

ΠΤΥΧΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗΣ ΔΙΔΑΣΚΑΛΙΑΣ ΤΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΣΤΗΝ ΥΠΟΧΡΕΩΤΙΚΗ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΣΤΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΤΗΣ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗΣ

Αναστάσιος Ζουπίδης¹, Βασίλης Τσελφές², Πέτρος Καριώτογλου³

¹Επίκ. Καθηγητής ΠΤΔΕ ΔΠΘ, ²Ομότιμος Καθηγητής ΕΚΠΑ, ³Ομότιμος Καθηγητής
ΠΔΜ

azoupidis@eled.duth.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εργασία αυτή αναλύουμε ποιοτικά, τέσσερις περιπτώσεις επιτυχούς εφαρμογής Διδακτικών-Μαθησιακών Ακολουθιών (DMA), ως προς τα χαρακτηριστικά των εργαστηριακών δραστηριοτήτων με τις οποίες εμπλέκουν τους εκπαιδευόμενους. Η ανάλυση στηρίζεται στην «ταξινόμια των οντοτήτων της εργαστηριακής πρακτικής», του Ian Hacking, όπως μετασχηματίστηκε και χρησιμοποιήθηκε σε διδακτικό-μαθησιακό πλαίσιο. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι οι διδακτικές προσεγγίσεις της διερεύνησης προμοδοτούν την εργαστηριακή έναντι της θεωρητικής «μορφή ζωής» της επαγγελματικής επιστήμης, με τις θεωρητικές οντότητες να προσεγγίζονται κυρίως μέσω αισθητών τεκμηρίων παρά μέσω αφηρημένων ιδεών ή μαθηματικών μεταβλητών.

Λέξεις κλειδιά: εργαστηριακές επιστήμες, εργαστηριακή διδασκαλία της φυσικής, διδακτικές προσεγγίσεις της διερεύνησης

Αναφορά: Ζουπίδης Α., Τσελφές, Β., & Καριώτογλου, Π. (2025). Πτυχές Εφαρμογής της Εργαστηριακής Διδασκαλίας της Φυσικής στην Υποχρεωτική Εκπαίδευση στο Πλαίσιο της Διερεύνησης, στο Κώτσης Κ.Θ. & Στύλος Γ., (Επιμέλεια), Πείραμα και Διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών, Επετειακός Τόμος για τα 40 χρόνια του ΠΤΔΕ Ιωαννίνων, Εργαστήριο Εκπαίδευσης και Διδασκαλίας της Φυσικής, Πανεπιστημίου Ιωαννίνων. ISBN: 978-618-82063-5-9

ASPECTS OF PHYSICS LABORATORY TEACHING IMPLEMENTATION IN COMPULSORY EDUCATION IN THE CONTEXT OF INQUIRY

Anastasios Zoupidis¹, Vasilis Tselfes², Petros Kariotoglou⁵

¹Assistant Professor DPLE DUTH, ²Emeritus Professor NKUA, ³Emeritus Professor
UoWM

azoupidis@eled.duth.gr

ABSTRACT

In this paper, we qualitatively analyze four cases of successful Teaching-Learning Sequences (TLSs) implementation, focusing on the features of the laboratory practices that the learners participate in. Ian Hacking's "taxonomy of the entities of laboratory practice", as transformed and used in a teaching-learning context, serves as the foundation for the analysis. The findings demonstrate that inquiry-based teaching approaches prioritize the laboratory over professional science's theoretical "form of life", approaching theoretical entities primarily through perceptible evidence rather than abstract ideas or mathematical variables.

Keywords: laboratory sciences, physics laboratory-based teaching, inquiry-based teaching

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τις τελευταίες δεκαετίες, έχει παρατηρηθεί αξιοσημείωτη αύξηση της δημόσιας ενασχόλησης με θέματα που σχετίζονται με την επιστήμη και τα οποία συχνά έχουν προσωπικές, οικονομικές, κοινωνικές και ασφαλώς ευρύτερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις (δες για παράδειγμα, Adúriz-Bravo & Pujalte, 2020· Feinstein & Waddington, 2020· Hofstein et. al., 2011). Ως συνέπεια, η εκπαίδευση στις Φυσικές Επιστήμες παίζει όλο και πιο σημαντικό ρόλο στην απόκτηση των γνώσεων, δεξιοτήτων και ικανοτήτων που απαιτούνται, τόσο για την ενεργό συμμετοχή στον κοινωνικό διάλογο, με στόχο την λήψη τεκμηριωμένων αποφάσεων, όσο και στην ανάληψη σχετικών πρωτοβουλιών παρέμβασης στον ιδιωτικό αλλά και δημόσιο χώρο (δες για παράδειγμα, Hodson, 2003· Osborne, 2023· Valladares, 2021). Αποτέλεσμα είναι, στις μέρες μας, να προωθούνται εμφατικά, μέσω της τυπικής και μη εκπαίδευσης, ικανότητες επιστημονικού γραμματισμού (π.χ. Le Hebel et. al., 2014), κλιματικής αλλαγής (π.χ. Bianchi et.al., 2022), διαχείρισης της «Ανθρωπόκαινης» εποχής μας (π.χ.

Monroe, 2023), μέχρι και ικανότητες διαχείρισης του Ασταθούς, Αβέβαιου, Πολύπλοκου και Αμφίσημου (VUCA) σύγχρονου Κόσμου μας (π.χ. Shliakhonchuk, 2019). Όλες οι παραπάνω ικανότητες περιλαμβάνουν κατά κανόνα τη συνδυασμένη μάθηση επιστημονικών πρακτικών και γνώσεων με στόχους που αναφέρονται στην κατανόηση ζητημάτων και σε συνδυασμένες με αυτή την κατανόηση παρεμβάσεις στο ευρύτερο κοινωνικό και φυσικό πλαίσιο. Παρεμβάσεις που τείνουν να επηρεάσουν αν όχι να διαμορφώσουν, πολλές φορές σε συνεργασία με την Τεχνολογία, αποφάσεις και δράσεις τοπικής ή και παγκόσμιας εμβέλειας.

Όλα τα παραπάνω ρεύματα εκπαίδευσης στις φυσικές επιστήμες ή μέσω των φυσικών επιστημών στοχεύουν ως μαθησιακά αποτελέσματα στην ανάπτυξη ικανοτήτων από τους εκπαιδευόμενους. Ενδιαφέρονται δηλαδή για το τι θα μπορούν να κάνουν οι μαθητές μας με τις γνώσεις που θα έχουν κατανοήσει μετά τις διδασκαλίες μας και όχι μόνον για ικανοποιητικά επίπεδα κατανόησης αυτών των γνώσεων. Για παράδειγμα, σύμφωνα με «Το Ευρωπαϊκό πλαίσιο ικανοτήτων βιωσιμότητας» (Bianchi et.al., 2022), οι εκπαιδευόμενοι σε όλες τις βαθμίδες της εκπαίδευσης, πρέπει με τη βοήθεια των μαθημάτων επιστήμης, να ασκούνται και να βελτιώνουν τόσο τις γνωστικές τους ικανότητες (συστημικής και κριτικής σκέψης, οριοθέτησης προβλήματος, δημιουργικής σκέψης, ...), όσο και τις παρεμβατικές τους (προώθησης της φύσης, προσαρμοστικότητας, πολιτικής αυτενέργειας, συλλογικής δράσης, ατομικής πρωτοβουλίας...). Γεγονός που σημαίνει ότι οι παραπάνω σύγχρονες εκπαιδευτικές τάσεις τείνουν να υιοθετούν και να προωθούν με τον ένα ή τον άλλο τρόπο τα εργαστηριακά περιβάλλοντα μάθησης, όπου κυριαρχούν κατά κανόνα οι παρεμβατικές μαθησιακές πρακτικές.

Στην εργασία, μας ενδιαφέρει η εργαστηριακή διδασκαλία στα μαθήματα των Φυσικών Επιστημών, η οποία αποτελούσε από πάντα (δες π.χ. DeBoer, 1991) ένα από τα σημαντικότερα διδακτικά εργαλεία για τους εκπαιδευτικούς, τόσο στις παραδοσιακές δια μεταφοράς προσεγγίσεις του επιστημονικού περιεχομένου, όσο και στις κατά καιρούς καινοτόμες προτάσεις της ανακάλυψης, της εποικοδόμησης, της διερεύνησης και των παραλλαγών τους. Πολύ περισσότερο στις μέρες μας, όπου οι διευρυμένοι στόχοι του επιστημονικού γραμματισμού τείνουν να καθιερώσουν ως κυρίαρχη διδακτική προσέγγιση αυτή της επιστημονικής διερεύνησης/ διερώτησης (Flick & Lederman, 2006· Riga et. al., 2017· Roberts & Bybee, 2014), η οποία παρέχει στους μαθητές και τις μαθήτριες τις ευκαιρίες να έρθουν σε επαφή, να βιώσουν και να εξοικειωθούν με τις επιστημονικές πρακτικές και να παρέμβουν στη φύση και στην κοινότητα μέσα από ερευνητικές διαδικασίες.

Εδώ βέβαια, ένα σημαντικό ζήτημα παραμένει δυσεπίλυτο και αμφίσημο: πρόκειται για το ζήτημα της σύγχυσης που δημιουργείται σχετικά με το αν η «διερεύνηση» είναι μέθοδος διδασκαλίας της επιστήμης ή επιστημολογική περιγραφή της φύσης της επιστήμης (DeBoer, 1991: 309). Πρόκειται για ένα ζήτημα που τις τελευταίες δεκαετίες του 19ου αιώνα είχε λυθεί με τον διαχωρισμό της δηλωτικής επιστημονικής γνώσης (περιεχόμενο) από τη διαδικαστική επιστημονική γνώση (μεθοδολογία), με τα δύο αυτά σαφή πεδία γνώσεων να διδάσκονται ως διακριτά επιστημονικά περιεχόμενα. Ο

εικοστός αιώνας όμως έδειξε και εξακολουθεί να δείχνει μέχρι τις μέρες μας ότι δεν υπάρχει ένα σαφές διαδικαστικό περιεχόμενο επιστημονικής μεθοδολογίας που μπορεί να διδαχθεί ανεξάρτητα από το δηλωτικό περιεχόμενο· υπάρχουν επιστημονικές πρακτικές συνδεδεμένες με τις γνώσεις που χρησιμοποιούν και παράγουν, καθώς και πλήθος εναλλακτικών επιστημολογικών προσεγγίσεών τους, που τις οργανώνουν ως περιγραφές της φύσης των επιστημών. Και εκτιμούμε, ότι με το πρόβλημα αυτό είναι δύσκολο να μην εμπλακούμε, όταν επιχειρούμε να ασχοληθούμε με το πιο διάσημο και μελετημένο σετ επιστημονικών πρακτικών, αυτό που προσεγγίζεται από τον όρο «επιστημονικό πείραμα», στις τρέχουσες μορφές της διδακτικής διερεύνησης.

ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

Ο ρόλος του πειράματος στα ιστορικά μοντέλα της Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών

Στην ιστορική διαδρομή που διαγράφει η Διδακτική των Φυσικών Επιστημών (ΔΦΕ) φαίνεται να έχουν επικρατήσει τα ακόλουθα μοντέλα /ρεύματα της ΔΦΕ, όπως εμφανίζονται κυρίως στην έρευνα, αλλά και σε κάποιες περιπτώσεις και στην εκπαιδευτική πράξη, ειδικά σε εκπαιδευτικά και οικονομικά αναπτυγμένες χώρες π.χ. Β. Αμερική και Δυτ. Ευρώπη (Καριώτογλου 2006). Αυτά είναι τα εξής:

- A) Παραδοσιακό (προ του 1960)
- B) Ανακαλυπτικό (1960-80)
- Γ) Εποικοδομητικό (1980-2000)
- Δ) Επιστημονικού γραμματισμού (2000 – 2020)

Στο παραδοσιακό έχουμε έμφαση στη θεωρία, ιδιαίτερα στη δηλωτική γνώση (έννοιες, νόμοι, ερμηνείες...), το δε πείραμα, κυρίως ως πείραμα επίδειξης, χρησιμοποιείται για την επιβεβαίωση της θεωρίας, χωρίς κάποια ιδιαίτερη διδασκαλία στη χρησιμοποιούμενη μέθοδο και την εκμάθησή της (Καριώτογλου 2006).

Στο ανακαλυπτικό που ακολούθησε, έχουμε στροφή στο πείραμα και έμφαση στη διαδικαστική γνώση, κυρίως ως μεταφορά των επιστημονικών πειραματικών διαδικασιών στην τάξη, με στόχο την «ανακάλυψη» της γνώσης (Bruner 1961). Ωστόσο δόθηκε η εντύπωση ότι τα πάντα μπορούν να ανακαλυφθούν από τους μαθητές /τριες, πράγμα ιδιαίτερα δύσκολο, όταν μάλιστα δεν δόθηκε έμφαση στις δυσκολίες των μαθητών, π.χ. εναλλακτικές ιδέες. Οι έρευνες έδειξαν ότι υπήρξε επιτυχία σε συναισθηματικό επίπεδο και στην αλλαγή των στάσεων ως προς τις ΦΕ, πολλοί νέοι ήθελαν να γίνουν επιστήμονες, αλλά όχι και στο γνωστικό επίπεδο, δεν μάθαιναν δηλαδή καλύτερα ΦΕ (Καριώτογλου κ.ά. 1997).

Στο εποικοδομητικό ρεύμα υιοθετείται η άποψη ότι ο μαθητής /τρια (επ)οικοδομεί/ κατασκευάζει τη γνώση, ατομικά ή κοινωνικά, γεγονός που είχε ως αποτέλεσμα την ανάδειξη των αρχικών – εναλλακτικών συνήθως απόψεων των παιδιών (Βοσνιάδου και Brewer, 1993). Στη διάρκεια των μαθημάτων αυτού του ρεύματος επιδιώκεται η μάθηση γνώσης δηλωτικού τύπου, ενώ ο ρόλος του πειράματος περιορίζεται, όταν

προτείνεται και χρησιμοποιείται, για τον έλεγχο των εναλλακτικών ιδεών των μαθητών /τριών (Ψύλλος κ.ά. 1993).

Στο ρεύμα του επιστημονικού (και σε κάποιες περιπτώσεις και του τεχνολογικού) γραμματισμού υπάρχουν ποικίλες και αποκλίνουσες απόψεις τόσο για το ποιο περιεχόμενο πρέπει να διδαχθεί, όσο και για τους τρόπους με τους οποίους πρέπει να πραγματοποιηθεί η διδασκαλία του. Εδώ συναντάμε από την καθαρή μεταφορά της επιστημονικής γνώσης, ως και προσεγγίσεις με έμφαση στην επιστημολογική και κοινωνική διάσταση των ΦΕ, οι οποίες επιλέγονται με στόχο την άσκηση σε ικανότητες χρήσης της επιστημονικής γνώσης, για την εξυπηρέτηση όχι μόνον γνωστικών στόχων αλλά και παρεμβάσεων στη φύση και την κοινωνία (δες Harlen 2001:84· OECD 2000:10). Σε μια προσπάθεια να ανατρέψουν την έμφαση που δίνονταν στο εποικοδομητικό ρεύμα στη δηλωτική γνώση, σε όλες σχεδόν τις προσεγγίσεις του γραμματισμού, προτείνεται η διερεύνηση ως μέθοδος προσέγγισης της διαδικαστικής γνώσης και του πειράματος που είχε υποβαθμιστεί στη διάρκεια του εποικοδομητικού ρεύματος. Μια σημαντική διαφορά που παρατηρείται σε σχέση με την ανακάλυψη είναι ότι λαμβάνονται υπόψη οι δυσκολίες των μαθητών που είχε αναδείξει το εποικοδομητικό ρεύμα π.χ. εναλλακτικές ιδέες, αλλά και οι δυσκολίες μάθησης της διαδικαστικής γνώσης. Ως κλασικό παράδειγμα θεωρούμε την πρόταση των περισσότερων ερευνητών για τη ρητή διδασκαλία των βημάτων π.χ. της Στρατηγικής Ελέγχου Μεταβλητών και της διαδικασίας του συμπερασμού (Ζουπίδης 2011), γεγονός που θεωρείται ως περίπτωση διδακτικού μετασχηματισμού του διαδικαστικού περιεχομένου (Καριώτογλου 2021).

Υπάρχουν και νεότερες προτάσεις που φαίνεται να εστιάζουν σε σύγχρονα περιεχόμενα ΦΕ, π.χ. νανοτεχνολογία (Μανου et al. 2018) ή επιστήμες των υλικών (Psillos & Kariotoglou 2016), με διαφορετικούς πια στόχους, όπως η προετοιμασία εξειδικευμένου εργατικού δυναμικού στη σχετική βιομηχανία ή και μελλοντικών καταναλωτών σχετικών προϊόντων. Η κλιματική αλλαγή και Τεχνητή νοημοσύνη φαίνεται να βάζουν καινούργια ερωτήματα στη διδασκαλία και μάθηση των ΦΕ, αλλά ακόμη βρισκόμαστε στην αρχή της συζήτησης (Τσελφές 2024).

Πτυχές της διερεύνησης

Η διερεύνηση στην εκπαίδευση των Φυσικών Επιστημών (ΦΕ) προσεγγίζεται με τρεις τουλάχιστον συμπληρωματικούς τρόπους, στην προσπάθεια να απαντηθούν τα εξής ερωτήματα: α) τι εννοούμε όταν λέμε διερεύνηση στην εκπαίδευση των ΦΕ, β) ποιος είναι ο σκοπός της διερεύνησης όταν αξιοποιείται στην τάξη και γ) πώς προσδιορίζεται η διερεύνηση στο συνεχές μεταξύ παραδοσιακών και διερευνητικών προσεγγίσεων διδασκαλίας και μάθησης.

α) Καταρχάς, με τον όρο διερεύνηση στις ΦΕ εννοούμε, εν γένει, τον τρόπο με τον οποίο εργάζονται οι επιστήμονες (θέτουν ερωτήματα, παρατηρούν, σχεδιάζουν έρευνες, εξάγουν συμπεράσματα με βάση τεκμήρια, κλπ.), και κατ' επέκταση στην εκπαίδευση, εννοούμε τις δραστηριότητες μέσα από τις οποίες οι μαθητές και οι μαθήτριες προσεγγίζουν τις επιστημονικές έννοιες και διαδικασίες (Bybee 2006· NRC 2000· Pedaste et al. 2015).

β) Επιπλέον, όπως επισημαίνεται από τους Abd-El-Khalick et al. (2004), η διερευνητική διδασκαλία και μάθηση μπορεί να διακριθεί σε δύο μεγάλες κατηγορίες: α) τη «διερεύνηση ως μέσο» για μάθηση (inquiry as means), δηλαδή τη διερεύνηση ως μια διδακτική προσέγγιση, η οποία στοχεύει κυρίως στην κατανόηση του περιεχομένου των ΦΕ, αυτού που αλλιώς στην βιβλιογραφία το βρίσκουμε ως δηλωτική γνώση, και β) τη «διερεύνηση ως σκοπό» (inquiry as ends), δηλαδή τη διερεύνηση ως μια σειρά αναμενόμενων μαθησιακών αποτελεσμάτων ως αποτέλεσμα της διδασκαλίας, τα οποία εκτός από την κατανόηση κάποιου περιεχομένου των ΦΕ, περιλαμβάνουν την κατανόηση του πώς κάνουμε διερεύνηση στο πλαίσιο ενός περιεχομένου των ΦΕ, καθώς και την ανάπτυξη επιστημολογικής κατανόησης της φύσης της επιστήμης και των πρακτικών διερεύνησης (Bybbee 2006· NRC 2000· NRC 2012).

Η μάθηση σε διερευνητικά περιβάλλοντα, και των δύο παραπάνω κατηγοριών, προκύπτει μέσα από διερευνητικές διαδικασίες που στόχο έχουν τη λύση ενός κεντρικού προβλήματος (problem-based inquiry process) και η διερεύνηση μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσω ανταλλαγής απόψεων με τους συμμαθητές (debating with peers), σχεδιασμό ερευνητικών δραστηριοτήτων, αναζήτηση και συλλογή πληροφοριών, ανάλυση και ερμηνεία δεδομένων, χρήση ή/και κατασκευή μοντέλων, παραγωγή συνεκτικής και συνεπούς επιχειρηματολογίας, κ.ά. (Duschl & Grandy 2008· NRC 2000). Η ανάπτυξη αποτελεσματικών τρόπων διάχυσης των διαδικασιών διερεύνησης στους μαθητές σε όλες τις βαθμίδες θεωρείται πολύ σημαντική (δες για παράδειγμα Krajcik 2001· NRC 2012· Sutman et al. 2008· Wenning 2005 και 2007).

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

Η θέση των διερευνητικών προσεγγίσεων στο συνεχές των περιβαλλόντων διδασκαλίας και μάθησης, μεταξύ των δύο παραπάνω άκρων, εξαρτάται από ποικίλους παράγοντες, όπως οι ίδιοι οι μαθητές, η πρόθεση του δασκάλου, η συγκεκριμένη κατάσταση, ο επιδιωκόμενος στόχος κ.ά. (Crawford 2007). Πιο συγκεκριμένα, οι Bell et al. (2005) και αργότερα οι Blanchard et al. (2010) εντοπίζουν τέσσερα επίπεδα της διερεύνησης: i) την επιβεβαίωση, όπου οι μαθητές επιβεβαιώνουν ένα ερώτημα του εκπαιδευτικού μέσω μιας προσχεδιασμένης διαδικασίας, γνωρίζοντας εκ των προτέρων τα αποτελέσματα της δραστηριότητας, ii) την δομημένη διερεύνηση, όπου οι μαθητές ερευνούν ένα ερώτημα του εκπαιδευτικού μέσω μιας προσχεδιασμένης διαδικασίας, iii) την καθοδηγούμενη διερεύνηση, όπου οι μαθητές ερευνούν ένα ερώτημα του εκπαιδευτικού μέσω δικών τους σχεδιασμών και iv) την ανοιχτή διερεύνηση, όπου οι μαθητές ερευνούν ένα ερώτημα που θέτουν οι ίδιοι, μέσω δικών τους σχεδιασμών. Στα

τελευταία τρία επίπεδα οι μαθητές δεν γνωρίζουν τα αποτελέσματα της δραστηριότητας, κάτι που χαρακτηρίζει σε μικρό ή μεγάλο βαθμό ένα διερευνητικό περιβάλλον μάθησης, και με την έννοια αυτή το πρώτο επίπεδο στην παραπάνω ταξινόμια, αυτό της επιβεβαίωσης, βρίσκεται στην ουσία εκτός του συνεχούς των διερευνητικών περιβαλλόντων μάθησης.

Πτυχές της εργαστηριακής διδασκαλίας σε διερευνητικά περιβάλλοντα

Στην περίπτωση της διερεύνησης οι εργαστηριακές δραστηριότητες χάνουν τη σχετική αυτονομία που είχαν στις προηγούμενες διδακτικές προσεγγίσεις και εντάσσονται στο γενικότερο πλαίσιο μιας δραστηριότητας που προσπαθεί να ακολουθεί τα βήματα της επιστημονικής έρευνας. Δεν παίρνει δηλαδή τον διακριτό ρόλο της δραστηριότητας που «επιβεβαιώνει τη θεωρία» όπως συμβαίνει στην παραδοσιακή διδασκαλία· δεν παίρνει τον ρόλο του υλικού «υποδείγματος/ ανάλογου της θεωρίας» που του επιφυλάσσει η ανακάλυψη· ούτε της υλικής πραγματικότητας που οδηγεί σε εννοιολογική σύγκρουση στην εποικοδόμηση. Εμφανίζεται όταν η συνολική δραστηριότητα της διερεύνησης το χρειάζεται, όπου το χρειάζεται και με όποια μορφή είναι η πλέον κατάλληλη, χωρίς να εξαιρείται καμία από της παραπάνω μορφές που αναφέραμε για τις διαφορετικές διδακτικές προσεγγίσεις (Hodson 1988).

Για να δούμε λοιπόν πού και πώς χρησιμοποιούνται τα πειράματα στη διερεύνηση χρειαζόμαστε ένα μοντέλο αναπαράστασης της όλης διερευνητικής διαδικασίας. Ένα μοντέλο, δηλαδή, αναπαράστασης της συνολικής επιστημονικής δραστηριότητας από την οποία αντλεί τα πρότυπά της η διερεύνηση, το οποίο θα πρέπει να διαχωρίζει της αναπαραστατικές δραστηριότητες από τις παρεμβατικές και αναλόγως να αναθέτει ρόλους στα πειράματα. Επειδή το μοντέλο αυτό πρέπει να είναι από τη φύση του επιστημολογικό (μιλά για την επιστημονική δραστηριότητα) και επειδή επιστημολογικά ρεύματα υπάρχουν πολλά, επιλέξαμε να χρησιμοποιήσουμε εδώ το πιο γενικό μοντέλο που έχουμε βρει μέχρι στιγμής στη βιβλιογραφία. Το μοντέλο των «πρακτικών των εργαστηριακών επιστημών» του Ian Hacking (1992) το οποίο αφενός εστιάζει στο εργαστηριακό περιβάλλον που μας ενδιαφέρει και αφετέρου περιλαμβάνει όσα εναλλακτικά επιστημολογικά μοντέλα γνωρίζουμε ως υπο-περιπτώσεις. Επιπλέον, το μοντέλο αυτό μιλά για τη δυναμική της παραγωγής της επιστημονικής γνώσης μέσω γενικευμένων πρακτικών και ως τέτοιο μας επιτρέπει, όπως θα φανεί και από την περιγραφή που ακολουθεί, να κάνουμε χρήση των οντοτήτων και των συνδέσεων που το οικοδομούν και στο επιστημονικό και στο εκπαιδευτικό πλαίσιο. Αυτό συμβαίνει επειδή οι πρακτικές που περιγράφει μπορεί να μην είναι υποχρεωτικά επιστημονικές· επιστημονικοί είναι κάποιοι συνδυασμοί από τις πρακτικές αυτές και ως εκ τούτου η χρήση τους στο εκπαιδευτικό πλαίσιο δεν είναι κατά την άποψή μας καταχρηστική. Δεν συνεπάγεται δηλαδή ότι αντιμετωπίζουμε τους μαθητές και τους εκπαιδευτικούς τους ως επιστήμονες.

Το μοντέλο αυτό προκύπτει από την «ταξινόμια των οντοτήτων της εργαστηριακής πρακτικής», του I. Hacking (1992). Σύμφωνα με αυτή την ταξινόμια, η επιστημονική δραστηριότητα των εργαστηριακών επιστημών, επιστημών που «κατασκευάζουν» στο εργαστήριο τα κομμάτια του κόσμου που μελετούν, έχει μια σχετικά αυτόνομη

«εσωτερική ζωή». Η «ζωή» αυτή διαθέτει μια ελάχιστη εσωτερική δυναμική που δεν αλλοιώνεται από τις όποιες εξωτερικές (κοινωνικές ή παραδοσιακές) σχέσεις, άσχετα από το αν οι στόχοι της ή οι προτιμήσεις της σχετίζονται με κοινωνικές, οικονομικές ή πολιτικές παραμέτρους. Ακολουθώντας τις περιγραφές του Hacking (1992, σσ.43-50) και μετασχηματίζοντάς τες στην κατεύθυνση της διδακτικής αναπλαισίωσης, που τελικά μας ενδιαφέρει, μπορούμε να περιγράψουμε την εσωτερική αυτή «ζωή» ως εξής:

Στο εσωτερικό της δραστηριότητας των εργαστηριακών επιστημών οι επιστήμονες διαχειρίζονται τρεις σημαντικές κατηγορίες οντοτήτων, οι οποίες αλληλεπιδρούν δυναμικά μεταξύ τους και μπορούν να μετασχηματίζουν η μια την άλλη. Οι οντότητες αυτές είναι:

Α. Οι «ιδέες» οι σχετικές με το φυσικό φαινόμενο που μελετάται. Εδώ μπορούν να ενταχθούν οντότητες όπως τα ερωτήματα, οι θεμελιώδεις πεποιθήσεις και γνώσεις (που χωρίς αυτές δεν νοείται επιστήμη, αλλά και που παράλληλα, επειδή θεωρούνται δεδομένες, δεν αναφέρονται συστηματικά), οι θεωρητικές έννοιες, η συστηματική θεωρία, τα θεωρητικά μοντέλα, οι τοπικές υποθέσεις, τα μοντέλα των συσκευών, κ.λπ.

Β. Οι υλικές οντότητες του εργαστηριακού μας «κόσμου», όπως 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 τα «ακατέργαστα δεδομένα» (Hacking 1992, σ.44). Τα τελευταία είναι ό,τι παράγουν οι γεννήτριες των δεδομένων. Είναι τα ανερμήνευτα σημάδια, τα γραφήματα των μεταβολών με το χρόνο, οι φωτογραφίες κ.λπ. Τα δεδομένα κατασκευάζονται στο εργαστήριο. Δεν «δίνονται» από τη φύση. Είναι η υλική παραγωγή των συσκευών (Ackermann 1985). Υλικές οντότητες και ακατέργαστα δεδομένα δίνουν υπόσταση στο φαινόμενο μέσα στον πραγματικό «κόσμο» – μέρος του οποίου είναι και ο εργαστηριακός, όπως και ο ίδιος ο επιστήμονας.

Γ. Τα «τεκμήρια» που θεωρούνται ή παρουσιάζονται ως κατάλληλα από τον επιστήμονα και συνυπάρχουν με τον τρόπο κατασκευής τους. Τεκμήρια μπορούν να αποτελούν τα εκτιμημένα δεδομένα (ότι απομένει μετά την εκτίμηση των σφαλμάτων), τα ανηγμένα δεδομένα (ότι απομένει μετά την αναγωγή ενός μεγάλου αριθμού δεδομένων), τα αναλυμένα δεδομένα (ότι επιλέγεται από τα δεδομένα στη βάση της υπόθεσης ή της ερώτησης), τα προς ερμηνεία δεδομένα (ότι από τα αναλυμένα δεδομένα μπορεί να συνδεθεί με κάποια στοιχεία της συστηματικής θεωρίας) κ.ο.κ.

Οι ιδέες και τα τεκμήρια είναι οντότητες που αναπαριστούν το εργαστηριακό φαινόμενο. Ταυτόχρονα ερμηνεύουν ή εγκυροποιούν οι μεν τα δε. Είναι οντότητες του γνωστικού κόσμου μέσω των όποιων αναπαρίστανται τα φαινόμενα του «πραγματικού κόσμου». Οι επιστήμονες επικοινωνούν μέσω των ιδεών και των τεκμηρίων όταν συζητούν τις προβλέψεις τους, τις ερμηνείες των φαινομένων ή την εγκυρότητά τους. Εδώ, χρησιμοποιούν τον «επιστημονικό λόγο» (συναντάμε τις γραπτές του εκδοχές στις δημοσιεύσεις), ο οποίος σε μεγάλο βαθμό είναι συμβολικός και μαθηματικός.

Από την άλλη μεριά, το φαινόμενο σαν μέρος του υλικού κόσμου είναι πάντα παρόν στο εργαστήριο και με ένα διαφορετικό τρόπο. Ο επιστήμονας αλλά και ο τεχνικός του εργαστηρίου, παρεμβαίνει (Hacking 1995) και κάνει τα πράγματα να «δουλέψουν» με τον ένα ή τον άλλο τρόπο· αλλά το πραγματικό/ υλικό μέρος του φαινομένου, που δεν μπορεί να μιλήσει για τον εαυτό του, δεν «υποτάσσεται» υποχρεωτικά σε οποιαδήποτε ιδέα ή αναμενόμενο τεκμήριο. Εδώ, οι επιστήμονες επικοινωνούν κατά τη διάρκεια των παρεμβατικών τους δραστηριοτήτων με τους συναδέλφους τους που μπορεί να είναι και τεχνικοί, χρησιμοποιώντας όρους που αναφέρονται σε οντότητες του υλικού κόσμου και σε τρόπους με τους οποίους μπορούν να τις χειριστούν. Στην περίπτωση αυτή, χρησιμοποιούν μια μορφή λόγου, που θα μπορούσαμε να την πούμε τεχνική. Ο λόγος αυτός δεν έχει συστηματική σχέση με τον επιστημονικό και είναι κατά κανόνα ανεξάρτητος από τις επιστημονικές ιδέες που εμπλέκονται με τον εκάστοτε πειραματισμό (Radder 1996). Θεωρούμε ότι και μόνο η ύπαρξη αυτής της μορφής λόγου φανερώνει τη σημασία των παρεμβάσεων στο πλαίσιο της επιστημονικής δραστηριότητας.

Έτσι, ο επιστημονικός πειραματισμός είναι επιτυχής, όχι όταν οι ιδέες συμφωνούν απλά με τα τεκμήρια, αλλά όταν ταιριάζουν μεταξύ τους οι ιδέες, η υλική κατασκευή και τα τεκμήρια. Αυτό μπορεί να γίνει με μια ποικιλία από τρόπους: είτε κατασκευάζοντας τα κατάλληλα τεκμήρια (π.χ. επιλέγοντας μεθόδους διαχείρισης των ακατέργαστων δεδομένων), είτε αλλάζοντας κάποιες από τις ιδέες, είτε παρεμβαίνοντας στον υλικό κόσμο και κατασκευάζοντας καινούρια κομμάτια του (π.χ. νέες συσκευές μέτρησης που παράγουν διαφορετικού τύπου ακατέργαστα δεδομένα), είτε, τέλος, με κάποιο συνδυασμό των προηγούμενων. Έτσι, στην εργαστηριακή πρακτική τα προβλήματα της φιλοσοφικής επαγωγής (οι θεωρίες καθοδηγούνται από την παρατήρηση/ τα τεκμήρια) και της φιλοσοφικής παραγωγής (οι παρατηρήσεις/ τα τεκμήρια καθοδηγούνται από τη θεωρία) χάνουν τη σημασία τους. Μεταξύ ιδεών και τεκμηρίων μπορεί κανείς να δημιουργεί σχέσεις χρησιμοποιώντας τότε την επαγωγή (για να επικυρώσει κάποιες ιδέες) και τότε την παραγωγή (για να ερμηνεύσει κάποια τεκμήρια). Αλλά το ουσιαστικό δέσιμο ιδεών και τεκμηρίων γίνεται με την κατασκευή του κατάλληλου κομματιού υλικής «πραγματικότητας». Επιπλέον, στο εσωτερικό της εργαστηριακής πρακτικής και η Ποππεριανή διάψευση αποκτά διαφορετική σημασία από την φιλοσοφική: αν ένα τεκμήριο διαψεύδει μια θεωρητική ιδέα, τότε ίσως κάποιος μπορεί, παρεμβαίνοντας στον υλικό κόσμο, να κατασκευάσει μια νέα «πραγματικότητα» που να του δίνει τα κατάλληλα τεκμήρια.

Στη βάση αυτού του μοντέλου επιχειρούμε στην εργασία μας να διερευνήσουμε την πιθανή ύπαρξη συγκεκριμένων πτυχών της εργαστηριακής διδασκαλίας που οργανώνονται στο πλαίσιο της διερευνητικής διδασκαλίας και μάθησης. Για τον λόγο αυτό αναλύουμε με βάση το παραπάνω μοντέλο τέσσερις περιπτώσεις διερευνητικών Διδακτικών-Μαθησιακών Ακολουθιών (ΔΜΑ) που έχουν οργανώσει, εφαρμόσει και αξιολογήσει συνεργαζόμενοι συνάδελφοι. Οι περιγραφές αυτών των ΔΜΑ παρουσιάζονται στην επόμενη ενότητα.

ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ ΔΙΕΡΕΥΝΗΤΙΚΩΝ ΔΙΔΑΚΤΙΚΩΝ ΜΑΘΗΣΙΑΚΩΝ ΑΚΟΛΟΥΘΙΩΝ (ΔΜΑ)

1^η περίπτωση ΔΜΑ: Εισαγωγή της πυκνότητας μέσω πειραμάτων πλεύσης - βύθισης

Σε διδακτορική διατριβή που ασχολείται με τη διδασκαλία των φαινομένων της πλεύσης και της βύθισης σε μαθητές/τριες Ε΄ Δημοτικού (Ζουπίδης 2011) προτείνεται, μεταξύ άλλων, η χρήση καθώς και η ρητή διδασκαλία της μεθόδου της Στρατηγικής Ελέγχου Μεταβλητών (ΣΕΜ), με σταδιακή μείωση της υποστήριξης στην εφαρμογή της μεθόδου, η οποία αναμένεται να επηρεάσει την εννοιολογική κατανόηση της πυκνότητας καθώς και τις ερμηνείες των μαθητών στα φαινόμενα της πλεύσης και της βύθισης. Οι στόχοι ήταν: α) η κατανόηση της διαδικαστικής γνώσης, δηλαδή πτυχών της ΣΕΜ, για παράδειγμα ότι «για να ελέγξουμε εάν μια μεταβλητή επηρεάζει ένα φαινόμενο, κρατάμε όλες τις άλλες μεταβλητές σταθερές και αλλάζουμε την μεταβλητή που μας ενδιαφέρει», και β) η κατανόηση της έννοιας της πυκνότητας ως εντατικό μέγεθος και η χρήση της ως εργαλείο για την ερμηνεία των φαινομένων της πλεύσης και της βύθισης μέσω του κανόνα «εάν ένα αντικείμενο έχει πυκνότητα μικρότερη από την πυκνότητα του νερού τότε το αντικείμενο επιπλέει στο νερό, ενώ αντίθετα εάν έχει πυκνότητα μεγαλύτερη από την πυκνότητα του νερού τότε το αντικείμενο βυθίζεται στο νερό».

Η διδακτική παρέμβαση οργανώθηκε μέσω Διδακτικής-Μαθησιακής Ακολουθίας (ΔΜΑ) (Psillos & Kariotoglou 2016) πέντε ενοτήτων, καθεμία από τις οποίες διαρκεί 80 λεπτά (βλ. Καριώτογλου κ.ά. 2010α και 2010β· Spyrtou et al. 2008). Στην πρώτη ενότητα οι μαθητές εξοικειώνονται με τα φαινόμενα της π/β και εισάγονται με ρητό τρόπο στη μέθοδο ΣΕΜ, κάτι που αποτελεί στοιχείο του διδακτικού μετασχηματισμού για την βαθύτερη κατανόηση των επιστημονικών πρακτικών. Στη δεύτερη ενότητα διερευνούν τους παράγοντες που πιθανόν να επηρεάζουν το φαινόμενο της π/β ομογενούς αντικειμένου, και ασκούνται στη μέθοδο ελέγχου μεταβλητών και εξαγωγής συμπερασμάτων (μέθοδος ΣΕΜ), με σταδιακή μείωση της υποστήριξης στην εφαρμογή της μεθόδου. Στην τρίτη και την τέταρτη ενότητα οι μαθητές εισάγονται στην έννοια της πυκνότητας μέσω οπτικού μοντέλου της και αξιοποιούν το κριτήριο σύγκρισης πυκνοτήτων για την πρόβλεψη ομογενών και σύνθετων αντικειμένων στο νερό και σε άλλα υγρά. Τέλος, στην πέμπτη ενότητα οι μαθητές καλούνται να επιλύσουν ανοιχτά τεχνολογικά προβλήματα, όπως της ανέλκυσης ενός βυθισμένου πλοίου, αξιοποιώντας την έννοια της πυκνότητας και το κριτήριο σύγκρισης πυκνοτήτων του υλικού ενός αντικειμένου και του υγρού.

Όπως περιγράφεται στην διδακτορική διατριβή (Ζουπίδης, 2011), οι μαθητές/τριες βελτίωσαν σημαντικά την κατανόηση της έννοιας της πυκνότητας ως ιδιότητας των υλικών και τις ερμηνείες τους στα φαινόμενα της π/β της καθημερινής εμπειρίας, μεταβαίνοντας κυρίως από τις ερμηνείες που χρησιμοποιούν ως κριτήριο το βάρος του αντικειμένου σε ερμηνείες που χρησιμοποιούν ως κριτήριο το υλικό του αντικειμένου. Επίσης, στις περιπτώσεις που τους δόθηκε η πυκνότητα των αντικειμένων, οι μαθητές/τριες χρησιμοποίησαν ως κριτήριο για την π/β ενός αντικειμένου τη σύγκριση

πυκνοτήτων του αντικειμένου και του υγρού, καταφέρνοντας μάλιστα να επεκτείνουν τη μάθηση αυτή και σε φαινόμενα που δεν είχαν διδαχθεί. Επιπλέον, οι μαθητές/τριες κατανόησαν σε σημαντικό βαθμό τη μέθοδο ΣΕΜ για τον έλεγχο μιας μεταβλητής, αλλά φάνηκε ότι δυσκολεύτηκαν να κατανοήσουν το σκέλος της μεθόδου αυτής που σχετίζεται με τον συμπερασμό από τον έλεγχο της μεταβλητής. Τέλος, στο πλαίσιο της παραπάνω έρευνας αναδείχθηκε η σημασία της διδασκαλίας και της κατανόησης της διαδικαστικής γνώσης για τον έλεγχο μεταβλητών στην εννοιολογική κατανόηση της πυκνότητας και του φαινομένου της π/β (Zoupidis, Pnevmatikos et al. 2016). Θεωρούμε ότι τα στοιχεία που βοήθησαν στη βελτίωση των απόψεων των μαθητών ήταν η σταδιακή μείωση της υποστήριξης στην εφαρμογή της μεθόδου για τον έλεγχο μεταβλητών και η ρητή διδασκαλία των πτυχών της μεθόδου αυτής. Το ενδιαφέρον σε αυτό το σημείο, με βάση την θεωρητική προσέγγιση του Τσελφέ (2024) σε αυτόν τον τόμο, είναι ότι και στα δύο αυτά στοιχεία υπήρξαν βελτιωτικές αλλαγές, κατά την εξελικτική διαδικασία εφαρμογής της ΔΜΑ από την πρώτη στην δεύτερη εφαρμογή της, όπως αυτές περιγράφονται στο Zoupidis, Spyrtou et al. (2016).

2^η περίπτωση ΔΜΑ: Ενίσχυση των διαισθητικών απόψεων για την πίεση μέσω μέτρησής της σε διάφορα βάθη

Σε διδακτορική διατριβή που ασχολείται με τη διδασκαλία των ρευστών με έμφαση στην πίεση σε μαθητές /τριες Γυμνασίου (Καριώτογλου 1991) και σε ερευνητικό πρόγραμμα σε φοιτητές Παιδαγωγικού Τμήματος (ΠΤ) (Kariotoglou 2002) προτείνεται, μεταξύ άλλων, η αξιοποίηση της ΣΕΜ στη διδασκαλία του βασικού νόμου της υδροστατικής, στους/στις παραπάνω εκπαιδευόμενους/ες. Οι στόχοι ήταν α) η ενίσχυση των διαισθητικών ιδεών των εκπαιδευομένων για τη σχέση πίεσης και βάθους: «... η πίεση αυξάνει με το βάθος, γιατί όσο πιο βαθιά κάνουμε βουτιά, τόσο τα αυτιά μας πονάνε πιο πολύ από την πίεση...», που είναι προς την επιστημονική κατεύθυνση, β) η ενίσχυση, με την παραπάνω διαδικασία, της ασθενούς έννοιας της «πίεσης», έναντι τη ισχυρής έννοιας της «δύναμης» και η διευκόλυνση της διάκρισης των εννοιών, μέσω γνωστικής σύγκρουσης. Να σημειωθεί ότι για τους περισσότερους εκπαιδευόμενους (μαθητές/τριες και φοιτητές /τριες ΠΤ) οι δυο έννοιες είναι αδιαφοροποίητες, με κυρίαρχη τη δύναμη (Kariotoglou et al. 1995).

Η διδακτική παρέμβαση οργανώθηκε μέσω διδακτικής μαθησιακής ακολουθίας (ΔΜΑ) (Psillos & Kariotoglou 2016) οκτώ (8) διδακτικών ωρών συνολικά 4 ενοτήτων – βημάτων. Στην πρώτη ενότητα, επιδιώκεται η εξοικείωση με απλά φαινόμενα και έννοιες της περιοχής, όπως και με ποιοτικά πειράματα. Π.χ. υγρά, αέρια, ρευστά, συμπιεστότητα αερίων αλλά όχι υγρών κλπ. Στη δεύτερη ενότητα, που εστιάζουμε στη μελέτη μας αυτή, ενισχύονται οι διαισθητικές απόψεις, π.χ. για τη σχέση πίεσης και βάθους, ενώ εισάγονται οι εκπαιδευόμενοι /ες σε ποσοτικά πειράματα (σχέση πίεσης και βάθους) και στη διάκριση και έλεγχο μεταβλητών. Στις άλλες δυο ενότητες, προκαλείται γνωστική σύγκρουση στους εκπαιδευόμενους /ες επιδιώκοντας διάκριση πίεσης – δύναμης, παράλληλα πειράματα σύγκρισης πιέσεων σε φαρδύ – στενό δοχείο και δυνάμεων σε φαρδιά – στενή βεντούζα. Τέλος, εφαρμόζεται η νέα γνώση στην μελέτη της αρχής του Pascal και του νόμου των Boyle – Mariotte, μέσω ποσοτικών πειραμάτων (Psillos & Kariotoglou 1999).

Όπως περιγράφεται στην εργασία Kariotoglou (2002), οι φοιτητές/τριες συνάντησαν δυσκολίες στην εκτέλεση των πειραμάτων, πιθανόν λόγω σχετικής απειρίας, π.χ. στη χρήση του ψηφιακού μανόμετρου. Επίσης αντιμετώπισαν εύκολα τη διάκριση και έλεγχο μεταβλητών σε επίπεδο αναπαράστασης, ενώ δυσκολεύτηκαν στην εφαρμογή, π.χ. επιλογή και χρήση των οργάνων. Επιπλέον, δυσκολεύτηκαν στην επεξεργασία μετρήσεων, κυρίως λόγω της ύπαρξης σφαλμάτων στη μέτρηση, που έκανε τις τρεις ομάδες να βρίσκουν λίγο διαφορετικές τιμές πίεσης στο ίδιο βάθος. Τέλος, δυσκολεύτηκαν και στην εξαγωγή συμπερασμάτων ως αποτέλεσμα των μετρήσεων, π.χ. στην επαλήθευση της αρχής του Pascal.

3^η περίπτωση ΔΜΑ: Ενίσχυση των δεξιοτήτων της επιστημονικής μεθόδου, σε πειράματα με μαγνήτες

Σε διπλωματική μεταπτυχιακή εργασία (Τεμερτζίδου 2012) και αντίστοιχη δημοσίευση (Τεμερτζίδου κ.ά. 2014) μελετάται η ικανότητα των νηπίων να ασκούνται στις διάφορες μορφές της ταξινόμησης. Ως όρος περιλαμβάνει ευρύτερα την ομαδοποίηση, τη σειροθέτηση και την οργάνωση σε σύνθετες δομές (Κωνσταντίνου κ.ά. 2004), που αποτελεί μια βασική δεξιότητα που εμπλέκεται σε κάθε αλληλεπίδραση του μικρού παιδιού με το περιβάλλον.

Μελετήθηκαν, μέσω διδακτικού πειράματος (N=30), ατομικά, η ικανότητα των νηπίων να ομαδοποιούν μαγνητικά και μη υλικά, να ομαδοποιούν τα μη μαγνητικά υλικά με δοσμένο ή χωρίς κριτήριο, αν μπορούν να σειροθετούν μαγνήτες κατά φθίνουσα ισχύ, και τέλος αν μπορούν να προβλέπουν και να ελέγχουν την πρόβλεψή τους. Θα εστιάσουμε την παρουσίαση αυτής της πτυχής της πειραματικής διαδικασίας στην τελευταία περίπτωση, δηλαδή στη σειροθέτηση.

Στα νήπια δίνονταν τρεις, εξωτερικά όμοιοι μαγνήτες, διαφορετικής ισχύος και τους ζητούνταν να τους σειροθετήσουν. Να βρουν δηλαδή ποιος είναι ο ισχυρότερος και ποιος ο ασθενέστερος. Αν δεν μπορούσαν, η ερευνήτρια τους έδινε ένα κουτάκι συνδετήρες, ως υποβοήθηση, και ανάλογα με την περίπτωση υπήρχε περαιτέρω υποβοήθηση. Για παράδειγμα, σε περίπτωση αδυναμίας απάντησης, η ερευνήτρια πλησίαζε έναν από τους 3 μαγνήτες στους συνδετήρες και τοποθετούσε σε ειδική θέση το σωρό των συνδετήρων που έλκονταν από το μαγνήτη. Αυτή η υποβοήθηση οδήγησε πολλά νήπια να επαναλάβουν την προηγούμενη διαδικασία με τους άλλους μαγνήτες και να καταλήξουν να σειροθετήσουν τους 3 μαγνήτες ανάλογα με την ποσότητα συνδετήρων που τράβηξε ο κάθε μαγνήτης. Στην περίπτωση που κάποια νήπια δεν μπορούσαν να ανταποκριθούν υπήρχε πρόσθετη βοήθεια, π.χ. τους τόνιζε να προσέξουν πόσους συνδετήρες τράβηξε ο κάθε μαγνήτης.

Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν ότι αρχικά 8 νήπια ελέγχουν την ισχύ των μαγνητών σωστά χωρίς υποβοήθηση, 11 με μία υποβοήθηση και άλλα 11 με δύο ή και περισσότερες βοήθειες. Στη φάση αξιολόγησης, με άλλα υλικά, οι προηγούμενοι αριθμοί είναι 26, 4, 0, γεγονός που δείχνει σημαντική βελτίωση της ικανότητας αυτής. Σε σχέση με την σειροθέτηση, αρχικά 17 νήπια την κάνουν σωστά χωρίς υποβοήθηση και 13 με μία υποβοήθηση, ενώ στη φάση αξιολόγησης οι αριθμοί είναι 21 και 9 αντίστοιχα. Και εδώ υπάρχει σημαντική βελτίωση.

Από τα παραπάνω οι ερευνητές/τριες συμπεραίνουν ότι τα νήπια έχουν την αναπτυξιακή ικανότητα να κάνουν ταξινομήσεις και μάλιστα «πάνε» καλύτερα στην πιο απαιτητική σειροθέτηση παρά στην απλή ομαδοποίηση σε αντίθεση με κάποιες θεωρητικές προτάσεις. Επίσης, παρατηρήθηκε ότι στις φάσεις αξιολόγησης υπάρχει βελτίωση της ικανότητας ταξινόμησης. Τέλος, προτείνεται η αξιοποίηση παρόμοιων δραστηριοτήτων στο Νηπιαγωγείο, αφού φαίνεται πως τα νήπια έχουν την ικανότητα να ανταποκριθούν σε τέτοιες δραστηριότητες και αντίστοιχους στόχους.

Σε άλλη διπλωματική εργασία (Δημητρίου 2014), με παρόμοιο περιεχόμενο, μελετάται η εξάσκηση 32 νηπίων, μέσω της εφαρμογής Διδακτικής-Μαθησιακής Ακολουθίας 4 ενοτήτων, σε δεξιότητες ταξινόμησης μαγνητικών υλικών και σειροθέτησης, ως προς την ισχύ τους, 3 εξωτερικά όμοιων μαγνητών διαφορετικής ισχύος. Η διδακτική μέθοδος ήταν η ανακαλυπτική επίδειξη, ενώ η αξιολόγηση της διδασκαλίας έγινε με ατομικές ημι-δομημένες συνεντεύξεις, πριν και μετά τη διδασκαλία. Τα αποτελέσματα της έρευνας φαίνεται να συμφωνούν με αυτά της προηγούμενης διπλωματικής, στην οποία στηρίχτηκε η τελευταία. Τα παιδιά εξοικειώθηκαν με το γνωστικό αντικείμενο των μαγνητών, στο πλαίσιο οργανωμένης διδασκαλίας και στο τέλος, τα περισσότερα, ήταν ικανά να ταξινομήσουν τα αντικείμενα ανάλογα με το αν έλκονται ή όχι από το μαγνήτη και επίσης να σειροθετούν όμοιους μαγνήτες με βάση την ισχύ τους.

Τελικά και οι δυο διπλωματικές με διαφορετικές διδακτικές προσεγγίσεις καταλήγουν στο ίδιο αποτέλεσμα, όπως και άλλες έρευνες ότι είναι δυνατή η εκμάθηση πτυχών της διαδικαστικής γνώσης από νήπια, ειδικά αν εφαρμόζεται σε οικεία φαινόμενα όπως αυτά των μαγνητών.

4^η περίπτωση ΔΜΑ: Η πειραματική διδασκαλία στη διδασκαλία σύγχρονων θεμάτων (Νανοεπιστήμη-Νανοτεχνολογία)

Σε διδακτορική διατριβή (Μάνου 2020) και σε σχετική δημοσίευση (Manou et al. 2018) που μελετάται η διδασκαλία στοιχείων της Νανοεπιστήμης-Νανοτεχνολογίας (N-ET), παρουσιάζεται ο διδακτικός μετασχηματισμός του περιεχομένου και οι πειραματικές δραστηριότητες, οι οποίες προτείνονται ώστε να γίνει προσβάσιμο και κατανοητό από μαθητές και εκπαιδευτικούς το περιεχόμενο της N-ET. Η διδασκαλία και μάθηση σύγχρονων θεμάτων φυσικών επιστημών, όπως είναι η N-ET, προκύπτει από το γεγονός ότι τα επιτεύγματα της NET έχουν επηρεάσει την καθημερινότητα αλλά και τις προοπτικές καριέρας μέσα από τις εφαρμογές στην βιοιατρική, την ηλεκτρονική και την επιστήμη των υλικών. Σημαντικά ζητήματα, ανάμεσα σε άλλα, που προκύπτουν στην προσπάθεια να ενταχθεί το διαθεματικό περιεχόμενο της N-ET στην εκπαίδευση είναι ο καθορισμός του περιεχομένου που πρέπει να διδαχθεί και ο σχεδιασμός των πειραματικών δραστηριοτήτων που θα καταστήσουν το περιεχόμενο της N-ET προσιτό στους μαθητές και τους εκπαιδευτικούς (Jones et. al. 2013).

Μια από τις θεμελιώδεις ιδέες που περιλαμβάνονται στην N-ET είναι η ιδέα «μέγεθος-κλίμακα». Καθώς αλλάζει το μέγεθος και η κλίμακα στην οποία προσεγγίζουμε τα φαινόμενα δεν αλλάζουν μόνον οι ιδιότητες των υλικών, αλλά επίσης τα εργαλεία και τα μοντέλα με τα οποία διαχειριζόμαστε και ερμηνεύουμε τα φαινόμενα αυτά, καθώς και οι κυρίαρχες δυνάμεις που κυριαρχούν σε κάθε περίπτωση (Murty et al. 2013·

Stevens et al. 2009). Η ερευνητική ομάδα των Manou et al. (2018) προτείνουν δύο πειραματικές δραστηριότητες για την ενίσχυση της παραπάνω ιδέας «μέγεθος-κλίμακα».

Η πρώτη πειραματική δραστηριότητα αφορά στην χρήση ενός διαγράμματος, το οποίο οδηγεί στην κατηγοριοποίηση αντικειμένων στον μακρόκοσμο, τον μικρόκοσμο και τον νανόκοσμο με κριτήριο το εργαλείο που χρησιμοποιούμε για να κάνουμε το αντικείμενο ορατό, δηλαδή το μάτι, το μικροσκόπιο και το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο αντίστοιχα. Το διάγραμμα αυτό προτείνεται να χρησιμοποιηθεί διαδοχικά σε περισσότερες από μία περιπτώσεις κατά την διάρκεια εφαρμογής μια Διδακτικής-Μαθησιακής Ακολουθίας εννέα διδακτικών ωρών, ως «σκαλοπάτι» που θα βοηθήσει στην σαφέστερη διάκριση των τριών περιοχών/κόσμων. Τα διδακτικά εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν ήταν βίντεο και φωτογραφίες που σχετίζονται με τους τρεις κόσμους σε άμεση σύνδεση με το όργανο που επιτρέπει την παρατήρησή τους, πραγματικό μικροσκόπιο για την παρατήρηση του μικρόκοσμου, φωτογραφίες από ηλεκτρονικό μικροσκόπιο, καθώς και υλικό για την δημιουργία αφισών από τους εκπαιδευτικούς, για την αναπαράσταση αντικειμένων των τριών κόσμων.

Η δεύτερη πειραματική δραστηριότητα αφορά και προτείνεται για να ενισχύσει την οικοδόμηση της ιδέας της εξάρτησης των ιδιοτήτων των υλικών από το μέγεθος τους. Η εξάρτηση αυτή μπορεί να οφείλεται είτε στα κβαντικά φαινόμενα που αρχίζουν να κυριαρχούν όταν μεταβαίνουμε στην περιοχή του νανόκοσμου, είτε σε μια μεγάλη αύξηση του λόγου της επιφάνειας προς τον όγκο (S/V) των αντικειμένων. Οι ερμηνείες που βασίζονται στην κυριαρχία των κβαντικών φαινομένων στον νανόκοσμο, είναι εξαιρετικά δύσκολο να γίνουν κατανοητές ακόμη και από μαθητές στην δευτεροβάθμια εκπαίδευση, λόγω των σύνθετων μαθηματικών αλλά και των προβλέψεων που προκύπτουν από αυτές και που είναι ενάντια στην καθημερινή εμπειρία. Αντίθετα, ερμηνείες που βασίζονται στην μεγάλη αύξηση του λόγου S/V είναι μεν δυσνόητες, κυρίως όμως λόγω της δύσκολης έννοιας του μαθηματικού λόγου. Σε αυτήν την περίπτωση, υπάρχουν διδακτικές προτάσεις στην βιβλιογραφία, με βάση τις οποίες η έννοια του λόγου δύο μεγεθών μπορεί να προσεγγιστεί με ποιοτικό τρόπο, αποφεύγοντας την χρήση της δυσνόητης μαθηματικής αναπαράστασης. Έτσι, η πειραματική δραστηριότητα που προτείνεται από τους Manou et al. (2018) εστιάζει στην ιδιότητα της υδροφοβικότητας, της οποίας η τιμή αυξάνεται ανάλογα με την μείωση της επιφάνειας επαφής μεταξύ δύο αντικειμένων, όπως για παράδειγμα μεταξύ μιας σταγόνας νερού και ενός φύλλου λωτού (lotus effect). Για την αναπαράσταση αυτής της επιφάνειας επαφής, χρησιμοποιήθηκαν υλικά καθημερινής χρήσης, όπως φελιζόλ, ξυλάκια, καρφιά, μπαλόني, κ.ά.

Τα αποτελέσματα από την εφαρμογή των δύο δραστηριοτήτων σε εκπαιδευτικούς έδειξαν ότι οι δραστηριότητες μπορούν να συμβάλλουν σημαντικά στην μετατόπιση των ιδεών τους προς την επιστημονική άποψη σχετικά με την ιδέα «μέγεθος-κλίμακα» και την εξάρτηση των ιδιοτήτων των υλικών από αυτήν.

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Για την ανάλυση των παραπάνω τεσσάρων περιπτώσεων κωδικοποιούμε το μοντέλο του Hacking με τον ακόλουθο τρόπο (δες για παράδειγμα, Τσελφές 2002, 2003· Χατζηπέτρου κ.ά. 2023· Psillos et. al. 2004): υποθέτουμε ότι οι δραστηριότητες που εφαρμόστηκαν σε κάθε μια από τις παραπάνω ΔΜΑ ακολουθούν διαδοχικές συνδέσεις κάποιων, διαφορετικών κάθε φορά εργαστηριακών οντοτήτων, που με βάση το μοντέλο εντοπίζονται:

α) από τις αναφορές των ερευνητών στις ίδιες τις εργαστηριακές οντότητες. Ως τέτοιες θεωρούμε τον «Κόσμο», τα «Τεκμήρια» και τις «Ιδέες». Τις οντότητες αυτές κωδικοποιούμε με τα γράμματα C (Cosmos), E (Evidence) και I (Ideas), αντίστοιχα, ακολουθώντας τους Psillos et. al. (2004), που ονόμασαν την εν λόγω επιστημολογική προσέγγιση με τα αρχικά CEI και

β) τις μεταξύ τους και ανά δραστηριότητα συνδέσεις, επιλέγοντας από όλες τις δυνατές: $C \rightarrow E$, $C \rightarrow I$, $E \rightarrow C$, $I \rightarrow C$, $I \rightarrow E$ και $E \rightarrow I$. Συγκεκριμένα, οι συνδέσεις αυτές εμφανίζονται δυνητικά ως εργαστηριακές πρακτικές με τους εξής τρόπους:

i) αναπαράσταση μέσω «Τεκμηρίων», αισθητών δηλαδή κατηγοριών, των οντοτήτων και των γεγονότων που περιλαμβάνει ο υλικός «Κόσμος», ο οποίος περιλαμβάνει ασφαλώς και εμάς ($C \rightarrow E$): π.χ.: το χρώμα της ακτίνας που βγάζει η συσκευή λέιζερ φαίνεται να είναι κόκκινο,

ii) αναπαράσταση μέσω «Ιδεών», νοητικών, μη αισθητών δηλαδή, θεωρητικών κατά κανόνα κατηγοριών, των ίδιων οντοτήτων και γεγονότων ($C \rightarrow I$): π.χ.: η ακτίνα που βγάζει η συσκευή λέιζερ είναι μιας μόνον συχνότητας,

iii) κατασκευή κομματιών του «Κόσμου» στη βάση επιθυμητών «Τεκμηρίων» ($E \rightarrow C$): π.χ.: φτιάχνω μια διάταξη που θα προβάλει σκιές στην οθόνη,

iv) κατασκευή κομματιών του «Κόσμου» στη βάση υφιστάμενων «Ιδεών» ($I \rightarrow C$): π.χ.: φτιάχνω μια πειραματική διάταξη για να ελέγξω αν η υπόθεση της ανάκλασης είναι αυτή που γράφει το βιβλίο,

v) πρόβλεψη «Τεκμηρίων» στη βάση υφιστάμενων «Ιδεών» ($I \rightarrow E$): π.χ.: το διαφανές γυαλί δεν θα φτιάξει σκιά, και

vi) επίρρωση ή μη υφιστάμενων «Ιδεών» στη βάση «Τεκμηρίων» ($E \rightarrow I$): π.χ.: το διαφανές γυαλί που χρησιμοποιήσαμε βγάζει σκιά!

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης αυτής μας παρέχουν τη δυνατότητα να διαπιστώσουμε αφενός σε ποιο βαθμό οι διερευνητικές ΔΜΑ στηρίζονται σε κάποιες κυρίως συνδέσεις και όχι σε άλλες και αφετέρου να εντοπίσουμε τον τρόπο με τον οποίο αυτές αναπτύσσονται.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

1^η περίπτωση ΔΜΑ: Εισαγωγή της πυκνότητας μέσω πειραμάτων πλεύσης - βύθισης

Ενότητα 1α: οι μαθητές εξοικειώνονται με τα φαινόμενα της πλεύσης/ βύθισης (π/β): σημαίνει ότι οι μαθητές παρατηρούν ή και κατασκευάζουν «Κόσμους» π/β· υλικούς δηλαδή κόσμους όπου συνυπάρχουν υγρά και στερεά και συλλέγουν «Τεκμήρια» που αντιστοιχούν στους παρατηρησιακούς όρους της π/β (επιπλέουν ή βυθίζονται). Πραγματοποιούν δηλαδή μεταβάσεις $C \rightarrow E$.

Ενότητα 1β: οι μαθητές εισάγονται με ρητό τρόπο στη Στρατηγική Ελέγχου Μεταβλητών, όπου περιγράφονται ρητά οι διαδικασίες ελέγχου για το αν ένα παρατηρούμενο φαινόμενο, δηλαδή ένα «Τεκμήριο» E_0 μπορεί να οφείλεται σε κάποιο από τα επιμέρους χαρακτηριστικά/ μεταβλητές του, τα οποία θα μπορούσαν να είναι είτε επιμέρους «Τεκμήρια» ($E_1, E_2 \dots E_n$) ή και θεωρητικές «Ιδέες» ($I_1, I_2 \dots I_n$) συνδεδεμένες με αυτά. Περιγράφονται δηλαδή ρητά οι πιθανές συνδέσεις $I_n \rightarrow E_n$ και ο διαδοχικός έλεγχος της ισχύος τους.

Ενότητα 2: διερευνώνται οι παράγοντες που πιθανόν να επηρεάζουν το φαινόμενο της π/β ομογενούς αντικειμένου. Συγκεκριμένα, ελέγχονται τρεις υποθέσεις που μπορούν να οδηγούν τον «Κόσμο» της συνύπαρξης στερεού υγρού σε πλεύση ή σε βύθιση («Τεκμήριο» E_0). Κάθε υπόθεση (θεωρητική «Ιδέα» I_1, I_2 και I_3) συντίθεται από μια τριάδα «Τεκμηρίων», που γίνονται αντιληπτά μέσω παρατήρησης ή μέτρησης, και αναφέρονται στο βάρος του στερεού σώματος (E_1), στο υλικό του στερεού σώματος (E_2) ή στο είδος του υγρού (E_3). Δοκιμάζονται δηλαδή οι συνδέσεις:

A. I_1 (E_1 =μεταβλητό, E_2 και E_3 =σταθερά) $\rightarrow E_0$

B. I_2 (E_2 =μεταβλητό, E_1 και E_3 =σταθερά) $\rightarrow E_0$

Γ. I_3 (E_3 =μεταβλητό, E_1 και E_2 =σταθερά) $\rightarrow E_0$

που καταλήγουν να εμφανίζουν ως πλέον ισχυρή την υπόθεση ότι η πλεύση ή η βύθιση («Τεκμήριο» E_0) εξαρτάται από το ποιο είναι το υλικό του στερεού σώματος («Τεκμήριο» E_2).

Ενότητα 3 και 4: οι μαθητές εισάγονται στην έννοια της πυκνότητας (Θεωρητική «Ιδέα» I_p , με αναφορά και στα στερεά και στα υγρά) μέσω οπτικού μοντέλου της (μοντέλο, που την καθιστά κατά κάποιο τρόπο ορατή, δηλαδή «Τεκμήριο» E_p : κύβος με εσωτερική κατανομή σημείων μεγαλύτερης ή μικρότερης συγκέντρωσης, ανάλογα με το αν αντιστοιχεί σε μεγαλύτερη ή μικρότερη πυκνότητα) και αξιοποιούν το κριτήριο σύγκρισης πυκνοτήτων (σύγκρισης των μοντέλων-«Τεκμηρίων») για την πρόβλεψη ομογενών και σύνθετων αντικειμένων στο νερό και σε άλλα υγρά. Ασκούνται δηλαδή στη μετάβαση $E_p \rightarrow E_0$.

Ενότητα 5: οι μαθητές καλούνται να επιλύσουν ανοιχτά τεχνολογικά προβλήματα αξιοποιώντας την έννοια της πυκνότητας και το κριτήριο σύγκρισης πυκνοτήτων του υλικού ενός αντικειμένου και του υγρού. Καλούνται δηλαδή να πραγματοποιήσουν επιπλέον μεταβάσεις από την «Ιδέα-Τεκμήριο» της πυκνότητας στην οπτική μορφή της προς άλλα «Τεκμήρια» εναλλακτικών «Κόσμων». Για παράδειγμα, δοκιμάζουν να μεταβούν από την «παρατήρηση-Τεκμήριο» ενός βυθισμένου ομοιώματος πλοίου, στην τελική κατάσταση-Τεκμήριο, όπου το πλοίο επιπλέει. Για την επιτυχία της μετάβασης δοκιμάζουν να επιλέξουν και να προσδέσουν στο βυθισμένο ομοίωμα, άλλα

σώματα που η αισθητή πυκνότητά τους (ιδέα-τεκμήριο) είναι μικρότερη από αυτή του νερού.

2^η περίπτωση ΔΜΑ: Ενίσχυση των διαισθητικών απόψεων για την πίεση μέσω μέτρησής της σε διάφορα βάθη

Ενότητα 1: επιδιώκει την εξοικείωση με απλά φαινόμενα και έννοιες της περιοχής, όπως και με ποιοτικά πειράματα. Π.χ. υγρά, αέρια, ρευστά, συμπιεστότητα αερίων αλλά όχι υγρών κ.λπ. Οι συγκεκριμένες δραστηριότητες εξοικείωσης επιχειρούν να εποικοδομήσουν τις θεωρητικές «Ιδέες» υγρό, αέριο, στερεό κ.λπ. μέσω κατάλληλων αισθητών «Τεκμηρίων» (ποσότητα, όγκος κ.λπ.). Επιχειρούν δηλαδή συνδέσεις $E \rightarrow I$. Από την άλλη μεριά, για «Ιδέες» όπως η συμπιεστότητα, που δεν προσεγγίζονται άμεσα με αισθητά τεκμήρια, κατασκευάζονται «προς τούτοις» εργαστηριακοί «Κόσμοι» (για παράδειγμα μια σύριγγα που άλλοτε είναι γεμάτη με νερό και άλλοτε με αέρα), από τους οποίους προκύπτουν τα «Τεκμήρια» που οδηγούν στις «Ιδέες» ($K \rightarrow E \rightarrow I$).

Ενότητα 2: ενισχύονται οι διαισθητικές απόψεις των εκπαιδευόμενων, για τη σχέση πίεσης και βάθους, ενώ αυτοί εισάγονται σε ποσοτικά πειράματα (σχέση πίεσης και βάθους) και στη διάκριση και έλεγχο μεταβλητών. Εδώ, επιχειρείται καταρχήν η προσέγγιση της θεωρητικής «Ιδέας» της πίεσης σε ένα σημείο ενός ρευστού μέσω της ένδειξης του οργάνου που την μετρά, του μανομέτρου, που στην περίπτωση ήταν ψηφιακό. Πραγματοποιείται δηλαδή μια ταύτιση της «Ιδέας» με το «Τεκμήριο» της μέτρησής της, όπως για παράδειγμα συνηθίζεται στη θερμοκρασία (όπου πολλές φορές ο ορισμός της είναι: η ένδειξη του θερμομέτρου). Από εκεί και μετά πραγματοποιούνται συνδέσεις των «Τεκμηρίων» της πίεσης E_p και του βάθους E_h (σχέση πίεσης και βάθους: $E_h \rightarrow E_p$), καθώς και συνδέσεις του τύπου ΣΕΜ που περιγράψαμε στην προηγούμενη περίπτωση.

Ενότητα 3 και 4: προκαλείται γνωστική σύγκρουση στους εκπαιδευόμενους επιδιώκοντας διάκριση πίεσης – δύναμης, παράλληλα πειράματα σύγκρισης πιέσεων σε φαρδύ – στενό δοχείο και δυνάμεων σε φαρδιά – στενή βεντούζα. Και εδώ, στους «Κόσμους» που κατασκευάζονται με τα δοχεία και τις βεντούζες επιχειρούνται συνδέσεις μεταξύ «Τεκμηρίων» στενό, φαρδύ, ένταση δύναμης, μετρούμενη πίεση.

Ενότητα 5: και εδώ κυριαρχούν οι μεταβάσεις μεταξύ «Τεκμηρίων», μιας και η νέα γνώση εφαρμόζεται, για παράδειγμα, στη μελέτη της αρχής του Pascal μέσω ποσοτικών πειραμάτων. Στη σχετική δηλαδή συζήτηση για τον Νόμο του Pascal, κατασκευάστηκε ένας καινούργιος «Κόσμος», δοχείων με διαφορετικές διατομές (Τεκμήρια), με υδατοστεγείς αναμονές προς ψηφιακά μανόμετρα σε διάφορα βάθη (Τεκμήρια), με τις ενδείξεις των μανομέτρων (Τεκμήρια) να αντιστοιχούν απευθείας σε πιέσεις κ.ο.κ. Με τον τρόπο αυτό, η «Ιδέα» που αναπαριστά ο Νόμος του Pascal μετασηματίστηκε και ελέγχθηκε αποκλειστικά ως σύγκριση «Τεκμηρίων».

3^η περίπτωση ΔΜΑ: Ενίσχυση των δεξιοτήτων της επιστημονικής μεθόδου, σε πειράματα με μαγνήτες

Ενότητα 1: τα νήπια άσκησαν τις ικανότητές τους στο να ομαδοποιούν μαγνητικά και μη υλικά, συνδέοντάς τα με «Τεκμήρια» έλξης ή μη έλξης σιδερένιων αντικειμένων.

Εδώ τα νήπια ασκήθηκαν σε συνδέσεις επαγωγικής εποικοδόμησης της θεωρητικής «Ιδέας» του μαγνητικού υλικού συλλέγοντας και κατηγοριοποιώντας «Τεκμήρια» έλξης $E \rightarrow I$, τα οποία ταύτιζαν με το αισθητά τεκμήρια της έλξης – μη έλξης. Τα νήπια, μάλιστα, πέτυχαν να δημιουργήσουν τις ταξινομήσεις (ιδέα μαγνητικού ή μη υλικού) και όταν είχαν εκ των προτέρων δοσμένο κριτήριο (Τεκμήριο) για τις δοκιμές τους και όταν δεν είχαν.

Ενότητα 2: ασκήθηκαν στο να σειροθετούν μαγνήτες κατά φθίνουσα ισχύ:

A. σχετίζοντας την θεωρητική «Ιδέα» της ισχύος ενός μαγνήτη με το «τεκμήριο» του πλήθους των σιδερένιων συνδετήρων που αυτός μπορούσε να συγκρατεί μέσω της έλξης. Καθιέρωσαν, δηλαδή μια σύνδεση I (ισχύς μαγνήτη) $\rightarrow E$ (πλήθος συνδετήρων), που παραπέμπει σε μέτρηση, όπως και στην προηγούμενη περίπτωση της πίεσης.

B. με βάση το τεκμήριο αυτό προχώρησαν με επιτυχία στο να σειροθετήσουν τους μαγνήτες διαχειριζόμενα το «Τεκμήριο» της ποσότητας των ελκόμενων ανά μαγνήτη συνδετήρων για να χτίσουν την μαθηματική στην ουσία της ιδιότητα-«Ιδέα» της διάταξης των μαγνητών από τον πιο ισχυρό προς τον πιο ασθενή.

4^η περίπτωση ΔΜΑ: Η πειραματική διδασκαλία στη διδασκαλία σύγχρονων θεμάτων (Νανοεπιστήμη-Νανοτεχνολογία)

Ενότητα 1: εδώ σημαντική είναι η οικοδόμηση της «Ιδέας» «μέγεθος-κλίμακα», επειδή όταν αλλάζει το μέγεθος ενός υλικού και πραγματοποιείται «μετάβαση κλίμακας», αλλάζουν απότομα (και «καταστροφικά») και οι ιδιότητες του υλικού, με συνέπεια, να αλλάζουν τα μοντέλα με τα οποία διαχειριζόμαστε και ερμηνεύουμε τα φαινόμενα, καθώς και οι κυρίαρχες δυνάμεις που ρυθμίζουν την κάθε περίπτωση. Η «Ιδέα» αυτή προσεγγίστηκε μέσω του «Τεκμηρίου» του διαφορετικού οργάνου μέτρησης που χρησιμοποιείται για την παρατήρηση των φαινομένων στις διαφορετικές «κλίμακες». Μέσω δηλαδή τριών διαφορετικών οργάνων παρατήρησης (ηλεκτρονικού μικροσκοπίου, μικροσκοπίου και οφθαλμού) προσεγγίζονται τρεις διαφορετικοί «Κόσμοι» που χαρακτηρίζονται από διαφορετικές τιμές της «ιδέας» της κλίμακας.

Ενότητα 2: σημαντική είναι επίσης η «Ιδέα» της εξάρτησης των ιδιοτήτων των υλικών από το μέγεθος τους. Η εξάρτηση αυτή μπορεί να δικαιολογηθεί είτε μέσω κβαντικών φαινομένων που αρχίζουν να κυριαρχούν όταν αλλάζουμε κλίμακα, είτε μέσω της αλλαγής του λόγου της επιφάνειας προς τον όγκο (S/V) των αντικειμένων. Από αυτές τις δύο θεωρητικές προσεγγίσεις προτείνεται να χρησιμοποιηθεί η δεύτερη, σε φαινόμενα επαφής δύο σωμάτων, όπου σε πολλές περιπτώσεις οι εμφανιζόμενες δυνάμεις της συνάφειας μπορούν να προσεγγιστούν μόνον από το «Τεκμήριο» της μικρής ή μεγάλης επιφάνειας επαφής μεταξύ των δύο σωμάτων. Για παράδειγμα, η προσέγγιση της ιδιότητας της υδροφοβικότητας αντιμετωπίζεται καταρχήν με το «Τεκμήριο»: συγκρατεί ή όχι μια επιφάνεια τις σταγόνες του νερού που πέφτουν πάνω της. Το τεκμήριο αυτό συνάγεται ως σχετικό με το «Τεκμήριο»: είναι ή όχι μεγάλη η επιφάνεια επαφής μιας σταγόνας νερού με το σώμα. Το τελευταίο αυτό τεκμήριο δίνεται, ως παράδειγμα, με την ορατή μοντελοποίηση της επαφής μεταξύ μιας σταγόνας νερού και ενός φύλλου λωτού (lotus effect). Μια μοντελοποίηση, που μεγεθύνει και οπτικοποιεί τη μικρή επιφάνεια α) προτείνοντας ένα ανάλογο της

επιφάνειας του λωτού με «κρεβάτι φακίρη» και β) επιδεικνύοντας ότι το σφαιρικό σχήμα των σταγόνων του νερού, πάνω στο «κρεβάτι του φακίρη», μηδενίζει σχεδόν την επιφάνεια επαφής μαζί του. Με τον τρόπο αυτό συνδέει την «Ιδέα» της υδροφοβικότητας (ως τεκμήριο E1, κρατάει ή δεν κρατάει νερό) με ένα επίσης «Τεκμήριο» (E2, ελάχιστης επιφάνειας επαφής): $I \rightarrow E1 \rightarrow E2$.

ΣΥΖΗΤΗΣΗ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα αποτελέσματα που παρουσιάστηκαν παραπάνω, από τις τέσσερις περιπτώσεις εφαρμογής διερευνητικών Διδακτικών-Μαθησιακών Ακολουθιών, εκτιμούμε ότι δείχνουν πώς η κατά Wittgenstein εκπαιδευτική «μορφή ζωής», που διαμορφώνεται μέσω της διερεύνησης, περιορίζεται στην κατεύθυνση της μιας από τις δύο μορφές ζωής που καλλιεργούνται στις επιστημονικές κοινότητες:

A. μοιάζει με την «εργαστηριακή επιστημονική μορφή ζωής», τόσο ως προς τις πρακτικές της, όσο και ως προς τα γλωσσικά ιδιώματα, ιδιώματα προφορικότητας, που καταλήγει να χρησιμοποιεί, αλλά

B. διαφέρει ουσιαστικά από τη «θεωρητική επιστημονική μορφή ζωής», η οποία χρησιμοποιεί αναλυτικά μαθηματικά γλωσσικά ιδιώματα και πρακτικές, ιδιώματα και πρακτικές της εγγράμματης δυτικής επιστημονικής παράδοσης.

Μιας και αυτό, το εξαιρετικά ενδιαφέρον κατά την άποψή μας αποτέλεσμα, στηρίζεται στην εργασία μας ποιοτικά, από έναν περιορισμένο αριθμό μελέτης περιπτώσεων, δεν θα επεκταθούμε ιδιαίτερα στην υποστήριξή του.

Θα αναφέρουμε όμως ότι για την τεκμηρίωση της συγκεκριμένης διαφοροποίησης συνηγορεί η περιγραφή του μοντέλου του Ian Hacking (1992) που προηγήθηκε· συνηγορεί η πλήρης ανάλυση της διαφοροποίησης της εργαστηριακής από τη θεωρητική επιστημονική δραστηριότητα του Hans Radder (1996), καθώς και το κλασικό κείμενο του Walter Ong (1997) περί παραδόσεων/ πολιτισμών προφορικότητας και εγγραματοσύνης, που τείνουν να μετασχηματίσουν οι ICTs της εποχής μας σε μια νέα κατεύθυνση δευτερογενούς προφορικότητας.

Επιπλέον, ο παραπάνω διαχωρισμός, μεταξύ εργαστηριακής και θεωρητικής επιστήμης και των επιστημόνων σε θεωρητικούς και εργαστηριακούς, είναι δεδομένη και πάγια στον επαγγελματικό επιστημονικό χώρο. Για την ολοκλήρωση βέβαια της επιστημονικής δραστηριότητας και τη συνολική κατανόηση της «φύσης της επιστήμης» οι δύο παραπάνω κατηγορίες προσεγγίζονται ως ισοδύναμες και συνεργαζόμενες, παρά τις διαφορές τους.

Στην περίπτωση όμως της διερευνητικής διδακτικής προσέγγισης που εξετάζουμε, τα αποτελέσματά μας από τις εργαστηριακές δραστηριότητες δείχνουν ότι αυτές μπορούν να βοηθήσουν:

α) στη μάθηση επιστημονικών πρακτικών με τη λογική της ρητής περιγραφής τους ή και της επίδειξής τους: «κάνε το έτσι» ή «κάνε το όπως το κάνω». Διαδικασίες, που είναι συνήθειες και στην επικοινωνία μεταξύ των επιστημόνων και των μη επιστημόνων

τεχνικών, στο επιστημονικό εργαστήριο και που στην περίπτωση μας αποδεικνύεται αποδοτική στην ρητή διδασκαλία της εφαρμογής ΣΕΜ, τόσο στην πρώτη όσο και στη δεύτερη περίπτωση ΔΜΑ που εξετάσαμε (εισαγωγή της πυκνότητας μέσω πειραμάτων πλεύσης-βύθισης και ενίσχυση των διαισθητικών απόψεων για την πίεση μέσω μέτρησής της σε διάφορα βάθη).

β) στη διαχείριση των θεωρητικών «Ιδεών» κυρίως με τη μορφή «Τεκμηρίων» που συνδέονται μαζί τους με διάφορους τρόπους. Για παράδειγμα:

β1. Στις περιπτώσεις που εξετάσαμε, η προσέγγιση του περιεχομένου των επιστημονικών «Ιδεών» που χρησιμοποιήθηκαν ή διδάχτηκαν, πραγματοποιήθηκε με τη δημιουργία/ κατασκευή/ οικοδόμηση «Τεκμηρίων» απευθείας συνδεδεμένων με τις «Ιδέες»: ορατοί κύβοι πυκνότητας στη θέση της πυκνότητας, μετρήσεις/ ενδείξεις μανομέτρου στη θέση της πίεσης, αριθμός ελκόμενων συνδετήρων στη θέση της ισχύος του μαγνήτη, μορφή της επιφάνειας λωτού στη θέση της υδροφοβίας, όργανο παρατήρησης στη θέση της κλίμακας.

β2. Στις ίδιες περιπτώσεις, οι «Ιδέες-υποθέσεις» που κατασκευάστηκαν και ελέγχθηκαν πειραματικά (μέσω της κατασκευής των κατάλληλων διατάξεων-«Κόσμων»), ήταν επίσης συνθέσεις «Τεκμηρίων»: η π/β εξαρτάται από το βάρος του στερεού σώματος ως εκτίμηση ή μέτρηση, από το εκτιμώμενο υλικό από το οποίο είναι κατασκευασμένο το σώμα, από το εκτιμώμενο είδος-υλικό του υγρού που υποδέχεται το σώμα· η πίεση ως μέτρηση εξαρτάται από το βάθος ή από το φάρδος του δοχείου, επίσης ως μέτρηση ή εκτίμηση· η δύναμη ως εκτιμώμενη από αυτόν που την ασκεί εξαρτάται από το εκτιμώμενο, επίσης, φάρδος της βεντούζας.

Το παραπάνω φαινόμενο φαίνεται να υποστηρίζει την διδακτική τάση της μοντελοποίησης των θεωρητικών ιδεών, μέσω μοντέλων που έχουν αισθητή, υλική υπόσταση και με τον τρόπο αυτό τείνουν να σημαίνουν τις «Ιδέες» που αντιπροσωπεύουν, μέσω αισθητών «Τεκμηρίων», όπως π.χ. συνέβη στην περίπτωση του μοντέλου-κύβου ως σημαίνοντος την πυκνότητα.

Είναι όμως ένα φαινόμενο που η μελέτη μας υποστηρίζει ως πολύ ευρύτερο. Για παράδειγμα, η χρήση των αποτελεσμάτων της μέτρησης μια «Ιδέας»-μεταβλητής στη θέση της ίδιας της «Ιδέας», δεν εμφανίζεται μόνον στις περιπτώσεις που μελετήσαμε. Ο ορισμός «Η θερμοκρασία είναι η ένδειξη του θερμόμετρου» είναι πολύ παλιός και χρησιμοποιείται ευρύτατα και στην εκπαίδευση και στο επιστημονικό εργαστήριο.

Η για πρώτη φορά παρουσίαση, επίσης, κορυφαίων επιστημονικών ιδεών από τους δημιουργούς τους, εμφανίζει την ίδια ακριβώς τάση αισθητηριακής σήμανσης μέσω «Τεκμηρίων». Κλασικά παραδείγματα αποτελούν ο ορισμός της «ακτίνας φωτός» από τον Νεύτωνα μέσω ενός αισθητού ανάλογου «βροχής σωματιδίων» (δες Newton (1730), *Opticks*, pp.1-2) ή η «κινητήρια δύναμη» της θερμότητας ως κινητήρια δύναμη της ροής της (κατ' αναλογία προς τις υδατοπτώσεις) από χώρους υψηλής θερμοκρασίας προς χώρους χαμηλής (Carnot 1824· Τσελφές & Παρούση 2019).

Μια επιπλέον, ανάλογη περίπτωση αποτελούν οι αισθητές μέσω «Τεκμηρίων» διατάξεις, που ενώ είναι αδύνατον να κατασκευαστούν, αναπαριστούν αισθητούς

«Κόσμους» μέσω «νοητικών πειραμάτων»· όπως το «τραίνο του Αϊνστάιν», που αναπαριστά την «Ιδέα» της σχετικότητας του χρόνου μέσω της διαφοράς που εμφανίζει η διάρκεια «ισόχρονων» φαινομένων, μετρούμενων από δύο διαφορετικούς παρατηρητές.

Η όλη διαδικασία, επομένως, μας επιτρέπει να κατανοήσουμε και το γιατί η μάθηση θεωρητικών «Ιδεών», με τη μορφή που τις συναντάμε στα κείμενα των θεωρητικών δημοσιεύσεων, είναι δύσκολη σε σχολικό πλαίσιο. Όπως δηλώνεται ρητά στην 4η περίπτωση που μελετήσαμε, οι κλασικές θεωρητικές «Ιδέες» (φαινομένων κλίμακας, κβαντικής φυσικής...) δεν επιχειρείται καν να διδαχτούν. Το γεγονός αυτό μπορεί να γίνει κατανοητό, επειδή στο πλαίσιο της θεωρητικής επιστημονικής παράδοσης οι «Ιδέες» συνομιλούν μεταξύ τους μέσω μαθηματικών σχέσεων, που δεν γνωρίζουν ούτε οι μαθητές ούτε οι διδάσκοντες αλλά και εξυπηρετούν άλλους στόχους και αρχές από αυτές που διαμορφώνονται μέσα σε ένα σχολικό, εργαστηριακό ή μη, περιβάλλον.

Συνολικά, από την ανάλυσή μας, αλλά και από την αναδρομή μας σε επιστημονικά πεδία, φαίνεται ότι οι διερευνητικές διδακτικές δραστηριότητες εξελίσσονται κυρίως όπως οι εργαστηριακές και όχι οι θεωρητικές επιστημονικές. Τόσο η γλώσσα όσο και η κυριαρχία των «Τεκμηρίων» συνηγορούν σ' αυτό. Επομένως, ένα γενικό συμπέρασμα της μορφής «Η διδακτική διερεύνηση δουλεύει επιτυχώς κατ' αναλογία με την εργαστηριακή επιστημονική δραστηριότητα», φαίνεται και λογικό και θεμιτό και χρήσιμο στον εκπαιδευτικό χώρο. Για να δουλέψει όπως και η θεωρητική επιστημονική δραστηριότητα, χρειάζεται εντατική μύηση εκπαιδευόμενων και εκπαιδευτικών, τουλάχιστον στη «διάλεκτο» των μαθηματικών· μια συνθήκη που ακόμη και αν επιχειρηθεί και αν πετύχει, μάλλον θα αποσυνδέσει τα μαθησιακά αποτελέσματα από την καθημερινή ζωή και κουλτούρα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Βοσνιάδου, Σ. & Brewer, W. F. (1993). Θεωρίες της αναδιοργάνωσης της γνώσης κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης, *Σύγχρονη Εκπαίδευση*, 34, 35-45.
- Δημητρίου, Δ. (2014). *Καλλιέργεια των επιστημονικών δεξιοτήτων στο Νηπιαγωγείο με τη διδασκαλία των μαγνητών και των ιδιοτήτων τους*. Αδημοσίευτη μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία. ΠΜΣ: Επιστήμες της Αγωγής: ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ: Διδακτική Μεθοδολογία και Αναλυτικά Προγράμματα. Παιδαγωγικό Τμήμα Νηπιαγωγών, ΠΔΜ, Φλώρινα
- Ζουπίδης, Α. (2011). Διδασκαλία και μάθηση με τη χρήση μοντέλων Φυσικών Επιστημών και Τεχνολογίας: εφαρμογή στα φαινόμενα της πλεύσης / βύθισης. Αδημοσίευτη διδακτορική διατριβή, ΠΤΝ, ΠΔΜ. Φλώρινα.
- Καριώτογλου, Π. (1991). *Προβλήματα διδασκαλίας και μάθησης της Μηχανικής των Ρευστών στο Γυμνάσιο*, Αδημοσίευτη Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Φυσικής, Α.Π.Θ.
- Καριώτογλου, Π., Κορομπίλης, Κ., Κουμαράς, Π. (1997). Εξακολουθούν να είναι επίκαιρες οι ανακαλυπτικές μέθοδοι διδασκαλίας; *Σύγχρονη Εκπαίδευση*, 92, 52-61.

- Καριώτογλου, Π. (2006). *Γνώση Παιδαγωγικού Περιεχομένου Φυσικών Επιστημών: Τρεις μελέτες περίπτωσης*. Γράφημα, Θεσσαλονίκη, σελ. 146,
- Καριώτογλου, Π., Σπύρτου, Α., Πνευματικός, Δ., Κασκάλης, Θ., Μαλανδράκης, Γ., Ζουπίδης, Α., Κολλίνη, Κ., Μπλούχου, Σ., Πολατίδου, Θ., Σουλτάνης, Κ., Τριανταφυλλίδου, Ρ., & Αρβανιτάκης, Ι., (2010α). *Η πυκνότητα των υλικών σε φαινόμενα πλεύσης / βύθισης: πειραματικές διαδικασίες και μοντελοποίηση, Βιβλίο εκπαιδευτικού*. Λευκωσία: Ερευνητική Ομάδα Μάθησης στις Φυσικές και Περιβαλλοντικές Επιστήμες, Πανεπιστήμιο Κύπρου, ISBN 978-9963-689-69-9 (επίσης στα αγγλικά με ISBN 978-9963-689-71-2).
- Καριώτογλου, Π., Σπύρτου, Α., Πνευματικός, Δ., Κασκάλης, Θ., Μαλανδράκης, Γ., Ζουπίδης, Α., Κολλίνη, Κ., Μπλούχου, Σ., Πολατίδου, Θ., Σουλτάνης, Κ., Τριανταφυλλίδου, Ρ., & Αρβανιτάκης, Ι., (2010β). *Η πυκνότητα των υλικών σε φαινόμενα πλεύσης / βύθισης: πειραματικές διαδικασίες και μοντελοποίηση, Διδακτικό υλικό*. Λευκωσία: Ερευνητική Ομάδα Μάθησης στις Φυσικές και Περιβαλλοντικές Επιστήμες, Πανεπιστήμιο Κύπρου, ISBN 978-9963-689-68-2 (επίσης στα αγγλικά με ISBN 978-9963-689-70-5).
- Καριώτογλου, Π. (2021). Ο Διδακτικός Μετασχηματισμός Περιεχομένου και η Αναγκαιότητα στη Διδακτική Φυσικών Επιστημών: Ζητήματα, Ευρήματα και Προτάσεις. *Έρευνα για την Εκπαίδευση στις Φυσικές Επιστήμες και την Τεχνολογία*. 1(1):39, DOI: 10.12681/riste.27268
- Κωνσταντίνου, Κ., Φερωνύμου, Γ., Νικολάου, Χρ., Κυριακίδου, Ε. (2004). Οι Φυσικές Επιστήμες στο Νηπιαγωγείο: Βοήθημα για τη Νηπιαγωγό: Εκδόσεις Υπουργείου Παιδείας και Πολιτισμού Κύπρου.
- Μάνου, Α. (2020). Ανάπτυξη και Αξιολόγηση Διδακτικών Μαθησιακών Σειρών για την Εκπαίδευση Εκπαιδευτικών στη Νανοτεχνολογία. Αδημοσίευτη διδακτορική διατριβή, ΠΤΔΕ, ΠΔΜ. Φλώρινα.
- Τεμερτζίδου, Ε. (2012). *Μελέτη της ικανότητας παιδιών προσχολικής ηλικίας και πρωτο-σχολικής ηλικίας να ταξινομούν υλικά με βάση τις μαγνητικές τους ιδιότητες*. Αδημοσίευτη μεταπτυχιακή εργασία: ΠΜΣ: Επιστήμες της Αγωγής: ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ: Διδακτική Μεθοδολογία και Αναλυτικά Προγράμματα, Παιδαγωγικό Τμήμα Νηπιαγωγών, ΠΔΜ, Φλώρινα.
- Τεμερτζίδου, Ε., Παπαδοπούλου, Π. και Καριώτογλου, Π. (2014). Μελέτη των δεξιοτήτων παιδιών προσχολικής ηλικίας στην ταξινόμηση των υλικών βάσει των μαγνητικών τους ιδιοτήτων. Στο Π. Καριώτογλου και Π. Παπαδοπούλου (επ), *Φυσικές Επιστήμες και Περιβάλλον στην Προσχολική Εκπαίδευση, Αναζητήσεις και Προτάσεις*, ΕΚΔΟΣΕΙΣ GUTENBERG, Αθήνα.
- Τσελφές, Β. (2002). *Δοκιμή και Πλάνη: Το εργαστήριο στη διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών*, Νήσος, Αθήνα.
- Τσελφές, Β. (2003). Μια πρόταση για τη διδασκαλία των φυσικών επιστημών στηριγμένη στην κατά Ι. Hacking προσέγγιση της «εσωτερικής ζωής» τους, στο Κ. Σκορδούλης & Α. Χαλκιά (Επιμ.), *Η συμβολή της ιστορίας και φιλοσοφίας των φυσικών επιστημών στη διδασκαλία των φυσικών επιστημών*, ΠΤΔΕ-ΕΚΠΑ, Αθήνα.
- Τσελφές, Β. & Παρούση, Α. (2019). Οι δικές μας θεωρίες για το φως: μια προσπάθεια οικοδόμησης θεωρητικού λόγου από εκπαιδευόμενες Νηπιαγωγούς. Στο Π.

- Παντίδος (επιμ.) *Ο ρόλος των Φυσικών Επιστημών στην Προσχολική Εκπαίδευση*, 321-339, Αθήνα: Εκδόσεις Νέων Τεχνολογιών.
- Τσελφές, Β. (2024). Το εκπαιδευτικό εργαστήριο των Φυσικών Επιστημών την εποχή των «Γραμματισμών» και της «κλιματικής κρίσης». Σε αυτό τον τόμο
- Χατζηπέτρου, Μ., Ζουπίδης, Α. & Τσελφές, Β. (2023). Επιστημολογική ανάλυση και κριτική στη δομή μιας εκπαιδευτικής παρέμβασης σε παιδιά Γυμνασίου στη θεματική της οπτικής. Στο: *Πρακτικά Εκτεταμένων Συνόψεων των Εργασιών: 13ο Πανελλήνιο Συνέδριο της ΔΦΕ και ΝΤ στην Εκπαίδευση*, ΕΚΤ.
- Ψύλλος, Δ., Κουμαράς, Π., Καριώτογλου, Π. (1993). Εποικοδόμηση της γνώσης στην τάξη με συνέρευνα δάσκαλου και μαθητή, *Σύγχρονη Εκπαίδευση*, 70, 34-41.
- Abd-El-Khalick, F., BouJaoude, S., Duschl, R. A., Hofstein, A., Lederman, N. G., Mamlok, R., Niaz, M., Treagust, D., & Tuan, H. (2004). Inquiry in science education: international perspectives. *Science Education*, 88(3), 397–419. doi:[10.1002/sce.10118](https://doi.org/10.1002/sce.10118)
- Ackermann, R. (1985). *Data, Instruments and Theory: A Dialectical Approach to Understanding Science*. Princeton: Princeton University Press.
- Adúriz-Bravo, A., Pujalte, A.P. (2020). Social Images of Science and of Scientists, and the Imperative of Science Education for All. In: Yacoubian, H.A., Hansson, L. (eds) *Nature of Science for Social Justice*. Science: Philosophy, History and Education. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-47260-3_11
- Bell, R., Smetana, L., & Binns, I. (2005). Simplifying inquiry instruction. *The Science Teacher*, 72(7), 30-33.
- Bianchi, G., Pisiotis, U. and Cabrera Giraldez, M. (2022). GreenComp. The European sustainability competence framework, Punie, Y. and Bacigalupo, M. editor(s), EUR 30955 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, ISBN 978-92-76-46485-3, doi:10.2760/13286, JRC128040.
- Blanchard, M. R., Southerland, S. A., Osborne, J. W., Sampson, V. D., Annetta, L. A., & Granger, E. M. (2010). Is inquiry possible in light of accountability?: A quantitative comparison of the relative effectiveness of guided inquiry and verification laboratory instruction. *Science Education*, 94(4), 577–616. <https://doi.org/10.1002/sce.20390>
- Bruner, J. (1961). *The act of discovery*. Harvard Educational Review, 31(1): 21.
- Bybee, R. W. (2006). Scientific inquiry and science teaching. In: L. B. Flick & N. G. Lederman (Eds.), *Scientific Inquiry and Nature of Science* (pp. 1-14). The Netherlands: Springer.
- Carnot, S. (1824). *Réflexions sur la puissance motrice du feu et sur les machines propres à développer cette puissance* (R. H. Thurston, Trans. and edited. Peter Smith, Gloucester, MA, 1977). Paris: Bachelier.
- Crawford, B. A. (2007). Learning to teach science as inquiry in the rough and tumble of practice. *Journal of Research in Science Teaching*, 44(4), 613-642. <https://doi.org/10.1002/tea.20157>
- DeBoer, G. (1991). *A history of ideas in science education: implications for practice*. NY: Teachers College Press

- Duschl, R., & Grandy, R. (2008). Reconsidering the character and role of inquiry in school science: framing the debates. In R. Duschl & R. Grandy (Eds.), *Teaching Scientific Inquiry: Recommendations for Research and Implementation* (pp. 1-37). Rotterdam, The Netherlands: Sense Publishers.
- Feinstein, N. W., & Waddington, D. I. (2020). Individual truth judgments or purposeful, collective sensemaking? Rethinking science education's response to the post-truth era. *Educational Psychologist*, 55(3), 155-166.
- Flick, L. & Lederman, N. (Eds.). (2006). *Scientific Inquiry and Nature of Science: Implications for Teaching, Learning, and Teacher Education*. Springer.
- 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. (1995), *Representing and Intervening*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Harlen, W. (2001), The Assessment of Scientific Literacy in the OECD/PISA Project, *Studies in Science Education*, 36(1), 79-103, <https://doi.org/10.1080/03057260108560168>
- Hodson, D. (1988), Experiments in science and science teaching. *Educational Philosophy and Theory*, 20: 53-66. <https://doi.org/10.1111/j.1469-5812.1988.tb00144.x>
- Hodson, D. (2003). Time for action: Science education for an alternative future. *International Journal of Science Education*, 25(6), 645–670. <https://doi.org/10.1080/09500690305021>
- Hofstein, A., Eilks, I. & Bybee, R. (2011). Societal issues and their importance for contemporary science education — A Pedagogical justification and the state-of-the-art in Israel, Germany, and the USA. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 9, 1459–1483. <https://doi.org/10.1007/s10763-010-9273-9>
- Jones G., Blonder, R., Gardner, G., Albe, V., Falvo, M. & Chevrier, J. (2013). Nanotechnology and Nanoscale Science: Educational challenges. *International Journal of Science Education* 35(9), 1490-1512.
- Kariotoglou, P., Koumaras, P., Psillos, D. (1995). Différenciation conceptuelle: un enseignement d'hydrostatique, fondé sur le développement et la contradiction des conceptions des élèves. *Didaskalia*, 7(7), DOI: 10.4267/2042/23767
- Kariotoglou, P. (2002). A Laboratory – based teaching learning sequence on fluids: developing primary student teachers' conceptual and procedural knowledge. In D. Psillos & H. Niedderer (Eds.), *Teaching and Learning in the Science Laboratory* (pp. 79 – 90). The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- Krajcik, J. (2001). Supporting Science Learning in Context: Project-Based Learning. In: Tinker, R. και Krajcik, J. (eds), *Portable Technologies: Science Learning in Context*. Kluwer Academic/Plenum Publishers, ISBN 0-306-46643-0, New York, 92.
- Le Hebel, F., Montpied, P., Tiberghien, A. (2014). Which Effective Competencies Do Students Use in PISA Assessment of Scientific Literacy?. In: Bruguière, C., Tiberghien, A., Clément, P. (eds) *Topics and Trends in Current Science*

- Education. Contributions from Science Education Research*, vol 1. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-007-7281-6_17
- Manou, L., Spyrtou, A., Hatzikraniotis, E., & Kariotoglou, P. (2018). Content transformation for experimental teaching nanoscale science and engineering to primary teachers. *Journal of Physics: Conference Series*, 1076(1), 1-10. IOP Publishing.
- Monroe, M. C., Eames, C., White, P. J., & Ardoin, N. M. (2023). Education to build agency in the Anthropocene. *The Journal of Environmental Education*, 54(6), 351–354. <https://doi.org/10.1080/00958964.2023.2277209>
- Murty B., Shankar, P., Raj, B., Rath, B.B. & Murday, J. (2013). *Textbook of Nanoscience and Nanotechnology*. Universities Press (India) Private Limited.
- National Research Council (NRC) (2000). *Inquiry and the National Science Education Standards: A guide for teaching and learning*. Washington, DC: The National Academies Press.
- National Research Council (NRC) (2012). *A framework for K-12 science education: Practices, crosscutting concepts, and core ideas*. Washington DC: The National Academies Press.
- Newton, I. (1730). *Opticks: a Treatise of the Reflections, Refractions, Inflections, and Colours of Light*. The Project Gutenberg eBook of Opticks, by Isaac Newton. <https://www.gutenberg.org/cache/epub/33504/pg33504-images.html>
- OECD. (2000). *Measuring student knowledge and skills: The PISA assessment of reading, mathematical and scientific literacy*. Paris: OECD.
- Ong, W. (1997). *Προφορικότητα και Εγγραμματοσύνη*, μτφρ. Κώστας Χατζηκυριάκου. Ηράκλειο: Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης.
- Osborne, J. (2023). Science, Scientific Literacy, and Science Education. *In Handbook of Research on Science Education: Volume III* (Vol. 3, pp. 785–816).
- Pedaste, M., Mäeots, M., Siiman, L. A., De Jong, T., Van Riesen, S. A., Kamp, E. T., Manoli, C.C., Zacharia, Z.C., & Tsourlidaki, E. (2015). Phases of inquiry-based learning: Definitions and the inquiry cycle. *Educational research review*, 14, 47-61. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2015.02.003>
- Psillos, D., Kariotoglou, P. (1999). Teaching fluids: intended knowledge and students' actual conceptual evolution. *International Journal of Science Education*, 21(1), 17-38.
- Psillos, D., Tselves, V. & Kariotoglou, P. (2004). An epistemological analysis of the evolution of didactical activities in teaching–learning sequences: the case of fluids. *International Journal of Science Education*, 26(5), 555–578.
- Psillos, D. & Kariotoglou, P. (2016). *Iterative Design of Teaching-Learning Sequences Introducing the Science of Materials in European Schools*, Springer, Dordrecht.
- Radder, H. (1996), *In and about the world*. New York: State University Press.
- Riga, F., Winterbottom, M., Harris, E., Newby, L. (2017). Inquiry-Based Science Education. In: Taber, K.S., Akpan, B. (eds) *Science Education. New Directions in Mathematics and Science Education*. Sense Publishers, Rotterdam. https://doi.org/10.1007/978-94-6300-749-8_19

- Roberts, D., & Bybee, R. (2014). Scientific literacy, science literacy, and science education. In N. Lederman & S. Abell (Eds.), *Handbook of Research in Science Education* (pp. 545–558). Routledge.
- Shliakhovchuk, E. (2019). After cultural literacy: new models of intercultural competency for life and work in a VUCA world. *Educational Review*, 73(2), 229–250. <https://doi.org/10.1080/00131911.2019.1566211>
- Spyrtou, A., Zoupidis, A., & Kariotoglou, P. (2008). The design and development of an ICT Enhanced Module concerning density as a property of materials applied in floating-sinking phenomena. In: C. P. Constantinou και N. Papadouris (Eds.), GIREP INTERNATIONAL CONFERENCE, *Physics Curriculum Design, Development and Validation*, Selected Papers, 391-407. ISBN 978-9963-689-20-0.
- Stevens S., Sutherland, L.M. & Krajcik, J.S. (2009) *The big ideas of nanoscale science and engineering: A guidebook for secondary teachers*. Arlington, VA: NSTA Press.
- Sutman, F., Schmuckler, J. & Woodfield, J. (2008). *The Science Quest. Using Inquiry/Discovery to Enhance Student Learning*, Grades 7-12. Published by Jossey-Bass, USA, 89, 125.
- Valladares, L. (2021). Scientific Literacy and Social Transformation. *Science & Education*, 30, 557–587. <https://doi.org/10.1007/s11191-021-00205-2>
- van Zee, E. H., (2006). Teaching “Science Teaching“ Through Inquiry, in Appleton, K. (eds.), *Elementary Science Teacher Education*, London: Lawrence Erlbaum Associates.
- Wenning, C.J. (2005). Levels of inquiry: Hierarchies of pedagogical practices and inquiry processes. *Journal of Physics Teacher Education Online*, 2(3), 3-11.
- Wenning, C.J. (2007). Assessing inquiry skills as a component of scientific literacy. *Journal of Physics Teacher Education Online*, 4(2), 21-24.
- Zoupidis, A., Pnevmatikos D., Spyrtou, A., and Kariotoglou, P. (2016). The impact of procedural and epistemological knowledge on conceptual understanding: the case of density and floating-sinking, *Instructional Science*, 44(4), 315-334. <https://www.jstor.org/stable/26303041>
- Zoupidis, A., Spyrtou, A., Malandrakis, G., Kariotoglou, P. (2016). The evolutionary refinement process of a Teaching Learning Sequence for introducing inquiry aspects and density as materials' property in floating / sinking phenomena, In D. Psillos & P. Kariotoglou (Eds.), *Iterative Design of Teaching-Learning Sequences*, (pp. 167-199), Springer.