

## ΔΙΔΑΣΚΟΝΤΑΣ ΓΙΑ ΤΗ ΦΥΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΣΤΟ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ

Κωνσταντίνα Στεφανίδου<sup>1</sup>, Κωνσταντίνος Σκορδούλης<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ΕΔΙΠ ΠΤΔΕ ΕΚΠΑ, <sup>2</sup> Καθηγητής ΠΤΔΕ ΕΚΠΑ

[sconstant@primedu.uoa.gr](mailto:sconstant@primedu.uoa.gr)

### ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εργασία αυτή προτείνεται η ένταξη της Ιστορίας και Φιλοσοφίας των Φυσικών Επιστημών στην διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών στοχεύοντας τόσο στο περιεχόμενο όσο και στη Φύση της Επιστήμης. Για το σκοπό αυτό σχεδιάστηκε μια εργαστηριακή διδασκαλία και εφαρμόστηκε στο πλαίσιο του υποχρεωτικού εργαστηρίου Φυσικής που παρακολουθούν οι φοιτητές/τριες του Παιδαγωγικού Τμήματος Δημοτικής Εκπαίδευσης. Αξιοποιήθηκαν τα πειράματα του Πτολεμαίου για τη διδασκαλία της διάθλασης, του εμπειρικού και εξελίξιμου χαρακτήρα της επιστήμης, καθώς επίσης και τη σχέση της Φυσικής με τα Μαθηματικά.

**Λέξεις κλειδιά:** Φύση της Επιστήμης, πειράματα Πτολεμαίου, διάθλαση

**Αναφορά:** Στεφανίδου, Κ. & Σκορδούλης, Κ. (2025). *Διδάσκοντας για τη Φύση της Επιστήμης στο Εργαστήριο*, στο Κώτσης Κ.Θ. & Στύλος Γ., (Επιμέλεια), *Πείραμα και Διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών, Επετειακός Τόμος για τα 40 χρόνια του ΠΤΔΕ Ιωαννίνων*, Εργαστήριο Εκπαίδευσης και Διδασκαλίας της Φυσικής, Πανεπιστημίου Ιωαννίνων. ISBN: 978-618-82063-5-9

## LABORATORY TEACHING NATURE OF SCIENCE

Constantina Stefanidou<sup>1</sup>, Constantine Skordoulis<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Laboratory Teaching Staff, Department of Pedagogy and Primary Education, NKUA

<sup>2</sup>Professor, Department of Pedagogy and Primary Education, NKUA

[sconstant@primedu.uoa.gr](mailto:sconstant@primedu.uoa.gr)

### ABSTRACT

*In this paper, it is proposed the integration of the History and Philosophy of Science in teaching science, targeting both the content and the Nature of Science. For this purpose, a laboratory teaching was designed and implemented in the context of the mandatory Physics laboratory attended by the students of the Department of Pedagogy and Primary Education. Ptolemy's experiments were used to teach refraction, the empirical and tentative aspects of Nature of Science, as well as the relationship between Physics and Mathematics.*

**Keywords:** Nature of Science, integrated approach, Ptolemy's experiments

### ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο επιστημονικός διάλογος που υποστηρίζει την αξιοποίηση της Ιστορίας και της Φιλοσοφίας των Φυσικών Επιστημών (ΙΦΦΕ) στη διδασκαλία τους έχει ξεκινήσει περισσότερο από έναν αιώνα πριν (Mach, 1893/1960· Duhem, 1906/1954). Τα κύρια επιχειρήματα σχετίζονται με α) τη βαθύτερη κατανόηση του περιεχομένου των φυσικών επιστημών, με την έννοια ότι η ΙΦΦΕ μπορεί να αποκαλύψει το εννοιολογικό πλαίσιο στο οποίο διαμορφώθηκε το συγκεκριμένο επιστημονικό περιεχόμενο, β) το τρόπο που η μάθηση στις Φυσικές Επιστήμες (ΦΕ) σχετίζεται με την ανάπτυξη της επιστημονικής γνώσης και γ) με την κατανόηση της Φύσης της Επιστήμης (ΦτΕ) με την έννοια των μεθοδολογικών, φιλοσοφικών και πολιτισμικών πτυχών της επιστήμης (Matthews, 2015).

Η βιβλιογραφική έρευνα στο πεδίο της εκπαίδευσης στις Φυσικές Επιστήμες αποκαλύπτει τουλάχιστον δύο απόψεις για την μελέτη της ΦτΕ. Σύμφωνα με την πρώτη άποψη, γνωστή και ως άποψη της συναίνεσης (consensus view), η διδασκαλία της ΦτΕ προτείνεται να συμπεριλαμβάνει ένα σύνολο «συμφωνημένων» πτυχών και χαρακτηριστικών που αφορούν όλα τα γνωστικά πεδία των φυσικών επιστημών

(domain-general). Η άποψη της συναίνεσης, όπως διαμορφώθηκε από τους ερευνητές της Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών (ΔΦΕ), δίνει έμφαση σε επτά κύρια σημεία που αφορούν τις ΦΕ και που θα πρέπει να διδάσκονται οι μαθητές όλων των βαθμίδων, και οι φοιτητές των Παιδαγωγικών Τμημάτων καθώς και των τμημάτων που οι απόφοιτοί τους απασχολούνται στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση (Φυσικοί, Χημικοί, Βιολόγοι, Γεωλόγοι): 1. Ο αβέβαιος χαρακτήρας της επιστημονικής γνώσης 2. Διαφορά παρατήρησης και συμπεράσματος 3. Αντικειμενικότητα και υποκειμενικότητα στην επιστήμη 4. Δημιουργικότητα στην επιστήμη 5. Κοινωνική και πολιτισμική ενσωμάτωση της επιστήμης 6. Επιστημονικές θεωρίες και νόμοι και 7. Επιστημονικές μέθοδοι (Abd-El-Khalick, 2012· Lederman et al., 2002· Osborne et al., 2003). Ωστόσο, αυτή η άποψη για τη διδασκαλία της ΦτΕ έχει επικριθεί ως ανεπαρκής και ακόμη και ως παραπλανητική για την περιγραφή της επιστήμης. Οι επικριτές προτείνουν ότι θα πρέπει οι εκπαιδευτικοί και οι μαθητές να διδάσκονται μια πιο ολοκληρωμένη εικόνα για την επιστήμη, και όχι μια «λίστα» από χαρακτηριστικά.

Μια άποψη που απαντάει σε αρκετά από τα σημεία κριτικής της άποψης της «συναίνεσης» είναι η Προσέγγιση Οικογενειακής Ομοιότητας (Family Resemblance Approach/FRA) για την περιγραφή της ΦτΕ, που εισήχθη από τις Erduran & Dagher (2014), και η οποία βασίζεται στις ιδέες του Wittgenstein. Η Προσέγγιση της Οικογενειακής Ομοιότητας αντιμετωπίζει την ενότητα της επιστήμης χωρίς να θυσιάζεται η ποικιλομορφία της. Σύμφωνα με τη προσέγγιση αυτή, η επιστήμη θεωρείται από τη μια πλευρά ως ένα γνωστικό-επιστημικό σύστημα (Irzic & Nola, 2011) που περιλαμβάνει διαδικασίες έρευνας, στόχους και αξίες, ενώ ταυτόχρονα είναι ένα κοινωνικό-θεσμικό σύστημα που περιλαμβάνει επαγγελματικές δραστηριότητες, επιστημονικό ήθος και κοινωνική αλληλεπίδραση. Η Προσέγγιση Οικογενειακής Ομοιότητας μπορεί να προσαρμόσει τόσο τα γενικά χαρακτηριστικά των φυσικών επιστημών όσο και τα ειδικά κάθε κλάδου (Φυσική, Χημεία, Βιολογία, κοκ). Για παράδειγμα, όλες οι φυσικές επιστήμες βασίζονται σε κάποιου είδους συλλογή δεδομένων και στην παρατήρηση, ενώ ο πειραματισμός περιορίζεται σε κάποιους μόνο κλάδους των επιστημών (Kaya & Erduran, 2016).

Ο Kamourakis (2016) υποστηρίζει ότι οι απόψεις των «γενικών πτυχών» και της «οικογενειακής ομοιότητας» της ΦτΕ είναι συμπληρωματικές και συνεχείς, προτείνοντας σταδιακά βήματα στη διδασκαλία για τη ΦτΕ που μπορεί να ξεκινούν από την πρώτη και να καταλήγουν στη δεύτερη. Σε παρόμοιο πλαίσιο, ο Niaz (2001· 2016) προτείνει την «ολοκληρωμένη άποψη» (integrated view) σύμφωνα με την οποία υποστηρίζεται η ενσωμάτωση της «άποψης της συναίνεσης» (domain general) και της άποψης των ειδικών χαρακτηριστικών των επιστημονικών κλάδων (domain specific), προκειμένου οι μαθητές να κατανοήσουν την «επιστήμη εν τω γεννάσθε» (Niaz, 2001; 2016).

## **Η ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΗΣ ΟΠΤΙΚΗΣ ΣΤΗ ΔΙΔΑΚΤΙΚΗ ΤΩΝ ΦΥΣΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ**

Η ιστορία της Οπτικής, μαζί με την Ιστορία της Μηχανικής και της Αστρονομίας, είναι ένα από τα παλαιότερα πεδία επιστημονικής έρευνας (Galili, 2014, σ.101). Η Ιστορία της Οπτικής παρέχει ένα γόνιμο πεδίο ιδεών σχετικά με το φως και την όραση. Έχει δημοσιευθεί μεγάλος αριθμός ερευνητικών εργασιών σχετικά με την ιστορική προσέγγιση της διδασκαλίας της ανάκλασης, της διάθλασης και της φύσης του φωτός και της όρασης (Galili, 2014· Mihas, 2008). Η ιστορία της Οπτικής προσφέρει το πλαίσιο στο οποίο αναπτύχθηκαν αρκετές θεωρίες και προ-θεωρητικές ιδέες του φωτός και της όρασης. Τέτοιες ιδέες περιλαμβάνουν τις αντιλήψεις για το φως καθώς και τη θεωρία των ακτίνων που αναπτύχθηκε κατά την ελληνιστική, μεσαιωνική ευρωπαϊκή και μουσουλμανική περίοδο πριν από την επιστημονική επανάσταση του δέκατου έβδομου αιώνα. Στη συνέχεια αναπτύχθηκε η θεωρία των φωτεινών ακτίνων του 17ου αιώνα, οι έγχρωμες ακτίνες του Νεύτωνα, τα κύματα πίεσης του Huygens, η διαμάχη για τη κυματική ή σωματιδιακή φύση του φωτός, που οδήγησε στην κυριαρχία της αντίληψης του Νεύτωνα για τα σωματίδια τον 18ο αιώνα, τη κυματική θεωρία του 19ου αιώνα και την οπτική των φωτονίων του 20ου αιώνα.

Ο Galili στην ανασκόπησή του (2014) πρότεινε τη διδασκαλία της Οπτικής χρησιμοποιώντας υλικό που βασίζεται στην ΙΦΦΕ. Σύμφωνα με τον ίδιο, οι περισσότεροι ερευνητές που αξιοποιούν την ΙΦΦΕ στη διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών θέτουν στο επίκεντρο το «σωστό» επιστημονικό περιεχόμενο (γνώση τύπου-A), δηλαδή θέματα που πλέον δεν αμφισβητούνται. Ο Mihas (2008) έχει αναπτύξει ένα ειδικό πρόγραμμα διδασκαλίας της Οπτικής που βασίζεται σε ανακατασκευές τύπου-A. Ωστόσο, η ιστορία της Οπτικής περιλαμβάνει και πολλές απόψεις που αρχικά διατυπώθηκαν, αλλά στη συνέχεια διαψεύστηκαν γιατί αντικαταστάθηκαν από εγκυρότερους συλλογισμούς (γνώση τύπου-B). Αυτή η γνώση θεωρείται συχνά ως άσχετη και ανεπιθύμητη στα μαθήματα επιστήμης, καθώς οι «λανθασμένες» ιδέες μπορεί να αποτελέσουν πηγή σύγχυσης για τους μαθητές, οι οποίοι, όντας ανώριμοι, δεν είναι σε θέση να επιλύσουν τις αποκλίσεις στο αντικείμενο (Galili, 2014). Από την άλλη πλευρά, οι γνώσεις τύπου-B είναι συνήθως σχετικές, αν όχι ταυτόσημες, με τις ιδέες και τις παρανοήσεις των μαθητών. Αυτή η ερμηνεία νομιμοποιεί την αξιοποίηση της γνώσης τύπου-B στη διδασκαλία χρησιμοποιώντας την ιστορία της Οπτικής, καθώς διευκολύνει την εννοιολογική αλλαγή, οδηγώντας τελικά στην επιστημονική κατανόηση.

Επιπλέον, η γνώση της ΙΦΦΕ και ιδιαίτερα η γνώση τύπου-B έχει ευεργετική επίδραση στη διδασκαλία της ΦτΕ. Η αντιμετώπιση των ιστορικών εννοιολογικών δυσκολιών στην κατανόηση της Οπτικής δημιουργεί στους μαθητές την ευκαιρία να μάθουν για τη φύση της επιστημονικής γνώσης. Ένα από τα συστατικά της επιστημονικής γνώσης είναι τα μαθηματικά. Η ιστορία της Οπτικής παρέχει επεισόδια που τόνισαν τον πολύπλοκο και πολύπλευρο ρόλο των μαθηματικών στην παραγωγή επιστημονικής γνώσης. Ο Ευκλείδης, ο Αρχιμήδης και ο Πτολεμαίος ήταν οι πρώτοι που εισήγαγαν τα μαθηματικά στην περιγραφή και εξήγηση των οπτικών φαινομένων.

Ξεκινώντας με τον Ευκλείδη, εισήγαγε τη γεωμετρική έννοια των ακτίνων του φωτός, μια ιδέα που διευκόλυνε την περιγραφή των οπτικών φαινομένων. Ταυτόχρονα,

υποστήριξε τη «λανθασμένη» ιδέα για την ενεργητική όραση που συνυπήρχε με τα επιτυχημένα γεωμετρικά του σχήματα. Ο τρόπος σκέψης του Ευκλείδη με τις καινοτόμες και ταυτόχρονα «λανθασμένες» ιδέες του για την όραση θα μπορούσε να εισαχθεί στο μάθημα των φυσικών επιστημών προκειμένου να αναδειχθεί η ανάπτυξη της επιστημονικής γνώσης και ο ρόλος των μαθηματικών.

Η ιστορία του νόμου της διάθλασης (ο λόγος των δεικτών διάθλασης είναι αντίστροφα ανάλογος με το λόγο των ημιτόνων των γωνιών πρόσπτωσης) προσφέρει ένα άλλο παράδειγμα της σχέσης μεταξύ των μαθηματικών και της επιστήμης. Ο Πτολεμαίος ήταν ο πρώτος που αντιμετώπισε το ζήτημα του νόμου της διάθλασης (Mihás, 2008· Ptolemy, 1940/1966· Smith, 1982). Τα δεδομένα του δεν ταίριαζαν στην απόλυτη αναλογία μεταξύ των γωνιών πρόσπτωσης και των γωνιών διάθλασης των οπτικών ακτίνων. Ο Πτολεμαίος προσπάθησε να προσαρμόσει τα δεδομένα του σε μια τετραγωνική εξάρτηση (Russo, 2004). Ωστόσο, ο νόμος που περιγράφει πραγματικά τις αντίστοιχες γωνίες πρόσπτωσης και διάθλασης δεν διατυπώθηκε από τον Πτολεμαίο. Σύμφωνα με τον Smith, (1982) η αποτυχία του Πτολεμαίου οφειλόταν στο γεγονός ότι χρησιμοποίησε μόνο χωρικές (γεωμετρικές) εκτιμήσεις της διαδρομής του φωτός, ενώ το κλειδί για την αληθινή περιγραφή της διάθλασης, την εξήγηση, ήταν η αντιμετώπιση του προβλήματος χρησιμοποιώντας και χρονικές (κινητικές, φυσικές) εκτιμήσεις, όπως έκανε ο Descartes και άλλοι πολλοί αργότερα. Έτσι, η απόκτηση του σωστού μαθηματικού υπολογισμού παρεμποδίστηκε από μια ακατάλληλη φυσική προσέγγιση: η γεωμετρία και οι αριθμοί δεν αρκούσαν (Galili, 2014). Σε παιδαγωγικό επίπεδο, το παράδειγμα του Πτολεμαίου παρέχει ένα γόνιμο έδαφος για την εξέταση της σχέσης μεταξύ των μαθηματικών και της επιστήμης σε μια περίοδο που η οπτική είχε πολύ δρόμο να διανύσει: η φύση και η διάδοση του φωτός και ο «μηχανισμός» της όρασης ήταν μερικά από τα προβλήματα που περίμεναν να λυθούν.

## **Η ΔΙΔΑΣΚΑΛΙΑ ΤΗΣ ΦΥΣΗΣ ΤΗΣ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΜΕΣΑ ΑΠΟ ΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ ΤΟΥ ΠΤΟΛΕΜΑΙΟΥ ΓΙΑ ΤΗ ΔΙΑΘΛΑΣΗ**

Η «ολοκληρωμένη άποψη» για την κατανόηση της ΦτΕ, η οποία εισήχθη και αναλύθηκε από τον Niaz (2016), συμβιβάζει δύο παραδόσεις στη διδασκαλία και την εκμάθηση της ΦτΕ: την άποψη ότι η ΦτΕ διδάσκεται ανεξάρτητα από τα επιμέρους αντικείμενα (domain-general) και την άποψη ότι η ΦτΕ θα πρέπει να διδάσκεται με έμφαση στις διαφοροποιήσεις μεταξύ των επιστημονικών κλάδων (Φυσική, Χημεία, Βιολογία, κλπ) (domain-specific). Συγκεκριμένα, ο Niaz (2016) πρότεινε ότι οι μαθητές κατανοούν την εξέλιξη της επιστήμης μέσω της ενσωμάτωσης των δύο παραδόσεων και υποστήριξε ότι η επιτυχία της ολοκλήρωσης εξαρτάται από την αλληλεπίδραση των μαθητών με την εννοιολόγηση των ευρετικών αρχών στις οποίες βασίζονται οι πτυχές του συγκεκριμένου επιστημονικού κλάδου. Μια τέτοια ενοποίηση προτείνεται μέσω ενός συγκεκριμένου σχήματος:

1. Επεξεργασία θεωρητικού πλαισίου βασισμένη σε προϋποθέσεις, καθοδηγητικές υποθέσεις, αδιάλλακτες πεποιθήσεις και προηγούμενη εμπειρία.

2. Διατύπωση ερευνητικών ερωτημάτων
3. Λειτουργικές ευρετικές αρχές
4. Σχεδιασμός πειραμάτων
5. Κατανόηση της ΦτΕ

Αυτό το σχήμα χρησιμεύει ως περίγραμμα του τρόπου με τον οποίο το συγκεκριμένο επιστημονικό περιεχόμενο μπορεί να οργανωθεί γύρω από γενικές πτυχές της ΦτΕ (domain-general) και ειδικές πτυχές της ΦτΕ του εκάστοτε επιστημονικού κλάδου (domain-specific) (Niaz, 2016). Λαμβάνοντας υπόψη τα πορίσματα της έρευνας, σχεδιάστηκε και εφαρμόστηκε μια εργαστηριακή διδασκαλία με σκοπό την αξιοποίηση ιστορικών πειραμάτων για τη διδασκαλία του επιστημονικού περιεχομένου και της ΦτΕ. Συγκεκριμένα, προτείναμε τα ιστορικά πειράματα του Πτολεμαίου για τη διάθλαση ως το μέσο προκειμένου οι φοιτητές να εξοικειωθούν τόσο με την επιστημονική εξήγηση της διάθλασης όσο και με πτυχές της ΦτΕ όπως ο εμπειρικός και εξελιξίμος χαρακτήρας της επιστήμης και η σχέση των φυσικών επιστημών με τα μαθηματικά.

### **Το πλαίσιο**

Η διδακτική ακολουθία εφαρμόστηκε στο Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης (ΠΤΔΕ) του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών (ΕΚΠΑ) στη διάρκεια των χειμερινών εξαμήνων των ακαδημαϊκών ετών 2018-2021. Οι εκπαιδευόμενοι/ες συμμετείχαν σε μια εργαστηριακή διδασκαλία με θέμα την Οπτική μέσω των ιστορικών πειραμάτων του Πτολεμαίου για τη διάθλαση, ακολουθώντας το σχήμα του Niaz, όπως περιγράφεται στην επόμενη ενότητα. Η εν λόγω διδακτική πρόταση εφαρμόστηκε σε όλους/ες τους/τις δευτεροετείς φοιτητές/τριες του ΠΤΔΕ (περίπου 380 φοιτητές/τριες κατά έτος) στο πλαίσιο του Εργαστηρίου Φυσικής που συνοδεύει το υποχρεωτικό μάθημα της Φυσικής. Το πρόγραμμα του Εργαστηρίου Φυσικής περιλαμβάνει πέντε δίωρες εργαστηριακές ασκήσεις που πραγματοποιούνται εβδομαδιαία και κυκλικά σε τμήματα των 25 φοιτητών/τριών που είναι χωρισμένοι/ές σε ομάδες των πέντε ατόμων. Οι πέντε εργαστηριακές ασκήσεις έχουν ως εξής: 1) Μετρήσεις - Σφάλματα, 2) Μηχανική (Τριβή - Νόμος του Hooke), 3) Οπτική (Ανάκλαση – Διάθλαση), 4) Στατικός ηλεκτρισμός (Τρόποι ηλεκτρισής) και 5) Θερμότητα - Θερμοκρασία.

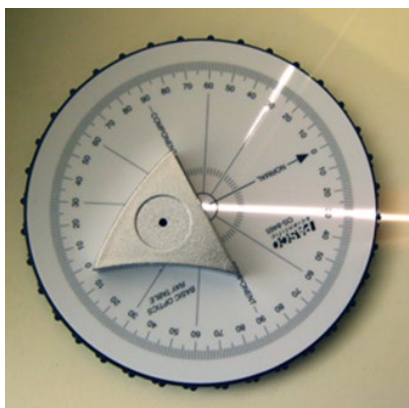
Όσον αφορά το επιστημονικό υπόβαθρο των φοιτητών και φοιτητριών στις Φυσικές Επιστήμες, οι περισσότεροι/ες προέρχονταν από Προσανατολισμό Ανθρωπιστικών Σπουδών κατά τη διάρκεια των σπουδών τους στο Λύκειο. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι σύμφωνα με το ελληνικό αναλυτικό πρόγραμμα σπουδών, ως μαθητές είχαν παρακολουθήσει μαθήματα Φυσικών Επιστημών (Φυσική, Χημεία και Βιολογία) μέχρι και τη Β' Λυκείου. Στο πλαίσιο του Προπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών (ΠΠΣ) του ΠΤΔΕ οι φοιτητές/τριες στο ίδιο εξάμηνο με το Εργαστήριο Φυσικής παρακολούθησαν και τις παραδόσεις του μαθήματος της Φυσικής. Ωστόσο, τη στιγμή που συμμετείχαν στην εργαστηριακή άσκηση της Οπτικής δεν είχαν ακόμη διδαχθεί την αντίστοιχη θεωρία μέσω των διαλέξεων. Ως εκ τούτου, οι απαντήσεις τους

θεωρήθηκαν ανεξάρτητες από τις γνώσεις που είχαν αποκτήσει μέσω των διαλέξεων του μαθήματος.

### Διδακτική πορεία – Εκπαιδευτικό υλικό

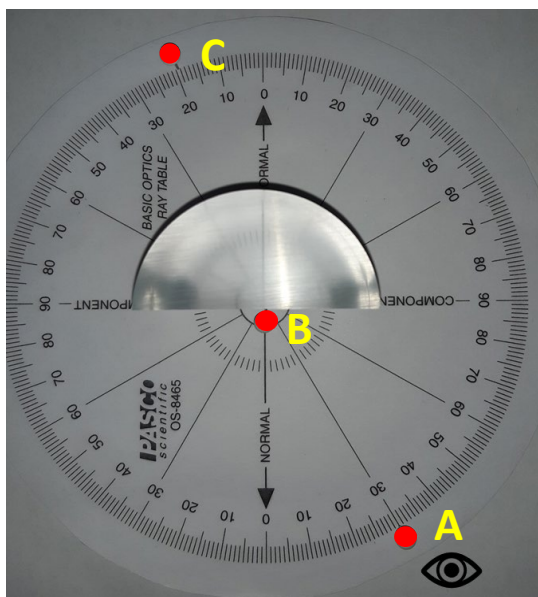
Αναπτύχθηκε μια διδακτική πορεία σύμφωνα με το σχήμα του Νιαζ (2016, σ.7) στο πλαίσιο των πειραμάτων του Πτολεμαίου, η οποία αποτελούνταν από τα εξής βήματα:

1. Επεξεργασία θεωρητικού πλαισίου: Ο Πτολεμαίος ακολούθησε τα Οπτικά και Κατοπτρικά του Ευκλείδη, στα οποία ο Ευκλείδης βασιζόταν σε γεωμετρικά σχήματα. Οι φοιτητές/τριες επιβεβαίωσαν πειραματικά το νόμο της κατοπτρικής ανάκλασης και εξοικειώθηκαν με τη γεωμετρική προσέγγιση του Ευκλείδη στην Οπτική (Εικόνα 1).



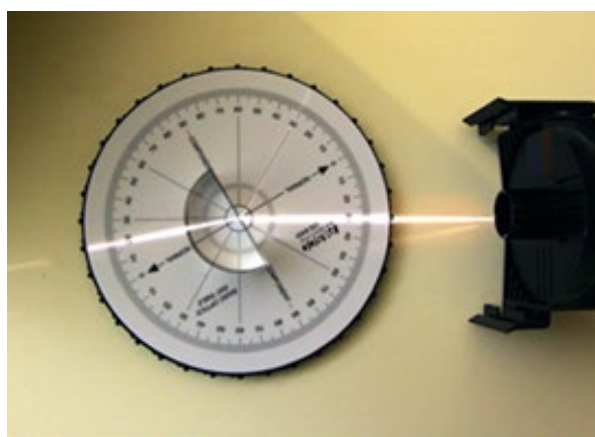
Εικόνα 1. Πείραμα ανάκλασης του φωτός

2. Διατύπωση ερευνητικού ερωτήματος: Ο Πτολεμαίος προχώρησε πέρα από τον Ευκλείδη, καθώς προσπαθούσε επίσης να καθορίσει τις απαραίτητες συνθήκες για την ακριβή πρόβλεψη της πραγματικής θέσης ενός αντικειμένου σε σχέση με τη φαινόμενη θέση. Συγκεκριμένα διερευνούσε τη σχέση μεταξύ των γωνιών πρόσπτωσης και των γωνιών διάθλασης (Riley, 1995). Οι φοιτητές/τριες αντιμετώπισαν το ίδιο ερώτημα στο εργαστήριο και έκαναν την έρευνά τους για να την απαντήσουν.
3. Λειτουργικές ευρετικές αρχές: Ο Πτολεμαίος περίμενε να βρει μια γραμμική σχέση μεταξύ της γωνίας πρόσπτωσης και της γωνίας διάθλασης (Smith 1982). Αυτή η προφανώς λογική προσδοκία τον οδήγησε σε λάθος σχετικά με τον νόμο της διάθλασης. Επιπλέον, ο Πτολεμαίος διατήρησε το εννοιολογικό πλαίσιο του προκατόχου του, Ευκλείδη, σχετικά με τις οπτικές ακτίνες.
4. Σχεδιασμός πειραμάτων: Ο Πτολεμαίος πραγματοποίησε πειράματα για να διερευνήσει τη διάθλαση του φωτός κατά το πέρασμα από τον αέρα στο γυαλί, από το γυαλί στο νερό και αντίστροφα. Πρόσθεσε ένα ημικύκλιο από γυαλί στο κάτω μισό ενός δίσκου και προσπάθησε να δει μέσα από το γυαλί. Στη συνέχεια προχώρησε στην εύρεση της γωνίας διάθλασης του φωτός από το γυαλί στον αέρα καθώς και από το γυαλί στο νερό όπως έκανε και από το νερό στον αέρα.



Εικόνα 2. Το πείραμα του Πτολεμαίου για τη διάθλαση

Συζήτησε επίσης τη διάθλαση από τον αέρα στον αιθέρα και τα προβλήματά της για την αστρονομία, αλλά απέρριψε την πιθανότητα προσδιορισμού των τιμών (Riley, 1995).



Εικόνα 3. Πειραματική διάταξη διάθλασης

Οι φοιτητές/τριες πραγματοποίησαν πειράματα διάθλασης σε δύο φάσεις. Αρχικά, ακολούθησαν τη μέθοδο του Πτολεμαίου και μέτρησαν τη γωνία διάθλασης για το όριο αέρα/γυαλιού (Εικόνα 2). Στη συνέχεια, πραγματοποίησαν ένα πείραμα για τη διάθλαση για το όριο αέρα/γυαλιού χρησιμοποιώντας λέιζερ (Εικόνα 3).

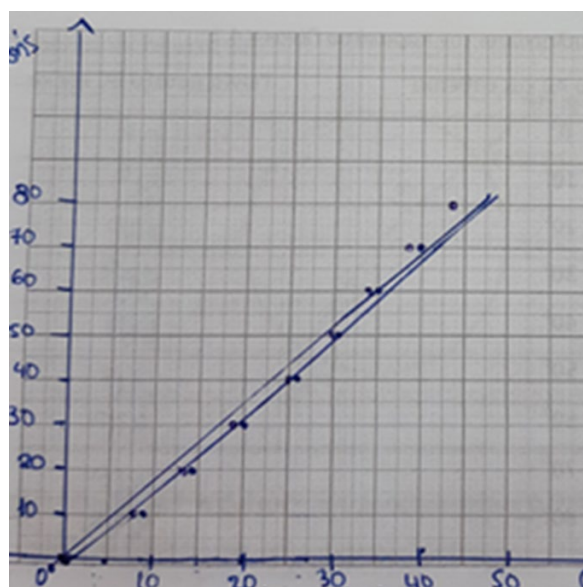
5. Κατανόηση της φύσης της επιστήμης: Ζητήθηκε από τους φοιτητές/τριες να συγκρίνουν τα δεδομένα που είχαν συγκεντρώσει στην προηγούμενη φάση με τον αντίστοιχο πίνακα του Πτολεμαίου και διαπίστωσαν ότι ήταν παρόμοια (Πίνακας 1).



Πίνακας 1: Δεδομένα μετρήσεων φοιτητών/τριών και Πτολεμαίου

Γωνία πρόσπτωσης	Γωνία διάθλασης (μετρήσεις φοιτητών/τριών μέσω πειράματος)	Γωνία διάθλασης (μετρήσεις Πτολεμαίου)	Γωνία διάθλασης (μετρήσεις φοιτητών/τριών με laser)
0°	0°	0°	
10°	8°	7°	
20°	15°	13° 30'	
30°	21°	19° 30'	20°
40°	27°	25°	23°
50°	34°	30°	28°
60°	40°	34° 30'	34°
70°	39°	38° 30'	
80°	45°	42°	

Ζητήθηκε επίσης να τοποθετήσουν τα δεδομένα σε ένα σύστημα κάθετων μεταξύ τους αξόνων και να κάνουν μια υπόθεση για τη σχέση μεταξύ της γωνίας διάθλασης και της γωνίας πρόσπτωσης (Εικόνα 4).



Εικόνα 4: Γραφική παράσταση γωνιών διάθλασης σε συνάρτηση με τις γωνίες πρόσπτωσης

Με αυτόν τον τρόπο, οι φοιτητές/τριες συμμετείχαν με αυθεντικό τρόπο στις διαδικασίες του πειράματος του Πτολεμαίου που δεν είχαν να κάνουν μόνο με τον εμπειρικό και εξελίξιμο χαρακτήρα της επιστήμης αλλά και με τις ευρετικές αρχές του Πτολεμαίου, όπως η «αναλογικότητα» της γωνίας πρόσπτωσης και της γωνίας διάθλασης. Επιπλέον, οι φοιτητές/τριες παροτρύνθηκαν να παρατηρήσουν ότι το πείραμα του Πτολεμαίου βασίστηκε στην ιδέα του για την ενεργό όραση. Ζητήθηκε επίσης από τους φοιτητές/τριες να επιβεβαιώσουν το νόμο του Snell, με τα δεδομένα που έλαβαν χρησιμοποιώντας λέιζερ (Εικόνα 3). Ακολούθησε συζήτηση για το ρόλο των μαθηματικών στη διαμόρφωση των επιστημονικών νόμων.

### **Αξιολόγηση της διδακτικής πορείας**

Για την αξιολόγηση της συγκεκριμένης εργαστηριακής διδασκαλίας εκπονήθηκε ποιοτική έρευνα σε ένα περιορισμένο δείγμα 55 φοιτητών/τριών. Σε ό,τι αφορά τα ερευνητικά δεδομένα, όλοι οι συμμετέχοντες συμπλήρωσαν ένα φύλλο εργασίας και ένα αναστοχαστικό ημερολόγιο στη διάρκεια της εργαστηριακής άσκησης. Επιπλέον, στο πλαίσιο της αξιολόγησης, συμπλήρωσαν και μια γραπτή αναφορά που αποτελούνταν από ένα ερωτηματολόγιο ανοικτών ερωτήσεων. Τα πρώτα ευρήματα έδειξαν ότι οι περισσότεροι φοιτητές/τριες μπόρεσαν να αναγνωρίσουν το ιστορικό πείραμα της διάθλασης του Πτολεμαίου ως πολύ χρήσιμο τόσο για τη κατανόηση του φαινομένου της διάθλασης όσο και για ορισμένες πτυχές της ΦτΕ όπως ο εξελίξιμος χαρακτήρας της επιστήμης και η σχέση μεταξύ μαθηματικών και επιστήμης. Οι φοιτητές/ές μπόρεσαν να κατανοήσουν την ιδέα ότι, αν και ο Πτολεμαίος υιοθέτησε την εσφαλμένη ιδέα της ενεργητικής όρασης, η ερμηνεία του για τη διάθλαση και το αντίστοιχο πείραμα έχει μεγάλη ιστορική, πολιτιστική και επιστημονική αξία. Είχαν την ευκαιρία να αναγνωρίσουν την Ευκλείδεια-Πτολεμαϊκή ευρετική στην Οπτική. Οι φοιτητές/τριες συνειδητοποίησαν ότι ο Πτολεμαίος συγκέντρωνε και αξιολογούσε τις μετρήσεις αναμένοντας ότι η γωνία πρόσπτωσης και η γωνία διάθλασης ήταν συνεχώς ανάλογες. Οι φοιτητές/τριες εξοικειώθηκαν με την ιδέα ότι η οικοδόμηση του σωστής μαθηματικής έκφρασης του νόμου της διάθλασης στα ελληνιστικά χρόνια παρεμποδίζονταν από το γεγονός ότι η γεωμετρία και οι αριθμοί δεν ήταν «αρκετοί». Όλοι οι φοιτητές/τριες αναγνώρισαν ότι θα έπρεπε να περιμένουμε μερικούς αιώνες μετά την εποχή του Πτολεμαίου για τη διατύπωση ενός ακριβούς νόμου για τη διάθλαση, του λεγόμενου νόμου του Snell. Τα αποτελέσματα αναλυτικότερα αναφέρονται στο Stefanidou, Psoma & Skordoulis (2020).

## **ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΣΥΖΗΤΗΣΗ**

Η εφαρμογή της παραπάνω διδακτικής ακολουθίας έδειξε ότι οι φοιτητές/τριες αντιλαμβάνονται τα ιστορικά πειράματα ως χρήσιμα για την κατανόηση τόσο του περιεχομένου της επιστήμης όσο και της ΦτΕ. Αυτά τα ευρήματα είναι πιο σημαντικά αν σκεφτούμε ότι οι φοιτητές/τριες συμμετείχαν πλήρως σε μια ιστορικά βασισμένη εργαστηριακή διδασκαλία. Οι απαντήσεις τους δόθηκαν στο ιστορικό πλαίσιο του έργου του Πτολεμαίου για τη διάθλαση. Είχαν την ευκαιρία να διερευνήσουν τις

μετρήσεις του Πτολεμαίου για τις γωνίες διάθλασης και να αναπτύξουν τη δική τους υπόθεση σχετικά με τη σχέση μεταξύ των γωνιών διάθλασης και της πρόσπτωσης. Είχαν επίσης την ευκαιρία να σκεφτούν τη θεωρία της ενεργητικής όρασης του Πτολεμαίου και τον ρόλο που έπαιξε στην ανάπτυξη της θεωρίας του για τη διάθλαση. Με άλλα λόγια, σε αυτή τη μελέτη οι φοιτητές είχαν την ευκαιρία να εξηγήσουν λεπτομερώς τους λόγους για τους οποίους υποστηρίζεται ή όχι η ιστορία της επιστήμης στη διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών.

Αντιστοίχως, η έρευνα των Wang & Cox-Petersen (2002) έδειξε ότι οι εκπαιδευτικοί - συμπεριλαμβανομένων προϋπηρεσιακών εκπαιδευτικών, των εκπαιδευτικών πρωτοβάθμιας εκπαίδευσης, και των εκπαιδευτικών μέσης εκπαίδευσης πιστεύουν ότι η ιστορία της επιστήμης έχει σημαντικό ρόλο στα προγράμματα σπουδών των Φυσικών Επιστημών. Η πρόσθετη αξία της παρούσας μελέτης είναι ότι οι συμμετέχοντες/ουσες συμμετείχαν επί τόπου σε μια ιστορικά βασισμένη σε εργαστηριακή διδασκαλία. Η εμπειρία τους τους βοήθησε να εκφράσουν την άποψή τους για την ιστορία της επιστήμης στην μάθηση του περιεχομένου της επιστήμης και της ΦτΕ.

Τέλος, η παραπάνω διδακτική πρόταση μπορεί να αποτελέσει έναυσμα για την περαιτέρω αξιοποίηση «ξεπερασμένων» θεωριών στην εκπαίδευση στις Φυσικές Επιστήμες (Psillos, 2010). Τα αποτελέσματα της αξιολόγησης της εργαστηριακής διδασκαλίας έδειξαν ότι η άποψη των φοιτητών/τριών για το ρόλο της θεωρίας της ενεργητικής όρασης στην κατανόηση της διάθλασης ήταν θετική. Η θεωρία της ενεργητικής όρασης βρίσκεται επί του παρόντος στα βιβλία ιστορίας της επιστήμης και όχι στα σχολικά βιβλία, παρόλο που ήταν η κυρίαρχη θεωρία για αρκετό καιρό και γνώρισε επεξηγηματική και προγνωστική επιτυχία. Οι φοιτητές/τριες πειραματίστηκαν με την «επιτυχία» της θεωρίας της ενεργητικής όρασης καλλιεργώντας αυτό που ο Psillos (2010) αποκαλεί «επιστημονική συνείδηση» (scientific conscience): κριτική αξιολόγηση της θεωρίας τους, επίγνωση των δυνατών σημείων και των περιορισμών της επιστημονικής έρευνας, άνοιγμα στην κριτική και τη διόρθωση, ανταπόκριση σε γνωσιακές αξίες και θεωρητικές αρετές, ευαισθησία στην ιστορική πολυπλοκότητα και τις φιλοσοφικές επιπτώσεις του επιστημονικού εγχειρήματος.

## ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- Abd-El-Khalick, F. (2012). Examining the sources for our understandings about science: enduring confluences and critical issues in research on nature of science in science education. *International Journal in Science Education*, 34(3), 353–374. <https://doi.org/10.1080/09500693.2011.629013>
- Duhem, P. (1906/1954). *The Aim and Structure of Physical Theory*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Erduran, S, Dagher, Z (2014). *Reconceptualizing the nature of science for science education: scientific knowledge, practices and other family categories*. Springer, Dordrecht.

- Galili, I. (2014). Teaching Optics: A Historico-Philosophical Perspective. In M. R. Matthews (Eds.), *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching* (pp. 97-128). Springer.
- Irzik, G., & Nola, R. (2011). A family resemblance approach to the nature of science for science education. *Science & Education*, 20(7-8), 591-607. <https://doi.org/10.1007/s11191-010-9293-4>
- Kampourakis, K. (2016). The “general aspects” conceptualization as a pragmatic and effective means to introducing students to nature of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 53(5), 667-682. <https://doi.org/10.1002/tea.21305>
- Kaya, E. & Erduran, S. (2016). From FRA to RFN, or how the family resemblance approach can be transformed for science curriculum analysis on nature of science. *Science Education*, 25(9–10), 1115–1133.
- Lederman, N., Abd-El-Khalick, F., Bell, R. & Schwartz, R. (2002). Views of nature of science questionnaire: toward valid and meaningful assessment of learners’ conceptions of nature of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 39, 497–521. <https://doi.org/10.1002/tea.10034>
- Mach, E. (1893/1960). *The Science of Mechanics; a Critical and Historical Account of its Development*. Chicago: Open Court Publishing Company.
- Matthews, M. (2015). *Science Teaching: The Contribution of History and Philosophy of Science, 20th Anniversary Revised and Expanded Edition* (2nd ed.). New York: Routledge.
- Mihas, P. (2008). Developing Ideas of Refraction, Lenses and Rainbow Through the Use of Historical Resources. *Science & Education*, 17(7), 751-777. <https://doi.org/10.1007/s11191-006-9044-8>
- Niaz, M. (2001). Understanding nature of science as progressive transitions in heuristic principles. *Science Education*, 8(6), 684-690. <https://doi.org/10.1002/sce.1032>
- Niaz M. (2016). *Chemistry Education and Contributions from History and Philosophy of Science. Science: Philosophy, History and Education*. Springer.
- Osborne, J., Collins, S., Ratcliffe, M., Millar, R., & Duschl, R. (2003). What ‘ideas-about-science’ should be taught in school science? A Delphi study of the expert community. *Journal of Research in Science Teaching*, 40(7), 692-720. <https://doi.org/10.1002/tea.10105>
- Psillos, St. (2010). Is the history of science the wasteland of false theories? In P.Kokkotas, K.Malamitsa & A.Rizaki (Eds), *Adapting Historical Knowledge Production to the Classroom*, (pp.17-36). Sense Publishers.
- Ptolemy (1940/1966). Refraction. In M. R. Cohen, & I. E. Drankin (Eds.), *A Source Book in Greek Science* (pp. 271-281). New York: McGraw-Hill Book.
- Riley, M. (1995). Ptolemy’s Use of His Predecessors’ Data. *Transactions of the American Philological Association*, 125, 221-230.
- Russo, L. (2004). *The Forgotten Revolution: How Science Was Born in 300 BC and Why it Had to Be Reborn* (S. Levy, Trans.). Berlin, Heidelberg and New York: Springer Verlag.

- Smith, A. M. (1982). Ptolemy's search for a law of refractions: A case-study in the classical methodology of "saving the appearance" and its limitations. *Archive for History of Exact Sciences*, 26(3), 221-240.
- Stefanidou, C., Psoma, V., Skordoulis, C. (2020). Ptolemy's experiments on Refraction in Science Education. *Physics Education*, 55(3), 1-17. <https://doi.org/10.1088/1361-6552/ab7c80>
- Wang, H.A. & Cox-Petersen, A.M. (2002). A Comparison of Elementary, Secondary and Student Teachers' Perceptions and Practices Related to History of Science Instruction. *Science & Education*, 11(1), 69-81. <https://doi.org/10.1023/A:1013057006644>