



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΚΟΙΝΩΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΑΝΘΡΩΠΙΣΤΙΚΩΝ
ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

Συνεργαζόμενα τμήματα

ΠΑΙΔΑΓΩΓΙΚΟ ΝΗΠΙΑΓΩΓΩΝ
ΔΗΜΟΤΙΚΗΣ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗΣ

«ΕΠΙΣΤΗΜΟΛΟΓΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΚΡΙΤΙΚΗ ΣΤΗ ΔΟΜΗ
ΜΙΑΣ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΕΜΒΑΣΗΣ ΣΕ ΠΑΙΔΙΑ
ΓΥΜΝΑΣΙΟΥ, ΣΤΗ ΘΕΜΑΤΙΚΗ ΤΗΣ ΟΠΤΙΚΗΣ»

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΗΣ ΧΑΤΖΗΠΕΤΡΟΥ ΜΑΡΙΑΣ

ΦΛΩΡΙΝΑ, ΜΑΡΤΙΟΣ 2023

ΑΦΙΕΡΩΣΗ

Στον πατέρα μου

Περιεχόμενα	
<u>Περίληψη</u>	5
<u>Abstract</u>	6
<u>Ευχαριστίες</u>	7
<u>ΕΙΣΑΓΩΓΗ</u>	8
<u>Επιστήμη και Φιλοσοφία</u>	8
<u>ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ</u>	18
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο: Η ΔΙΔΑΚΤΙΚΗ ΤΩΝ ΦΥΣΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ, ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΡΕΥΜΑΤΑ ΚΑΙ ΝΕΕΣ ΤΑΣΕΙΣ</u>	18
1.1 Χαρακτηριστικά της Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών	18
1.2 Τα πρώτα βήματα της Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών	20
1.3 Παραδοσιακό μοντέλο	21
1.4 Ανακαλυπτικό μοντέλο	22
1.5 Εποικοδομητικό μοντέλο	24
1.6 Επιστημονικός γραμματισμός	28
1.7 Διερεύνηση	30
1.8 Διδακτικές Μαθησιακές Ακολουθίες (ΔΜΑ)	30
1.9 Διδακτικός Μετασχηματισμός Περιεχομένου	31
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο: Η ΕΠΙΣΤΗΜΟΛΟΓΙΑ ΤΟΥ ΙΑΝ HACKING</u>	35
2.1 Η Παρεμβατική όψη της επιστήμης	35
2.2 Η φιλοσοφία του πειράματος από τον Ian Hacking	37
2.3 Το μοντέλο CEI του Ian Hacking	39
2.3.1 Υλικές Οντότητες / Cosmos	39
2.3.2 Τεκμήρια – Evidence	40
2.3.3 Ιδέες / Ideas	40
2.4 Αξιοποίηση του μοντέλου CEI στη διδασκαλία των φυσικών επιστημών	
44	
2.4.1 Έρευνα I	48
2.4.2 Έρευνα II	49
2.4.3 Έρευνα III	50
<u>ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ</u>	52
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο: ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗΣ ΜΟΥΣΟΥΛΜΑΝΟΠΑΙΔΩΝ ΚΑΙ ΤΟ ΔΙΔΑΚΤΙΚΟ ΥΛΙΚΟ ΠΡΟΣ ΑΝΑΛΥΣΗ</u>	52
3.1 Το πρόγραμμα «Εκπαίδευση Μουσουλμανοπαίδων 2002-04, Εκπαίδευση στις Επιστήμες»	52

3.2 Σχεδιαστικές αρχές του ΠΕΜ (2002-2004).....	54
3.3 Επιστημολογικοί παράγοντες που καθόρισαν το σχεδιασμό του ΠΕΜ...55	
3.4 Χαρακτηριστικά του διδακτικού υλικού του ΠΕΜ.....	58
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4ο : ΕΠΙΣΤΗΜΟΛΟΓΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟΥ ΥΛΙΚΟΥ «Ο ΚΟΣΜΟΣ ΤΗΣ ΦΩΤΕΙΝΗΣ ΑΚΤΙΝΑΣ»</u>	60
4.1 Ερευνητικά ερωτήματα	60
4.2. Παρουσίαση του υλικού προς ανάλυση	61
4.2.1 Γενικά χαρακτηριστικά του υλικού	61
4.2.2 Περιγραφή του διδακτικού υλικού	62
4.3 Μεθοδολογία Ανάλυσης.....	64
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5ο : ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ</u>	66
5.1 1 ^ο Μάθημα: Μαθαίνουμε για τον Κόσμο της Σκιάς (ενότητες 1 - 4).....	66
5.2 2 ^ο Μάθημα: Ο Κόσμος των Φωτεινών Ακτινών (ενότητες 5-9)	72
5.3 3 ^ο Μάθημα: Ο Κόσμος των ειδώλων (ενότητες 10-15).....	85
5.4 Σύνοψη Αποτελεσμάτων	103
5.4.1 1 ^ο Μάθημα	103
5.4.2 2ο Μάθημα.....	105
5.4.3 3ο Μάθημα.....	108
5.5 Γενική σύνοψη αποτελεσμάτων	113
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6ο : ΣΥΖΗΤΗΣΗ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ –ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΕΠΕΚΤΑΣΗΣ</u>	116
6.1 Συζήτηση - Συμπεράσματα.....	116
6.2 Περιορισμοί	119
6.3 Προτάσεις προέκτασης.....	119
<u>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</u>	120

Περίληψη

Η έρευνα στη Διδακτική των Φυσικών Επιστημών έχει αναγνωρίσει πρόσφατα την αναγκαιότητα μετασχηματισμού του επιστημονικού περιεχομένου σε περιεχόμενο κατάλληλο προς διδασκαλία. Παράλληλα, έχει επισημάνει πως ο οποιοσδήποτε μετασχηματισμός, εμπεριέχει αναπόφευκτα επιστημολογικές διαστάσεις οι οποίες καθορίζουν την όψη της επιστήμης που προβάλλεται και επηρεάζουν τη διδασκαλία.

Στην παρούσα εργασία πραγματοποιείται η επιστημολογική ανάλυση και κριτική στη δομή μιας εκπαιδευτικής παρέμβασης στη θεματική της Οπτικής για παιδιά γυμνασίου. Η συγκεκριμένη διδακτική πρόταση σχεδιάστηκε βάσει του επιστημολογικού μοντέλου CEI του Ian Hacking προσαρμοσμένο σε εκπαιδευτικά πλαίσια. Σύμφωνα με το μοντέλο, οι επιστήμονες στις εργαστηριακές πρακτικές διαχειρίζονται τρία διαφορετικά είδη οντοτήτων που είναι οι Υλικές Οντότητες (Κόσμος), τα Τεκμήρια και οι Ιδέες. Στα πλαίσια των εργαστηριακών πρακτικών τους, οι επιστήμονες πραγματοποιούν συνδέσεις μεταξύ των οντοτήτων παρεμβαίνοντας στον Υλικό Κόσμο, παράγοντας Τεκμήρια και αναπαριστώντας τόσο με παρατηρησιακούς όσο και με θεωρητικούς όρους τον Κόσμο και την λειτουργία του. Οι ίδιες αυτές πρακτικές μπορούν να εφαρμοστούν σε εκπαιδευτικά πλαίσια και να παρέχουν τη δυνατότητα στους μαθητές να κατανοήσουν τον επιστημονικό τρόπο έρευνας.

Η ανάλυση του εκπαιδευτικού υλικού εξετάζει την αυτό-συνέπεια του σε σχέση με το μοντέλο CEI καθώς και τους τρόπους με τους οποίους προωθούνται οι αναμενόμενες συνδέσεις. Τα αποτελέσματα έδειξαν πως το διδακτικό υλικό είναι συνεπές ως προς το επιστημολογικό μοντέλο το οποίο καθόρισε το σχεδιασμό του. Επιπλέον, διαπιστώθηκε πως το υλικό, πλούσιο σε εργαστηριακές δραστηριότητες, παρέχει στους μαθητές τη δυνατότητα να πραγματοποιούν τις αναμενόμενες συνδέσεις, να παρεμβαίνουν με επιτυχία στον Κόσμο και να αναπτύσσουν τις ανάλογες αναπαραστάσεις σε συμφωνία με τις επιστημονικές Ιδέες.

Λέξεις κλειδιά: Διδακτική των Φυσικών Επιστημών, Επιστημολογία, Διδακτικός Μετασχηματισμός Περιεχομένου, CEI μοντέλο, Οπτική

Abstract

Research in Science Education has recently recognized the necessity of transforming scientific content into content suitable for teaching. At the same time, it has pointed out that any transformation, inevitably includes epistemological dimensions which determine the aspect of science that is projected and consequently affect teaching.

In this paper, the epistemological analysis and criticism of the structure of an educational intervention in the field of Optics for high school children is carried out. The specific teaching proposal was designed based on Ian Hacking's CEI epistemological model adapted to educational contexts. According to the model, scientists in laboratory practices manage three different kinds of entities which are Material Entities (Cosmos), Evidence and Ideas. In the context of their laboratory practices, scientists make connections between these entities by intervening in the Cosmos, producing Evidence and representing in both observational and theoretical terms the World and its functioning. These same practices can be applied in educational contexts and enable students to understand the scientific way of inquiry.

The analysis of the educational proposal examines its self-consistency in relation to the CEI model as well as the ways in which the expected connections are promoted. The results showed that the teaching proposal is consistent with the epistemological model that determined its design. In addition, it was found that the educational material, rich in laboratory activities, provides the students with the possibility to make the expected connections, to successfully intervene in the material world and to develop the analogical representations in accordance with the scientific Ideas.

Keywords: Science Education, Epistemology, Didactic Transformation, CEI model, Optics

Ευχαριστίες

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Αναστάσιο Ζουπίδη για την υποστήριξη της προσπάθειάς μου. Με καθοδήγησε προσεκτικά και με υπομονή σε ένα αρκετά δύσκολο δρόμο. Ένα μεγάλο ευχαριστώ στον καθηγητή μου κ. Βασίλη Τσελφέ ο οποίος αποτέλεσε την έμπνευση για την παρούσα εργασία. Οι υποδείξεις του αποδείχτηκαν πολύτιμες μέχρι το τέλος. Θα ήθελα ακόμη να ευχαριστήσω την κ. Πηνελόπη Παπαδοπούλου, υπεύθυνη του μεταπτυχιακού, για την άμεση ανταπόκριση της σε οποιοδήποτε ζήτημα χρειάστηκε να ζητήσω τη βοήθεια της, αλλά και για το ενδιαφέρον που έδειξε σε όλους τους μεταπτυχιακούς φοιτητές. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου, όλους τους φίλους και συγγενείς που με στήριξαν και με βοήθησαν ο καθένας με το δικό του τρόπο στην προσπάθειά μου.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Επιστήμη και Φιλοσοφία

Η επιστήμη αναμφίβολα είναι ένα από τα μεγαλύτερα επιτεύγματα της ανθρώπινης διανόησης. Σύμφωνα με τον Ράσσελ (1963) η επιστήμη δεν είναι τίποτε άλλο παρά η συστηματική αναζήτηση της γνώσης. Η αναζήτηση αυτή έχει τις ρίζες της στην ανάγκη των ανθρώπων να κατανοήσουν τη φύση και τις δυνάμεις της με σκοπό αρχικά την επιβίωση και στη συνέχεια τη βελτίωση της ζωής τους. Για να το πετύχουν αυτό οι άνθρωποι έπρεπε να παρατηρούν, να σκέφτονται και να καταλήγουν σε γενικεύσεις οι οποίες συνήθως συντελούσαν στη διαμόρφωση κοσμοαντιλήψεων που περιείχαν αρκετά στοιχεία μυθοπλασίας αλλά και ίχνη αλήθειας. Σταδιακά, οι άνθρωποι προχώρησαν στη συστηματική μελέτη των φαινομένων και μέσα από αυτή τη διαδικασία δημιούργησαν τα πρώτα εργαλεία και τις τεχνικές που εξυπηρετούσαν την άμεση ικανοποίηση των πρακτικών τους αναγκών (Χαλικιάς Μ.,χ.χ.).

Στις περιοχές της Μεσοποταμίας και της Αιγύπτου εντοπίζονται πίνακες πολλαπλασιασμού, η έννοια του κλάσματος, αστρονομικές παρατηρήσεις καθώς και γνώσεις ανατομίας. Ωστόσο, οι γνώσεις αυτές ήταν σε μεγάλο βαθμό συνδεδεμένες με θρησκευτικές δοξασίες και αντιλήψεις ενώ το βασικό κίνητρο για την παραγωγή τους ήταν καθαρά πρακτικό. Ο βαθμός συσσώρευσης των γνώσεων σε συνδυασμό με τις κατάλληλες οικονομικές και κοινωνικές συνθήκες στην περιοχή της Μ. Ασίας και συγκεκριμένα στις πόλεις της Ιωνίας, ευνόησαν την ανάπτυξη νέων αντιλήψεων. Η συγκυρία αυτών των παραγόντων επέτρεψε στον άνθρωπο να περάσει από τις θρησκευτικές δοξασίες και τη μυθολογία στη φιλοσοφία, και λίγο αργότερα από την προ επιστήμη στην επιστήμη. Οι Έλληνες φιλόσοφοι είναι οι πρώτοι που θα χρησιμοποιήσουν τον ορθολογικό τρόπο σκέψης στην προσπάθειά τους να εξηγήσουν τον κόσμο. Διαχωρίζουν την κοινωνική από τη φυσική πραγματικότητα, αποσπούν το υποκείμενο από τη φυσική ολότητα στην οποία εντάσσεται και επιχειρούν μια αντικειμενική παρατήρηση του κόσμου (Δρακόπουλος, 2015).

Ο όρος επιστήμη προέρχεται από το αρχαίο ελληνικό ρήμα «επίσταμαι» που σημαίνει «γνωρίζω καλά», «έχω έγκυρη, ορθή, ουσιαστική γνώση». Η

φιλοσοφία είναι η πρώτη που θα ερευνήσει το πρόβλημα της έγκυρης γνώσης, δηλαδή το πρόβλημα της επιστήμης. Στην κοινή αφετηρία τους, φιλοσοφία και επιστήμη συμβαδίζουν και θέτουν τα πρώτα κοσμολογικά ερωτήματα, τις πρώτες γνωσιολογικές έννοιες και επιχειρούν να προσεγγίσουν το ζήτημα εγκυρότητας της γνώσης. Η επιστήμη λοιπόν θεμελιώνεται μαζί με τη φιλοσοφία και πάνω στη φιλοσοφία (Βιρβιδάκης, Καρασμάνης & Τουρνά, 2019).

Ο φιλοσοφικός λόγος αναπτύχθηκε προσπαθώντας να κατακτήσει μια «καθολική γνώση» για τον κόσμο βασιζόμενος στη λογική, επιχειρώντας με αυτόν τον τρόπο να αναπαραστήσει και να εξηγήσει την πραγματικότητα (Χαλικιάς Μ.,χ.χ). Κατασκεύασε έννοιες τις οποίες σταδιακά εξέλιξε στοχεύοντας σε μονοσήμαντες, γενικεύσιμες περιγραφές, συγκροτημένες στις «αρχές του ορθού λόγου» (Τσελφές, 2016). Μπορούμε να πούμε πως η φιλοσοφία αποτελεί τη πιο γενική μα και ουσιαστική συνείδηση του ανθρώπου να ερμηνεύσει τον κόσμο και τον εαυτό του (Μουρέλος, 1991).

Ωστόσο, οι Φυσικές Επιστήμες εξέλιξαν το φιλοσοφικό λόγο παράγοντας ειδική γνώση βάσει συγκεκριμένων μεθόδων και τεχνικών, ικανή να διατυπώνει γενικούς νόμους αναφερόμενους σε μια σειρά ειδικών περιπτώσεων. Σύμφωνα με τη μεθοδολογία και τα κριτήρια που ανέπτυξαν, οι πρώτες επιστήμες που αυτονομήθηκαν είναι τα μαθηματικά, η αστρονομία και η ιατρική, την εποχή της κλασικής αρχαιότητας και κυρίως την αλεξανδρινή περίοδο. Οι υπόλοιπες επιστήμες θα παραμείνουν συνδεδεμένες με τη φιλοσοφία. Η σκέψη του Πλάτωνα και του Αριστοτέλη θα κυριαρχήσει για πολλούς αιώνες. Η αντίληψη τους για την επιστήμη ως γνώση των αιώνιων και καθολικών αληθειών, η αναζήτηση της ουσίας πίσω από τα φαινόμενα και η απόρριψη της εμπειρικής διάστασης στην επιστήμη, θα περιορίσουν τη διαδικασία εξέλιξης της επιστημονικής γνώσης (Δρακόπουλος, 2015). Κατά τη διάρκεια του Μεσαίωνα, η επιστημονική δραστηριότητα θα εστιάσει στο σχολιασμό των έργων του Αριστοτέλη στα πλαίσια της χριστιανικής σχολαστικής θεολογίας. Ωστόσο, το πνεύμα της αναγέννησης θα αρχίσει σταδιακά να εκτοπίζει τη σχολαστική φιλοσοφία. Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα να εμφανιστεί μια νέα περίοδος για τις Φυσικές Επιστήμες (Κόκκοτας, 1999).

Μέσα από μια μακρόχρονη διαδικασία ρήξης με τη σχολαστική παράδοση, η επιστήμη πλέον προσανατολίζεται προς τη φύση ενώ παράλληλα εδραιώνεται η αξιοπιστία των αισθήσεων (Μπιτσάκης, 1987). Πιο συγκεκριμένα, ο Richard Bacon (13ος αιώνας) εισάγει την πειραματική έρευνα ως ένα σημαντικό εργαλείο της επιστημονικής μεθόδου. Παράλληλα, άλλοι σύγχρονοι του Bacon συγγραφείς, όπως ο D. Scottus, προτείνουν την πειραματική διαδικασία. (Δρακόπουλος, 2015).

Το πρώτο κριτήριο για την οριοθέτηση των επιστημών και της εγκόσμιας θεολογίας προτάθηκε από τους νομιναλιστές (πρώτοι εμπειριστές) στο τέλος των μέσων χρόνων. Οι νομιναλιστές έστρεψαν την προσοχή τους στο πείραμα και την παρατήρηση προσανατολίζοντας την επιστήμη στην μελέτη των φαινομένων του φυσικού κόσμου και όχι στην αναζήτηση ουσιών (Μπιτσάκης, 1987). Στην πραγματικότητα, η επιστημονική μέθοδος όπως την εννοούμε σήμερα εμφανίστηκε με τον Γαλιλαίο (1564-1642) και σε μικρότερο βαθμό με τον Κέπλερ (1571-1630). Ο Γαλιλαίος συνδύασε στοιχεία της επιστημονικής μεθόδου όπως το πείραμα, τη λογική παραγωγή και το μαθηματικό φορμαλισμό (Δρακόπουλος, 2015). Όπως υποστηρίζει ο Ράσσελ, ο Γαλιλαίος και ο Κέπλερ κατείχαν την επιστημονική μέθοδο στην πληρότητα της: *«Κατάφεραν να προχωρήσουν από την παρατήρηση μεμονωμένων γεγονότων στη διατύπωση ακριβών ποσοτικών νόμων, που με τη βοήθεια τους μπορούσαν να προβλεφθούν μελλοντικά λεπτομερειακά γεγονότα»* (Ράσσελ, 1963). Η επιστήμη έτσι αποκτά ένα από τα κυριότερα γνωρίσματα της, δηλαδή την ικανότητα να εξηγεί και να προβλέπει γεγονότα. Το έργο του Γαλιλαίου και του Κέπλερ θα αποτελέσει τη βάση για την πραγματοποίηση της επιστημονικής επανάστασης. Αυτή θα ολοκληρωθεί με τους νόμους του Νεύτωνα (1642-1727) οι οποίοι θα θέσουν τα θεμέλια για το οικοδόμημα της Κλασικής Φυσικής (Chalmers, 2000).

Η ανάπτυξη των Φυσικών Επιστημών θα είναι ραγδαία καθώς αυτή θα ενσωματωθεί στον παραγωγικό μηχανισμό της κοινωνίας. Ουσιαστικά, η επιστήμη ως σημαντικός παράγων στην ανθρώπινη ζωή αρχίζει με το Γαλιλαίο. Επιπλέον, η έννοια της επιστήμης ως γνώση ορισμένου είδους, σταδιακά εκτοπίζεται από την έννοια της επιστήμης ως δύναμης που δαμάζει τη φύση (Ράσσελ, 1963). Οι επιστήμονες πίστευαν πως ο κόσμος εξηγείται θαυμάσια με τους τρεις νόμους του Νεύτωνα και θεωρούσαν τη φυσική ως μια τελειωμένη

επιστήμη καθώς και την επιστημονική γνώση πρότυπο για την προσέγγιση της αλήθειας των φυσικών φαινομένων (Eco & Fedriga, 2018).

Ωστόσο, στις αρχές του 20^{ου} αιώνα, οι στέρεες βάσεις που τέθηκαν από τον Νεύτωνα θα κλονιστούν συθέμελα από τη θεωρία της Σχετικότητας του Αϊνστάιν καθώς και από τη Κβαντική Θεωρία. Οι νέες εξελίξεις θα αναδείξουν το δυναμικό χαρακτήρα της επιστήμης σύμφωνα με τον οποίο η γνώση υπόκειται σε διαδικασία συνεχούς αλλαγής και ελέγχου. Κατά τη διάρκεια των αλλαγών που πραγματοποιήθηκαν στη επιστήμη και παρόλη την αυτονόμηση της από τη φιλοσοφία, η επιστήμη δε σταμάτησε να συνδιαλέγεται μαζί της. Πίσω από κάθε μεγάλο επιστημονικό σύγγραμμα που έχει αλλάξει την πορεία της επιστήμης θα δούμε ότι κοντά στις ειδικές γνώσεις που αναπτύσσονται παρελαύνει μια σειρά από φιλοσοφικές αναλύσεις (Μουρέλος, 1991).

Ειδικότερα η **Επιστημολογία**, ως κλάδος της φιλοσοφίας, είναι αυτή που ερευνά και εξετάζει κριτικά τη φύση και τη λειτουργία των επιστημών κατέχοντας σημαντικό ρόλο στη θεμελίωση, ανάπτυξη και κατανόηση τους. Διερευνά τις ποικίλες έννοιες που εκφράζουν τη δομή της σύγχρονης επιστημονικής σκέψης καθώς και τα όρια και το νόημα της ίδιας της επιστημονικής γνώσης στην προσπάθεια της να πλησιάσει με το δικό της τρόπο την πραγματικότητα (Μουρέλος, 1991). Σύμφωνα με τον Μπιτσάκη: « *Επιστημολογία είναι ο λόγος περί επιστήμης. Ερευνά τη σύσταση, τον καταστατικό ορισμό, την κατάταξη και την εξέλιξη των επιστημών, τη λειτουργία των ενδογενών και εξωγενών παραγόντων που καθορίζουν αυτήν την εξέλιξη, τις σχέσεις ανάμεσα στη θεωρία και το πείραμα, το χαρακτήρα των επιστημονικών κρίσεων και επαναστάσεων, το status της επιστημονικής αλήθειας κ.λπ.*» (Μπιτσάκης, 1987, σ.127). Η επιστημολογία ως όρος είναι σύγχρονος και συχνά ταυτίζεται, συνήθως στην αγγλοσαξωνική φιλολογία, με τη γνωσιολογία. Ωστόσο, είναι ένας κλάδος πιο περιορισμένος από την παραδοσιακή θεωρία της γνώσης που διατηρεί οργανική σχέση με αυτή. Συνδέεται άμεσα με την ιστορία των επιστημών, τη γνωσιοθεωρία, τη λογική, την εξέλιξη της τεχνικής και γενικότερα με την ιστορία. Η επιστημολογία ως θεωρία του γίνεσθαι των επιστημών αποτελεί οργανικό μέρος της ιδεολογίας κάθε εποχής γεγονός που ερμηνεύει την ύπαρξη πολλαπλών ρευμάτων.

Ένα ακόμη πεδίο μελέτης στο οποίο συγκλίνουν διάφορες όψεις της φιλοσοφικής, κοινωνιολογικής και ιστορικής έρευνας είναι αυτό της ιστορίας της επιστήμης. Στα πλαίσια της αναπτύσσονται συζητήσεις σχετικά με τα κριτήρια οριοθέτησης του επιστημονικού πεδίου και τις κοινωνικές και πολιτικές συνέπειες της επιστήμης και της ιστορίας της. Το φαινόμενο της επιστήμης όταν εξετάζεται από ιστορική άποψη παρουσιάζεται ως ένα οικονομικό, πολιτικό, ηθικό και κοινωνικό φαινόμενο υψηλής πολυπλοκότητας (Eco & Fedriga, 2018).

Όσον αφορά τις **Φυσικές Επιστήμες** ένας αναλυτικότερος ορισμός δίνεται από το Oxford English Dictionary όπου οι Φυσικές Επιστήμες περιγράφονται ως «*ένας τομέας μελέτης, ο οποίος ασχολείται με έναν αλληλοσχετιζόμενο αριθμό αληθειών που μπορούν να αποδειχθούν με πειραματικά δεδομένα συστηματικά ταξινομημένα, που τις περισσότερες φορές συσχετίζονται με το να φέρονται κάτω από γενικούς νόμους και που περιλαμβάνει αξιόπιστες μεθόδους για την ανακάλυψη νέων αληθειών στη φύση*» (Κόκκοτας, 1999, σ.29).

Πέρα από έναν ορισμό που μπορούμε να διατυπώσουμε, οι Φυσικές Επιστήμες συνιστούν μια δραστηριότητα η οποία χαρακτηρίζεται από αυτό που αποκαλούμε επιστημονικό τρόπο σκέψης, από τις διαδικασίες που ακολουθούν οι επιστήμονες στην επιστημονική τους έρευνα, δηλαδή τη μεθοδολογία και από τα επιτεύγματα των προσπαθειών τους που είναι οι νόμοι, οι θεωρίες, οι αρχές κ.λπ..

Η μεθοδολογία γενικότερα αποτελείται από μια σειρά σαφώς καθορισμένων διαδικασιών μέσω των οποίων οι επιστήμονες γνωρίζουν την πραγματικότητα, ανακαλύπτουν τους νόμους της φύσης και καταλήγουν στη διατύπωση θεωριών για την εξήγηση των φαινομένων. Η επιστημονική μεθοδολογία στην ουσία συνιστά μια σύνθετη διαδικασία η οποία ωστόσο διακρίνεται από σταθερότητα δίνοντας τη δυνατότητα στους επιστήμονες να την εφαρμόζουν ανεξάρτητα ο ένας από τον άλλο. Η επιστημονική μέθοδος διακρίνεται σε δύο κύρια είδη, την επαγωγική και την παραγωγική μέθοδο. Επαγωγή είναι η μέθοδος σύμφωνα με την οποία βάσει εμπειρικών δεδομένων καταλήγουμε σε γενικά συμπεράσματα, ενώ η παραγωγή συνίσταται στην εκ των προτέρων αποδοχή μιας πρότασης βάσει της οποίας εξετάζεται ή ερμηνεύεται το εν λόγω φαινόμενο. Στην επιστημονική μεθοδολογία εντάσσονται και επιπλέον διαδικασίες οι κυριότερες από τις οποίες είναι η παρατήρηση, η μέτρηση, η

ταξινόμηση, οι χωροχρονικές σχέσεις, η πρόβλεψη, η αναγνώριση και ο έλεγχος των μεταβλητών, το πείραμα, η διατύπωση λειτουργικών ορισμών, η ερμηνεία δεδομένων και η εξαγωγή συμπερασμάτων καθώς και η επικοινωνία (Σπυροπούλου, 2005).

Με τον όρο «επιστημονικός τρόπος σκέψης» εννοείται η τάση του ανθρώπου να παρατηρεί προσεκτικά, να ερευνά τα αίτια που προκαλούν κάποια φαινόμενα και τέλος να καταφέρνει να συσχετίζει τα αποτελέσματα των παρατηρήσεων του. Στις διαδικασίες αυτές χρησιμοποιούνται έννοιες, δηλαδή γενικευμένες ιδέες που προκύπτουν από ειδικές και σχετικές εμπειρίες (π.χ. δύναμη, μαγνήτης, κύτταρο, μάζα κ.λπ.) και επιστημονικές αρχές δηλαδή γενικεύσεις που περιλαμβάνουν σχετικές έννοιες (π.χ. τα μέταλλα θερμαινόμενα διαστέλλονται). Οι επιστήμονες, χρησιμοποιώντας τις παρατηρήσεις τους, πραγματοποιούν γενικεύσεις και αναγνωρίζουν σχέσεις μεταξύ των φαινομένων οι οποίες αποτελούν τους νόμους της φύσης. Επίσης, διατυπώνουν επιστημονικές θεωρίες οι οποίες αποτελούν μια ευρύτερη γενίκευση των συσχετιζόμενων επιστημονικών αρχών για να εξηγήσουν κάποια φαινόμενα (Κόκκοτας, 1999).

Το σύνολο των επιστημονικών διαδικασιών χαρακτηρίζεται έντονα από το στοιχείο της ορθολογικότητας το οποίο και αποτελεί κύριο γνώρισμα της επιστήμης. Ο επιστημονικός τρόπος σκέψης διακρίνεται επίσης για τη διορατικότητα, τη φαντασία και τη δημιουργική ικανότητα (Κόκκοτας, 1999). Το ανθρώπινο πνεύμα λειτουργεί δημιουργικά συλλαμβάνοντας με τη φαντασία του παραστατικά σχήματα των φαινομένων και στη συνέχεια μέσα από επίμονη ορθολογική προσπάθεια προσδίδει στα σχήματα τυπική μορφή (μαθηματική διατύπωση). Η ταυτόχρονη αυτή προσπάθεια της φαντασίας και του νου αποτελεί πρωτεύον γνώρισμα της επιστήμης (Μουρέλος, 1987).

Στο χώρο της Επιστημολογίας συναντούμε βασικές θέσεις για το πρόβλημα της γνώσης καθώς και πρότυπα ερμηνείας του κόσμου τα οποία αναπτύχθηκαν στα πλαίσια της φιλοσοφίας. Έτσι, ο ορθολογισμός εξηγεί τα φαινόμενα με βάση την προβολή των σχημάτων στο νου μας και την ανταπόκριση που υπάρχει ανάμεσα στην πορεία του ορθού λόγου και τη δομή του κόσμου. Ο εμπειρισμός κατά έναν τρόπο κάνει το ίδιο μόνο που δε βασίζεται στη δομή του νου για να καθορίσει τη δομή του κόσμου αλλά στην αντανάκλαση των

δεδομένων έτσι όπως προσλαμβάνονται από τις αισθήσεις μας. Ο σχετικισμός με όλες του τις μορφές, παρουσιάζει ένα πρότυπο ερμηνείας του κόσμου που σχετίζει τη μορφή και το περιεχόμενο της είτε από τη διάπλαση του γνωστικού οργάνου είτε από τη θέση του παρατηρητή. Ο ιδεαλισμός βρίσκει στην ύπαρξη της ιδέας το πρότυπο για το καθετί. Ο ρεαλισμός υποστηρίζει πως είναι η ίδια η υφή του εξωτερικού κόσμου που αποτελεί το πρότυπο της γνώσης (Μουρέλος, 1987).

Η επιστημολογία, όπως ήδη έχει αναφερθεί, διερευνά τη φύση της επιστημονικής γνώσης και τους τρόπους με τους οποίους αυτή παράγεται. Εξετάζει τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της επιστήμης, τις μεθόδους που αυτή χρησιμοποιεί καθώς και τη διαδικασία αλλαγής και εξέλιξης της (Κόκκοτας, 1998).

Από την εποχή της επιστημονικής επανάστασης μέχρι και την δημοσίευση το 1905 της ειδικής θεωρίας της σχετικότητας του Αϊνστάιν, η επιστήμη βασιζόταν στην επαγωγική μέθοδο (Στεφανίδου, 2013). Οι φυσικές επιστήμες εξελίχθηκαν μέσα στα πλαίσια του ορθολογικού μηχανιστικού προτύπου που καθιέρωσαν ο Ντεκάρτ και ο Νεύτωνας. Στο πλαίσιο αυτό εγκαθιδρύεται η θετικιστική άποψη η οποία εξυμνεί την επιστήμη και θεωρεί πως η μεθοδολογία των Φυσικών Επιστημών είναι η μόνη διαδικασία σε θέση να παράγει έγκυρη γνώση καθώς και πως το μηχανικό παράδειγμα αποτελεί τη κατεξοχήν μορφή εξήγησης των φαινομένων. Επιπλέον, στο ίδιο πλαίσιο, οι Φυσικές Επιστήμες θεωρούνται ως η μοναδική θεμιτή πηγή γνώσης και κερδίζουν την πλήρη εμπιστοσύνη της κοινωνίας (Eco & Fedriga, 2018).

Τη δεκαετία του 1920 δημιουργείται στη γερμανόφωνη Ευρώπη ένα φιλοσοφικό ρεύμα με τον όρο Λογικός Θετικισμός το οποίο θα επικρατήσει μέχρι και τη δεκαετία του 1960. Πρόκειται για ένα ρεύμα που ενώ έχει κοινά σημεία τόσο με τον κλασικό Εμπειρισμό όσο και τον παλιό Θετικισμό ωστόσο, η ανάπτυξη της συμβολικής λογικής στις αρχές του 20^{ου} αιώνα θα του παράσχει ένα αποτελεσματικό όργανο για την ανάπτυξη συλλογισμών. Ο Λογικός Θετικισμός υποστηρίζει πως η επιστημονική αντίληψη του κόσμου είναι εμπειρική, βασίζεται σε άμεσα δεδομένα και η επιστημονική δραστηριότητα θεμελιώνεται σε παρατηρησιακή βάση ενώ η θεωρία καθορίζεται από την παρατήρηση (Eco &

Fedriga, 2018; Galison, 1988). Η επιστήμη αναπτύσσεται επαγωγικά και η παρατήρηση δεν επηρεάζεται από άλλους παράγοντες. Επιπλέον, η επιστημονική πρόοδος αντιμετωπίζεται ως μια συνεχή συσσωρευτική διαδικασία και θεωρείται στατική και ολοκληρωμένη δομή (Kuhn, 1970). Σύμφωνα με τον Chalmer (2000), ο Λογικός Θετικισμός γεννήθηκε τη στιγμή που η Φυσική με την έλευση της Κβαντικής Φυσικής και της Θεωρίας της Σχετικότητας αναπτυσσόταν ραγδαία κατά έναν τρόπο που δύσκολα μπορεί να συμβιβαστεί με το Θετικισμό.

Ο Λογικός Θετικισμός θα δεχτεί κριτική από διάφορους επιστημολόγους. Κύριος εκπρόσωπος αυτής της κριτικής είναι ο αυστριακός φιλόσοφος Carl Popper. Η θέση του Popper έρχεται σε αντίθεση με την επαγωγική λογική. Ο ίδιος υποστηρίζει πως ενώ χρειαζόμαστε άπειρα θετικά πειράματα ή παρατηρήσεις για την επαλήθευση μιας υπόθεσης, ένα μόνο αρνητικό πείραμα ή παρατήρηση είναι αρκετά για να διαψεύσουν μια υπόθεση. Μια θεωρία λοιπόν είναι επιστημονική στο βαθμό που επιτρέπει την εμπειρική της διάψευση. Η δυνατότητα λοιπόν μιας υπόθεσης να μας καθοδηγεί σε πειράματα που θα μπορούσαν να τη διαψεύσουν αποτελεί τη πιο σημαντική της ιδιότητα. Σε αυτό το πλαίσιο παρατήρηση και πείραμα είναι πάντα φορτισμένα με τη θεωρία (Βιρβιδάκης κ.ά., 2019).

Τα πρώτα χρόνια της δεκαετίας του 1960 δημιουργείται ένα νέο επιστημολογικό ρεύμα το οποίο συνδέεται με τα ονόματα του Kuhn, Feyerabend και Toulmin το οποίο πραγματοποιεί μια ιστορικιστική στροφή. Οι παράγοντες που συνέβαλαν στη δημιουργία του ρεύματος εντοπίζονται στη μείωση της αξιοπιστίας του Λογικού Θετικισμού, τις παράλληλες εξελίξεις στον τομέα της φιλοσοφίας της Γλώσσας καθώς και την ανάπτυξη της ιστορίας των επιστημών. Το έργο του Kuhn «Η δομή των Επιστημονικών Επαναστάσεων» θα αποτελέσει το σημείο καμπής για τη νέα αυτή τάση. Το κεντρικό σημείο προβληματισμού στο έργο αυτό, είναι η φύση και η εξέλιξη των επιστημονικών θεωριών. Η κριτική εστιάζει στη θετικιστική εικόνα της επιστήμης η οποία θεωρείται ότι διαστρεβλώνει την ίδια την επιστήμη. Στην ουσία, μία θετικιστική αντιμετώπιση δε λαμβάνει υπόψη της τις αληθινές πρακτικές των επιστημόνων και τα πορίσματα της ιστορικής έρευνας υποτιμώντας έτσι τον κύριο παράγοντα της επιστημονικής προόδου, δηλαδή τη φαντασία και τη δημιουργικότητα του ερευνητή. Η νέα θεώρηση αναγνωρίζει τις επιστημονικές θεωρίες σαν ανθρώπινα κατασκευάσματα, με ιστορική οντότητα και με συμμετοχή όχι μόνο στην αλήθεια

αλλά και στο σφάλμα. Η εξέλιξη της επιστήμης δεν είναι μια ομαλή συσσωρευτική διαδικασία αλλά ένα αρκετά πιο σύνθετο φαινόμενο (Kuhn, 1970).

Ο Kuhn, στη «Δομή των Επιστημονικών Επαναστάσεων» προτείνει ένα μοντέλο ανάπτυξης της επιστήμης δια μέσου των επαναστάσεων. Εισάγει την έννοια των Επιστημονικών Παραδειγμάτων η οποία δεν ταυτίζεται με τις επιστημονικές θεωρίες αλλά δημιουργεί ένα ευρύτερο πλαίσιο στο οποίο εντάσσονται νόμοι, θεωρίες, μοντέλα, πειραματικές πρακτικές και σύνολα ερμηνευτικών συμβάσεων. Η εξέλιξη της επιστημονικής γνώσης πραγματοποιείται με τρόπο δυναμικό και τοποθετείται στο εκάστοτε ιστορικό και κοινωνικό της πλαίσιο. Η θεώρηση του Kuhn, παρά την κριτική που δέχτηκε, πρόσφερε στη φιλοσοφία της επιστήμης αλλά και την εκπαίδευση μια νέα οπτική επηρεάζοντας πολλούς ερευνητές και δασκάλους προς μια σφαιρικότερη αντιμετώπιση της επιστήμης (Στεφανίδου, 2013).

Ο Peter Galison προτείνει μια μεταμοντέρνα κριτική προσέγγιση που αντιπαράκειται στην αντίστοιχη αντιθετιστική θεωρώντας πως η τελευταία επικεντρώνεται υπερβολικά στη θεωρία. Υποστηρίζει πως δεν υπάρχει μια καθορισμένη ιεράρχηση στη σχέση ανάμεσα στη θεωρία και το πείραμα αλλά ένα σύνολο ειδικών διεργασιών που κάθε φορά συμπλέκει το πείραμα με τη θεωρία. Επιπλέον, αποδίδει ένα ποσοστό αυτονομίας τόσο στις πειραματικές πρακτικές όσο και στη διαδικασία κατασκευής επιστημονικών οργάνων (Πάπαρου, 2012).

Η απουσία της πειραματικής διαδικασίας από τις επιστημολογικές συζητήσεις θα αποκατασταθεί με το έργο του Ian Hacking ο οποίος αναγνωρίζει σε αυτές τον επιστημονικό ρεαλισμό. Όπως υποστηρίζει, στις πειραματικές διαδικασίες επιτυγχάνουμε να χρησιμοποιούμε θεωρητικές οντότητες τις οποίες αν και δεν μπορούμε να τις παρατηρήσουμε (π.χ. τα ηλεκτρόνια), τις χρησιμοποιούμε για την παραγωγή νέων φαινομένων και την εξερεύνηση άλλων όψεων της φύσης (Hacking, 2002).

Όπως μπορεί να γίνει αντιληπτό, η φύση της επιστημονικής δραστηριότητας στο σύνολο της, μπορεί να ερμηνευτεί με διαφορετικούς επιστημολογικούς όρους. Η ιδιαιτερότητα αυτή επηρεάζει με καθοριστικό τρόπο την οποιαδήποτε προσπάθεια εκπαίδευσης των Φυσικών Επιστημών. Σε αυτό το πλαίσιο, η επιστημολογική θεώρηση κρίνεται ως αναγκαίο συστατικό κάθε

επιστημονικής εκπαίδευσης. Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να αναδείξει αυτή την αναγκαιότητα και να επισημάνει το ρόλο της στη Διδακτική των Φυσικών Επιστημών.

ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο : Η ΔΙΔΑΚΤΙΚΗ ΤΩΝ ΦΥΣΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ, ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΡΕΥΜΑΤΑ ΚΑΙ ΝΕΕΣ ΤΑΣΕΙΣ

1.1 Χαρακτηριστικά της Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών

Οι Φυσικές Επιστήμες δεν αποτελούν μόνο ένα σημαντικό κομμάτι της ανθρώπινης νόησης αλλά και το κύριο αίτιο εξέλιξης και ανάπτυξης του σύγχρονου πολιτισμού μας. Η γνώση που παράγεται από την επιστήμη είναι ένα από τα σημαντικότερα πολιτιστικά επιτεύγματα των δυτικών κοινωνιών τα τελευταία 400 χρόνια ενώ ο αντίκτυπος της στην καθημερινή μας ζωή υπήρξε βαθύς και έντονος (Osborne, 2007). Οι πολιτιστικές αλληλεπιδράσεις επιστήμης, τεχνολογίας και κοινωνίας έχουν καθορίσει σε μεγάλο βαθμό την πορεία της ανθρωπότητας και συγκεκριμένα τον τρόπο που η επιστήμη διαμορφώνει την αντίληψη που έχουμε για την πραγματικότητα γύρω μας καθώς και την σχέση του ανθρώπου και των κοινωνιών του με αυτή.

Κύριο διαμεσολαβητή μεταξύ Φυσικών Επιστημών και κοινωνίας, αποτελεί η Διδακτική των Φυσικών Επιστημών στην τυπική τουλάχιστον εκπαίδευση. Σύμφωνα με τον ορισμό του Yager (1984), «*Η Διδακτική των Φυσικών Επιστημών ορίζεται ως η επιστημονική πειθαρχία που ασχολείται με τη μελέτη της αλληλεπίδρασης των Φυσικών Επιστημών πάνω στη κοινωνία, καθώς και την επίδραση της κοινωνίας πάνω στις Φυσικές Επιστήμες*» (Τσελφές, 2021.σ.113). Αποτελεί κλάδο της διδακτικής μεθοδολογίας και εντάσσεται στο ευρύτερο πεδίο της Εφαρμοσμένης Παιδαγωγικής. Η Διδακτική των Φυσικών Επιστημών είναι ένας διεπιστημονικός τομέας στον οποίο συναντούνται οι Φυσικές Επιστήμες, η Παιδαγωγική, η Γνωστική Ψυχολογία, η Επιστημολογία αλλά και η Εκπαιδευτική Πολιτική. Είναι μία επιστήμη στα πλαίσια της οποίας διεξάγονται πλήθος ερευνών που στοχεύουν στη συνεχή βελτίωση της διδασκαλίας των Φυσικών Επιστημών. Χαρακτηρίζεται από την αλληλεπίδραση του γνωστικού αντικείμενου, δηλαδή της γνώσης σχετικά με τον φυσικό κόσμο και της αντίληψης των μαθητευόμενων. Η προσπάθεια για την καλύτερη δυνατή διδασκαλία χαρακτηρίζεται από ερωτήματα που σχετίζονται με την φύση της γνώσης και των κριτηρίων που θα αξιοποιηθούν

για να επιλεγεί τόσο το γνωστικό τμήμα όσο και οι μέθοδοι διδασκαλίας στους μαθητές (Σκορδούλης & Στεφανίδου, 2021).

Στην πραγματικότητα, οι Φυσικές Επιστήμες δεν αποτελούν μόνο παραγωγούς νέας γνώσης αλλά είναι δραστηριότητες που το κατεξοχήν χαρακτηριστικό τους είναι η απορία ακόμη και για τις νέες γνώσεις που παράγονται, η δομημένη αμφισβήτηση και η κατασκευή ερωτημάτων των οποίων οι απαντήσεις καταλήγουν να συνθέτουν κυριολεκτικά διαφορετικές εναλλακτικές όψεις του γνωστού εμπειρικού μας κόσμου (Τσελφές, 2016). Η Διδακτική των Φυσικών Επιστημών καλείται να πραγματοποιήσει τη διάχυση της επιστήμης στην κοινωνία καλλιεργώντας ταυτόχρονα την κριτική σκέψη, την αμφισβήτηση και την επιχειρηματολογία στο σύνολο της κοινωνίας. Ως εκ τούτου, είναι ένα σημαντικό θεμέλιο και ταυτόχρονα κινητήριο δύναμη εξέλιξης των κοινωνιών μας και επομένως αποτελεί σημαντική πτυχή κάθε εκπαιδευτικού συστήματος που επιδιώκει να μεταβιβάσει την πολιτιστική του κληρονομιά στην επόμενη γενιά (Osborne, 2007). Τέτοιου είδους εκπαίδευση έχει σαν συνέπεια την υγιή επίδραση της κοινωνίας στην επιστημονική κοινότητα και τη διασφάλιση της επωφελούς λειτουργίας της επιστήμης για την ανθρωπότητα.

Ο βαθμός των αλλαγών που λαμβάνουν χώρα στην επιστήμη, την τεχνολογία, την κοινωνία και την οικονομία, έχουν οδηγήσει όλες τις ανεπτυγμένες χώρες στην προσπάθεια μεταμόρφωσης της διδασκαλίας των *Φυσικών Επιστημών* (Aubusson et al., 2016). Πέρα από την εκπαίδευση της επόμενης γενιάς επιστημόνων, η *Διδακτική των Φυσικών Επιστημών* οφείλει να ικανοποιήσει και τις ανάγκες του μελλοντικού πολίτη, οι οποίες είναι ποικίλες και μεταβάλλονται διαρκώς. Προσεγγίζοντας τη διδασκαλία των *Φυσικών Επιστημών* με κύριο ζητούμενο την μάθηση των εννοιών, των μοντέλων και των πρακτικών, απαιτείται μακρά και επίπονη μαθητεία. Ενώ η εξέχουσα θέση αυτών των γνώσεων μπορεί να γίνει κτήμα όσων εξειδικεύονται ακολουθώντας την επιστημονική πορεία, η σπουδαιότητά τους μένει απλά ακατανόητη για τους υπόλοιπους. Αν και οι μαθητές μπορούν να δουν για παράδειγμα τη λεπτομέρεια στο μικροσκόπιο, η αίσθηση του όλου, η σχετικότητα του καθώς και η αξία του, χάνονται για αυτούς. Τέτοια άτομα απαιτούν κάτι περισσότερο από γνώση των βασικών εννοιών της επιστήμης. Κυρίως χρειάζονται ένα όραμα για το πως μια τέτοια γνώση σχετίζεται με άλλα γεγονότα, γιατί είναι σημαντική και πως δημιουργήθηκε αυτή η

συγκεκριμένη άποψη (Osborne, 2007).

Σε αυτή τη βάση, παραμένει διαχρονική η αρχή σύμφωνα με την οποία η επιστημονική εκπαίδευση είναι κρίσιμη για την συγκρότηση και την επιτυχία μιας σύγχρονης κοινωνίας (Aubusson et al., 2016). Στις μέρες μας, κρίνεται ιδιαίτερα σημαντικός ο εντοπισμός και η διερεύνηση εκείνων των στοιχείων των Φυσικών Επιστημών που μπορούν να αξιοποιηθούν ώστε να συμβάλουν ουσιαστικά στη διαμόρφωση της αντίληψης του πολίτη της σύγχρονης εποχής (Ματθαίου, 2002). Η επιστημολογική θεώρηση αναδεικνύει τις διαφορετικές όψεις και δυνατότητες της επιστημονικής γνώσης καθώς και την ποικιλία των αναπαραστάσεων που προωθούνται από αυτή. Αποτελεί λοιπόν ένα σημαντικό χαρακτηριστικό το οποίο θα πρέπει να λαμβάνει υπόψη της κάθε προσπάθεια επιστημονικής εκπαίδευσης.

1.2 Τα πρώτα βήματα της Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών

Η αρχή της συστηματικής διδασκαλίας των φυσικών επιστημών ως γνωστικό αντικείμενο στην τυπική εκπαίδευση εντοπίζεται τον 18^ο αιώνα στα σχολεία της Αγγλίας, όπου διδάσκεται το αντικείμενο της φυσικής φιλοσοφίας. Στις αρχές του 20ου αιώνα οι ιδέες του John Dewey για τη σημασία της εμπειρίας ως παράγοντα μάθησης επηρεάζουν τον τρόπο διδασκαλίας της επιστήμης (Πάπαρου, 2012). Η επιστήμη συνδέεται με την αξιοποίηση της στην καθημερινότητα, γεγονός που θα συμβάλλει σημαντικά στη διαμόρφωση μιας νέας αντίληψης για την παιδαγωγική αξία των Φυσικών Επιστημών ως πολιτιστικού στοιχείου ανάπτυξης των πολιτών (Σκορδούλης & Στεφανίδου, 2021).

Την ίδια εποχή, στα αγγλικά και γαλλικά προγράμματα σπουδών παρατηρείται μία ολιστική προσέγγιση για τη διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών. Ο Ernst Mach (1838-1916), ένας από τους επιστήμονες που διαμορφώνουν τις επιστημονικές και επιστημολογικές εξελίξεις, εκδηλώνει το ενδιαφέρον του για την εκπαίδευση και επικαλείται την ιστορία της επιστήμης ως οργανικό στοιχείο της διδασκαλίας των Φυσικών Επιστημών. Ο Mach θεωρεί πως με αυτόν τον τρόπο δίνεται η δυνατότητα στοχασμού πάνω στα θεμέλια, στα όρια και στην εξέλιξη της επιστημονικής γνώσης καθώς και η ψηλάφηση θεμάτων που αποκαλύπτουν την επιστήμη ως πολιτισμικό και κοινωνικό προϊόν (Πάπαρου, 2012).

Στα πρώτα της βήματα η επιστημονική εκπαίδευση προσπαθεί να συνδεθεί με τη ψυχαγωγία. Στη Γερμανία, με επικεφαλή τον Oscar von Miller (1855-1934) ιδρύεται το Deutsches Museum το οποίο θέτει ως αποστολή του την ενεργή εμπλοκή του κοινού σε μαθησιακές διαδικασίες. Το Deutsches Museum αντανακλά το επιστημολογικό και παιδαγωγικό ρεύμα στις αρχές του 20^{ου} αιώνα. Η κύρια επιστημολογική προσέγγιση της εποχής είναι η θετικιστική. Σύμφωνα με αυτή, η θεωρία καθορίζεται από την παρατήρηση και το πείραμα, γεγονός που καθιστά την πειραματική διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών την ενδεδειγμένη μέθοδο για τη μύηση στην επιστημονική σκέψη. Η ιστορική μέθοδος παρουσίασης των επιστημονικών θεμάτων και τα πειράματα αποτέλεσαν τα εργαλεία για να καταστεί ελκυστικό το επιστημονικό αντικείμενο σε διαφορετικά είδη κοινού. Την ίδια περίοδο διατυπώνεται για πρώτη φορά η ιδέα της μάθησης μέσω της ανακάλυψης. Μια ιδέα που στη συνέχεια θα εγκαταλειφθεί για να έρθει ξανά στο προσκήνιο τη δεκαετία του '60 (Πάπαρου, 2012).

Με την διαμόρφωση ενός αρνητικού κλίματος απέναντι στην επιστημονική πρόοδο που προέκυψε μετά το 1945, ύστερα από την διάχυση της ιδέας ότι η επιστήμη ευθύνεται για τα φρικαλέα πειράματα στους ανθρώπους αλλά και την χρήση εξαιρετικά καταστροφικών όπλων, αναδείχθηκε η σημαντική ανάγκη του επιστημονικού γραμματισμού. Πρόκειται για την ανάγκη αναβάθμισης της αντίληψης του πολίτη σχετικά με τον ρόλο της επιστήμης στην κοινωνική πραγματικότητα αλλά και την ανάπτυξη της κριτικής ικανότητας που θα επιτρέπει στον άνθρωπο να αξιοποιεί την επιστημονική πρόοδο με μέτρο, ελέγχοντας με κριτική σκέψη τα όρια της επιστημονικής ανάπτυξης και εφαρμογής (Σκορδούλης & Στεφανίδου, 2021).

1.3 Παραδοσιακό μοντέλο

Το διδακτικό μοντέλο που κυριάρχησε είναι αυτό της μεταφοράς της γνώσης το οποίο διαπνέεται από τις αρχές του συμπεριφορισμού και θεωρείται το πλέον παραδοσιακό. Σύμφωνα με αυτό, η διδασκαλία συνίσταται στην παρουσίαση του περιεχομένου της γνώσης από τον εκπαιδευτικό ο οποίος κατέχει τον κυρίαρχο ρόλο στη διδακτική διαδικασία. Από την άλλη μεριά, ο μαθητής έχει τον παθητικό ρόλο του δέκτη των επεξηγήσεων που του παρέχονται (Τσιάλαμα, 2012). Κύριο

χαρακτηριστικό του είναι ο σεβασμός στο περιεχόμενο των *Φυσικών Επιστημών* και η επίδειξη των πειραμάτων ως επιβεβαίωση της διδαχθείσας δηλωτικής γνώσης. Η μάθηση θεωρείται ως μια σωρευτική διαδικασία πληροφορίας που μεταβιβάζει ο/η εκπαιδευτικός στον μαθητή (Ψύλλος κ.ά., 1993).

Η διδασκαλία σύμφωνα με το μοντέλο μεταφοράς της γνώσης περιορίζεται σε απλές διαλέξεις εκ μέρους του εκπαιδευτικού και στην ανάγνωση των σχολικών εγχειριδίων από τους/τις μαθητές/τριες. Επιδιώκονται αποκλειστικά ειδικοί γνωστικοί στόχοι οι οποίοι πραγματοποιούνται μέσω της αποστήθισης του περιεχομένου (Καριώτογλου κ.ά., 1997). Ταυτόχρονα, καλλιεργούνται γνωστικές δεξιότητες όπως αυτές της παρατήρησης, της αναγνώρισης και της ανάκλησης πληροφοριών ή/και της οργάνωσης δεδομένων (Τσιάλμα, 2012).

1.4 Ανακαλυπτικό μοντέλο

Η πιο οργανωμένη και συστηματική προσπάθεια της *Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών* πραγματοποιείται τη δεκαετία του 1960 όταν αυτή πυροδοτείται από το *Sputnik σοκ*. Ο ψυχρός πόλεμος οδηγεί τον δυτικό κόσμο σε σημαντικές επενδύσεις στον τομέα της επιστημονικής εκπαίδευσης επιδιώκοντας την επίτευξη εθνικών επιστημονικών ρεκόρ. Σε αυτή τη φάση δημιουργούνται Καινοτομικά Αναλυτικά Προγράμματα Σπουδών (Innovative Curricula), κυρίως στις χώρες της Β. Αμερικής και της Δυτικής Ευρώπης, τα οποία κατευθύνονται από το ρεύμα της ανακάλυψης (Πάπαρου, 2012).

Οι εξελίξεις στο χώρο της γνωστικής ψυχολογίας και συγκεκριμένα οι απόψεις των Piaget και Bruner θέτουν τις βάσεις για τις ανακαλυπτικές μεθόδους διδασκαλίας. Η μεγάλη καινοτομία στην ανακάλυψη ήταν πως πλέον απαιτούνταν η ενεργητική συμμετοχή του υποκειμένου της μάθησης στη διδακτική πράξη. Η ανακαλυπτική μάθηση στηρίχθηκε στην υπόθεση ότι, αν δοθούν στα παιδιά τα κατάλληλα μέσα τότε με ερωτήσεις ανοιχτού τύπου και με την κατάλληλη καθοδήγηση μπορούν να οδηγηθούν μόνοι τους στην ανακάλυψη της γνώσης. Δηλαδή να κατανοήσουν έννοιες, να ερμηνεύσουν φαινόμενα, να ανακαλύψουν νόμους αλλά και να κατανοήσουν τη φύση της επιστημονικής έρευνας.

Αυτό μπορούσε να επιτευχθεί μέσα από επαγωγικές διεργασίες όπως εξερεύνηση-επινόηση-ανακάλυψη ή μέσα από απαγωγικές διεργασίες όπως θεωρία-επιβεβαίωση των αρχών και νόμων-εφαρμογή. Ανάλογα με το βαθμό καθοδήγησης από τον εκπαιδευτικό μπορούσε να είναι ακραίας μορφής μη καθοδηγούμενη ανακάλυψη, ενδιάμεση μορφή και καθοδηγούμενη ανακάλυψη. Μέσα από αυτές τις διαδικασίες θα μπορούσαν να καλλιεργηθούν δεξιότητες συλλογισμού, επιχειρηματολογίας και ανεξάρτητης έρευνας καθώς επίσης και να δοθούν στους μαθητές περισσότερες ευκαιρίες να μάθουν να σκέφτονται κριτικά (Τσιάλμα, 2012).

Στο ανακαλυπτικό μοντέλο διατηρείται ο σεβασμός στο περιεχόμενο (προσπάθεια για επιστημονική ακρίβεια) ωστόσο σημειώνεται αλλαγή του ρόλου του πειράματος. Το πείραμα εδώ πραγματοποιείται με στόχο τόσο την «ανακάλυψη» της γνώσης από τους μαθητές, όσο και την ανάπτυξη των νοητικών δεξιοτήτων τους (Καριώτογλου κ.ά., 1997). Ο εκπαιδευτικός είναι διευκολυντής και καθοδηγητής στις δραστηριότητες της τάξης. Συγχρόνως, επιδιώκεται η δημιουργία εσωτερικών κινήτρων για μάθηση και η θετική στάση απέναντι στις *Φυσικές Επιστήμες* (Τσιάλμα, 2012).

Αν και το ανακαλυπτικό διδακτικό μοντέλο πετύχαινε αρκετούς από τους ψυχοκινητικούς και συναισθηματικούς στόχους, δεν εκπλήρωνε πάντα τους γνωστικούς. Οι κριτικές που διατυπώθηκαν για την ανακαλυπτική μέθοδο διδασκαλίας εστιάζουν στο εξής σημείο. Οι μαθητές καλούνται όχι να ανακαλύψουν τη γνώση, αλλά να φτάσουν σε αυτό που έχουν οι εκπαιδευτικοί στο μυαλό τους. Όταν οι μαθητές αποτυγχάνουν λόγω έλλειψης γνώσεων, οι εκπαιδευτικοί αντί να ενθαρρύνουν τους μαθητές σε θεωρητική επανεξέταση και πειραματικές τροποποιήσεις, καταφεύγουν σε συνταγές με αποτέλεσμα να χάνεται η αξία της ανακάλυψης. Επιπλέον, όταν οι μαθητές καταλήγουν σε λανθασμένα αποτελέσματα, οι εκπαιδευτικοί δίνουν τη λύση ή τη σωστή απάντηση δημιουργώντας την εντύπωση στους μαθητές ότι οι επιστήμονες γνωρίζουν εκ των προτέρων τα αποτελέσματα (Σπυροπούλου, 2005).

Σε αυτό το πλαίσιο, οι ερευνητές υποστηρίζουν πως οι μαθητές μπορούν να ανακαλύψουν ιδιότητες και χαρακτηριστικά αντικειμένων και γεγονότων, καθώς και σχέσεις μεταξύ μεγεθών ή εννοιών που ήδη γνωρίζουν. Δεν μπορούν όμως να

ανακαλύψουν νοητικές επινοήσεις όπως για παράδειγμα την έννοια του γεωγραφικού πλάτους, του ηλεκτρικού ρεύματος, κ.ά.. Ενδεικτικά παραδείγματα στα οποία μπορούν να εφαρμοστούν οι ανακαλυπτικές μέθοδοι διδασκαλίας είναι η μηχανική (μελέτη ροπής, τριβής, κ.λπ.), ο ηλεκτρισμός (ταξινόμηση αγωγίμων σωμάτων), μείγματα και χημικές ενώσεις (ταξινόμηση ουσιών οργανικών-ανόργανων, οξέων-βάσεων-αλάτων, κ.λπ.) (Σπυροπούλου, 2005). Επιστημολογικά η ανακάλυψη στηρίζεται στην υπόθεση ότι η επιστήμη προάγεται από τη συσσώρευση επιμέρους παρατηρήσεων του υλικού κόσμου (Καριώτογλου κ.ά., 1997).

1.5 Εποικοδομητικό μοντέλο

Είκοσι χρόνια αργότερα, στις αρχές του 1980, διαπιστώνεται πως η επιστημονική εκπαίδευση στην Αμερική αλλά και σε πολλές ευρωπαϊκές χώρες βρίσκεται σε κρίση με τους μαθητές να μην επιλέγουν τις σπουδές στις Φυσικές Επιστήμες και να έχουν αρνητική στάση απέναντι σε αυτές, ενώ μετά την αποφοίτησή τους να θεωρούνται επιστημονικά αναλφάβητοι (Πάπαρου, 2012). Οι στόχοι για την παραγωγή περισσότερων και καλύτερων επιστημόνων τέθηκαν υπό αμφισβήτηση και άρχισαν να διαμορφώνονται προγράμματα που να απευθύνονται σε όλους τους μαθητές (Μόγιας, 2005). Σημειώνονται αλλαγές και νέα αντίστοιχα προγράμματα μέσα από το πρίσμα ενός νέου ρεύματος, αυτό της Εποικοδόμησης.

Η διαμόρφωση της εποικοδομητικής υπόθεσης για τη διδασκαλία και τη μάθηση βασίστηκε στις θεωρίες των Piaget και Bruner, σύμφωνα με τις οποίες η γνώση οικοδομείται ενεργητικά από το ίδιο το άτομο μέσα σε ένα συγκεκριμένο κοινωνικοπολιτισμικό περιβάλλον πάνω στη προηγούμενη γνώση που έχει αποκτήσει (Τσιάλμα, 2012). Οι άνθρωποι δεν κατανοούν τον κόσμο απευθείας αλλά μέσω του σχηματισμού ιδεών/αντιλήψεων, νοητικών αναπαραστάσεων και νοητικών μοντέλων (Σπυροπούλου, 2005). Εσωτερικεύουν την εμπειρία τους κατά τρόπο που εν μέρει τουλάχιστον είναι δικός τους και κατασκευάζουν τα δικά τους νοήματα. Αυτές οι προσωπικές «ιδέες» επηρεάζουν τον τρόπο με τον οποίο προσλαμβάνονται οι πληροφορίες. Στην πραγματικότητα η μάθηση είναι μια διαδικασία ενεργητικής εποικοδόμησης των νέων γνώσεων στην υφιστάμενη γνωστική δομή. Αυτός ο προσωπικός τρόπος προσέγγισης των φαινομένων έχει

βρεθεί στον τρόπο με τον οποίο παράγεται η επιστημονική γνώση. Φιλόσοφοι υποστηρίζουν ότι οι υποθέσεις και οι θεωρίες είναι οι κατασκευές ή τα προϊόντα της ανθρώπινης φαντασίας και δεν αντιπροσωπεύουν τα λεγόμενα «αντικειμενικά δεδομένα» (Driver et al, 1993).

Τα παιδιά από τις πρώτες αισθητηριακές τους εμπειρίες με το φυσικό και κοινωνικό τους περιβάλλον αναπτύσσουν εναλλακτικές ιδέες/αντιλήψεις καθώς και αυθόρμητες ερμηνείες /εξηγήσεις για πράγματα και φαινόμενα που υπάρχουν ή συμβαίνουν γύρω τους (Σπυροπούλου, 2005). Οι προϋπάρχουσες αυτές ιδέες και ερμηνείες «συνοδεύουν» τα παιδιά στις αίθουσες διδασκαλίας, αποκλίνουν από τις επιστημονικές και είναι αυτές που αντιστέκονται στην καινούργια γνώση. Η αποκάλυψη του ρόλου των εναλλακτικών αυτών ιδεών υπήρξε ο βασικός παράγοντας που συντέλεσε στη διαμόρφωση της εποικοδομητικής υπόθεσης για τη διδασκαλία και τη μάθηση, η οποία συνοπτικά αποκαλείται και «εποικοδομητισμός». Διαπιστώθηκε πως οι σημαντικότεροι περιορισμοί στη μάθηση των εννοιών και στην κατανόηση των φαινομένων των *Φυσικών Επιστημών* προέρχονται από τις αφελείς θεωρίες που έχουν ήδη διαμορφώσει οι μαθητές πριν αρχίσει η συστηματική διδασκαλία των *Φυσικών Επιστημών* (Καριώτογλου κ.ά., 2012). Πολλοί ερευνητές, όπως οι Easley και Driver (1978), η Viennot (1979), ο di Sessa (1983), κ.ά., θέτουν τις προϋπάρχουσες ιδέες των μαθητών στο επίκεντρο του ενδιαφέροντος των εκπαιδευτικών καθώς και των εκπονητών των Α.Π (Σπυροπούλου, 2005).

Η ανάδειξη όλων των παραπάνω δημιούργησε ένα νέο πλαίσιο έρευνας και ανάπτυξης του εποικοδομητικού μοντέλου διδασκαλίας και μάθησης. Για πολλά χρόνια η έρευνα στη Διδακτική των Φυσικών Επιστημών επένδυσε στην ανίχνευση των ιδεών των μαθητών καθώς και τους τρόπους με τους οποίους μπορούν αυτές να αντικατασταθούν από τις επιστημονικές. Αποδείχθηκε πως οι αφελείς θεωρίες των παιδιών δεν αντικαθίστανται εύκολα από τις επιστημονικές. Επηρεάζονται ελάχιστα από τη παραδοσιακή διδασκαλία και μπορούν να συνυπάρχουν με τις διδασκόμενες επιστημονικές γνώσεις (Ψύλλος κ.ά., 1993). Επισημαίνεται πως ένα σημαντικό εργαλείο για τον εντοπισμό των προϋπαρχουσών ιδεών μπορεί να αποτελέσει το πείραμα (Σπυροπούλου, 2005).

Στην καλύτερη περίπτωση οι νέες γνώσεις συνδέονται με τις προϋπάρχουσες με αποτέλεσμα να τις επεκτείνουν. Ωστόσο, τις περισσότερες φορές οι νέες γνώσεις όχι μόνο δεν συμβαδίζουν με τις παλιές αλλά είναι αντίθετες με αυτές. Όταν συμβαίνει αυτό χρειάζεται μικρή ή μεγάλη τροποποίηση της γνωστικής δομής. Η τροποποίηση αυτή αναφέρεται με τον όρο εννοιολογική αλλαγή και μπορεί να σημαίνει την αλλαγή του νοήματος μιας έννοιας ή της ερμηνείας ενός φαινομένου, τη διάκριση δύο παρεμφερών εννοιών και νέες διασυνδέσεις μεταξύ εννοιών. Η εποικοδόμηση ουσιαστικών νοημάτων προϋποθέτει την εννοιολογική αλλαγή και αυτό αποτελεί καινοτομικό γνώρισμα της εποικοδομητικής προσέγγισης στη διδασκαλία (Ψύλλος κ.ά., 1993).

Στην κατεύθυνση αυτή αναπτύχθηκαν τρεις τύποι αλλαγής των νοητικών μοντέλων των μαθητών οι οποίοι θεωρούνται και τρόποι εποικοδομητικής μάθησης. Οι τύποι αυτοί είναι η επαύξηση της γνωστικής δομής, η εναρμόνιση και η αναδιοργάνωση. Συνοπτικά, η επαύξηση της υπάρχουσας γνώσης συντελείται με την παροχή νέων πληροφοριών, εννοιών και νόμων τα οποία μπορούν να συνδεθούν με τις ιδέες που έχουν ήδη οι μαθητές, π.χ. ο κύκλος του νερού (Σπυροπούλου, 2005).

Η προσθήκη νέων στοιχείων στην ήδη υπάρχουσα γνωστική δομή των μαθητών δε δημιουργεί ουσιαστικές αλλαγές στο υπάρχον νοητικό μοντέλο με αποτέλεσμα αρκετές φορές να επαρκεί η παραδοσιακή διδασκαλία. Η εναρμόνιση των γνωστικών δομών με το επιστημονικό πρότυπο επιτυγχάνεται με μικρές τροποποιήσεις μέσω του σχεδιασμού κατάλληλων δραστηριοτήτων, εργασιών πεδίου, κ.λπ. Σύμφωνα με τους Rumelhart et Norman στην εναρμόνιση αλλάζουν οι σταθερές και μεταβλητές του αρχικού μοντέλου ωστόσο παραμένει σταθερή η γνωστή βάση (Ψύλλος κ.ά., 1993, σ.38).

Η αναδιοργάνωση συνιστά τη δυσκολότερη περίπτωση από τις προηγούμενες. Αρχικά πρέπει να επιτευχθεί η κατάλληλη οργάνωση των αποθηκευμένων πληροφοριών και στη συνέχεια η αντικατάστασή τους με νέες γνωστικές δομές ικανές να ερμηνεύουν τις νέες πληροφορίες. Με αυτόν τον τρόπο οι μαθητές θα μπορούν να κατακτήσουν τη νέα γνώση. Για να πραγματοποιηθεί αυτό, οι μαθητές έρχονται αντιμέτωποι με τη δυσκολία να περιγράψουν ή να ερμηνεύσουν δεδομένα φυσικά φαινόμενα βασιζόμενοι στις δικές τους αντιλήψεις

(Ψύλλος κ.ά., 1993).

Η συγκεκριμένη διαδικασία εννοιολογικής αλλαγής αποτελεί τη λεγόμενη γνωστική σύγκρουση και απαιτεί κατάλληλη προετοιμασία των μαθητών ώστε να καταφέρουν να την αντιληφθούν (Ψύλλος κ.ά., 1993). Για να ολοκληρωθεί η μάθηση θα πρέπει οι μαθητές να συνειδητοποιήσουν τους λόγους για τους οποίους διατήρησαν ή άλλαξαν τις αρχικές τους απόψεις σύμφωνα με το επιστημονικό πρότυπο. Αυτό επιτυγχάνεται με τις ανάλογες μεταγνωστικές δραστηριότητες ενισχύοντας την διαμόρφωση της νέας γνωστικής κατάστασης του μαθητή (Τσιάλμα, 2012).

Στα εποικοδομητικά διδακτικά μοντέλα, ο μαθητής βρίσκεται στο επίκεντρο της διδακτικής διαδικασίας κατέχοντας έναν ενεργητικό ρόλο απέναντι στη μάθηση. Το γεγονός αυτό μεταβάλλει ανάλογα και τον ρόλο του εκπαιδευτικού. Σε αυτό το πλαίσιο, ο εκπαιδευτικός φροντίζει για τη δημιουργία ενός άνετου και ευχάριστου μαθησιακού περιβάλλοντος, ευνοώντας τις έντονες συζητήσεις μεταξύ των μαθητών και καλλιεργώντας την επιχειρηματολογία και την έκφραση των ιδεών τους. Δεν είναι αυτός που μεταδίδει τη γνώση αλλά αυτός που διευκολύνει τη μάθηση. Αυτές οι συνθήκες δημιουργούν τις προϋποθέσεις για την επανατοποθέτηση του λάθους στη διδακτική πράξη. Εδώ πλέον επιτυγχάνεται η νομιμοποίηση αλλά και η απενεχοποίηση της λανθασμένης άποψης.

Μπορούμε να παρουσιάσουμε συνοπτικά τα κεντρικά στοιχεία των εποικοδομητικών διδακτικών μοντέλων :

- θέτουν τον μαθητή και τις ιδέες του στο κέντρο της διδακτικής διαδικασίας
- ευνοούν την ενεργητική μάθηση
- εστιάζουν στην εννοιολογική αλλαγή με αιχμή τη γνωστική σύγκρουση
- περιλαμβάνουν ενέργειες που ευνοούν τη μεταγνώση

Στην εποικοδομητική προσέγγιση αναδεικνύεται η σπουδαιότητα του ρόλου των γνώσεων για την ερμηνεία και την περιγραφή των φαινομένων ενώ συγχρόνως αποφεύγεται η σύγχυση ανάμεσα στις έννοιες και τα γεγονότα που τις υποστηρίζουν. Επιστημολογικά αυτό σημαίνει πως η εποικοδομητική προσέγγιση για τη μάθηση και τη διδασκαλία θεωρείται αντίθετη του θετικισμού. Επιπλέον, οι σύγχρονες τάσεις στη φιλοσοφία της επιστήμης, σύμφωνα με τη θεώρηση του

επιστημονικού παραδείγματος στη μελέτη και εξέλιξη της επιστήμης (Kuhn), ωθούν σε αλλαγή τόσο του περιεχομένου της διδασκαλίας των επιστημών όσο και στον τρόπο διδασκαλίας. Αντί για την ομοιόμορφη μελέτη όλης της σχετικής γνώσης προτείνεται η επιλογή θεμάτων με τη μορφή εννοιολογικού πλαισίου και η σε βάθος μελέτη τους (Ψύλλος κ.ά., 1993). Ένα τέτοιο εννοιολογικό πλαίσιο περιλαμβάνει έννοιες και φαινόμενα που ερμηνεύονται με αυτές αλλά και τις αντίστοιχες εφαρμογές τους. Έτσι οι μαθητές έχουν τη δυνατότητα όχι μόνο να μάθουν στοιχεία της επιστήμης αλλά και να σκέφτονται με βάση αυτά τα στοιχεία (Σπυροπούλου, 2005).

Ο εποικοδομητισμός ο οποίος κυριάρχησε τη δεκαετία του '80 άσκησε μεγάλη επιρροή στο σχεδιασμό των Προγραμμάτων Σπουδών πολλών χωρών. Ωστόσο οι έρευνες έδειξαν ότι τα αποτελέσματα ήταν θετικά σε συγκεκριμένους τομείς. Οι Millar & Osborn (1998) θεωρούν πως εστίαζαν κυρίως στην εννοιολογική μάθηση υποβαθμίζοντας τη διαδικαστική και την επιστημολογική συνιστώσα της επιστήμης (Καριώτογλου κ.ά., 2012, σ.154).

1.6 Επιστημονικός γραμματισμός

Το πέρασμα στον 21^ο αιώνα σηματοδότησε μεγάλης κλίμακας αλλαγές στις κοινωνικο-οικονομικές συνθήκες προσανατολίζοντας την κοινωνία σε αναζήτηση νέων μοντέλων οικονομικής και κοινωνικής ανάπτυξης. Ταυτόχρονα εμφανίζεται μία έντονη προβληματική γύρω από το ρόλο της επιστήμης και της τεχνολογίας στο πλαίσιο του σύγχρονου πολιτισμού (Μόγιας, 2005). Δημιουργείται λοιπόν η ανάγκη για ένα νέο είδος εκπαίδευσης για τις *Φυσικές Επιστήμες* το οποίο θα είναι συμβατό με τις τρέχουσες εξελίξεις. Αυτό έχει σαν συνέπεια να προκληθούν συζητήσεις στη περιοχή της διδακτικής των *Φυσικών Επιστημών* με έντονη κριτική στα υπάρχοντα προγράμματα σπουδών με σκοπό να δοθούν νέες κατευθύνσεις (Μπενιάτα, 2011).

Η κριτική επισημαίνει τις αδυναμίες των Π.Σ λόγω του ότι αυτά εστιάζονται στο περιεχόμενο (δηλωτική γνώση) και τη μάθηση του ως σώμα γεγονότων, αποκομμένο από τις διαδικασίες παραγωγής του και τη φιλοσοφία της επιστήμης που οδηγεί σε αυτό. Προτείνεται λοιπόν ο εμπλουτισμός της εκπαίδευσης των *Φυσικών Επιστημών* με στοιχεία των επιστημονικών μεθόδων,

της επιστημολογίας και της ιστορίας τους. Μεταξύ άλλων προτείνεται η διαπραγμάτευση εννοιών-κλειδιών, όπως η έννοια του μοντέλου καθώς και η διδασκαλία στοιχείων για τη φύση και το ρόλο τους στις *Φυσικές Επιστήμες*. Βασικός προσανατολισμός των νέων προτάσεων, χωρίς να εγκαταλείπεται η ιδέα της εποικοδόμησης, είναι ο επιστημονικός (ή/και τεχνολογικός) γραμματισμός (Καριώτογλου, 2021).

Σε πιο απλό επίπεδο, ο επιστημονικός γραμματισμός είναι μια συντομογραφία για το τι θα έπρεπε να γνωρίζει το ευρύ κοινό για την επιστήμη ενώ εκφράζει τον κύριο στόχο που θα έπρεπε να θέτει μια εκπαίδευση των επιστημών (Osborne, 2007). Εστιάζει στη μάθηση του περιεχομένου μέσω διερεύνησης ενώ συγχρόνως δίνει έμφαση και σε διαφορετικές διαστάσεις των *Φυσικών Επιστημών*. Τέτοιες διαστάσεις μπορεί να είναι η ιστορικο-πολιτισμική διάσταση των *Φυσικών Επιστημών* η οποία εστιάζει στην αξιοποίηση της εξέλιξης των ιδεών στις *Φυσικές Επιστήμες*, η πολιτικο- κοινωνική διάσταση η οποία δίνει έμφαση στο μαθητή και στην εκπαίδευσή του ώστε να μπορεί να κατανοήσει, να λάβει θέση συνδέοντας τη γνώση με αξίες και να δράσει σε σχέση με τα μεγάλα σύγχρονα προβλήματα όπως είναι τα μεταλλαγμένα τρόφιμα ή η διαχείριση αποβλήτων (Καριώτογλου, 2021).

Κάτι τέτοιο εναρμονίζεται με τη θέση του Lambert (2006) πως επιστημονικός γραμματισμός είναι η γνώση και η κατανόηση των επιστημονικών διαδικασιών που απαιτούνται στη λήψη αποφάσεων και στη συμμετοχή πολιτιστικών και πολιτικών ζητημάτων (Μόγιας, 2012, σ.114). Πρόσφατες απόψεις για τον επιστημονικό γραμματισμό υποστηρίζουν πως οι επιστημονικές διαδικασίες, οι απόψεις για τη φύση της επιστήμης καθώς και η σχέση της επιστήμης με την καθημερινή ζωή και την κοινωνία, πρέπει να κατέχουν σημαντική θέση στη διδασκαλία των *Φυσικών Επιστημών* (Duit, 2006). Σύμφωνα με τον Osborne (2007) η γνώση της επιστημολογικής πτυχής της επιστήμης είναι ουσιαστικό μέρος κάθε ολοκληρωμένης εκπαίδευσης για αυτήν. Η εξέταση των τρόπων με τους οποίους η επιστημονική γνώση κερδίζεται, ελέγχεται και φιλτράρεται, εγείρει ζητήματα σχετικά με άλλες πτυχές της φύσης της επιστήμης τα οποία θα έπρεπε να είναι χαρακτηριστικά μιας εκπαίδευσης για τον επιστημονικό γραμματισμό.

1.7 Διερεύνηση

Στα πλαίσια του επιστημονικού γραμματισμού αναπτύχθηκε η διερευνητική προσέγγιση στη διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών. Η μάθηση μέσω διερεύνησης εστιάζει στον τρόπο με τον οποίο εργάζονται οι επιστήμονες επιχειρώντας να μυήσει τους μαθητές τόσο στο επιστημονικό περιεχόμενο όσο και τις επιστημονικές διαδικασίες και τη φύση της επιστήμης. Η προσέγγιση αυτή ονομάζεται διερεύνηση (inquiry) και αποτελεί μία από τις σύγχρονες τάσεις στην *Διδακτική των Φυσικών Επιστημών* (Καριώτογλου κ.ά., 2012).

Σύμφωνα με το Inquiry and the National Science Education Standards (NRC, 2000) τα πέντε ουσιώδη χαρακτηριστικά της διερεύνησης είναι: 1) Η διατύπωση επιστημονικά προσανατολισμένων ερωτήσεων 2) Η συλλογή δεδομένων για ανάπτυξη ερμηνειών 3) Η ανάπτυξη ερμηνειών από τα δεδομένα για την απάντηση των ερωτήσεων 4) Η σύνδεση των ερμηνειών με την επιστημονική γνώση και 5) Η επικοινωνία και η αιτιολόγηση των προτεινόμενων ερμηνειών. Τα βήματα αυτά ακολουθούνται από τους μαθητές με την ανάλογη καθοδήγηση του εκπαιδευτικού (Τσιάλμα, 2012, σ.13).

Η διερευνητική προσέγγιση στη διδασκαλία και τη μάθηση των *Φυσικών Επιστημών* περιλαμβάνει σημαντικές έννοιες που περιγράφουν την εκπαίδευση όπως για παράδειγμα η ενεργητική μάθηση, ανάπτυξη κριτικής σκέψης, εσωτερικά κίνητρα και ανάληψη ευθύνης για τη μάθηση, ερευνητικές δεξιότητες, συνεργασία, κ.ά.. Επιπλέον, ενσωματώνονται διαφορετικές εκπαιδευτικές πρακτικές όπως συζητήσεις σε ομάδες, σχεδιασμός ερευνητικών δραστηριοτήτων, συλλογή δεδομένων, χρήση τεχνολογιών, δημιουργία και χρήση μοντέλων, κ.ά. (Τσιάλμα, 2012).

1.8 Διδακτικές Μαθησιακές Ακολουθίες (DMA)

Τα τελευταία χρόνια η έρευνα στη *Διδακτική των Φυσικών Επιστημών* έχει διαμορφώσει μια νέα τάση στη διδασκαλία των *Φυσικών Επιστημών* η οποία αναπτύχθηκε υπό τον τίτλο των Διδακτικών Μαθησιακών Ακολουθιών ή αλλιώς DMA. Συγκεκριμένα, οι DMA είναι προϊόντα έρευνας τα οποία παράγονται μέσα

από μια κυκλική διαδικασία εφαρμογής και βελτίωσης. Συνιστούν μικρά αναλυτικά προγράμματα διάρκειας 5-15 ωρών και προσανατολίζονται σε συγκεκριμένους τομείς όπως η οπτική κ. ά. Κύρια σημεία των ΔΜΑ είναι η αξιοποίηση των ιδεών των μαθητών, ο διδακτικός μετασχηματισμός του περιεχομένου, ο προσεγγιστικός σχεδιασμός καθώς και οι συνέργειες εκπαιδευτικών και ερευνητών. Επιπλέον, λόγω της ερευνητικής διάστασης τους, τις περισσότερες φορές παράγονται διδακτικά προϊόντα με τη μορφή βιβλίων (δραστηριοτήτων και εκπαιδευτικού) (Psillos & Kariotoglou, 2016).

Οι Διδακτικές Μαθησιακές Ακολουθίες αποτελούν μια παρεμβατική ερευνητική δραστηριότητα και παράλληλα ένα διδακτικό προϊόν που περιλαμβάνει προσεκτικά μελετημένες διδακτικές δραστηριότητες προσαρμοσμένες στις αντιλήψεις των μαθητών. Ένα από τα χαρακτηριστικά που διακρίνουν τις ΔΜΑ είναι η εξελικτική διαδικασία που ακολουθεί η έρευνα στοχεύοντας ωστόσο στην διαπλοκή της επιστημονικής με τη μαθητική προοπτική (Meheut & Psillos, 2004).

Η έρευνα στη Διδακτική των Φυσικών Επιστημών έχει δείξει έντονο ενδιαφέρον για τη δημιουργία θεωρητικών πλαισίων τα οποία μπορούν να υποστηρίξουν το δυναμικό σχεδιασμό, την περιγραφή και την ανάπτυξη των ΔΜΑ. Τα κύρια μοντέλα που παρουσιάζει η έρευνα είναι: α) το μοντέλο της Αναπτυξιακής Έρευνας β) το μοντέλο της Εκπαιδευτικής Επανοικοδόμησης γ) το μοντέλο του Διδακτικού Ρόμβου δ) το μοντέλο Κόσμος-Ιδέες-Τεκμήρια (Cosmos-Ideas-Evidence) και ε) το μοντέλο το οποίο βασίζεται στο σχεδιασμό έρευνας (Ζουπίδης, 2012).

1.9 Διδακτικός Μετασχηματισμός Περιεχομένου

Στην πραγματικότητα, η προσπάθεια για την διδασκαλία των *Φυσικών Επιστημών* χαρακτηρίζεται από τη διαχείριση ενός αρκετά ιδιόμορφου και δυσνόητου συνόλου γνώσεων και πρακτικών τα οποία προέρχονται από την επιστημονική δραστηριότητα. Ένα από τα πιο σημαντικά προβλήματα που προκύπτουν είναι η φύση του προς διδασκαλία και μάθηση αντικειμένου το οποίο είναι επιφορτισμένο με «βαρύ» εννοιολογικό φορτίο (Τσελφές, 2003). Το επιστημονικό περιεχόμενο που κατασκευάστηκε από την επιστημονική δραστηριότητα και διατυπώνεται σε συγγράμματα ή επιστημονικά περιοδικά, δεν είναι κατάλληλο

για διδασκαλία που αποσκοπεί σε μάθηση χρήσιμη στην κοινωνία. Χρειάζεται επεξεργασία και κατάλληλη τροποποίηση προκειμένου να μπορεί να διδαχθεί σε σχολικό επίπεδο. Σύμφωνα με τον Fensham (2001), η έρευνα για τη διδασκαλία και μάθηση των φυσικών επιστημών πρέπει να αναθεωρήσει το επιστημονικό περιεχόμενο, να το δει ως προβληματικό και να το ανακατασκευάσει μέσα από την εκπαιδευτική σκοπιά (Duit, 2006, σ.5.).

Στην ουσία, οι περισσότεροι εκπαιδευτικοί ανά τον κόσμο, στην προσπάθεια τους να κατανοήσουν οι μαθητές τους το προς μάθηση γνωστικό αντικείμενο, εφαρμόζουν διάφορες τεχνικές. Για παράδειγμα, επιλέγουν με ποια σειρά θα διδαχθούν οι έννοιες, παραλείπουν κάποιες από αυτές σκόπιμα προς αποφυγή συγχύσεων, απλοποιούν το περιεχόμενο κ.ά.. Το ρεύμα της εποικοδόμησης, έχοντας ως κύριο χαρακτηριστικό την «κατασκευή» της γνώσης από τους μαθητές βάση των προϋπαρχουσών αντιλήψεων και εμπειριών τους, ευνόησε τη διαμόρφωση του διδακτικού μετασχηματισμού (Καριώτογλου & Τσελφές, 2000).

Ωστόσο, ο όρος εισήχθη επίσημα από τον Chevallard (1985) στη διδακτική των μαθηματικών ως *transposition didactique*. Ενώ η έρευνα στο πεδίο της Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών έχει επισημάνει την αναγκαιότητα μετασχηματισμού του επιστημονικού περιεχομένου με σκοπό να εξυπηρετήσει τις ανάγκες της διδασκαλίας, δεν προβαίνει σε περαιτέρω μελέτη και ανάδειξη των επιστημολογικών υποθέσεων που δομούν ένα τέτοιο περιεχόμενο (Καριώτογλου, 2021, σ.3.).

Με τον όρο Διδακτικό Μετασχηματισμό Περιεχομένου εννοούμε κάθε αλλαγή ή επιλογή που γίνεται στο περιεχόμενο των *Φυσικών Επιστημών* όπως οι έννοιες, τα φαινόμενα, οι νόμοι και οι διαδικασίες, σε μία μορφή γνώσης που μπορεί να καταστεί κατανοητή και χρήσιμη από τις μαθησιακές ομάδες στόχους. Ο Duit (2006) στην ανάλυση του μοντέλου έρευνας για τη διδασκαλία των φυσικών επιστημών *Model of Educational Reconstruction* υποστηρίζει πως η δομή του επιστημονικού περιεχομένου για ένα συγκεκριμένο θέμα π. χ. την έννοια της δύναμης, δεν μπορεί να μεταδοθεί απευθείας σε περιεχόμενο για διδασκαλία. Όχι μόνο πρέπει να απλοποιηθεί για να γίνει προσβάσιμο από τους μαθητές αλλά επιπλέον πρέπει να εμπλουτιστεί και να τοποθετηθεί σε πλαίσια που γίνονται

κατανοητά από τους ίδιους.

Σαν διαδικασία εξαρτάται από επιλογές που καθορίζονται βάση του σκοπού της διδασκαλίας του εκάστοτε περιεχομένου, την γνωστική και συναισθηματική κατάσταση των μαθητών καθώς και τα ενδιαφέροντα και τις στάσεις τους. Το επιστημονικό περιεχόμενο αναδομείται και προσαρμόζεται δημιουργικά στις ιδέες, στους συλλογισμούς, στις δεξιότητες και στην επιστημολογία των μαθητών (Duit, 2006). Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται η πληρέστερη κατανόηση των *Φυσικών Επιστημών* αλλά και η ενίσχυση του ενδιαφέροντος των εκπαιδευόμενων (Καριώτογλου, 2021).

Ωστόσο, αρκετά συχνά, ο Διδακτικός Μετασχηματισμός του Περιεχομένου, δε δηλώνεται ρητά από αυτούς που τον παράγουν, όπως για παράδειγμα τους κατασκευαστές των αναλυτικών προγραμμάτων ή τους παραγωγούς διδακτικών προτάσεων. Το επιστημονικό περιεχόμενο ως γνωστικό αντικείμενο, προέρχεται από το χώρο της επιστημονικής δραστηριότητας φέροντας την ιδιαιτερότητα της φύσης αυτής της παραγωγής. Επιλέγοντας συγκεκριμένα τμήματα ή όψεις των *Φυσικών Επιστημών* ως διδακτικό περιεχόμενο (και στη συνέχεια μετασχηματίζοντας το συντελείται παρέμβαση έστω και ασυνείδητα στην όψη της επιστήμης που προβάλλεται (Καριώτογλου & Τσελφές, 2000).

Ένα πρόγραμμα σπουδών ή μια διδακτική πρόταση *Φυσικών Επιστημών*, εμπεριέχουν ρητά ή σιωπηλά θέσεις απέναντι σε κύρια θέματα των *Φυσικών Επιστημών*. Τα θέματα αυτά αφορούν τη φύση της επιστημονικής δραστηριότητας, τη σχέση των επιστημονικών προϊόντων με τα πολιτιστικά και πολιτικά πλαίσια της κάθε ιστορικής περιόδου καθώς επίσης και τη σχέση της επιστημονικής δραστηριότητας με τη πραγματικότητα. Οι επιλογές αυτές επηρεάζουν και καθορίζουν εν τέλει τη δομή της διδασκαλίας καθώς και την στάση των μαθητευόμενων απέναντι στην επιστήμη (Καριώτογλου & Τσελφές, 2000).

Όταν για παράδειγμα η επιστημονική μέθοδος προβάλλεται σύμφωνα τη θετικιστική εκδοχή της φύσης της επιστήμης, αυτή η οπτική δύναται να ανατραπεί όταν ταυτόχρονα παρουσιάζονται επιπλέον χαρακτηριστικά της επιστήμης με βάση τον επιστημονικό ρεαλισμό. Αυτή η αντίθεση προκαλεί προβλήματα αλλά και προκλήσεις στο σχεδιασμό της διδασκαλίας ενώ επηρεάζει σημαντικά τα αποτελέσματα της. Καθίσταται λοιπόν αναγκαίο να γίνει επιστημολογική ανάλυση

του μετασχηματισμένου περιεχομένου ώστε να ελεγχθεί η επιστημονικότητά του καθώς και η πληρότητα του σε σχέση με τις επιστημονικές μεθόδους/πρακτικές που υποστηρίζει. Με αυτόν τον τρόπο, οι επιστημολογικές συνιστώσες μετατρέπονται σε πλεονεκτήματα διευκολύνοντας την εμπλοκή των μαθητών σε διαδικασίες που θα αποκάλυπταν τον συμπληρωματικό χαρακτήρα των διαφορετικών όψεων της φύσης της επιστήμης (Πάπαρου, 2012).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο : Η ΕΠΙΣΤΗΜΟΛΟΓΙΑ ΤΟΥ ΙΑΝ HACKING

2.1 Η Παρεμβατική όψη της επιστήμης

Πολλοί εκπαιδευτικοί υποστηρίζουν ότι η επιστημονική κατανόηση περιλαμβάνει διάφορες πτυχές της επιστημονικής έρευνας όπως κατανόηση των αναπαραστάσεων του υλικού κόσμου υπό τους όρους εννοιών και μοντέλων καθώς και τρόπους σύνδεσης των αναπαραστάσεων με υλικά φαινόμενα και διαδικασίες παρέμβασης στον υλικό κόσμο. Διάφοροι ερευνητές προτείνουν πως η διδασκαλία της επιστήμης θα πρέπει να στοχεύει στο να παρέχει στους μαθητές επιστημονική γνώση που να είναι χρήσιμη στην καθημερινή ζωή, αναπτύσσοντας την κατανόηση τους για τις αναπαραστάσεις του φυσικού κόσμου. Οι μαθητές θα έπρεπε να κατανοούν με ποιο τρόπο οι επιστήμονες αναπαριστούν τον κόσμο υπό τους όρους των εννοιών και των μοντέλων καθώς και την επιλογή και τη χρήση αυτών των μοντέλων στην αντιμετώπιση των καθημερινών τους αναγκών και στην επικοινωνία τους με το κοινωνικό περιβάλλον (Psillos et al., 2004).

Συγκεκριμένα, οι κονστрукτιβιστικές προσεγγίσεις διδασκαλίας εστιάζουν στην ενίσχυση της αλληλεπίδρασης των μαθητών με τον υλικό κόσμο σε εργαστηριακά περιβάλλοντα προσφέροντας με αυτόν τον τρόπο την ευκαιρία να συνδέσουν τον κόσμο των θεωριών με πραγματικά γεγονότα. Μια σημαντική κατεύθυνση στην έρευνα της *Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών* λοιπόν βασίζεται στον μετασχηματισμό της επιστημονικής γνώσης σύμφωνα με τους στόχους της διδασκαλίας σε γνώσεις προσαρμοσμένες στις αντιλήψεις των μαθητών, δίνοντας ιδιαίτερη έμφαση σε καινοτόμες αναπαραστάσεις περιεχομένου και των συνδέσεων τους με τον υλικό κόσμο (Psillos et al., 2004).

Ωστόσο, οι ρητές και άρρητες υποθέσεις και αποφάσεις που επηρεάζουν σε σημαντικό βαθμό το σχεδιασμό και την ανάπτυξη των αντίστοιχων διδακτικών προσεγγίσεων αντιμετωπίζονται λιγότερο και μπορεί να μη παρουσιάζονται καν με σαφήνεια. Δηλαδή, οι βαθύτερες επιστημολογικές υποθέσεις των ερευνητών, οι οποίες και καθορίζουν τη φύση της διδασκαλίας σπάνια δηλώνονται ρητά. Αυτό καθιστά την επικοινωνία και την αναπαραγωγή των διδακτικών προσεγγίσεων

προβληματικές εγείροντας ανησυχίες ως προς την εγκυρότητα τους όταν αυτές λειτουργούν σε διαφορετικά πλαίσια (Psillos et al., 2004)

Σημαντική είναι η άποψη η οποία υποστηρίζει τη συνύπαρξη της προφορικής εμπειρικής εργαστηριακής παράδοσης των *Φυσικών Επιστημών* με την θεωρητική. Οι έννοιες των *Φυσικών Επιστημών*, οι οποίες τις περισσότερες φορές αποτελούν το διδακτικό– μαθησιακό στόχο, αποκτούν τη σημασία τους μέσω των πρακτικών που χρησιμοποιούμε. Στις *Φυσικές Επιστήμες* δεν αναπαριστούμε απλώς τον φυσικό κόσμο αλλά παρεμβαίνουμε σε αυτόν και τον κατασκευάζουμε (Hacking, 1992).

Σε αυτή τη βάση, οι επιστημονικές έννοιες και ιδέες δεν είναι ανεξάρτητες από το πλαίσιο μέσα στο οποίο χρησιμοποιούνται. Η εκπαιδευτική παράδοση θεωρεί πως στην επιστήμη μια έννοια σημαίνει ένα και μόνο ένα πράγμα δηλαδή υπονοεί το μονοσήμαντο των επιστημονικών ιδεών, γεγονός που έρχεται σε αντίθεση με την επιστημονική πραγματικότητα. Θα πρέπει να εστιάσουμε σε πρακτικές, είτε επιστημονικές είτε κοινωνικές, οι οποίες επέτρεψαν ή επέβαλαν την πολλαπλότητα στην σημασία-χρήση μιας έννοιας (Τσελφές κ.ά., 2005).

Η επιστημονική δραστηριότητα χαρακτηρίζεται από τη γέννηση της από δύο διαφορετικές κουλτούρες με διαφοροποιημένες γλώσσες και πρακτικές. Η μια κουλτούρα είναι η θεωρητική, η οποία κατασκευάζει κείμενα σε μαθηματική κυρίως γλώσσα ενώ οι έννοιες που διαχειρίζεται αναπαριστούν σχεδόν αποκλειστικά σχέσεις αλλά και σχέσεις σχέσεων. Η δεύτερη επιστημονική κουλτούρα είναι η εργαστηριακή η οποία χρησιμοποιεί τον προφορικό λόγο και κατασκευάζει τα κομμάτια του υλικού κόσμου που ταιριάζουν με τα κείμενα της πρώτης (Τσελφές, 2003) .

Η εργαστηριακή επιστημονική δραστηριότητα παρεμβαίνει στον υλικό κόσμο, τον αλλάζει αλλά μιλά ελάχιστα για αυτόν (Τσελφές κ.ά., 2005). Καθώς η επιστήμη περιλαμβάνει όχι μόνο αναπαραστάσεις του φυσικού κόσμου αλλά και τρόπους παρέμβασης στα πράγματα, με το να τα βάζει να «δουλέψουν» στο εργαστήριο σύμφωνα με τις θεωρίες και τα μοντέλα, οι μαθητές οφείλουν να μνηθούν σε αυτού του είδους την πρακτική. Εξάλλου, αυτό το είδος της εργαστηριο-κεντρικής παρεμβατικής πρακτικής η οποία έχει μια ισχυρή και κυρίαρχη παράδοση στην επιστήμη, αλληλεπιδρά και υποστηρίζει θεωρητικές

παραγωγές και διακρίνει τον επιστημονικό γραμματισμό από άλλα είδη γραμματισμού (Psillos et al., 2004).

Σε όλα τα εκπαιδευτικά συστήματα, αποδεικνύεται πως η διδασκαλία της επιστήμης πάντα σεβόταν αυτή τη θεμελιώδη πτυχή της επιστημονικής γνώσης. Εάν οι εργαστηριακές πρακτικές αγνοηθούν ή ελαχιστοποιηθούν, δίνοντας έμφαση μόνο στην αναπαραστατική πτυχή της επιστημονικής γνώσης, τότε η εκπαίδευση της επιστήμης τείνει να μετατραπεί σε κάτι που μοιάζει περισσότερο με την φυσική φιλοσοφία. Η κατανόηση της επιστήμης συνεπάγεται κάποια κατανόηση των πρακτικών που περιλαμβάνονται στην επιστημονική έρευνα τις οποίες οφείλουμε να προωθήσουμε και στη διδασκαλία των επιστημονικών αντικειμένων στους μαθητές (Psillos et al., 2004).

Το περιεχόμενο των σχολικών *Φυσικών Επιστημών*, το οποίο και κατασκευάζεται για εκπαιδευτικούς λόγους θα πρέπει να έχει σχέση με την επίσημη, επαγγελματική, επιστημονική δραστηριότητα. Ωστόσο, η σχέση αυτή έχει προβλήματα όταν συγκροτείται μέσω εννοιών, θεωριών, νόμων ή μοντέλων καθώς επίσης και μέσω της μεθοδολογίας των *Φυσικών Επιστημών*. Φαίνεται πως μια πρακτική προσέγγιση, όπως δηλαδή η αξιοποίηση του πειράματος, μπορεί να δημιουργήσει μία επιθυμητή απευθείας επαφή με τα φυσικά φαινόμενα αποφεύγοντας την ιδιαίτερα πολύπλοκη θεωρητική προσέγγιση τους (Τσελφές κ. ά., 2005).

2.2 Η φιλοσοφία του πειράματος από τον Ian Hacking

Εργασία κλειδί για την ένταξη του πειράματος στο μικροσκόπιο της φιλοσοφίας της επιστήμης, υπήρξε η εργασία του Ian Hacking, η οποία και τροφοδότησε την ανάπτυξη μιας σειράς από διδακτικές παρεμβάσεις βασισμένες στις εργαστηριακές πρακτικές της επιστήμης (Πάπαρου, 2012). Το έργο του *Representing and Intervening* (1983) θεωρείται από τις πρώτες εργασίες που εστίασαν στο ρόλο του πειραματισμού στα πλαίσια της φιλοσοφίας της επιστήμης. Εγκαινίασε ένα καινούργιο φιλοσοφικό πρόγραμμα γνωστό ως «φιλοσοφία του πειράματος» ή αλλιώς «νέος πειραματισμός» (new experimentalism). Σύμφωνα με τον Αραμπατζή (2008) η εργασία του Hacking ήταν καθοριστική για την αποκατάσταση του πειράματος και την ανάδειξη της φιλοσοφικής του σημασίας

(Simons, & Vagelli, 2021, σ. 2).

Ο Hacking υποστηρίζει πως η επιστήμη όχι μόνο αναπαριστά τον κόσμο αλλά και παρεμβαίνει σε αυτόν. Σκοπός του ήταν να επιβεβαιώσει τον ρόλο των επιστημονικών πειραμάτων σε αντίθεση με την αποκλειστική προσοχή που οι φιλόσοφοι έδιναν στις επιστημονικές θεωρίες (φύση, δομή, λειτουργία, όρια). Ο ίδιος αναφέρει πως «Οι φιλόσοφοι της επιστήμης συζητούν συνεχώς γύρω από τις θεωρίες και την αναπαράσταση της πραγματικότητας, αλλά δεν αναφέρουν σχεδόν τίποτα σχετικά με το πείραμα, την τεχνολογία, ή τη χρήση γνώσης για τη μεταβολή του κόσμου» (Hacking, 2002, σ. 203).

Βέβαια, αρκετοί φιλόσοφοι πριν τον Hacking είχαν διαπραγματευτεί το θέμα του πειράματος στην επιστήμη αλλά το έκαναν πάντα σε σχέση με τη θεωρία. Η καινοτομία στη σκέψη του είναι πως ο πειραματισμός πρέπει αντιμετωπιστεί ανεξάρτητα από τα θεωρητικά πλαίσια στα οποία λαμβάνει χώρα αφού ο ίδιος έχει μία δική του «ζωή». Ακόμη πως τα φαινόμενα που παράγονται σε ένα επιστημονικό εργαστήριο έχουν την ικανότητα να επιμένουν ανεξάρτητα από αλλαγές στη θεωρία. Μας υπενθυμίζει πως αν δεν μπορούμε να συλλάβουμε τις πειραματικές πρακτικές από μόνες τους, ως πρακτικές, και όχι ως έκφραση, επέκταση ή επιβεβαίωση κάποιας θεωρίας, τότε χάνουμε ένα θεμελιώδες χαρακτηριστικό της επιστημονικής έρευνας (Simons, & Vagelli, 2021).

Ο Hacking εξετάζοντας τις πραγματικές εργαστηριακές επιστημονικές δραστηριότητες οι οποίες εξασκούνται από τους επιστήμονες, επιχειρεί να γενικεύσει και να παράγει πρότυπα επιστημονικής πρακτικής. Το μοντέλο του περιγράφει όσο το δυνατό επαρκέστερα όλες τις πιθανές δραστηριότητες που χαρακτηρίζουν τις εργαστηριακές επιστήμες. Η προσέγγιση του Hacking δε βασίζεται στα κοινωνικά και γνωστικά χαρακτηριστικά των επιστημονικών κοινοτήτων, τα οποία είναι σίγουρα διαφορετικά από αυτά των μαθητικών κοινοτήτων, γεγονός το οποίο της προσδίδει ένα σημαντικό πλεονέκτημα, παρέχοντας στο μοντέλο ευελιξία και δυνατότητες για διδακτική αναπλαισίωση. Αυτό σημαίνει πως μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε το μοντέλο του Hacking με σκοπό να μελετήσουμε και να αναλύσουμε δραστηριότητες που περιέχονται σε εκπαιδευτικά πλαίσια υποστηρίζοντας με αυτόν τον τρόπο την επιστημολογική βάση συγκεκριμένων διδακτικών προτάσεων (Psillos et al., 2004). Επιπλέον, το

ίδιο μοντέλο συνιστά όπως έχει ήδη αναφερθεί, ένα ισχυρό θεωρητικό πλαίσιο για το σχεδιασμό και την ανάπτυξη Διδακτικών Μαθησιακών Ακολουθιών (Ζουπίδης, 2012).

2.3 Το μοντέλο CEI του Ian Hacking

Ο Hacking στο άρθρο του «The self-vindication of the Laboratory Sciences» (1992), προτείνει μία «ταξινόμια των οντοτήτων της εργαστηριακής πρακτικής». Σύμφωνα με αυτήν, η επιστημονική δραστηριότητα των εργαστηριακών επιστημών, δηλαδή των επιστημών που κατασκευάζουν στο εργαστήριο κομμάτια του κόσμου που μελετούν, διακρίνεται από μία σχετικά αυτόνομη «εσωτερική ζωή». Εντός των πλαισίων της, οι επιστήμονες διαχειρίζονται τρεις σημαντικές κατηγορίες οντοτήτων οι οποίες αλληλεπιδρούν δυναμικά μεταξύ τους ενώ συγχρόνως μπορούν να μετασχηματίζουν η μία την άλλη (Psillos et al., 2004). Οι οντότητες αυτές είναι ο Κόσμος (Cosmos), τα Τεκμήρια (Evidence), και οι Ιδέες (Ideas). Στο εσωτερικό αυτό πλαίσιο, αναπτύσσεται μία ελάχιστη δυναμική η οποία δεν αλλοιώνεται από πιθανές εξωτερικές (κοινωνικές ή παραδοσιακές) σχέσεις. Στην συνέχεια αναλύονται οι κατηγορίες των οντοτήτων που υποστηρίζουν το μοντέλο του Hacking καθώς και ο τρόπος που αυτές αλληλεπιδρούν στα πλαίσια της αυτόνομης «εσωτερικής ζωής» τους.

2.3.1 Υλικές Οντότητες / Cosmos

Οι υλικές οντότητες συνιστούν “πράγματα” και “ακατέργαστα δεδομένα”, υποστηρίζουν την συνειδητοποίηση του φαινομένου στον πραγματικό κόσμο και ονομάζονται Cosmos. Εδώ συμπεριλαμβάνονται όλα τα υλικά και τα μηχανήματα που χρησιμοποιούνται με τον ένα ή τον άλλο τρόπο, όπως για παράδειγμα το δείγμα, οι πηγές των τροποποιήσεων (συσκευές που επηρεάζουν, μεταβάλλουν ή αλληλεπιδρούν με το δείγμα), οι ανιχνευτές των τροποποιήσεων, τα εργαλεία, οι γεννήτριες των δεδομένων (μπορεί να είναι από τον πειραματιστή μέχρι τα καταγραφικά, τις φωτογραφικές μηχανές ή τα σκάνερς), καθώς και οι αναγνώσεις των συσκευών που συνιστούν τα ακατέργαστα δεδομένα.

Τα τελευταία, θεωρούνται ως κατασκευές/υλικά προϊόντα του πειράματος (αυτά που παράγονται από τις γεννήτριες των δεδομένων) και όχι ως οντότητες που παρέχονται από την επιστήμη. Είναι τα ανερμήνευτα σημάδια, τα γραφήματα των μεταβολών με το χρόνο, οι φωτογραφίες κ.λπ. Τα δεδομένα κατασκευάζονται στο εργαστήριο. Δε δίνονται από τη φύση. Είναι η υλική παραγωγή των συσκευών. Υλικές οντότητες και ακατέργαστα δεδομένα δίνουν υπόσταση στο φαινόμενο μέσα στον πραγματικό κόσμο μέρος του οποίου είναι και ο επιστήμονας. Τέλος, στην οντότητα Cosmos, συμπεριλαμβάνεται και κάθε κομμάτι του φυσικού κόσμου-πραγματικότητας που μπορούμε να παρατηρήσουμε.

2.3.2 Τεκμήρια – Evidence

Τα τεκμήρια θεωρούνται ή παρουσιάζονται ως κατάλληλα από τον επιστήμονα και συνυπάρχουν με τον τρόπο κατασκευής τους. Τα τεκμήρια είναι αποδεικτικά στοιχεία τα οποία όμως ελέγχονται και επεξεργάζονται κατάλληλα από τον επιστήμονα πριν δοθούν και παρουσιαστούν από αυτόν. Δηλαδή, επιλέγοντας κάποια από αυτά, αναπαριστώντας τα με συγκεκριμένους τρόπους, ταξινομώντας τα σύμφωνα με επιλεγμένα κριτήρια, συγκρίνοντας τα με άλλα δεδομένα κ.λπ. Στα τεκμήρια τείνουμε να συμπεριλάβουμε τις αντιπροσωπευμένες οντότητες που προέρχονται είτε από τις αισθήσεις (τι βλέπουμε, τι ακούμε κ.λπ.) ή από μια περισσότερο ή λιγότερο συστηματική επεξεργασία δεδομένων. Είναι δεδομένα (ποσοτικά ή ποιοτικά) τα οποία αξιολογούνται, εκτιμούνται, αναλύονται, ανάγονται και ερμηνεύονται στη βάση της υπόθεσης ή της συστηματικής θεωρίας που μελετά ο επιστήμονας.

2.3.3 Ιδέες / Ideas

Οι ιδέες σχετίζονται με το φυσικό φαινόμενο που μελετάται. Συγκεκριμένα, περιλαμβάνουν το σύνολο των θεωρητικών εννοιών, συστηματικών θεωριών, θεωρητικών μοντέλων, μοντέλων συσκευών. Ακόμη, περιλαμβάνονται τοπικές υποθέσεις και ερωτήματα ως μεθοδολογικές οντότητες οι οποίες αποκτούν νόημα σε ένα συγκεκριμένο θεωρητικό πλαίσιο. Επιπλέον, εντάσσονται θεμελιώδεις πεποιθήσεις και γνώσεις, οι οποίες αν και είναι βασικές στη λειτουργία της επιστήμης, ωστόσο, επειδή θεωρούνται δεδομένες, δεν αναφέρονται συστηματικά.

Πρόκειται για σιωπηρές απόψεις όπως απόψεις της πραγματικότητας, αιτιότητες, σχέσεις μεταξύ του θέματος που μελετάται και του εξωτερικού κόσμου, που ενώ δε δηλώνονται ευθέως επηρεάζουν την κατασκευή της επιστημονικής γνώσης.

Το συγκεκριμένο μοντέλο περιλαμβάνει τρεις κατηγορίες οντοτήτων ενώ άλλοι ερευνητές και θεωρητικοί προτείνουν δύο (Psillos & Niedderer, 2006b). Συγκεκριμένα τις Υλικές Οντότητες (Cosmos) και τις Ιδέες (Ideas). Ωστόσο, αυτή η προσέγγιση απέναντι στις επιστημονικές δραστηριότητες, συχνά δημιουργεί πρόβλημα σύγχυσης μεταξύ των οντοτήτων που εντάσσονται στην κατηγορία του Κόσμου και των οντοτήτων που εντάσσονται στις κατηγορίες των Τεκμηρίων και Ιδεών, βάσει του μοντέλου του Hacking. Είναι δύσκολο να αναφερόμαστε σε οντότητες του υλικού κόσμου χωρίς να χρησιμοποιήσουμε είτε τα Τεκμήρια είτε τις Ιδέες. Έτσι, στην περίπτωση που συγχέονται οντότητες του Κόσμου με τα Τεκμήρια, τότε ο κόσμος ανάγεται απλώς σε αυτό που βλέπουμε, σύμφωνα με την εμπειρική παράδοση. Στην δεύτερη περίπτωση, η ανάμιξη οντοτήτων του Κόσμου με οντότητες από την κατηγορία των Ιδεών, έχει σαν συνέπεια ο Κόσμος να αναγνωρίζεται ως αναπαράσταση μιας συγκεκριμένης, επιστημονικά επικυρωμένης θεωρίας, κάτι το οποίο αναλογεί σε μια θετικιστική προσέγγιση. Στην πραγματικότητα, με αυτόν τον τρόπο, μειώνεται η πιθανότητα μιας κριτικής προσέγγισης είτε στις οντότητες των Τεκμηρίων, είτε σε αυτές των Ιδεών. Ακολούθως, μειώνεται η δυνατότητα της πειραματικής παρέμβασης σε ένα μοναδικό Κόσμο, ανεξάρτητο από Τεκμήρια και Ιδέες, με σκοπό να επικυρωθούν είτε οι Ιδέες, είτε τα Τεκμήρια (Psillos et al., 2004).

Το μοντέλο του Hacking προτείνει την ύπαρξη των τριών ξεχωριστών κατηγοριών και την δυναμική αλληλεπίδραση τους. Οι Ιδέες και τα Τεκμήρια είναι οντότητες που εκπροσωπούν τα πραγματικά και εργαστηριακά φαινόμενα και μπορούν να εξηγούν ή να δικαιολογούν το ένα το άλλο. Είναι οντότητες οι οποίες προέρχονται από το γνωστικό κόσμο και μέσω αυτών αποκτούμε τη δυνατότητα να αναπαραστήσουμε τα φαινόμενα του «πραγματικού» κόσμου. Σε αυτό το πλαίσιο, Ιδέες και Τεκμήρια γίνονται το όχημα για να επικοινωνήσουν οι επιστήμονες μεταξύ τους όταν καλούνται να συζητήσουν τις προβλέψεις τους, τις ερμηνείες των φαινομένων ή την εγκυρότητα τους. Πραγματοποιείται έτσι η χρήση και η ανάπτυξη της επιστημονικής γλώσσας εντός των πλαισίων της θεωρητικής κουλτούρας της επιστήμης.

Ωστόσο, υπάρχει πάντα το συγκεκριμένο φαινόμενο ως μέρος του υλικού κόσμου, σε ένα εργαστήριο για παράδειγμα, χωρίς όμως να είναι επικοινωνήσιμο ή μεταδόσιμο. Ένας ερευνητής για παράδειγμα, έχει τη δυνατότητα να παρέμβει στον υλικό κόσμο, σε ένα εργαστήριο, προκαλώντας τα πράγματα να δουλέψουν με τον ένα ή τον άλλο τρόπο, χρησιμοποιώντας τις ιδέες του ή στοχεύοντας σε κάποια αναμενόμενα τεκμήρια. Όμως, το πραγματικό/υλικό κομμάτι του φαινομένου, το οποίο υπάρχει ή κατασκευάζεται, δεν μπορεί να μιλήσει για τον εαυτό του ούτε να «υποταχθεί» σε οποιαδήποτε ιδέα ή αναμενόμενο τεκμήριο (Psillos et al., 2004).

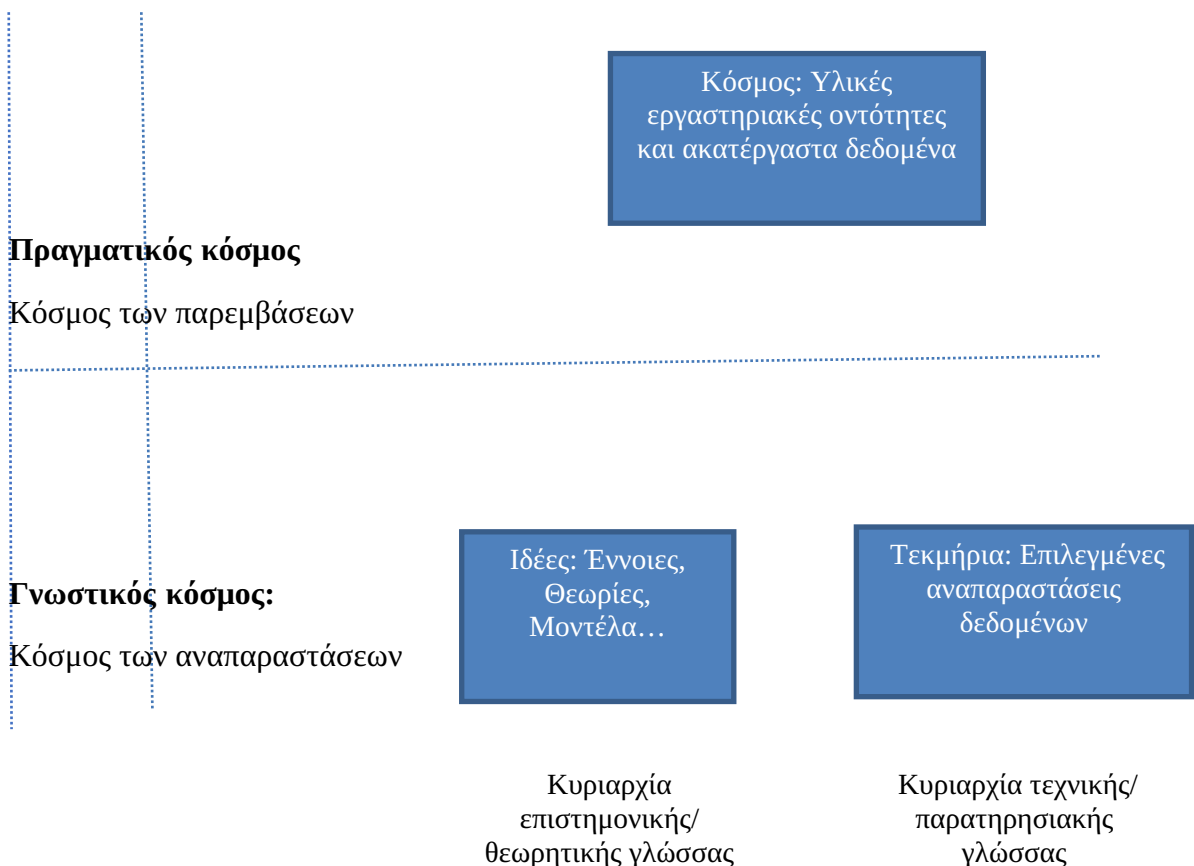
Αυτό το γεγονός καθιστά δύσκολο το να συζητάμε για τις οντότητες του πραγματικού κόσμου, χωρίς να χρησιμοποιούμε αποδεικτικά στοιχεία/τεκμήρια ή ιδέες που να συνδέονται με αυτές τις οντότητες. Αυτό συμβαίνει διότι οι αναπαραστάσεις είναι προαπαιτούμενες του λόγου. Η ύπαρξη του «πραγματικού» κόσμου περιορίζει την ποικιλία των τεκμηρίων και των ιδεών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν με σκοπό να τον αναπαραστήσουμε. Αυτό με τη σειρά του σημαίνει πως η κατασκευή των αναπαραστάσεων δεν είναι μια κοινωνική κατασκευή ανεξάρτητη από το κομμάτι του πραγματικού κόσμου στο οποίο ανήκει. Επιπλέον, η σχέση Κόσμου-Ιδεών και Κόσμου-Τεκμηρίων είναι πολύπλευρη και μπορεί να της αποδοθούν διάφορα νοήματα. Διαπιστώνουμε λοιπόν πως ένα κομμάτι του Κόσμου μπορεί να αναπαρασταθεί με διαφορετικών ειδών Τεκμήρια ή Ιδέες (Psillos et al., 2004).

Αξίζει να τονίσουμε, πως οι επιστήμονες, κατά τη διάρκεια των παρεμβατικών τους δραστηριοτήτων, επικοινωνούν χρησιμοποιώντας όρους οι οποίοι αναφέρονται σε οντότητες του υλικού κόσμου καθώς και στους τρόπους με τους οποίους έχουν τη δυνατότητα να χειριστούν τις συγκεκριμένες οντότητες. Αυτό πραγματοποιείται μέσα από τη χρήση μιας γλώσσας διαφορετικής από την θεωρητική επιστημονική και την οποία θα μπορούσαμε να χαρακτηρίσουμε ως τεχνική. Γενικά, η τεχνική γλώσσα, είναι ανεξάρτητη από τις θεωρητικές ιδέες που εμπλέκονται με τους διενεργούμενους πειραματισμούς και συνδέεται μόνο με την «παρατηρησιακή γλώσσα» των τεκμηρίων (Τσελφές κ.ά., 2005).

Το γεγονός αυτό φανερώνει πως κάποιοι ερευνητές έχουν τη δυνατότητα να εργάζονται αποτελεσματικά σε ένα επιστημονικό εργαστήριο γνωρίζοντας μόνο

το παρατηρησιακό κομμάτι των φαινομένων που διαχειρίζονται χωρίς ωστόσο να γνωρίζουν τις άμεσα σχετιζόμενες με το φαινόμενο, θεωρητικές επιστημονικές ιδέες. Η ύπαρξη λοιπόν αυτής της «γλώσσας» προσδίδει μια ιδιαίτερη σημασία στις παρεμβάσεις οι οποίες πραγματοποιούνται στα πλαίσια των επιστημονικών δραστηριοτήτων (Τσελφές κ.ά., 2005).

Σύμφωνα με το μοντέλο του Hacking το οποίο μελετά και αναλύει την επιστημονική έρευνα και αποκαλείται CEI μοντέλο (Cosmos-Evidence-Ideas) ή αλλιώς ΚΙΤ (Κόσμος-Ιδέες-Τεκμήρια), οι επιστήμονες πραγματοποιούν δραστηριότητες ως συνδέσεις μεταξύ των τριών αυτών διαφορετικών κατηγοριών οντοτήτων, στοχεύοντας στην αυτοδικαίωση της επιστημονικής τους δραστηριότητας. Οι πρακτικές που εκτελούν οι επιστήμονες που ασχολούνται με την επιστημονική έρευνα, χαρακτηρίζονται και προσδιορίζονται από τα είδη των συνδέσεων μεταξύ αυτών των οντοτήτων οι οποίες γίνονται αντιληπτές μέσα στο συγκεκριμένο αυτό πλαίσιο. Μπορούμε να απεικονίσουμε σχηματικά το CEI μοντέλο τριών επιπέδων της επιστημονικής έρευνας σύμφωνα με το παρακάτω σχήμα και παράλληλα να αναπαραστήσουμε τη δυναμική του «επιστημονικού πειραματισμού».



Σχήμα1. Το μοντέλο Κόσμος-Ιδέες-Τεκμήρια (Τσελφές, 2007)

Στο Σχήμα 1, αναδεικνύονται όχι μόνο οι οντότητες αλλά και το γεγονός πως κατά την διάρκεια την επιστημονικής έρευνας οι επιστημονικές δραστηριότητες περιλαμβάνουν αμφίδρομες αλληλεπιδράσεις μεταξύ των οντοτήτων ενώ συγχρόνως υπάρχει η δυνατότητα μία οντότητα να μπορεί να τροποποιήσει μία άλλη. Αυτή η δυναμική σχέση αναδεικνύει τον τρόπο με τον οποίο ένας πειραματισμός χαρακτηρίζεται επιτυχής. Κάτι τέτοιο πραγματοποιείται, όχι όταν απλά οι Ιδέες συμφωνούν με τα Τεκμήρια αλλά όταν ταιριάζουν μεταξύ τους οι Ιδέες, ο Κόσμος και τα Τεκμήρια. Αυτή η συμφωνία μπορεί να επιτευχθεί με διάφορους τρόπους όπως :

- με την κατασκευή των κατάλληλων τεκμηρίων μέσα από την επιλογή συγκεκριμένων μεθόδων διαχείρισης των ακατέργαστων δεδομένων
- με τη μεταβολή κάποιων από των θεωρητικών ιδεών ή των μοντέλων,
- με την παρέμβαση στον υλικό κόσμο και την κατασκευή νέων κομματιών του όπως για παράδειγμα νέες συσκευές μέτρησης που παράγουν διαφορετικά ακατέργαστα δεδομένα
- με κάποιο συνδυασμό των προηγούμενων

Σε αυτό το πλαίσιο της εργαστηριακής πρακτικής τα προβλήματα της φιλοσοφικής επαγωγής (οι θεωρίες καθοδηγούνται από την παρατήρηση) καθώς και της φιλοσοφικής παραγωγής (οι παρατηρήσεις καθοδηγούνται από τη θεωρία) χάνουν τη σημασία τους. Μπορούμε να δημιουργούμε σχέσεις μεταξύ Ιδεών και Τεκμηρίων χρησιμοποιώντας είτε την επαγωγή για να επικυρώσουμε κάποιες Ιδέες είτε την παραγωγή για να ερμηνεύσουμε Τεκμήρια. Ωστόσο, για να πραγματοποιηθεί το ουσιαστικό δέσιμο Ιδεών και Τεκμηρίων απαιτείται η κατασκευή του κατάλληλου κομματιού υλικής «πραγματικότητας».

2.4 Αξιοποίηση του μοντέλου CEI στη διδασκαλία των φυσικών επιστημών

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, το μοντέλο CEI του Hacking δεν εμπλέκει κοινωνικά ή γνωστικά χαρακτηριστικά των επιστημονικών κοινοτήτων. Αναπτύσσεται εσωτερικά απαλλαγμένο από κοινωνικές συνιστώσες. Αυτό το χαρακτηριστικό το καθιστά ικανό να αξιοποιηθεί σε σχολικά μαθησιακά περιβάλλοντα και συγκεκριμένα στις εργαστηριακές πρακτικές. Σύμφωνα με τη

πρόταση του Τσελφέ (2003), η διδασκαλία των εργαστηριακών πρακτικών μπορεί να εφαρμοστεί βάσει του CEI μοντέλου. Στην πρόταση του παρουσιάζει ένα «χάρτη» διδακτικών δραστηριοτήτων που περιλαμβάνει:

A) Διδακτικές δραστηριότητες σύνδεσης «Ιδεών» και «Τεκμηρίων».

Σε αυτές τις δραστηριότητες ο διδακτικός σχεδιασμός στοχεύει να οδηγήσει τους μαθητές στην αποκατάσταση των σχέσεων μεταξύ των θεωριών (ή των μοντέλων) των *Φυσικών Επιστημών* και των τεκμηρίων που της υποστηρίζουν. Ενώ οι δραστηριότητες αυτής της μορφής είναι από τις πλέον διαδεδομένες στη γενική εκπαίδευση εντούτοις, πραγματοποιούνται με τρόπους που δε φανερώνουν τη φύση τους. Η λύση προβλημάτων για παράδειγμα είναι μια τέτοια δραστηριότητα. Εδώ τα δεδομένα και ζητούμενα Τεκμήρια διαχειρίζονται ως αριθμητικά δεδομένα και οι θεωρίες/μοντέλα ως «μαθηματικοί τύποι». Στην περίπτωση που τα Τεκμήρια προκύπτουν από πειραματικές διατάξεις επίδειξης δεν αρκεί μόνο η παρατήρηση. Οι εκπαιδευτικοί παραλείπουν να τα εντοπίσουν λεκτικά πιστεύοντας πως τα φαινόμενα μιλάνε από μόνα τους. Ωστόσο τα Τεκμήρια δε «φαίνονται». Εντοπίζονται και παίρνουν υπόσταση μέσα από τον κόσμο του λόγου. Και μόνο μέσα από τον κόσμο του λόγου συνδέονται με τις Ιδέες. Έτσι για παράδειγμα:

- Στο εκπαιδευτικό εργαστήριο και στο πλαίσιο μιας παραγωγικής συζήτησης μπορεί να στηθεί ένα πείραμα ως επιχείρημα. Εδώ, εκπαιδευτικοί και μαθητές μπορούν να επιλέγουν μέσα από την πειραματική επίδειξη, συνειδητά, τα κατάλληλα Τεκμήρια για να τα χρησιμοποιήσουν ως επιχειρήματα.
- Στο εκπαιδευτικό εργαστήριο μπορούν να στηθούν πειράματα με σκοπό την παρουσίαση των Τεκμηρίων ως θετικών στιγμιότυπων μιας άποψης. Και σε αυτήν την περίπτωση τα Τεκμήρια πρέπει να δηλώνονται ρητά εμπλουτίζοντας τον εκπαιδευτικό διάλογο με επαγωγικά επιχειρήματα.
- Υπάρχει η δυνατότητα του νοητικού πειράματος όπου δεν απαιτείται η υλική βάση για να πραγματοποιηθεί. Το νοητικό πείραμα στην ουσία είναι ένα παιχνίδι μεταξύ Ιδεών και Τεκμηρίων.

Β) Διδακτικές δραστηριότητες σύνδεσης «Εργαστηριακού Κόσμου» και «Τεκμηρίων».

Στις δραστηριότητες αυτές οι μαθητές πρέπει να καθοδηγούνται στην αποκατάσταση των σχέσεων μεταξύ υλικών κατασκευών (πειραματικών διατάξεων) και Τεκμηρίων. Στις διδακτικές πρακτικές, το καθοδηγούμενο εργαστήριο είναι η πιο διαδεδομένη δραστηριότητα αυτού του τύπου συνδέσεων. Στα πλαίσια του καθοδηγούμενου εργαστηρίου οι μαθητές επιχειρούν να κατασκευάσουν Τεκμήρια βάση δεδομένων πειραματικών διατάξεων ή ενός συνόλου ακατέργαστων δεδομένων. Σε αυτή την περίπτωση αναδύεται ένα οντολογικό εμπόδιο. Οι μαθητές, ως υποκείμενα της γνώσης, αλληλοεπιδρούν με ένα κόσμο που δεν είναι οντολογικά ενιαίος. Υπάρχει ένας διαχωρισμός, από τη μία μεριά ο πραγματικός υλικός κόσμος και από την άλλη ο κόσμος του λόγου μέσω του οποίου πραγματοποιείται η αναπαράσταση των γεγονότων του υλικού κόσμου. Το εμπόδιο αυτό στην ουσία προκαλεί την ταύτιση ενός κομματιού του υλικού κόσμου με ένα και μόνο ένα σύνολο Τεκμηρίων. Αυτή η δυσκολία θα πρέπει να εντοπίζεται μέσα στις διαδικασίες της εργαστηριακής δραστηριότητας και να συζητιέται μεταξύ μαθητών και εκπαιδευτικών. Αυτό σημαίνει πως, εκτός από τη διδασκαλία και τη μάθηση των τυπικών τεχνικών κατασκευής Τεκμηρίων, στα πλαίσια του εκπαιδευτικού εργαστηρίου, και κατά αναλογία με το επιστημονικό, ζητείται :

- Η κατασκευή μιας «νέας» υλικής πραγματικότητας στη βάση συγκεκριμένων Τεκμηρίων. Οι μαθητές, μέσα από την παρεμβατική διαδικασία αυτής της κατασκευής, μαθαίνουν χαρακτηριστικά της κουλτούρας των εργαστηριακών επιστημών.
- Η αποκάλυψη κρυμμένων κομματιών μιας υφιστάμενης υλικής πραγματικότητας. Αν οι μαθητές οργανώσουν την παρατήρησή τους μέσω του διαλόγου, τότε αποκτούν τη δυνατότητα να τα εντοπίσουν. Με αυτόν τον τρόπο εξοικειώνονται και με άλλα χαρακτηριστικά της επιστημονικής κουλτούρας όπως το ότι βλέπουμε τα πράγματα που επιδιώκουμε να δούμε και όχι τα πράγματα που απλώς «υπάρχουν». Παράλληλα, ασκούνται στην κατασκευή οργάνων παρατήρησης ή μέτρησης μαθαίνοντας να εμπιστεύονται ή όχι τόσο τις κατασκευές τους όσο και τις αισθήσεις τους.

Γ) Διδακτικές δραστηριότητες σύνδεσης «Εργαστηριακού Κόσμου» και «Ιδεών».

Σε αυτού του είδους τις δραστηριότητες ο διδακτικός σχεδιασμός καθοδηγεί τους μαθητές στη δοκιμασία αποκατάστασης των σχέσεων μεταξύ του κατασκευασμένου κόσμου που προκύπτει από τις πειραματικές διατάξεις και των εννοιών, μοντέλων και θεωριών των *Φυσικών Επιστημών*. Σε αυτή τη δοκιμασία, οι επιδιωκόμενες σχέσεις θα πρέπει να είναι αμφίδρομες και επιπλέον να μη συγχέονται με τις σχέσεις των Τεκμηρίων και του υλικού κόσμου. Σε αυτή την κατεύθυνση προωθείται :

- Ο διάλογος που επιχειρεί να περιγράψει τα γεγονότα του κατασκευασμένου κόσμου με θεωρητικούς όρους. Ωστόσο, η περιγραφή με έννοιες ή όρους της θεωρίας απαιτεί τη χρήση μιας γλώσσας η οποία είναι άγνωστη στον εκπαιδευτικό χώρο. Έτσι απαιτείται προσοχή για να αποφευχθεί η περιγραφή των κατασκευασμένων γεγονότων μέσω Τεκμηρίων.
- Οι παρεμβάσεις που μπορούν να οδηγήσουν τους μαθητές στην άρρητη κατασκευή οντοτήτων του πραγματικού κόσμου και οι οποίες συσχετίζονται με τις επιστημονικές έννοιες των θεωριών. Αυτού του είδους όμως οι δραστηριότητες απουσιάζουν σχεδόν πλήρως από τις διδακτικές δραστηριότητες. Ακόμη και όταν επιτυγχάνεται η εποικοδόμηση μιας νέας θεωρητικής έννοιας από τους μαθητές, η έννοια αυτή χρησιμοποιείται λειτουργικά μόνο στη δοκιμασία σύνδεσης της με κάποια Τεκμήρια όπως για παράδειγμα στην ερμηνεία ενός φαινομένου.

Όλες οι παραπάνω διδακτικές προτάσεις αποκαλύπτουν πως οι εργαστηριακές διδακτικές πρακτικές στα μαθήματα των *Φυσικών Επιστημών* συμφωνούν με αυτές των καθαρά επιστημονικών πρακτικών και μπορούν να αποτελέσουν ένα ολοκληρωμένο σχήμα διδασκαλίας. Το σχήμα αυτό ακολούθησαν διάφοροι ερευνητές στα πλαίσια σχεδιασμού και εφαρμογής ολοκληρωμένων διδακτικών προτάσεων ή στην εκ των υστέρων ανάλυση μιας ήδη ολοκληρωμένης διδακτικής πρότασης. Στη συνέχεια παρουσιάζονται τρεις έρευνες που βασίστηκαν στο μοντέλο του Hacking με σκοπό να σχεδιάσουν ή και να αναλύσουν διδακτικές δραστηριότητες.

2.4.1 Έρευνα I

Psillos, D., Tselves, V., & Kariotoglou P. (2004) An epistemological analysis of the evolution of didactical activities in teaching–learning sequences: the case of fluids.

Οι Psillos, Tselves και Kariotoglou βασίστηκαν στο CEI μοντέλο για να αναλύσουν τις εργαστηριακές δραστηριότητες που περιλαμβάνονται σε τρεις διδακτικές ακολουθίες στο πεδίο των ρευστών οι οποίες σχεδιάστηκαν και εφαρμόστηκαν σταδιακά από τους ίδιους τους ερευνητές. Σε αυτή την εργασία, συμπεραίνουν την επίτευξη ή όχι των προτεινόμενων συνδέσεων μεταξύ των οντοτήτων καθώς και τις δυνατότητες που είχαν οι μαθητές να συνδέσουν τον κόσμο των θεωριών με τον κόσμο των αντικειμένων. Θεωρούν πως η εφαρμογή του CEI μοντέλου παρέχει τη δυνατότητα μιας γόνιμης μοντελοποίησης των διδακτικών μαθησιακών δραστηριοτήτων σύμφωνα με τις επιστημονικές πρακτικές. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να παρουσιάζεται μια ξεκάθαρη επιστημολογική άποψη για τη διδασκαλία η οποία δε δηλώνεται συχνά σε δημοσιευμένες εργασίες.

Προτείνουν εμπλουτισμένες εργαστηριακές δραστηριότητες παρέχοντας τη δυνατότητα στους μαθητές να αλληλοεπιδράσουν με ποικίλα πρότυπα της εργαστηριακής επιστημονικής πρακτικής. Με αυτόν τον τρόπο επιχειρείται η πραγματοποίηση σημαντικού αριθμού συνδέσεων μεταξύ Τεκμηρίων και Κόσμου, για παράδειγμα μέσα από κατασκευές πειραματικών εγκαταστάσεων και παραγωγές ακατέργαστων δεδομένων βάση οδηγιών (Τεκμήρια-Κόσμος), καθώς και μέσα από την εξαγωγή Τεκμηρίων από ακατέργαστα δεδομένα (Κόσμος-Τεκμήρια).

Οι ερευνητές σημειώνουν πως στο επίπεδο της αναπαράστασης, και στις τρεις ακολουθίες, πολλαπλασιάστηκαν σταδιακά οι συνδέσεις μεταξύ Ιδεών-Τεκμηρίων και αντίστροφα. Ωστόσο, η απευθείας σύνδεση μεταξύ του υλικού κόσμου και των Ιδεών φάνηκε πως επιτυγχάνεται δύσκολα. Τέτοια σύνδεση πραγματοποιήθηκε μερικώς μόνο στην τρίτη ακολουθία όπου η κατανόηση των επιστημονικών διαδικασιών επιδιώχθηκε με δύο δραστηριότητες που περιλάμβαναν το σχεδιασμό επιστημονικών ερευνών από τους ίδιους τους μαθητές. Η πρώτη αφορούσε την κατασκευή μιας πειραματικής διάταξης από τους

ίδιους τους μαθητές με σκοπό να ελέγξουν μια υπόθεση. Στη δεύτερη ζητήθηκε από τους μαθητές να χειριστούν τη συσκευή Πασκάλ με σκοπό να αυξήσουν την πίεση μέσα στο υγρό. Και οι δύο δραστηριότητες ήταν πρακτικές σύνδεσης Ιδεών-Κόσμου και όχι Κόσμου -Ιδεών.

Οι ερευνητές διαπίστωσαν πως διδακτικές δραστηριότητες που επιχειρούν να προάγουν την επιστημονική έρευνα δεν μπορούν να είναι αποτελεσματικές αν δεν καταφέρνουν να πραγματοποιούν συνδέσεις μεταξύ Ιδεών – Κόσμου και αντίστροφα. Βάση αυτών των δεδομένων, οραματιστήκαν την εξέλιξη της τρίτης ακολουθίας σε μια τέταρτη, προτείνοντας επιπρόσθετες δραστηριότητες οι οποίες μπορούν να προωθήσουν αυτού του είδους τις συνδέσεις.

Σύμφωνα με όλα τα παραπάνω, οι ερευνητές θεώρησαν πως το CEI μοντέλο είναι ένα εργαλείο που παρέχει αφενός τη δυνατότητα μοντελοποίησης των διδακτικών εργαστηριακών δραστηριοτήτων και αφετέρου τον παραγωγικό σχεδιασμό νέων δραστηριοτήτων με σκοπό τον εμπλουτισμό μιας διδακτικής πρότασης. Καταλήγουν πως μια τέτοια πρόταση βασίζεται στην υπόθεση του διδακτικού μετασχηματισμού που ωστόσο οφείλει να διατηρήσει τα επιστημολογικά χαρακτηριστικά της διδασκόμενης επιστημονικής γνώσης και διαδικασίας όπως αυτά παρουσιάζονται στο CEI μοντέλο.

2.4.2 Έρευνα II

Papadopoulou, P., Ntinolazou, C. (2019) The Ideas-Cosmos-Evidence model and the teaching of the evolution theory: A first approach.

Οι Papadopoulou και Ntinolazou σχεδίασαν και εφάρμοσαν μια Διδακτική Μαθησιακή Ακολουθία για τη διδασκαλία της Εξελικτικής Θεωρίας σε μαθητές γυμνασίου. Στη συγκεκριμένη έρευνα, αναλύουν εκ των υστέρων όλες τις δραστηριότητες της Διδακτικής Μαθησιακής Ακολουθίας βάσει του CEI μοντέλου. Σκοπός τους είναι να αναζητήσουν τη συσχέτιση της αποτελεσματικότητας των δραστηριοτήτων με τις συνδέσεις μεταξύ των οντοτήτων του CEI μοντέλου όπως αυτές προωθούνται από τις ίδιες τις δραστηριότητες. Η υπόθεση τους βασίζεται στο γεγονός πως η προσαρμογή του μοντέλου οδηγεί τους μαθητές στην εξοικείωση με τις επιστημονικές πρακτικές και διευκολύνει την κατανόηση των επιστημονικών εννοιών που

περιλαμβάνονται σε αυτό το πλαίσιο.

Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν πως, τα σενάρια διδασκαλίας που έδωσαν τη δυνατότητα στους μαθητές να πραγματοποιήσουν συνδέσεις μεταξύ όλων των οντοτήτων σύμφωνα με το CEI μοντέλο, είχαν τη μεγαλύτερη επιτυχία στην εφαρμογή τους. Ήταν τα πιο αποτελεσματικά στην επίτευξη των μαθησιακών τους στόχων ενώ παράλληλα κέντρισαν το ενδιαφέρον των μαθητών και βελτίωσαν την κατανόηση τους για τις επιστημονικές έννοιες που κλήθηκαν να διαχειριστούν στα πλαίσια των συγκεκριμένων δραστηριοτήτων.

2.4.3 Έρευνα III

Kallery, M., Psillos, D., Tselfes, V. (2009) Typical Didactical Activities in the Greek Early-Years Science Classroom: Do they promote science learning?

Στη συγκεκριμένη έρευνα, οι Kallery και οι συνεργάτες της, στοχεύουν στον εντοπισμό και την ανάλυση των πρακτικών που εφαρμόζουν οι εκπαιδευτικοί στα πρώτα χρόνια της εκπαίδευσης με σκοπό να βελτιώσουν τους παράγοντες που μπορούν να διευκολύνουν τη μάθηση των μικρών παιδιών για την κατανόηση και ανάπτυξη του επιστημονικού τρόπου σκέψης. Όπως υποστηρίζουν, ο ρόλος της εκπαίδευσης στις επιστήμες στην προσχολική ηλικία είναι καθοριστικός για την μετέπειτα πληρέστερη κατανόηση της επιστήμης από τα παιδιά.

Βασισμένοι στο CEI μοντέλο του Hacking προτείνουν ότι, σε παιδαγωγικά πλαίσια, η πραγματοποίηση συνδέσεων μεταξύ Θεωρητικών Ιδεών, Τεκμηρίων και Υλικού Κόσμου είναι ουσιαστική για την ανάπτυξη του επιστημονικού τρόπου σκέψης των μικρών παιδιών και τη μύηση τους στις επιστημονικές διαδικασίες. Χρησιμοποιούν το μοντέλο για να διαγνώσουν αν οι διδακτικές πρακτικές που ακολουθούνται από τους εκπαιδευτικούς της προσχολικής ηλικίας προωθούν τις επιθυμητές συνδέσεις μεταξύ τους.

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης με βάση το δείγμα τους έδειξε πως η επιστημονική δραστηριότητα στα μαθήματα περιορίστηκε στο αναπαραστατικό επίπεδο ενώ οι πρακτικές παρέμβασης τον υλικό κόσμο ήταν ελάχιστες. Έτσι, από όλες τις πιθανές συνδέσεις μεταξύ των θεωρητικών Ιδεών, Τεκμηρίων και Υλικού Κόσμου προωθήθηκαν μόνο αυτές που περιλαμβάνουν Τεκμήρια και Υλικό κόσμο. Τέτοιες παρεμβάσεις βασίστηκαν στην συλλογή Τεκμηρίων πραγματοποιώντας συνδέσεις του τύπου Κόσμου-Τεκμηρίων ή Τεκμηρίων-

Κόσμου ενώ αναγνωρίστηκαν και συνδέσεις μεταξύ των ίδιων οντοτήτων δηλαδή του τύπου Τεκμηρίων-Τεκμηρίων. Επιπλέον, στα μαθήματα του δείγματος δεν αναγνωρίστηκαν συνδέσεις που να περιλαμβάνουν Ιδέες. Κάτι τέτοιο θα μπορούσε να επιτευχθεί μέσα από δραστηριότητες που δίνουν την ευκαιρία για διαχείριση μεταβλητών δηλαδή για παρέμβαση στον υλικό κόσμο βάση Ιδεών.

Τα ευρήματα της έρευνας έδειξαν πως τα μαθήματα της επιστήμης στη προσχολική ηλικία έχουν αποσπασματικό χαρακτήρα και παράλληλα επεσήμαναν την έλλειψη συνδέσεων μεταξύ των οντοτήτων που παρουσιάζονται στο πλαίσιο ανάλυσης του CEI μοντέλου. Η έλλειψη αυτή υποδηλώνει πως η επιστημονική κατανόηση εκ μέρους των παιδιών της προσχολικής ηλικίας δεν έλαβε χώρα.

Οι ερευνητές καταλήγοντας, τονίζουν πως από μεθοδολογική άποψη, η επιστημολογική ανάλυση των διδακτικών δραστηριοτήτων παρέχει δυνατότητες αφενός για την περιγραφή τους και αφετέρου για την διαμόρφωση μιας βαθύτερης εικόνας σχετικά με τη φύση και το νόημα τους. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιώντας το CEI μοντέλο του Hacking για την ανάλυση τους, υποστηρίζουν πως οδηγήθηκαν στη διάγνωση των παραγόντων που καθόρισαν τα αποτελέσματά τους καθώς επίσης και στη διαμόρφωση μιας γενικότερης ερμηνείας τους.

Επιπλέον, θεωρούν ότι το μοντέλο παρέχει χρήσιμες πληροφορίες για το σχεδιασμό διδακτικών παρεμβάσεων που μπορούν να εμπλουτίσουν τα μαθήματα της επιστήμης στην προσχολική εκπαίδευση. Δίνεται η δυνατότητα για το σχεδιασμό δραστηριοτήτων που ευνοούν τις επιθυμητές συνδέσεις οι οποίες απουσιάζουν καθώς επίσης και για βελτίωση αυτών που προωθούνται. Στην κατεύθυνση αυτή, οι ερευνητές προτείνουν την βελτίωση της επιστημολογικής κατανόησης των εκπαιδευτικών εστιάζοντας αφενός στην ανάπτυξη της ικανότητας τους να συσχετίζουν τα Τεκμήρια με τις επιστημονικές ιδέες όταν εξηγούν επιστημονικά φαινόμενα και αφετέρου στη χρήση των επιστημονικών ιδεών για το σχεδιασμό παρεμβάσεων στον υλικό κόσμο.

ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο : ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗΣ ΜΟΥΣΟΥΛΜΑΝΟΠΑΙΔΩΝ ΚΑΙ ΤΟ ΔΙΔΑΚΤΙΚΟ ΥΛΙΚΟ ΠΡΟΣ ΑΝΑΛΥΣΗ

3.1 Το πρόγραμμα «Εκπαίδευση Μουσουλμανοπαίδων 2002-04, Εκπαίδευση στις Επιστήμες»

Στην παρούσα εργασία αναλύεται επιστημολογικά μια διδακτική πρόταση στο πεδίο της Οπτικής με τίτλο «Ο Κόσμος της Φωτεινής Ακτίνας». Η πρόταση αυτή περιέχεται στο ευρύτερο εκπαιδευτικό υλικό το οποίο αναπτύχθηκε και εφαρμόστηκε στα πλαίσια του Προγράμματος Εκπαίδευσης Μουσουλμανοπαίδων (ΠΕΜ), για τη διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών στους μειονοτικούς μαθητές και μαθήτριες των Γυμνασίων της Θράκης (2002-04). Κύριος στόχος του προγράμματος ήταν η βελτίωση των μαθησιακών αποτελεσμάτων της διδασκαλίας των *Φυσικών Επιστημών* στο συγκεκριμένο μαθητικό πληθυσμό ο οποίος αντιμετωπίζει προβλήματα γλωσσομάθειας (Τσελφές, Φασουλόπουλος, 2002-04).

Οι κατασκευαστές του προγράμματος, παρά τον ειδικό στόχο, έλαβαν υπόψη τους τα γενικότερα προβλήματα που αντιμετωπίζει διεθνώς η διδασκαλία και μάθηση των *Φυσικών Επιστημών*. Για την επίτευξη του στόχου, οι δημιουργοί οργάνωσαν την πρόταση τους βασιζόμενοι στο ισχυρό θεωρητικό υπόβαθρο που προσέφερε η πολυετής ερευνητική εμπειρία των κυρίαρχων κατευθύνσεων της *Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών* στον εποικοδομητισμό. Επιπλέον, καθοδηγήθηκαν από τις νεότερες τάσεις οι οποίες εστιάζουν στα πολιτισμικά χαρακτηριστικά της επιστήμης δίνοντας τη δυνατότητα διαχείρισης των μαθημάτων με έμφαση στη χρήση του λόγου και επομένως στην προοπτική βελτίωσης της γλωσσομάθειας των μαθητών.

Το εκπαιδευτικό υλικό το οποίο αναφέρεται σε κλασικά θέματα Βιολογίας και Φυσικής, αν και δημιουργήθηκε στα πλαίσια ειδικού προγράμματος, συνιστά μια καινοτόμο πρόταση η οποία απευθύνεται στο σύνολο των εκπαιδευτικών που διδάσκουν *Φυσικές Επιστήμες* στο γυμνάσιο. Ουσιαστικά πρόκειται για μια

εκπαιδευτική παρέμβαση η οποία δυνητικά θα μπορούσε να υποκαταστήσει τα ισχύοντα διδακτικά υλικά ή να χρησιμοποιηθεί συμπληρωματικά (Καριώτογλου, Τσελφές, 2000).

Το υλικό αποτελείται από δύο βιβλία για κάθε τάξη, ένα το οποίο απευθύνεται στους μαθητές (βιβλίο δραστηριοτήτων) και ένα που αφορά οδηγίες προς τους εκπαιδευτικούς. Συγκεκριμένα, υλικό με τον τίτλο «Ο κόσμος της ζωής-Ο κατασκευασμένος κόσμος» απευθύνεται στην Α τάξη Γυμνασίου, ακολουθούν «Οι Κόσμοι της Φυσικής: θερμόμετρα, Φωτεινές Ακτίνες και Ηλεκτρικά Κυκλώματα» για την Β τάξη και «Ο Κόσμος του νερού» για την Γ τάξη. Επιπλέον, εκπονήθηκε υλικό το οποίο παρουσιάζει και υποστηρίζει την παραγωγή της εκπαιδευτικής παρέμβασης και απευθύνεται στους εκπαιδευτικούς που επρόκειτο να εμπλακούν στο πρόγραμμα αλλά και σε όσους προβληματίζονται για τους σκοπούς και την αποτελεσματικότητα της διδασκαλίας των *Φυσικών Επιστημών*.

Η ιδιαιτερότητα της συγκεκριμένης διδακτικής παρέμβασης, πέρα από την εξέταση της όποιας επιτυχίας της, έγκειται στο γεγονός πως οι δημιουργοί της παρουσιάζουν ρητά τις σχεδιαστικές αρχές που ακολούθησαν, σημαντικό κομμάτι των οποίων είναι και το επιστημολογικό υπόβαθρο στο οποίο στηρίχθηκαν. Αυτό ακριβώς το γεγονός καθιστά εφικτή μια εκ των υστέρων επιστημολογική ανάλυση και κριτική πάνω στο εκπαιδευτικό υλικό με σκοπό τον έλεγχο της αυτοσυνέπειάς του. Στην πραγματικότητα, η διδακτική αυτή πρόταση παρέχει τη δυνατότητα αλλά και τα εργαλεία για τον αυτοέλεγχο της. Αξίζει να σημειώσουμε πως ελάχιστα εκπαιδευτικά υλικά από αυτά που παράγονται στα πλαίσια της έρευνας στη Διδακτική των Φυσικών Επιστημών υποστηρίζουν με ανάλογο τρόπο την παραγωγή τους.

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, στην παρούσα εργασία αναλύεται επιστημολογικά το υλικό «Ο Κόσμος της Φωτεινής Ακτίνας» το οποίο περιέχεται στους «Κόσμους της Φυσικής». Πριν από την πραγματοποίηση της ανάλυσης κρίνεται αναγκαίο να παρουσιαστούν τα σχεδιαστικά και κυρίως τα επιστημολογικά θεμέλια που στηρίζουν στο σύνολο της τη συγκεκριμένη διδακτική πρόταση, μέρος της οποίας είναι το δείγμα της ανάλυσης μας.

3.2 Σχεδιαστικές αρχές του ΠΕΜ (2002-2004)

Το πρόγραμμα «Εκπαίδευση Μουσουλμανοπαίδων για τη διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών» μελετήθηκε και κατασκευάστηκε σύμφωνα με ένα προτεινόμενο πλαίσιο το οποίο περιλαμβάνει τρεις διακριτούς πόλους που παρεμβαίνουν στη δημιουργία ενός Α.Π ή διδακτικής πρότασης των Φυσικών Επιστημών. Ο πρώτος πόλος αφορά τους Διδακτικούς – Μαθησιακούς παράγοντες, ο δεύτερος τους Θεσμικούς και ο τρίτος τους Επιστημολογικούς παράγοντες (Καριώτογλου, Τσελφές, 2000).

Πιο αναλυτικά, οι Διδακτικοί – Μαθησιακοί παράγοντες αφορούν απόψεις και υποθέσεις για τα γνωσιακά και εκπαιδευτικά χαρακτηριστικά του μαθητικού πληθυσμού στο οποίο απευθύνεται το εκπαιδευτικό υλικό καθώς και τα αντίστοιχα των εκπαιδευτικών οι οποίοι σκοπεύουν να εμπλακούν με την υλοποίηση μιας παρέμβασης. Είναι προφανές πως στη συγκεκριμένη περίπτωση τα προβλήματα γλωσσομάθειας των μαθητών αποτέλεσαν το κυρίαρχο χαρακτηριστικό.

Οι Θεσμικοί παράγοντες διαμορφώνονται μέσα από τις τυπικές δεσμεύσεις που προκύπτουν με βάση το Α.Π. Οι θεσμικές δεσμεύσεις στην ουσία θέτουν το πλαίσιο στο οποίο εργάζονται μαθητές και εκπαιδευτικοί. Ένα τέτοιο πλαίσιο καθορίζει για παράδειγμα την «ύλη» που οφείλει να διαπραγματεύεται η οποιαδήποτε διδακτική πρόταση. Ωστόσο, στους θεσμικούς παράγοντες περιλαμβάνονται και άτυπες δεσμεύσεις οι οποίες καθορίζονται από τις προσδοκίες γονέων και κοινωνίας. Για παράδειγμα τι περιμένουν οι γονείς να μάθουν τα παιδιά τους.

Οι Επιστημολογικοί παράγοντες οι οποίοι αφορούν απόψεις και πεποιθήσεις για τη «φύση» του προς διδασκαλία και μάθηση περιεχομένου. Τα επιστημολογικά ρεύματα περιγράφουν την επιστημονική δραστηριότητα και παραγωγή με τρόπους ασύμβατους μεταξύ τους (λογικός θετικισμός, κονστρουκτιβισμός, επιστημονικός ρεαλισμός ,σχετικισμός). Βέβαια, η επιστημονική γνώση και δραστηριότητα είναι ταυτόχρονα και το αντικείμενο διδασκαλίας και μάθησης. Επομένως, οι δημιουργοί του εκπαιδευτικού υλικού όφειλαν να επιλέξουν ρητά το επιστημολογικό ρεύμα το οποίο θα καθοδηγούσε το σχεδιασμό των διδακτικών τους παρεμβάσεων. Για παράδειγμα, η επιλογή του λογικού θετικισμού εκ μέρους των δημιουργών, θα οδηγούσε σε σύγκρουση με την

εποικοδομητική διδακτική προσέγγιση την οποία σκόπευαν να ακολουθήσουν.

Όπως μπορεί να γίνει αντιληπτό, οι επιστημολογικές επιλογές που συνοδεύουν την συγκεκριμένη εκπαιδευτική παρέμβαση, είναι αυτές που καθορίζουν άμεσα την επιστημολογική ανάλυση της παρούσας εργασίας. Για τον λόγο αυτό, θα παρουσιαστούν πιο αναλυτικά χωρίς αυτό να σημαίνει πως παραλείπεται ο ρόλος των Διδακτικών – μαθησιακών αλλά και Θεσμικών παραγόντων. Εξάλλου, σύμφωνα και με τη παραδοχή των δημιουργών, οι παραπάνω παράγοντες αλληλοεξαρτώνται και αλληλεπιδρούν παρέχοντας μια ιδιαίτερη δυναμική στο μοντέλο σχεδιασμού της διδακτικής παρέμβασης. Επιπρόσθετα, αυτή ακριβώς η δυναμική θέτει την απαίτηση για τη διατήρηση της ισορροπίας μεταξύ των παραγόντων (Τσελφές κ.ά., 2008).

3.3 Επιστημολογικοί παράγοντες που καθόρισαν το σχεδιασμό του ΠΙΕΜ

Αρχικά, οι θεσμικές δεσμεύσεις υπαγόρευαν τους κατασκευαστές στο να διατηρηθεί τυπική και ουσιαστική σχέση του περιεχομένου με το αντίστοιχο που προτείνεται από το Α.Π. Κάτι τέτοιο σήμαινε πως το περιεχόμενο που θα περιείχε η διδακτική παρέμβαση όφειλε να περιλαμβάνει θέματα τα οποία διαπραγματεύεται το επίσημο ΑΠ. Έτσι, το υλικό που δημιουργήθηκε διαπραγματεύεται θέματα Βιολογίας, Θερμότητας, Οπτικής, Ηλεκτρισμού και Κλασικής Μηχανικής. Ωστόσο, σύμφωνα με τους δημιουργούς της διδακτικής παρέμβασης, η οργάνωση του περιεχομένου στο επίσημο ΑΠ χαρακτηρίζεται από επιστημολογικές αδυναμίες οι οποίες έπρεπε να εξαλειφθούν.

Πιο συγκεκριμένα, στο ΑΠ το περιεχόμενο οργανώνεται γύρω από ευρύτατους τίτλους επιστημών (Φυσική, Βιολογία, Χημεία, Γεωγραφία κ. ο. κ) οι οποίες επιστήμες εμφανίζουν μεταξύ τους θεμελιώδεις επιστημολογικές διαφορές. Για παράδειγμα, υπάρχει σημαντική διαφορά στον τρόπο που προσεγγίζεται η γνώση από τις επιστήμες της ζωής όπως η Βιολογία, σε σχέση με τον τρόπο προσέγγισης της από τις εργαστηριακές επιστήμες. Οι πρώτες εμφανίζονται ως ιστορικές επιστήμες που συνδέονται στενά με την παρουσία της ζωής και της γης ενώ οι δεύτερες αρνούνται τις ιστορικές προσεγγίσεις και στηρίζονται στην ισχύ των «νόμων της φύσης» (Τσελφές κ. ά, 2008).

Ένα ακόμη χαρακτηριστικό του περιεχομένου, έτσι όπως αυτό παρουσιάζεται στο ΑΠ είναι η οργάνωση του γύρω από επιμέρους επιστημονικές ιδέες οι οποίες ταυτίζονται με «ονόματα» όπως η «θερμότητα», ο «ηλεκτρισμός», η «οπτική» κ. ο. κ.. Οι ιδέες αυτές δίνουν το όνομα τους στα «κεφάλαια» που παρατίθενται συνήθως με μια ιστορική σειρά χωρίς όμως να συνθέτουν μια ιστορία των επιστημών. Η προσέγγιση αυτή δημιουργεί προβλήματα στην «εικόνα» των *Φυσικών Επιστημών* οδηγώντας στην ενοποίηση του πολύμορφου περιεχομένου της. Γιατί, τόσο οι διαφορετικές επιστήμες όσο και τα διαφορετικά «κεφάλαια» της ίδιας επιστήμης προσδιορίζονται από επίσης διαφορετικά επιστημολογικά και γνωσιακά χαρακτηριστικά (Τσελφές κ. ά, 2008).

Η συγκεκριμένη διδακτική πρόταση έρχεται σε ρήξη με το «μύθο της ενιαίας επιστήμης» αποφεύγοντας ρητά την ενοποίηση του πολύμορφου επιστημονικού περιεχόμενου. Προς αυτή την κατεύθυνση οργανώνει το προς διδασκαλία και μάθηση περιεχόμενο γύρω από θέματα – κόσμους και όχι γύρω από θέματα – ιδέες. Αναπτύσσεται με τη μορφή διδακτικών μαθησιακών σειρών και αξιοποιεί διδακτικά την εργαστηριακή φύση του περιεχομένου.

Σαν αποτέλεσμα, προκύπτουν τα κεφάλαια υπό τον τίτλο «Ο κόσμος της ζωής», «Ο Κατασκευασμένος Κόσμος» και οι «Κόσμοι» του «Θερμόμετρου», των «Φωτεινών Ακτινών», των «Ηλεκτρικών Κυκλωμάτων» και του «Νερού». Έτσι, υποδηλώνεται ότι το αντικείμενο των μαθημάτων είναι αυτοί οι «κόσμοι» και όχι απλώς οι ιδέες. Το αντικείμενο προς μάθηση αποκτά συγκεκριμένο πρόσωπο το οποίο μεταφέρεται στο διδακτικό εργαστήριο. Στο εργαστήριο οι επιστημονικές ιδέες δείχνουν κάποια από τα χαρακτηριστικά τους, στην ουσία εκείνα που φανερώνει η εργαστηριακή χρήση τους. Με αυτόν τον τρόπο αποφεύγεται η εμπλοκή με το μονοσήμαντο των επιστημονικών ιδεών ενώ παράλληλα παρέχεται η δυνατότητα στους μαθητές να κατανοήσουν τη θεωρητική διάσταση της επιστήμης (Τσελφές, Φασουλόπουλος, 2002-04).

Σε αυτή τη βάση, οι δημιουργοί της εκπαιδευτικής παρέμβασης επιλέγουν επιστημολογικά τον κλάδο της εργαστηριακής επιστημονικής παράδοσης. Εκεί δηλαδή που η εργαστηριακή προφορική κουλτούρα της επιστήμης κατασκευάζει κομμάτια του υλικού κόσμου τα οποία ταιριάζουν με τα κείμενα της εγγράμματης-θεωρητικής κουλτούρας. Με αυτόν τον τρόπο το επιστημονικό περιεχόμενο τίθεται

στο πλαίσιο των «πρακτικών» της επιστημονικής δραστηριότητας. Σε αυτό το πλαίσιο συγκροτείται η σχέση του περιεχομένου προς διδασκαλία και μάθηση με την επίσημη επιστημονική δραστηριότητα. Η μάθηση αυτών των «πρακτικών» δίνει τη δυνατότητα στους μαθητές να κατανοήσουν τη χρήση των εννοιών, θεωριών, νόμων κ. ο. κ, καθώς και τον εγγράμματο θεωρητικό επιστημονικό λόγο.

Η συγκεκριμένη επιστημολογική επιλογή πραγματοποιείται με την αξιοποίηση και εφαρμογή του μοντέλου CEI του Ian Hacking, αναπλαισιωμένο για διδακτικές-μαθησιακές δραστηριότητες. Η διαμόρφωση του περιεχομένου σύμφωνα με το μοντέλο έδωσε τη δυνατότητα παραγωγής ενός πρωτότυπου εκπαιδευτικού υλικού ικανού να προκαλέσει το επιθυμητό ενδιαφέρον των μαθητών. Ενός υλικού που παρέχει ευκολία στη διαχείριση του, προκαλεί ξάφνιασμα και δίνει τη δυνατότητα επιτυχών παρεμβάσεων. Επιπλέον, προωθεί τον διάλογο μεταξύ των υποκειμένων της μαθησιακής διαδικασίας (μαθητών-εκπαιδευτικού) θέτοντας τη συζήτηση στο επίκεντρο αυτής της διαδικασίας.

Η συζήτηση είναι ένας από τους σημαντικούς παράγοντες στην οικοδόμηση της γνώσης και στη συγκεκριμένη διδακτική πρόταση κατέχει κεντρικό ρόλο. Η επιλογή της προφορικής εργαστηριακής παράδοσης των *Φυσικών Επιστημών* ως περιεχόμενο μάθησης αποσκοπεί σε μεγάλο βαθμό στην προαγωγή του διαλόγου και της συζήτησης. Οι μαθητές μπορούν με αυτόν τον τρόπο να βιώσουν το γεγονός πως οι ιδέες μας για τον κόσμο οργανώνονται και αναδύονται μέσα σε επικοινωνιακά πλαίσια. Μέσα από διαδικασίες διαπραγμάτευσης και συναίνεσης μπορούν να κατανοήσουν και να αντιληφθούν τον τρόπο που οι επιστήμονες λειτουργούν και πραγματοποιούν τη συγκρότηση της επιστημονικής γνώσης.

Στη βάση της επιστημολογικής επιλογής που καθόρισε το υλικό της διδακτικής παρέμβασης, διαμορφώνονται τα επιμέρους χαρακτηριστικά της. Μέσα από αυτά τα χαρακτηριστικά αναδεικνύονται αρκετοί εκπαιδευτικοί μύθοι που αφορούν την εργαστηριακή διδασκαλία των *Φυσικών Επιστημών* και παράλληλα υποδηλώνεται ο τρόπος με τον οποίο αυτοί αντιμετωπίζονται. Η παρουσίαση αυτών των χαρακτηριστικών συμβάλλει στην ολοκλήρωση του επιστημολογικού πλαισίου που υποστηρίζει το συνολικό εκπαιδευτικό υλικό μέρος του οποίου είναι ο «Κόσμος της Φωτεινής Ακτίνας» που πρόκειται να αναλύσουμε στη συνέχεια.

3.4 Χαρακτηριστικά του διδακτικού υλικού του ΠΕΜ

Τα χαρακτηριστικά του διδακτικού υλικού που παρατίθενται στη συνέχεια, παρουσιάζονται από τους ίδιους τους δημιουργούς στο επιμορφωτικό υλικό «Διδάσκοντας Φυσικές Επιστήμες στο Γυμνάσιο, Προτάσεις για την αξιοποίηση του Διδακτικού Υλικού» (Τσελφές, Έψιμος και Φασουλόπουλος, 2005-2007). Σύμφωνα λοιπόν με το επιστημολογικό πλαίσιο της προφορικής εργαστηριακής παράδοσης των *Φυσικών Επιστημών*, η οργάνωση του διδακτικού υλικού πραγματοποιήθηκε με σκοπό να στρέψει το ενδιαφέρον στη δημιουργία των εργαστηριακών γεγονότων. Τα κείμενα, όπως το βιβλίο δραστηριοτήτων για τους μαθητές, καθοδηγούν τις κατασκευές τεχνημάτων και προκαλούν θέματα για συζήτηση. Οι κατασκευαστές της διδακτικής πρότασης αξιοποίησαν προς αυτή τη κατεύθυνση την εγγενή ιδιότητα των φαινομένων που υλοποιούνται σε πραγματικό χώρο και χρόνο να διαφέρουν σχεδόν πάντα από τις θεωρητικές προσεγγίσεις που τα περιγράφουν και τα εξηγούν (Τσελφές κ.ά, 2008).

Το περιεχόμενο οικοδομείται με τρόπο που αναδεικνύει διάφορους «εκπαιδευτικούς μύθους» που αφορούν την εργαστηριακή διδασκαλία των *Φυσικών Επιστημών*. Συγκεκριμένα, τίθενται ζητήματα όπως η μοναδικότητα των αναμενόμενων τιμών σε διαδικασίες μέτρησης και εκτίμησης των αποτελεσμάτων, η πεποίθηση ότι τα φαινόμενα που περιγράφει μια θεωρία συμβαίνουν με τον ίδιο τρόπο παντού και πάντα και επιπλέον το γεγονός της σύγκρουσης των αναπαραστάσεων με τη θεωρία που προκύπτει μέσα από τις παρεμβατικές εργαστηριακές πρακτικές.

Έτσι, το εκπαιδευτικό υλικό επιμένει σε διαδικασίες λήψης πολλαπλών μετρήσεων για μια περίπτωση καθώς και στη διαδικασία εκτίμησης των αποτελεσμάτων των μετρήσεων. Με αυτόν τον τρόπο τα αποτελέσματα των μετρήσεων αντιμετωπίζονται και συζητούνται ως «τεκμήρια» που συνδέονται με τις θεωρητικές υποθέσεις που καθοδηγούν την παραγωγή τους και όχι ως «αποδείξεις» για την ισχύ αυτών των υποθέσεων.

Η πεποίθηση πως τα φαινόμενα που περιγράφονται από μια θεωρία συμβαίνουν πάντα με τον ίδιο τρόπο προέρχεται από τις θεωρητικές πρακτικές της επιστήμης οι οποίες επιδιώκουν τη καθολικότητα των επιστημονικών θεωρητικών αναπαραστάσεων. Επομένως, για μια «επιτυχή» εργαστηριακή κατασκευή βασική

προϋπόθεση είναι μαζί με τις τεχνικές δεξιότητες και η βαθιά γνώση της θεωρίας. Στα μαθητικά όμως περιβάλλοντα οι κατασκευές πραγματοποιούνται στη βάση τεχνικών οδηγιών και τα φαινόμενα που δημιουργούνται σχολιάζονται στη βάση των θεωρητικών υποθέσεων. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την παραγωγή διαφορετικών φαινομένων σε πειραματικές διατάξεις που κατασκευάζονται από δυο διαφορετικές ομάδες μαθητών. Αυτή ακριβώς η αντίφαση αξιοποιείται διδακτικά για την προώθηση του διαλόγου και την ανάπτυξη συζητήσεων γύρω από τις μη αναμενόμενες διαφορές των εργαστηριακών κατασκευών .

Στα παραπάνω προστίθεται η κατασκευή και χρήση των εργαστηριακών τεχνημάτων τα οποία πολλές φορές χρησιμοποιούμε σαν εργαλεία για να παρατηρούμε, να μετράμε ή να αλλάζουμε τη δομή άλλων κατασκευών (π.χ. λέιζερ). Όλη αυτή η κατασκευαστική δραστηριότητα η οποία αποτελεί κομμάτι των επιστημονικών δραστηριοτήτων αναπτύσσει μια μορφή τεχνολογικής σε «χρήση» γνώσης που διακινείται προφορικά μέσα σε μαθησιακά περιβάλλοντα. Στο πλαίσιο αυτό οι μαθητές ακολουθούν οδηγίες κατασκευής των τεχνημάτων, συγκρίνουν τα διαφορετικά χαρακτηριστικά τους και αντιμετωπίζουν μέσα από συζήτηση τις κατασκευαστικές δυσκολίες.

Βάσει αυτών των χαρακτηριστικών, ο ρόλος του εκπαιδευτικού στη συγκεκριμένη διδακτική πρόταση αποκτά ιδιαίτερο χαρακτήρα. Το σύνολο του υλικού εκθέτει τον εκπαιδευτικό σε καταστάσεις όπου η «αυθεντία» του όσον αφορά την αναπαραστατική διάσταση του περιεχομένου, αποσταθεροποιείται. Στην πραγματικότητα, ο εκπαιδευτικός ωθείται να διατηρήσει το χαρακτηριστικό της «αυθεντίας» όσον αφορά την τήρηση των επιστημονικών δεσμεύσεων γεγονός που στρέφει το ενδιαφέρον στη συζήτηση περί των εργαστηριακών γεγονότων. Επιπλέον, και η αξιολόγηση των μαθητών προσανατολίζεται προς την ενίσχυση του διαλόγου γύρω από τα εργαστηριακά γεγονότα καθώς και στις δυνατότητες που προκύπτουν από τη συνύπαρξη της προφορικής εργαστηριακής παράδοσης των *Φυσικών Επιστημών* με τη θεωρητική.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4ο : ΕΠΙΣΤΗΜΟΛΟΓΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟΥ ΥΛΙΚΟΥ «Ο ΚΟΣΜΟΣ ΤΗΣ ΦΩΤΕΙΝΗΣ ΑΚΤΙΝΑΣ»

Το διδακτικό υλικό του κεφαλαίου «Ο Κόσμος της Φωτεινής Ακτίνας», όπως αυτό παρουσιάζεται στο Βιβλίο Δραστηριοτήτων και σχολιάζεται στο Βιβλίο Οδηγιών για τον Εκπαιδευτικό αποτελεί το δείγμα της επιστημολογικής ανάλυσης της παρούσας εργασίας.

4.1 Ερευνητικά ερωτήματα

Η επιστημολογική υπόθεση που στήριξε την παραγωγή του υλικού βασίζεται στην εφαρμογή σε μαθησιακά περιβάλλοντα του μοντέλου CEI του Hacking. Σύμφωνα με αυτήν, οι εργαστηριακές διδακτικές πρακτικές στα μαθήματα των *Φυσικών Επιστημών* προωθούν συνδέσεις μεταξύ των οντοτήτων του Κόσμου, των Ιδεών και των Τεκμηρίων. Η πραγματοποίηση αυτών των συνδέσεων μέσω της μάθησης των επιστημονικών πρακτικών οδηγεί τους μαθητές στην κατανόηση των θεωρητικών επιστημονικών εννοιών, νόμων, μοντέλων, κ.λπ. Τα τελευταία αποκτούν τη σημασία τους ουσιαστικά από τη χρήση τους στο ειδικό πλαίσιο των εργαστηριακών πρακτικών.

Βάση του επιστημολογικού μοντέλου που οι δημιουργοί της διδακτικής πρότασης έχουν ακολουθήσει για το σχεδιασμό της, προκύπτουν τα εξής δύο ερευνητικά ερωτήματα:

- 1) Είναι το εκπαιδευτικό υλικό συνεπές ως προς ως προς το επιστημολογικό μοντέλο το οποίο οι συγγραφείς του υποστηρίζουν ότι έχουν ακολουθήσει;
- 2) Αν δεν είναι, ποιες ασυνέπειες εντοπίζονται και τελικά ποιο επιστημολογικό μοντέλο ακολουθούν οι συγγραφείς;

4.2. Παρουσίαση του υλικού προς ανάλυση

4.2.1 Γενικά χαρακτηριστικά του υλικού

Τα γενικά χαρακτηριστικά του εκπαιδευτικού υλικού του ΠΕΜ διατρέχουν το διδακτικό υλικό που αποτελεί το περιεχόμενο του κεφαλαίου με τίτλο «Ο Κόσμος

της Φωτεινής Ακτίνας». Συγκεκριμένα, παρατηρούμε πως η διδασκαλία βασίζεται κυρίως σε πειραματικές δραστηριότητες ενώ η θεωρία προκύπτει από τις περιγραφές και τις ερμηνείες των μαθητών. Οι πειραματικές δραστηριότητες ελέγχονται και ολοκληρώνονται αποκλειστικά από τους μαθητές με τη βοήθεια του εκπαιδευτικού να προσφέρεται όταν και στο βαθμό που αυτή χρειάζεται.

Οι μαθητές, εργαζόμενοι σε ομάδες, κατασκευάζουν τον κόσμο του εργαστηρίου, τον παρατηρούν και στη συνέχεια εξάγουν συμπεράσματα και σχολιάζουν. Μέσα από τις παρεμβάσεις τους στις εργαστηριακές κατασκευές αλλά και από τον εσωτερικό συναινετικό διάλογο καταλήγουν σε συγκεκριμένες προτάσεις. Τις προτάσεις αυτές οφείλουν να τις υποστηρίξουν δημόσια στην τάξη ώστε να αξιολογηθούν ομαδικά.

Γενικά, η διδασκαλία εστιάζει στην άρρητη παρεμβατική εμπειρία των παιδιών η οποία είναι αυτή που τελικά θα τα βοηθήσει να οικοδομήσουν τη γνώση. Η επιτυχία του μαθήματος κρίνεται περισσότερο από την ποιότητα της συζήτησης που προκαλείται σε κάθε μάθημα σε σχέση με τις αναπαραστάσεις που έχουν δημιουργήσει τα παιδιά και λιγότερο από την ποιότητα αυτών των αναπαραστάσεων. Σε αυτό το πλαίσιο, οι συγκρούσεις των απόψεων είναι ευπρόσδεκτες και αντιμετωπίζονται ως ευκαιρίες για εξέλιξη της συζήτησης στην τάξη. Η πορεία της διδασκαλίας κινείται γύρω από την προσεκτική κατασκευή εργαστηριακών φαινομένων τα οποία οι μαθητές καλούνται να διακρίνουν και να αναπαραστήσουν γλωσσικά. Το κύριο ζητούμενο είναι η κατανόηση των σχέσεων ανάμεσα στα κομμάτια των υλικών παρεμβάσεων και των φαινομένων που δημιουργούνται καθώς και στις συνδέσεις μεταξύ τους.

Οι έννοιες και τα φαινόμενα που περιλαμβάνονται στο περιεχόμενο εισάγονται σχεδόν αποκλειστικά ποιοτικά. Αυτό σημαίνει πως παραλείπεται ο μαθηματικός φορμαλισμός στη διατύπωση νόμων και ο επίσημος επιστημονικός ορισμός εννοιών και φαινομένων. Επιπλέον, ιδιαίτερη σημασία έχει η σκόπιμη επιλογή των εννοιών και φαινομένων καθώς και η σειρά με την οποία αυτά διδάσκονται.

4.2.2 Περιγραφή του διδακτικού υλικού

Το υλικό «Ο Κόσμος της Φωτεινής Ακτίνας» αποτελείται από τρία μαθήματα ενώ κάθε μάθημα περιλαμβάνει τις δικές του ενότητες. Συγκεκριμένα, το 1^ο Μάθημα έχει τον τίτλο «Μαθαίνουμε για τον Κόσμο της Σκιάς» και αποτελείται από τέσσερις ενότητες (I έως IV). Το 2^ο Μάθημα έχει τον τίτλο «Ο Κόσμος της Φωτεινής Ακτίνας» και αποτελείται από πέντε ενότητες. Η πρώτη ενότητα ωστόσο, παρουσιάζεται υπό τον τίτλο «Μαθαίνουμε για την πηγή ακτινών Λέιζερ» ενώ οι υπόλοιπες τέσσερις υπό τον τίτλο «Ο Κόσμος της Φωτεινής Ακτίνας I έως IV». Το 3^ο Μάθημα με τίτλο «Ο Κόσμος των ειδώλων» περιλαμβάνει έξι ενότητες (I έως V).

Πριν την έναρξη των πειραματικών δραστηριοτήτων προτείνεται η μελέτη των χαρακτηριστικών των οργάνων που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν, ο προσδιορισμός της χρήσης τους ενώ επιχειρείται και η μεταξύ τους σύγκριση (φακός, λέιζερ). Το περιεχόμενο στη συνέχεια οργανώνεται γύρω από την θεωρητική ιδέα της φωτεινής ακτίνας, η οποία όμως υλοποιείται με τη βοήθεια της συσκευής λέιζερ. Ωστόσο η εισαγωγή στην έννοια της φωτεινής ακτίνας γίνεται σταδιακά.

Η διδασκαλία ξεκινά ουσιαστικά με τον κόσμο της σκιάς στο 1^ο Μάθημα όπου μέσα από τις αντίστοιχες πειραματικές δραστηριότητες, οι μαθητές καλούνται να αποκαταστήσουν μια ώριμη παρεμβατική σχέση με την οντότητα του φωτός. Στη συνέχεια, και αφού αναπτύξουν μια πρώτη παρεμβατική σχέση με τις έννοιες του φωτός και της σκιάς αλλά και των υλικών φακού-οθόνης, οι μαθητές στο 2^ο Μάθημα καλούνται να πραγματοποιήσουν την υλοποίηση της έννοιας της φωτεινής ακτίνας με τη βοήθεια της συσκευής λέιζερ. Έτσι, κατασκευάζουν διαδρομές της φωτεινής ακτίνας, παρατηρούν την πορεία της και καταλήγουν στο συμπέρασμα της ευθείας διάδοσης του φωτός. Μέσα από την παρατήρηση της πορείας της φωτεινής ακτίνας καθώς αυτή συναντά άλλα υλικά, οι μαθητές παρατηρούν τα φαινόμενα που δημιουργούνται (ανάκλαση – διάθλαση) και καλούνται να εξηγήσουν πώς και γιατί συμβαίνει το κάθε ένα από αυτά. Επίσης, καλούνται να παράγουν συγκεκριμένα αποτελέσματα μέσω των εργαστηριακών τους κατασκευών, να εξηγήσουν με ποιον τρόπο τα καταφέρνουν, να βρουν σχέσεις μεταξύ εννοιών (π. χ. προσπίπτουσας-ανακλώμενης), να μετρήσουν με όργανα, να δημιουργήσουν αναπαραστάσεις των μετρήσεων τους και να καταλήξουν με συζήτηση στην διατύπωση νόμων (π. χ. νόμος της ανάκλασης). Στη

συνέχεια, εισάγεται ποιοτικά η έννοια της ταχύτητας του φωτός καθώς και του νόμου που περιγράφει και εξηγεί τη κίνηση του. Με τον ίδιο τρόπο παρουσιάζεται και ο τρόπος λειτουργίας της όρασης.

Το 3^ο Μάθημα περιλαμβάνει τον κόσμο των ειδώλων όπου και εδώ δεν δίνεται ακριβής ορισμός αλλά έμφαση στον τρόπο με τον οποίο τα είδωλα δημιουργούνται. Εισάγεται επίσης η σχέση παρατηρητή – κόσμου (εδώ συγκεκριμένα παρατηρούν είδωλα) καθώς και η σύγκριση μέσω του μεγέθους και του προσανατολισμού. Στο τελευταίο μέρος της διδασκαλίας, οι μαθητές καλούνται να επαναλάβουν πειράματα, να συγκρίνουν αποτελέσματα και να καταλήξουν μέσα από συζήτηση σε ένα τελικό συμπέρασμα. Μετά την ολοκλήρωση αυτής της διαδικασίας δηλώνεται ρητά από τον εκπαιδευτικό πως αυτός είναι ο τρόπος που εργάζονται στην επιστήμη της φυσικής. Σε αυτό το σημείο εξηγείται η χρησιμότητα των ποσοτικών νόμων και ζητείται από τα παιδιά να διατυπώσουν έναν τέτοιο μέσα από μετρήσεις, τη σύναψη σχέσεων μεταξύ μετρήσεων και μεγεθών καθώς και τη περιγραφή συμπεράσματος. Τέλος, να τονίσουμε την παράλληλη εισαγωγή θεμάτων από την καθημερινή ζωή, την πρόκληση συζητήσεων με αφορμή μύθους αλλά και την εμπλοκή των μαθητών με τη δημιουργική κατασκευή αναπαραστάσεων.

Σύμφωνα με τα παραπάνω διαπιστώνουμε πως οι επιστημονικές έννοιες, οι νόμοι, τα μοντέλα κ.λπ., χρησιμοποιούνται σε ένα διαφορετικό πλαίσιο, αυτό της προφορικής εργαστηριακής παράδοσης των *Φυσικών Επιστημών*. Το γεγονός αυτό υποδηλώνει τον μετασχηματισμό του επιστημονικού περιεχομένου σε περιεχόμενο κατάλληλο για διδασκαλία και μάθηση. Έναν μετασχηματισμό που καθορίστηκε βάσει της συγκεκριμένης επιστημολογικής επιλογής.

Συνοψίζοντας, μέσα από τις πειραματικές δραστηριότητες που προωθεί η διδακτική πρόταση, οι μαθητές κατασκευάζουν εργαστηριακά γεγονότα τα οποία παρατηρούν και βάσει αυτών καταλήγουν σε συμπεράσματα. Αυτή η διαδικασία διευκολύνει τα παιδιά στην οικοδόμηση των γνώσεων και τα μυεί στον επιστημονικό τρόπο σκέψης ενώ συγχρόνως καλλιεργεί αισθήματα αυτοπεποίθησης και αυτοεκτίμησης. Επιπρόσθετα, η συστηματική εργασία σε ομάδες δημιουργεί κλίμα συνεργασίας, προσφέρει κίνητρα για προσπάθεια και διαμορφώνει ένα «ασφαλές περιβάλλον» μέσα στο οποίο τα παιδιά νιώθουν

ελεύθερα να δράσουν, να σκεφτούν και κυρίως να κάνουν λάθη.

4.3 Μεθοδολογία Ανάλυσης

Για την πραγματοποίηση της ανάλυσης, και σύμφωνα με το επιστημολογικό μοντέλο του Hacking, καθορίστηκαν έξι διαφορετικές μεταβάσεις. Οι μεταβάσεις αυτές, αφορούν συγκεκριμένες προτεινόμενες «κατασκευές» και συνδέσεις μεταξύ των οντοτήτων οι οποίες είναι οι εξής:

1. Οι δραστηριότητες που αναπτύσσονται θα πρέπει να έχουν σαφή αναφορά σε ένα «κομμάτι κόσμου» (K) το οποίο κατασκευάζεται «προς τούτους», δηλαδή για κάποιο συγκεκριμένο σκοπό. Ο σκοπός είναι να μπορέσουν οι μαθητές να παρέμβουν άμεσα και αποτελεσματικά στο κομμάτι του Κόσμου που κατασκεύασαν σύμφωνα πάντα με τους εκάστοτε στόχους που έχουν τεθεί. Σε αυτό το κομμάτι του Κόσμου θα πρέπει να περιλαμβάνεται και η επιστημονική οντότητα που υποδηλώνεται ως κεντρική οντότητα (π. χ. μέσω του τίτλου) που υποστηρίζει το υλικό.
2. Οι μαθητές θα πρέπει στη συνέχεια να πραγματοποιήσουν παρεμβάσεις στον Κόσμο που καταρχήν κατασκεύασαν και συγχρόνως δοκίμασαν τον τρόπο που αυτός λειτουργεί. Παρεμβαίνοντας σε αυτόν θα πρέπει να παράγουν μια σειρά από φαινόμενα. Τα φαινόμενα αυτά παρουσιάζουν κάποια χαρακτηριστικά τα οποία οι μαθητές καλούνται να εντοπίσουν και να περιγράψουν. Στην ουσία τα χαρακτηριστικά αυτά αποτελούν «Τεκμήρια» (T) για το πώς λειτουργεί ο Κόσμος, σε εμπειρικό πλαίσιο. Τα Τεκμήρια, τα οποία εντοπίζονται μέσω των αισθήσεων, θα πρέπει να φανερώνουν εμπειρικά γεγονότα σχετικά με την λειτουργία του Κόσμου που δηλώνεται π.χ. μέσω του τίτλου που υποστηρίζει το υλικό. Αυτή η διαδικασία οδηγεί στην πραγματοποίηση συνδέσεων μεταξύ του «Κόσμου» και των «Τεκμηρίων» και συμβολίζεται ως $K \rightarrow T$.
3. Οι μαθητές βασιζόμενοι στα εμπειρικά «Τεκμήρια» πρέπει να οδηγηθούν προς την αναγνώριση μιας «επιστημονικής ιδέας» (I). Η «Ιδέα» συνοψίζει τα «Τεκμήρια», δηλαδή τον εμπειρικό τρόπο λειτουργίας του «Κόσμου», ως έννοια, μοντέλο, θεωρία κ.λπ.. Στην πραγματικότητα η «Ιδέα» αναπαριστά θεωρητικά τον τρόπο λειτουργίας του «Κόσμου» ενώ τα «Τεκμήρια» τον αναπαριστούν με εμπειρικό. Με αυτόν τον τρόπο πραγματοποιείται η σύνδεση

- μετάβαση από την οντότητα των «Τεκμηρίων» στην οντότητα των «Ιδεών» και συμβολίζεται ως $T \rightarrow I$. Οι μαθητές έτσι μπορούν να εφαρμόσουν τις «Ιδέες» στον «Κόσμο» από τον οποίο αυτές προέκυψαν (όπως και τα «Τεκμήρια») και να περιγράψουν την λειτουργία του.
4. Οι μαθητές θα πρέπει να προσπαθήσουν να περιγράψουν τη λειτουργία του «Κόσμου» (που κατασκεύασαν και από τον οποίο εξήγαγαν τα «Τεκμήρια») με όρους που στηρίζονται στην «Ιδέα» οδηγούμενοι έτσι στη μετάβαση από τις οντότητες του «Κόσμου» στις οντότητες των «Ιδεών» η οποία συμβολίζεται ως μετάβαση $K \rightarrow I$.
 5. Θα πρέπει στη συνέχεια από τις περιγραφές που έκαναν με βάση την «Ιδέα», να προβλέψουν επιπλέον «Τεκμήρια» όπως αυτά που ήδη έχουν εντοπίσει στο 2^ο βήμα. Εδώ, τα προβλεπόμενα «Τεκμήρια» θα πρέπει να παρουσιάζονται με βάση την «Ιδέα». Έτσι οι μαθητές οδηγούνται στην πραγματοποίηση συνδέσεων μεταξύ «Ιδεών» και «Τεκμηρίων» που συμβολίζεται ως μετάβαση $I \rightarrow T$.
 6. Θα πρέπει τέλος να επιστρέψουν στον «Κόσμο», να πραγματοποιήσουν παρεμβάσεις και αλλαγές έτσι ώστε να πετύχουν την εμφάνιση νέων «Τεκμηρίων» που προβλέπει η «Ιδέα». Κάτι τέτοιο συνεπάγεται την μετάβαση από την οντότητα του «Κόσμου» στην οντότητα των «Τεκμηρίων» και συμβολίζεται ως $T \rightarrow K$.

Σύμφωνα με τη μεθοδολογία, το διδακτικό υλικό προτείνει αμφίδρομες συνδέσεις μεταξύ των οντοτήτων του «Κόσμου», των «Τεκμηρίων» και των «Ιδεών». Ωστόσο, παρατηρούμε πως απουσιάζει η μετάβαση του τύπου $I \rightarrow K$. Αυτό οφείλεται στο γεγονός πως οι μαθητές, αν και πετυχαίνουν σε πολύ μεγάλο βαθμό όταν εργάζονται επαγωγικά, συναντούν δυσκολίες στη άρρητη κατασκευή οντοτήτων του «Κόσμου» βάσει θεωρητικών εννοιών (Τσελφές, 2003).

Η ανάλυση του εκπαιδευτικού υλικού πραγματοποιείται ανά ενότητα, ελέγχοντας αν σε κάθε μάθημα εμφανίζονται και οι έξι μεταβάσεις που προσδιορίζει η μεθοδολογία. Αρχικά, περιγράφονται οι δραστηριότητες που περιλαμβάνει κάθε ενότητα. Στη συνέχεια, διερευνάται με ποιον τρόπο εμφανίζονται οι οντότητες του «Κόσμου», των «Ιδεών» και των «Τεκμηρίων» στις δραστηριότητες καθώς και οι μεταβάσεις που προτείνονται. Τα ευρήματα κάθε ενότητας παρατίθενται σε ένα συνοπτικό πίνακα ο οποίος παρουσιάζει τις

μεταβάσεις που προωθήθηκαν καθώς και τις βασικές πρακτικές που μπορούν να οδηγήσουν τους μαθητές στην πιθανή ολοκλήρωσή τους. Στο τέλος κάθε μαθήματος, σχολιάζεται το σύνολο των μεταβάσεων που αναγνωρίστηκαν και παρατίθεται ο αντίστοιχος συνοπτικός πίνακας του μαθήματος.

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης, συζητήθηκαν με τον επιβλέποντα καθηγητή, με σκοπό την επιβεβαίωση της εγκυρότητας τους. Σύμφωνα με τον έλεγχο, κρίθηκαν έγκυρα και παρουσιάζονται στο αμέσως επόμενο κεφάλαιο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5ο : ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

5.1 1^ο Μάθημα: Μαθαίνουμε για τον Κόσμο της Σκιάς (ενότητες 1 - 4).

Το 1^ο Μάθημα έχει τον τίτλο «Μαθαίνουμε για τον Κόσμο της Σκιάς» και αποτελείται από τέσσερις ενότητες (I έως IV). Να σημειώσουμε πως στα περισσότερα μαθήματα τα παιδιά καλούνται να εργαστούν σε ομάδες ενώ υπάρχουν και φάσεις της διδασκαλίας όπου συστήνεται η εργασία σε επίπεδο τάξης. Ο εκπαιδευτικός παρεμβαίνει όταν το ζητήσουν τα παιδιά ή όταν το ζητούν οι οδηγίες του φύλλου εργασίας.

Ενότητα 1: Μαθαίνουμε για τον Κόσμο της Σκιάς I

Στόχος της πρώτης ενότητας είναι να συνδέσουν τα παιδιά τις έννοιες του φωτός και της σκιάς με συγκεκριμένα κομμάτια του υλικού κόσμου, παρεμβαίνοντας σε αυτά και εξετάζοντάς τα. Αρχικά, οι μαθητές καλούνται να μελετήσουν ένα από τα αντικείμενα-όργανα που πρόκειται να διαχειριστούν στην πειραματική δραστηριότητα που θα ακολουθήσει. Το όργανο αυτό είναι ο φακός και μέσα από τη μελέτη του τα παιδιά προσδιορίζουν τη χρήση του ως πηγή φωτός. Στη συνέχεια οι μαθητές καλούνται να δημιουργήσουν μια διάταξη η οποία θα περιλαμβάνει φωτεινή πηγή (φακός), οθόνη και κάποια σώματα που αν διαταχθούν κατάλληλα το αποτέλεσμα θα είναι η δημιουργία σκιών (είδωλα πάνω στην οθόνη). Αφού τα παιδιά συζητήσουν για το ποια διάταξη παράγει το επιθυμητό αποτέλεσμα θα πρέπει στη συνέχεια να τη σχεδιάσουν.

Διαπιστώνουμε πως στην πρώτη ενότητα προωθείται η κατασκευή ενός «Κόσμου» ο οποίος περιλαμβάνει τη φωτεινή πηγή, την οθόνη και τα «σώματα», καθώς και η δοκιμή παρεμβάσεων στον «Κόσμο» αυτό. Επιπλέον, στον

κατασκευασμένο «Κόσμο» μπορούμε να εντοπίσουμε την κεντρική επιστημονική οντότητα που υποστηρίζει το 1^ο Κεφάλαιο μέσα από τον τίτλο του, δηλαδή την οντότητα της Σκιάς. Η ερμηνεία κάποιων παρατηρήσεων που θα συνιστούσε την εξαγωγή «Τεκμηρίων», δεν προτείνεται. Εξάλλου, πρόκειται για μια εισαγωγική δραστηριότητα που σαν σκοπό έχει να φέρει σε μια πρώτη επαφή τα παιδιά με τις οντότητες του «Κόσμου». Στον Πίνακα 1 που ακολουθεί παρουσιάζονται οι μεταβάσεις που πραγματοποιήθηκαν στην 1^η ενότητα.

1^ο Μάθημα «Μαθαίνουμε για τον Κόσμο της Σκιάς»	K	K → T	T → I	K → I	I → T	T → K
Ενότητα 1^η Οντότητα της Σκιάς	ΝΑΙ 1.Κατασκευή κόσμου που περιλαμβάνει φωτεινή πηγή, οθόνη, σώματα 2.Παρεμβάσεις στον κόσμο	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ

Πίνακας 1.Συνοπτικός Πίνακας Μεταβάσεων 1^{ης} Ενότητας

Ενότητα 2: Μαθαίνουμε για τον Κόσμο της Σκιάς II

Στόχος της δεύτερης ενότητας είναι να συνδέσουν τα παιδιά την έννοια της σκιάς με συγκεκριμένα σχήματα και χαρακτηριστικά των σωμάτων καθώς και τις διατάξεις που τα δημιουργούν. Εδώ, οι μαθητές καλούνται να δημιουργήσουν σκιές χρησιμοποιώντας διαφορετικά υλικά «σώματα». Συγκεκριμένα, μια γομολάστιχα, τρία φύλλα ζελατίνας διαφορετικού χρώματος το καθένα, ένα κομμάτι γυαλί και ένα τρυπημένο σε σχήμα τριγώνου χαρτόνι. Με αυτόν τον τρόπο καλούνται να δημιουργήσουν ένα σύνολο σκιών που εμφανίζουν διαφορετικά χαρακτηριστικά. Στη συνέχεια ζητείται από τα παιδιά να εντοπίσουν αυτά τα χαρακτηριστικά και να τα απεικονίσουν στις ζωγραφιές τους. Επιπλέον, να συζητήσουν για αυτά αλλά και να δώσουν ερμηνείες με επιχειρήματα.

Τα χαρακτηριστικά αυτά αποτελούν «Τεκμήρια» τα οποία εξάγονται μέσα από την προτεινόμενη διαχείριση κομματιών του «Κόσμου». Για παράδειγμα, μετακινώντας ένα «σώμα» στην διάταξη, αλλάζοντας «σώμα» κ. ο. κ.. Σύμφωνα με τα παραπάνω οι μαθητές έχουν τη δυνατότητα να πραγματοποιήσουν τη σύνδεση «Κόσμου» και «Τεκμηρίων» στα πλαίσια της ίδιας κεντρικής επιστημονικής οντότητας που υποστηρίζει ο τίτλος του μαθήματος. Διαπιστώνουμε πως οι παραπάνω δραστηριότητες προωθούν την κατασκευή του «Κόσμου» και τη

2^η μετάβαση $K \rightarrow T$. Μπορούμε να δούμε συνοπτικά τις μεταβάσεις της 2^{ης} ενότητας στον Πίνακα 2.

1^ο Μάθημα «Μαθαίνουμε για τον Κόσμο της Σκιάς» Ενότητα 2^η	K	$K \rightarrow T$	$T \rightarrow I$	$K \rightarrow I$	$I \rightarrow T$	$T \rightarrow K$
Οντότητα της Σκιάς	ΝΑΙ 1.Κατασκευή κόσμου που περιλαμβάνει φωτεινή πηγή, οθόνη, σώματα 2.Παρεμβάσεις στον κόσμο	ΝΑΙ Παραγωγή τεκμηρίων μέσα από τα χαρακτηριστικά των σκιών	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ

Πίνακας 2. Συνοπτικός Πίνακας Μεταβάσεων 2^{ης} Ενότητας

Ενότητα 3: Μαθαίνουμε για τον Κόσμο της Σκιάς III

Στόχος της τρίτης ενότητας είναι να συνδέσουν τα παιδιά τις έννοιες του φωτός και τις σκιάς καθώς και των διατάξεων που τις δημιουργούν, με την έννοια των φωτεινών ακτινών. Αρχικά, συστήνεται στους μαθητές να κρεμάσουν σε ταμπλό τις ζωγραφιές που σχεδίασαν στην προηγούμενη ενότητα και βάσει αυτών, να συμπληρώσουν ερωτηματολόγια, να συζητήσουν και να καταλήξουν σε συμπεράσματα. Ακόμη, οφείλουν να συζητήσουν σχετικά με την διάταξη που χρησιμοποίησαν για την επιτυχή δημιουργία των σκιών καθώς και για το ιδιαίτερο χαρακτηριστικό κάποιων σωμάτων να σχηματίζουν δύσκολα σκιές. Βάσει αυτής της ιδιότητας καλούνται να ταξινομήσουν τα σώματα σε διαφανή, ημιδιαφανή και αδιαφανή.

Στη συνέχεια ζητείται από τα παιδιά να δημιουργήσουν τις σκιές τριών σωμάτων (μιας γομολάστιχας, ενός κομματιού γυαλιού και μιας χρωματιστής ζελατίνας) δηλαδή, ενός αδιαφανούς, ενός διαφανούς και ενός ημιδιαφανούς σώματος αντίστοιχα). Παράλληλα, ζητείται να σχεδιάσουν την πορεία του φωτός σε κάθε περίπτωση, και στο τέλος, χρησιμοποιώντας τη γομολάστιχα, να δημιουργήσουν σκιές με διαφοροποιημένο μέγεθος εξηγώντας με ποιον τρόπο τα κατάφεραν.

Σύμφωνα με τις παραπάνω δραστηριότητες, προτείνονται οι διαδοχικές παρεμβάσεις στον κατασκευασμένο «Κόσμο» και η παραγωγή νέων «Τεκμηρίων». Τα «Τεκμήρια» αυτά μπορούν να προκύψουν από τα διαφορετικά σώματα που χρησιμοποιούνται, τις μετακινήσεις αυτών των σωμάτων και τον εντοπισμό νέων χαρακτηριστικών στα φαινόμενα που δημιουργούνται. Με αυτόν τον τρόπο

προωθείται η μετάβαση $K \rightarrow T$.

Στη συνέχεια, προτείνεται ο εκπαιδευτικός να συζητήσει τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των «Τεκμηρίων» με τους μαθητές προκειμένου να διευκολύνει τη μετάβαση από τις οντότητες των «Τεκμηρίων» σε αυτές των «Ιδεών» $T \rightarrow I$. Αυτό επιτυγχάνεται μέσα από την ερμηνεία των «Τεκμηρίων» με αναπαραστατικό τρόπο και τη σύνδεση τους με τις έννοιες της διαφάνειας, αδιαφάνειας και ημιδιαφάνειας. Παράλληλα, πέρα από τα «Τεκμήρια» των πειραματικών δραστηριοτήτων, οι μαθητές καλούνται να προβούν σε μια πιο γενική περιγραφή του «Κόσμου» με τους όρους που σχετίζονται με τις «Ιδέες», ταξινομώντας τα σώματα σε διαφανή, ημιδιαφανή και αδιαφανή. Αυτή η διαδικασία προωθεί τη μετάβαση από τον «Κόσμο» στις «Ιδέες» $K \rightarrow I$. Ωστόσο, το γεγονός πως τα «Τεκμήρια» που εξάγονται διαφέρουν σε πολλά σημεία, δημιουργεί δυσκολίες για την παραγωγή ενός μοντέλου – «Ιδέας» που περιγράφει γενικά και αφηρημένα τη δημιουργία σκιάς. Επιπλέον, ο εντοπισμός της έννοιας (φωτεινή ακτίνα) που σχετίζεται με την πορεία του φωτός δεν έχει ακόμη επιτευχθεί. Οι μεταβάσεις που προτείνονται στην 3^η ενότητα παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.

1 ^ο Μάθημα «Μαθαίνουμε για τον Κόσμο της Σκιάς»	K	$K \rightarrow T$	$T \rightarrow I$	$K \rightarrow I$	$I \rightarrow T$	$T \rightarrow K$
Ενότητα 3 ^η Οντότητα της Σκιάς	ΝΑΙ 1.Κατασκευή κόσμου που περιλαμβάνει φωτεινή πηγή, οθόνη, σώματα 2.Παρεμβάσεις στον κόσμο	ΝΑΙ 1.Παραγωγή τεκμηρίων μέσα από τις σκιές που δημιουργούν νέα σώματα 2.Χαρακτηριστι κά σκιών των νέων σωμάτων	ΝΑΙ 1.Ερμηνεία των τεκμηρίων 2.Έννοιες διαφάνειας, αδιαφάνειας, ημιδιαφάνειας	ΝΑΙ Ταξινόμηση των σωμάτων σε διαφανή, αδιαφανή ημιδιαφανή	ΟΧΙ	ΟΧΙ

Πίνακας 3. Συνοπτικός Πίνακας Μεταβάσεων 3^{ης} Ενότητας

Ενότητα 4: Μαθαίνουμε για τον Κόσμο της Σκιάς IV

Στόχος της τέταρτης και τελευταίας ενότητας του 1^{ου} Μαθήματος είναι η βαθύτερη, έστω και άρρητη, κατανόηση των φαινομένων που σχετίζονται με τις σκιές. Αρχικά, η διδασκαλία προωθεί τις παρεμβάσεις στον «Κόσμο» και την παραγωγή νέων «Τεκμηρίων». Εδώ, οι μαθητές καλούνται να χρησιμοποιήσουν δύο φακούς και μία γομολάστιχα, να παρατηρήσουν και να εντοπίσουν τα χαρακτηριστικά της σκιάς και της παρασκιάς. Επιπλέον, να πειραματιστούν με νέα υλικά όπως χάρτινες κατασκευές σε διαφορετικά σχήματα και μεγέθη για τη

δημιουργία και πάλι σκιών. Στη συνέχεια, προτείνεται ο σχεδιασμός αυτών των χαρακτηριστικών, η συμπλήρωση ερωτηματολογίων και η εκτενέστερη συζήτηση για όσα έχουν παρατηρήσει και σχεδιάσει μέσα από τις παρεμβάσεις τους. Ο εκπαιδευτικός με κατάλληλες ερωτήσεις ωθεί τα παιδιά να εξηγήσουν και να ερμηνεύσουν τα φαινόμενα που έχουν δημιουργήσει. Στο τέλος, προωθείται η διεξαγωγή ενός μικρού διαγωνισμού μεταξύ των ομάδων για τη βράβευση της καλύτερης φιγούρας από σκιά.

Σύμφωνα με τα παραπάνω, οι δραστηριότητες της τέταρτης ενότητας, προτείνουν αρχικά τη μετάβαση από τον «Κόσμο» στα «Τεκμήρια» $K \rightarrow T$ και στη συνέχεια, μέσα από την ερμηνεία των νέων «Τεκμηρίων» (σκιά-παρασκιά), τη σύνδεση «Τεκμηρίων» και «Ιδεών» $T \rightarrow I$. Παράλληλα, οι γενικεύσεις που περιγράφουν πότε σχηματίζεται η σκιά και η παρασκιά, προωθούν τη σύνδεση «Κόσμου» και «Ιδεών» $K \rightarrow I$. Στον Πίνακα 4 παρουσιάζονται οι προτεινόμενες μεταβάσεις της 4^{ης} ενότητας.

1^ο Μάθημα «Μαθαίνουμε για τον Κόσμο της Σκιάς»	K	$K \rightarrow T$	$T \rightarrow I$	$K \rightarrow I$	$I \rightarrow T$	$T \rightarrow K$
Ενότητα 4^η Οντότητα της Σκιάς	ΝΑΙ 1.Κατασκευή κόσμου που περιλαμβάνει φωτεινή πηγή, οθόνη, σώματα 2.Παρεμβάσεις στον Κόσμο	ΝΑΙ 1.Παραγωγή νέων τεκμηρίων με τη χρήση δύο φακών 2.Σκιά- παρασκιά	ΝΑΙ Ερμηνεία νέων τεκμηρίων σκιάς- παρασκιάς	ΝΑΙ Γενικεύσεις που περιγράφουν πότε σχηματίζονται σκιά παρασκιά	ΟΧΙ	ΟΧΙ

Πίνακας 4. Συνοπτικός Πίνακας Μεταβάσεων 4^{ης} Ενότητας

Κλείνοντας το 1^ο Μάθημα, μπορούμε να υποστηρίξουμε πως σε αυτό προωθούνται αρχικά η κατασκευή του «Κόσμου» και η μετάβαση $K \rightarrow T$, βάσει του βιβλίου οδηγιών. Στη συνέχεια, προτείνονται οι μεταβάσεις $T \rightarrow I$ και $K \rightarrow I$ με την καθοδήγηση του εκπαιδευτικού. Η κατασκευή ενός μοντέλου (Ιδέα) που μπορεί να περιγράψει τη δημιουργία της σκιάς δεν αναγνωρίζεται στα πλαίσια των δραστηριοτήτων του 1^{ου} μαθήματος. Επιπλέον, διαπιστώνουμε πως δεν προτείνεται η πρόβλεψη «Τεκμηρίων» βάση κάποιας «Ιδέας», διαδικασία που θα συνιστούσε μια μετάβαση του τύπου $I \rightarrow T$. Άλλωστε, μια τέτοια «Ιδέα» δε φαίνεται να προκύπτει μέσα από το σύνολο των δραστηριοτήτων. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να απουσιάζει μια πρακτική που θα συνιστούσε την παρέμβαση στον κατασκευασμένο «Κόσμο» με σκοπό την εμφάνιση νέων «Τεκμηρίων» που

προβλέπει μια «Ιδέα». Με λίγα λόγια, δεν προωθείται η τελευταία μετάβαση, δηλαδή η $T \rightarrow K$. Ακολουθεί ο Πίνακας 5 όπου παρουσιάζονται οι προτεινόμενες μεταβάσεις του 1^{ου} Μαθήματος.

1^ο Μάθημα «Μαθαίνουμε για τον Κόσμο της Σκιάς»	K	$K \rightarrow T$	$T \rightarrow I$	$K \rightarrow I$	$I \rightarrow T$	$T \rightarrow K$
Ενότητα 1^η Οντότητα της Σκιάς	ΝΑΙ 1.Κατασκευή κόσμου που περιλαμβάνει φωτεινή πηγή, οθόνη, σώματα 2.Παρεμβάσεις στον κόσμο	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ
Ενότητα 2^η Οντότητα της Σκιάς	ΝΑΙ 1.Κατασκευή κόσμου που περιλαμβάνει φωτεινή πηγή, οθόνη, σώματα 2.Παρεμβάσεις στον κόσμο	ΝΑΙ Παραγωγή τεκμηρίων μέσα από τα χαρακτηριστι κά των σκιών	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ
Ενότητα 3^η Οντότητα της Σκιάς	ΝΑΙ 1.Κατασκευή κόσμου που περιλαμβάνει φωτεινή πηγή, οθόνη, σώματα 2.Παρεμβάσεις στον κόσμο	ΝΑΙ 1.Παραγωγή τεκμηρίων μέσα από τις σκιές που δημιουργούν νέα σώματα 2.Χαρακτηρι στικά σκιών των νέων σωμάτων	ΝΑΙ 1.Ερμηνεία των τεκμηρίων 2.Έννοιες διαφάνειας, αδιαφάνειας, ημιδιαφάνειας	ΝΑΙ Ταξινόμηση των σωμάτων σε διαφανή, αδιαφανή ημιδιαφανή	ΟΧΙ	ΟΧΙ
Ενότητα 4^η Οντότητα της Σκιάς	ΝΑΙ 1.Κατασκευή κόσμου που περιλαμβάνει φωτεινή πηγή, οθόνη, σώματα 2.Παρεμβάσεις στον Κόσμο	ΝΑΙ 1.Παραγωγή νέων τεκμηρίων με τη χρήση δύο φακών 2.Σκιά- παρασκιά	ΝΑΙ Ερμηνεία νέων τεκμηρίων σκιάς- παρασκιάς	ΝΑΙ Γενικεύσεις που περιγράφουν πότε σηματίζονται σκιά παρασκιά	ΟΧΙ	ΟΧΙ

Πίνακας 5. Συνοπτικός πίνακας μεταβάσεων 1^{ου} Μαθήματος

5.2 2^ο Μάθημα: Ο Κόσμος των Φωτεινών Ακτινών (ενότητες 5-9)

Το 2^ο Μάθημα έχει τον τίτλο « Ο Κόσμος της Φωτεινής Ακτίνας» και αποτελείται από πέντε ενότητες (5^η έως 9^η). Η πρώτη ενότητα ωστόσο, παρουσιάζεται υπό τον τίτλο «Μαθαίνουμε για την πηγή ακτινών Λέιζερ» ενώ οι υπόλοιπες τέσσερις υπό τον τίτλο «Ο Κόσμος της Φωτεινής Ακτίνας I έως IV». Να σημειώσουμε πως τα παιδιά καλούνται να εργαστούν κυρίως σε ομάδες ενώ σε κάποιες δραστηριότητες

προωθείται η συζήτηση σε επίπεδο τάξης. Ο εκπαιδευτικός επεμβαίνει επιλεκτικά όπου αυτός κρίνει απαραίτητο ή όταν του το ζητήσουν τα παιδιά.

Ενότητα 5: «Μαθαίνουμε για την πηγή ακτίνων λέιζερ»

Στο δεύτερο μάθημα η διδασκαλία ξεκινά με την 5^η ενότητα που έχει τίτλο «Μαθαίνουμε για την πηγή ακτίνων λέιζερ (Laser)». Εδώ, τα παιδιά καλούνται να μελετήσουν ένα νέο όργανο που πρόκειται να χρησιμοποιήσουν στις επόμενες πειραματικές δραστηριότητες. Μέσα από την ανάγνωση ενός βιβλίου με τίτλο «Κατάλογος Οργάνων και συσκευών εργαστηρίου φυσικών επιστημών» (Μπισδικιάν και Μολοχίδη), οι μαθητές έχουν την ευκαιρία να εξοικειωθούν με τα λειτουργικά χαρακτηριστικά των πηγών ακτίνων λέιζερ, να τα ταξινομήσουν ανάλογα με το βαθμό επικινδυνότητας τους και να μάθουν τα μέτρα ασφαλείας που συνοδεύουν τη χρήση τους. Η διαδικασία αυτή εξάλλου συνιστά ακριβώς τον κύριο στόχο αυτής της ενότητας. Επιπλέον, ζητείται ένας μαθητής από κάθε ομάδα να γράψει σε ένα χαρτί τα μέτρα ασφαλείας που απαιτούνται.

Είναι σημαντικό να τονίσουμε πως μέσω αυτής της δραστηριότητας, τα παιδιά, έχουν τη δυνατότητα να αποκτήσουν γνώσεις και εμπειρία για τα εργαστηριακά όργανα τα οποία αποτελούν ένα μεγάλο κομμάτι του κατασκευασμένου εργαστηριακού «Κόσμου». Παράλληλα, επιτυγχάνεται η σύνδεση με την τεχνολογία θέτοντας τις εργαστηριακές κατασκευές και τα τεχνήματα σε ένα ιδιαίτερο πλαίσιο διαλόγου στο οποίο αναπτύσσεται ο «τεχνικός λόγος».

Στη συνέχεια, οι μαθητές καλούνται να χρησιμοποιήσουν και τις δύο πηγές φωτός, δηλαδή το φακό και το λέιζερ, και ακολούθως να εντοπίσουν και να σημειώσουν τις διαφορές τους. Επιδιώκεται με αυτόν τον τρόπο να διαφοροποιήσουν τα λειτουργικά χαρακτηριστικά των δύο οργάνων καθώς και τις χρήσεις τους.

Παρατηρούμε πως στα πλαίσια των παραπάνω δραστηριοτήτων, τα παιδιά καλούνται να διαχειριστούν ένα καινούργιο κομμάτι «Κόσμου» και να αλληλεπιδράσουν με αυτό. Επίσης, στο νέο κομμάτι του «Κόσμου» μπορούμε να εντοπίσουμε την κεντρική επιστημονική οντότητα που υποστηρίζει ο τίτλος του 2^{ου} Μαθήματος, δηλαδή την οντότητα της Φωτεινής Ακτίνας. Αν και στο σημείο αυτό δεν παρατηρείται μια σαφή αναφορά στην οντότητα της φωτεινής ακτίνας ωστόσο,

τα παιδιά έχουν τη δυνατότητα να έρθουν σε μια πρώτη επαφή μαζί της. Δημιουργούνται έτσι όλες οι απαραίτητες συνθήκες για την αποτελεσματική και άμεση παρέμβαση των μαθητών στο κατασκευασμένο «Κόσμο». Όλα τα παραπάνω συστήνουν την «Κατασκευή κόσμου». Στον Πίνακα 6 παρουσιάζονται οι προτεινόμενες μεταβάσεις της 5^{ης} ενότητας.

2^ο Μάθημα «Ο Κόσμος των Φωτεινών Ακτινών»	K	K → T	T → I	K → I	I → T	T → K
Ενότητα 5^η Οντότητα της φωτεινής ακτίνας	ΝΑΙ Γνωριμία και αλληλεπίδραση με νέα υλική οντότητα/λείζερ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ

Πίνακας 6. Συνοπτικός πίνακας μεταβάσεων 5^{ης} ενότητας

Ενότητα 6: Ο Κόσμος των Φωτεινών Ακτινών Ι

Στόχος της έκτης ενότητας είναι η αναγνώριση από τους μαθητές της ευθύγραμμης διάδοσης του φωτός καθώς και η διάκριση των φαινομένων της ανάκλασης, διάχυσης και απορρόφησης. Εδώ, τα παιδιά καλούνται να δημιουργήσουν διαδρομές φωτός με την βοήθεια της συσκευής λέιζερ, να παρατηρήσουν την πορεία αυτής της διαδρομής και στη συνέχεια να τη σχεδιάζουν. Με την προσεκτική κατασκευή και παρατήρηση οι μαθητές οδηγούνται στην οντότητα της φωτεινής ακτίνας αλλά και στην έννοια της ευθύγραμμης διάδοσης του φωτός.

Στη συνέχεια, ζητείται η κατασκευή μιας καινούργιας διάταξης με σκοπό τη δημιουργία φαινομένων που προκαλούνται από την αλληλεπίδραση του φωτός με διαφορετικά αντικείμενα. Προκειμένου οι μαθητές να ανιχνεύσουν τη συμπεριφορά του φωτός με την ύλη, συστήνεται να κατασκευάσουν «φέτες» από τρία διαφορετικά υλικά: μία από μαύρο χαρτόνι, μία από άσπρο χαρτόνι και μία από καθρέπτη. Ακολούθως, καλούνται να σχεδιάσουν τη διαδρομή της φωτεινής ακτίνας καθώς αυτή αλληλοεπιδρά με τα τρία διαφορετικά υλικά. Επιπλέον, να συμπληρώσουν ερωτηματολόγια ώστε να προσδιορίσουν «τι παθαίνει» η φωτεινή ακτίνα σε κάθε περίπτωση. Στο τέλος, ο εκπαιδευτικός διευκρινίζει στους μαθητές πώς ονομάζει η φυσική τη διαφορετική κάθε φορά συμπεριφορά του φωτός (ανάκλαση, διάχυση, απορρόφηση). Η ενότητα κλείνει με συζήτηση στην ολομέλεια της τάξης για το πότε συμβαίνουν τα παραπάνω φαινόμενα.

Παρατηρούμε πως η κατασκευή του «Κόσμου» προωθείται και σε αυτήν την ενότητα. Αξίζει να σημειωθεί ωστόσο πως εδώ, στοχεύοντας τα παιδιά στη δημιουργία των φαινομένων, οφείλουν να διαχειριστούν πολύ προσεκτικά τις υλικές οντότητες που περιλαμβάνονται σε αυτό το κομμάτι του «Κόσμου». Η προσεκτική «κατασκευή» των «φαινομένων» διευκολύνει τη μετάβαση από τις οντότητες του «Κόσμου» στις οντότητες των «Τεκμηρίων». Αυτή τη μετάβαση οι μαθητές έχουν τη δυνατότητα να την πραγματοποιήσουν μέσα από την παρατήρηση και σχεδίαση της διαδρομής της φωτεινής ακτίνας καθώς και από τα συμπεράσματα τους για το τι παθαίνει η φωτεινή ακτίνα όταν αυτή αλληλεπιδρά με διαφορετικά υλικά. Με αυτόν τον τρόπο προτείνεται η μετάβαση $K \rightarrow T$.

Επιπλέον, οι ερμηνείες των «Τεκμηρίων» μπορούν να οδηγήσουν στις έννοιες της ευθύγραμμης διάδοσης του φωτός καθώς και της ανάκλασης, της διάχυσης και της απορρόφησης του. Έτσι, προωθείται η μετάβαση από τα «Τεκμήρια» στις «Ιδέες» $T \rightarrow I$. Στο τέλος των δραστηριοτήτων, όταν ο εκπαιδευτικός ζητά από τα παιδιά να συζητήσουν «πότε» συμβαίνουν τα φαινόμενα που παρατήρησαν, στην ουσία ενισχύει τη μετάβαση από τα «Τεκμήρια» στις «Ιδέες» και κατευθύνει τα παιδιά σε μια γενίκευση πέρα από τα «Τεκμήρια» του πειράματος προς μια περιγραφή του «Κόσμου» με όρους που στηρίζονται στις «Ιδέες». Μια επιτυχής λοιπόν περιγραφή του «πότε» συμβαίνουν τα φαινόμενα θα σήμαινε τη μετάβαση $K \rightarrow I$. Διαπιστώνουμε πως δεν προτείνονται δραστηριότητες που θα μπορούσαν να οδηγήσουν στις μεταβάσεις $I \rightarrow T$ και $T \rightarrow K$. Στον Πίνακα 7 παρουσιάζονται οι μεταβάσεις που αναγνωρίστηκαν στην 6^η ενότητα.

2^ο Μάθημα «Ο Κόσμος των Φωτεινών Ακτινών»	K	K → T	T → I	K → I	I → T	T → K
Ενότητα 6^η Οντότητα της φωτεινής ακτίνας	ΝΑΙ Δημιουργία διαδρομών φωτός με λείζερ	ΝΑΙ Παρατήρηση και σχεδίαση της διαδρομής φωτεινής ακτίνας	ΝΑΙ 1.Ερμηνεία των Τεκμηρίων 2.Ευθύγραμμη διάδοση φωτός 3.Ανάκλαση 4.Διάχυση 5.Απορρόφηση	ΝΑΙ Περιγραφή των φαινομένων υπό τους όρους των Ιδεών	ΟΧΙ	ΟΧΙ

Πίνακας 7. Συνοπτικός πίνακας μεταβάσεων 6^{ης} ενότητας

Ενότητα 7: Ο Κόσμος της Φωτεινής Ακτίνας II

Στην έβδομη ενότητα ο πρώτος στόχος είναι να συνδέσουν οι μαθητές την κατεύθυνση πρόσπτωσης της δέσμης λέιζερ (φωτεινή ακτίνα) πάνω στον καθρέπτη με την κατεύθυνση ανάκλασης της δέσμης ενώ ο δεύτερος αφορά την ολοκλήρωση μιας καθοδηγούμενης διαδικασίας μέτρησης των γωνιών πρόσπτωσης και ανάκλασης. Ουσιαστικά, οι δραστηριότητες αφορούν τη διεξοδική μελέτη του φαινομένου της ανάκλασης. Αρχικά, οι μαθητές καλούνται να κατασκευάσουν την ανάλογη διάταξη τοποθετώντας έναν καθρέπτη πάνω στο θρανίο. Στη συνέχεια να δημιουργήσουν διαδρομές φωτός κατευθύνοντας τη φωτεινή ακτίνα, με διαφορετική κάθε φορά γωνία, πάνω στον καθρέπτη και παράλληλα να παρακολουθήσουν τη φωτεινή κηλίδα που ανακλάται στο ταβάνι. Στη συνέχεια, συστήνεται να προκαλέσουν σκόπιμα την εμφάνιση της φωτεινής κηλίδας σε συγκεκριμένα σημεία του ταβανιού ενώ προτείνεται συζήτηση στην τάξη για το ποιος τα κατάφερε και με ποιον τρόπο. Ακόμη, τα παιδιά καλούνται να περιγράψουν τον τρόπο με τον οποίο κινούνται οι φωτεινές ακτίνες από την πηγή λέιζερ στον καθρέπτη και από τον καθρέπτη στο ταβάνι. Σε αυτό το σημείο υποδεικνύεται μια πρώτη άρρητη σύνδεση της κατεύθυνσης πρόσπτωσης της φωτεινής ακτίνας στον καθρέπτη με την κατεύθυνση ανάκλασης της από αυτόν.

Μετά από αυτό, οι μαθητές καλούνται να σχεδιάσουν τις πορείες δύο φωτεινών ακτινών που πέφτουν στον καθρέπτη με διαφορετική γωνία και απομακρύνονται από αυτόν. Επιπλέον, ζητείται από τα παιδιά να σκεφτούν ποια σχέση συνδέει την ακτίνα που πέφτει στον καθρέπτη (προσπίπτουσα) με την ακτίνα που απομακρύνεται από αυτόν (ανακλώμενη) και να γράψουν με όποιο τρόπο καταλαβαίνουν αυτή τη σχέση.

Στη συνέχεια, συστήνεται η χρήση ενός μοιρογνωμονίου για την πραγματοποίηση μετρήσεων με σκοπό την περιγραφή με ακριβή τρόπο της σχέσης προσπίπτουσας και ανακλώμενης ακτίνας και παράλληλα ο εκπαιδευτικός δίνει οδηγίες για τη χρήση του νέου αυτού εργαστηριακού οργάνου. Ακολούθως, τα παιδιά καλούνται να κατασκευάσουν μια συγκεκριμένη διάταξη προκειμένου να δημιουργήσουν το φαινόμενο της ανάκλασης και βάσει αυτής της διάταξης να παρατηρήσουν, να εντοπίσουν και τελικά να σχεδιάσουν όλη τη διαδικασία της ανάκλασης σε ένα χαρτί.

Μετά την ολοκλήρωση αυτής της δραστηριότητας, οι μαθητές καλούνται να μετρήσουν τις γωνίες που έχουν ήδη βρει και σχεδιάσει. Σύμφωνα με τις μετρήσεις τους, έχουν τη δυνατότητα πλέον να βρουν τις σχέσεις που συνδέουν τόσο τις προσπίπτουσες με τις ανακλώμενες ακτίνες, όσο και των συμπληρωματικών τους καθώς και να προβληματιστούν κατά πόσο αυτή η σχέση ισχύει και για κάθε άλλη φωτεινή ακτίνα που θα πέσει στον καθρέπτη. Ο εκπαιδευτικός ρωτάει τα παιδιά αν πιστεύουν πως αυτή η σχέση ισχύει και για κάθε άλλη φωτεινή ακτίνα που θα πέσει στον καθρέπτη και ζητάει να δώσουν μια διατύπωση για αυτό. Η ενότητα κλείνει προτείνοντας τη συζήτηση στην ολομέλεια της τάξης υπό την καθοδήγηση του εκπαιδευτικού για το τι «λέει» ο νόμος της ανάκλασης.

Και σε αυτήν την ενότητα προωθείται η κατασκευή του «Κόσμου» ο οποίος περιλαμβάνει την κεντρική οντότητα της φωτεινής ακτίνας. Ωστόσο, για πρώτη φορά από την έναρξη των μαθημάτων, ζητείται από τους μαθητές να παρέμβουν στον «Κόσμο» με σκοπό να πετύχουν την εμφάνιση νέων «Τεκμηρίων» που προβλέπονται από μια «Ιδέα», γεγονός που υποδεικνύει τη μετάβαση του τύπου $T \rightarrow K$. Σε αυτήν την περίπτωση, τα «Τεκμήρια» που αναμένεται να εμφανιστούν είναι οι φωτεινές κηλίδες στο ταβάνι. Όπως συζητήθηκε στη μεθοδολογία, οι μεταβάσεις $T \rightarrow K$ υπαγορεύονται από μια «Ιδέα» και στη συγκεκριμένη περίπτωση η «Ιδέα» αυτή είναι ο νόμος της ανάκλασης. Αν και δεν έχει γίνει ακόμη ρητή αναφορά στο νόμο της ανάκλασης, ωστόσο, μέσα από τη δημιουργία του φαινομένου που προτείνεται τόσο στην προηγούμενη ενότητα, όσο και σε αυτή τη δραστηριότητα, οι μαθητές έχουν τη δυνατότητα να έρθουν σε μια πρώτη επαφή μαζί του. Εξάλλου, όταν τα παιδιά καλούνται να εξηγήσουν με ποιο τρόπο επιτυγχάνουν την εμφάνιση της φωτεινής κηλίδας και να περιγράψουν το πώς κινούνται οι φωτεινές ακτίνες από την πηγή λέιζερ στον καθρέπτη και από τον καθρέπτη στο ταβάνι, στην ουσία, οδηγούνται προς την άρρητη σύνδεση μεταξύ προσπίπτουσας και ανακλώμενης ακτίνας. Με λίγα λόγια στον νόμο της ανάκλασης. Διαπιστώνουμε λοιπόν, πως η ολοκλήρωση της μετάβασης $T \rightarrow K$ υπαγορεύεται άρρητα από την «Ιδέα» την οποία τα παιδιά φαίνεται να κατακτούν σταδιακά.

Όταν στη συνέχεια τα παιδιά καλούνται να σχεδιάσουν τις πορείες των φωτεινών ακτινών και να σκεφτούν ποια σχέση τις συνδέει, στην ουσία μέσα από

την παρέμβασή τους εξάγουν «Τεκμήρια» δηλαδή πραγματοποιούν τη μετάβαση $K \rightarrow T$. Η προσπάθεια τους να σκεφτούν και να γράψουν ποια σχέση συνδέει τις προσπίπτουσες με τις ανακλώμενες ακτίνες, στην ουσία τους οδηγεί από τα «Τεκμήρια» προς τη «Ιδέα» του νόμου της ανάκλασης, δηλαδή στη μετάβαση του τύπου $T \rightarrow I$. Ωστόσο, φαίνεται πως ακόμη δεν έχει επιτευχθεί με ρητό τρόπο η σύνδεση αυτή.

Η διδασκαλία στη συνέχεια, προτείνει τη κατασκευή καινούργιων κομματιών «Κόσμου» και την παραγωγή νέων «Τεκμηρίων» από αυτόν. Αυτό επιτυγχάνεται μέσα από τη δημιουργία του φαινομένου της ανάκλασης, τη σχεδίαση του και τις μετρήσεις που συστήνονται. Με αυτόν τον τρόπο προωθείται η μετάβαση $K \rightarrow T$. Ακολούθως, προτείνεται η σύνδεση των νέων «Τεκμηρίων» με τις «Ιδέες» $T \rightarrow I$ μέσα από την ερμηνεία των μετρήσεων που καταλήγει να προσδιορίσει τη σχέση των γωνιών πρόσπτωσης και ανάκλασης. Αυτή τη φορά, η σύνδεση προωθείται με ρητό τρόπο.

Στο τέλος, μέσα από τη διατύπωση του νόμου της ανάκλασης οι μαθητές καλούνται να περιγράψουν τη λειτουργία του κατασκευασμένου «Κόσμου» σύμφωνα με την επιστημονική «Ιδέα» που προώθησε η σύνδεση $T \rightarrow I$. Η πρακτική αυτή υποδεικνύει την πραγματοποίηση της σύνδεσης των οντοτήτων του «Κόσμου» με τις οντότητες των «Ιδεών», δηλαδή τη μετάβαση $K \rightarrow I$. Ακολουθεί ο Πίνακας 8 με τις προτεινόμενες μεταβάσεις της 7^{ης} ενότητας.

2 ^ο Μάθημα «Ο Κόσμος των Φωτεινών Ακτινών»	K	$K \rightarrow T$	$T \rightarrow I$	$K \rightarrow I$	$I \rightarrow T$	$T \rightarrow K$
Ενότητα 7 ^η Οντότητα της φωτεινής ακτίνας	ΝΑΙ Δημιουργία διαδρομών φωτός με λέιζερ	ΝΑΙ 1.Δημιουργία φαινομένου ανάκλασης 2.Σχεδίαση φαινομένου ανάκλασης 3.Μετρήσεις γωνιών	ΝΑΙ 1.Ερμηνεία των μετρήσεων 2.Προσδιορισμός της σχέσης των γωνιών	ΝΑΙ 1.Διατύπωση του νόμου της ανάκλασης	ΟΧΙ	ΝΑΙ Παρέμβαση με σκοπό την εμφάνιση φωτεινής κηλίδας

Πίνακας 8. Συνοπτικός πίνακας μεταβάσεων 7^{ης} ενότητας

Ενότητα 8: Ο Κόσμος της Φωτεινής Ακτίνας III

Στην 8^η ενότητα βασικός στόχος είναι να συνδέσουν οι μαθητές μια συγκεκριμένη τεθλασμένη πορεία του φωτός (την πορεία της διάθλασης) με την συγκεκριμένη διάταξη που την προκαλεί. Η διδασκαλία λοιπόν συνεχίζεται με δραστηριότητες που μελετούν το φαινόμενο της διάθλασης. Αρχικά, προτείνεται η διαχείριση καινούργιων οντοτήτων του «Κόσμου» με σκοπό τη κατασκευή μιας καινούργιας διάταξης. Έτσι, τα παιδιά καλούνται να στερεώσουν την πηγή ακτινών λέιζερ σε ένα ορθοστάτη και να σημειώσουν τη φωτεινή κηλίδα που πέφτει στο θρανίο. Στη συνέχεια, ζητείται να τοποθετήσουν στο θρανίο ένα ποτήρι με νερό, σε σημείο που να περνάει μέσα από αυτό η φωτεινή κηλίδα. Ακολούθως, να σημειώσουν τη νέα φωτεινή κηλίδα στο θρανίο και παράλληλα να προσδιορίσουν τον τρόπο μετατόπισης της (πλησιάζει στον ορθοστάτη, απομακρύνεται από αυτόν, ή παραμένει στην ίδια θέση). Επιπλέον, καλούνται να συζητήσουν για ποιο λόγο πιστεύουν πως συμβαίνει αυτό το φαινόμενο. Το βιβλίο δραστηριοτήτων συστήνει στα παιδιά να παρακολουθήσουν με μεγαλύτερη προσοχή την πορεία της φωτεινής ακτίνας από την πηγή λέιζερ στην επιφάνεια του νερού, και στη συνέχεια μέσα στο νερό. Για να διευκολυνθεί η παρατήρηση της πορείας της ακτίνας μέσα στο νερό, οι μαθητές διαλύουν μέσα στο ποτήρι μια πολύ μικρή ποσότητα οδοντόκρεμας.

Στη συνέχεια, τα παιδιά καλούνται να σχεδιάσουν σε ένα έτοιμο σχήμα την πορεία του φωτός μέσα στο νερό και μαθαίνουν από το βιβλίο δραστηριοτήτων πως το φαινόμενο αυτό, δηλαδή η αλλαγή κατεύθυνσης της φωτεινής ακτίνας όταν αυτή μπαίνει στο νερό, ονομάζεται διάθλαση και πως σε αυτήν την περίπτωση λέμε πως η φωτεινή ακτίνα διαθλάται.

Επιπλέον, αναφέρεται πως, μαζί με τη διάθλαση στην επιφάνεια του νερού, συμβαίνει και ανάκλαση, μιας και η επιφάνεια του νερού λειτουργεί ως καθρέπτης. Τα παιδιά καλούνται να εντοπίσουν την κηλίδα ανάκλασης της φωτεινής ακτίνας και να σχεδιάσουν την πορεία της στο σχήμα. Τέλος, να παίξουν ένα παιχνίδι όπου χτυπώντας ελαφρά το θρανίο, να παρατηρήσουν το παιχνίδισμα της φωτεινής κηλίδας και να προσπαθήσουν να εξηγήσουν γιατί συμβαίνει αυτό.

Και στην 8^η ενότητα διαπιστώνουμε πως οι μαθητές καλούνται να διαχειριστούν οντότητες του «Κόσμου», να κατασκευάσουν μια νέα υλική

πραγματικότητα και να παρέμβουν σε αυτή προκαλώντας την δημιουργία νέων φαινομένων (διάθλαση). Στη συνέχεια, να εξάγουν νέα «Τεκμήρια» από τον κατασκευασμένο «Κόσμο» τα οποία φανερώνουν εμπειρικά τον τρόπο λειτουργίας του. Όλα αυτά τα γεγονότα σχετίζονται άμεσα με την κεντρική οντότητα του 2^{ου} Μαθήματος, δηλαδή τη φωτεινή ακτίνα.

Πιο συγκεκριμένα, τα «Τεκμήρια» εξάγονται από την προσεκτική παρατήρηση της πορείας της φωτεινής ακτίνας κατά τη διαδρομή της από τον αέρα στο νερό καθώς και από τη σχεδίαση της. Σύμφωνα με όλα τα παραπάνω, προωθούνται τόσο η «Κατασκευή Κόσμου», όσο και η μετάβαση $K \rightarrow T$.

Ακολούθως, βάσει επιλεγμένων «Τεκμηρίων», οι μαθητές οδηγούνται προς την επιστημονική «Ιδέα» η οποία συνοψίζει θεωρητικά τον εμπειρικό τρόπο λειτουργίας του «Κόσμου». Προτείνεται έτσι η μετάβαση $T \rightarrow I$ με τη διευκόλυνση του βιβλίου δραστηριοτήτων μέσα από την εξήγηση του φαινομένου της διάθλασης. Παράλληλα, επιχειρείται η σύνδεση του «Κόσμου» με τις «Ιδέες» μέσα από τη γενική περιγραφή του φαινομένου της διάθλασης την οποία και πάλι δίνει το βιβλίο δραστηριοτήτων. Το γεγονός αυτό υποδηλώνει πως η μετάβαση $K \rightarrow I$ συστήνεται αποκλειστικά με τη συμβολή του βιβλίου κάτι που στη συγκεκριμένη περίπτωση μάλλον δεν μπορούσε να αποφευχθεί. Πιθανόν οι μαθητές να χρειάζονται επιπλέον δραστηριότητες προκειμένου να πραγματοποιήσουν μόνοι τους τη συγκεκριμένη σύνδεση. Ακολουθεί ο Πίνακας 9 ο οποίος παρουσιάζει τις προτεινόμενες μεταβάσεις της 8^{ης} ενότητας.

2 ^ο Μάθημα «Ο Κόσμος των Φωτεινών Ακτινών»	K	K → T	T → I	K → I	I → T	T → K
Ενότητα 8^η Οντότητα της φωτεινής ακτίνας	ΝΑΙ Δημιουργία διαδρομών φωτός με λέιζερ	ΝΑΙ Σχεδίαση της πορείας φωτεινής ακτίνας από αέρα σε γυαλί	ΝΑΙ Σύνοψη τεκμηρίων και εξήγηση του φαινομένου της διάθλασης	ΝΑΙ Περιγραφή του φαινομένου της διάθλασης	ΟΧΙ	ΟΧΙ

Πίνακας 9. Συνοπτικός πίνακας μεταβάσεων 8^{ης} ενότητας

Ενότητα 9: Ο Κόσμος της Φωτεινής Ακτίνας IV

Η 9^η ενότητα είναι η τελευταία του 2^{ου} Μαθήματος και ο κύριος στόχος της είναι η κατανόηση μιας θεωρητικής πρότασης (ενός μοντέλου) που μπορεί να ερμηνεύσει μια εμπειρικά διαπιστωμένη κανονικότητα (εμπειρικό νόμο). Ο δεύτερος στόχος είναι η σύνδεση μέσω παρεμβάσεων των μαθητών συγκεκριμένων διατάξεων με συγκεκριμένες πορείες ακτινών.

Προς αυτή την κατεύθυνση, η διδασκαλία ξεκινά με την παρουσίαση μιας αναλογίας με τη μορφή του προβλήματος της χελώνας η οποία βρίσκεται σε ένα σημείο μέσα στη θάλασσα και θέλει να φτάσει όσο πιο γρήγορα γίνεται στο χελωνάκι της που βρίσκεται σε ένα σημείο στην αμμουδιά. Οι δημιουργοί της διδασκαλίας σχολιάζουν την πιθανότητα η συγκεκριμένη αναλογία να προκαλέσει ανιμιστικές παρανοήσεις στους μαθητές. Ωστόσο, κάτι τέτοιο θεωρείται από τους ίδιους ως παράπλευρη απώλεια σε σχέση με τη δυνατότητα που προσφέρει αυτή η αναλογία για την κατανόηση του μοντέλου που ερμηνεύει το σύνθετο φαινόμενο της διάθλασης.

Οι μαθητές, αρχικά καλούνται να δώσουν τις απαντήσεις τους ως προς το ποια είναι η πιο γρήγορη διαδρομή που πρέπει να επιλέξει η χελώνα για να φτάσει στο χελωνάκι της και στη συνέχεια να επιστρέψουν στη μελέτη του φαινομένου της διάθλασης. Εδώ για πρώτη φορά, τα παιδιά συναντούν την έννοια της αλλαγής της ταχύτητας του φωτός όταν αυτό κινείται σε διαφορετικά διαφανή υλικά ενώ παράλληλα γίνεται μια ποιοτική περιγραφή του νόμου της κίνησης του. Οι έννοιες αυτές εισάγονται από το βιβλίο δραστηριοτήτων. Μετά από αυτό, οι μαθητές καλούνται να σχεδιάσουν σε δύο διαφορετικά σχήματα τη διαδρομή μιας φωτεινής ακτίνας από ένα συγκεκριμένο σημείο στον αέρα σε ένα συγκεκριμένο σημείο στο νερό και αντίστροφα. Στην ουσία τα παιδιά καλούνται να προβλέψουν την πορεία της φωτεινής ακτίνας βάσει του νόμου που περιγράφει την κίνηση του φωτός.

Στη συνέχεια, ζητείται από τους μαθητές να δοκιμάσουν μόνοι τους τη κατασκευή των προηγούμενων διαδρομών χρησιμοποιώντας τη φωτεινή ακτίνα που παράγει η συσκευή λέιζερ. Η πειραματική αυτή δραστηριότητα συστήνεται να πραγματοποιηθεί βάσει συγκεκριμένων οδηγιών. Κατόπιν, να σχεδιάσουν στα αντίστοιχα σχήματα τις πορείες της φωτεινής ακτίνας όπως αυτές προέκυψαν από τις παρεμβάσεις. Στην ίδια πειραματική δραστηριότητα και μέσα από πρόσθετες

παρεμβάσεις, οι μαθητές καλούνται να εντοπίσουν το φαινόμενο της ολικής ανάκλασης, να εξηγήσουν πότε αυτό συμβαίνει και να το σχεδιάσουν με κάποιο τρόπο στο ανάλογο σχήμα. Στο τέλος της δραστηριότητας προωθείται η συζήτηση με τον εκπαιδευτικό για την αξιοποίηση αυτού του φαινομένου στην τεχνολογία των «οπτικών ινών».

Παρατηρούμε πως αρχικά, η επίλυση του προβλήματος της χελώνας από τους μαθητές υποδηλώνει τη σύνδεση μεταξύ «Ιδεών» και «Τεκμηρίων». Οι μαθητές οφείλουν με βάση την «Ιδέα» που βασίζεται στον διαφορετικό τρόπο με τον οποίο κινείται η χελώνα (η χελώνα κινείται πιο γρήγορα στο νερό, κινείται πιο αργά στην αμμουδιά) να προβλέψουν τη διαδρομή που πρέπει αυτή να ακολουθήσει προκειμένου να φτάσει πιο γρήγορα στο χελωνάκι της. Καλούνται δηλαδή βάσει της συγκεκριμένης «Ιδέας» να προβλέψουν την εμφάνιση ενός συγκεκριμένου «Τεκμηρίου» (ποιον δρόμο διάλεξε τελικά η χελώνα), πρακτική που υποδεικνύει τη μετάβαση $I \rightarrow T$. Παρατηρούμε επίσης πως αυτή η μετάβαση προωθείται για πρώτη φορά.

Σε αυτό το σημείο αξίζει να σημειώσουμε πως οι πραγματικές επιστημονικές «Ιδέες» που κρύβονται πίσω από τον διαφορετικό τρόπο που κινείται η χελώνα στο νερό και στον αέρα είναι η αλλαγή της ταχύτητας του φωτός όταν αυτό κινείται σε διαφορετικά διαφανή μέσα, στην ουσία ο νόμος που περιγράφει την κίνηση του. Η περιγραφή του νόμου στο βιβλίο δραστηριοτήτων η οποία παρουσιάζεται αμέσως μετά τη λύση του προβλήματος της χελώνας, επιχειρεί να συνδέσει τις οντότητες του «Κόσμου» με τις οντότητες των «Ιδεών». Δηλαδή, να διευκολύνει τα παιδιά να συνδέσουν το μοντέλο («Ιδέα») που στην ουσία ερμηνεύει τον εμπειρικό νόμο της κίνησης του φωτός, με το πραγματικό φαινόμενο οδηγώντας με αυτόν τον τρόπο προς την μετάβαση $K \rightarrow I$.

Αν και η μετάβαση αυτή διευκολύνεται από το βιβλίο δραστηριοτήτων (οι μαθητές δύσκολα μπορούν να καταλήξουν μόνοι τους σε μια τέτοια διατύπωση), ωστόσο μπορούμε να υποστηρίξουμε πως εκπληρώνει το στόχο της. Και στόχος αυτού του είδους των συνδέσεων είναι να κατανοήσουν τα παιδιά τον τρόπο με τον οποίο ένας νόμος της Φυσικής περιγράφει τη λειτουργία του «Κόσμου» βάσει επιστημονικών «Ιδεών».

Η αμέσως επόμενη δραστηριότητα ζητά από τους μαθητές να σχεδιάσουν σε έτοιμα σχήματα τις διαδρομές φωτεινών ακτινών που αλλάζουν μέσο διάδοσης.

Εδώ, βάσει του μοντέλου (Ιδέας) που περιγράφηκε προηγουμένως το οποίο εξηγεί τον νόμο της κίνησης του φωτός, καλούνται να εμφανίσουν νέα Τεκμήρια, δηλαδή να σχεδιάσουν τις αναμενόμενες διαδρομές της φωτεινής ακτίνας. Αυτή η δραστηριότητα συνιστά μετάβαση του τύπου $I \rightarrow T$ και τα παιδιά καλούνται να την ολοκληρώσουν μόνα τους.

Στη συνέχεια ζητείται να επιστρέψουν στον «Κόσμο» και να παρέμβουν σε αυτόν ώστε να προκαλέσουν την εμφάνιση νέων «Τεκμηρίων», πρακτική που υποδεικνύει τη μετάβαση $T \rightarrow K$. Αυτή η μετάβαση επιτυγχάνεται μέσα από τη δημιουργία διαδρομών της φωτεινής ακτίνας που παράγει η συσκευή λέιζερ βάσει συγκεκριμένων οδηγιών, με σκοπό την εμφάνιση του φαινομένου της διάθλασης. Δηλαδή, η εμφάνιση του φαινομένου της διάθλασης αποτελεί το «Τεκμήριο». Ακολούθως, καλούνται να πραγματοποιήσουν τη μετάβαση από τον «Κόσμο» στα «Τεκμήρια» ($K \rightarrow T$) εντοπίζοντας και σχεδιάζοντας τα αποτελέσματα των παρεμβάσεων τους.

Στη συνέχεια, η περιγραφή από το βιβλίο οδηγιών για τον τρόπο δημιουργίας του φαινομένου της ολικής ανάκλασης, επιχειρεί να οδηγήσει τους μαθητές προς την επιστημονική «Ιδέα» του εν λόγω φαινομένου, δηλαδή στη μετάβαση $T \rightarrow I$, η οποία ωστόσο προτείνεται αποκλειστικά με τη βοήθεια του βιβλίου. Όταν οι μαθητές καλούνται να παρέμβουν στη διάταξη με σκοπό να δημιουργήσουν το φαινόμενο της ολικής ανάκλασης ουσιαστικά οδηγούνται για άλλη μια φορά στη μετάβαση $T \rightarrow K$ βάσει της «Ιδέας». Στο τέλος η σύνδεση που επιχειρείται με την τεχνολογία είναι μια δραστηριότητα η οποία συμβάλει στην ανάπτυξη εκ μέρους των παιδιών μιας μορφής τεχνολογικής σε «χρήση» γνώσης. Ακολουθεί ο Πίνακας 10 με την παρουσίαση των προτεινόμενων μεταβάσεων της 9^{ης} ενότητας.

2^ο Μάθημα «Ο Κόσμος των Φωτεινών Ακτινών»	K	$K \rightarrow T$	$T \rightarrow I$	$K \rightarrow I$	$I \rightarrow T$	$T \rightarrow K$
---	----------	-------------------------------------	-------------------------------------	-------------------------------------	-------------------------------------	-------------------------------------

Ενότητα 9^η	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ
Οντότητα της φωτεινής ακτίνας	Δημιουργία διαδρομών φωτεινής ακτίνας	Εντοπισμός και σχεδίαση των αποτελεσμάτων της παρέμβασης στον κόσμο	Ερμηνεία νέων τεκμηρίων οδηγούν στο φαινόμενο της ολικής ανάκλασης	Περιγραφή του νόμου της κίνησης του φωτός από το βιβλίο δραστηριοτήτων	Πρόβλεψη στο πρόβλημα της χελώνας	1. Δημιουργία διαδρομών ακτίνων λείζερ βάσει οδηγιών 2. Εμφάνιση φαινομένου διάθλασης 3. Εμφάνιση φαινομένου ολικής ανάκλασης

Πίνακας 10. Συνοπτικός πίνακας μεταβάσεων 9^{ης} ενότητας

Η ανάλυση και του 2^{ου} Μαθήματος μας παρέχει τη δυνατότητα να σχηματίσουμε μια γενική εικόνα όσον αφορά το σύνολο των μεταβάσεων που προτάθηκαν στα πλαίσια αυτού του μαθήματος. Παρατηρούμε πως σε όλες οι ενότητες οι μαθητές καλούνται να διαχειριστούν υλικές οντότητες και να κατασκευάσουν έναν «Κόσμο» στον οποίο μπορούν στην συνέχεια να παρέμβουν άμεσα και αποτελεσματικά. Σε κάθε ενότητα, ο «Κόσμος» αυτός περιλαμβάνει την κεντρική επιστημονική οντότητα του 2^{ου} Μαθήματος, δηλαδή την έννοια της φωτεινής ακτίνας. Συνεπώς, η κατασκευή του «Κόσμου» προωθείται σε όλο το 2^ο Μάθημα.

Οι μεταβάσεις $K \rightarrow T$, $T \rightarrow I$ και $K \rightarrow I$ προτείνονται σε όλες τις επόμενες ενότητες. Οι μεταβάσεις $K \rightarrow T$ και $T \rightarrow I$ επιτυγχάνονται με τη βοήθεια του βιβλίου δραστηριοτήτων ενώ η μετάβαση $K \rightarrow I$ επιτυγχάνεται μέσα από τη συζήτηση στην ολομέλεια της τάξης και υπό την καθοδήγηση του εκπαιδευτικού. Αξίζει να τονίσουμε πως στο 2^ο Μάθημα αναγνωρίζουμε για πρώτη φορά την εμφάνιση των δύο τελευταίων μεταβάσεων δηλαδή της 5^{ης} και της 6^{ης}. Αυτό σημαίνει πως προτείνονται οι μεταβάσεις του τύπου $I \rightarrow T$ και $T \rightarrow K$, δηλαδή η πρόβλεψη «Τεκμηρίων» βάσει κάποιας «Ιδέας» και η παρέμβαση στον «Κόσμο» με σκοπό την εμφάνιση συγκεκριμένων «Τεκμηρίων». Σε όλες τις περιπτώσεις τις μεταβάσεις αυτές τα παιδιά καλούνται να τις πραγματοποιήσουν βάσει του βιβλίου δραστηριοτήτων. Μπορούμε ακόμη να επισημάνουμε το γεγονός πως στην 9^η ενότητα εμφανίζονται για πρώτη φορά όλες οι μεταβάσεις που υποστηρίζει η μεθοδολογία. Ακολουθεί ο Πίνακας 11 όπου συνοψίζονται οι προτεινόμενες μεταβάσεις του 2^{ου} μαθήματος.

2 ^ο Μάθημα «Ο Κόσμος των Φωτεινών Ακτινών»	K	K → T	T → I	K → I	I → T	T → K
Ενότητα 5^η Οντότητα της φωτεινής ακτίνας	ΝΑΙ Γνωριμία και αλληλεπίδρα ση με νέα υλική οντότητα/ Λέιζερ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ
Ενότητα 6^η Οντότητα της φωτεινής ακτίνας	ΝΑΙ Δημιουργία διαδρομών φωτός με λέιζερ	ΝΑΙ Παρατήρηση και σχεδίαση της διαδρομής φωτεινής ακτίνας	ΝΑΙ 1.Ερμηνεία των Τεκμηρίων 2.Ευθύγραμμ η διάδοση φωτός 3.Ανάκλαση 4.Διάχυση 5.Απορρόφησ η	ΝΑΙ Περιγραφή των φαινομένων υπό τους όρους των Ιδεών	ΟΧΙ	ΟΧΙ
Ενότητα 7^η Οντότητα της φωτεινής ακτίνας	ΝΑΙ Δημιουργία διαδρομών φωτός με λέιζερ	ΝΑΙ 1.Δημιουργί α φαινομένου ανάκλασης 2.Σχεδίαση φαινομένου ανάκλασης 3.Μετρήσεις γωνιών	ΝΑΙ 1.Ερμηνεία των μετρήσεων 2.Προσδιορισ μός της σχέσης των γωνιών	ΝΑΙ 1.Διατύπωση του νόμου της ανάκλασης	ΟΧΙ	ΝΑΙ Παρέμβαση με σκοπό την εμφάνιση φωτεινής κηλίδας
Ενότητα 8^η Οντότητα της φωτεινής ακτίνας	ΝΑΙ Δημιουργία διαδρομών φωτός με λέιζερ	ΝΑΙ Σχεδίαση της πορείας φωτεινής ακτίνας από αέρα σε γυαλί	ΝΑΙ Σύνοψη τεκμηρίων και εξήγηση από εκπαιδευτικ ό του φαινομένου της διάθλασης	ΝΑΙ Περιγραφή του φαινομένου της διάθλασης από εκπαιδευτικό	ΟΧΙ	ΟΧΙ
Ενότητα 9^η Οντότητα της φωτεινής ακτίνας	ΝΑΙ Δημιουργία διαδρομών φωτεινής ακτίνας	ΝΑΙ Εντοπισμός και σχεδίαση των αποτελεσμ άτων της παρέμβαση ς στον κόσμο	ΝΑΙ Ερμηνεία νέων τεκμηρίων οδηγούν στο φαινόμενο της ολικής ανάκλασης	ΝΑΙ Περιγραφή του νόμου της κίνησης του φωτός από το βιβλίο δραστηριοτή των	ΝΑΙ Πρόβ λεψη στο πρόβ λημα της χελώ νας	ΝΑΙ 1.Δημιουργία διαδρομών ακτίνων λέιζερ βάσει οδηγιών 2.Εμφάνιση φαινομένου διάθλασης 3.Εμφάνιση φαινομένου ολικής ανάκλασης

Πίνακας 11. Συνοπτικός πίνακας μεταβάσεων 2^{ου} Μαθήματος

5.3 3^ο Μάθημα: Ο Κόσμος των ειδώλων (ενότητες 10-15)

Στο 3^ο Μάθημα, όπως δηλώνει και ο τίτλος, η διδασκαλία αναπτύσσεται γύρω από την έννοια του ειδώλου. Αυτή εξάλλου παραμένει και η κεντρική επιστημονική «Ιδέα» που απασχολεί όλες τις ενότητες αυτού του μαθήματος. Στις περισσότερες δραστηριότητες οι μαθητές συστήνεται να εργαστούν και πάλι σε ομάδες, ωστόσο, η ομαδική εργασία εναλλάσσεται με συζητήσεις στην ολομέλεια της τάξης. Ο εκπαιδευτικός έτσι παραμένει σε ετοιμότητα προκειμένου να καθοδηγεί αποτελεσματικά τις συζητήσεις πάνω στα θέματα που προκύπτουν.

Ενότητα 10: Ο Κόσμος των ειδώλων I

Στόχος της 10^{ης} ενότητας είναι, σε αντίθεση με όλες τις προηγούμενες ενότητες, αρχικά, η αποσταθεροποίηση μιας σχέσης που έχουν δημιουργήσει τα παιδιά και στη συνέχεια η αντικατάστασή της. Συγκεκριμένα, η διδασκαλία στοχεύει στην καταστροφή /αποσταθεροποίηση της σχέσης που έχουν διαμορφώσει τα παιδιά ανάμεσα σε αυτό που βλέπουν με τα μάτια τους και σε αυτό που πραγματικά υπάρχει. Οι δημιουργοί της διδασκαλίας θεωρούν πως η ύπαρξη αυτής της μονοσήμαντης σχέσης στο μυαλό των μαθητών, εμποδίζει την κατανόηση της δημιουργίας των ειδώλων.

Προκειμένου να επιτευχθεί η αποσταθεροποίηση αυτής της σχέσης, η διδασκαλία ξεκινά ζητώντας από τα παιδιά να απαντήσουν σε ερωτήσεις προκειμένου να καταλάβουν πως, ενώ υπάρχουν πράγματα που τα βλέπουν καθημερινά (π.χ. τα όνειρα), στην πραγματικότητα δεν υπάρχουν, καθώς και πως, κάποια πράγματα, ενώ πιστεύουν ότι υπάρχουν, στην πραγματικότητα δεν τα βλέπουν (π.χ. ο αέρας). Έπειτα από τις απαντήσεις των παιδιών στα ερωτηματολόγια, προτείνεται η συζήτηση με έμφαση στις απόψεις των μαθητών που διαφέρουν μεταξύ τους.

Στη συνέχεια, οι μαθητές, μέσα από το βιβλίο δραστηριοτήτων, έχουν την ευκαιρία να μάθουν για τη λειτουργία της όρασης καθώς επίσης και για το γεγονός πως όταν στα μάτια μας φτάνουν φωτεινές ακτίνες οι οποίες κατά κάποιον τρόπο έχουν παραμορφωθεί, τότε βλέπουμε κάτι το οποίο στην πραγματικότητα δεν υπάρχει όπως το βλέπουμε. Επίσης, πως αυτό που βλέπουμε σε αυτές τις περιπτώσεις, το λέμε είδωλο.

Ακολουθεί μια δραστηριότητα στην οποία οι μαθητές καλούνται να σχεδιάσουν την εικόνα ενός μολυβιού που έχουν μισό-βυθίσει σε ένα ποτήρι νερό. Διαπιστώνεται πως η εικόνα του μολυβιού μέσα στο ποτήρι, όπως τη βλέπουν και τη σχεδιάζουν, είναι στην ουσία το είδωλο του, και σχηματίζεται επειδή κάποιες φωτεινές ακτίνες φτάνουν στα μάτια μας παραμορφωμένες. Σύμφωνα με τις προηγούμενες παρατηρήσεις, ζητείται από τα παιδιά να πουν για ποιο λόγο πιστεύουν πως παραμορφώνονται οι ακτίνες και το μολύβι φαίνεται σπασμένο και παράλληλα με τη βοήθεια του εκπαιδευτικού να συζητήσουν τις απόψεις τους.

Στην τελική φάση της πρώτης ενότητας, οι μαθητές καλούνται ένας ένας να δοκιμάσουν το «παιχνίδι» του κρυμμένου νομίσματος και να εξηγήσουν για ποιο λόγο πιστεύουν πως μπόρεσαν να δουν το νόμισμα με τη βοήθεια του νερού και να πουν αν αυτό που τελικά είδαν, ήταν το νόμισμα ή το είδωλο του.

Όπως ήδη σχολιάστηκε περιγραφής αυτής της ενότητας, η πρώτη δραστηριότητα θέτει ως στόχο την αποσταθεροποίηση της μονοσήμαντης σχέσης που έχουν διαμορφώσει τα παιδιά ανάμεσα σε αυτό που βλέπουν με τα μάτια τους και σε αυτό που πραγματικά υπάρχει. Αυτό επιτυγχάνεται μέσα από τις ερωτήσεις που τίθενται στους μαθητές οι οποίες στην ουσία στοχεύουν στην ανάκληση των εμπειριών που έχουν οικοδομήσει οι ίδιοι από την αλληλεπίδρασή τους με τον «Κόσμο».

Στην πραγματικότητα, τα παιδιά καλούνται να επανεξετάσουν αυτές τις εμπειρίες με σκοπό να εξάγουν νέα «Τεκμήρια» από τον «Κόσμο». Αυτή η διαδικασία ενισχύεται με τη συμπλήρωση των ερωτηματολογίων καθώς και τη συζήτηση που ακολουθεί στην τάξη. Σαν αποτέλεσμα, τα παιδιά οδηγούνται στην πραγματοποίηση των αναμενόμενων μεταβάσεων του τύπου $K \rightarrow T$. Ωστόσο, αξίζει να τονίσουμε πως κύριο χαρακτηριστικό της συγκεκριμένης σύνδεσης είναι το γεγονός πως ο «Κόσμος» από τον οποίο οι μαθητές καλούνται να εξάγουν τα νέα «Τεκμήρια», δεν είναι ο κατασκευασμένος «Κόσμος» του εργαστηρίου αλλά ο «Κόσμος» των εμπειριών τους.

Στη συνέχεια, μέσα από την περιγραφή της λειτουργίας της όρασης, τα παιδιά καλούνται να αναγνωρίσουν το μοντέλο (Ιδέα) που αναπαριστά αυτή τη λειτουργία. Ουσιαστικά, προωθείται η μετάβαση $K \rightarrow I$, δηλαδή η περιγραφή λειτουργίας του «Κόσμου» υπό τους όρους των «Ιδεών». Η μετάβαση αυτή

διευκολύνεται με τη ρητή εισαγωγή της έννοιας του ειδώλου. Σε αυτή τη φάση, οι μαθητές καθοδηγούνται πλήρως προκειμένου να συνδέσουν «Κόσμο» και «Ιδέες». Τόσο το μοντέλο που περιγράφει τη λειτουργία της όρασης όσο και η έννοια του ειδώλου, είναι «Ιδέες» τις οποίες τα παιδιά δεν έχουν τη δυνατότητα να αναγνωρίσουν μόνα τους. Στην ουσία, η έλλειψη ενός ορθού μοντέλου για τη λειτουργία της όρασης είναι μία από τις κύριες αιτίες της δυσκολίας που συναντούν τα παιδιά αυτής της ηλικίας προκειμένου να συλλάβουν την έννοια των φανταστικών ειδώλων (Driver, 1993). Για το λόγο αυτό, η διδασκαλία σε αυτό το σημείο εισάγει ρητά τις επιστημονικές «Ιδέες» τις οποίες οι μαθητές θα κληθούν στη συνέχεια να κατανοήσουν βαθύτερα. Η σύνδεση αυτή, αν και υποστηρίζεται από το βιβλίο δραστηριοτήτων, προσφέρει στα παιδιά τη δυνατότητα να κατανοήσουν τη λειτουργία του «Κόσμου» βάσει των νέων «Ιδεών».

Οι δύο πειραματικές δραστηριότητες που ακολουθούν (βύθιση του μολυβιού στο νερό και «παιχνίδι» του κρυμμένου νομίσματος) στοχεύουν στη σταθεροποίηση της σχέσης ανάμεσα σε αυτό που βλέπουμε με τα μάτια μας και σε αυτό που πραγματικά υπάρχει καθώς και στην πληρέστερη κατανόηση της έννοιας του ειδώλου. Οι συγκεκριμένες δραστηριότητες, αφενός οδηγούν στη σύνδεση «Κόσμου» και «Τεκμηρίων» $K \rightarrow T$ καθώς τα παιδιά καλούνται να σχεδιάσουν τα αποτελέσματα του πειράματος, και αφετέρου, με τη συζήτηση που προτείνεται, οδηγούν στην σύνδεση των «Τεκμηρίων» με τις «Ιδέες» δηλαδή στη μετάβαση $T \rightarrow I$. Οι κεντρικές ιδέες στις οποίες οδηγούνται τα παιδιά είναι η έννοια του «ειδώλου» και του «φαινομένου» της διάθλασης, μέσα από τη δημιουργία του πρώτου από διάθλαση σε ελεύθερη επιφάνεια νερού.

Οι προτεινόμενες μεταβάσεις $K \rightarrow T$ και $T \rightarrow I$ μέσω αυτών των δραστηριοτήτων αναμένεται να διευκολύνουν τους μαθητές στην σταθεροποίηση της επιδιωκόμενης σχέσης. Σύμφωνα με τους στόχους αυτής της ενότητας αλλά και τις δυσκολίες που εμποδίζουν την επίτευξη αυτών των στόχων, διαπιστώνουμε πως η επιτυχία της διδασκαλίας της κρίνεται καθοριστική για την επιτυχία ολόκληρου του τρίτου μαθήματος. Τέλος, παρατηρούμε πως απουσιάζουν συνδέσεις του τύπου $I \rightarrow T$ και $T \rightarrow K$. Ακολουθεί ο Πίνακας 12 με τη παρουσίαση των προτεινόμενων μεταβάσεων της 10^{ης} ενότητας.

3 ^ο Μάθημα «Ο Κόσμος των Ειδώλων»	K	K → T	T → I	K → I	I → T	T → K
Ενότητα 10^η Οντότητα του ειδώλου	ΝΑΙ Μέσα από τις πειραματικές δραστηριότητες	ΝΑΙ 1.Ανάκληση Τεκμηρίων από τον Κόσμο των εμπειριών 2.Σχεδίαση αποτελεσμάτων πειράματος με βυθισμένο μολύβι 3.Παρατηρήσεις από το παιχνίδι του «κρυμμένου νομίσματος»	ΝΑΙ 1.Ερμηνεία των τεκμηρίων πειράματος με βυθισμένο μολύβι 2.Φαινόμενο διάθλασης 3.Έννοια του ειδώλου	ΝΑΙ Μοντέλο της όρασης	ΟΧΙ	ΟΧΙ

Πίνακας 12. Συνοπτικός πίνακας μεταβάσεων 10^{ης} ενότητας

Ενότητα 11: Ο Κόσμος των Ειδώλων II

Στην 11^η ενότητα προτείνονται δραστηριότητες οι οποίες στοχεύουν στο να συνδέσουν τα παιδιά τα είδωλα που δημιουργούνται μέσω επίπεδου καθρέπτη με ορισμένα χαρακτηριστικά του αντικειμένου αλλά και του παρατηρητή. Έτσι, οι μαθητές καλούνται να στερεώσουν έναν επίπεδο καθρέπτη στο θρανίο και να δημιουργήσουν το είδωλο ενός μολυβιού. Στη συνέχεια, να παρατηρήσουν προσεκτικά το είδωλο του μολυβιού στον καθρέπτη, να συμπληρώσουν ένα ερωτηματολόγιο το οποίο θέτει ζητήματα αναφορικά με το μέγεθος του ειδώλου σε σχέση με το αντικείμενο, την αλλαγή του μεγέθους του ειδώλου όταν πλησιάζουμε το μολύβι στον καθρέπτη, τον προσανατολισμό του ειδώλου, τη θέση του σε σχέση με τον καθρέπτη και τέλος να αναγνωρίσουν αν δημιουργούνται διαφορετικά είδωλα στην περίπτωση αλλαγής θέσης του παρατηρητή.

Η επόμενη δραστηριότητα, επιδιώκει τον ακριβή προσδιορισμό της θέσης των ειδώλων που δημιουργούν οι επίπεδοι καθρέπτες. Για το σκοπό αυτό, οι μαθητές καλούνται να στήσουν μια καινούργια διάταξη με τη χρήση ενός γυαλιού (κατοπτρική επιφάνεια), ενός αναμμένου κεριού και ενός σβηστού κεριού. Στη συνέχεια, να δημιουργήσουν στο γυαλί το είδωλο του αναμένου κεριού και να τοποθετήσουν πίσω από το γυαλί το σβηστό κεριό σε σημείο που να φαίνεται αναμμένο. Υπενθυμίζεται πως το σημείο που τοποθετούν το σβηστό κεριό, φαίνεται να είναι το σημείο εκείνο όπου δημιουργείται το είδωλο του αναμένου κεριού.

Όλα τα παιδιά οφείλουν να ελέγξουν με τη σειρά τη διάταξη και ακολούθως να πραγματοποιήσουν μετρήσεις προκειμένου να προσδιορίσουν με ακρίβεια τις αποστάσεις γυαλιού-αναμμένου κεριού και γυαλιού-σβηστού κεριού. Καλούνται να επαναλάβουν άλλη μια φορά τις μετρήσεις πλησιάζοντας ή απομακρύνοντας το αναμμένο κερί στο γυαλί. Στη συνέχεια, να συγκρίνουν τις μετρήσεις τους και να εντοπίσουν τη σχέση που συνδέει τις δύο αποστάσεις. Επιπλέον, ζητείται να επαναλάβουν το πείραμα προκειμένου να επιβεβαιώσουν την άποψη τους.

Σε αυτό το σημείο, συστήνεται στα παιδιά να ανατρέξουν στις απαντήσεις που έδωσαν στα ερωτηματολόγια της πρώτης δραστηριότητας με σκοπό να ελέγξουν κατά πόσο αυτές συμφωνούν με τις πρόσφατες παρατηρήσεις τους. Κάθε ομάδα καλείται να συζητήσει και να καταλήξει σε κοινά συμπεράσματα και για τις δύο περιπτώσεις. Σε αυτό το σημείο, το βιβλίο δραστηριοτήτων αναφέρει τον τρόπο με τον οποίο «εργάζονται» οι επιστήμονες στη Φυσική. Δηλαδή, τη διαδικασία όπου εξάγονται συμπεράσματα από κοινού τα οποία περιγράφουν με όμοιο τρόπο, παρόμοιες περιπτώσεις.

Η ενότητα κλείνει προτείνοντας μια δραστηριότητα στην οποία τα παιδιά καλούνται να χρησιμοποιήσουν έναν καθρέπτη μικρότερου μεγέθους για να δημιουργήσουν το είδωλο του μολυβιού. Στόχος σε αυτή την περίπτωση είναι η αποσύνδεση του μεγέθους του καθρέπτη από τα χαρακτηριστικά του ειδώλου.

Η πρώτη πειραματική δραστηριότητα αυτής της ενότητας ζητά από τους μαθητές να δημιουργήσουν καινούργια φαινόμενα (δημιουργία ειδώλου σε επίπεδο καθρέπτη) και να εξάγουν τα ανάλογα «Τεκμήρια». Για άλλη μια φορά η συμπλήρωση ερωτηματολογίων διευκολύνει τα παιδιά στην μετάβαση από τις οντότητες του «Κόσμου» στις οντότητες των «Τεκμηρίων» $K \rightarrow T$. Στη συνέχεια, η δοκιμή της δημιουργίας ειδώλου του αναμμένου κεριού με τη χρήση γυαλιού, οδηγεί στην επανάληψη της ίδιας μετάβασης. Στο πλαίσιο αυτής της δραστηριότητας, η πρακτική των μετρήσεων συνιστά μια παρέμβαση στον υλικό «Κόσμο» με βάση συγκεκριμένες οδηγίες.

Ωστόσο, αυτή η πρακτική αφορά πάντα μια επιστημονική «Ιδέα» (την έννοια της μεταβλητής) με αποτέλεσμα να ενθαρρύνεται μια πρώτη σύνδεση των παρεμβάσεων και των περιγραφών που τις συνοδεύουν, με τις επιστημονικές

«Ιδέες». Η τελική σύγκριση των μετρήσεων και ο προσδιορισμός της αναμενόμενης σχέσης κατευθύνει τους μαθητές στην πραγματοποίηση της σύνδεσης «Τεκμηρίων» και «Ιδεών» $T \rightarrow I$. Η «Ιδέα» αυτή είναι η συμμετρία ειδώλου-αντικειμένου ως προς τον καθρέπτη. Αυτού του είδους τη μετάβαση $T \rightarrow I$ οι μαθητές την επαναλαμβάνουν όταν επιστρέφουν στα «Τεκμήρια» της πρώτης δραστηριότητας, τα επανεξετάζουν, τα συγκρίνουν με τα νέα «Τεκμήρια» και καταλήγουν σε συμπεράσματα. Η διατύπωση των συμπερασμάτων κατευθύνει τα παιδιά σε μια περιγραφή της λειτουργίας του «Κόσμου» (τον «Κόσμο» που έχουν ήδη κατασκευάσει και εξάγει «Τεκμήρια» από αυτόν) με όρους που στηρίζονται στην «Ιδέα», γεγονός που οδηγεί σε μια καινούργια σύνδεση, αυτή τη φορά «Κόσμου» και «Ιδεών», δηλαδή στη μετάβαση που συμβολίζεται ως $K \rightarrow I$.

Η τελευταία δραστηριότητα η οποία αφορά τη δημιουργία ειδώλου του ίδιου αντικειμένου (μολυβιού) σε καθρέπτη μικρότερου μεγέθους, επαναλαμβάνει την παρέμβαση στον «Κόσμο» με σκοπό την παραγωγή νέων «Τεκμηρίων», δηλαδή ακόμη μια μετάβαση τύπου $K \rightarrow T$. Ενώ ο στόχος της δραστηριότητας είναι η αποσύνδεση του μεγέθους του καθρέπτη από τα χαρακτηριστικά του ειδώλου (κατεύθυνση προς μια «Ιδέα»), ωστόσο, η περιορισμένη αυτή δραστηριότητα, δε φαίνεται να προωθεί ως τέλος μια μετάβαση του τύπου $T \rightarrow I$. Κλείνοντας την 11^η ενότητα παρατηρούμε πως, τόσο η παρέμβαση των παιδιών στον «Κόσμο» με σκοπό την εμφάνιση «Τεκμηρίων» καθοδηγούμενα υπό μια «Ιδέα», όσο και η πρόβλεψη τους, είναι πρακτικές που δεν πραγματοποιούνται με αποτέλεσμα να απουσιάζουν συνδέσεις του τύπου $I \rightarrow T$ ή $T \rightarrow K$. Εξάλλου, οι έννοιες που συνολικά διαπραγματεύεται το 3^ο Μάθημα (μοντέλο λειτουργίας της όρασης, δημιουργία ειδώλων κ.τ.λ.), εμφανίζουν ιδιαίτερες δυσκολίες κατανόησης, γεγονός που αποτρέπει το σχεδιασμό δραστηριοτήτων αυτών των τύπων. Ακολουθεί ο Πίνακας 13 με τις μεταβάσεις της 11^{ης} ενότητας.

3^ο Μάθημα «Ο Κόσμος των Ειδώλων»	K	K → T	T → I	K → I	I → T	T → K
Ενότητα 11^η Οντότητα του ειδώλου	ΝΑΙ Πειραματικές δραστηριότητες	ΝΑΙ 1.Δημιουργία ειδώλων 2.Εντοπισμός χαρακτηριστι κών των ειδώλων 3.Μετρήσεις	ΝΑΙ 1.Σύγκριση μετρήσεων 2.Συμμετρία ειδώλου- αντικειμένου 3.Σύγκριση Τεκμηρίων	ΝΑΙ Εξήγηση της συμμετρίας ειδώλου- αντικειμένου	ΟΧΙ	ΟΧΙ

Πίνακας 13: Συνοπτικός πίνακας μεταβάσεων 11^{ης} ενότητας

Ενότητα 12: Ο Κόσμος των Ειδώλων III

Στόχος της 12^{ης} ενότητας είναι να συνδέσουν οι μαθητές τα φανταστικά είδωλα που δημιουργούνται από τους σφαιρικούς καθρέπτες με τα αντικείμενα που τα προκαλούν μέσω δύο κατηγοριών σύγκρισης, του μεγέθους και του προσανατολισμού. Αρχικά, η κατηγορία των σφαιρικών καθρεπτών, εισάγεται μέσα από την παρουσίαση ενός «κοινού» αντικειμένου, συγκεκριμένα ενός κουταλιού. Τα παιδιά καλούνται να παρατηρήσουν τα είδωλα τους στο κουτάλι, τόσο από την κοίλη όσο και από την κυρτή επιφάνεια, μαθαίνοντας παράλληλα να τις αναγνωρίζουν. Ωστόσο, στις δραστηριότητες που προτείνονται, οι μαθητές έχουν τη δυνατότητα να πειραματιστούν με τις ειδικές κατασκευές που ονομάζουμε κοίλους και κυρτούς καθρέπτες.

Στην πρώτη δραστηριότητα, καλούνται να στήσουν έναν κοίλο καθρέπτη, να τοποθετήσουν ένα αναμμένο κερί μπροστά του και στη συνέχεια πλησιάζοντας το αργά αργά στον καθρέπτη, να παρατηρήσουν τις αλλαγές του ειδώλου και ειδικότερα τις «απρόσμενες» αλλαγές. Μετά την προσεκτική παρατήρηση, ζητείται από τα παιδιά να συμπληρώσουν σε ένα πίνακα τα χαρακτηριστικά του ειδώλου για κάθε διαφορετική απόσταση του κεριού από τον καθρέπτη. Συγκεκριμένα, ο πίνακας παρουσιάζει τις αποστάσεις ως Μακριά, Κοντά, Πολύ Κοντά (στον καθρέπτη), το μέγεθος του ειδώλου ως Μεγαλύτερο, Μικρότερο ή Ίσο με το κερί και τον προσανατολισμό ως Όρθιο ή Αντεστραμμένο (σε σχέση με το κερί). Οι μαθητές, ζητείται να επαναλάβουν το πείραμα αυτή τη φορά χρησιμοποιώντας τον κυρτό καθρέπτη και να συμπληρώσουν τον αντίστοιχο πίνακα.

Αφού τα παιδιά ολοκληρώσουν τα πειράματα και την καταγραφή των παρατηρήσεων τους, καλούνται να απαντήσουν σε τρεις ερωτήσεις οι οποίες αφορούν το μέγεθος του ειδώλου που δημιουργούν τα τρία διαφορετικά είδη καθρεπτών, σε σχέση με το μέγεθος του αντικειμένου. Συγκεκριμένα, να απαντήσουν στο ποιο καθρέπτες δημιουργούν είδωλα μεγαλύτερα από τα αντικείμενα, μικρότερα από τα αντικείμενα και ποιο ανεστραμμένα.

Στο τέλος, οι μαθητές καλούνται να σκεφτούν, να συζητήσουν και να εκφράσουν την άποψη τους σχετικά με το παρακάτω ζήτημα: ποιο είδος καθρέπτη θα διάλεγαν για ένα αυτοκίνητο, δεδομένης της ανάγκης να βλέπουμε μέσα σε

αυτόν πολλά από τα οχήματα που βρίσκονται πίσω μας και φυσικά όχι αντεστραμμένα. Μετά την ολοκλήρωση αυτής της δραστηριότητας τα παιδιά παροτρύνονται να διαπιστώσουν το είδος του καθρέπτη που έχουν τα αυτοκίνητα που βρίσκονται έξω από το σχολείο τους.

Παρατηρούμε πως και σε αυτήν την ενότητα οι δραστηριότητες προωθούν παρεμβάσεις στον «Κόσμο» και παραγωγή «Τεκμηρίων». Η χρήση των σφαιρικών καθρεπτών για τη δημιουργία των ειδώλων αφορά την κατασκευή του «Κόσμου» και οι καταγεγραμμένες παρατηρήσεις μέσω των ερωτηματολογίων αποτελούν τα «Τεκμήρια». Με αυτόν τον τρόπο προτείνεται η βασική μετάβαση $K \rightarrow T$.

Στη συνέχεια, όταν οι μαθητές καλούνται να απαντήσουν στις τρεις ερωτήσεις που αφορούν το διαφορετικό μέγεθος ειδώλου που παράγουν τα τρία είδη καθρεπτών, ουσιαστικά κατευθύνονται προς τη σύνδεση «Τεκμηρίων» και «Ιδεών» $T \rightarrow I$. Οι γενικεύσεις των παρατηρήσεων και ο προσδιορισμός των σχέσεων που προκύπτουν μεταξύ μεγέθους ειδώλου και είδους καθρέπτη, προωθούν τη μετάβαση $K \rightarrow I$.

Στην τελευταία δραστηριότητα, επιχειρείται η σύνδεση $I \rightarrow T$ καθώς τα παιδιά καλούνται να προβλέψουν το είδος του καθρέπτη που χρησιμοποιείται στα αυτοκίνητα. Δηλαδή ζητείται η πρόβλεψη συγκεκριμένου «Τεκμηρίου» βάσει της «Ιδέας» που έχουν αναγνωρίσει στο προηγούμενο βήμα. Ακολουθεί ο Πίνακας 14 με τις προτεινόμενες μεταβάσεις της 12^{ης} ενότητας.

3 ^ο Μάθημα «Ο Κόσμος των Ειδώλων»	K	$K \rightarrow T$	$T \rightarrow I$	$K \rightarrow I$	$I \rightarrow T$	$T \rightarrow K$
Ενότητα 12 ^η Οντότητα του ειδώλου	ΝΑΙ Πειραματικές δραστηριότη τες	ΝΑΙ Συμπλήρωση ερωτηματολογί ων με παρατηρήσεις	ΝΑΙ Ερωτηματολόγι ο σχέσης μεγέθους ειδώλου- καθρέπτη	ΝΑΙ Γενίκευσ η της σχέσης μεγέθους ειδώλου- καθρέπτη	ΝΑΙ Πρόβλεψη καθρέπτη αυτοκινήτου	ΟΧΙ

Πίνακας 14. Συνοπτικός πίνακας μεταβάσεων 12^{ης} ενότητας

Ενότητα 13: Ο Κόσμος των Ειδώλων IV

Πρώτος στόχος της 13^{ης} ενότητας είναι να συνδέσουν οι μαθητές την έννοια του πραγματικού ειδώλου με τη διάταξη που τη προκαλεί και να τη διαφοροποιήσουν από την έννοια του φανταστικού ειδώλου. Δεύτερος στόχος, είναι να περιηγηθούν

στον κόσμο των ειδώλων, είτε κατασκευάζοντας, είτε αναπαριστώντας είδωλα. Έτσι, στην ενότητα αυτή, καλούνται να κατασκευάσουν καινούργιες διατάξεις και να δημιουργήσουν τα ανάλογα φαινόμενα. Εδώ εισάγονται δύο καινούργιες έννοιες, αυτές των πραγματικών και φανταστικών ειδώλων. Αρχικά, τα παιδιά μαθαίνουν πως υπάρχει ένα διαφορετικό είδος ειδώλου το οποίο σχηματίζεται από τους κοίλους καθρέπτες. Αναφέρονται ρητώς συγκεκριμένα χαρακτηριστικά αυτών των ειδώλων, όπως το γεγονός πως χρειάζονται μια οθόνη για να σχηματιστούν και πως είναι ίδια για όλους τους παρατηρητές ανεξάρτητα από τη θέση που τα βλέπει ο καθένας. Επιπλέον, δηλώνεται πως ονομάζονται πραγματικά είδωλα και διαχωρίζονται από τα υπόλοιπα που ονομάζονται φανταστικά.

Στη συνέχεια, οι μαθητές καλούνται να δημιουργήσουν το πραγματικό είδωλο ενός αναμμένου κεριού σε μια οθόνη. Ακολούθως, ζητείται να παρατηρήσουν τα χαρακτηριστικά αυτού του ειδώλου και να δώσουν απάντηση αναφορικά με το μέγεθος και τον προσανατολισμό του σε σχέση με το πραγματικό αντικείμενο.

Η ενότητα στη συνέχεια προτείνει κυρίως παρεμβατικές δραστηριότητες. Συγκεκριμένα, τα παιδιά καλούνται βάσει του πειράματος με το γυαλί και το αναμμένο κεριό, να δημιουργήσουν μια διάταξη στην οποία θα δείχνουν ότι υπάρχει μια αναμμένη φλόγα σε ένα δοχείο με νερό. Τη διάταξη αυτή θα πρέπει στη συνέχεια να τη σχεδιάσουν. Στην επόμενη δραστηριότητα, καλούνται να χρησιμοποιήσουν δύο επίπεδους καθρέπτες που σχηματίζουν γωνία 90 μοιρών προκειμένου να δημιουργήσουν περισσότερα από δύο είδωλα ενός αντικείμενου. Σε αυτό το σημείο, δίνονται συγκεκριμένες οδηγίες για την πραγματοποίηση του πειράματος. Συστήνεται στα παιδιά να παρατηρήσουν με τη σειρά τα είδωλα που σχηματίζονται, να τα μετρήσουν, να αλλάξουν τη γωνία που σχηματίζουν οι δύο καθρέπτες και να συγκρίνουν τον νέο αριθμό ειδώλων με τον προηγούμενο. Επιπλέον, παροτρύνονται να εξηγήσουν το μεγάλο αριθμό των ειδώλων που δημιουργούνται καθώς και να καταλήξουν στο μεγαλύτερο αριθμό ειδώλων που μπορούν να παράγουν. Η δραστηριότητα κλείνει προτείνοντας συζήτηση στην ολομέλεια της τάξης για το θέμα αυτό.

Στη συνέχεια, παρουσιάζονται στα παιδιά δύο μύθοι, της Μέδουσας με τον Περσέα και του Αρχιμήδη που έκαψε τα πλοία των Ρωμαίων. Οι μαθητές

καλούνται να πουν ποιο είδος καθρέπτη θα χρησιμοποιούσαν οι ίδιοι αν ήταν στη θέση του Περσέα και του Αρχιμήδη αντίστοιχα, καθώς και να εξηγήσουν την επιλογή τους. Οι απαντήσεις των παιδιών συζητούνται στην τάξη. Επιπλέον, οι μαθητές καλούνται να ζωγραφίσουν τους δύο μύθους.

Μετά τους μύθους, στην τάξη προκαλείται συζήτηση με αφορμή ένα θέμα από τη καθημερινή ζωή. Το ζήτημα αφορά τα «λευκά πιάτα» που υπάρχουν στις τάρτσες των σπιτιών και τα οποία «μαζεύουν» ακτίνες διαφορετικού τύπου από τις φωτεινές. Ωστόσο, επειδή λειτουργούν σαν καθρέπτες μπορούν και αυτά να δημιουργούν είδωλα. Βάσει αυτού του δεδομένου, οι μαθητές πρέπει να σκεφτούν αν τα είδωλα αυτά είναι πραγματικά ή φανταστικά, να εξηγήσουν την απάντησή τους και να εντοπίσουν το σημείο που δημιουργούνται αυτά τα είδωλα. Η ενότητα τελειώνει με συζήτηση πάνω στο θέμα και τις ζωγραφιές των παιδιών που επιδεικνύουν την άποψή τους.

Σε αυτή την ενότητα διαπιστώνουμε πως η διδασκαλία ξεκινά με κάποιες πληροφορίες που δίνονται στα παιδιά σχετικά με τα πραγματικά και φανταστικά είδωλα. Οι πληροφορίες αυτές είναι απαραίτητες για την πραγματοποίηση της πρώτης πειραματικής δραστηριότητας. Έτσι, όταν τα παιδιά καλούνται να δημιουργήσουν με τη χρήση ενός κοίλου καθρέπτη, ένα πραγματικό είδωλο, στην ουσία καλούνται να παρέμβουν στον «Κόσμο» και να παράγουν ένα νέο φαινόμενο. Στη συνέχεια, οι μαθητές, μέσα από τις παρατηρήσεις τους και τον προσδιορισμό των χαρακτηριστικών αυτού ειδώλου, εξάγουν νέα «Τεκμήρια» οδηγούμενοι με αυτόν τον τρόπο στη μετάβαση $K \rightarrow T$.

Η επόμενη δραστηριότητα, δηλαδή η δημιουργία του ειδώλου μιας αναμμένης φλόγας στην επιφάνεια ενός δοχείου με νερό, συνιστά μια πρακτική παρέμβαση στον «Κόσμο» με σκοπό την εμφάνιση ενός συγκεκριμένου «Τεκμηρίου». Οι μαθητές, θα πρέπει εδώ, κατευθυνόμενοι από τις «Ιδέες» οι οποίες αφορούν τον τρόπο δημιουργίας των ειδώλων να παρέμβουν στον «Κόσμο» και να δημιουργήσουν την εμφάνιση του ειδώλου στην επιφάνεια του δοχείου με το νερό. Έτσι, προωθείται η μετάβαση $T \rightarrow K$.

Στη συνέχεια, η δραστηριότητα με τους δύο επίπεδους καθρέπτες, προτείνει την επανάληψη της μετάβασης $T \rightarrow K$. Ουσιαστικά, οι μαθητές καλούνται να παρέμβουν στον «Κόσμο» βάσει οδηγιών με στόχο και πάλι την εμφάνιση

συγκεκριμένων «Τεκμηρίων», δηλαδή την εμφάνιση των πολλαπλών ειδώλων στους επίπεδους καθρέπτες. Ωστόσο, η παρέμβαση αυτή προωθεί παράλληλα και τη μετάβαση $K \rightarrow T$ μέσα από την παρατήρηση των χαρακτηριστικών των νέων φαινομένων (ειδώλων) και την παραγωγή νέων «Τεκμηρίων». Οι εξηγήσεις που καλούνται να δώσουν τα παιδιά στη συνέχεια, συνιστούν τη σύνδεση «Τεκμηρίων» και «Ιδεών», δηλαδή τη μετάβαση $T \rightarrow I$. Αυτό επιτυγχάνεται καθώς επιχειρείται η σύνδεση των νέων «Τεκμηρίων» με τις επιστημονικές «Ιδέες», μια σύνδεση που θα μπορεί να εξηγή την εμφάνιση των πολλαπλών ειδώλων βάσει των «Ιδεών».

Στην δραστηριότητα που ακολουθεί, η πρόβλεψη που καλούνται να κάνουν τα παιδιά βάσει των μύθων αποτελεί μια μετάβαση από τις οντότητες των «Ιδεών» στις οντότητες των «Τεκμηρίων» $I \rightarrow T$. Ουσιαστικά, προωθείται η μετάβαση από τη θεωρητική περιγραφή του «Κόσμου», δηλαδή από το μοντέλο που περιγράφει τη δημιουργία των ειδώλων, προς το «Τεκμήριο» που εμφανίζεται ως το είδος του καθρέπτη που επιλέχθηκε. Στη συνέχεια, η εξήγηση αυτής της επιλογής, οδηγεί στην περιγραφή λειτουργίας του «Κόσμου» με όρους που βασίζονται στην «Ιδέα», δηλαδή στην περιγραφή δημιουργίας των ειδώλων με θεωρητικούς όρους. Αυτή η πρακτική υποδεικνύει τη μετάβαση από τον «Κόσμο» στις «Ιδέες» $K \rightarrow I$.

Διαπιστώνουμε πως η τελευταία δραστηριότητα, η οποία αφορά τα «πιάτα» στις τaráτσες των σπιτιών, προωθεί με τον ίδιο τρόπο τις μεταβάσεις $I \rightarrow T$ και $K \rightarrow I$. Οι μαθητές καλούνται να προβλέψουν «Τεκμήρια» (αν είναι πραγματικά ή φανταστικά τα είδωλα) βάσει του μοντέλου- «Ιδέας» που αναπαριστά τον τρόπο δημιουργίας τους καθώς και να εξηγήσουν την επιλογή τους περιγράφοντας με θεωρητικούς όρους αυτή τη δημιουργία. Ακολουθεί ο Πίνακας 15 με τις προτεινόμενες μεταβάσεις της 13^{ης} ενότητας.

3 ^ο Μάθημα «Ο Κόσμος των Ειδώλων»	K	$K \rightarrow T$	$T \rightarrow I$	$K \rightarrow I$	$I \rightarrow T$	$T \rightarrow K$
Ενότητα 13 ^η Οντότητα του ειδώλου	ΝΑΙ Πειραματικές δραστηριότητες	ΝΑΙ 1. Παρατηρήσεις των χαρακτηριστικών των ειδώλων 2. Παρατηρήσεις χαρακτηριστικών πολλαπλών ειδώλων	ΝΑΙ Εξήγηση του φαινομένου εμφάνισης πολλαπλών ειδώλων	ΝΑΙ 1. Εξήγηση της πρόβλεψης για τους μύθους 2. Εξήγηση της πρόβλεψης για τις κεραίες	ΝΑΙ 1. Πρόβλεψη τεκμηρίων στους μύθους 2. Πρόβλεψη ειδώλων στις κεραίες	ΝΑΙ 1. Δημιουργία ειδώλου στην επιφάνεια δοχείου με νερό 2. Εμφάνιση πολλαπλών ειδώλων

Πίνακας 15. Συνοπτικός πίνακας μεταβάσεων 13^{ης} ενότητας

Ενότητα 14: Ο Κόσμος των Ειδώλων V

Στόχος της 14^{ης} ενότητας είναι να συνδέσουν οι μαθητές τους φακούς με τη δημιουργία ειδώλων. Έτσι, η διδασκαλία στρέφεται στις γυάλινες κατασκευές που αποτελούν τους φακούς. Συστήνεται στους μαθητές να διαχωρίσουν το φακό ως πηγή φωτός, από το φακό ως γυάλινη κατασκευή.

Αρχικά, παρουσιάζονται τα δύο κύρια είδη των φακών, οι συγκλίνοντες και οι αποκλίνοντες. Στη συνέχεια, και μέσα από μια πειραματική δραστηριότητα βάσει συγκεκριμένων οδηγιών, τα παιδιά καλούνται να παρατηρήσουν την πορεία της φωτεινής ακτίνας που παράγει η συσκευή λέιζερ καθώς σε αυτή παρεμβάλλονται στην πρώτη περίπτωση ένας συγκλίνων και στη δεύτερη ένας αποκλίνων φακός. Μετά το πείραμα, ζητείται να καταλήξουν σε συμπέρασμα σχετικά με τον τρόπο που αλλάζει κάθε φακός την πορεία του φωτός όταν αυτό περνάει από μέσα τους και να σχεδιάσουν τα συμπεράσματα σε δύο έτοιμα σχήματα. Επίσης, ζητείται να σκεφτούν αν οι πορείες των ακτινών μετά την έξοδο τους από τους φακούς δικαιολογούν τα ονόματά τους.

Στη δεύτερη δραστηριότητα, τα παιδιά καλούνται να τοποθετήσουν ένα συγκλίνοντα φακό μπροστά από ένα ηλιόλουστο παράθυρο (προφανώς της τάξης τους) προκειμένου να δημιουργήσουν το είδωλο του παραθύρου στον απέναντι τοίχο. Η σωστή θέση του φακού κρίνεται από τη καθαρότητα του σχηματισμένου ειδώλου. Τα παιδιά οφείλουν να εντοπίσουν το σημείο όπου ο φακός δίνει το καθαρότερο είδωλο και αμέσως να μετρήσουν την απόσταση φακού-τοίχου. Σε αυτό το σημείο, το βιβλίο δραστηριοτήτων αναφέρει πως η απόσταση αυτή ονομάζεται Εστιακή Απόσταση του φακού και συμβολίζεται με F και ακόμη πως η μέτρηση αυτή θεωρείται ακριβής όταν ο φακός απέχει τουλάχιστον τρία μέτρα από το αντικείμενο (στην περίπτωση το παράθυρο). Οι μαθητές καλούνται να επαναλάβουν τη διαδικασία μετρώντας τη Εστιακή Απόσταση ενός άλλου συγκλίνοντα φακού. Παράλληλα, αναφέρεται πως ο φακός που συγκεντρώνει πιο κοντά του τις ακτίνες που δέχεται από μακριά σχηματίζοντας ένα καθαρό είδωλο, θεωρείται ο πιο ισχυρός. Σαν αποτέλεσμα, οι πιο ισχυροί φακοί έχουν μικρότερο F και επιπλέον η ισχύς των φακών αντιπροσωπεύεται καλύτερα με το $1/F$. Οπότε, όσο πιο μεγάλη είναι η ισχύς, τόσο μικρότερο είναι το F και τόσο μεγαλύτερο το $1/F$. Κατόπιν, οι μαθητές καλούνται να υπολογίσουν την ισχύ του κάθε φακού, να τις συγκρίνουν και να καταλήξουν ποιος είναι ο πιο ισχυρός.

Στη συνέχεια, γίνεται αναφορά από το βιβλίο δραστηριοτήτων, στον τρόπο με τον οποίο λειτουργούν οι φακοί των ματιών μας. Ακόμη, αναφέρεται η

αδυναμία των ματιών να σχηματίζει τα είδωλα επάνω στον φακό και διαχωρίζεται η μυωπία (δημιουργία ειδώλου μπροστά από το φακό) από την πρεσβυωπία (δημιουργία ειδώλου πίσω από το φακό). Ακολούθως, οι μαθητές καλούνται να σκεφτούν ποιο είδος φακού θα χρησιμοποιούσαν για να βελτιώσουν την όραση σε ένα μυωπικό και σε ένα πρεσβυωπικό μάτι αντίστοιχα και επίσης, ποιο είδος φακού χρησιμοποιεί μια φωτογραφική μηχανή. Τέλος, ζητείται να τοποθετήσουν ένα δακτυλίδι από χαρτί στην επιφάνεια ενός συγκλίνοντα φακού και να παρατηρήσουν την αλλαγή του ειδώλου καθώς και να συνδέσουν το χάρτινο δακτυλίδι με κάποιο εξάρτημα των φωτογραφικών μηχανών. Η ενότητα κλείνει προτείνοντας συζήτηση στην τάξη σχετικά με άλλες χρήσεις των φακών που πιθανόν να γνωρίζουν τα παιδιά.

Στην πρώτη δραστηριότητα αυτής της ενότητας, οι μαθητές καλούνται να διαχειριστούν νέες υλικές οντότητες (φακούς), να κατασκευάσουν ένα καινούργιο «Κόσμο», να προκαλέσουν τη δημιουργία νέων φαινομένων (εμφάνιση της φωτεινής κηλίδας μετά την έξοδό της από τους φακούς), να παρατηρήσουν τα φαινόμενα και να καταλήξουν στην εξαγωγή συμπερασμάτων (με ποιο τρόπο αλλάζει την πορεία της φωτεινής ακτίνας κάθε φακός) τα οποία αποτελούν «Τεκμήρια». Ουσιαστικά, προωθείται μετάβαση $K \rightarrow T$. Όταν στη συνέχεια καλούνται να σκεφτούν αν τα συμπεράσματα τους δικαιολογούν την ονομασία των φακών, στην πραγματικότητα κατευθύνονται προς τη μετάβαση $T \rightarrow I$. Δηλαδή στην ερμηνεία των «Τεκμηρίων» με θεωρητικούς όρους η οποία αναπαριστά τον εμπειρικό τρόπο λειτουργίας του «Κόσμου» ως μοντέλο- «Ιδέα». Η προώθηση αυτής της μετάβασης δίνει τη δυνατότητα στους μαθητές να κατανοήσουν τις ιδιότητες των φακών ως έννοιες που συνδέονται με τις επιστημονικές «Ιδέες».

Η παραπάνω σύνδεση ($T \rightarrow I$) καθοδηγεί τα παιδιά στην εκτέλεση της επόμενης πειραματικής δραστηριότητας, δηλαδή στη δημιουργία του πραγματικού ειδώλου του παραθύρου στον τοίχο. Εδώ, οι μαθητές καλούνται να επιστρέψουν στον «Κόσμο», να παρέμβουν σε αυτόν, να τον αλλάξουν και να προκαλέσουν την εμφάνιση ενός συγκεκριμένου «Τεκμηρίου» (το πραγματικό είδωλο του παραθύρου) το οποίο ουσιαστικά προβλέπεται από την «Ιδέα» της προηγούμενης σύνδεσης. Αυτή η πρακτική συνιστά μια μετάβαση του τύπου $T \rightarrow K$. Ωστόσο, στα πλαίσια της ίδιας πειραματικής δραστηριότητας, προωθείται η παρέμβαση στον «Κόσμο» και η εξαγωγή νέων «Τεκμηρίων», δηλαδή η μετάβασης $K \rightarrow T$. Συγκεκριμένα, η μέτρηση της απόστασης φακού-ειδώλου είναι το νέο «Τεκμήριο» το οποίο αποκτά αμέσως όνομα και σύμβολο (Εστιακή Απόσταση /F), δηλαδή

αναπαρίσταται με θεωρητικούς όρους, γεγονός που οδηγεί ξεκάθαρα στην μετάβαση $T \rightarrow I$. Προτείνεται επανάληψη της ίδιας πρακτικής, και το ίδιο «Τεκμήριο» (η μέτρηση) οδηγεί σε μια νέα «Ιδέα» δηλαδή στην έννοια της ισχύος του φακού ($1/F$). Στη συνέχεια, συστήνεται η σύγκριση της ισχύος των δύο φακών με σκοπό οι μαθητές να καταλήξουν ποιος είναι ο ισχυρότερος. Στην πραγματικότητα, αυτή η πρακτική υποδεικνύει τη μετάβαση από την «Ιδέα» σε ένα νέο «Τεκμήριο» καθώς η σύγκριση των Εστιακών Αποστάσεων («Ιδέες») οδηγεί στην αναγνώριση του πιο ισχυρού φακού («Τεκμήριο»). Αυτή η δραστηριότητα λοιπόν προωθεί τη μετάβαση $I \rightarrow T$.

Οι δραστηριότητες που ακολουθούν προτείνονται σε επίπεδο αναπαραστάσεων και στην πραγματικότητα αφορούν πρακτικές που οδηγούν στην μετάβαση του τύπου $I \rightarrow T$. Σε όλες τις περιπτώσεις τα παιδιά καλούνται να προβλέψουν ένα «Τεκμήριο» (ποιο είδος φακού: διαθέτουν τα μάτια μας, θα χρησιμοποιούσαν για τη βελτίωση της όρασης, χρησιμοποιεί μια φωτογραφική μηχανή) με βάση την «Ιδέα» που αναπαριστά θεωρητικά τη δημιουργία των πραγματικών ειδώλων.

Στο τέλος, καλούνται να επιστρέψουν στον «Κόσμο», να παρέμβουν τοποθετώντας το δακτυλίδι χαρτιού στο φακό και να εξάγουν ένα νέο «Τεκμήριο» (πώς αλλάζει το είδωλο). Ουσιαστικά, προτείνεται η μετάβαση $K \rightarrow T$. Η ενότητα κλείνει με τη συζήτηση στην τάξη σχετικά με τις χρήσεις των φακών που πιθανόν γνωρίζουν τα παιδιά. Αυτού του είδους η συζήτηση στην ουσία συνιστά μια προσπάθεια σύνδεσης «Ιδεών» και «Τεκμηρίων» $I \rightarrow T$. Ακολουθεί ο Πίνακας 16 με τις προτεινόμενες μεταβάσεις της 14^{ης} ενότητας.

3^ο Μάθημα «Ο Κόσμος των Ειδώλων»	K	K → T	T → I	K → I	I → T	T → K
Ενότητα 14^η Οντότητα του ειδώλου	ΝΑΙ Πειραματικές δραστηριότητες	ΝΑΙ 1. Παρατηρήσεις στα χαρακτηριστικά του ειδώλου με τη χρήση φακού 2. Μέτρηση απόστασης φακού-ειδώλου	ΝΑΙ 1. Εξήγηση χαρακτηριστικών των φακών 2. Ιδιότητες των φακών 3. Εστιακή απόσταση F 4. Ισχύς φακού $1/F$	ΝΑΙ Λειτουργία των φακών του ματιού	ΝΑΙ 1. Σύγκριση εστιακών αποστάσεων οδηγεί στον πιο ισχυρό φακό 2. Πρόβλεψη είδους φακού 3. Συζήτηση στην τάξη για τις χρήσεις των φακών	ΝΑΙ 1. Δημιουργία ειδώλου στον τοίχο 2. Με χρήση φακού 3. Παρέμβαση με δακτυλίδι στον φακό

Πίνακας 16. Συνοπτικός πίνακας μεταβάσεων 14^{ης} ενότητας

Ενότητα 15: Ο Κόσμος των Ειδώλων VI

Στην 15^η ενότητα, η οποία είναι και η τελευταία της θεματικής ενότητας, ο κύριος στόχος είναι η παραγωγή ενός ποσοτικού νόμου. Για το σκοπό αυτό οι μαθητές καλούνται να στήσουν μια διάταξη βάσει πολύ συγκεκριμένων οδηγιών και να δημιουργήσουν σε μια οθόνη το είδωλο ενός αναμμένου κεριού χρησιμοποιώντας ένα συγκλίνοντα φακό. Παράλληλα, ζητείται να προσδιορίσουν το μέγεθος και τον προσανατολισμό του ειδώλου σε σχέση με το αντικείμενο καθώς και να επαναλάβουν τη διαδικασία προτείνοντας μια διαφορετική θέση του φακού η οποία σχηματίζει ένα ακόμη καθαρό είδωλο.

Σε αυτό το σημείο, εισάγονται οι έννοιες των ποιοτικών και ποσοτικών νόμων της Φυσικής ενώ τονίζεται το γεγονός πως οι ποσοτικοί νόμοι μπορούν να επαληθεύονται με ακρίβεια από αριθμούς. Προτείνεται στα παιδιά να ασχοληθούν με έναν ποσοτικό νόμο ο οποίος θα αφορά τη δημιουργία των πραγματικών ειδώλων. Επιπλέον, εξηγείται πως ο νόμος αυτός παρέχει τη δυνατότητα να προβλέψουμε πού θα εμφανιστεί το είδωλο ενός φωτεινού αντικειμένου που ρίχνει το φως του σε ένα συγκλίνοντα φακό.

Έτσι, τα παιδιά καλούνται να διεξάγουν και πάλι το πείραμα της προηγούμενης δραστηριότητας, πραγματοποιώντας και καταγράφοντας αυτή τη φορά μετρήσεις. Συγκεκριμένα, ζητείται να μετρήσουν τις αποστάσεις αντικειμένου-φακού και φακού-ειδώλου και στις δύο περιπτώσεις δημιουργίας του ειδώλου. Ακολουθεί η συμπλήρωση σε πίνακα των αποτελεσμάτων τους καθώς και των προηγούμενων μετρήσεων που αφορούν την Εστιακή Απόσταση και την ισχύ του φακού που χρησιμοποίησαν. Οι μαθητές καλούνται να σκεφτούν πάνω στα δεδομένα του πίνακα με σκοπό να εντοπίσουν πιθανές σχέσεις που προκύπτουν μεταξύ των μετρήσεων. Στη συνέχεια, προτείνεται η συζήτηση στην ολομέλεια της τάξης όσον αφορά τα συμπεράσματα τους και συστήνεται η καταγραφή τους. Η τελευταία δραστηριότητα της διδακτικής πρότασης ζητά από τους μαθητές να γενικεύσουν τα συμπεράσματα τους και να διατυπώσουν έναν ποσοτικό νόμο ο οποίος μπορεί να προβλέπει τη θέση του ειδώλου ενός αντικειμένου αν γνωρίζουμε τη θέση του αντικειμένου σε σχέση με το φακό.

Η 15^η ενότητα αρχικά προωθεί παρεμβάσεις στον «Κόσμο» βάσει οδηγιών με σκοπό την εμφάνιση ενός συγκεκριμένου «Τεκμηρίου» δηλαδή τη δημιουργία

ειδώλου του αναμμένου κεριού στην οθόνη. Η πρακτική αυτή στην ουσία συνιστά τη μετάβαση $T \rightarrow K$, ωστόσο, όπως σχολιάστηκε και σε προηγούμενη δραστηριότητα, στο ίδιο πλαίσιο οι παρεμβάσεις οδηγούν σε νέα «Τεκμήρια» (προσδιορισμός μεγέθους και προσανατολισμού ειδώλου) και κατά αυτόν προωθείται παράλληλα και η μετάβαση $K \rightarrow T$. Αξίζει να σημειώσουμε, πως αν και οι παραπάνω συνδέσεις προτείνονται σε επίπεδο παρεμβάσεων, ωστόσο, αυτές καθοδηγούνται από τις «Ιδέες» που υποστηρίζουν οι προτεινόμενες συνδέσεις των προηγούμενων δραστηριοτήτων. Αυτό σημαίνει πως στο πλαίσιο των συγκεκριμένων παρεμβάσεων, το πείραμα πραγματοποιείται βάσει συγκεκριμένης θεωρίας.

Στην τελευταία πειραματική δραστηριότητα, οι μαθητές καλούνται να επαναλάβουν τη μετάβαση $K \rightarrow T$ η οποία τους παρέχει τα «Τεκμήρια» που θα χρησιμοποιήσουν στη συνέχεια (μετρήσεις και συμπλήρωση του πίνακα). Βάσει αυτών των «Τεκμηρίων» οδηγούνται στην ανακάλυψη της σχέσης που συνδέει τις μετρήσεις τους, δηλαδή στις οντότητες των «Ιδεών». Η αναγνώριση αυτής της σχέσης υποδηλώνει τη μετάβαση του τύπου $T \rightarrow I$.

Εφόσον οι μαθητές ολοκληρώσουν τις προτεινόμενες συνδέσεις, αποκτούν πλέον τη δυνατότητα να επιστρέψουν στον «Κόσμο» και να επιχειρήσουν να περιγράψουν τη λειτουργία του βάσει των «Ιδεών». Στο σημείο που καλούνται να διατυπώσουν τον ποσοτικό νόμο που προβλέπει την ακριβή θέση εμφάνισης του ειδώλου, είναι έτοιμοι να πραγματοποιήσουν τη μετάβαση από τις οντότητες του «Κόσμου» στις οντότητες των «Ιδεών», δηλαδή στη μετάβαση $K \rightarrow I$. Η διατύπωση εξάλλου ενός νόμου συνιστά μια ξεκάθαρη σύνδεση αυτού του τύπου. Μια σύνδεση που φανερώνει πως οι οντότητες του «Κόσμου», παρόλο που τις διαχειριζόμαστε και παρεμβαίνουμε σε αυτές, στην ουσία δε «μιλάνε» από μόνες τους. Εμείς μιλάμε για αυτές, άλλες φορές σε εμπειρικό επίπεδο (βάσει Τεκμηρίων) και άλλες φορές επιστημονικά (βάσει Ιδεών). Κλείνοντας λοιπόν η διδακτική πρόταση με την προώθηση της μετάβασης $K \rightarrow I$, ουσιαστικά δίνει την ευκαιρία στα παιδιά να κατανοήσουν ένα σημαντικό χαρακτηριστικό της επιστημονικής δραστηριότητας. Ακολουθεί ο Πίνακας 17 με την παρουσίαση των προτεινόμενων μεταβάσεων της 15^{ης} ενότητας και στη συνέχεια ο Πίνακας 18 με την παρουσίαση των μεταβάσεων του 3^{ου} μαθήματος.

3 ^ο Μάθημα «Ο Κόσμος των Ειδώλων»	K	K → T	T → I	K → I	I → T	T → K
Ενότητα 15η Οντότητα του ειδώλου	ΝΑΙ Πειραματι- κές δραστηριό- τητες	ΝΑΙ 1.Παραγωγή τεκμηρίων από τη δημιουργία του ειδώλου 2.Μετρήσεις 3.Συμπλήρωση πίνακα με αποτελέσματα των μετρήσεων	ΝΑΙ Αναγνώριση Σχέσεων μεταξύ μετρήσεων	ΝΑΙ Διατύπωση ποσοτικού νόμου	ΟΧΙ	ΝΑΙ Δημιουργία ειδώλου αναμμένου κεριού στην οθόνη

Πίνακας 17. Συνοπτικός πίνακας μεταβάσεων 15^{ης} ενότητας

3 ^ο Μάθημα «Ο Κόσμος των Ειδώλων»	K	K → T	T → I	K → I	I → T	T → K
Ενότητα 10^η Οντότητα του ειδώλου	ΝΑΙ 1.Μέσα από τις πειραματικές δραστηριότητες	ΝΑΙ 1.Ανάκληση Τεκμηρίων από τον Κόσμο των εμπειριών 2.Σχεδίαση αποτελεσμάτων πειράματος με βυθισμένο μολύβι 3.Παρατηρήσεις από το παιχνίδι του «κρυμμένου νομίσματος»	ΝΑΙ 1.Ερμηνεία των τεκμηρίων πειράματος με βυθισμένο μολύβι 2.Φαινόμενο διάθλασης 3.Έννοια του ειδώλου	ΝΑΙ Περιγραφή του μοντέλου της όρασης	ΟΧΙ	ΟΧΙ
Ενότητα 11^η Οντότητα του ειδώλου	ΝΑΙ Πειραματικές δραστηριότητες	ΝΑΙ 1.Δημιουργία ειδώλων 2.Εντοπισμός χαρακτηριστικών των ειδώλων 3.Μετρήσεις	ΝΑΙ 1.Σύγκριση μετρήσεων 2.Συμμετρία ειδώλου-αντικειμένου 3.Σύγκριση Τεκμηρίων	ΝΑΙ Εξήγηση της συμμετρίας ειδώλου-αντικειμένου	ΟΧΙ	ΟΧΙ
Ενότητα 12^η Οντότητα του ειδώλου	ΝΑΙ Πειραματικές δραστηριότητες	ΝΑΙ Συμπλήρωση ερωτηματολογίων με παρατηρήσεις	ΝΑΙ Προσδιορισμός σχέσης μεγέθους ειδώλου-καθρέπτη	ΟΧΙ	ΝΑΙ Πρόβλεψη καθρέπτη αυτοκινήτου	ΟΧΙ
Ενότητα 13^η Οντότητα του ειδώλου	ΝΑΙ Πειραματικές δραστηριότητες	ΝΑΙ 1.Παρατηρήσεις των χαρακτηριστικών των ειδώλων 2.Παρατηρήσεις χαρακτηριστικών πολλαπλών ειδώλων	ΝΑΙ Εξήγηση του φαινομένου εμφάνισης πολλαπλών ειδώλων	ΝΑΙ 1.Εξήγηση της πρόβλεψης για τους μύθους 2.Εξήγηση της πρόβλεψης για τις κεραίες	ΝΑΙ 1.Πρόβλεψη τεκμηρίων στους μύθους 2.Πρόβλεψη ειδώλων στις κεραίες	ΝΑΙ 1.Δημιουργία ειδώλου στην επιφάνεια δοχείου με νερό 2.Εμφάνιση πολλαπλών ειδώλων
Ενότητα 14^η Οντότητα του ειδώλου	ΝΑΙ Πειραματικές δραστηριότητες	ΝΑΙ 1.Παρατηρήσεις στα χαρακτηριστικά του ειδώλου με τη χρήση φακού 2.Μέτρηση απόστασης φακού-ειδώλου	ΝΑΙ 1.Εξήγηση χαρακτηριστικών των φακών 2.Ιδιότητες των φακών 3.Εστιακή απόσταση F 4.Ισχύς φακού 1/F	ΝΑΙ Περιγραφή του τρόπου λειτουργίας των φακών του ματιού	ΝΑΙ 1.Σύγκριση εστιακών αποστάσεων οδηγεί στον πιο σωστό φακό 2.Πρόβλεψη είδους φακού 3.Συζήτηση	ΝΑΙ 1.Δημιουργία ειδώλου στον τοίχο 2.Με χρήση φακού 3.Παρέμβαση με δακτυλίδι στον φακό

					στην τάξη για τις χρήσεις των φακών	
Ενότητα 15η Οντότητα του ειδώλου	ΝΑΙ Πειραματικές δραστηριότητες	ΝΑΙ 1. Παραγωγή τεκμηρίων από τη δημιουργία του ειδώλου 2. Μετρήσεις 3. Συμπλήρωση πίνακα με αποτελέσματα των μετρήσεων	ΝΑΙ Αναγνώριση σχέσεων μεταξύ μετρήσεων	ΝΑΙ Διατύπωση ποσοτικού νόμου	ΟΧΙ	ΝΑΙ Δημιουργία ειδώλου αναμμένου κεριού στην οθόνη

Πίνακας 18. Συνοπτικός πίνακας του 3^{ου} μαθήματος

5.4 Σύνοψη Αποτελεσμάτων

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης μας παρέχουν τη δυνατότητα να διαπιστώσουμε αφενός σε ποιο βαθμό το διδακτικό υλικό προωθεί τις αναμενόμενες μεταβάσεις και αφετέρου να εντοπίσουμε τον τρόπο με τον οποίο αυτές αναπτύσσονται. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, το υλικό αποτελείται από 15 ενότητες μοιρασμένες σε τρία μαθήματα. Το πρώτο μάθημα έχει 4 ενότητες, το δεύτερο 5 και το τρίτο 6 ενότητες. Η διδασκαλία βασίζεται αποκλειστικά σχεδόν σε πειραματικές δραστηριότητες παρέχοντας στους μαθητές τη δυνατότητα να έρθουν σε επαφή με τον εργαστηριακό «Κόσμο», να παρέμβουν σε αυτόν και στα πλαίσια του επιστημολογικού μοντέλου να πραγματοποιήσουν τις μεταβάσεις μεταξύ των οντοτήτων του «Κόσμου», των «Τεκμηρίων» και των «Ιδεών».

5.4.1 1^ο Μάθημα

Στο 1^ο Μάθημα «Μαθαίνουμε για τον Κόσμο της Σκιάς», παρατηρούμε πως οι μαθητές εισάγονται σταδιακά στον εργαστηριακό «Κόσμο» ενώ οι μεταβάσεις που προτείνονται είναι γενικά περιορισμένες. Τα παιδιά, σύμφωνα με τις δραστηριότητες που προωθεί το διδακτικό υλικό, έχουν τη δυνατότητα να γνωρίσουν συγκεκριμένες οντότητες του «Κόσμου» (φακός, οθόνη, διαφορετικά σώματα), να κατασκευάσουν το εργαστηριακό περιβάλλον με αυτές τις οντότητες, να παρέμβουν σε αυτό, να προκαλέσουν φαινόμενα και στη συνέχεια να εξάγουν «Τεκμήρια» (χαρακτηριστικά των σωμάτων και των σκιών) μέσα από τις ερμηνείες των παρατηρήσεων τους. Τέλος, οι μαθητές οδηγούνται στη σύνοψη των «Τεκμηρίων» υπό τους όρους εννοιών – «Ιδεών» οι οποίες αναπαριστούν τον

«Κόσμο» θεωρητικά (διαφάνεια, αδιαφάνεια, ημιδιαφάνεια, σκιά, παρασκιά) και στη περιγραφή της λειτουργίας του «Κόσμου» βάσει αυτών των «Ιδεών» (ταξινόμηση σωμάτων, εξήγηση για σκιά, παρασκιά).

Στην πρώτη ενότητα λοιπόν, προτείνεται η κατασκευή και παρέμβαση στον «Κόσμο» με αναφορά στην οντότητα της σκιάς η οποία εξάλλου είναι αυτή που υποστηρίζει ο τίτλος του μαθήματος. Αυτό συνιστά την κατασκευή του «Κόσμου» σύμφωνα με τη μεθοδολογία, η οποία προτείνεται σε όλες τις υπόλοιπες ενότητες. Στη δεύτερη ενότητα οι μαθητές έχουν την ευκαιρία να πραγματοποιήσουν τη 2^η μετάβαση $K \rightarrow T$ αφού μέσα από τις παρεμβάσεις τους εξάγουν τα πρώτα «Τεκμήρια». Η τρίτη ενότητα, προωθεί δραστηριότητες οι οποίες οδηγούν τα παιδιά στην επανάληψη της 2^{ης} μετάβασης $K \rightarrow T$ και επιπλέον στη μετάβαση από τα «Τεκμήρια» στις «Ιδέες» μέσα από τη συζήτηση με τον εκπαιδευτικό για τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των σκιών, την ερμηνεία και τη σύνδεση τους με τις έννοιες της διαφάνειας, αδιαφάνειας και ημιδιαφάνειας. Με αυτόν τον τρόπο προωθείται η 3^η μετάβαση $T \rightarrow I$ της μεθοδολογίας. Ακόμη, η ταξινόμηση των υλικών βάσει των «Ιδεών» συνιστά τη μετάβαση από τον «Κόσμο» στις «Ιδέες» $K \rightarrow I$ δηλαδή την 4^η μετάβαση.

Ακριβώς η ίδια διαδικασία προτείνεται στην τέταρτη ενότητα όπου αναγνωρίζουμε διαδοχικά τις μεταβάσεις 1 έως 4. Δηλαδή, παρεμβάσεις, νέα «Τεκμήρια» μέσα από τα χαρακτηριστικά της σκιάς και παρασκιάς, ερμηνεία των νέων «Τεκμηρίων» που οδηγεί στις οντότητες των «Ιδεών» και εξήγηση περιγραφή του φαινομένου που συνδέει «Κόσμο» και «Ιδέες». Πρέπει να σημειώσουμε πως την ολοκλήρωση της 1^{ης} και της 2^{ης} μετάβασης, τα παιδιά, υποδεικνύεται πως την πραγματοποιούν μόνα τους ενώ την 3^η και την 4^η με τη βοήθεια του εκπαιδευτικού. Επίσης, πέρα από τις έννοιες – «Ιδέες» που οι μαθητές προτείνεται να συνδέσουν τόσο με τα «Τεκμήρια» όσο και με τον «Κόσμο», εντούτοις, η δημιουργία ενός μοντέλου – «Ιδέας» που θα εξηγούσε το φαινόμενο δημιουργίας των σκιών είναι κάτι που δεν προβάλλεται. Η ολοκλήρωση της 5^{ης} και 6^{ης} μετάβασης δε συνιστάται αφού δεν προτείνεται η σύνδεση με συγκεκριμένη «Ιδέα» - μοντέλο που να εξηγεί το φαινόμενο της σκιάς.

Μπορούμε να πούμε πως οι πειραματικές δραστηριότητες του πρώτου μαθήματος παρέχουν τη δυνατότητα στους μαθητές να έρθουν σε μια πρώτη επαφή

με τον εργαστηριακό «Κόσμο» με σκοπό τη δοκιμή παρεμβάσεων σε αυτόν καθώς και τη διαδικασία εξαγωγής «Τεκμηρίων» μέσα από τις παρεμβάσεις τους. Επιπλέον, δίνεται η ευκαιρία να συνδέσουν «Τεκμήρια» με «Ιδέες» αλλά και να προβούν σε μια πρώτη προσπάθεια ερμηνείας του «Κόσμου» υπό τους όρους των «Ιδεών». Εξάλλου, βαθύτερος σκοπός του πρώτου μαθήματος είναι η σύνδεση των εννοιών του φωτός και της σκιάς με οντότητες του υλικού «Κόσμου» και στη συνέχεια η εξοικείωση με τις διαδικασίες σύνδεσης που προσφέρει το επιστημολογικό μοντέλο του εργαστηριακού «Κόσμου» του Hacking.

5.4.2 2ο Μάθημα

Στο 2^ο Μάθημα προτείνεται αρχικά η κατασκευή του «Κόσμου». Εδώ, οι μαθητές καλούνται να εξοικειωθούν με διαφορετικά εργαστηριακά όργανα, να εξετάσουν τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τους και να τα διαφοροποιήσουν. Κάτι τέτοιο συνιστά μια αρκετά σημαντική διαδικασία μιας και οι υλικές οντότητες ως αντιπροσωπευτικές και κυρίαρχες στον «Κόσμο» διαθέτουν χαρακτηριστικά τα οποία επηρεάζουν τις παρεμβάσεις μας. Τα παιδιά οφείλουν να γνωρίζουν τις δυνατότητες και την λειτουργία αυτών των οργάνων για να καταφέρουν στη συνέχεια να παρέμβουν με επιτυχία στον «Κόσμο». Επιπλέον, η πέμπτη ενότητα εισάγει άρρητα την έννοια της φωτεινής ακτίνας η οποία συνιστά την πιο αντιπροσωπευτική θεωρητική «Ιδέα» του φωτός. Όπως φάνηκε και από την ανάλυση, η κατασκευή του «Κόσμου» προωθείται σε όλες τις υπόλοιπες ενότητες του 2^{ου} Μαθήματος.

Στην έκτη ενότητα προωθείται διαδοχικά η 2^η, 3^η, και 4^η μετάβαση, δηλαδή οι μεταβάσεις $K \rightarrow T$, $T \rightarrow I$ και $K \rightarrow I$. Οι μαθητές έχουν την ευκαιρία να παρέμβουν στον «Κόσμο», να δημιουργήσουν διαδρομές φωτός με τη βοήθεια της συσκευής λέιζερ, να προκαλέσουν την εμφάνιση φαινομένων (ανάκλαση, διάθλαση, απορρόφηση), να παρατηρήσουν τα φαινόμενα, να σχεδιάσουν τις παρατηρήσεις τους, να βγάλουν συμπεράσματα εξάγοντας «Τεκμήρια», να ερμηνεύσουν τα «Τεκμήρια» οδηγούμενοι σε «Ιδέες» και τελικά να περιγράψουν τη λειτουργία του «Κόσμου» μέσα από θεωρητικές έννοιες. Ουσιαστικά, τα παιδιά μέσα από τις ερμηνείες των «Τεκμηρίων» οδηγούνται στην έννοια της ευθύγραμμης διάδοσης του φωτός καθώς και τις έννοιες της ανάκλασης, διάχυσης και απορρόφησης. Η

προσπάθεια τους στο τέλος να περιγράψουν «πότε» συμβαίνουν τα φαινόμενα μπορεί να τους οδηγήσει στη μετάβαση από τον «Κόσμο» στις «Ιδέες».

Η έβδομη ενότητα εισάγει την διεξοδική μελέτη του φαινομένου της ανάκλασης και ειδικότερα την κατανόηση του νόμου της ανάκλασης. Για τον σκοπό αυτό και αφού έχουν προταθεί ήδη οι απαραίτητες συνδέσεις μεταξύ «Κόσμου», «Τεκμηρίων» και «Ιδεών» τα παιδιά καλούνται να πραγματοποιήσουν τη μετάβαση $T \rightarrow K$ για πρώτη φορά. Η μετάβαση αυτή προτείνεται μέσα από την παρέμβαση τους στον «Κόσμο» με σκοπό να εμφανίσουν ένα συγκεκριμένο «Τεκμήριο». Καλούνται στην ουσία τα παιδιά να ολοκληρώσουν την 6^η μετάβαση της μεθοδολογίας. Στην περίπτωση αυτή, το «Τεκμήριο» αφορά την εμφάνιση της φωτεινής κηλίδας από ανάκλαση σε συγκεκριμένο σημείο. Μπορούμε να πούμε πως η μετάβαση αυτής της δραστηριότητας έχει σαν σκοπό να εισάγει τα παιδιά στην θεωρητική έννοια του νόμου της ανάκλασης μέσα από μια παρεμβατική διαδικασία.

Στη συνέχεια της έβδομης ενότητας, προτείνονται διαδοχικά η 2^η, 3^η και 4^η μετάβαση, δηλαδή $K \rightarrow T$, $T \rightarrow I$ και $K \rightarrow I$. Οι πειραματικές δραστηριότητες που ακολουθούν, οδηγούν τα παιδιά σε επαναλαμβανόμενες παρεμβάσεις στον υλικό «Κόσμο». Εδώ, οι παρεμβάσεις εμπλουτίζονται με διαδικασίες μέτρησης. Έτσι, οι μαθητές οδηγούνται σε διαδικασίες σύγκρισης, γεγονός που διευκολύνει τη μετάβαση $T \rightarrow I$. Αποτέλεσμα αυτών των πρακτικών είναι η ρητή πλέον κατανόηση του νόμου της ανάκλασης ως μια θεωρητική «Ιδέα» που περιγράφει τη λειτουργία του «Κόσμου». Είναι σημαντικό να τονίσουμε πως οι μαθητές καλούνται να πραγματοποιήσουν τη συγκεκριμένη μετάβαση σύμφωνα με τις οδηγίες του βιβλίου δραστηριοτήτων. Ουσιαστικά, μέσα από τις επιστημονικές πρακτικές που προτείνεται να ακολουθήσουν, τα παιδιά έχουν τη δυνατότητα να κατανοήσουν μια θεωρητική «Ιδέα» καθώς και την περιγραφή λειτουργίας του «Κόσμου» υπό τους όρους των «Ιδεών».

Το 2^ο μάθημα προχωράει στην όγδοη ενότητα όπου εισάγεται το φαινόμενο της διάθλασης. Εδώ τα παιδιά καλούνται να πραγματοποιήσουν την 2^η, 3^η και 4^η μετάβαση για άλλη μια φορά μέσα από τις παρεμβάσεις τους στον «Κόσμο» και την εξαγωγή των αντίστοιχων «Τεκμηρίων». Ωστόσο, παρατηρούμε πως τόσο η μετάβαση $T \rightarrow I$ όσο και η $K \rightarrow I$, προωθούνται κυρίως με τη συμβολή του βιβλίου

δραστηριοτήτων. Εξάλλου, η διάθλαση είναι ένα αρκετά σύνθετο φαινόμενο με αποτέλεσμα να μη περιμένουμε από τα παιδιά να κάνουν τις απαραίτητες συνδέσεις βασισμένα αποκλειστικά στους δικούς τους συλλογισμούς.

Στην ένατη ενότητα, η διδασκαλία προτείνει την πραγματοποίηση για πρώτη φορά της μετάβασης $I \rightarrow T$. Βάσει μιας αναλογίας, όπως αυτή παρουσιάζεται μέσα από το πρόβλημα της χελώνας, οι μαθητές καλούνται να προβλέψουν ένα «Τεκμήριο». Σε αυτό το σημείο εισάγεται με ποιοτικό τρόπο ο νόμος αλλαγής της ταχύτητας του φωτός κατά την κίνηση του σε διαφορετικά διαφανή μέσα. Τα παιδιά, καλούνται να δώσουν τη λύση στο πρόβλημα της χελώνας και στη συνέχεια, μέσα από την περιγραφή του νόμου από το βιβλίο δραστηριοτήτων, προωθείται η μετάβαση $K \rightarrow I$. Εξάλλου, ένα φαινόμενο τόσο σύνθετο όπως αυτό, δεν θα μπορούσε να κατανοηθεί χωρίς την απαραίτητη βοήθεια και καθοδήγηση. Η αμέσως επόμενη δραστηριότητα οδηγεί στην επανάληψη της μετάβασης $I \rightarrow T$, ωστόσο αυτή τη φορά τα παιδιά καλούνται να την ολοκληρώσουν μόνα τους. Πρόκειται για τη δραστηριότητα όπου ζητείται να σχεδιάσουν την πορεία της φωτεινής ακτίνας στην σχηματική αναπαράσταση του φαινομένου της διάθλασης.

Οι επόμενες δραστηριότητες αφορούν κυρίως παρεμβατικές πρακτικές. Πιο συγκεκριμένα, προτείνεται η 6^η μετάβαση $T \rightarrow K$, μέσα από την παρέμβαση τους στον «Κόσμο» με σκοπό την εμφάνιση «Τεκμηρίων». Αυτή η διαδικασία έχει σαν αποτέλεσμα και τη μετάβαση $K \rightarrow T$ αφού τα παιδιά στη συνέχεια των παρεμβάσεων τους καλούνται να εξάγουν νέα «Τεκμήρια». Εδώ, οι παρεμβάσεις τους, υποδηλώνεται πως καθοδηγούνται από τις «Ιδέες» που προώθησαν οι προηγούμενες δραστηριότητες. Οι «Ιδέες» αυτές αφορούν το φαινόμενο της διάθλασης καθώς και το νόμο που περιγράφει την κίνηση του φωτός.

Διαπιστώνουμε έτσι πως, στην αρχή της ενότητας οι δραστηριότητες προτείνουν τις μεταβάσεις $I \rightarrow T$ και $K \rightarrow I$, οι οποίες πραγματοποιούνται σε αναπαραστατικό επίπεδο. Στη συνέχεια βλέπουμε πως συστήνονται παρεμβατικές πρακτικές στον «Κόσμο» και η παραγωγή νέων «Τεκμηρίων». Έχει ενδιαφέρον να προσέξουμε πως, οι δραστηριότητες προτείνουν παρεμβάσεις οι οποίες βασίζονται στις θεωρητικές έννοιες που προώθησαν οι προηγούμενες συνδέσεις σε αναπαραστατικό επίπεδο. Επιπλέον, παρατηρούμε πως στα πλαίσια των δραστηριοτήτων της τελευταίας ενότητας του 2^{ου} Μαθήματος συστήνεται για

πρώτη φορά η πραγματοποίηση και των έξι μεταβάσεων που υποστηρίζει η μεθοδολογία.

5.4.3 3ο Μάθημα

Το τρίτο και τελευταίο μάθημα φέρνει τα παιδιά σε επαφή με τον κόσμο των ειδώλων. Εδώ, καλούνται να διαχειριστούν νέες υλικές οντότητες όπως οι καθρέπτες και οι φακοί ενώ οι έννοιες που περιλαμβάνονται στις οντότητες των «Ιδεών» εμπλουτίζονται (είδωλα, πραγματικά είδωλα, φανταστικά είδωλα, Εστιακή Απόσταση Φακού, Ισχύς Φακού, Ποσοτική διατύπωση Νόμου). Διαπιστώνουμε λοιπόν πως σταδιακά η διδασκαλία κλιμακώνεται τόσο σε επίπεδο παρεμβάσεων όσο και σε αναπαραστατικό επίπεδο. Εδώ, αναμένεται η ολοκλήρωση των περισσότερων σε αριθμό αλλά και είδος μεταβάσεων, γεγονός που η ανάλυση των δραστηριοτήτων έχει επιβεβαιώσει.

Η διδασκαλία ξεκινά με την δέκατη ενότητα, θέτοντας ένα στόχο ο οποίος διαφοροποιείται αναφορικά με τους στόχους που έχουν τεθεί έως τώρα. Πιο συγκεκριμένα, επιχειρείται η αναδόμηση της σχέσης που έχουν δημιουργήσει τα παιδιά στο μυαλό τους όσον αφορά αυτό που βλέπουν με τα μάτια τους και αυτό που πραγματικά υπάρχει. Με τη βοήθεια και τη καθοδήγηση του βιβλίου δραστηριοτήτων και μέσα από ένα πλήθος ερωτήσεων, οι μαθητές οδηγούνται στη μετάβαση $K \rightarrow T$. Ωστόσο, σε αυτή τη διαδικασία, τα «Τεκμήρια» εξάγονται μέσα από τον βιωμένο «Κόσμο» των εμπειριών και όχι από τον κατασκευασμένο «Κόσμο» του εργαστηρίου. Βλέπουμε λοιπόν πως ο «Κόσμος» του επιστημολογικού μοντέλου του Hacking μπορεί να περιλαμβάνει «Τεκμήρια» τα οποία εξάγουμε μέσα από τις εμπειρίες μας και τα οποία μπορούμε στη συνέχεια να επεξεργαστούμε και να ερμηνεύσουμε με διαφορετικό τρόπο. Αυτή η δραστηριότητα στοχεύει σε αυτό ακριβώς το σημείο, στη δυνατότητα ερμηνείας των «Τεκμηρίων» υπό όρους που διαφέρουν.

Προκειμένου να ανασυγκροτήσουν οι μαθητές σε νέες βάσεις τη σχέση που είχαν στο μυαλό τους, το βιβλίο περιγράφει το μοντέλο της όρασης και εισάγει ρητά την έννοια του ειδώλου. Αυτή η διαδικασία προωθεί τη μετάβαση από τις οντότητες του «Κόσμου» στις οντότητες των «Ιδεών» δηλαδή $K \rightarrow I$. Η επόμενη πειραματική δραστηριότητα στοχεύει στην ενίσχυση της νέας σχέσης.

Μέσα από αυτήν, τα παιδιά καλούνται να παρέμβουν στον «Κόσμο», να παράγουν «Τεκμήρια» και να τα ερμηνεύουν, με σκοπό να οδηγηθούν στις «Ιδέες». Με αυτόν τον τρόπο προτείνονται η 2^η και 3^η μετάβαση, δηλαδή $K \rightarrow T$ και $T \rightarrow I$.

Παρατηρούμε πως η δέκατη ενότητα ξεκινά σε επίπεδο αναπαραστάσεων και τελειώνει σε επίπεδο παρεμβάσεων. Ο εργαστηριακός «Κόσμος» είναι παρών και περιλαμβάνει την κεντρική επιστημονική οντότητα που υποστηρίζει ο τίτλος, δηλαδή την έννοια του ειδώλου. Αυτό παρατηρείται σε όλες τις ενότητες, γεγονός που υποδηλώνει πως η κατασκευή του «Κόσμου» προωθείται σε όλο το 3^ο Μάθημα. Επίσης, προτείνονται μεταβάσεις του τύπου $K \rightarrow T$, $T \rightarrow I$ και $K \rightarrow I$. Σε πρώτη φάση, οι μαθητές καλούνται να πραγματοποιήσουν τη μετάβαση $K \rightarrow T$ σε αναπαραστατικό επίπεδο με τη βοήθεια του βιβλίου δραστηριοτήτων ενώ σε δεύτερη φάση έχουν την ευκαιρία να την ολοκληρώσουν μέσα από δικές τους παρεμβάσεις. Η μετάβαση $K \rightarrow I$ βασίζεται αποκλειστικά στο βιβλίο.

Στην ενδέκατη ενότητα προτείνονται μια σειρά από πειραματικές δραστηριότητες οι οποίες προωθούν τη 2^η, 3^η αλλά και τη 4^η μετάβαση, δηλαδή $K \rightarrow T$, $T \rightarrow I$ και $K \rightarrow I$. Οι δραστηριότητες αυτές αφορούν παρεμβάσεις στον «Κόσμο» ο οποίος περιλαμβάνει καθρέπτες και αντικείμενα, τη δημιουργία ειδώλων, τον εντοπισμό των χαρακτηριστικών των ειδώλων, τη μέτρηση («Τεκμήρια»), και τελικά τη σύγκριση η οποία οδηγεί στις «Ιδέες». Οι πρακτικές αυτές, παρέχουν στους μαθητές τη δυνατότητα να διαπραγματευτούν «Τεκμήρια» και «Ιδέες» και να καταλήξουν από κοινού σε συμπεράσματα τα οποία ουσιαστικά περιγράφουν τον «Κόσμο» με θεωρητικούς όρους. Σε αυτό το σημείο, το βιβλίο δραστηριοτήτων προβάλλει ένα σημαντικό χαρακτηριστικό του τρόπου με τον οποίο εργάζονται οι επιστήμονες. Δηλαδή τη διατύπωση των συμπερασμάτων μετά από συναίνεση.

Στην ίδια λογική αναπτύσσεται και η δωδέκατη ενότητα του μαθήματος. Εδώ και πάλι τα παιδιά καλούνται να παρέμβουν στον «Κόσμο» ο οποίος περιλαμβάνει νέες οντότητες (κοίλους και κυρτούς καθρέπτες), να δημιουργήσουν νέα φαινόμενα (είδωλα από κοίλο και κυρτό καθρέπτη), να εξάγουν τα ανάλογα «Τεκμήρια» μέσα από τις παρατηρήσεις τους και τη συμπλήρωση ερωτηματολογίων και στο τέλος να καταλήξουν σε συμπεράσματα

σχετικά με τη σχέση μεγέθους ειδώλου και είδους καθρέπτη, οδηγούμενοι προς τις «Ιδέες». Όλη αυτή η διαδικασία συνιστά την πραγματοποίηση των μεταβάσεων $K \rightarrow T$ και $T \rightarrow I$. Οι γενικεύσεις οι οποίες προωθούνται σχετικά με τη σχέση μεγέθους ειδώλου και είδους καθρέπτη μπορούν να οδηγήσουν στη μετάβαση $K \rightarrow I$. Επιπλέον, παρατηρούμε πως η δραστηριότητα που ζητά από τα παιδιά να σκεφτούν ποιο είδος καθρέπτη χρησιμοποιούν τα αυτοκίνητα, υποδεικνύει τη 5^η μετάβαση $I \rightarrow T$. Η δωδέκατη ενότητα λοιπόν, ξεκινά σε παρεμβατικό επίπεδο, στη συνέχεια προτείνει τη σύνδεση με τις «Ιδέες» και κλείνει με μια δραστηριότητα αναπαραστατικού περιεχομένου.

Παρατηρούμε πως η δέκατη τρίτη ενότητα αρχίζει με τη ρητή εισαγωγή (μέσω του βιβλίου) εννοιών και συγκεκριμένα των πραγματικών και φανταστικών ειδώλων. Ακολούθως, προτείνει παρέμβαση στον «Κόσμο» με τη δημιουργία πραγματικού ειδώλου σε οθόνη και την εξαγωγή «Τεκμηρίων» μέσα από τον εντοπισμό των χαρακτηριστικών του ειδώλου. Με αυτόν τον τρόπο προωθείται η 2^η μετάβασης $K \rightarrow T$. Στη συνέχεια τα παιδιά καλούνται να πραγματοποιήσουν την μετάβαση $T \rightarrow K$, αφού ζητείται από αυτά να παρέμβουν στον «Κόσμο» και να δημιουργήσουν την εμφάνιση συγκεκριμένου «Τεκμηρίου» (είδωλο αναμένου κεριού στην επιφάνεια νερού σε δοχείο). Ακολουθεί μια ακόμη δραστηριότητα η οποία συνιστά μετάβαση του τύπου $T \rightarrow K$ και η οποία αφορά τη δημιουργία πολλαπλών ειδώλων, με τη βοήθεια δύο κάθετων καθρεπτών. Η συγκεκριμένη πειραματική δραστηριότητα δίνει τη δυνατότητα στα παιδιά να οδηγηθούν σε καινούργια «Τεκμήρια» μέσα από την παρέμβαση τους, $K \rightarrow T$, τα οποία στη συνέχεια καλούνται να ερμηνεύουν και να συνδέσουν με τις «Ιδέες» $T \rightarrow I$, δηλαδή τον τρόπο δημιουργίας των πραγματικών ειδώλων. Διαπιστώνουμε πως όλες οι προηγούμενες δραστηριότητες αφορούν κυρίως παρεμβάσεις στον «Κόσμο» είτε με σκοπό την εξαγωγή «Τεκμηρίων» είτε με σκοπό την εμφάνιση τους. Στην ουσία δίνεται η δυνατότητα στα παιδιά ενεργώντας σε επίπεδο παρεμβάσεων να κατανοήσουν βαθύτερα την έννοια του πραγματικού ειδώλου η οποία εισήχθη ρητώς από την αρχή της ενότητας.

Οι υπόλοιπες δραστηριότητες που προτείνονται αφορούν αναπαραστάσεις της έννοιας που σχετίζεται με τον τρόπο δημιουργίας των ειδώλων. Εδώ με τη βοήθεια των μύθων τα παιδιά να προβλέψουν κάποια «Τεκμήρια» (ποιο είδος καθρέπτη χρησιμοποιήθηκε σε κάθε μύθο), δηλαδή να πραγματοποιήσουν την 5^η

μετάβαση $I \rightarrow T$. Στη συνέχεια, οι εξηγήσεις που ζητούνται σχετικά με την επιλογή του «Τεκμηρίου», έχουν σκοπό να οδηγήσουν τους μαθητές στη περιγραφή του «Κόσμου» βάσει της «Ιδέας», δηλαδή στην πραγματοποίηση της 4^{ης} μετάβασης $K \rightarrow I$. Διαπιστώνουμε λοιπόν πως σε αυτήν την ενότητα προτείνεται η πραγματοποίηση όλων των μεταβάσεων. Επιπλέον, υποδηλώνεται πως οι μαθητές έχουν τη δυνατότητα να ολοκληρώσουν μόνοι τους τις προτεινόμενες μεταβάσεις.

Στη δέκατη τέταρτη ενότητα εισάγονται οι φακοί ως μια νέα υλική οντότητα την οποία οι μαθητές καλούνται να διαχειριστούν σε νέες παρεμβάσεις. Αρχικά προτείνεται η δημιουργία νέων φαινομένων (είδωλα φακών), η παρατήρηση, η κατάληξη σε συμπεράσματα (με ποιο τρόπο αλλάζει την πορεία της φωτεινής ακτίνας κάθε φακός) και η εξαγωγή νέων «Τεκμηρίων». Όλη αυτή διαδικασία συνιστά την ολοκλήρωση της 2^{ης} μετάβασης $K \rightarrow T$. Στη συνέχεια προωθείται η 3^η μετάβαση $T \rightarrow I$ μέσα από την αιτιολόγηση συμπερασμάτων και τη σύνδεση τους με τις «Ιδέες» που αφορούν τις ιδιότητες των φακών. Βάσει αυτών των «Ιδεών», τα παιδιά καλούνται να παρέμβουν στον «Κόσμο» και να προκαλέσουν την εμφάνιση ενός συγκεκριμένου «Τεκμηρίου» (εμφάνιση ειδώλου του παραθύρου στον τοίχο), πρακτική που συνιστά την ολοκλήρωση της 6^{ης} μετάβασης $T \rightarrow K$. Η συγκεκριμένη παρέμβαση ωστόσο παρέχει τη δυνατότητα στους μαθητές να εξάγουν νέα «Τεκμήρια», δηλαδή να επαναλάβουν την 2^η μετάβαση $K \rightarrow T$. Σε αυτό το σημείο διαπιστώνουμε πως η διδασκαλία προτείνει πολλαπλές μετρήσεις στοχεύοντας στον εμπλουτισμό των «Τεκμηρίων». Στη συνέχεια τα παιδιά καλούνται να συγκρίνουν τα «Τεκμήρια» προκειμένου να οδηγηθούν στην 3^η μετάβαση $T \rightarrow I$. Η προτεινόμενη μετάβαση ενισχύεται από το βιβλίο δραστηριοτήτων μέσα από τη ρητή εισαγωγή των εννοιών της Εστιακής Απόστασης και Ισχύος του φακού.

Ακολουθεί η περιγραφή του τρόπου με τον οποίο λειτουργούν οι φακοί των ματιών μας, η οποία στην ουσία συνιστά τη 4^η μετάβαση $K \rightarrow I$. Οι δραστηριότητες που προτείνονται στη συνέχεια προωθούν την 5^η μετάβαση $I \rightarrow T$ όπου τα παιδιά καλούνται να προβλέψουν «Τεκμήρια» (είδος φακών) βάσει των «Ιδεών». Η τελευταία δραστηριότητα αφορά μια παρέμβαση με σκοπό την εμφάνιση συγκεκριμένου «Τεκμηρίου», δηλαδή την 6^η μετάβαση $T \rightarrow K$. Κλείνοντας με την δέκατη τέταρτη ενότητα, μπορούμε να πούμε πως σε αυτή

προτείνονται και οι έξι μεταβάσεις που υπαγορεύονται από τη μεθοδολογία. Επίσης, υποδεικνύεται πως τα παιδιά, εκτός από τη 4^η μετάβαση, όλες τις υπόλοιπες, μπορούν να τις πραγματοποιήσουν μόνο τους. Η ενότητα περιλαμβάνει πληθώρα δραστηριοτήτων τόσο σε παρεμβατικό επίπεδο όσο και σε αναπαραστατικό, δίνοντας έτσι τη δυνατότητα στους μαθητές να κατανοήσουν σε βάθος τις επιστημονικές έννοιες που υποστηρίζει η ενότητα.

Η διδακτική πρόταση τελειώνει με τη δέκατη πέμπτη ενότητα. Διαπιστώνουμε πως στο τελευταίο στάδιο της διδασκαλίας, οι μαθητές καλούνται να παράγουν και να διατυπώσουν έναν ποσοτικό νόμο. Οι προτεινόμενες μεταβάσεις κινούνται κυρίως σε παρεμβατικό επίπεδο όπου μέσα από συνδέσεις του τύπου $T \rightarrow K$ και στη συνέχεια $K \rightarrow T$ καλούνται να παρέμβουν στον «Κόσμο» και να εξάγουν πλήθος «Τεκμηρίων». Πρέπει να τονίσουμε το γεγονός πως οι παρεμβάσεις που προτείνονται προϋποθέτουν την πλήρη κατανόηση των «Ιδεών» που προώθησαν οι δραστηριότητες της προηγούμενης ενότητας. Αυτό σημαίνει πως τα πειράματα πραγματοποιούνται βάσει συγκεκριμένης θεωρίας. Επιπλέον, δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στις προσεκτικές μετρήσεις καθώς και την ανάλογη διαχείριση τους με σκοπό την εξαγωγή νέων «Τεκμηρίων». Στη συνέχεια, συστήνεται η σύγκριση των «Τεκμηρίων» και η ανακάλυψη των σχέσεων που τα συνδέει. Αυτή η διαδικασία υποδηλώνει την πραγματοποίηση της 3^{ης} μετάβασης $T \rightarrow I$.

Η τελευταία δραστηριότητα, καλεί τους μαθητές να επιστρέψουν στον «Κόσμο» και να επιχειρήσουν τη διατύπωση ενός ποσοτικού νόμου ο οποίος συνοψίζει και αναπαριστά τη λειτουργία του με θεωρητικούς όρους. Στην ουσία, συστήνεται η 4^η μετάβαση $K \rightarrow I$ η οποία, όπως υποδηλώνεται, οι μαθητές έχουν τη δυνατότητα να την πραγματοποιήσουν αποκλειστικά μόνοι τους.

Σε αυτό ακριβώς το σημείο εντοπίζεται μια από τις σπουδαιότερες διαδικασίες της επιστημονικής δραστηριότητας. Όπως έγινε αντιληπτό μέσα από την ανάλυση και τα αποτελέσματα της, οι μαθητές, έχουν τη δυνατότητα, σύμφωνα με τις ανάλογες παρεμβατικές και αναπαραστατικές μεταβάσεις, να επιτύχουν την πραγματοποίηση μιας από τις σημαντικότερες επιστημονικές πρακτικές.

5.5 Γενική σύνοψη αποτελεσμάτων

Στον Πίνακα 19, συνοψίζονται οι μεταβάσεις που προτείνεται να πραγματοποιηθούν στα πλαίσια της διδασκαλίας της θεματικής ενότητας «Ο Κόσμος της Φωτεινής Ακτίνας».

ΤΙΤΛΟΣ	Κ	Κ→Τ	Τ→Ι	Κ→Ι	Ι→Τ	Τ→Κ
Ο ΚΟΣΜΟΣ ΤΗΣ ΣΚΙΑΣ Ι	✓					
Ο ΚΟΣΜΟΣ ΤΗΣ ΣΚΙΑΣ ΙΙ	✓	✓				
Ο ΚΟΣΜΟΣ ΤΗΣ ΣΚΙΑΣ ΙΙΙ	✓	✓	✓	✓		
Ο ΚΟΣΜΟΣ ΤΗΣ ΣΚΙΑΣ ΙV	✓	✓	✓	✓		
ΜΑΘΑΙΝΟΥΜΕ ΓΙΑ ΤΟ ΛΕΙΖΕΡ	✓					
Ο ΚΟΣΜΟΣ ΤΗΣ ΦΩΤΕΙΝΗΣ ΑΚΤΙΝΑΣ Ι	✓	✓	✓	✓		
Ο ΚΟΣΜΟΣ ΤΗΣ ΦΩΤΕΙΝΗΣ ΑΚΤΙΝΑΣ ΙΙ	✓	✓	✓	✓		✓
Ο ΚΟΣΜΟΣ ΤΗΣ ΦΩΤΕΙΝΗΣ ΑΚΤΙΝΑΣ ΙΙΙ	✓	✓	✓	✓		
Ο ΚΟΣΜΟΣ ΤΗΣ ΦΩΤΕΙΝΗΣ ΑΚΤΙΝΑΣ ΙV	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Ο ΚΟΣΜΟΣ ΤΩΝ ΕΙΔΩΛΩΝ Ι	✓	✓	✓	✓		
Ο ΚΟΣΜΟΣ ΤΩΝ ΕΙΔΩΛΩΝ ΙΙ	✓	✓	✓	✓		
Ο ΚΟΣΜΟΣ ΤΩΝ ΕΙΔΩΛΩΝ ΙΙΙ	✓	✓	✓	✓	✓	
Ο ΚΟΣΜΟΣ ΤΩΝ ΕΙΔΩΛΩΝ ΙV	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Ο ΚΟΣΜΟΣ ΤΩΝ ΕΙΔΩΛΩΝ V	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Ο ΚΟΣΜΟΣ ΤΩΝ ΕΙΔΩΛΩΝ VI	✓	✓	✓	✓		✓

Πίνακας 19. Συνοπτικός πίνακας μεταβάσεων στον «Κόσμο της Φωτεινής Ακτίνας»

Παρατηρούμε πως σε όλα τα μαθήματα προωθείται η κατασκευή «Κόσμου» από τους μαθητές, ο οποίος περιλαμβάνει την επιστημονική οντότητα

που υποστηρίζει ο τίτλος του κάθε μαθήματος. Ειδικά στις πρώτες ενότητες του 1^{ου} και 2^{ου} Μαθήματος, είναι η μόνη μετάβαση που προωθείται. Όσον αφορά την 2^η $K \rightarrow T$, μπορούμε να δούμε πως αυτή προτείνεται σε όλες τις υπόλοιπες ενότητες του διδακτικού υλικού. Αυτό, προβάλλει το γεγονός πως η πρακτική παρεμβάσεων στον «Κόσμο» και στη συνέχεια η εξαγωγή «Τεκμηρίων» από αυτόν, κρίνεται ως μια πρακτική την οποία τα παιδιά έχουν τη δυνατότητα να εφαρμόσουν με επιτυχία. Επιπλέον, οι δραστηριότητες που προωθούν την 1^η και 2^η μετάβαση, υποδεικνύουν πως οι μαθητές καλούνται να τις πραγματοποιήσουν μόνοι τους.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της ανάλυσης, η 3^η μετάβαση $T \rightarrow I$, προτείνεται μέσα από αρκετές δραστηριότητες. Συγκεκριμένα, σε όλες τις ενότητες εκτός από τις δυο πρώτες καθώς και στην εισαγωγική του 2^{ου} μαθήματος. Βέβαια, στο πρώτο μάθημα (Ο Κόσμος της Σκιάς), τα παιδιά καλούνται να πραγματοποιήσουν αυτή τη μετάβαση αποκλειστικά με τη βοήθεια και τη καθοδήγηση του εκπαιδευτικού. Κάτι τέτοιο είναι αναμενόμενο αφού βρισκόμαστε στην αρχή της διδασκαλίας. Ουσιαστικά, το 1^ο Μάθημα, πέρα από τους ειδικούς στόχους που θέτει, επιχειρεί να εισάγει τους μαθητές στον εργαστηριακό «Κόσμο» καθώς και στις οντότητες των «Τεκμηρίων» και των «Ιδεών». Μπορούμε λοιπόν να κατανοήσουμε για ποιο λόγο προτείνονται σε αυτό οι λιγότερες μεταβάσεις. Στις υπόλοιπες ενότητες, η ανάλυση των δραστηριοτήτων έδειξε πως, τις περισσότερες φορές, τα παιδιά έχουν τη δυνατότητα να πραγματοποιήσουν τη μετάβαση $T \rightarrow I$ μόνοι τους, ενώ σε κάποιες περιπτώσεις υποδεικνύεται πως κάτι τέτοιο προϋποθέτει τη βοήθεια του βιβλίου.

Συνεχίζοντας, παρατηρούμε πως η 4^η μετάβαση προτείνεται επίσης στις περισσότερες ενότητες του διδακτικού υλικού. Μέσα από τις δραστηριότητες που προωθούν την 4^η μετάβαση $K \rightarrow I$, γίνεται αντιληπτό πως οι μαθητές καλούνται κάποιες φορές να την πραγματοποιήσουν μόνοι τους ενώ υπάρχουν και περιπτώσεις που αυτό γίνεται με τη βοήθεια του βιβλίου. Για παράδειγμα, οι περιγραφές των μοντέλων που αφορούν την αλλαγή της ταχύτητας του φωτός, τη λειτουργία της όρασης, τη δημιουργία των ειδώλων κ.τ.λ., είναι συνδέσεις που δεν εφικτό να πραγματοποιηθούν χωρίς τη ρητή εξήγηση και περιγραφή τους. Στην ουσία, η μετάβαση $K \rightarrow I$ παρέχει τη δυνατότητα στα παιδιά να αντιληφθούν τον τρόπο με τον οποίο προβαίνουμε στη θεωρητική περιγραφή λειτουργίας του

«Κόσμου».

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης έδειξαν πως η 5^η μετάβαση I→T προωθείται σε περιορισμένο αριθμό ενότητων. Πιο συγκεκριμένα, στην τελευταία ενότητα του 2^{ου} Μαθήματος «Ο Κόσμος της Φωτεινής Ακτίνας IV» και σε τρεις ενότητες του 3^{ου} Μαθήματος. Η 6^η μετάβαση T→K όπως αυτή υποστηρίζεται από τη μεθοδολογία, αφορά μια παρεμβατική πρακτική σύμφωνα με την οποία, οι μαθητές καλούνται να παρέμβουν στον «Κόσμο» με σκοπό την εμφάνιση συγκεκριμένων «Τεκμηρίων». Αυτού του είδους οι συνδέσεις προτείνονται σε λίγες μόνο ενότητες και συγκεκριμένα στην 7^η και 9^η ενότητα του 2^{ου} Μαθήματος καθώς και στις 13^η, 14^η και 15^η του 3^{ου} Μαθήματος, οι οποίες είναι και οι τελευταίες της διδακτικής πρότασης..

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6ο : ΣΥΖΗΤΗΣΗ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ –ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΕΠΕΚΤΑΣΗΣ

6.1 Συζήτηση - Συμπεράσματα

Συζητώντας τα αποτελέσματα της ανάλυσης, μπορούμε να υποστηρίξουμε πως το διδακτικό υλικό της θεματικής ενότητας «Ο Κόσμος της Φωτεινής Ακτίνας» περιλαμβάνει ποικιλία δραστηριοτήτων, τόσο στο επίπεδο των παρεμβάσεων όσο και σε αυτό των αναπαραστάσεων. Πιο συγκεκριμένα, με μεγαλύτερη συχνότητα προτείνονται δραστηριότητες που αφορούν παρεμβατικές πρακτικές και προωθούν την κατασκευή του «Κόσμου» K και τη μετάβαση $K \rightarrow T$, τις οποίες οι μαθητές συστήνεται να πραγματοποιήσουν αποκλειστικά μόνοι τους. Κάτι τέτοιο υποδηλώνει το γεγονός πως τα παιδιά που φοιτούν στο γυμνάσιο, έχουν τη δυνατότητα να εργάζονται σε παρεμβατικό επίπεδο, δηλαδή να διαχειρίζονται οντότητες του υλικού «Κόσμου», να κατασκευάζουν φαινόμενα καθώς επίσης και να εξάγουν «Τεκμήρια» βάσει των παρεμβάσεων τους.

Επίσης, με μεγάλη συχνότητα εμφανίζονται οι μεταβάσεις $T \rightarrow I$ και $K \rightarrow I$ μόνο που εδώ, αρκετές φορές, οι μεταβάσεις αυτές προωθούνται με τη βοήθεια του βιβλίου ή του εκπαιδευτικού. Κάτι τέτοιο υποδηλώνει πως οι μαθητές, όταν περνούν πλέον σε καθαρά αναπαραστατικό επίπεδο, χρειάζονται καθοδήγηση προκειμένου να πραγματοποιήσουν τις ανάλογες συνδέσεις.

Με μικρότερη συχνότητα αναγνωρίζονται οι μεταβάσεις $I \rightarrow T$ και $T \rightarrow K$. Η μετάβαση $I \rightarrow T$ πραγματοποιείται σε αναπαραστατικό επίπεδο ενώ η $T \rightarrow K$ σε παρεμβατικό. Ωστόσο, και οι δύο προϋποθέτουν την ουσιαστική κατανόηση των επιστημονικών ιδεών. Μπορούμε να υποστηρίξουμε πως σε αυτό ακριβώς το σημείο εντοπίζεται η μεγαλύτερη δυσκολία όσον αφορά την προώθηση του επιστημονικού τρόπου σκέψης στους μαθητές. Όσον αφορά τη μετάβαση $I \rightarrow K$, αυτή απουσιάζει πλήρως από τη μεθοδολογία για τους λόγους που έχουν ήδη αναφερθεί στην αντίστοιχη ενότητα.

Όπως γίνεται αντιληπτό από τα παραπάνω, υπάρχει μια φθίνουσα συχνότητα προώθησης των μεταβάσεων, πλησιάζοντας προς τις δύο τελευταίες ($I \rightarrow T$ και $T \rightarrow K$), βάσει της σειράς που εμφανίζονται στη μεθοδολογία. Παρόλα αυτά, στο σύνολο τους, οι δραστηριότητες προτείνουν όλες τις υπόλοιπες μεταβάσεις,

γεγονός που μας οδηγεί να υποστηρίξουμε πως το διδακτικό υλικό είναι συνεπές ως προς το επιστημολογικό μοντέλο το οποίο καθόρισε το σχεδιασμό του. Δηλαδή, η απάντηση στο 1^ο ερευνητικό ερώτημα: « Είναι το εκπαιδευτικό υλικό συνεπές ως προς ως προς το επιστημολογικό μοντέλο το οποίο οι συγγραφείς του υποστηρίζουν ότι έχουν ακολουθήσει;», είναι θετική. Όσον αφορά το 2^ο ερευνητικό ερώτημα: « Αν δεν είναι, ποιες ασυνέπειες εντοπίζονται και τελικά ποιο επιστημολογικό μοντέλο ακολουθούν οι συγγραφείς;», θα είχε νόημα να διερευνηθεί αν η απάντηση στο 1^ο ερευνητικό ερώτημα ήταν αρνητική.

Σύμφωνα με τα παραπάνω, το διδακτικό υλικό του «Ο Κόσμος της Φωτεινής Ακτίνας», μπορεί να ενισχύσει την αλληλεπίδραση των μαθητών με τις οντότητες του υλικού κόσμου και παράλληλα να αναπτύξει την κατανόηση τους για τις αναπαραστάσεις που προωθεί ο επιστημονικός τρόπος σκέψης. Τα ευρήματα της παρούσας ανάλυσης έρχονται σε συμφωνία με τα αντίστοιχα ευρήματα των ερευνών που πραγματοποίησαν οι Papadopoulou & Ntinolazou και οι Psillos, Tselfes & Kariotoglou, όπως αυτές παρουσιάστηκαν σε προηγούμενη ενότητα. Το γεγονός αυτό επιβεβαιώνει το δυναμικό χαρακτήρα του επιστημολογικού μοντέλου CEI του Hacking και τη χρησιμότητα του ως εργαλείο για το σχεδιασμό αλλά και την ανάλυση διδακτικών υλικών που προωθούν με επιτυχία τις επιστημονικές πρακτικές σε εκπαιδευτικά πλαίσια.

Συνοψίζοντας τις επιστημολογικές υποθέσεις που υποστήριξε το διδακτικό υλικό, μπορούμε να σχολιάσουμε τα εξής βασικά σημεία:

1^ο) Η οργάνωση του περιεχομένου καθώς και η πρόταση για τη διδασκαλία του, αναπτύχθηκε γύρω από τον «Κόσμο της Φωτεινής Ακτίνας». Η επιλογή αυτή βασίστηκε στην υπόθεση πως οι ιδέες μας για το φυσικό κόσμο αναδύονται κυρίως μέσα από τις σχέσεις μας μαζί του. Αυτές οι σχέσεις αναπτύσσονται είτε σε παρεμβατικό επίπεδο (κατασκευάζουμε και παρεμβαίνουμε στον Κόσμο) είτε σε αναπαραστατικό επίπεδο (αναπαριστούμε, περιγράφουμε, ερμηνεύουμε τον Κόσμο). Οι μαθητές, στα πλαίσια της διδασκαλίας, έχουν την ευκαιρία να αλληλοεπιδράσουν με τον υλικό κόσμο, να παρέμβουν σε αυτόν και να τον αναπαραστήσουν, τόσο με παρατηρησιακούς όσο και με θεωρητικούς όρους, επιτυγχάνοντας με αυτόν τον τρόπο τη σύνδεση του με τις αντίστοιχες επιστημονικές Ιδέες.

2^ο) Μέσα από τις συζητήσεις που προωθούνται καθώς και τις προσπάθειες για συναίνεση, προβάλλεται το γεγονός πως οι Ιδέες μας για τον φυσικό κόσμο οργανώνονται μέσα σε επικοινωνιακά πλαίσια. Με αυτόν τον τρόπο, καλλιεργείται η αντίληψη πως η επιστήμη αναπτύσσεται σε συνεργασία αλλά και επικοινωνία μεταξύ των ερευνητών.

3^ο) Οι συζητήσεις όσον αφορά τη διαφοροποίηση των αναπαραστάσεων, αναδεικνύει το γεγονός πως στην επιστήμη δεν υπάρχουν τελικά σωστές ή λανθασμένες αναπαραστάσεις. Υπάρχει μια ποικιλία αναπαραστάσεων οι οποίες διαμορφώνονται σύμφωνα με τις παρεμβάσεις μας και τις Ιδέες που αναπτύσσουμε.

4^ο) Οι πειραματικές δραστηριότητες που προτείνονται, δίνουν τη δυνατότητα στους μαθητές, να αντιληφθούν τη σπουδαιότητα των εργαστηριακών οργάνων στην επιστημονική έρευνα. Αυτό σημαίνει πως η επιστημονική παραγωγή σε Ιδέες και τεχνήματα εξαρτάται από τα όργανα που διαμεσολαβούν τη σχέση μας με τις υλικές οντότητες. Η χρήση διαφορετικών οργάνων μπορεί να οδηγήσει σε διαφορετικές Ιδέες και τεχνήματα.

5^ο) Στα πλαίσια της διδασκαλίας, προωθούνται οι εξηγήσεις σχετικά με τον τρόπο με τον οποίο πραγματοποιούνται με επιτυχία οι παρεμβάσεις, δηλαδή η συζήτηση των πρακτικών. Το γεγονός αυτό στην επιστημονική δραστηριότητα αντανακλά το κομμάτι της μεθοδολογίας. Με αυτόν τον τρόπο, τα παιδιά, μπορούν να κατανοήσουν πως οι πρακτικές που ακολουθούμε επηρεάζουν τις Ιδέες και οι Ιδέες με τη σειρά τους επηρεάζουν τις πρακτικές.

Η Διδακτική των Φυσικών Επιστημών έχει επισημάνει πως η ανάπτυξη της επιστημονικής κατανόησης από τους μαθητευόμενους συνεπάγεται την κατανόηση τόσο των πρακτικών, όσο και των αναπαραστάσεων που προωθεί η επιστημονική έρευνα. Στην παρούσα εργασία, το επιστημολογικό μοντέλο CEI του Ian Hacking, υποδεικνύεται ως ένα σημαντικό εργαλείο για την επίτευξη αυτού του στόχου. Προσαρμοσμένο σε εκπαιδευτικά πλαίσια, συνδέει το σχολικό περιεχόμενο των Φυσικών Επιστημών με την επιστημονική δραστηριότητα και μπορεί να οδηγήσει τους μαθητές από τη μάθηση των πρακτικών στη μάθηση των επιστημονικών ιδεών.

6.2 Περιορισμοί

Ο κύριος περιορισμός της παρούσας ανάλυσης, συνίσταται στο γεγονός πως αυτή πραγματοποιήθηκε σε θεωρητικό επίπεδο. Η έρευνα σχετικά με το είδος αλλά και το ποσοστό των συνδέσεων που προτείνει ο επιστημολογικός σχεδιασμός του υλικού, βασίστηκε στη θεωρητική ανάλυση του βάσει των βημάτων που καθόρισε η μεθοδολογία. Αυτό σημαίνει πως το προϊόν της έρευνας δεν προήλθε από την ανάλυση του υλικού βάσει εμπειρικών δεδομένων. Σε μια τέτοια περίπτωση, είναι προφανές πως η δομή της έρευνας θα έπρεπε να ακολουθήσει ένα διαφορετικό, πιο σύνθετο σχεδιασμό, γεγονός που θα επηρέαζε και την έκταση της.

6.3 Προτάσεις προέκτασης

Όσον αφορά κάποιες μελλοντικές προτάσεις, θα είχε μεγάλο ενδιαφέρον, η διεξαγωγή μιας έρευνας στα πλαίσια εφαρμογής της εκπαιδευτικής πρότασης σε πραγματικό εκπαιδευτικό περιβάλλον. Βέβαια, όπως έχει ήδη σχολιαστεί σε προηγούμενο κεφάλαιο, το εκπαιδευτικό υλικό δοκιμάστηκε και αξιολογήθηκε πιλοτικά στο πλαίσιο του ΠΕΜ. Ωστόσο, η αξιολόγηση που πραγματοποιήθηκε, δεν αφορούσε τη συνέπεια των επιστημολογικών δεσμεύσεων του διδακτικού υλικού, ούτε τη διερεύνηση ολοκλήρωσης των αναμενόμενων συνδέσεων που προτείνει το CEI μοντέλο του Hacking.

Τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας, παρέχουν σημαντικές πληροφορίες ως προς τις συνδέσεις που προωθεί το διδακτικό υλικό, τόσο σε παρεμβατικό όσο και σε αναπαραστατικό επίπεδο. Τα δεδομένα αυτά μπορούν να αποτελέσουν τον οδηγό για μια περαιτέρω μελέτη σε πραγματικά εκπαιδευτικά περιβάλλοντα, όσον αφορά την αποτελεσματικότητα της συγκεκριμένης διδακτικής πρότασης στη διαδικασία της μάθησης στο πεδίο της Οπτικής, σε παιδιά Γυμνασίου.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΕΛΛΗΝΟΓΛΩΣΣΗ

Βιρβιδάκης, Σ., Καρασμάνης, Β., Τουρνά, Χ. (2019). *Αρχές Φιλοσοφίας*, Ι.Τ.Υ.Ε., Διόφαντος.

Δρακόπουλος, Σ., Γκότσης, Γ., & Γριμάνη, Α. (2015). *Φύση, λειτουργία της επιστήμης και σύντομη ιστορική αναδρομή* (Κεφάλαιο). Στο Δρακόπουλος, Σ., Γκότσης, Γ., & Γριμάνη, Α. 2015. *Μεθοδολογία κοινωνικών και οικονομικών επιστημών* (Προπτυχιακό εγχειρίδιο). Κάλλιπος, Ανοικτές Ακαδημαϊκές Εκδόσεις.

Ζουπίδης, Α. (2012). *Διδασκαλία και μάθηση με τη χρήση μοντέλων φυσικών επιστημών και τεχνολογίας: Εφαρμογή στα φαινόμενα της πλεύσης και της βύθισης* (Διδακτορική Διατριβή, Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας), Διαθέσιμο από: Εθνικό Αρχείο Διδακτορικών Διατριβών.

Καριώτογλου, Π., Κορομπίλης, Κ., Κουμαράς, Π. (1997). «Εξακολουθούν να είναι επίκαιρες οι Ανακαλυπτικές Μέθοδοι Διδασκαλίας;», *Σύγχρονη Εκπαίδευση*, τεύχος 92, 52-61

Καριώτογλου, Π. (2021). Ο Διδακτικός Μετασχηματισμός Περιεχομένου και η Αναγκαιότητα του στη Διδακτική Φυσικών Επιστημών: ζητήματα, ευρήματα και προτάσεις. *Έρευνα για την Εκπαίδευση στις Φυσικές Επιστήμες και την Τεχνολογία*, 1(1), 39-62.

Καριώτογλου, Π., Σπύρτου, Α., Πνευματικός, Δ., Ζουπίδης, Α. (2012). Σύγχρονες τάσεις στα Προγράμματα Σπουδών Φυσικών Επιστημών: οι περιπτώσεις της διερεύνησης και των επισκέψεων σε χώρους επιστήμης και τεχνολογίας στο Πρόγραμμα “Materials Science” *Θέματα Επιστημών και Τεχνολογίας στην Εκπαίδευση*, 5(1-2), 153-164.

Καριώτογλου, Π., Τσελφές, Β. (2000). Αναλυτικά προγράμματα φυσικών επιστημών Επιστημολογική, Διδακτική και Θεσμική Προσέγγιση, *Επιθεώρηση Φυσικής*, τεύχος 31.

- Κόκκοτας, Π. (1998). *Σύγχρονες Προσεγγίσεις στη Διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών*. 2^η Εκδ. Αθήνα.
- Κόκκοτας, Π. (1999). *Διδακτική των Φυσικών Επιστημών*. Αθήνα: Γρηγόρη
- Ματθαίου, Δ. (2002). Ο μορφωτικός ρόλος των φυσικών επιστημών στην υπηρεσία της διαμόρφωσης του πολίτη. Μία πρόκληση στις καθιερωμένες αντιλήψεις για τα σχολικά προγράμματα σπουδών: *Ρέθυμνο, 3^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Διδακτικής Φυσικών Επιστημών και Εφαρμογή Νέων Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση*.
- Μόγιας, Α. (2012). Ιστορική αναδρομή στη Διδακτική των Φυσικών Επιστημών και την Περιβαλλοντική Εκπαίδευση: Σχέση ανταγωνισμού ή συνεργασίας; Το παράδειγμα της «Εκπαίδευσης στα Υδάτινα Περιβάλλοντα» *Θέματα Επιστημών και Τεχνολογίας στην Εκπαίδευση*, 5(1-2), 113-125, 2012
- Μουρέλος, Γ. (1991). *Θεμελιώδης έννοιες της σύγχρονης φιλοσοφίας και επιστημολογίας*. Θεσσαλονίκη: Βάνιας.
- Μπενιάτα, Π. Ε. (2011). *Επιστημονικός και Τεχνολογικός Γραμματισμός: Διαμόρφωση Παιδαγωγικού Πλαισίου διερεύνησης Κοινωνικο-επιστημονικών θεμάτων στις τελευταίες τάξεις του Δημοτικού Σχολείου* (Διδακτορική Διατριβή, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών), Διαθέσιμο από: Εθνικό Αρχείο Διδακτορικών Διατριβών.
- Μπιτσάκης, Ε. (1987). Επιστημολογία: Ορισμός, Ρεύματα και Λειτουργία, *Ελληνική Φιλοσοφική Επιθεώρηση*, 4, (1987), 127-145
- Πάπαρου, Φ. (2012). *Η αξιοποίηση της Ιστορίας και της Φιλοσοφίας της Επιστήμης στη Διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών* (Διδακτορική Διατριβή, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών), Διαθέσιμο από: Εθνικό Αρχείο Διδακτορικών Διατριβών.
- Σκορδούλης, Κ., & Στεφανίδου, Κ. (2021). *Διδακτική Μεθοδολογία των Φυσικών Επιστημών. Θεωρία και πρακτική*, Προπομπός.
- Σπυροπούλου-Κατσάνη Δ. (2005). *Διδακτικές και Παιδαγωγικές Προσεγγίσεις στις Φυσικές Επιστήμες*. Αθήνα: Τυπωθήτω

Στεφανίδου, Κ. (2013). *Ο Ρόλος της Ιστορίας και Φιλοσοφίας των Φυσικών Επιστημών στη Διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών: διαδικασίες διδασκαλίας και μάθησης της φύσης της επιστήμης :νόμοι- μοντέλα- θεωρίες μέσα από την ιστορία του ηλεκτρισμού* (Διδακτορική Διατριβή, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών), Διαθέσιμο από: Εθνικό Αρχείο Διδακτορικών Διατριβών.

Τσελφές, Β. (2003). *Φυσικές Επιστήμες: Διδασκαλία και Εκπαίδευση, σειρά. Κλειδιά και Αντικλείδια*, Αθήνα, ΥΠΕΠΘ-Πανεπιστήμιο Αθηνών

Τσελφές, Β. (2003). *Μια πρόταση για τη διδασκαλία των Εργαστηριακών Φυσικών Επιστημών στηριγμένη στην κατά I. Hacking προσέγγιση της «εσωτερικής ζωής» τους*, στο Κ. Σκορδούλης & Λ. Χαλκιά (Επιμ.), *Η συμβολή της Ιστορίας και της Φιλοσοφίας των Φυσικών Επιστημών στη Διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών*, Αθήνα: ΠΤΔΕ, ΕΚΠΑ, 259-271

Τσελφές, Β., Φασουλόπουλος, Γ. και Έψιμος, Γ. (2004). *Κόσμοι της Φυσικής: Θερμόμετρα, Φωτεινές Ακτίνες και Ηλεκτρικά Κυκλώματα. Οδηγίες για τους Εκπαιδευτικούς*. Στο πλαίσιο του ΠΕΜ, Αθήνα

Τσελφές, Β., Φασουλόπουλος, Γ. και Έψιμος (2004). *Κόσμοι της Φυσικής: Θερμόμετρα, Φωτεινές Ακτίνες και Ηλεκτρικά Κυκλώματα. Δραστηριότητες για τους μαθητές της Β και Γ τάξης του Γυμνασίου*. Στο πλαίσιο του ΠΕΜ, Αθήνα

Τσελφές, Β. (2007). *Διδακτική και διδασκαλία-μάθηση Φυσικών Επιστημών: Αναπαράσταση έναντι παρέμβασης; Διδακτική Φυσικών Επιστημών και Νέες Τεχνολογίες στην Εκπαίδευση (Πρακτικά Συνεδρίου)*. Τεύχος Α

Τσελφές, Β., Αντωνιάδου, Ν., Έψιμος, Γ., Καρυώτογλου, Π., Πατσαδάκης, Μ., Φασουλόπουλος, Γ., & Ψύλλος, Δ. (2008). *Ανάπτυξη Εκπαιδευτικού υλικού για τη διδασκαλία- μάθηση Φυσικών Επιστημών σε μειονοτικούς μαθητές των γυμνασίων της Θράκης*. Στο, Θ. Δραγώνα & Α. Φραγκουδάκη (Επιμ), *Πρόσθεση, όχι αφαίρεση. Πολλαπλασιασμός, όχι διαίρεση*. Αθήνα: Μεταίχμιο, 327-348

Τσελφές, Β. (2016). *Τα εκπαιδευτικά υλικά στη σχέση εκπαιδευτικών - μαθητών: η μετάβαση από τη σχολική στην επιστημονική κουλτούρα*, 2ο Πανελλήνιο

Συνέδριο «Το εκπαιδευτικό υλικό στα Μαθηματικά και το εκπαιδευτικό υλικό στις Φυσικές Επιστήμες».

Τσελφές, Β. (2021). Γενικότερα Εκπαιδευτικά Ζητήματα που Αναδύονται μέσα από την Έρευνα στη Διδακτική των Φυσικών Επιστημών. Έρευνα για την Εκπαίδευση στις Φυσικές Επιστήμες και την Τεχνολογία, 1(1), 11-132

Τσελφές, Β., & Παρούση, Α. (2016). Θέατρο και επιστήμη στην εκπαίδευση. Αθήνα: Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών

Τσιάλμα, Π. (2012). Η Διερευνητική Προσέγγιση στις Φυσικές Επιστήμες, Διπλωματική Εργασία, Θεσσαλονίκη Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.

Χαλικιάς, Μ. (χ.χ.). Διδακτικές Σημειώσεις Μαθήματος «Μεθοδολογία Έρευνας για Διοικητικά Στελέχη» - Ενότητα: Επιστημολογία και Φιλοσοφικά Ρεύματα. Τμήμα Διοίκησης Επιχειρήσεων, Ανώτατο Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Πειραιά Τεχνολογικού Τομέα.

Ψύλλος, Δ., Κουμαράς, Π., Καριώτογλου, Π. (1993). «Εποικοδόμηση της μάθησης στην τάξη με συνέρευνα δασκάλου και μαθητή», Σύγχρονη Εκπαίδευση, 70, 34-42

ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ

Aubusson, P., Panizzon, D., & Corrigan, D. (2016). Science Education Futures: Great Potential. Could do Better. Needs to Try Harder. *Research in Science Education*, 46, 203-221

Chalmers, A.F., (2000). Τι είναι αυτό που το λέμε Επιστήμη. 4^η Εκδ. Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης.

Driver, R., Guesne, E., Tiberghien, A. (1993). «Οι ιδέες των παιδιών στις Φυσικές Επιστήμες», Ένωση Ελλήνων Φυσικών, Τροχαλία, Αθήνα.

Duit, R. (2007). Science Education Research Internationally: Conceptions, Research Methods, Domains of Research *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education*, 3(1), 3-15

Eco, U., Fedriga, R. (Eds) (2018). *Η Ιστορία της Φιλοσοφίας*, Ελληνικά Γράμματα.

Galison P., (1988). History, Philosophy, and the Central Metaphor, *Science in Context* 2, 1, pp 197-212.

Hacking, I. (1992). The self – vindication of the laboratory sciences. In A. Pickering (Ed.), *Science as practice and culture*. Chicago: The University Chicago Press.

Hacking, I. (2002). *Αναπαριστώντας και Παρεμβαίνοντας*, Αθήνα. Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Ε.Μ.Π.,

Kallery, M., Psillos, D., Tselfes, V. (2009). Typical Didactical Activities in the Greek Early-Years Science Classroom: Do they promote science learning?. *International Journal of Science Education*, 2009 31 (09), pp. 1187-1204

Kuhn T., (1962). *Η Δομή των Επιστημονικών Επανάστασεων*. Η Εκδ. Σύγχρονα Θέματα.

Meheut, M., & Psillos, D. (2004b). Teaching–learning sequences: aims and tools for science education research. *International Journal of Science Education*, 26(5), 515–535.

Millar, R. (2015). Experiments. *Encyclopedia of science education*, 418-9.

Osborne, J. (2007). *Science Education for the Twenty First Century*. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 3(3).

Papadopoulou, P., & Ntinolazou, C. (2019). The Ideas-Cosmos-Evidence model and the teaching of the Evolution Theory: A first approach. *Teaching-Learning Sequences aw innovations for Science Teaching and learning*, 674.

Psillos, D., & Kariotoglou, P. (2016). Theoretical issues related to designing and developing teaching-learning sequences: *Iterative design of teaching-learning sequences: Introducing the Science of Materials in European Schools*, 11-34

Psillos, D., & Niedderer, H. (2006b). *Teaching and Learning in the Science Laboratory*. Springer Science & Business Media.

Psillos, D., Tselves, V., Kariotoglou, P. University of Thessaloniki, University of Athens, Greece, An epistemological analysis of the evolution of didactical activities in teaching-learning sequences: the case of fluids INT. J. SCI. EDUC., 16 APRIL 2004, VOL. 26, NO. 5, 555–578

Ράσσελ, Μ. (1963). *Η επιστήμη και ο άνθρωπος*. Αρσενίδης.

Simons, M., & Vagelli, M. (2021). Were experiments ever neglected? Ian Hacking and the history of philosophy of experiment. *Philosophical Inquiries*, 9(1).

Vagelli, M., & Setaro, M. (2021). Introduction. Ian Hacking and the Historical Reason of the Sciences. *Philosophical Inquiries*, 9(1), 115-120.