοντέλο	Ενότητα	Στόχος μοντέλου	Τρόπος αναπαράστασης του μοντέλου	Στόχος του μοντέλου (αντικείμενο, έννοια, διαδικασία, φαινόμενο)
 <p>1. Σιδερένιο μοντέλο πλοίου</p>	1, 4, 5	Περιγραφή	Υλικής υπόστασης	Ένα πλοίο (αντικείμενο)
 <p>2. Σκίτσο πλοίου</p>	1	Περιγραφή	Οπτικός, στατικός	Ένα πλοίο (αντικείμενο)
 <p>3. Μοντέλο «τελίτσες-στο-κυβάκι»</p>	3, 4, 5	Περιγραφή	Οπτικός, στατικός	Η έννοια της πυκνότητας (έννοια) και η σχέση βαρύτερο – ελαφρύτερο υλικό
 <p>4. Προσομοίωση του SEA DIAMOND</p>	5	Περιγραφή	Οπτικός, δυναμικός	Η Π/Β του κρουαζιερόπλοιου Sea Diamond (φαινόμενο)
<p>5. Όταν η πυκνότητα ενός αντικειμένου (ομογενούς ή σύνθετου) είναι περισσότερη από την πυκνότητα ενός υγρού το αντικείμενο βουλιάζει. Όταν η πυκνότητα ενός αντικειμένου (ομογενούς ή σύνθετου) είναι λιγότερη από την πυκνότητα ενός υγρού το αντικείμενο επιπλέει.</p>	4, 5	Αιτιακό μοντέλο, ερμηνεία και πρόβλεψη	Λεκτικός, κανόνας	Το φαινόμενο της Π/Β (φαινόμενο)

	4	Αιτιακό μοντέλο, ερμηνεία και πρόβλεψη	Υλικής υπόστασης	Φαινόμενο μέρας και νύχτας
	4	Περιγραφή	Οπτικός - στατικός	Φαινόμενο μέρας και νύχτας

6. Ηλιοκεντρικό μοντέλο

7. Σκίτσο ηλιοκεντρικού μοντέλου

Ε Το λογισμικό της ΔΜΣ στην κανονική εφαρμογή

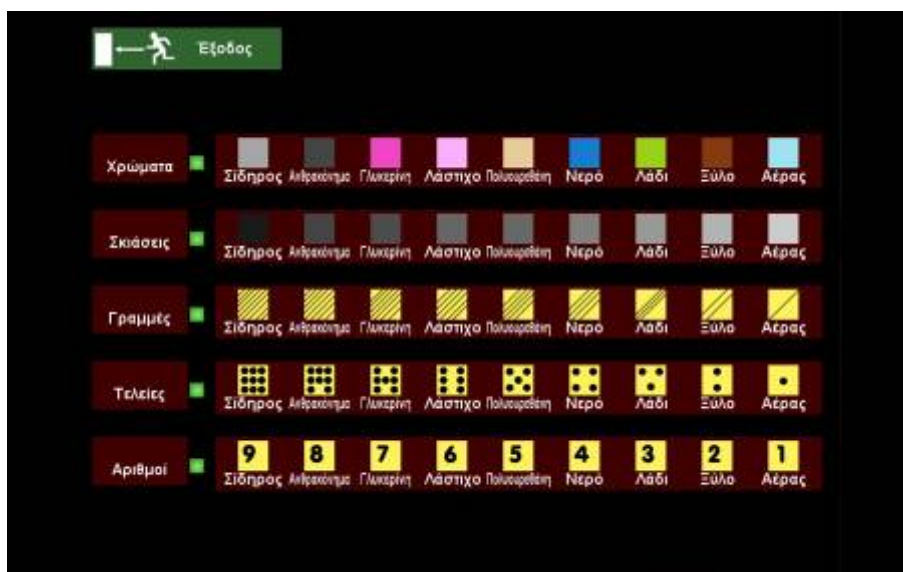
Το λογισμικό, στην μορφή που χρησιμοποιήθηκε στην κανονική εφαρμογή περιλαμβάνει τα εξής:

Τέσσερις ενότητες (“δωμάτια”) όπου οι μαθητές μπορούν να ελέγχουν τις μεταβλητές που πιθανόν επηρεάζουν την Π/Β (Εικόνα 1).



Εικόνα 1 Δωμάτιο για τον έλεγχο της μεταβλητής είδος του υγρού

Μια ενότητα (“δωμάτιο”) το οποίο περιέχει διάφορα μοντέλα που αναπαριστούν την έννοια της πυκνότητας (Εικόνα 4).



Εικόνα 4 Δωμάτιο με τα μοντέλα της πυκνότητας

Δύο ενότητες (“δωμάτια”) όπου οι μαθητές μπορούν να πειραματιστούν με φαινόμενα Π/Β και να εξοικειωθούν με το μοντέλο «τελίτσες-στο-κυβάκι» που αναπαριστά την πυκνότητα, χρησιμοποιώντας το για την πρόβλεψη της Π/Β αντικειμένων (Εικόνα 5).



Εικόνα 5 Δωμάτιο για την εξοικείωση με το μοντέλο «τελίτσες-στο-κυβάκι»

Μια ενότητα (“δωμάτιο”) όπου οι μαθητές μπορούν να πειραματιστούν σε ένα εικονικό προσομοιωμένο περιβάλλον με τη βύθιση και την ανέλκυση του Sea Diamond (Εικόνα 6).



Εικόνα 6 Δωμάτιο προσομοίωση για την εικονική βύθιση και ανέλκυση του Sea Diamond

Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας ανάπτυξης του λογισμικού, αντιμετωπίσαμε το ακόλουθο πρόβλημα: το Game Maker δεν περιλαμβάνει κανένος είδους εσωτερική υδροδυναμική μηχανή για την αναπαράσταση της π/β. Γι' αυτό χρησιμοποιήθηκε η βιβλιοθήκη Game Physics, ώστε να επιτευχθεί η κατά το δυνατό ρεαλιστικότερη απεικόνιση των διαδικασιών που διαπραγματεύονται οι μαθητές. Επιπλέον, το λογισμικό είναι συμβατό με λειτουργικά της Microsoft όπως τα MS Windows XP και Vista καθώς και νεότερα.