



«Σχολή Θετικών Επιστημών και Τεχνολογίας»

«Μεταπτυχιακή Ειδίκευση Καθηγητών Φυσικών  
Επιστημών»

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

«Η συμβολή των Ιστορικών Επιστημονικών οργάνων στην  
διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών»

«Ευστάθιος Καρυπίδης»

Κωνσταντίνα Στεφανίδου / Κωνσταντίνος Σκορδούλης

Πάτρα, «Μάιος» «2023»

Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία του φοιτητή («Ευστάθιος Καρυπίδης») που την εκπόνησε. Στο πλαίσιο της πολιτικής ανοικτής πρόσβασης ο συγγραφέας/δημιουργός εκχωρεί στο ΕΑΠ, μη αποκλειστική άδεια χρήσης του δικαιώματος αναπαραγωγής, προσαρμογής, δημόσιου δανεισμού, παρουσίασης στο κοινό και ψηφιακής διάχυσής τους διεθνώς, σε ηλεκτρονική μορφή και σε οποιοδήποτε μέσο, για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, άνευ ανταλλάγματος και για όλο το χρόνο διάρκειας των δικαιωμάτων πνευματικής ιδιοκτησίας. Η ανοικτή πρόσβαση στο πλήρες κείμενο για μελέτη και ανάγνωση δεν σημαίνει καθ' οιονδήποτε τρόπο παραχώρηση δικαιωμάτων διανοητικής ιδιοκτησίας του συγγραφέα/δημιουργού ούτε επιτρέπει την αναπαραγωγή, αναδημοσίευση, αντιγραφή, αποθήκευση, πώληση, εμπορική χρήση, μετάδοση, διανομή, έκδοση, εκτέλεση, «μεταφόρτωση» (downloading), «ανάρτηση» (uploading), μετάφραση, τροποποίηση με οποιονδήποτε τρόπο, τμηματικά ή περιληπτικά της εργασίας, χωρίς τη ρητή προηγούμενη έγγραφη συναίνεση του συγγραφέα/δημιουργού. Ο συγγραφέας/δημιουργός διατηρεί το σύνολο των ηθικών και περιουσιακών του δικαιωμάτων.



«Η συμβολή των Ιστορικών Επιστημονικών οργάνων στην  
διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών»

«Ευστάθιος Καρυπίδης»

Επιτροπή Επίβλεψης Πτυχιακής / Διπλωματικής Εργασίας

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια:  
«Κωνσταντίνα Στεφανίδου»  
«ΕΔΙΠ του ΠΤΔΕ ΕΚΠΑ»

Συν- Επιβλέπων Καθηγητής:  
«Κωνσταντίνος Σκορδούλης»  
«Καθηγητής του ΠΤΔΕ ΕΚΠΑ»

Πάτρα, «Μάιος» «2023»

*Στους ανθρώπους που αγάπησα.*

## **Περίληψη**

Η Ιστορία και η Φιλοσοφία των Φυσικών Επιστημών είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με την διδακτική των εν λόγω επιστημών αφού έχει διαπιστωθεί ότι μπορεί να ενισχύσει την αποτελεσματικότητά της. Η παρούσα εργασία διερευνά τη σημασία της ένταξης στοιχείων από την Ιστορία και Φιλοσοφία των Φυσικών Επιστημών στη διδακτική πρακτική, εστιάζοντας στα ιστορικά επιστημονικά όργανα και τα πιθανά εκπαιδευτικά οφέλη που αυτά μπορεί να φέρουν.

Αρχικά, αναλύεται η συμβολή της Ιστορίας των Επιστημών στη διδακτική των φυσικών επιστημών μέσα από τη διενέργεια μίας ιστορικής αναδρομής της ένταξης της Ιστορίας και των πειραμάτων στη διδακτική πρακτική καθώς και τη σημασία της.

Στη συνέχεια, παρουσιάζονται ορισμένα επιστημονικά όργανα, τα οποία, ιστορικά, έχουν συμβάλει καθοριστικά στην ανάπτυξη των φυσικών επιστημών και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την καλύτερη κατανόηση των διδακτικών αντικειμένων στα πλαίσια του εκπαιδευτικού συστήματος.

Τέλος, δίνονται παραδείγματα ένταξης ιστορικών πειραμάτων και οργάνων στη διδασκαλία των φυσικών επιστημών, κάνοντας ιδιαίτερη αναφορά στη μέθοδο της αναπαραγωγής ιστορικών πειραμάτων και στη μέθοδο της ανακατασκευής ιστορικών επιστημονικών οργάνων.

## **Λέξεις – Κλειδιά**

Ιστορία Επιστημών, κωνστροκτιβιστική θεωρία, επιστημονικά πειράματα, επιστημονικά όργανα.

## «Historical Instruments Contribution to Science Teaching»

«Efstathios Karypidis»

### **Abstract**

The History and Philosophy of Natural Sciences is inextricably linked to the teaching of these sciences since it has been established that it can enhanced its effectiveness. This paper investigates the importance of integrating evidence from the History and Philosophy of Natural Sciences into teaching practice, focusing on historical scientific instruments and the possible educational benefits they may bring.

Initially, the contribution of History of Science to the teaching of natural science is analyzed through a historical review of the inclusion of History and experiments in teaching practice as well as its importance.

Then, some scientific instruments are presented, which historically contributed decisively to the development of natural sciences and can be used for better understanding of the teaching subjects within the educational system.

Finally, examples of the inclusion of historical experiments and instruments in the teaching of natural sciences are given, making special reference to the method of reproducing historical experiments and the method of reconstructing historical instruments

### **Keywords**

History of Science, constructivism theory, scientific experiments, scientific instruments





## Περιεχόμενα

Περίληψη .....	vii
Λέξεις – Κλειδιά .....	vii
Abstract.....	viii
Keywords.....	viii
Κατάλογος Εικόνων / Σχημάτων .....	xi
Κατάλογος Πινάκων .....	xii
Συντομογραφίες & Ακρωνύμια .....	xiii
1. Κεφάλαιο 1: Η συμβολή της Ιστορίας των επιστημών στη διδακτική των Φυσικών Επιστημών.....	1
1.1 Γενικά στοιχεία .....	1
1.2 Η σημασία του πειράματος στη διδακτική των Φυσικών Επιστημών .....	1
1.3 Ιστορική εξέλιξη της ένταξης της Ιστορίας των Επιστημών στη διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών .....	3
1.4 Η σημασία της ένταξης ιστορικών στοιχείων στη διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών.....	7
2. Κεφάλαιο 2: Ιστορικά επιστημονικά όργανα .....	11
2.1 Ορισμός.....	11
2.2 Το εκκρεμές.....	12
2.2.1 Οι εναλλακτικές ιδέες των μαθητών για το εκκρεμές.....	14
2.3 Το δυναμόμετρο .....	16
2.4 Το κεκλιμένο επίπεδο .....	18
2.5 Το θερμόμετρο.....	20
2.5 Το μικροσκόπιο .....	23
2.5 Γεννήτρια ηλεκτροστατικών φορτίων Wimshurst.....	25
3. Κεφάλαιο 3: Παραδείγματα ένταξης ιστορικών επιστημονικών εργαλείων στη διδακτική των Φυσικών Επιστημών .....	28
3.1 Μελέτη ιστορικής εξέλιξης εννοιών των φυσικών επιστημών μέσω της αναφοράς σε ιστορικά επιστημονικά όργανα .....	28
3.2 Η μέθοδος ανακατασκευής των ιστορικών επιστημονικών οργάνων .....	32
3.3 Η διενέργεια ιστορικών πειραμάτων .....	34
3.3.1 Σημασία της αναπαραγωγής των ιστορικών πειραμάτων .....	37
Συμπεράσματα.....	40
Βιβλιογραφία .....	44
Παράρτημα Α: «τίτλος παραρτήματος» .....	56
Παράρτημα Β: «τίτλος παραρτήματος .....	57

## **Κατάλογος Εικόνων / Σχημάτων**

---

## **Κατάλογος Πινάκων**

---

## **Συντομογραφίες & Ακρωνύμια**

ΔΕ	Διπλωματική Εργασία
ΕΑΠ	Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο

# 1. Κεφάλαιο 1: Η συμβολή της Ιστορίας των επιστημών στη διδακτική των Φυσικών Επιστημών

## 1.1 Γενικά στοιχεία

Στα πλαίσια της παρούσας ενότητας αναλύεται το πώς η Ιστορία και η Φιλοσοφία των φυσικών Επιστημών μπορεί να αποτελέσει ένα χρήσιμο εργαλείο στα πλαίσια της σύγχρονης Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών.

## 1.2 Η σημασία του πειράματος στη διδακτική των Φυσικών Επιστημών

Η κομβική σημασία του πειράματος στα πλαίσια της διδακτικής των φυσικών επιστημών έχει αναγνωριστεί ευρέως ήδη από το 19<sup>ο</sup> αιώνα, με αποτέλεσμα, αυτή η αναγνώριση να αποτελεί βασικό στοιχείο της διδακτικής πρακτικής κατά τη διάρκεια των δύο (2) τελευταίων αιώνων (Τρινα & Τρινοβα, 2015).

Πιο αναλυτικά, τόσο τα πειράματα επίδειξης όσο και τα πειράματα μαθητών αποτελούσαν κομμάτι των αναλυτικών προγραμμάτων ανώτατων εκπαιδευτικών ιδρυμάτων ήδη από τις αρχές του 19<sup>ου</sup> αιώνα, όπως τα πειράματα που διενεργούνταν στα πλαίσια του μαθήματος Χημείας που διδασκόταν στο Πανεπιστήμιο του Εδιμβούργου υπό τον T.Thomson από το 1807 (Μορρελ,1972). Επιπλέον, το 1899 η διενέργεια των πειραμάτων στη σχολική τάξη καθιερώθηκε ως βασική πρακτική για τη διδασκαλία των φυσικών επιστημών στα αγγλικά σχολεία (Gee & Clackson, 1992).

Στις αρχές του 20ού αιώνα, ο Armstrong υποστήριξε την άποψη ότι τα πειράματα των μαθητών έχουν υψηλότερη εκπαιδευτική αξία από τα πειράματα επίδειξης (Hodson, 1991), ωστόσο, η διάψευση της άποψης αυτής από τα μαθησιακά αποτελέσματα των μαθητών, οδήγησε στην επικράτηση της πρακτικής διενέργειας πειραμάτων επίδειξης από τους εκπαιδευτικούς (Hodson, 1993).

Κατά την διάρκεια των επόμενων δεκαετιών, η διερεύνηση της αποτελεσματικότητας των πειραμάτων επίδειξης και του ορθού τρόπου διενέργειάς τους στα πλαίσια της εκπαιδευτικής διαδικασίας έχει αποτελέσει ένα δημοφιλές ερευνητικό αντικείμενο (Bowen

& Phelps 1997; Johnstone & Al-Shuaili, 2001; Bodner, 2001; Zimrot & Ashkenazi, 2007). Από την άλλη πλευρά, κατά την ίδια περίοδο δεν έχουν προκύψει σαφή ερευνητικά ευρήματα που να υποστηρίζουν την άποψη ότι η εμπλοκή των μαθητών στην πειραματική πρακτική επηρεάζει σημαντικά τα μαθησιακά τους αποτελέσματα. (Hodson, 1993; Hofstein & Lunetta, 1982, 2004; Lazarowitz & Tamir, 1994)

Ειδικότερα στα πλαίσια της σύγχρονης κονστρουκτιβιστικής διδακτικής προσέγγισης, το πείραμα που διενεργείται από μαθητές, έχει αποδειχθεί σε κεντρικό άξονα ανάπτυξης της εκπαιδευτικής διαδικασίας με στόχο την επίτευξη της ενεργής εμπλοκής τους στη διαδικασία οικοδόμησης της γνώσης και της ανάπτυξης νέων δεξιοτήτων.

Ωστόσο, σύμφωνα με τα διαθέσιμα ερευνητικά δεδομένα, η απλή διενέργεια πειραμάτων εντός της σχολικής τάξης δεν αποτελεί ικανή συνθήκη για να ενισχύσει τα μαθησιακά αποτελέσματα, εάν δεν επιδιωχθεί η επίτευξη της γνωστικής σύγκρουσης για την ανατροπή των εναλλακτικών ιδεών των μαθητών (Κουμαράς, 1989), ή εάν ο δάσκαλος δεν καταβάλλει περαιτέρω προσπάθεια να παρέχει περισσότερες λεπτομέρειες στους μαθητές (Cartwright, 1989). Επιπροσθέτως, ο Sutton, δίνει έμφαση στην ενεργή εμπλοκή των μαθητών στην διαδικασία διενέργειας πειραμάτων, προκειμένου η πειραματική διαδικασία να βελτιώσει την αποτελεσματικότητα της εκπαιδευτικής διαδικασίας, σε αντίθεση με τα πειράματα επίδειξης. Από την άλλη πλευρά, ορισμένες έρευνες έχουν διαπιστώσει πως η εμπλοκή των μαθητών στη διενέργεια πειραμάτων, όταν αυτή συνίσταται στην απλή εκτέλεση οδηγιών και τη συμπλήρωση προκαθορισμένων φύλλων εργασίας, όχι μόνο δεν ενισχύει την κατανόηση των μαθητών για τα μελετώμενα φαινόμενα αλλά, αντιθέτως, μπορεί να συμβάλλει στη δημιουργία παρανοήσεων (Sharma et al, 2010; Wieman, Perkins, & Gilbert, 2010).

Ωστόσο, τα πειράματα επίδειξης διαδραμάτισαν κεντρικό ρόλο στη διδακτική πρακτική στον τομέα των Φυσικών Επιστημών σε παλαιότερες εποχές και, σύμφωνα με ορισμένους μελετητές, θα συνεχίσουν να διαδραματίζουν αντίστοιχο ρόλο και στη σύγχρονη εποχή (Trna & Trnova 2015).

Η χρήση των πειραμάτων επίδειξης στα πλαίσια της εκπαιδευτικής πρακτικής, έχει αποτελέσει ένα δημοφιλές ερευνητικό αντικείμενο και η σημασία τους έχει αναδειχθεί μέσα από πολυάριθμες έρευνες της διεθνούς βιβλιογραφίας (Hodson, 1990, 1993, Milner-Bolotin, Kotlicki, & Rieger & Ashkenazi, 2007).

Ένα επιχείρημα υπέρ της διενέργειας πειραμάτων επίδειξης αφορά στο γεγονός ότι αυτού του είδους τα πειράματα βοηθούν τους μαθητές να θυμούνται και να κατανοούν καλύτερα τα διδακτικά αντικείμενα σε σύγκριση με τους μαθητές που εμπλέκονται στη διαδικασία διενέργειας ενός πειράματος, ακολουθώντας απλώς τις οδηγίες που έχουν λάβει από τον διδάσκοντα και επιδιώκοντας να οδηγηθούν στο προκαθορισμένο αποτέλεσμα (Tina & Tirona, 2015).

Αρκετοί μελετητές έχουν διατυπώσει την άποψη ότι η διενέργεια πειραμάτων επίδειξης στα πλαίσια της διδακτικής των φυσικών επιστημών μπορούν να συμβάλλουν καθοριστικά στην υπερπήδηση εσφαλμένων αντιλήψεων και την πρόληψη παρανοήσεων (Risch, 2014; Roth, McRobbie, Lucas & Boutonne, 1997; Thorton & Sokoloff, 1990; Sokoloff & Thorton, 1997).

### **1.3 Ιστορική εξέλιξη της ένταξης της Ιστορίας των Επιστημών στη διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών**

Σύμφωνα με τον Kuhn (1962), η ένταξη των στοιχείων της Ιστορίας των Φυσικών Επιστημών στη διδακτική πρακτική αφορά, μεταξύ άλλων, στην ενσωμάτωση στη διδασκαλία της διάκρισης, σε επιστημολογικό επίπεδο, μεταξύ του γενικότερου πλαισίου της γέννησης και ανάπτυξης της επιστημονικής γνώσης και του πλαισίου εντός του οποίου η επιστημονική γνώση αποτελεί, ήδη, ένα συστηματικά οργανωμένο σώμα πληροφοριών και θεωριών (Koliopoulos et al., 2007).

Οι απαρχές της ιδέας της ένταξης της Ιστορίας και της Φιλοσοφίας των Φυσικών Επιστημών στη Διδακτική των Φυσικών Επιστημών αποδίδονται στο φυσικό φιλόσοφο Ernest Mach (1838-1916), ο οποίος, σε αντίθεση με τους περισσότερους επιστήμονες του 19<sup>ου</sup> αιώνα, εκδήλωνε ενδιαφέρον για τον τομέα της εκπαίδευσης και, μάλιστα, υπήρξε ιδρυτής του περιοδικού με τίτλο «Zeitschrift fur den physikalischen und chemischen Unterricht», το οποίο είχε ως αντικείμενο τη διδακτική της Φυσικής και της Χημείας (Στεφανίδου, 2013). Βασικός άξονας της αντίληψης του Mach για τη διδακτική των Φυσικών Επιστημών υπήρξε η ιδέα ότι η βασική προϋπόθεση ώστε κάποιος να ελέγχει και να αμφισβητεί τις ιδέες των Φυσικών Επιστημών αποτελεί η γνώση της ιστορικής εξέλιξής τους η οποία οδηγεί στη συνειδητοποίηση ότι παλαιότερα υπήρχε κάποια εναλλακτική



μορφή τους και στην παραδοχή ότι, ενδεχομένως, στο μέλλον μπορεί αυτές να αντικατασταθούν από άλλες εναλλακτικές μορφές τους ( Mathews, 1990).

Ένα χρόνο μετά το θάνατο του Mach, (1917), η Βρετανική Ένωση για την Ανάπτυξη της επιστήμης (British Association for Advancement of Science) προωθούσε μία ιστορική προσέγγιση της Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών, η οποία θα μπορούσε να συμβάλλει καθοριστικά στην κατάρριψη του τεχνητού φράγματος που είχε καθιερωθεί ανάμεσα στις φιλολογικές και τις θετικές επιστήμες (Matthews, 2007).

Κατά τις δεκαετίες 1940-1960, τα ευρωπαϊκά αναλυτικά προγράμματα διδασκαλίας των Φυσικών Επιστημών δεν περιλαμβάνουν αρκετά ιστορικά στοιχεία, σε αντίθεση με τα αντίστοιχα προγράμματα στις Η.Π.Α., όπου στοιχεία της Ιστορίας και της Φιλοσοφίας των Φυσικών Επιστημών αποτελούν, ήδη αναπόσπαστο τμήμα τους (Σερόγλου, 2000). Πιο αναλυτικά, μετά τη λήξη του Β΄ Παγκοσμίου Πολέμου, η επιτροπή του Πανεπιστημίου του Harvard διακηρύσσει μετ' επιτάσεως την ανάγκη της ενσωμάτωσης στοιχείων της Ιστορίας και Φιλοσοφίας των φυσικών Επιστημών στα αναλυτικά προγράμματα (Conant, 1945), μία ιδέα η οποία υλοποιείται, τελικά, τη δεκαετία του 1960 μέσω της ανάπτυξης του αναλυτικού προγράμματος, γνωστού ως Harvard Projects Physics με εμπνευστές τους Gerald Holton, James Rutherford και Fletcher Watson και χρηματοδότηση του Εθνικού Ιδρύματος Φυσικών Επιστημών των Η.Π.Α. (National Science Foundation – NSF) (Στεφανίδου, 2013). Σύμφωνα με τα διαθέσιμα ιστορικά στοιχεία, η εφαρμογή του προαναφερθέντος προγράμματος στα σχολεία των Η.Π.Α. χαρακτηρίστηκε ως επιτυχημένη αφού αυτή συνδέθηκε με αυξημένη κατανόηση, εκ μέρους των μαθητών, του γνωστικού αντικειμένου και την ενίσχυση της κριτικής τους σκέψης (Matthews, 2007).

Ωστόσο, στα πλαίσια ενός συνεδρίου με τίτλο «Ιστορία και διδακτική της Φυσικής» που πραγματοποιήθηκε το 1972 στο MIT, υπό την αιγίδα της Διεθνούς Επιτροπής για τη Διδακτική της Φυσικής (International Commission on Physics Education), αποφασίστηκε ο διαχωρισμός της ιστορικής μελέτης των Φυσικών Επιστημών και της Διδακτικής τους για δύο (2) βασικούς λόγους (Σερόγλου, 2000):

- Τα ιστορικά στοιχεία που είναι δυνατό να ενσωματωθούν στην εκπαιδευτική πρακτική εντάσσονται στο πλαίσιο της ψευδο-ιστορίας
- Η ένταξη ιστορικών στοιχείων στην εκπαιδευτική πρακτική θα λειτουργούσε ανασταλτικά στην ανάπτυξη ακλόνητων επιστημονικών πεποιθήσεων των μαθητών

Στα πλαίσια του εν λόγω συνεδρίου, ο μελετητής της Ιστορίας των Επιστημών Martin Klein διατύπωσε την άποψη ότι η προσπάθεια των καθηγητών Φυσικών Επιστημών να χρησιμοποιήσουν την ιστορία των επιστημών για την επίτευξη σύγχρονων διδακτικών στόχων, τους οδηγεί, αναπόφευκτα, στην επιδείνωση της ποιότητας του διδακτικού αντικειμένου τόσο σε επίπεδο Ιστορίας όσο και σε επίπεδο Φυσικών Επιστημών (Matthews, 2007).

Ακολούθησε, την επόμενη χρονιά (1973), η παύση της χρηματοδότησης του προγράμματος επιμόρφωσης των εκπαιδευτικών, η οποία σηματοδότησε και το τέλος της εφαρμογής του Harvard Project Physics (Holton, 2003).

Την ίδια Περίπου, εποχή, στην Ευρώπη και, ειδικότερα, στη Γαλλία, κερδίζει έδαφος ένα ρεύμα το οποίο υποστηρίζει την ένταξη της μελέτης κλασικών κειμένων των Φυσικών Επιστημών στη δευτεροβάθμια και τριτοβάθμια διδασκαλία τους και στα προγράμματα επιμόρφωσης των διδασκόντων (Rosmorduc, 1975).

Όπως φαίνεται, κατά τη διάρκεια της συγκεκριμένης περιόδου συνεχίζεται η διατύπωση σημαντικών επιφυλάξεων σχετικά με το πρόσημο της επίδρασης της ένταξης της Ιστορίας της Φιλοσοφίας των Φυσικών Επιστημών στη Διδακτική τους. Πιο αναλυτικά ο Brush, στα πλαίσια του έργου του με τίτλο “Should the History of Science be Rated X?” (1974), αντιτίθεται στην ενσωμάτωση ιστορικών στοιχείων στη διδακτική των Φυσικών Επιστημών με το επιχείρημα ότι κάτι τέτοιο θα κλόιζε την ακλόνητη πεποίθηση που είναι σημαντικό να διαμορφώσουν οι μαθητές για τις φυσικές επιστήμες, προκειμένου να τις κατανοήσουν επαρκώς. Ωστόσο, ο ίδιος διακηρύσσει πως η Ιστορία και Φιλοσοφία των Φυσικών Επιστημών μπορεί να αποτελέσει ένα χρήσιμο εργαλείο στα χέρια των εκπαιδευτικών προκειμένου οι τελευταίοι να εξηγήσουν στους μαθητές ότι θεμελιώδεις φυσικές έννοιες, όπως η ενέργεια, αναπτύχθηκαν και εξελίχθηκαν από την ανθρώπινη νόηση με στόχο την εξήγηση απτών προβλημάτων και φαινομένων που γίνονται αντιληπτά στα πλαίσια της καθημερινής ζωής (Στεφανίδου, 2013).

Ακόμα ένας σημαντικός μελετητής που διατύπωσε σημαντικές επιφυλάξεις σχετικά με την ορθότητα της ένταξης στοιχείων από την Ιστορία και Φιλοσοφία των Φυσικών Επιστημών στη σύγχρονη διδακτική ήταν ο Thomas Kuhn, ο οποίος, στα πλαίσια των έργων του με τίτλους «Structure of Scientific Revolutions» (1970), και “The Essential Tension” (1977), έκφρασε την άποψη ότι η ενθάρρυνση των μαθητών των φυσικών

επιστημών να μελετήσουν το έργο κλασικών επιστημόνων προγενέστερων εποχών, θα μπορούσε να τους δημιουργήσει σύγχυση σχετικά με το αντικείμενο που διδάσκονται, δεδομένου ότι αυτά παρουσιάζουν μία διαφορετική προσέγγιση των ίδιων προβλημάτων των φυσικών επιστημών, στα πλαίσια της επιστημονικής σκέψης της εκάστοτε εποχής (Kindi, 2005).

Το ζήτημα της ένταξης στοιχείων της Ιστορίας και της Φιλοσοφίας των Φυσικών Επιστημών στη διδακτική πρακτική επανέρχεται περίπου μία δεκαετία αργότερα και, συγκεκριμένα, το 1983, στα πλαίσια ενός διεθνούς συνεδρίου με τίτλο “Using History of Physics in Innovatory Physics Education”, το οποίο πραγματοποιείται στην Pavia. Μετά τη διαπίστωση του θερμού ενδιαφέροντος της επιστημονικής κοινότητας πάνω στο συγκεκριμένο θέμα, ακολουθεί η οργάνωση αρκετών συνεδρίων με αντίστοιχο θέμα και τη δημοσίευση ενός σημαντικού αριθμού δημοσιεύσεων με αντικείμενο τη σημασία της ένταξης ιστορικών στοιχείων στη Διδακτική των Φυσικών Επιστημών (Σερόγλου, 2000).

Περίπου την ίδια εποχή δημοσιεύτηκε μία ελληνική επισκόπηση με αντικείμενο την ένταξη ιστορικών στοιχείων στη Διδακτική των Φυσικών Επιστημών, η οποία διακρίνει τρία επίπεδα στην πρακτική εφαρμογή της (Κολιόπουλος & Ψύλλος, 1981):

- Διδασκαλία της φυσικής ως ενός τομέα της γενικής καλλιέργειας και διαμόρφωσης των αυριανών πολιτών, στα πλαίσια της ουμανιστικής προσέγγισης της γνώσης.
- Κατανόηση, από μέρους των διδασκομένων, στοιχείων της μεθοδολογίας των φυσικών επιστημών στα πλαίσια, κατά βάση, αντιθετικιστικών επιστημολογικών προσεγγίσεων.
- Συμβολή στην κατανόηση των νοητικών αναπαραστάσεων που προϋπάρχουν στους μαθητές σχετικά με έννοιες και φαινόμενα των φυσικών επιστημών και στην αξιοποίησή τους στη διδακτική πρακτική.

Στα μέσα της δεκαετίας του 1990, ο Duschl δημοσιεύει μία ιστορική επισκόπηση πρωτοποριακών αναλυτικών προγραμμάτων διδασκαλίας στις Η.Π.Α., καθώς και τα χαρακτηριστικά των προγραμμάτων σπουδών που εφαρμόστηκαν κατά τη διάρκεια κατά τη διάρκεια των δεκαετιών του 1950 και 1960, με θέμα την εξέλιξη της Ιστορίας και

Φιλοσοφίας των Φυσικών Επιστημών και την επίδρασή της στην ανάπτυξη των νέων (Κολιόπουλος, 2012).

Σήμερα αποτελεί μια γενική παραδοχή ότι η ένταξη στοιχείων της Ιστορίας και Φιλοσοφίας των Φυσικών Επιστημών στη διδακτική πρακτική μπορεί να συμβάλλει στην ενίσχυση του ενδιαφέροντος των μαθητών και στην ενίσχυση της κατανόησης της κατασκευής των διδασκόμενων επιστημονικών εννοιών στο εκάστοτε ιστορικό πλαίσιο (Jardim et al., 2021), ωστόσο το πλαίσιο της ένταξης των στοιχείων αυτών στη διδασκαλία συνεχίζει να αποτελεί ένα δημοφιλές ερευνητικό αντικείμενο.

#### **1.4 Η σημασία της ένταξης ιστορικών στοιχείων στη διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών**

Όπως προκύπτει από τα στοιχεία που παρατέθηκαν στα πλαίσια της προηγούμενης ενότητας της παρούσας εργασίας, το ζήτημα της ένταξης στοιχείων από την Ιστορία και τη Φιλοσοφία των Φυσικών επιστημών στη διδασκαλία τους, αποτέλεσε ένα ζήτημα που, διαχρονικά, απασχόλησε την επιστημονική εκπαιδευτική κοινότητα και σχετικά με το οποίο διατυπώθηκαν επιχειρήματα και από τις δύο πλευρές. Στο πλαίσιο της παρούσας ενότητας θα αναλυθούν τα επιχειρήματα που έχουν διατυπωθεί υπέρ της ενσωμάτωσης ιστορικών στοιχείων στη διδακτική πρακτική των φυσικών επιστημών.

Ο Matthews, υπήρξε υπέρμαχος της ένταξης των φυσικών επιστημών και στα πλαίσια του έργου του με τίτλο «Διδασκαλία της Επιστήμης- Ο ρόλος της Ιστορίας και Φιλοσοφίας των Φυσικών Επιστημών» («Science Teaching- The Role of History and Philosophy of Science») υποστηρίζει την άποψή του παραθέτοντας τα εξής επιχειρήματα (Matthews, 1994):

- Οι ιστορικές έννοιες και μέθοδοι είναι ευκολότερο να γίνουν κατανοητές εάν τοποθετηθούν στο κατάλληλο ιστορικό πλαίσιο.
- Οι ιστορικές προσεγγίσεις συμβάλλουν στη νοητική κατασκευή της σύνδεσης της ανάπτυξης της ατομικής σκέψης με την ανάπτυξη των επιστημονικών ιδεών. Η άποψη αυτή ενισχύεται από τις ιδέες του Piaget σχετικά με τη γενετική επιστημολογία (Piaget, 1970).

- Η Ιστορία των Φυσικών Επιστημών, ως τμήμα του ανθρώπινου πολιτισμού, φέρει δική της ουσιώδη πληροφορία, η οποία της προσδίδει εκπαιδευτική αξία ανεξάρτητα από την αξία της επιστημονικής γνώσης που περιγράφει.
- Η γνώση της Ιστορίας των Φυσικών Επιστημών αποτελεί αναγκαία συνθήκη για την κατανόηση της ίδιας της φύσης Φυσικών Επιστημών.
- Η Ιστορία των Φυσικών Επιστημών συμβάλλει καθοριστικά στην άμβλυνση του δογματισμού που, συχνά, είναι σύμφυτος των Φυσικών Επιστημών ή χαρακτηρίζει την διδακτική πρακτική.
- Η Ιστορία των Φυσικών Επιστημών, παρέχοντας πληροφορίες σχετικά με τη ζωή και την εποχή σημαντικών επιστημόνων, προσδίδει μία ανθρώπινη διάσταση στις Φυσικές Επιστήμες, η οποία την καθιστά περισσότερο ελκυστική στους μαθητές.
- Η Ιστορία των Φυσικών Επιστημών, ως κλάδος της Ιστορίας, συνδέεται με ποικίλους άλλους τομείς της ανθρώπινης δραστηριότητας, επιτρέποντας έτσι, μία διαθεματική προσέγγιση της γνώσης.

Επιπροσθέτως, σημαντικά επιχειρήματα έχουν διατυπωθεί αναφορικά με την καθοριστική συμβολή της Ιστορίας των Φυσικών Επιστημών στις διαδικασίες μάθησης και διδασκαλίας των περιεχομένων εννοιών και φαινομένων. Πιο αναλυτικά ένας σημαντικός τρόπος αποτελεί η αναπαράσταση ιστορικών πειραμάτων στις τάξεις με στόχο την παρουσίαση και κατανόηση θεμελιωδών εννοιών των Φυσικών Επιστημών. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της διενέργειας μίας απλουστευμένης εκδοχής του ιστορικού πειράματος εντός της σχολικής τάξης, δίνοντας έμφαση στη μη διατάραξη της πραγματικής αλληλουχίας των πειραματικών σταδίων (Knipis, 1996).

Σημαντική θεωρείται και η συμβολή της ένταξης στοιχείων από την Ιστορία των Φυσικών Επιστημών στη διδακτική πρακτική στα πλαίσια ενός κονστрукτιβιστικού μοντέλου διδασκαλίας. Πιο αναλυτικά, με απαρχή τη δεκαετία του 1980, έχει προταθεί η ένταξη ιστορικών στοιχείων στην εκπαιδευτική διαδικασία, μέσω της αναδιάρθρωσης αναλυτικών προγραμμάτων με στόχο να επιτευχθεί η μεταβολή των εναλλακτικών ιδεών που προϋπάρχουν στο μυαλό των μαθητών σχετικά με έννοιες και φαινόμενα των Φυσικών Επιστημών. Αυτό επιτυγχάνεται αφού, μέσω της σύγκρισης των σύγχρονων επιστημονικών ιδεών με τις παλαιότερες, οι μαθητές έχουν την ευκαιρία να καταρρίψουν τις δικές τους και να τις αντικαταστήσουν με τις ορθές που συμβαδίζουν με τη σύγχρονη επιστημονική γνώση (Monk & Osborne, 1997). Χαρακτηριστικό παράδειγμα μιας τέτοιας εφαρμογής του

κονστρουκτιβιστικού μοντέλου διδασκαλίας με ένταξη ιστορικών στοιχείων, συνιστά η χρήση στην σχολική τάξη των δραματοποιημένων «ιστορικών διαλόγων» μεταξύ μεγάλων ιστορικών μορφών των Φυσικών Επιστημών, και ειδικότερα του Αριστοτέλη, του Νεύτωνα και του Γαλιλαίου (Σερόγλου, 2000).

Από την άλλη πλευρά, η ένταξη στοιχείων από την Ιστορία των Φυσικών Επιστημών στη διδακτική πρακτική μπορεί να έχει θετική επίδραση στις διαδικασίες διδασκαλίας και μάθησης της μεθοδολογίας των Φυσικών Επιστημών αφού, μέσω της διενέργειας ιστορικών πειραμάτων στην τάξη, στα πλαίσια των οποίων γίνεται παρουσίαση των μεθόδων που ακολουθήθηκαν από σημαντικές ιστορικές μορφές των Φυσικών επιστημών, οι μαθητές, γίνονται κοινωνοί της ορθής επιστημονικής μεθοδολογίας. Τέτοια παραδείγματα που βρίσκουν συχνή εφαρμογή στη σύγχρονη διδακτική πρακτική περιλαμβάνουν την αναπαράσταση του πειράματος που διεξήγαγε ο Γαλιλαίος για τη μελέτη της περιόδου του εκκρεμούς, και του αντίστοιχου πειράματος που διεξήγαγε ο Αρχιμήδης για τη μελέτη της πυκνότητας των υγρών (Allchin, 1999). Επιπροσθέτως, έχει υποστηριχθεί ότι, μέσω της ένταξης ιστορικών στοιχείων στη διδασκαλία, ο εκπαιδευτικός έχει τη δυνατότητα να αξιοποιήσει υλικό που μπορεί να αποτελέσει ένα χρήσιμο εργαλείο στα χέρια του για την παρουσίαση της μεθοδολογίας των Φυσικών επιστημών και θα συμβάλλει καθοριστικά στην περαιτέρω ανάπτυξη των γνωστικών δεξιοτήτων των διδασκομένων (Arons, 1990).

Επιπροσθέτως, η καλλιέργεια δεξιοτήτων, εκ μέρους των μαθητών, σχετικά με την επίλυση προβλημάτων αποτελεί ένα ακόμα τομέα στον οποίο η συμβολή της ένταξης της Ιστορίας των Φυσικών Επιστημών στη διδακτική πρακτική μπορεί να αποδειχθεί καθοριστική. Κάτι τέτοιο μπορεί να επιτευχθεί μέσω της παρουσίασης, στα πλαίσια της σχολικής τάξης, ιστορικών νοητικών προβλημάτων που τέθηκαν από σημαντικές μορφές καθ' όλη την Ιστορία των Φυσικών Επιστημών, όπως ο Newton, ο Galileo και ο Einstein, τα οποία είναι δυνατό να συμβάλλουν στην καλλιέργεια δεξιοτήτων, όπως η φαντασία και η δημιουργικότητας, οι οποίες είναι εξαιρετικά χρήσιμες για την επίλυση προβλημάτων στις Φυσικές Επιστήμες (Matthews, 2007).

Σημαντική είναι η συμβολή της Ιστορίας των Φυσικών Επιστημών και στην κατανόηση των μαθησιακών δυσκολιών που μπορεί να παρουσιάζουν οι μαθητές, ενώ στο πλαίσιο αυτό, η ένταξη ιστορικών στοιχείων στη διδακτική πρακτική μπορεί να συμβάλλει καθοριστικά στο σχεδιασμό αποτελεσματικών σεναρίων για την υπερπήδησή τους (Halloun & Hestenes, 1985; Σπηλιωτόπουλος & Ιωαννίδης, 1996; Steinberg, 1992; Kipnis, 1996; Allchin 1997).

Σημειώνεται ότι αρκετοί ερευνητές έχουν επισημάνει τη σημασία της Ιστορίας των Φυσικών Επιστημών και στη γενικότερη κατανόηση των διδακτικών αντικειμένων και το σχεδιασμό διδακτικών σεναρίων εκ μέρους των εκπαιδευτικών, ανεξαρτήτως εντοπισμού μαθησιακών δυσκολιών στους μαθητές (Conant, 1947; Albenes & Vincentini, 1997; Monk & Osborne, 1997; Villani & Arruda, 1998).

Τέλος, έχει διατυπωθεί η άποψη ότι η Ιστορία των Φυσικών Επιστημών είναι δυνατό να λειτουργήσει ενισχυτικά στην καλύτερη κατανόηση των εναλλακτικών ιδεών που προϋπάρχουν στους μαθητές σχετικά με έννοιες και φαινόμενα των φυσικών επιστημών. Το γεγονός αυτό αποκτά τεράστια σημασία στα πλαίσια ενός κονστрукτιβιστικού μοντέλου διδασκαλίας όπου οι εκπαιδευτικοί καλούνται να εντοπίζουν τις προϋπάρχουσες ιδέες των μαθητών σχετικά με τις διδασκόμενες έννοιες και να αξιοποιούν τη γνώση αυτή στα πλαίσια του σχεδιασμού της διδασκαλίας προκειμένου να καταστεί ευκολότερη η επιδιωκόμενη εννοιολογική αλλαγή. Σημειώνεται ότι ορισμένα ερευνητικά δεδομένα συνηγορούν στην άποψη ότι η διαδικασία οικοδόμησης της επιστημονικής γνώσης στις φυσικές επιστήμες εκ μέρους των μαθητών, συχνά, ακολουθεί τα ίδια στάδια που ακολούθησαν οι επιστήμονες, όπως αυτά περιγράφονται στην Ιστορία των Φυσικών Επιστημών από την πλευρά των διδασκόντων (Stavy, 1992; Κολιόπουλος, 2004).

## 2. Κεφάλαιο 2: Ιστορικά επιστημονικά όργανα

### 2.1 Ορισμός

Ο Albert van Helden (1983) ορίζει τα «επιστημονικά όργανα» (“scientific instruments”) ως εκείνες τις συσκευές που έχουν αξιοποιηθεί από επιστήμονες προκειμένου να διερευνήσουν τη φύση σε ποιοτικό ή ποσοτικό επίπεδο. Επιπροσθέτως, ο ίδιος σημειώνει κάποια επιπλέον στοιχεία που φέρουν οι συσκευές που χαρακτηρίζονται ως επιστημονικά όργανα:

- Διαθέτουν οργανική σχέση με τη μελέτη της φύσης και λειτουργούν επικουρικά προς τις ανθρώπινες αισθήσεις οι οποίες υπόκεινται σε περιορισμούς
- Οι μετρήσεις που διενεργούνται με επιστημονικά όργανα είναι αληθείς
- Η λειτουργία τους γίνεται βάσει των αδιαφιλονίκητων επιστημονικών αρχών

Τα επιστημονικά όργανα, με την προαναφερθείσα έννοια, εμφανίστηκαν κατά την περίοδο 1550-1700 χωρίς, ωστόσο, αυτά να χαρακτηρίζονται πάντα έτσι. Η έννοια αυτή αποδόθηκε, σταδιακά, στις συσκευές που χρησιμοποιούνταν στα πλαίσια επιστημονικών ερευνών (Πάπαρου, 2012).

Από την άλλη πλευρά, η Deborah Warner (1990) διαφωνεί με την παραπάνω άποψη, επισημαίνοντας ότι κατά το δεύτερο μισό του 17<sup>ου</sup> αιώνα, τα όργανα που σήμερα χαρακτηρίζονται ως «επιστημονικά», καλούνταν «φιλοσοφικά» (philosophical) με στόχο αυτά να διακρίνονται σαφώς από προγενέστερα όργανα που χρησιμοποιούνταν για τη διεξαγωγή μετρήσεων και καλούνταν «μαθηματικά» (mathematical). Επιπροσθέτως, για την ίδια εποχή αναφέρει την ύπαρξη άλλων κατηγοριών οργάνων, όπως τα λεγόμενα «όργανα μηχανικών» (engineering), στα οποία κατατάσσονταν οι πυξίδες, οι αστρολάβοι, οι εξάντες και τα ηλιακά ρολόγια, και τα οπτικά όργανα (optical), τα οποία περιελάμβαναν τους φακούς, τους καθρέφτες και τα πρίσματα και τα οποία, κατά την εποχή εκείνη, χρησιμοποιούνταν στο πλαίσιο ψυχαγωγικών παραστάσεων Taub, 2009).

Σημειώνεται ότι έχει διατυπωθεί η άποψη πως τα επιστημονικά εργαλεία επιφέρουν σημαντικό κοινωνικό αντίκτυπο γιατί, αφενός, ιστορικά έχουν συντελέσει καθοριστικά στην άμβλυνση της απόστασης μεταξύ επιστημονικής γνώσης και λαϊκής κουλτούρας και, αφετέρου, έχουν χρησιμοποιηθεί ως σημαντικά σύμβολα κύρους (Van Helden & Hankins, 1994).



## 2.2 Το εκκρεμές

Σε μία μελέτη με θέμα τα επιστημονικά όργανα δε θα μπορούσε να μη γίνεται εκτενής αναφορά στο εκκρεμές, δεδομένου ότι η ανάπτυξη και η μελέτη του συγκεκριμένου οργάνου θεωρείται ότι συνέβαλε καθοριστικά στην εξέλιξη της επιστήμης, του πολιτισμού και των κοινωνιών του Δυτικού κόσμου. Το όργανο αυτό εμφανίστηκε το 17<sup>ο</sup> αιώνα και αποτέλεσε αντικείμενο μελέτης για κορυφαίες μορφές της δυτικής επιστήμης της εποχής, συμπεριλαμβανομένων των Galileo, Huygens, Newton και Hooke. Η συμβολή του ήταν καθοριστική για την κατανόηση βασικών φαινομένων της φυσικής, όπως η επιτάχυνση της βαρύτητας  $g$  και η διαφοροποίηση ανάμεσα σε ισημερινές και πολικές περιοχές, και τη διατύπωση θεμελιωδών νόμων, όπως των νόμων της διατήρησης ή των νόμων της κρούσης. Επιπλέον, η μελέτη του εκκρεμούς υπήρξε καθοριστικής σημασίας για την σύνθεση νόμων της γήινης και ουράνιας μηχανικής, όπως αυτοί διατυπώθηκαν από το Newton (Matthews et al., 2004).

Άλλοι τομείς της φυσικής επιστήμης στους οποίους διαδραμάτισε κεντρικό ρόλο η μελέτη του εκκρεμούς περιλαμβάνουν τη νευτώνεια φυσική (Westfall, 1990) και την κλασική μηχανική, όπως διαμορφώθηκε κατά το διάστημα μεταξύ του 18<sup>ου</sup> και 20<sup>ου</sup> αιώνα, κυρίως μέσω του έργου των Stokes, Atwood και Eotvos. Επιπροσθέτως, το εκκρεμές του Φουκό, σε συνδυασμό με τη διατύπωση αδιαμφισβήτητων στοιχείων για την περιστροφή της Γης, συνέβαλαν καθοριστικά στο να αυξηθεί το ενδιαφέρον των μαζών για την επιστημονική γνώση κατά τα τέλη του 19<sup>ου</sup> και τις αρχές του 20<sup>ου</sup> αιώνα (Aczel, 2003), ενώ ο προσδιορισμός του σχήματος του πλανήτη μέσω της ανάλυσης των μετρήσεων του εκκρεμούς, έδωσαν σημαντική ώθηση στην επιστήμη της γεωδαισίας (Heiskanen & Vening Meinesz, 1958).

Η μετατόπιση του απλού εκκρεμούς σε μικρό πλάτος, το οποίο δεν υπερβαίνει τις 10°, συνοδεύεται από μία ταλάντωση της οποίας η φυσική συχνότητα αποτελεί, αποκλειστικά, συνάρτηση του μήκους. Η κίνηση την οποία εκτελεί το συγκεκριμένο όργανο χαρακτηρίζεται ως απλή αρμονική, στα πλαίσια της οποίας η δύναμη επαναφοράς μεταβάλλεται γραμμικά με την μετατόπιση. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, το απλό εκκρεμές να συνιστά ένα πρότυπο φυσικό σύστημα, η μελέτη του οποίου μπορεί να συμβάλλει στην καλύτερη κατανόηση της λειτουργίας άλλων φυσικών ή κοινωνικών συστημάτων. Ειδικότερα στην περίπτωση του ιδανικού εκκρεμούς, το οποίο εκτελεί ταλάντωση χωρίς

απόσβεση, αυτό να αποτελεί ένα διατηρητικό σύστημα όπου στα πλαίσια της ταλάντωσης που εκτελείται, η μηχανική ενέργεια διατηρείται αναλλοίωτη (Matthews et al., 2004).

Σύμφωνα με το Gallileo, η περίοδος ταλάντωσης του απλού εκκρεμούς αποτελεί συνάρτηση της τετραγωνικής ρίζας του μήκους (Law of Length), ενώ επισημαίνει ότι αυτή δεν επηρεάζεται από το πλάτος της ταλάντωσης (Law of amplitude independence) και το βάρος του εκκρεμούς (Law of weight independence). Επιπλέον, ο ίδιος σημειώνει πως, για δεδομένο μήκος εκκρεμούς, δεν καταγράφεται μεταβολή της περιόδου ταλάντωσης, γεγονός που οδηγεί στην παραδοχή σχετικά με την ισόχρονη κίνηση του εκκρεμούς, η οποία είναι θεμελιώδης και για τη μελέτη έτερων αντίστοιχων συστημάτων (Matthews, 2000).

Το εκκρεμές κατέχει κεντρική θέση στην ιστορία της επιστήμης δεδομένου ότι η ανάπτυξη του συνέπεσε χρονικά με την ωρολογιακή επανάσταση, η οποία αποτελεί σημείο σταθμό της ευρύτερης επιστημονικής εξέλιξης. Πιο αναλυτικά, ο Huygens, το 1673, μελετώντας το έργο του Gallileo σχετικά με την κίνηση του εκκρεμούς, έγινε ο πρώτος επιστήμονας που πέτυχε την πρώτη, ιστορικά, ακριβή μέτρηση του χρόνου (Yoder, 1988).

Το εκκρεμές συνέβαλε στο σημαντικό περιορισμό των σφαλμάτων που προέκυπταν στη μέτρηση του χρόνου από τα μηχανικά ρολόγια, τα οποία περιορίστηκαν σε μερικά δευτερόλεπτα ανά ημέρα, γεγονός που αποτέλεσε «επανάσταση» στους τομείς της Μηχανικής, της Πλοήγησης και της Αστρονομίας (Wise, 1995) με αποτέλεσμα, πλέον, ο χρόνος να μπορεί να λειτουργήσει ως μία σαφώς μετρούμενη ανεξάρτητη μεταβλητή (Matthews et al., 2004). Πιο αναλυτικά, το προαναφερθέν σφάλμα κατά το 14<sup>ο</sup> αιώνα προσέγγιζε τα 15 λεπτά ανά ημέρα και παραμένει σε υψηλά επίπεδα έως και τον 17<sup>ο</sup> αιώνα (12 λεπτά ανά ημέρα κατά τον 16<sup>ο</sup> και 8 λεπτά ανά ημέρα στο πρώτο μισό του 17<sup>ου</sup> αιώνα). Ωστόσο, μετά την ενσωμάτωση του απλού εκκρεμούς στα μηχανικά ρολόγια, το σχετικό σφάλμα μέτρηση του χρόνου πέφτει στα 10 δευτερόλεπτα την ημέρα για να υποστεί περαιτέρω συρρίκνωση τα επόμενα χρόνια, φτάνοντας το ένα (1) δευτερόλεπτο την ημέρα.

Ένας τομέας στον οποίο η χρήση του εκκρεμούς, ως εργαλείο μέτρησης του χρόνου, συνέβαλε καθοριστικά, ήταν ο υπολογισμός του γεωγραφικού μήκους τοποθεσιών, το οποίο αποτελεί ένα ζήτημα κομβικής σημασίας για τη ναυσιπλοΐα. Η δυνατότητα ακριβούς προσδιορισμού του γεωγραφικού μήκους, μέσω της χρήσης εκκρεμούς ρολογιού, υπήρξε καθοριστικός παράγοντας για την πλήρη χαρτογράφηση του πλανήτη, η οποία, με τη σειρά

της, λειτούργησε ευνοϊκά για την περαιτέρω ανάπτυξη του εμπορίου και του αποικισμού (Matthews et al., 2004).

Επιπροσθέτως, η δυνατότητα ακριβούς μέτρησης του χρόνου, ανεξάρτητα από την επίδραση φυσικών παραμέτρων, που προσέφερε η ανάπτυξη του εκκρεμούς, είχε σημαντική επίδραση και σε ποικίλους τομείς της κοινωνικής ζωής των ανθρώπων της εποχής. Πιο αναλυτικά, σημαντική υπήρξε η συμβολή του στη ρύθμιση των εργασιακών σχέσεων δεδομένου ότι πλέον, η χρονική διάρκεια μίας εργασίας ήταν δυνατό να μετρηθεί αντικειμενικά και αδιαμφισβήτητα, γεγονός που οδήγησε στην ανάδυση ζητημάτων σχετικά με τη διάρκεια της εργάσιμης ημέρας και την αμοιβή που αντιστοιχούσε σε αυτή, ανάλογα με το είδος της εργασίας. Επιπλέον, τόσο οι μεταφορές, όσο και οι θρησκευτικές και πολιτικές εκδηλώσεις μπορούσαν πλέον να προγραμματιστούν με σαφή αντικειμενικό τρόπο.

Σημειώνεται ότι η επίδραση του εκκρεμούς γίνεται φανερή ακόμα και στον τομέα της Θεολογίας, όπου διατυπώθηκε το επιχείρημα ότι εφόσον ο κόσμος έχει σχεδιαστεί και λειτουργεί με την ίδια τάξη που διέπει τη λειτουργία ενός ρολογιού, το γεγονός αυτό συνηγορεί στην ανάγκη ύπαρξης ενός «κοσμικού ωρολογιοποιού» (Macey, 1980).

Σήμερα η μελέτη του εκκρεμούς θεωρείται ότι συνοδεύεται από υψηλή εκπαιδευτική αξία, η οποία αντιστοιχεί σε όλα τα στάδια της εκπαίδευσης, από την πρωτοβάθμια εκπαίδευση έως τις μεταπτυχιακές σπουδές, αφού μέσα από αυτή οι εκπαιδευόμενοι έχουν την ευκαιρία να κατανοήσουν τη στενή σχέση μεταξύ Μαθηματικών και Φυσικής καθώς και την αλληλεπίδρασή τους με άλλους επιστημονικούς τομείς, όπως η Τεχνολογία και η Φιλοσοφία ενώ, επιπλέον, ανακαλύπτουν την κομβική σημασία των πειραμάτων στα πλαίσια της οικοδόμησης της επιστημονικής γνώσης (Matthews et al., 2004).

### **2.2.1 Οι εναλλακτικές ιδέες των μαθητών για το εκκρεμές.**

Παρά το γεγονός ότι η διερεύνηση των εναλλακτικών ιδεών των μαθητών για έννοιες και φαινόμενα των φυσικών επιστημών αποτελεί ένα αρκετά δημοφιλές ερευνητικό αντικείμενο της διεθνούς βιβλιογραφίας, δεν κατέστη δυνατό να εντοπιστούν αρκετές έρευνες σχετικά με τις ιδέες των μαθητών για το απλό εκκρεμές.

Μία σειρά τέτοιων ερευνών έχει ως αντικείμενο τις μεθόδους που υιοθετούν τα παιδιά για την αφομοίωση των μεταβλητών που εμπλέκονται στην κίνηση του εκκρεμούς (Inhelder &

Piaget, 1958; Stafford, 2002). Οι έρευνες αυτές έχουν διαπιστώσει πως οι μαθητές, από την ηλικία των 14 ετών, κατακτούν την ικανότητα να εφαρμόζουν υποθετικο-παραγωγικούς συλλογισμούς, η οποία ικανότητα κατέχει κομβική σημασία στα πλαίσια της επιστημονικής μεθοδολογίας.

Από την άλλη πλευρά, η έρευνα των H-Ho Yang et al. (2002) διαπίστωσε πως οι προϋπάρχουσες ιδέες των μαθητών αναφορικά με το εκκρεμές επηρεάζουν σε σημαντικό βαθμό το σχηματισμό, τον έλεγχο και την αντικατάσταση των αντιλήψεών τους. Πιο αναλυτικά, σχεδόν το  $\frac{1}{4}$  των μαθητών που συμμετείχαν στην έρευνα δήλωσαν την πεποίθησή τους σχετικά με το γεγονός ότι η συχνότητα του εκκρεμούς θα είναι μεγαλύτερη εάν αυτό αφηθεί να πέσει από ένα σημείο με μεγαλύτερο υψόμετρο. Η προαναφερθείσα πεποίθησή τους σχετικά με το γεγονός ότι η συχνότητα του εκκρεμούς θα είναι μεγαλύτερη εάν αυτό αφηθεί να πέσει από ένα σημείο με μεγαλύτερο υψόμετρο. Η προαναφερθείσα πεποίθηση έχει σχηματισθεί, σύμφωνα με όσα αναφέρουν, είτε από την προσωπική τους εμπειρία, είτε ως αποτέλεσμα εσφαλμένων αντιλήψεων αναφορικά με τη σχέση απόστασης-χρόνου. Στον αντίποδα της προαναφερθείσας αντίληψης βρίσκεται ένα μικρότερο ποσοστό των συμμετεχόντων, της τάξης του 15,1%, οι οποίοι διατυπώνουν την πεποίθησή τους ότι η συχνότητα του εκκρεμούς θα είναι μεγαλύτερη εάν αυτό αφηθεί να πέσει από ένα χαμηλότερο σημείο. Άλλοι παράγοντες που αναφέρονται από τους μαθητές στα πλαίσια της συγκεκριμένης έρευνας, οι οποίοι επιδρούν στη συχνότητα του απλού εκκρεμούς περιλαμβάνουν το βάρος του βαριδίου, το μήκος του εκκρεμούς καθώς και συνδυασμός δύο ή περισσότερων από τους προαναφερθέντες παράγοντες, με το μεγαλύτερο ποσοστό να συγκεντρώνει ο συνδυασμός μεγαλύτερου βάρους βαριδίων και μικρότερων μηκών νήματος.

Λίγα χρόνια αργότερα, ο Sumida (2005) διερεύνησε τις αντιλήψεις των συμμετεχόντων, μεγάλου ηλικιακού εύρους σχετικά με την επίδραση του μήκους και του βάρους στην ταχύτητα αιώρησης του απλού εκκρεμούς. Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν ότι περίπου οι μισοί μαθητές Γ΄ Γυμνασίου (48%) πιστεύουν πως όσο μικρότερο μήκος έχει ένα εκκρεμές, τόσο γρηγορότερα ταλαντώνεται, το 35% πιστεύει πως η ταχύτητα αιώρησης δεν επηρεάζεται από το μήκος του εκκρεμούς και το 17% πιστεύει ότι, όπως προκύπτει από τα ευρήματα της έρευνας, το ποσοστό των μαθητών που διατυπώνει την ορθή επιστημονική θεωρία για το εκκρεμές είναι μεγαλύτερο στην Α΄ Γυμνασίου και ακολουθεί πτωτική τάση έως την Α΄ Λυκείου. Συμπληρωματικά με τα προηγούμενα, η άποψη περί ανεξαρτησίας της

ταχύτητας αιώρησης από το μήκος του εκκρεμούς υποστηρίζεται από όλο και περισσότερους μαθητές καθώς αυξάνει η ηλικία τους, ενώ η δημοφιλία της έτερης άποψης παραμένει σταθερή σε όλες τις ηλικιακές ομάδες των μαθητών γυμνασίου. Όσον αφορά έτερες απόψεις των μαθητών για το εκκρεμές, λιγότεροι από τους μισούς (45%) δηλώνουν πως η ταχύτητα αιώρησης δεν αποτελεί συνάρτηση του βάρους, ενώ ένα σχεδόν αντίστοιχο ποσοστό μαθητών (43%) δηλώνουν πως ένα μικρό βάρος εκκρεμούς συνδέεται με υψηλότερη ταχύτητα αιώρησης.

### 2.3 Το δυναμόμετρο

Έως τα τέλη του 17<sup>ου</sup> αιώνα, η ανθρώπινη μυϊκή δύναμη μετριόταν με βάση την ικανότητα άρσης ή μετακίνησης προκαθορισμένων μυών. Για παράδειγμα, ο De la Hire δήλωνε το 1699 πως η δύναμη των μυών των ανθρώπινων μηρών αντιστοιχούσε στη δύναμη άρσης 140 γαλλικών λιβρών, ενώ υπολόγιζε την αντίστοιχη δύναμη των μπράτσων στη δύναμη που απαιτείται για την άρση 160 λιβρών. Επιπροσθέτως, η διενέργεια συγκριτικών δοκιμών αποτελούσε ακόμα μία ευρέως διαδεδομένη μέθοδο της εποχής για τον υπολογισμό της μυϊκής δύναμης (Pearn, 1978).

Παρά το γεγονός ότι οι προαναφερθείσες μέθοδοι χαρακτηρίζονταν από ευκολία εφαρμογής, ωστόσο συνοδεύονταν από σημαντικά μειονεκτήματα, όπως η απουσία ενός κοινά αποδεκτού πρότυπου βάρους και η αναγκαστική διενέργεια συγκριτικών μετρήσεων στα πλαίσια του τοπικού πληθυσμού, καθώς και η αδυναμία ελέγχου της ικανότητας άρσης όλων των ομάδων μυών του ανθρώπινου σώματος. Επιπροσθέτως, άλλα μειονεκτήματα των πρώιμων μεθόδων μέτρησης της ανθρώπινης μυϊκής δύναμης περιλαμβάνουν την αδυναμία ανάπτυξης μία πρακτικής, συνεχούς κλίμακας υπολογισμού της δύναμης, δεδομένου ότι χρησιμοποιούνταν συγκεκριμένα τυποποιημένα βάρη και ο συνδυασμός τους και η περιορισμένη αξιοπιστία των συγκριτικών μετρήσεων μέσω βιολογικών μεθόδων, η οποία καθιστούσε τις

μετρήσεις επιρρεπείς σε σφάλματα και ακατάλληλες για ένταξη σε επιστημονικούς υπολογισμούς (Pearn, 1978).

Στο πλαίσιο αυτό, η ανάγκη ανάπτυξης μίας μεθόδου μέτρησης της μυϊκής δύναμης, η οποία θα είναι συνεχής, θα παρέχει εύκολη τυποποίηση και θα χαρακτηρίζεται από αναπαραγωγιμότητα και ευαισθησία, είχε πλέον αναδυθεί για δύο (2) βασικούς λόγους. Ο πρώτος λόγος σχετίζεται με την αυξανόμενη ανάγκη της ανθρωπολογικής επιστήμης να διερευνήσει τις διαφορές που προκύπτουν στη μυϊκή δύναμη των δύο φύλων ή των διαφορετικών φυλών (Pearn, 1978).

Από την άλλη πλευρά, ο δεύτερος λόγος σχετίζεται με τις ανάγκες του στρατιωτικού τομέα. Πιο αναλυτικά, η ανάπτυξη ενός βαρέως πυροβολικού συνοδεύτηκε από την ανάδυση της ανάγκης για μέτρηση της δύναμης των αλόγων που απαιτούνται για την έλκυση των αμαξών. Σημειώνεται ότι με αφορμή το δεύτερο αυτό λόγο, εφευρέθηκε ένα δυναμόμετρο πολλαπλών χρήσεων (Regnier, 1798).

Σε γενικές γραμμές, ως συνέπεια της αυξημένης επιστημονικής περιέργειας που ακολούθησε τις επιστημονικές ανακαλύψεις του Newton, καταγράφηκε η ανάπτυξη μίας επιστημονικά ορθής δυναμομετρίας, η οποία εξακολουθεί να εφαρμόζεται στην κλινική πρακτική. Τα δύο πρώτα δυναμόμετρα γενικής χρήσης που αναπτύχθηκαν ήταν αυτά των Graham-Desaguliers και του Regnier (Pearn, 1978).

Το δυναμόμετρο των Graham-Desaguliers παρουσιάστηκε για πρώτη φορά στο Λονδίνο το 1763 ως ένα εργαλείο μέτρησης της ανθρώπινης μυϊκής δύναμης με τρόπο που να αποκλείει την εφαρμογή ενός ψευδούς μηχανικού πλεονεκτήματος από τους συνεργικούς μύες (Pearn, 1978).

Ο Regnier ξεκίνησε την εργασία του πάνω στην κατασκευή του δυναμόμετρου μετά από σχετική παρότρυνση των Buffon και Gueneau του Montbelliard να αναπτύξει ένα απλό και φορητό εργαλείο που θα επέτρεπε την ακριβή σύγκριση της δύναμης ενός ανθρώπου με έναν άλλο. Σημειώνεται πως τα προηγούμενα χρόνια είχαν ήδη αναπτυχθεί δύο τέτοιες συσκευές από τους Graham και Leroy, οι οποίες, ωστόσο είχαν κριθεί ανεπαρκείς δεδομένου ότι είχαν μεγάλο μέγεθος και μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν σε συγκεκριμένες μετρήσεις (Horne & Talbot).

Το δυναμόμετρο του Regnier ολοκληρώθηκε στα τέλη της δεκαετίας του 1790 και βρήκε ποικίλες πρακτικές εφαρμογές στην καθημερινή ζωή των ανθρώπων της εποχής, όπως ο έλεγχος της δύναμης των ζώων εργασίας και η σύγκριση της δύναμης των αλόγων. Επιπροσθέτως, βρήκε εφαρμογή στη μέτρηση της απόδοσης μίας άμαξας με καλά

τοποθετημένους τροχούς καλής ποιότητας καθώς και στην αξιολόγηση της αντίστασης μίας φορτωμένης άμαξας ανάλογα με την κλίση ενός λόφου. Άλλες εφαρμογές του δυναμόμετρου του Regnier περιλαμβάνουν τον υπολογισμό της σχετικής βοήθειας που θα προσέδιδε η τοποθέτηση επιπλέον αλόγων σε μία άμαξα, τον έλεγχο της αντοχής των κινητήρων, το ζύγισμα φορτίων, τη μέτρηση της ανάκρουσης μεγάλων πυροβόλων όπλων και, ως εκ τούτου, του βλήματος καθώς και τη σύγκριση της δύναμης διαφορετικών ατόμων για ψυχαγωγικούς σκοπούς (Horne & Talbot).

## 2.4 Το κεκλιμένο επίπεδο

Με τον όρο «κεκλιμένο επίπεδο» περιγράφεται το απλό επιστημονικό όργανο που αποτελείται από μία κεκλιμένη επιφάνεια μέσω της οποίας επιτυγχάνεται η άρση βαρέων σωμάτων. Όπως προκύπτει από τους νόμους της Μηχανικής, η δύναμη που απαιτείται για τη μετακίνηση ενός αντικειμένου κατά μήκος του κεκλιμένου επιπέδου, είναι μικρότερη από το βάρος που ανυψώνεται λόγω ανάλυσης των δυνάμεων και μειωμένης τριβής. Μάλιστα, σημειώνεται ότι όσο αυξάνεται η κλίση του επιπέδου, τόσο η δύναμη που απαιτείται για την ανύψωση του αντικειμένου προσεγγίζει το πραγματικό βάρος (Sherman, 1974). Με μαθηματικούς όρους, γράφουμε πως η δύναμη  $F$  που απαιτείται για την μετακίνηση ενός αντικειμένου  $D$  πάνω σε κεκλιμένο επίπεδο χωρίς τριβή ισούται με το βάρος του αντικειμένου  $W$ , πολλαπλασιασμένο με το ημίτονο της γωνίας που σχηματίζει το κεκλιμένο επίπεδο με το οριζόντιο επίπεδο (Britannica).

Η απλότητα της ιδέας του κεκλιμένου επιπέδου το κατέστησε δημοφιλές από πολύ νωρίς στις ανθρώπινες κοινωνίες αφού, σύμφωνα με τον Thomas Young (1845), υπάρχουν αναφορές σε αυτό στα γραπτά του Φίλωνα του Βυζαντίου, τα οποία χρονολογούνται από τον 3<sup>ο</sup> αιώνα π.Χ.

Η χρήση του κεκλιμένου επιπέδου στα πλαίσια πειραμάτων φυσικής έγινε από το σπουδαίο Galileo Galilei, ο οποίος μελετούσε την επίδραση της βαρύτητας στην ελεύθερη πτώση των σωμάτων, δηλαδή όταν δεν υπάρχει κάποια δύναμη που να αντιτίθεται στην κίνησή τους. Σύμφωνα με τη θεωρία που είχε διατυπώσει ο Galileo, η ταχύτητα των αντικειμένων που αφήνονται να πέσουν ελεύθερα αυξάνεται με σταθερό ρυθμό κατά τη διάρκεια της πτώσης. Ωστόσο, παρά την πεποίθησή του για την αλήθεια της προαναφερθείσας θεωρίας, η

τεχνολογία της εποχής δεν του επέτρεπε να καταγράψει τις υψηλές ταχύτητες που ανέπτυσαν τα αντικείμενα κατά την ελεύθερη πτώση του ή να μετρήσει με ακρίβεια το χρόνο. Προκειμένου να υπερπηδήσει τη συγκεκριμένη δυσκολία, ο Galileo επεδίωξε την επιβράδυνση της κίνησης αντικαθιστώντας το αντικείμενο που εκτελεί ελεύθερη πτώση με μία μπάλα που αφηνόταν να κυλήσει κατά μήκος ενός κεκλιμένου επιπέδου (Sherman, 1974).

Η πειραματική διάταξη με το κεκλιμένο επίπεδο του Galileo περιελάμβανε, επίσης, πέντε μικρά κουδούνια κι ένα εκκρεμές ενώ αξιοποιούσε άλλη μία από τις σημαντικότερες βασικές αρχές που ανακάλυψε ο σπουδαίος επιστήμονας, δηλαδή τον ισοχρονισμό των εκκρεμών ίσου μήκους. Το πείραμα του Galileo συνίσταται στην απελευθέρωση μίας μικρής μπάλας από το άνω άκρο του κεκλιμένου επιπέδου παράλληλα με την ταλάντωση του εκκρεμούς. Κατά τη διάρκεια κάθε διαδοχικής πλήρους ταλάντωσης του εκκρεμούς, η μικρή μπάλα χτυπά ένα από τα μικρά κουδούνια που βρίσκονται κατά μήκος του κεκλιμένου επιπέδου σε αυξανόμενες αποστάσεις, διατεταγμένα με τη σειρά περιττών αριθμών. Μέσω της εν λόγω πειραματικής διάταξης επιτυγχάνεται η μέτρηση της αύξησης των αποστάσεων που διανύει σε διαδοχικά και ίσα χρονικά διαστήματα ένα σώμα που αφήνεται να εκτελέσει ελεύθερη πτώση ενώ, παράλληλα, επιτυγχάνεται μία ακουστική αντίληψη της σταθερής επιτάχυνσης του σώματος κατά την πτώση μέσω των κουδουνιών. Ωστόσο, δεν υπάρχουν σωζόμενες γραπτές πηγές που να αποδεικνύουν ότι ο Galileo πραγματοποίησε ο ίδιος το προαναφερθέν πείραμα (Museo Galileo).

Σημειώνεται ότι το ερώτημα κατά πόσο ο Galileo βάσισε τις θεωρίες του στον τομέα της Μηχανικής στη διενέργεια κατάλληλων πειραμάτων απασχόλησε σε μεγάλο βαθμό την επιστημονική κοινότητα για δεκαετίες (Naylor, 1976). Πιο αναλυτικά, παρόλο που έως τις αρχές του 20ού αιώνα, η ιδέα ότι ο Galileo υπήρξε πρωτοπόρος της πειραματικής πρακτικής στην επιστήμη ήταν ευρέως διαδεδομένη μεταξύ των μελετητών της Ιστορίας της Επιστήμης, περί τα μέσα του αιώνα, ο φιλόσοφος Alexandre Koyre (1966; 1968) διατύπωσε σημαντικές αμφιβολίες σχετικά με το κατά πόσο ο σπουδαίος επιστήμονας είχε όντως ασχοληθεί με τη διενέργεια των πειραμάτων που περιγράφει στο έργο του. Τελικά, η ανακάλυψη κάποιων χειρογράφων του Galileo, τα οποία περιείχαν την καταγραφή πειραματικών δεδομένων, οδήγησε στην επιβεβαίωση της αρχικής πεποίθησης σχετικά με τα πειράματα του μεγάλου επιστήμονα (Drake, 1973) και της μετακίνησης της συζήτησης



της επιστημονικής κοινότητας σχετικά με τον τρόπο με τον οποίο τα εν λόγω πειράματα είχαν πραγματοποιηθεί (Riess & Heering, 2006).

Λίγα χρόνια αργότερα, μία εναλλακτική μορφή του κεκλιμένου επιπέδου χρησιμοποιήθηκε για τη διερεύνηση ποικίλων ερωτημάτων, τα οποία, τελικά, οδήγησαν στη διατύπωση του νόμου της διατήρησης της ενέργειας (Hiebert, 1962).

Στα πλαίσια των σχολικών εγχειριδίων, το κεκλιμένο επίπεδο χρησιμοποιείται, κατά κανόνα, για τη διδασκαλία του μηχανικού πλεονεκτήματος, δηλαδή της ιδέας ότι είναι πιο εύκολο να ανυψώσεις ένα βαρύ αντικείμενο κυλώντας το κατά μήκος μίας κεκλιμένης ράμπας παρά ανυψώνοντας το κάθετα στο επιθυμητό ύψος (Turner, 2010).

## 2.5 Το θερμόμετρο

Η εμφάνιση των πρώτων οργάνων μέτρησης της θερμοκρασίας χρονολογούνται από το 16<sup>ο</sup> -17<sup>ο</sup> αιώνα και αποτελούνταν από γυάλινους σωλήνες, οι οποίοι ήταν κατασκευασμένοι ώστε να παγιδεύουν αέρα και το ανοιχτό τους άκρο να βρίσκεται βυθισμένο σε μία δεξαμενή νερού. Τα πρώτα αυτά όργανα μέτρησης της θερμοκρασίας ονομάζονταν θερμοσκόπια. Ένα τέτοιο όργανο χρησιμοποίησε το 1610 και ο Galileo, αντικαθιστώντας όμως το νερό με κρασί, μετατρέποντάς το σε θερμόμετρο αλκοόλης και διαπίστωσε πως κατά τη μεταφορά του σε ένα βουνό με διαφορετικό υψόμετρο, επηρεάστηκε το επίπεδο του υγρού στο σωλήνα ως συνέπεια της μεταβολής της ατμοσφαιρικής πίεσης. Οι προαναφερθείσες συσκευές χρησιμοποιούνταν για τη διαπίστωση αλλαγών στην αισθητή θερμότητα, σε μία εποχή όπου δεν είχε ακόμα αναγνωριστεί η έννοια της θερμοκρασίας (Grodzinsky, & Levander, 2019).

Στο σημείο αυτό αξίζει να σημειωθεί ότι παρόλο που συχνά ο Galileo αναφέρεται ως ο εφευρέτης του θερμομέτρου, αυτή η δήλωση είναι εσφαλμένη καθώς αυτός ανέπτυξε ένα θερμοσκόπιο. Ωστόσο, στο Galileo οφείλεται η διατύπωση της ιδέας ότι γυάλινες σφαίρες με υδατική αλκοόλη διαφορετικής πυκνότητας θα μεταβάλλουν το ύψος τους σε τις εναλλαγές της θερμοκρασίας, η οποία είναι θεμελιώδης για τη λειτουργία του σημερινού θερμομέτρου του Γαλιλαίου, το οποίο είναι βαθμονομημένο με κλίμακες θερμοκρασίας (Grodzinsky & Levander, 2019).

Το πρώτο θερμόμετρο της Ιστορίας κατασκευάστηκε από το Φερδινάνδο Β' των Μεδίκων, Μέγα Δούκα της Τοσκάνης και αποτελούνταν από σφραγισμένο σωλήνα με βολβό, το σώμα του οποίου ήταν μερικώς γεμάτο με οινόπνευμα. Η αρχή της λειτουργίας του εν λόγω θερμομέτρου βασιζόταν στη διαστολή και τη συστολή των υγρών, η οποία δεν εξαρτάται από τη βαρομετρική πίεση (Grodzinsky & Levander, 2019).

Κατά την εποχή αυτή, το βασικό πρόβλημα που ανέκυψε σχετικά με τα θερμόμετρα αφορούσε στη βαθμονόμησή τους, απουσία μίας κοινώς αποδεκτής κλίμακας και για την επίλυσή του διατυπώθηκαν ποικίλες προτάσεις. Αρχικά, το 1665, ο Christian Huygens πρότεινε τη χρήση του σημείου τήξης του πάγου και του σημείου βρασμού του νερού ως πρότυπα σημεία βαθμονόμησης, μία ιδέα η οποία υιοθετήθηκε από το Δανό αστρονόμο Ole Romer, παρά το γεγονός ότι δεν είχε ακόμα αποσαφηνιστεί το πώς αυτά τα σημεία θα λειτουργούσαν ως πρότυπα στα πλαίσια μετρήσεων σε διαφορετικά γεωγραφικά πλάτη. Έπειτα από λίγα χρόνια, ο Carlo Renaldini (1694) πρότεινε την υιοθέτηση των προαναφερθέντων προτύπων αναφοράς σε καθολικό βαθμό ενώ, το 1701, ο Newton πρότεινε την χρήση μίας κλίμακας 12°C, η οποία θα εκτείνεται μεταξύ του σημείου τήξης του πάγου και της θερμοκρασίας του ανθρώπινου σώματος (Grodzinsky & Levander, 2019).

Το 1724, ο Γερμανός οργανοποιός Gabriel Fahrenheit ανέπτυξε μία κλίμακα θερμοκρασίας, η οποία έλαβε το όνομά του και χρησιμοποιείται ευρέως μέχρι σήμερα. Ο ίδιος προτίμησε να τοποθετήσει υδράργυρο εντός των θερμομέτρων που κατασκεύαζε εξαιτίας της ιδιότητάς του να φέρει υψηλότερο συντελεστή διαστολής σε σχέση με τις άλλες ουσίες που είχαν χρησιμοποιηθεί. Στα εν λόγω θερμόμετρα ενσωμάτωσε μία εγγεγραμμένη κλίμακα θερμοκρασίας η οποία μπορούσε εύκολα να αναπαραχθεί. Αρχικά, ο Fahrenheit βαθμονόμησε το θερμόμετρό του χρησιμοποιώντας πάγο και θαλασσινό αλάτι ως μηδέν και, λαμβάνοντας υπόψη ότι το αλμυρό νερό έχει σημαντικά χαμηλότερο σημείο πήξης από το απλό νερό, επέλεξε το 30°F ως σημείο πήξης. Επιπροσθέτως, όρισε τη φυσιολογική θερμοκρασία του ανθρώπινου σώματος σε 96 °F και το σημείο βρασμού του νερού σε 212 °F. Λίγα χρόνια αργότερα αναθεώρησε το σημείο τήξης στους 32 °F, γεγονός που διαμόρφωσε μία κλίμακα 180°F μεταξύ βρασμού του νερού και πήξης του νερού, μετρούμενη στο επίπεδο της θάλασσας (Grodzinsky & Levander, 2019).

Ο Anders Celsius (1701-1741) υπήρξε ο πρώτος που διενέργησε πειράματα με αντικείμενο τη δημιουργία μίας διεθνούς κλίμακας θερμοκρασίας βασισμένης σε επιστημονικά δεδομένα και δημοσίευσε τα αποτελέσματά του, κυρίως στο έργο με τίτλο «Observations

of two persistent degrees on a thermometer» σχετικά με την ανεξαρτησία του σημείου πήξης από το γεωγραφικό πλάτος και την ατμοσφαιρική πίεση (Grodzinsky & Levander, 2019). Επιπροσθέτως, επεσήμανε την εξάρτηση του βραστού νερού από την ατμοσφαιρική πίεση και διατύπωσε ένα κανόνα για τον προσδιορισμό του σημείου βρασμού σε περιπτώσεις όπου η βαρομετρική πίεση αποκλίνει από μία τυπική πίεση (Collinder, 1970).

Η τοποθέτηση του μηδέν στην κλίμακα Κελσίου υπήρξε ένα ζήτημα μεγάλης συζήτησης. Η κλίμακα που προωθούσε ο Romer τοποθετούσε το μηδέν στη χαμηλότερη θερμοκρασία ενώ ο ίδιος ο Celsius είχε κάνει χρήση ενός εναλλακτικού θερμομέτρου που κατασκευάστηκε από το Γάλλο αστρονόμο Joseph- Nicolas Delisle, ο οποίος είχε τοποθετήσει το μηδέν στο σημείο βρασμού, αναπτύσσοντας, με τον τρόπο αυτό, μία αντίστροφη κλίμακα η οποία δεν περιελάμβανε αρνητικές τιμές. Λίγα χρόνια μετά το θάνατο του Celsius η προαναφερθείσα κλίμακα αντιστράφηκε, μέσω της τοποθέτησης του μηδέν στο σημείο πήξης. Διάφορες απόψεις έχουν διατυπωθεί σχετικά με το άτομο στο οποίο αποδίδεται η προαναφερθείσα αντιστροφή της θερμοκρασιακής κλίμακας, όπως ο Linnaeus, ο Celsius, ο διάδοχός του Strömer και ο οργανοποιός του ονόματι Ekström. Το 1948, στα πλαίσια ενός διεθνούς συνεδρίου για τα βάρη και τα μέτρα, η θερμοκρασιακή κλίμακα που χρησιμοποιήθηκε από τον Celsius, η οποία έλαβε το όνομά του, υιοθετήθηκε ως η διεθνής κλίμακα μέτρησης της θερμοκρασίας (Grodzinsky & Levander, 2019).

Στα μέσα του 19<sup>ου</sup> αιώνα, οι έρευνες που διενεργούσε ο λόρδος Kelvin με αντικείμενο τη θερμότητα τον οδήγησαν στο συμπέρασμα ότι θα μπορούσε να αναπτυχθεί μία νέα θερμοκρασιακή κλίμακα, της οποίας οι τιμές θα εκτείνονται πέρα από τις τιμές της εκατοστιαίας κλίμακας του Celsius ώστε να συμπεριλαμβάνει και το απόλυτο μηδέν. Το τελευταίο αναφέρεται στη θερμοκρασία όπου κάθε μοριακή κίνηση καθίσταται αδύνατη και, ως εκ τούτου, τη χαμηλότερη θερμοκρασία που μπορεί να παρατηρηθεί στον πλανήτη. Ο Kelvin προσδιόρισε την εν λόγω θερμοκρασία στους -273,15 βαθμούς της κλίμακας Κελσίου και στους -459,67 βαθμούς της κλίμακας Fahrenheit. Ο Kelvin ανέπτυξε μία νέα εκατοστιαία κλίμακα στην οποία τοποθέτησε το 0 στο απόλυτο μηδέν. Σημειώνεται ότι παρά τις σημαντικές εφαρμογές της εν λόγω κλίμακας, αυτή δεν εφαρμόζεται στην κλινική ιατρική (Grodzinsky & Levander, 2019).

Το θερμόμετρο αποτελεί ένα επιστημονικό όργανο, το οποίο βρίσκει ευρείες εφαρμογές στην καθημερινή πρακτική των ανθρώπων, καθώς και στην εκπαιδευτική πρακτική (Kampeza et al., 2016). Ωστόσο, η διερεύνηση του βαθμού στον οποίο οι μαθητές κατανοούν τη λειτουργία του θερμομέτρου δεν αποτελεί ένα ιδιαίτερος δημοφιλές ερευνητικό αντικείμενο, ενώ οι πλειοψηφία των υφιστάμενων ερευνών αφορά σε μαθητές δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης (Maskill & Pedrosa de Jesus, 1997; Akatugba & Wallace, 2009).

Σε μία έρευνα που διεξήχθη από τον Appleton (1985) σε παιδιά ηλικίας 8-11 ετών, διαπιστώθηκε ότι η πλειοψηφία των συμμετεχόντων κατανοούσε το γεγονός ότι το θερμόμετρο μετράει πόσο ζεστό ή κρύο είναι ένα αντικείμενο. Επιπλέον, όταν ρωτήθηκε πώς λειτουργεί, το 1/3 των μαθητών ανέφερε πως το θερμόμετρο χαρακτηρίζεται από ευαισθησία στη ζέστη, ενώ οι υπόλοιποι ανέφεραν την επίδραση γενικών ή μηχανικών παραγόντων όπως η πίεση.

Επιπροσθέτως, τα αποτελέσματα της έρευνας που διεξήγαγε ο Hanu-Nuutinen (2007) με δείγμα παιδιά ηλικίας 5-9 ετών έδειξαν ότι παιδιά ηλικίας 5-6 ετών δεν έχουν την ικανότητα να κατανοήσουν τη λειτουργία και τη χρήση του, λόγω αδυναμίας κατανόησης θεμελιωδών θερμικών εννοιών. Αντιθέτως, μία άλλη έρευνα έδειξε ότι τα παιδιά προσχολικής ηλικίας ήταν σε θέση να κατανοήσουν τη μέτρηση της θερμοκρασίας, να διαχειριστούν σωστά τους όρους που εμπλέκονται και να χρησιμοποιήσουν το θερμόμετρο (Inan et al., 2010).

## 2.5 Το μικροσκόπιο

Κατά τα πρώτα χρόνια της εμφάνισής του, περί τον 16<sup>ο</sup> αιώνα, το μικροσκόπιο αποτέλεσε μία σημαντική καινοτομία. Οι πρώτες συσκευές του είδους χρησιμοποιήθηκαν για τη μεγέθυνση μικρών εντόμων, όπως μύγες και ψύλλοι, με στόχο την παρατήρησή του και, για το λόγο αυτό, περιγράφονταν ως «γυαλιά ψύλλων ή μυγών». Ωστόσο, αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι το νέο επιστημονικό εργαλείο άργησε να τραβήξει το ενδιαφέρον της επιστημονικής κοινότητας της εποχής (Wills, 2018).

Η εμφάνιση των πρώτων σύνθετων μικροσκοπίων τοποθετείται χρονικά στο 1590. Οι εν λόγω συσκευές περιελάμβαναν περισσότερους από έναν φακούς, παρέχοντας έτσι μεγαλύτερη εστίαση από τους μεγεθυντικούς φακούς και τα γυαλιά της εποχής. Δεν είναι

σαφές ποιος υπήρξε ο εφευρέτης του πρώτου μικροσκοπίου, ωστόσο, η εν λόγω εφεύρεση, συνήθως, αποδίδεται στην επιστημονική ομάδα με επικεφαλής τους Hans και Zacharias Jensen (πατέρας και γιος αντίστοιχα) (Wills, 2018).

Η πρώτη γραπτή αναφορά στη λέξη «μικροσκόπιο» τοποθετείται χρονικά στο 1625, ωστόσο το νέο όργανο δεν αξιοποιήθηκε επαρκώς στην επιστημονική πρακτική μέχρι το 1661, όταν ο Marcello Malpighi δημοσίευσε την ανακάλυψή του σχετικά με την ύπαρξη τριχοειδών αγγείων στον αποξηραμένο πνεύμονα ενός βατράχου (Wills, 2018), αποδεικνύοντας έτσι, στην πράξη, την τεράστια επιστημονική αξία του νέου εργαλείου, γεγονός το οποίο επιβεβαιώθηκε και με την κυκλοφορία του έργου “Micrographia” του Robert Hooke το 1665. Κατά την εν λόγω περίοδο, τα διαθέσιμα μικροσκόπια παρείχαν τη δυνατότητα μεγέθυνσης των αντικειμένων 20-30 φορές από το φυσιολογικό τους μέγεθος (Science Museum).

Η αναβάθμιση των δυνατοτήτων των μικροσκοπίων οφείλεται στον Ολλανδό έμπορο Antony Van Leeuwenhoek (1632-1723), ο οποίος κατασκεύασε δικούς του φακούς για το μικροσκόπιο, οι οποίοι παρείχαν τη δυνατότητα παρατήρησης (Science Museum). Αξιοποιώντας τη δυνατότητα αυτή, ο Van Leeuwenhoek δεν περιορίστηκε αποκλειστικά στην παρατήρηση αντικειμένων, όπως οι προκάτοχοί του, αλλά επεδίωξε νέες επιστημονικές ανακαλύψεις. Οι προσπάθειές του αυτές στέφθηκαν με επιτυχία αφού υπήρξε ο πρώτος που ανακάλυψε, μεταξύ άλλων, τα βακτήρια, τα σπερματοζώαρια και τα πρώτιστα. Επιπροσθέτως, προχώρησε στην παρατήρηση και το σχεδιασμό αυτών που ονόμασε “animalcules”, λέξη την οποία επινόησε από τη φράση “little animals” («μικρά ζώα»), δηλαδή των μικροοργανισμών που εντόπισε στο σπέρμα του μετά την σεξουαλική πράξη (Wills, 2018). Έτσι, υπήρξε ο πρώτος που παρατήρησε μονοκύτταρους οργανισμούς, μέσω των περισσότερων από 400 μικροσκοπίων που υπολογίζεται ότι κατασκεύασε κατά τη διάρκεια της ζωής του. Σήμερα, σώζονται μόνο περί τα 12 από τα προαναφερθέντα μικροσκόπια, με μέγιστη δυνατότητα μεγέθυνσης 275 φορές. Ωστόσο, υπολογίζεται πως ο ίδιος είχε κατασκευάσει όργανα με δυνατότητα μεγέθυνσης έως 500 φορές του πραγματικού μεγέθους των αντικειμένων (Sepel et al., 2009).

Η αιτία για την οποία καθυστέρησε η συστηματική χρήση του μικροσκοπίου στα πλαίσια της επιστημονικής έρευνας δεν είναι απολύτως σαφής, ωστόσο, σύμφωνα με μία διαδομένη άποψη, η καθυστέρηση οφείλεται αφενός, στο γεγονός ότι τα πρώτα μικροσκόπια ήταν αρκετά πρωτόγονα και, αφετέρου, στο γεγονός ότι οι βιολογικές επιστήμες, ιδιαίτερος η

Βοτανική και η Ανατομία, οι οποίες επωφελήθηκαν σε τεράστιο βαθμό από τις δυνατότητες που παρείχε το μικροσκόπιο, ήταν σε αρκετά πρώιμο στάδιο ανάπτυξης κατά την περίοδο εμφάνισης του νέου επιστημονικού οργάνου (Wills, 2018).

Σταδιακά, τα σύνθετα επιστημονικά μικροσκόπια ξεπέρασαν σε δυνατότητες μεγέθυνσης, τη συσκευή του Van Leeuwenhoek. Ωστόσο, αξίζει να σημειωθεί ότι έως τα μέσα του 19<sup>ου</sup> αιώνα, και οι δύο προαναφερθείσες συσκευές χρησιμοποιούνταν ευρέως για επιστημονικούς σκοπούς σε εργαστήρια καθώς και για εκπαιδευτικούς ή και ψυχαγωγικούς σκοπούς σε σπίτια της βικτωριανής κοινωνίας (Wills, 2018).

Τα μικροσκόπια των Hooke και Van Leeuwenhoek συνέβαλαν καθοριστικά στη μετέπειτα εξέλιξη ποικίλων βιολογικών θεωριών. Πιο αναλυτικά, διαδραμάτισαν καίριο ρόλο στη διάψευση της θεωρίας της αυθόρμητης δημιουργίας από τον Louis Pasteur (1822-1895), και των θεωριών της νόσου του μιάσματος (Kahtan & Greenberg, 1992) καθώς και στη διατύπωση της κυτταρικής θεωρίας από τους Schleiden (1804-1881) Schwann (1810-1882), η οποία είναι θεμελιώδους σημασίας στη Βιολογία (Mazzarello, 1999).

Παρά το γεγονός ότι στα εκπαιδευτικά συστήματα πολλών κρατών γίνεται αναφορά στην ιστορία των πρώτων μικροσκοπίων, ωστόσο, έχει διαπιστωθεί ότι η ένταξη ιστορικών στοιχείων δεν γίνεται με τρόπο που να κεντρίσει το ενδιαφέρον των μαθητών και, ως εκ τούτου, καθίσταται ανεπαρκής. Ωστόσο, σύμφωνα με τα αποτελέσματα της έρευνας που διεξήγαγαν οι Sepel et al. (2009) με δείγμα προπτυχιακών φοιτητές των βιολογικών επιστημών, η αναπαράσταση του μικροσκοπίου του Van Leeuwenhoek στην τάξη, με απλά υλικά, μπορεί να ενισχύσει την παρακίνηση των μαθητών σχετικά με τη μελέτη της μικροσκοπίας καθώς και να εκτιμήσουν την επιστημονική γνώση από ιστορική σκοπιά (Sepel et al., 2009).

## 2.5 Γεννήτρια ηλεκτροστατικών φορτίων Wimshurst

Η ανακάλυψη του ηλεκτρισμού κατά τη διάρκεια του 19<sup>ου</sup> αιώνα αποτέλεσε επανάσταση για την επιστημονική κοινότητα της εποχής, τα μέλη της οποίας μελέτησαν συστηματικά με στόχο την ανάπτυξη μεθόδων αποθήκευσης και αξιοποίησης της τεράστιας δύναμης που αυτός παρείχε. Στο πλαίσιο αυτό, ο Άγγλος μηχανικός James Wimshurst ανέπτυξε τη

λεγόμενη μηχανή επιρροής Wimshurst στις αρχές της δεκαετίας του 1880, η οποία μπορούσε να παράγει στατικό ηλεκτρισμό.

Η κατασκευή της εν λόγω μηχανής υπήρξε το προϊόν της συστηματικής μελέτης του έργου των προγενέστερων επιστημόνων, όπως οι Holts, Toepler και Voss, οι οποίοι είχαν ήδη κατασκευάσει συσκευές παραγωγής ηλεκτροστατικών φορτίων (Tessmer). Η πρωτοπορία της μηχανής του Wimshurst έγκειται στο γεγονός ότι αυτή αποτέλεσε την πρώτη γεννήτρια η οποία πέτυχε τη διατήρηση της σταθερής πολικότητας, αποφεύγοντας έτσι τις απροσδόκητες αλλαγές της που καθιστούσαν τη χρήση των προϋπαρχουσών αντίστοιχων συσκευών επικίνδυνη. Επιπροσθέτως, η συσκευή του Wimshurst, παρείχε τη δυνατότητα παραγωγής ηλεκτρικής τάσης που υπερέβαινε τα 50.000 V και, ως εκ τούτου, υπερέβαινε κατά πολύ τις δυνατότητες των προγενέστερων γεννητριών (Parkin).

Μία γεννήτρια ηλεκτροστατικών φορτίων Wimshurst αποτελείται από δύο μεγάλους, επίπεδους δίσκους, κατασκευασμένους από γυαλί ή ακρυλικό υλικό, οι οποίοι είναι τοποθετημένοι στο κέντρο ενός σύνθετου μεταλλικού ή ξύλινου πλαισίου, το οποίο μπορεί είτε να είναι ανοιχτό, με τους δίσκους και τους οπλισμούς σε πλήρη έκθεση, είτε αυτοί να είναι εντοιχισμένοι σε κάποιο ντουλάπι ή κουτί. Οι προαναφερθέντες δίσκοι φέρουν ομοιόμορφα διαχωρισμένα μπαλώματα από μεταλλικό φύλλο, τα οποία είναι προσαρτημένα ακτινωτά και τα οποία, σε περίπτωση επαφής τους με τις βούρτσες του συλλέκτη, είναι σε θέση να παράγουν ηλεκτρικό φορτίο. Το μέγεθος των δίσκων σε τέτοιου είδους όργανα μπορεί να ποικίλει σημαντικά, ωστόσο, στην πλειοψηφία τους κυμαίνεται μεταξύ 4-24 ιντσών (MIT Department of Physics, Technical Service Group).

Στη βάση του μηχανήματος, κατά κανόνα εκατέρωθεν των δίσκων, βρίσκονται δύο ή περισσότερα βάζα Leyden, κατασκευασμένα από γυαλί, καθώς και στοιχειώδεις πυκνωτές, οι οποίοι χρησιμοποιούνται για την αποθήκευση του παραγόμενου φορτίου. Πάνω από κάθε βάζο Leyden βρίσκεται ένας μακρύς μεταλλικός καθετήρας, ο οποίος πλαισιώνει το σώμα της γεννήτριας και λειτουργεί για τη γείωση του μηχανήματος όταν αυτό βρίσκεται σε χρήση. Επιπροσθέτως, η γεννήτρια φέρει μίαμανιβέλα χειρός και μία ελαστική ζώνη που χρησιμοποιούνται για την περιστροφή των δίσκων σε αντίθετες κατευθύνσεις (MIT Department of Physics, Technical Service Group).

Το εν λόγω επιστημονικό όργανο βρήκε ευρεία εφαρμογή στην κλινική ιατρική πρακτική, περί τα τέλη του 19<sup>ου</sup> και τις αρχές του 20ού αιώνα, τόσο στα πλαίσια στατικών

θεραπευτικών μεθόδων όσο και, κυρίως, για την τροφοδότηση άλλων συσκευών, όπως μηχανές ακτίνων Χ, με ηλεκτρική ενέργεια (Tessmer).

Οι σημαντικές δυνατότητες της γεννήτριας ηλεκτροστατικών φορτίων Wimshurst οδήγησαν στην αξιοποίησή της από τους επιστήμονες με στόχο την επίτευξη των υψηλών τάσεων που απαιτούνταν για τη διενέργεια ολοένα και πιο προηγμένων πειραμάτων. Ωστόσο, από τις αρχές του 20ού αιώνα, κατέστη δυνατή η ανάπτυξη γεννητριών υψηλής τάσης, οι οποίες υπερείχαν της γεννήτριας του Wimshurst τόσο σε επίπεδο αποτελεσματικότητας όσο και σε επίπεδο ανθεκτικότητας. Έτσι, από τα μέσα του εν λόγω αιώνα, η γεννήτρια του Wimshurst αποτελεί πλέον ένα μάλλον «μουσειακό» κομμάτι της ιστορίας των επιστημών παρά τμήμα του σύγχρονου επιστημονικού εξοπλισμού (Tessmer).



### **3. Κεφάλαιο 3: Παραδείγματα ένταξης ιστορικών επιστημονικών εργαλείων στη διδακτική των Φυσικών Επιστημών**

#### **3.1 Μελέτη ιστορικής εξέλιξης εννοιών των φυσικών επιστημών μέσω της αναφοράς σε ιστορικά επιστημονικά όργανα**

Κατά τη διάρκεια των τελευταίων ετών, η άποψη που υποστηρίζει τη ριζική αλλαγή του τρόπου διδασκαλίας σε προπτυχιακό επίπεδο, προκειμένου να ενισχυθούν τα μαθησιακά αποτελέσματα των μαθητών, κερδίζει συνεχώς έδαφος (American Association for the Advancement of Science, 2011; President’s Council of Advisors on Science and Technology, 2012). Κεντρικό στοιχείο των εν λόγω προτάσεων αποτελεί η διερεύνηση των τρόπων με τον οποίο μαθαίνουν οι μαθητές και το είδος των δεξιοτήτων που θα τους φανούν περισσότερο χρήσιμα στο μέλλον καθώς και η αξιοποίηση των εμπειριών του συνόλου των διδασκομένων δίνοντας έμφαση στη συμπερίληψη όλων των πληθυσμιακών ομάδων που συμμετέχουν σε αυτό (Durham et al., 2017).

Σε αυτό το πλαίσιο, ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει μία παιδαγωγική προσέγγιση, η οποία καλείται «Επιστημονική Διδασκαλία» (Scientific Teaching- ST), η οποία, ήδη, βρίσκει ευρεία εφαρμογή σε ποικίλους κλάδους των βιολογικών επιστημών (Handelsman et al., 2007; AAAS, 2011). Στόχος της εν λόγω εκπαιδευτικής προσέγγισης αποτελεί να προσομοιάσει, όσο το δυνατόν περισσότερο, η διδασκαλία των φυσικών επιστημών με την πρακτική εφαρμογή τους, εστιάζοντας στη φύση και τη λογική της επιστημονικής μεθοδολογίας και ενσωματώνοντας εμπειρικά στοιχεία στη διδακτική πρακτική (Durham et al., 2017).

Στα πλεονεκτήματα της επιστημονικής διδασκαλίας συγκαταλέγεται το γεγονός ότι ευνοεί την ενεργό εμπλοκή των μαθητών στη μαθησιακή διδασκαλία μέσω της συμμετοχής τους σε ομαδικές δραστηριότητες και διαμορφωτικές αξιολογήσεις (Prince, 2004), δίνοντας στους διδάσκοντες τη δυνατότητα να αναδιαμορφώνουν τους μαθησιακούς στόχους και τις διδακτικές προσεγγίσεις, προσαρμόζοντάς τα στα δεδομένα της εκάστοτε τάξης (Wiggins & McTighe, 2005). Επιπροσθέτως, η συγκεκριμένη διδακτική προσέγγιση δίνει έμφαση σε ορισμένες θεμελιώδεις γνωστικές διαδικασίες για την πρακτική της επιστήμης και της μάθησης, όπως η σύνδεση της επιστήμης με την κοινωνία (Zeidler et al., 2005; Pierret & Friedrichsen, 2009) και η αλληλένδετη φύση ποικίλων επιστημονικών κλάδων (Labov et

al., 2010; Tra & Evans, 2010). Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι η επιστημονική διδασκαλία αποδίδει καίρια σημασία στην άρση των αποκλεισμών στη διδακτική πρακτική (Ulmann & Cohen, 2005).

Από την άλλη πλευρά, ιδιαίτερη δημοφιλία αποκτά, κατά τη διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών, η ιδέα της διατήρησης των υφιστάμενων συλλογών ιστορικών επιστημονικών οργάνων και της αξιοποίησής τους σε ερευνητικό και εκπαιδευτικό επίπεδο. Οι πρωτοβουλίες που αναλαμβάνονται προς αυτή την κατεύθυνση σε ευρωπαϊκό επίπεδο περιλαμβάνουν την αποκατάσταση των επιστημονικών εργαστηρίων ιστορικών προσωπικοτήτων των φυσικών επιστημών, η αναπαράσταση ιστορικών πειραμάτων και η διαδικτυακή προβολή συλλογών με ιστορικά επιστημονικά όργανα. Επιπροσθέτως, και σε εθνικό επίπεδο αναλαμβάνονται αντίστοιχες πρωτοβουλίες, κυρίως, αναφορικά με τη διατήρηση συλλογών ιστορικών επιστημονικών οργάνων. Τέτοιες συλλογές που διατηρούνται μέχρι σήμερα στη χώρα μας κατατάσσονται ως εξής (Paparou, 2018):

- Συλλογές επιστημονικών οργάνων που χρησιμοποιήθηκαν για τον εξοπλισμό ιστορικών σχολικών εργαστηρίων
- Συλλογές επιστημονικών οργάνων που χρησιμοποιήθηκαν για τον εξοπλισμό πανεπιστημιακών ιδρυμάτων
- Συλλογές επιστημονικών οργάνων που χρησιμοποιήθηκαν για τον εξοπλισμό εργοστασίων, νοσοκομείων και ιδιωτικών εργαστηρίων.

Όπως προκύπτει από την ιστορική έρευνα, κατά τις αρχές του 19<sup>ου</sup> αιώνα, τα όργανα που χρησιμοποιούνταν για τη διδασκαλία των φυσικών επιστημών συγκεντρώθηκαν σε λίγες σημαντικές σχολές του ελληνικού Διαφωτισμού. Τα εν λόγω εκπαιδευτικά ιδρύματα υπήρξαν το προϊόν των προσπαθειών σπουδαίων Ελλήνων ακαδημαϊκών, οι οποίοι είχαν το όραμα να συνδέσουν την αρχαία ελληνική πολιτιστική κληρονομιά με την επιστημονική παράδοση της Ευρώπης (Karas & Vlachakis, 2004).

Στα πλαίσια των αναλυτικών προγραμμάτων των εν λόγω σχολών, περιλαμβανόταν η διδασκαλία της επιστήμης ενώ τα εργαστήριά τους συγκέντρωναν μία σημαντική ποικιλία επιστημονικών οργάνων, όπως τηλεσκόπια, αντλίες αέρα και ηλεκτροστατικές γεννήτριες. Πριν από το ξέσπασμα της Ελληνικής Επανάστασης του 1821, οι σχολές αυτές αποτελούσαν τα ανώτατα εκπαιδευτικά ιδρύματα της χώρας, στα οποία μπορούσαν να φοιτήσουν τόσο μαθητές από όλη την ελληνική επικράτεια (2) όσο και από τον εξωτερικό.

Σημειώνεται ότι η γνώση μας για την ύπαρξη των προαναφερθέντων εκπαιδευτικών ιδρυμάτων προέρχεται από γραπτές ιστορικές πηγές, δεδομένου ότι κανένα από αυτά τα ιδρύματα ή τα εργαστήρια δε σώζονται σήμερα, λόγω της καταστροφής τους στα πλαίσια της Ελληνικής Επανάστασης του 1821 (Papaou, 2018).

Μετά τη λήξη της Επανάστασης, ακολούθησε μία μεταβατική περίοδος, η οποία διήρκησε περί τα είκοσι (20) χρόνια, μετά την πάροδο των οποίων καταγράφηκε η επαναλειτουργία των ελληνικών σχολείων, λίγα εκ των οποίων επανεξοπλίστηκαν με επιστημονικά όργανα, σημαντικά για τη διδασκαλία των φυσικών επιστημών (Papaou, 2018).

Κατά τη διάρκεια της ίδιας χρονικής περιόδου, καταγράφεται η ίδρυση των πρώτων ανώτατων εκπαιδευτικών ιδρυμάτων, με σημαντικότερο παράδειγμα το Πανεπιστήμιο Αθηνών. Το εν λόγω εκπαιδευτικό ίδρυμα τριτοβάθμιας εκπαίδευσης άρχισε να συγκεντρώνει επιστημονικά όργανα κατά τη δεκαετία του 1840 με στόχο τον εξοπλισμό των εργαστηρίων του (Papaou, 2018)

Έως τα τέλη του αιώνα αυτού, η πλειοψηφία των επιστημονικών οργάνων που χρησιμοποιήθηκαν για τον εξοπλισμό των ελληνικών σχολείων και πανεπιστημιακών ιδρυμάτων, αποτελούσαν δημιουργίες Γάλλων οργανοποιών, ενώ κατά τις δύο πρώτες δεκαετίες του 20ού αιώνα, η πλειοψηφία των οργάνων αυτών προέρχονταν από κατασκευαστικά εργαστήρια της Γερμανίας (Lazos & Papaou, 2016).

Όπως προκύπτει από τα παραπάνω, οι απαρχές της επιστημονικής εκπαίδευσης στο σύγχρονο ελληνικό κράτος τέθηκαν κατά τη διάρκεια των προεπαναστατικών χρόνων και διατηρήθηκε καθ' όλη τη διάρκεια της Επανάστασης, για να γνωρίσει νέα άνθηση μετά την ίδρυση του νέου ελληνικού κράτους με την ένταξη της διδασκαλίας των φυσικών επιστημών στα αναλυτικά προγράμματα των ελληνικών σχολείων και πανεπιστημίων και τον εξοπλισμό των εργαστηρίων τους με σημαντικά επιστημονικά όργανα. Παρά το γεγονός ότι τα προαναφερθέντα όργανα που εξόπλισαν τις δύο κατηγορίες εκπαιδευτικών ιδρυμάτων παρουσιάζουν αρκετές ομοιότητες, ωστόσο, διαφέρουν ως προς την πολυπλοκότητά τους. Πιο αναλυτικά, στα πλαίσια των σχολείων, τα επιστημονικά όργανα που συγκεντρώνονται είναι αρκετά απλά και αξιοποιούνται στα πλαίσια της διδασκαλίας των θεμελιωδών εννοιών και αρχών φυσικών επιστημών (Papaou, 2013). Από την άλλη πλευρά, τα επιστημονικά όργανα που συγκεντρώνονταν στα πανεπιστημιακά ιδρύματα ήταν περισσότερο πολύπλοκα και χρησιμοποιούνταν τόσο για διδακτικούς όσο και

ερευνητικούς σκοπούς ενώ, επιπλέον, περιλάμβαναν όργανα που σχετίζονταν με μείζονες καινοτομίες από την Ιστορία των Φυσικών Επιστημών (Lazos & Paparou, 2016).

Ωστόσο, ο εξοπλισμός των σχολικών και πανεπιστημιακών εργαστηρίων με ιστορικά επιστημονικά όργανα δεν αποτελεί ελληνικό φαινόμενο αλλά μία πρακτική που παρατηρείται, σχεδόν, σε διεθνές επίπεδο. Τα επιστημονικά όργανα που συγκεντρώνονται για τον εξοπλισμό των εργαστηρίων των εκπαιδευτικών ιδρυμάτων, σε ορισμένες, περιπτώσεις προσδιορίζονται από το Κράτος με στόχο την κάλυψη των διακηρυγμένων εκπαιδευτικών στόχων κάθε εκπαιδευτικής βαθμίδας ενώ η χρήση τους είναι δυνατό να οριστεί ως προϋπόθεση για την απόκτηση της ακαδημαϊκής φοιτητικής ταυτότητας, όπως στην περίπτωση του αμερικανικού πανεπιστημίου του Harvard (Turner, 1998).

Σε πολλές χρονικές περιόδους, μεγάλο τμήμα των σχολικών εγχειριδίων αφιερώνεται στη διενέργεια πειραματικών επιδείξεων και μετρήσεων, η οποία προϋποθέτει την πρόσβαση διδασκόντων και διδασκομένων στα απαραίτητα επιστημονικά όργανα. Τα όργανα αυτά, κατά κανόνα, κατασκευάζονταν από νεοφυείς ή καθιερωμένες επιχειρήσεις οργανοποιίας ενώ, σε κάποιες περιπτώσεις, οι εμπλεκόμενοι στην εκπαιδευτική διαδικασία προέβησαν στην κατασκευή χειροποίητων επιστημονικών οργάνων προκειμένου να μειώσουν το σχετικό κόστος (Cavicchi, 2012).

Σε κάποιες άλλες περιπτώσεις, επιστημονικά όργανα που κατασκευάστηκαν στα πλαίσια ερευνητικών διαδικασιών, αξιοποιήθηκαν από σχολικά εργαστήρια, αφού αυτά υποβλήθηκαν στις απαραίτητες αλλαγές ή/και αναβαθμίσεις. Χαρακτηριστικό παράδειγμα της εν λόγω τάσης αποτελεί η σύγκριση που διενήργησε ο Peter Heering μεταξύ ενός ιστορικού επιστημονικού οργάνου, και συγκεκριμένα ενός ηλιακού μικροσκοπίου του 18<sup>ου</sup> αιώνα, με μία σχολική εκδοχή του, διαπιστώνοντας πως το τελευταίο ήταν αρκετά πιο δύσχρηστο και απαιτούσε την καλλιέργεια ειδικών δεξιοτήτων εκ μέρους των εκπαιδευτικών που το χρησιμοποιούσαν (Heering, 2008).

Στις αρχές του 20ού αιώνα, ο Robert Pohl του Gottingen ανέπτυξε μία επιδραστική διδακτική πρόταση, η οποία αφορούσε τη μελέτη και αναπαραγωγή ιστορικών ερευνητικών πειραμάτων με την εμπλοκή μαθητών, οι οποίοι εκπαιδεύτηκαν στη χρήση του απαραίτητου επιστημονικού εξοπλισμού (Wittje, 2011).

Στα πλαίσια των επιδιωκόμενων εκπαιδευτικών αλλαγών και της αναβάθμισης του εκπαιδευτικού συστήματος, πολιτικοί φορείς προσδιόρισαν τα επιστημονικά όργανα που

θα έπρεπε να περιλαμβάνονται στον εξοπλισμό των επιστημονικών εργαστηρίων των εκπαιδευτικών ιδρυμάτων και, σε αρκετές περιπτώσεις, ανέλαβαν και τις ανάλογες πρωτοβουλίες. Η Gil de Zarate, η γραμματέας εκπαίδευσης της Ισπανίας που υπήρξε η εισηγήτρια της εκπαιδευτικής μεταρρύθμισης του 1845 που είχε ως βασικό στόχο την αναβάθμιση της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης της χώρας, βασίστηκε στην παρισινή πειραματική φυσική εκπαίδευση και προώθησε την εκτενή προμήθεια επιστημονικών οργάνων από κορυφαίους κατασκευαστές στο Παρίσι, όπως ο Pixii. Η εν λόγω πρωτοβουλία της ισπανικής κυβέρνησης στέφθηκε με επιτυχία αφού, σύμφωνα με τα διαθέσιμα ιστορικά στοιχεία, προκύπτει πως ακόμα και τα σχολεία δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης που διέθεταν περιορισμένους πόρους, είχαν προμηθευτεί, κατά την εξεταζόμενη περίοδο, επιστημονικά όργανα υψηλής ακρίβειας (Simon & Cuenca-Lorent 2011).

Μία αντίστοιχη πρωτοβουλία αναπτύχθηκε και στα πλαίσια της τοπικής κυβέρνησης του Οντάριο του Καναδά, όπου ο επικεφαλής σχολικός επιθεωρητής John Seath ανέλαβε την αρμοδιότητα να προτείνει και να αξιολογήσει τον εξοπλισμό των επιστημονικών εργαστηρίων στα σχολεία δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης, ο οποίος, μέχρι τότε, προέκυπτε από δωρεές ιδιωτών. Λίγα χρόνια μετά την εφαρμογή του μέτρου, τα σχολεία της περιφέρειας του Οντάριο, είχαν αποκτήσει ικανοποιητικές συλλογές επιστημονικών οργάνων (Cavvichi, 2012).

### **3.2 Η μέθοδος ανακατασκευής των ιστορικών επιστημονικών οργάνων**

Η ιδέα της ανακατασκευής των ιστορικών επιστημονικών οργάνων διατυπώθηκε το 1990 από την ερευνητική ομάδα του Πανεπιστημίου του Oldenburf, με επικεφαλής τον καθηγητή Falk Riess (1995, 2000). Η εν λόγω ιδέα προέκυψε ως αποτέλεσμα της συνειδητοποίησης ότι η κλασική διδακτική προσέγγιση των φυσικών επιστημών δεν λειτουργούσε ενισχυτικά στο ενδιαφέρον των μαθητών για τα διδακτικά αντικείμενα ενώ σημαντικά μειονεκτήματα συνδέθηκαν με αυτή όσον αφορά στη δυνατότητα επαρκούς κατανόησης, εκ μέρους των μαθητών, των διδασκόμενων εννοιών, θεωριών και μεθόδων. Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω, ο καθηγητής Riess υποστήριξε πως η μέθοδος της ανακατασκευής ιστορικών επιστημονικών οργάνων προωθεί την ενεργό εμπλοκή των μαθητών στην εκπαιδευτική

διαδικασία και την ανάληψη πρωτοβουλιών, εκ μέρους τους, καθώς και το γεγονός ότι η διαδικασία αυτή ενεργοποιεί τόσο τις αισθήσεις όσο και την αισθητική των διδασκομένων, μπορεί να λειτουργήσει ενισχυτικά προς τις νοητικές διεργασίες της διαδικασίας μάθησης (Riess, 1995).

Σταδιακά, τα επιχειρήματα του καθηγητή Riess υιοθετήθηκαν ευρέως στα πλαίσια της επιστημονικής κοινότητας με αποτέλεσμα η μέθοδος της ανακατασκευής ιστορικών επιστημονικών οργάνων να αναδειχθεί σε μία διαδεδομένη μέθοδος διδασκαλίας και ιστοριογραφίας και να οδηγήσει σε μία νέα «ανάγνωση» της Ιστορίας των Φυσικών Επιστημών (Heering & Sichau, 2005).

Για παράδειγμα, η ανακατασκευή μίας μηχανικής αντλίας, της οποίας η πειραματική χρήση αναφερόταν στα χειρόγραφα του James Prescott Joule οδήγησε τους ερευνητές να αναθεωρήσουν ορισμένα ιστορικά στοιχεία που θεωρούσαν δεδομένα για τα ιστορικά πειράματα. Πιο αναλυτικά, παρόλο που ο Joule ανέφερε πως για τη χρήση της εν λόγω μηχανικής αντλίας επαρκούσε ένα άτομο, η ανακατασκευή της στα σύγχρονα εργαστήρια απέδειξε την αναγκαιότητα ύπαρξης και δεύτερου ατόμου. Μάλιστα, οι σύγχρονοι μελετητές οδηγήθηκαν στο συμπέρασμα ότι η ύπαρξη του βοηθού είχε αποσιωπηθεί από τα χειρόγραφα του Joule ως συνέπεια των κοινωνικών διακρίσεων της εποχής οι οποίες δεν επέτρεπαν την αναφορά βοηθών στα πλαίσια επιστημονικών αναφορών (Πάπαρου, 2012).

Στα πλαίσια του ερευνητικού προγράμματος του Πανεπιστημίου του Oldenburf, το οποίο αναφέρθηκε νωρίτερα, επιδιώχθηκε και η αποτελεσματική εκπαίδευση των μελλοντικών διδασκόντων των φυσικών επιστημών μέσω της εκπαίδευσής τους στην πιστή ανακατασκευή ιστορικών επιστημονικών οργάνων. Στο πλαίσιο αυτό, οι μελλοντικοί εκπαιδευτικοί καλούνταν να μελετήσουν τα διαθέσιμα ιστορικά κείμενα με στόχο να αλιεύσουν όλες τις απαραίτητες πληροφορίες που αφορούσαν τα χαρακτηριστικά των επιστημονικών οργάνων που θα επεδίωκαν να κατασκευάσουν, όπως τα υλικά κατασκευής και οι διαστάσεις (Πάπαρου, 2012).

Μετά την παραγωγή ενός πιστού αντιγράφου κάποιου ιστορικού επιστημονικού οργάνου, οι εκπαιδευόμενοι καλούσαν να το θέσουν σε λειτουργία και να προβούν στη μέτρηση ή το πείραμα για το οποίο είχε, ιστορικά, χρησιμοποιηθεί και να συγκρίνει τα αποτελέσματα που θα λάβει με τα αντίστοιχα αποτελέσματα που προέκυπταν από τη χρήση των ιστορικών οργάνων, όπως αυτά αναφέρονταν στα ιστορικά κείμενα. Ως εκ τούτου, μέσω της

ανακατασκευής του οργάνου, ο φοιτητής καλούνταν να μελετήσει όλο το ιστορικό υπόβαθρο της ανάπτυξης του επιλεγμένου οργάνου (Riess, 1995) και, σε πολλές περιπτώσεις, οδηγούνταν σε επανεξέταση ή/και αναθεώρηση των διαθέσιμων ιστορικών στοιχείων (Heering, 1992; Sibum, 1995; Heering & Sichau, 2005; Heering, 2003).

Χαρακτηριστικό παράδειγμα χρησιμοποίησης ιστορικής συλλογής επιστημονικών οργάνων από ομάδα μαθητών και μεταπτυχιακών φοιτητών είναι αυτό της Μαρασλείου. Οι μαθητές ήρθαν πιο κοντά με τις φυσικές επιστήμες μέσα από την συντήρηση και κάποιες φορές ανακατασκευή ιστορικών επιστημονικών οργάνων. Ανέπτυξαν θετικά συναισθήματα από το περιβάλλον στο οποίο φυλάσσονταν τα όργανα, τη γνωριμία τους με αυτά και τους δημιουργούς τους αλλά και το αντίκτυπο που είχε η χρήση των οργάνων στις ζωές των ανθρώπων. Οι φοιτητές μπόρεσαν να λειτουργήσουν ως δάσκαλοι για πρώτη φορά σε ένα πιο ελεύθερο πλαίσιο και ήρθαν σε επαφή με ένα ιστορικό εργαστηριακό περιβάλλον που τους προσέφερε βιώματα ωφέλιμα για την μετέπειτα επαγγελματική τους ανάπτυξη. (Lazos P., Stefanidou C. & Skordoulis C., 2021)

Σήμερα, η σημασία της μεθόδου ανακατασκευής ιστορικών επιστημονικών οργάνων έχει αποδειχθεί χρήσιμη σε επίπεδο εκπαίδευσης μελλοντικών καθηγητών φυσικών επιστημών (Heering, 2003), κατασκευής επιστημονικών οργάνων για μουσεία της Ιστορίας των Επιστημών (Brenni, 2008) και ερμηνείας της Ιστορίας των Φυσικών Επιστημών (Πάπαρου, 2012).

### **3.3 Η διενέργεια ιστορικών πειραμάτων**

Η αναπαραγωγή ιστορικών πειραμάτων αποτελεί μία ευρέως διαδεδομένη πρακτική σε πολλούς επιστημονικούς κλάδους, όπως η Ιστορία, η Αρχαιολογία, η Ανθρωπολογία, η Ιστορία της Τέχνης και η Ιστορία της Επιστήμης. Για παράδειγμα, οι συντηρητές και οι ιστορικοί της Τέχνης συνηθίζουν να αναπαράγουν ιστορικά έργα τέχνης με στόχο την καλύτερη κατανόηση των υλικών που χρησιμοποίησαν οι καλλιτέχνες, του τρόπου συντήρησης και αποκατάστασής τους και του τρόπου με τον οποίο αυτά είχαν δημιουργηθεί εντός του εκάστοτε ιστορικού πλαισίου (Fors et al., 2016).

Επιπροσθέτως, άλλο πλεονέκτημα που σχετίζεται με την αναπαραγωγή ιστορικών επιστημονικών πειραμάτων αφορά στο γεγονός ότι μέσω της ενασχόλησής τους με τη

διαδικασία και την επιστημονική πρακτική, οι τελούντες το πείραμα, αποκτούν μία αισθητηριακή εμπειρία σε σχέση με το μελετώμενο επιστημονικό ζήτημα και μία «εργασιακή εμπειρία», η οποία δεν είναι δυνατό να αποκτηθεί μέσα από τη μελέτη των ιστορικών και επιστημονικών πηγών, ανεξάρτητα από το χρόνο που αφιερώνεται σε αυτή (Fors et al., 2016).

Όπως είναι λογικό, και στα πλαίσια των φυσικών επιστημών, η αναπαραγωγή ιστορικών πειραμάτων έχει μακρά παράδοση, η οποία ξεκινάει τουλάχιστον από τα μέσα του περασμένου αιώνα, όταν οι Stillman et al., αναπαρήγαγαν τα πειράματα Μηχανικής του Galileo και οι Roger Stuewer αναπαρήγαγαν τα πειράματα Οπτικής του Newton (Settle, 1961).

Επιπροσθέτως, η εν λόγω μέθοδος εφαρμοζόταν, κατά τις δεκαετίες του 1950 και 1960 και σε επιστημονικούς τομείς που δεν είναι τόσο προφανής η σχέση τους με την πειραματική διαδικασία. Για παράδειγμα, κατά την εν λόγω εποχή, διενεργήθηκαν ποικίλες αναπαραγωγές της προετοιμασίας πρώιμων χυμικών φαρμακευτικών σκευασμάτων, σύμφωνα με τις αρχικές μεθόδους, οι οποίες προέκυπταν από τα ιστορικά στοιχεία (Fors, 2016). Σημειώνεται ότι η αναπαραγωγή ιστορικών πειραμάτων κατά τη διάρκεια των δεκαετιών 1980 και 1990 συνέβαλαν καθοριστικά στο να καταρριφθούν ορισμένες εσφαλμένες, αλλά καλά εδραιωμένες, απόψεις σχετικά με την αλχημεία, όπως η ιδέα ότι τα ευρήματα που περιγράφουν στα χειρόγρατά τους δεν αποτελούσαν προϊόν πειραματισμού αλλά επινοήματα της φαντασίας τους (Principe, 1987).

Στη διάρκεια του 19<sup>ου</sup> αιώνα, ο Otto Sibum κατέβαλε συστηματικές προσπάθειες για την ανακατασκευή της μηχανής του James Joule και της αναπαραγωγής των ιστορικά καταγεγραμμένων πειραμάτων του για την εύρεση του μηχανικού ισοδύναμου της θερμότητας. Μέσω της διαδικασίας αυτής, ο Sibum αποκάλυψε σημαντικά στοιχεία αναφορικά με τους κοινωνικούς περιορισμούς της εποχής και τους μηχανισμούς εμπιστοσύνης, διαπιστώνοντας ότι, κατά πάσα πιθανότητα, τα εν λόγω πειράματα δε θα μπορούσαν να αναπαραχθούν από τους σύγχρονους επιστήμονες του Joule, οι οποίοι δε διέθεταν τις δεξιότητες του τελευταίου, οι οποίες απέρρεαν από την προηγούμενη σταδιοδρομία του ως ζυθοποιός (Sibum, 1995).

Αξίζει να αναφερθεί ότι παρά το γεγονός ότι σήμερα η μέθοδος της αναπαραγωγής ιστορικών πειραμάτων έχει κερδίσει την ευρεία αποδοχή της επιστημονικής κοινότητας,



ωστόσο μέχρι πριν από λίγα χρόνια, μόλις τη δεκαετία του 1990, αυτή ήταν εξαιρετικά αμφιλεγόμενη μεταξύ των επιστημόνων, ένα μέρος των οποίων τη θεωρούσε άσκοπη και/ή αδύνατη (Fors et al., 2016).

Σε γενικές γραμμές, κατά τη διάρκεια των προηγούμενων δεκαετιών, η ιδέα ότι τα αναλυτικά προγράμματα σπουδών των φυσικών επιστημών δεν έπρεπε να ενσωματώνουν ιστορικά στοιχεία, παρά μόνο με τη μορφή υποσημειώσεων ή παραρτημάτων, αποτελούσε κοινή πεποίθηση, ενώ η ιδέα της αναπαραγωγής ιστορικών πειραμάτων και της ανακατασκευής επιστημονικών οργάνων στην τάξη αποτελούσε μία πρακτική που υιοθετούνταν σε περιορισμένο αριθμό εκπαιδευτικών ιδρυμάτων ανά τον κόσμο (Cavicchi, 2008).

Ένα τέτοιο παράδειγμα αποτελούσε το σχολείο στο οποίο δίδασκαν οι Devons και Hartman και το εργαστήριο του οποίου είχαν φροντίσει να διαθέτει τον απαραίτητο εξοπλισμό για την αναπαραγωγή τριάντα (30) ιστορικών πειραμάτων φυσικής. Οι εκπαιδευτικοί παρατήρησαν ότι, σε αντίθεση με τη διενέργεια τυποποιημένων εργαστηριακών ασκήσεων, η αναπαραγωγή ιστορικών επιστημονικών πειραμάτων στο σχολικό εργαστήριο, με τη χρήση του ιστορικά ορθού εξοπλισμού, σχετιζόταν με την εμφάνιση προβλημάτων και δυσκολιών, τα οποία οι μαθητές καλούνταν να υπερπηδήσουν μέσω της αξιοποίησης των δεξιοτήτων τους και των ικανοτήτων τους για σκέψη και παρατήρηση (Devons & Hartman, 1970; Hoddson, 1971).

Από την άλλη πλευρά, η διδακτική προσέγγιση των φυσικών επιστημών, εκτός από στοιχεία της ιστορίας και της φιλοσοφίας των φυσικών επιστημών, δεν ενσωματώνει ούτε στοιχεία που σχετίζονται με την παρατήρηση της φύσης για τον εντοπισμό και την ερμηνεία των διδασκόμενων φαινομένων. Προκειμένου να ανατρέψει την προαναφερθείσα συνθήκη, ο Kirpis (1996) διοργάνωσε εργαστήρια κατάρτισης διδασκόντων στα πλαίσια των οποίων οι συμμετέχοντες ενεπλάκησαν σε ποιοτικές δραστηριότητες με ιστορικές καταβολές, οι οποίες βασίζονταν στη χρήση αντικειμένων καθημερινής χρήσης, ενώ αντίστοιχες έρευνες σχετικά με τον αποτελεσματικό συνδυασμό ιστορίας- επιστήμης και πειράματος, έχουν διενεργηθεί και από άλλους μελετητές (Teichmann, 1999; Holton, 2002).

Παρομοίως, στα πλαίσια της έρευνας των Gornam & Kirby Robinson (1998), με αφετηρία την εφεύρεση του τηλεφώνου από τον Alexander Graham Bell, οι μαθητές παρακινήθηκαν

να εμπλακούν στη διαδικασία ανάπτυξης κάποιας δικής τους εφεύρεσης και να αναλογιστούν τη σχετική διαδικασία τόσο σε προσωπικό, όσο και σε ιστορικό επίπεδο.

Στα ελληνικά σχολεία σε επίπεδο δράσης πραγματοποιείται κάθε χρόνο το πείραμα του Ερατοσθένη για την υπολογισμό της περιφέρειας της Γης καθώς και της ακτίνας της, μετρώντας την σκιά αντικειμένων στην διάρκεια της μεσουράνησης του ήλιου (μεσημβρία) κάθε τόπου κατά την εαρινή ή φθινοπωρινή ισημερία. Η απλότητα του πειράματος, η διεξαγωγή του σε διαφορετικούς τόπους και η εξαγωγή συμπερασμάτων που σχετίζονται με το μέγεθος του πλανήτη φέρνουν πιο κοντά τον μαθητικό πληθυσμό στην δύναμη της επιστημονικής σκέψης.

### **3.3.1 Σημασία της αναπαραγωγής των ιστορικών πειραμάτων**

Η αναπαραγωγή ιστορικών πειραμάτων αποτελεί μία εξαιρετικά αποτελεσματική μέθοδο όσον αφορά στην καλύτερη κατανόηση των επιμέρους πτυχών της ιστορίας της επιστήμης αφού, ανεξάρτητα από την ύπαρξη γραπτών αναφορών σε συγκεκριμένες επιστημονικές ανακαλύψεις, αυτές πολύ συχνά δεν είναι σε θέση να παρέχουν στον αναγνώστη όλες εκείνες τις πληροφορίες που θα απαιτούνταν, αφενός, για την ενίσχυση του ενδιαφέροντος του και, αφετέρου, για την ενίσχυση της κατανόησης των μελετώμενων εννοιών και θεωριών. Από την άλλη πλευρά, η ενεργός εμπλοκή των διδασκομένων στην επιστημονική πρακτική, μέσω της αναπαραγωγής ενός ιστορικού πειράματος που χρησιμοποιήθηκε στο παρελθόν για την απόδειξη του διδακτικού αντικειμένου, μπορεί να αποδειχθεί εξαιρετικά πιο αποτελεσματική σε σχέση με τη «στεία» ανάγνωση των διαθέσιμων πηγών, είτε πρόκειται για ιστορικές πηγές, είτε για σχολικά εγχειρίδια (Fors et al., 2016).

Ωστόσο, προκειμένου να επιτελέσει τον προαναφερθέντα σκοπό, η αναπαραγωγή ιστορικών επιστημονικών πειραμάτων είναι σημαντικό να προσεγγίζεται με ιστορική ακρίβεια και ευαισθησία. Με άλλα λόγια, το άτομο που επιδίδεται στην αναπαραγωγή κάποιου ιστορικού πειράματος, πρέπει πρώτα να μελετήσει συστηματικά και εις βάθος το ιστορικό και επιστημονικό πλαίσιο του πειράματος, προκειμένου να είναι σε θέση να το αναπαράγει με ωφέλιμο τρόπο, και να παρέχει απαντήσεις σε γόνιμα ιστορικά ερωτήματα. Σε κάθε άλλη περίπτωση, τα ευρήματα που θα προκύψουν από την αναπαραγωγή του πειράματος θα είναι είτε άσκοπα, δηλαδή δε θα παράγουν επιστημονική γνώση, είτε άτοπα, δηλαδή δε θα βασίζονται σε επιστημονικά δεδομένα, είτε, ακόμα, και τελείως παραπλανητικά (Fors et al., 2016).

Ένα σημαντικό στοιχείο που μπορεί να ενισχύσει την ακρίβεια της αναπαράστασης ιστορικών επιστημονικών πειραμάτων είναι οι αισθητηριακές πληροφορίες που σχετίζονται με το μελετώμενο πείραμα. Οι εν λόγω πληροφορίες, παρόλο που είναι δύσκολο να μεταφερθούν μέσω γραπτών πηγών του παρελθόντος, μπορεί να είναι κομβικής σημασίας για το σχηματισμό μίας ευρείας αντίληψης του μελετώμενου αντικειμένου από το μελετητή του μέλλοντος αφού μπορεί να συμβάλλει καθοριστικά στην αποσαφήνιση ποικίλων «γκρίζων» σημείων των ιστορικών πηγών ή των βαθύτερων σκέψεων των επιστημόνων του παρελθόντος, οι οποίες τους οδήγησαν να εκτελέσουν ορισμένα πράγματα με συγκεκριμένο τρόπο και να οδηγηθούν σε συγκεκριμένα συμπεράσματα μέσω των ευρημάτων τους. (Fors et al., 2016)

Από την άλλη πλευρά, παρά την κοινή αντίληψη περί του αντιθέτου, η ύπαρξη οπτικών περιγραφών για τον τρόπο διεξαγωγής ιστορικών πειραμάτων μπορεί να αποδειχθεί εξαιρετικά παραπλανητική, παρά τον άμεσο χαρακτήρα τους, εξαιτίας του γεγονότος ότι, όπως έχει δείξει η εμπειρία και η έρευνα, η εικονογράφηση των επιστημονικών εκδόσεων του παρελθόντος μπορεί να επιτελεί τους δικούς της σκοπούς και να μην αναπαριστά με πλήρη ακρίβεια την επιστημονική πρακτική στην οποία αναφέρεται (Sibum, 2003).

Ένα σημαντικό μειονέκτημα των υφιστάμενων αναλυτικών προγραμμάτων σπουδών των φυσικών επιστημών, το οποίο η αναπαραγωγή ιστορικών πειραμάτων μπορεί να καλύψει, αφορά στον κατακερματισμό της επιστημονικής γνώσης που προσφέρεται μέσα από αυτά στους μαθητές αφού διδακτικές ενότητες όπως ο ηλεκτρισμός, ο ήχος και το φως διδάσκονται τελείως ανεξάρτητα το ένα από το άλλο, χωρίς να δίνεται έμφαση στον τρόπο που αυτά συνδέονται αλλά, αντιθέτως, εστιάζοντας στην εκμάθηση μεθόδων για την επίλυση τύπων (Van Heuvelen, 1991). Ο εν λόγω κατακερματισμός έχει αποτυπωθεί και ερευνητικά σε μία έρευνα γνώμης με δείγμα φοιτητές φυσικών επιστημών, όπου διαπιστώθηκε ότι ένα σημαντικό κομμάτι των συμμετεχόντων θεωρεί τις φυσικές του γνώσεις ως ένα σύνολο ανεξάρτητων κομματιών γνώσης, τα οποία δε συνδέονται με οποιονδήποτε τρόπο (Hammer, 1994). Σημειώνεται ότι η βασική προσπάθεια που καταβάλλεται για την αντιμετώπιση του φαινομένου αυτού, στα πλαίσια των περισσότερων αναλυτικών προγραμμάτων σπουδών, είναι η οργάνωση της διδασκαλίας με τρόπο που να γίνεται κατανοητή η σύνδεση μεταξύ θεμελιωδών εννοιών, όπως ο μαγνητισμός και ο ηλεκτρισμός (Bagno, 2000).

Επιπροσθέτως, η ένταξη της διενέργειας ιστορικών πειραμάτων στη σχολική τάξη, συμβάλλει καθοριστικά στο να οικοδομηθεί, εκ μέρους των μαθητών, μία βαθιά γνώση και κατανόηση των διδακτικών αντικειμένων, αφού μέσω της παρατήρησης των ενδεχόμενων δυσκολιών που σχετίζονται με τη διενέργεια των εν λόγω πειραμάτων με τον εξοπλισμό της εποχής, οι μαθητές καλούνται να συζητήσουν τους τρόπους που χρησιμοποιούσαν οι επιστήμονες του παρελθόντος για την αντιμετώπισή τους και να σκεφτούν σε βάθος πάνω σε αυτά τα ζητήματα και των τρόπων αλληλεπίδρασης διαφορετικών φυσικών φαινομένων (Arons, 1982; Hawkins, 1990; Cavicchi, 1999; Duckworth, 2001).

Σήμερα, η άποψη του Heering (2009) σχετικά με την καθοριστική σημασία της ένταξης ιστορικών πειραμάτων στην εκπαιδευτική πρακτική στον τομέα της διδακτικής των φυσικών επιστημών έχει κερδίσει σημαντική αποδοχή μεταξύ της επιστημονικής κοινότητας. Επιπροσθέτως, ο ίδιος σημειώνει ότι η αναβάθμιση της διδακτικής προσέγγισης των φυσικών επιστημών μπορεί να συμπεριλάβει και άλλες μεθόδους και τεχνικές, όπως η διενέργεια μελετών περίπτωσης, δραματοποιήσεων ή εφαρμογές πολυμέσων για την αύξηση του ενδιαφέροντος και των μαθησιακών αποτελεσμάτων των διδασκομένων. Φυσικά, η αλληλεπίδραση μεταξύ των δύο τομέων, της Ιστορίας των Φυσικών Επιστημών και της Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών είναι αμφίδρομη και αμοιβαίως επωφελής (Heering, 2009).

## **Συμπεράσματα**

Η Ιστορία και η Φιλοσοφία των Επιστημών είναι άμεσα συνδεδεμένη με τη διαδικασία οικοδόμησης της επιστημονικής γνώσης και για το λόγο αυτό η ένταξή της στα αναλυτικά προγράμματα σπουδών των φυσικών επιστημών έχει αναγνωριστεί ως μία εξαιρετικά αποτελεσματική μέθοδος για την ενίσχυση των μαθησιακών αποτελεσμάτων και των ακαδημαϊκών επιδόσεων των μαθητών σε όλες τις βαθμίδες του εκπαιδευτικού συστήματος.

Όπως έχει προκύψει μέσα από τη διεθνή έρευνα, η ένταξη στοιχείων της Ιστορίας και Φιλοσοφίας των Φυσικών Επιστημών στην εκπαιδευτική διαδικασία φέρει πολυάριθμα πλεονεκτήματα σε σχέση με την πιο παραδοσιακή προσέγγιση της διδακτικής των φυσικών επιστημών αφού έχει διαπιστωθεί ότι μέσω της μάθησης ιστορικών στοιχείων που συνδέονται με τα εκάστοτε διδακτικά αντικείμενα, οι μαθητές έχουν τη δυνατότητα να αντιληφθούν καλύτερα τόσο τις διδασκόμενες έννοιες και φαινόμενα των φυσικών επιστημών, όσο και τις διαδικασίες που οδήγησαν στην ανάγκη για την ανάπτυξη και τη μελέτη τους. Με τον τρόπο αυτό, οι μαθητές αποκτούν μία σφαιρική αντίληψη σχετικά με τα αντικείμενα που διδάσκονται καθώς και μία καλύτερη κατανόηση της στενής αλληλεπίδρασης μεταξύ διαφορετικών τομέων της επιστημονικής γνώσης. Ως εκ τούτου, είναι σε θέση να οικοδομήσουν ένα γνωστικό οικοδόμημα, το οποίο δεν αποτελεί μία συσσώρευση «κομματιών» γνώσης, τα οποία είναι απολύτως ασύνδετα μεταξύ τους, αλλά

είναι ένα συμπαγές οικοδόμημα και συνδυάζεται με βαθιά κατανόηση του γνωστικού αντικειμένου.

Επιπροσθέτως, στα πλαίσια της κωνστροκτιβιστικής θεωρίας της γνώσης, η ένταξη στοιχείων της Ιστορίας και Φιλοσοφίας των Φυσικών Επιστημών στη διδασκαλία τους ενισχύει το ενδιαφέρον των μαθητών για την εκπαιδευτική διαδικασία και προωθεί την ενεργό εμπλοκή τους σε αυτή, με αποτέλεσμα βελτιωμένα μαθησιακά και ακαδημαϊκά αποτελέσματα.

Η ένταξη ιστορικών στοιχείων στη διδασκαλία των φυσικών επιστημών, μπορεί να λάβει ποικίλες μορφές, όπως η επίδειξη ή αναπαραγωγή ιστορικών πειραμάτων που αναφέρονται σε ιστορικές πηγές και η διενέργειά τους οδήγησε στην απόδειξη θεμελιωδών θεωριών των φυσικών επιστημών. Επιπροσθέτως, άλλη μέθοδος ένταξης στοιχείων της ιστορίας και φιλοσοφίας των φυσικών επιστημών στη διδακτική πρακτική συνιστά η παρουσίαση ή ανακατασκευή ιστορικών επιστημονικών εργαλείων στην τάξη.

Αναφορικά με την πρώτη μέθοδο, αυτή της αναπαράστασης ιστορικών πειραμάτων στην τάξη, η αποτελεσματικότητά τους στα πλαίσια της εκπαιδευτικής διαδικασίας έχει μελετηθεί εκτενώς, είτε πρόκειται για πειράματα επίδειξης, δηλαδή τα οποία διενεργούνται από τους διδάσκοντες, είτε για πειράματα που διενεργούνται από τους ίδιους τους μαθητές. Τα πειράματα επίδειξης αποτελούσαν την κοινή πρακτική που εφαρμοζόταν διεθνώς στα σχολεία κατά τη διάρκεια παλαιότερων εποχών και είχε συνδεθεί με βελτιωμένα μαθησιακά αποτελέσματα. Ωστόσο, σταδιακά, η διενέργεια πειραμάτων από τους ίδιους τους μαθητές άρχισε να κερδίζει σε δημοφιλία έναντι των πειραμάτων επίδειξης στα πλαίσια και της κωνστροκτιβιστικής μάθησης. Μέσω της ενεργής εμπλοκής των μαθητών στη διαδικασία αναπαραγωγής ιστορικών πειραμάτων, βρέθηκε ότι ενισχύεται το ενδιαφέρον τους σχετικά με το αντικείμενο της διδασκαλίας, κατανοούν καλύτερα τις αρχές της επιστημονικής μεθοδολογίας, η οποία είναι θεμελιώδους σημασίας για τις φυσικές επιστήμες και, επιπλέον, έρχονται αντιμέτωποι με τις δυσκολίες που αντιμετώπισαν και οι ίδιοι οι επιστήμονες του παρελθόντος με αποτέλεσμα να καλούνται να καλλιεργήσουν τις δεξιότητες της φαντασίας και της δημιουργικότητας που είναι κομβικής σημασίας για την επίλυση επιστημονικών προβλημάτων.

Αναφορικά με την παρουσίαση ιστορικών επιστημονικών οργάνων στη σχολική πρακτική, αξίζει να σημειωθεί ότι αυτή αποτελεί μία δημοφιλή μέθοδο, η οποία εφαρμόζεται εδώ και

τουλάχιστον δύο αιώνες στα διεθνή εκπαιδευτικά ιδρύματα αφού, όπως αναλύθηκε στα προηγούμενα κεφάλαια, πολλά κράτη επεδίωξαν τον εξοπλισμό των εκπαιδευτικών τους ιδρυμάτων, κυρίως στη δευτεροβάθμια και την τριτοβάθμια εκπαίδευση, με ιστορικά επιστημονικά όργανα που συνέβαλαν καθοριστικά στην ανακάλυψη βασικών εννοιών και την απόδειξη θεμελιωδών θεωριών των φυσικών επιστημών.

Ωστόσο, από τη δεκαετία του 1990, με απαρχή το ερευνητικό πρόγραμμα του Πανεπιστημίου του Oldenburf προωθείται και η μέθοδος της ανακατασκευής των ιστορικών επιστημονικών οργάνων με στόχο την περαιτέρω ενίσχυση των μαθησιακών αποτελεσμάτων των μαθητών. Μέσω της διάδοσης της εν λόγω μεθόδου, διαπιστώθηκε ότι η μέθοδος της ανακατασκευής ιστορικών επιστημονικών οργάνων μπορεί να συμβάλει καθοριστικά στην οικοδόμηση της γνώσης εκ μέρους των μαθητών, μέσω της ενίσχυσης του ενδιαφέροντος τους, αλλά και σε μία νέα, εναλλακτική, ανάγνωση της ιστορίας των φυσικών επιστημών. Το τελευταίο προκύπτει από το γεγονός ότι η πρακτική εφαρμογή της εν λόγω μεθόδου οδήγησε τους ερευνητές στη διαπίστωση ορισμένων νέων ιστορικών στοιχείων που δεν προέκυπταν σαφώς μέσα από τις ιστορικές επιστημονικές πηγές, λόγω της επίδρασης ποικίλων παραγόντων, κοινωνικό-πολιτικής φύσης. Τέλος, εξαιρετικά χρήσιμη έχει αποδειχθεί η εν λόγω μέθοδος και για την εκπαίδευση των μελλοντικών δασκάλων των φυσικών επιστημών αφού βελτιώνει την κατανόηση τους σχετικά με το περιεχόμενο των διδακτικών αντικειμένων και το ευρύτερο ιστορικό πλαίσιο μέσα στο οποίο αυτά αναπτύχθηκαν.

Λαμβάνοντας υπόψη όλα τα στοιχεία που αναλύθηκαν στα πλαίσια της παρούσας εργασίας, προκύπτει πως η ένταξη των ιστορικών πειραμάτων και των ιστορικών επιστημονικών οργάνων στη διδακτική των φυσικών επιστημών μπορεί να συμβάλλει καθοριστικά στην αναβάθμιση της εκπαιδευτικής διαδικασίας και τη βελτίωση των μαθησιακών αποτελεσμάτων των μαθητών. Ωστόσο, είναι σημαντικό, η ένταξη των ιστορικών στοιχείων στην εκπαιδευτική διαδικασία να γίνεται μετά από συστηματική μελέτη των αναλυτικών προγραμμάτων ώστε, αφενός, αυτά να εφαρμόζονται με τρόπο εποικοδομητικό, και να μην αφορούν τη στείρα παράθεση ιστορικών δεδομένων που θα κουράσουν και θα αποπροσανατολίσουν τους μαθητές και, αφετέρου, να καλύπτουν τους διδακτικούς στόχους που έχουν τεθεί.

...



## Βιβλιογραφία

Ακολουθούν οι βιβλιογραφικές αναφορές (πηγές) της Εργασίας.

Κολιόπουλος, Δ. (2004). Θέματα διδακτικής φυσικών επιστημών. Η συγκρότηση της σχολικής γνώσης. Αθήνα: Μεταίχμιο.

Κολιόπουλος, Δ. (2012). Εισαγωγή της Ιστορίας και Φιλοσοφίας των Φυσικών Επιστημών στο πρόγραμμα σπουδών των Φυσικών Επιστημών: θεωρητικές αφετηρίες και διδακτικές προσεγγίσεις. Στο Μ. Ευαγόρου & Λ. Αβρααμίδου (Επιμ.), Θεωρητικές και διδακτικές προσεγγίσεις στις φυσικές επιστήμες (σσ. 28-51). Αθήνα: Διάδραση.

Κολιόπουλος, Δ., & Ψύλλος, Δ. (1982). Ένα πολυδιάστατο εργαλείο της διδασκαλίας και μάθησης της Φυσικής: Η ιστορία της Φυσικής. Σύγχρονη Εκπαίδευση, 9, 85-92.

Πάπαρου, Φ. (2012). Η αξιοποίηση της ιστορίας και της φιλοσοφίας της επιστήμης στη διδασκαλία των φυσικών επιστημών: διαμορφώνοντας δράσεις με κέντρο ιστορικά επιστημονικά όργανα. Διδακτορική διατριβή. Αθήνα: ΕΚΠΑ.

Σερόγλου, Φ. (2000). Η συμβολή της ιστορίας της Φυσικής στο σχεδιασμό διδακτικού υλικού. Διδακτορική Διατριβή. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη.

Σπηλιωτοπούλου, Β., & Ιωαννίδης, Γ. (1996). Η αιτιότητα στην αρχαία ελληνική σκέψη και τη σκέψη των παιδιών. Ένα παράδειγμα εφαρμογής της ιστορικής μεθόδου διδασκαλίας. Πρακτικά του 7<sup>ου</sup> Πανελληνίου Συνεδρίου Φυσικής και του 6<sup>ου</sup> Κοινού Συνεδρίου Ένωσης Ελλήνων Φυσικών και Ένωσης Κυπρίων Φυσικών. Ηράκλειο, 4-7 Απριλίου 1996. Τόμος Ι, (σσ. 60-63).

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. Αθήνα: ΕΚΠΑ.

AAAS (2011). *Vision and change in undergraduate biology education: A call to action*. Washington, DC

Aczel, A.D.: 2003, *Pendulum: Léon Foucault and the Triumph of Science*, Atria Books, New York

- Akatugba, A. H., & Wallace, J. (2009). An integrative perspective on students' proportional reasoning in high school Physics in a West African context. *International Journal of Science Education*, 31 (11), 1473-1493.
- Albanese, A., & Vicentini, M. (1997). Why do we believe that an atom is colourless? Reflections on the teaching of the particle model. *Science & Education*, 6(3), 251-261.
- Allchin, D. (1997). Rekindling phlogiston: From classroom case study to interdisciplinary relationships. *Science & Education*, 6(5), 473-509.
- Allchin, D. (1999). Values in science: An educational perspective. *Science & Education*, 8(1), 1-12.
- Appleton, K. (1985). Children's ideas about temperature. *Research in Science Education*, 15 (1), 122-126
- Arons, A.B. (1982). Phenomenology and Logical Reasoning in Introductory Physics Courses. *American Journal of Physics*, 50 (1), 13-19.
- Arons, A.B. (1990). *A Guide to Introductory Physics Teaching*. New York: Wiley.
- Bagno, E., Eylon, B.S., & Ganiel, U. (2000). From Fragmented Knowledge to a Knowledge Structure: Linking the Domains of Mechanics and Electromagnetism, *Physics Education Research*. *American Journal of Physics*, Supplement 68, S16-S26
- Bodner, G. M. (2001). Why lecture demonstrations are „exocharmic“ for both students and their instructors. *University Chemistry Education*, 5, 31-35
- Bowen, C. W., & Phelps A. J. (1997). Demonstration-based cooperative testing in general chemistry: A broader assessment-of-learning technique. *Journal of Chemical Education*, 74, 715-719
- Brenni, P. (2008). The possible uses of university instruments collections. *Rittenhouse*, 22 (2), 211-224.
- Britannica. Inclined plane. Available at: <https://www.britannica.com/technology/inclined-plane>
- Brush, S. (1974). Should the History of Science be rated X? *Science*, 183, 1164-1172.
- Cavicchi, E. (1999). Experimenting with Wires, Batteries, Bulbs and the Induction Coil: Narratives of Teaching and Learning Physics in the Electrical Investigations of Laura,

- David, Jamie, Myself and the Nineteenth Century Experimenters – Our Developments and Instruments. Dissertation. Harvard University, Cambridge M
- Cavicchi, E. (2008). Historical Experiments in Students' Hands: Unfragmenting Science through Action and History. *Science & Education*, 17, 717-749.
- Cavicchi, E. (2012) Review of “Peter Heering and Roland Wittje (eds): Learning by Doing: Experiments and Instruments in the History of Science Teaching.” *Science & Education*, 21 (9), 1375–1380
- Collinder P. Swedish astronomers 1477–1900 *Acta Universitatis Upsaliensis*. 1970; Ser. C.
- Conant, J. (1945). *General education in a free society*. Harvard: Harvard University Press.
- Conant, J. (1947). *On understanding science*. New Haven: Yale University Press.
- Devons, S., & Hartmann, L. (1970). A History-of-Physics Laboratory, *Physics Today* 23 (2), 44–49
- Drake, S. (1973). Galileo's experimental confirmation of horizontal inertia: unpublished manuscripts, *Isis*, 64 (223), 291-305.
- Duckworth, E. (2001). “Tell Me More’’: Listening to Learners Explain, Teachers College Press, NY.
- Durham, M.F., Knight, J.K., & Cough, B.A. (2017). Measurement Instrument for Scientific Teaching (MIST): A Tool to Measure the Frequencies of Research-Based Teaching Practices in Undergraduate Science Courses. *CBE Life Science Education*, 16(4), <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5749969/>
- Duschl, R. (1994). Research on the History and Philosophy of Science. In D. Gable (Ed.) *Handbook of Research in Science Teaching*. New York: Mac Millian.
- Fors, H., Principe, L.M., & Sibum, O.H. (2016). From the Library to the Laboratory and Back Again: Experiment as a Tool for Historians of Science. *Ambix*, 63 (2), 85-97.
- Gee, B., & Clackson, S. G. (1992). The origin of practical work in the English School science curriculum. *School Science Review*, 73, 79-83
- Gorman, M., & Kirby Robinson, J. (1998). Using History to Teach Invention and Design: The Case of the Telephone. *Science and Education*, 7, 173–201

- Grodzinsky, E., & Levander, M.S. (2019). History of the Thermometer. *Understanding Fever and Body Temperature*, 23, 23-35
- Halloun, I.A., & Hestenes, D. (1985). Common sense concepts about motion. *American Journal of Physics*, 53 (11), 1056-1065.
- Hammer, D. (1994). Epistemological Beliefs in Introductory Physics, *Cognition and Instruction*, 12, 151–183.
- Handelsman J., Miller S., & Pfund C. (2007). *Scientific teaching*. New York: Freeman
- Havu-Nuutinen, S. K. S. (2007). Young children’s conceptions of temperature and thermometer. *International Journal of Learning*, 14 (9), 93-101.
- Hawkins, D. (1990). Defining and Bridging the Gap. in E. Duckworth et al. (eds.), *Science Education: A Minds-On Approach for the Elementary Years*, Lawrence Erlbaum Ass., Hillsdale NJ, 1990
- Heering, P. (1992). On Coulomb’s reverse square law. *American Association of Physics Teachers*, 60 (12), 988-996.
- Heering, P. (2003). History- Science- Epistemology: On the use of historical experiments in physics teachers training. In W.F. Mc Comas (ed.) *Proceedings of the 6<sup>th</sup> IHPST Conference*, Denver, USA, 2001.
- Heering, P. (2008). The enlightened microscope: Re-enactment and analysis of projection with eighteenth-century solar microscopes. *BJHS*, 41 (3), 345-367
- Heering, P. (2009). The role of historical experiments in science teachers training. *Actes d’ historia della ciencia I de la tecnica*, 2 (1), 389-399.
- Heering, P., & Sichau, C. (2005). Instruments and experiments between the laboratory and the museum. *Archives des Sciences*, 58 (2), 97-111.
- Heiskanen, W.A. & Vening Meinesz, F.A. (1958)/ *The Earth and its Gravity Field*. McGraw, NY
- Hiebert, E. N. (1962). Historical roots of the principle of conservation of energy, *The State Historical Society of Wisconsin*, Madison.
- Hoddeson, L.H. (1971). Pilot Experience of Teaching a History of Physics Laboratory. *American Journal of Physics*, 39, 924–928

- Hodson, D. (1990). A Critical Look at Practical Work in School Science. *School Science Review*, 70(256), 33- 40.
- Hodson, D. (1993). Re-thinking old ways: towards a more critical approach to practical work in school science. *Studies in Science Education*, 22, 85-142.
- Hofstein, A., & Lunetta, V. N. (1982). The role of the laboratory in science teaching: Neglected aspects of research. *Review of Educational Research*, 52, 201-217
- Holton, G. (2003). The Project Physics Course, then and now. *Science & Education*, 12, 779-786.
- Holton, G. (2002). The Project Physics Course, Then and Now, *Science and Education* 12, 779–786.
- Horne, D., & Talbot, E. The history of the Regnier dynamometer. *Gilai Collectibles*.  
[https://www.gilai.com/article\\_31/The-History-of-the-Regnier-Dynamometer](https://www.gilai.com/article_31/The-History-of-the-Regnier-Dynamometer)
- Il-Ho Yang, Yong-Ju Kwon & Jin-Woo Jeong (2002). Effects of Students' Prior Knowledge on Scientific Reasoning in Solving Pendulum Task. In Matthews M.R. (Ed.), *International Pendulum Project, Conferences Papers*, v.1, pp. 163-175, Sydney: The University of New South Wales.
- Inan, H. Z., Trundle, K. C., & Kantor, R. (2010). Understanding natural sciences education in a Reggio Emilia-inspired preschool. *Journal of Research in Science Teaching*, 47 (10), 1186-1208
- Inhelder, B. & Piaget, J. (1958). *The growth of logical thinking from childhood to adolescence*, London: Routledge and Kegan Paul.
- Jardim, W.T., Guerra, A., & Schiffer, H. (2021). History of Science in Physics teaching. *Science & Education*, 30, 609-638.
- Johnstone, A. H., & Al-Shuaili, A. (2001). Learning in the laboratory; some thoughts from the literature. *University Chemistry Education*, 5(2), 42-51.
- Kampeza, M., Vellopoulou, Fragkiadaki, G., & Ravanis, K. (2016). The expansion thermometer in preschoolers' thinking. *Journal of Baltic Science Education*, 15 (2), 185-193.

Karas, G., & Vlachakis, G. (2004). Sciences In The South Eastern Europe During The 19th Century I. Εθνικό Ίδρυμα Ερευνών.

Kindi, V. (2005). Should Science Teaching Involve the History of Science? An Assessment of Kuhn's View. *Science & Education*, 14, 721-731.

Kipnis, N. (1996). The 'historical-investigative' approach to Teaching Science. *Science and Education*, 5 (3), 277-292.

Koliopoulos, D., Dossis, S., & Stamoulis, E. (2007). The Use of History of Science Texts in Teaching Science: Two Cases of an Innovative, Constructivist Approach. *The Science Education Review*, 6 (2), 44-56.

Koyre, A. (1966) (original in 1939). *Etudes galiléennes*. 2nd edition. Paris: Hermann.

Koyre, A. (1968). *Metaphysics and Measurement*. London: Chapman & Hall.

Kuhn, T. (1970). *Structure of Scientific Revolutions*. Chicago: University of Chicago Press.

Kuhn, T. (1977). *Essential tension*. Chicago: University of Chicago Press.

Labov J. B., Reid A. H., & Yamamoto K. R. (2010). Integrated biology and undergraduate science education: A new biology education for the twenty-first century? *CBE—Life Sciences Education*, 9: 10–16.

Lazarowitz, R., & Tamir, P. (1994). Research on using laboratory instruction in science. In D. L. Gabel. (Ed.). *Handbook of research on science teaching and learning* (pp. 94-130). New York: Macmillan

Lazos P., Stefanidou C. & Skordoulis C. (2021) “The Collection of Scientific Instruments from the Maraslean Teaching Center and Experimental Science Education: Then and Now”. In P. Heering & E. Cavicchi (eds) “Historical Scientific Instruments in Contemporary Education”, BRILL, ISBN: 978-90-04-49966-9.

Lazos, P., & Paparou, F. (2016). *Scientific Instruments: Tools for Research and Education, Rare Scientific Instruments from the Permanent Museum Exhibition*. Athens University History Museum

Maskill, R., & Pedrosa de Jesus, H. (1997). Pupils' questions, alternative frameworks and the design of science teaching. *International Journal of Science Education*, 19 (7), 781-799.

Matthews, M. (1990). Erns Mach and contemporary science- education reforms. *International Journal of Science Education*, 12, 317-325.

Matthews, M. (1994). *Science Teaching: The Role of History and Philosophy of Science*. London: Routledge.

Matthews, M. (2000). Galileo and the Pendulum Clock. In M. Matthews (Ed.) *Time for Science Education*, Kluwer Academic/Plenum Publishers.

Matthews, M.R., Gauld, C., & Stinner, A. (2004). The Pendulum: Its Place in Science, Culture and Pedagogy. *Science & Education*, 13261-277.

Mazzarello, P. (1999). A unifying concept: the history of cell theory. *Natural Cell Biology*, 1 (1), E13-15.

Milner-Bolotin, M., Kotlicki, A., & Rieger, G. (2007). Can students learn from lecture demonstrations? *J. Coll. Sci. Teach.*, 36, 45-49

MIT Department of Physics, Technical Service Group. The Wimshurst Machine. ODL Video Service. Available at: <https://techtv.mit.edu/videos/d4a939f1558a43e9b47a550e5efd75b2/>

Morrel, J. B. (1972). The chemistry breeders, the research schools of Liebig and Thomas Thomson. *AMBIX*, 19, 1-47

Stafford, E. (2002). What the Pendulum can Tell Educators about children's Scientific Reasoning. In Matthews M.R. (Ed.), *International Pendulum Project, Conferences Papers*, v.2, pp. 145-175, Sydney: The University of New South Wales.

Matthews, M., (2007). Διδάσκοντας φυσικές επιστήμες. Ο ρόλος της ιστορίας και της φιλοσοφίας των φυσικών επιστημών στη διδασκαλία των φυσικών επιστημών. Αθήνα: Επίκεντρο.

Monk, M. & Osborne, J. (1997). Placing the History and Philosophy of Science on the Curriculum: A Model for the Development of Pedagogy. *Science Education*, 81, 405-424

Museo Galileo. Inclined plane. Available at: <https://catalogue.museogalileo.it/object/InclinedPlane.html>

Parkin, S. Wimshurst Machine. History of Science Museum. Available at: <https://www.hsm.ox.ac.uk/wimshurst-machine>

Paparou, F. (2013). Following the traces of science education in Greek schools and institutions of the North Aegean region from the beginning of the 19th century up to the 1920s. *scientific Instrument Society, Bulletin* 117, 10-21

Paparou, F. (2018). Teaching through historical scientific instruments: the material culture of science as an opportunity to explore science, history of science and science communication issues. *Conference Paper*.

Pearn, J. (1978). Two early dynamometers. An Historical Account of the Earliest Measurements to Study Human Muscular Strength. *Journal of the Neurological Sciences*, 1978, 37: 127-134

Piaget, J. (1970). *Genetic Epistemology*. New York: Columbia University Press.

Pierret C., & Friedrichsen P. (2009). Stem cells and society: An undergraduate course exploring the intersections among science, religion, and law. *CBE—Life Sciences Education*, 8: 79–87.

President's Council of Advisors on Science and Technology (2012). *Engage to excel: Producing one million additional college graduates with degrees in science, technology, engineering, and mathematics*. Washington, DC.

Principe, L. (1987). Chemical Translation' and the Role of Impurities in Alchemy: Examples from Basil Valentine's *Triumph-Wagen*. *Ambix*, 34 (1987): 21–30

Regnier, C. (Ed.) (1798). Description et usage du dynamom/~tre, *J. Ecole Polytech.*, 2: 160-173.

Riess, F. (1995). Teaching science and the history of science by redoing historical experiments. In F. Finley et al. (eds.) *Proceedings of the IThird International History, Philosophy and Science Teaching Conference*, 2, 958-966. University of Minnesota, Minneapolis.

Riess, F. (2000). History of Physics in Science Teacher Training in Oldenburg. *Science & Education*, 9 (4), 399-402.

Riess, F., & Heering, P. (2006). Reconstructing Galileo's Inclined Plane Experiments for Teaching Purposes. Available at: [https://www.researchgate.net/publication/254334167\\_Reconstructing\\_Galileo's\\_Inclined\\_Plane\\_Experiments\\_for\\_Teaching\\_Purposes](https://www.researchgate.net/publication/254334167_Reconstructing_Galileo's_Inclined_Plane_Experiments_for_Teaching_Purposes)



Risch, M. R. (2014). Investigation about representations used in teaching to prevent misconceptions regarding inverse proportionality. *International Journal of STEM Education*, 1(1), 1-7

Rosmorduc, J. (1975). Retour aux ressources. Pour le histoire des Sciences dans l' enseignement scientifique frannais. Universite de Bretagne Occidentale.

Roth, W. M., McRobbie, C. J., Lucas, K. B., & Boutonné, S. (1997). Why may students fail to learn from demonstrations? A social practice perspective on learning in physics. *Journal of Research in Science Teaching*, 34(5), 509-533

Science Museum. The microscope. The development of the microscope allowed scientists to make new insights into the body and disease.  
<https://www.sciencemuseum.org.uk/objects-and-stories/medicine/microscope>

Sepel, L.M.N., Loreto, E.L.S., & Rocha, J.B.T. (2009). Using a Replica of Leeuwenhoek's Microscope to Teach the History of Science and to Motivate Students to Discover the Vision and the Contributions of the First Microscopists. *CBE Life Science Education*, 8, 338-343.

Settle, T. B. (1961). An Experiment in the History of Science. *Science*, 133 (6 January 1961): 19–23,

Sharma, M. D., Johnston, I. D., Johnston, H., Varvell, K., Robertson, G., Hopkins, A., Stewart, C., Cooper, I., & Thornton, R. (2010). Use of interactive lecture demonstrations: a ten year study. *Physical Review Special Topics-Physics Education Research*, 6(2), 020119

Sherman, P.D. (1974). Galileo and the Inclined Plane Controversy. *The Physics Teacher*, 12 (6), 343

Sibum, H.O. (1995). Reworking the mechanical value of heat: Instruments of precision and gestures of accuracy in early Victorian England. *Studies in the History and Philosophy of Science*, 26 (1), 73-106.

Sibum, H.O. (2003). Narrating by Numbers: Keeping an Account of Early 19th Century Laboratory Experiences. In Holmes, F.L., Renn, J., Rheinberger, HJ. (eds) *Reworking the Bench* (pp. 141-158). *Archimedes*, vol 7. Springer, Dordrecht.

Simon, J. & Cuenca-Lorente, M. (2011). The Establishment and Development of Physics and Chemistry Collections in Nineteenth-Century Spanish Secondary Education (1845-

1861). In P. Heering and R. Wittje, eds., *Learning by Doing: Experiments and instruments in the History of science teaching* (Stuttgart: Franz Steiner Verlag), pp. 141-15

Sokoloff, D. R., & Thornton, R. K. (1997). Using Interactive Lecture Demonstrations to Create an Active Learning Environment. *Physics Teacher*, 35, 340. Thornton, R. K., & Sokoloff, D. R. (1990). Learning motion concepts using real-time microcomputer-based laboratory tools, *American Journal of Physics*, 58, 858.

Stavy, R. (1992). A graduate course for science teachers: The development of scientific concepts in history of science and in students' thinking. In S. Hills (Ed.) *The History and Philosophy of Science in Science Education. Proceedings of the Second International Conference on the History and Philosophy of Science in Science Teaching. Volume II.* (pp. 467-472).

Steinberg, M.S. (1992). What is electric potential? Connecting Alessandro Volta and contemporary students. In S. Hills (Ed.) *The History and Philosophy of Science in Science Education. Proceedings of the Second International Conference on the History and Philosophy of Science Teaching. Volume II*, pp. 473-480.

Sumida, M. (2005). The public understanding of pendulum motion: From 5 to 88 years old. In M. Matthews, C. Gauld & A. Stinner (Ed.) *The Pendulum*, Springer, The Netherlands.

Taub, L. (2009). On scientific instruments. *Studies on History and Philosophy of Science*, 40 (4), 337-343.

Teichmann, J. (1999). Studying Galileo at Secondary School: A Reconstruction of His 'Jumping-Hill' Experiment and the Process of Discovery. *Science and Education*, 8, 121–136

Tessmer, R. Wimshurst Generator. WorthPoint.  
<https://www.worthpoint.com/dictionary/p/tools/laboratory/wimshurst-generator>

Tra Y. V., & Evans I. M. (2010). Enhancing interdisciplinary mathematics and biology education: A microarray data analysis course bridging these disciplines. *CBE—Life Sciences Education*, 9: 217–226.

Trna, J., & Trnova, E. (2015). Revival of demonstration experiments in science education. *The Eurasia Proceedings of Educational & Social Sciences (EPESS)*, 2, 49-56.

Turner, G.L.E. (1998). *Scientific Instruments, 1500–1900: An Introduction*. Gerard Turner.

- Turner, S.C. (2010). Changing Images of the Inclined Plane: A Case Study of a Revolution in American Science Education. *Science & Education*, 21, 245-270.
- Uhlmann E., & Cohen G. L. (2005). Constructed criteria: Redefining merit to justify discrimination. *Psychological Science*, 16: 474–480
- Van Helden, A. (1983). The birth of the modern scientific instrument 1550-1700. In J.G. Burke (Ed.) *The uses of science in the age of Newton* (pp.49-84). Berkeley: University of California Press.
- Van Helden, A., & Hankins, T.L. (1994). Introduction: The instruments in the history of science. *Osiris*, 9, 1-6.
- Van Heuvelen, A., (1991). Learning to Think Like a Physicist: A Review of Research-Based Instructional Strategies, *American Journal of Physics*, 59, 891–897
- Villani, A., & Arruda, S. (1998). Special theory of relativity, conceptual change and history of science. *Science & Education*, 7 (1), 85-100.
- Warner, J.D. (1990). What is a scientific instrument, when did it become one and why? *BJHS*, 23 (1), 83-93. \
- Westfall, R.S.: 1990, ‘Making a World of Precision: Newton and the Construction of a Quantitative Physics’, in F. Durham & R.D Purrington (eds.), *Some Truer Method. Reflections on the Heritage of Newton*, Columbia University Press, New York, pp. 59–87.
- Wieman, C., Perkins, K., & Gilbert, S. (2010). Transforming science education at large research universities: a case study in progress. *Change: The Magazine of Higher Learning*, 42(2), 6–14
- Wiggins G., & McTighe J. (2005). *Understanding by design*. Alexandria, VA: Association for Supervision and Curriculum Development
- Wills, M. (2018). The evolution of the microscope. *JSTOR Daily*. <https://daily.jstor.org/the-evolution-of-the-microscope/>
- Wise, M.N. (ed.): 1995, *The Values of Precision*, Princeton University Press, Princeton.
- Yoder, J.G.: 1988, *Unrolling Time: Christiaan Huygens and the Mathematization of Nature*, Cambridge University Press, Cambridge

Young, T. (1845). A course of lectures on natural philosophy and the mechanical arts, vol. I. London: Taylor and Walton

Zeidler D. L., Sadler T. D., Simmons M. L., & Howes E. V. (2005). Beyond STS: A research-based framework for socioscientific issues education. *Science Education*, 89: 357–377.

Zimrot, R., & Ashkenazi, G. (2007). Interactive lecture demonstrations: a tool for exploring and enhancing conceptual change. *Chemistry Education Research and Practice*, 8(2), 197-211.

## **Παράρτημα Α: «τίτλος παραρτήματος»**

---

## **Παράρτημα Β: «τίτλος παραρτήματος**

---

Υπεύθυνη Δήλωση Συγγραφέα:

Δηλώνω ρητά ότι, σύμφωνα με το άρθρο 8 του Ν.1599/1986, η παρούσα εργασία αποτελεί αποκλειστικά προϊόν προσωπικής μου εργασίας, δεν προσβάλλει κάθε μορφής δικαιώματα διανοητικής ιδιοκτησίας, προσωπικότητας και προσωπικών δεδομένων τρίτων, δεν περιέχει έργα/εισφορές τρίτων για τα οποία απαιτείται άδεια των δημιουργών/δικαιούχων και δεν είναι προϊόν μερικής ή ολικής αντιγραφής, οι πηγές δε που χρησιμοποιήθηκαν περιορίζονται στις βιβλιογραφικές αναφορές και μόνον και πληρούν τους κανόνες της επιστημονικής παράθεσης.