



Σχολή Θετικών Επιστημών και Τεχνολογίας  
Μεταπτυχιακή Ειδίκευση Καθηγητών Φυσικών Επιστημών

Διπλωματική Εργασία

Η διαμάχη Newton – Huygens για τη φύση του φωτός και η αξιοποίησή της  
στη διδασκαλία της κυματοειδούς φύσης τους φωτός

Κανελλοπούλου Πέλλα

Επιβλέπουσα καθηγήτρια: Κατσιαμπούρα Ιωάννα

ΠΑΤΡΑ, ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2024

Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία του φοιτητή/της φοιτήτριας («συγγραφέας/δημιουργός») που την εκπόνησε. Στο πλαίσιο της πολιτικής ανοικτής πρόσβασης ο/η 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/της 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/της συγγραφέα/δημιουργού. Ο/Η συγγραφέας/δημιουργός διατηρεί το σύνολο των ηθικών και περιουσιακών του δικαιωμάτων.



Η διαμάχη Newton – Huygens για τη φύση του φωτός και η αξιοποίησή της  
στη διδασκαλία της κυματοειδούς φύσης τους φωτός

Κανελλοπούλου Πέλλα

Επιτροπή Επίβλεψης Διπλωματικής Εργασίας

Επιβλέπουσα καθηγήτρια:

Κατσιαμπούρα Ιωάννα

Συν-επιβλέπουσα καθηγήτρια:

Στεφανίδου Κωνσταντίνα

ΠΑΤΡΑ, ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2024

Κανελλοπούλου Πέλλα, Η διαμάχη Νεύτωνα –Huygens για τη φύση  
του φωτός  
και η αξιοποίησή της στη διδασκαλία της κυματοειδούς φύσης του  
φωτός

Κανελλοπούλου Πέλλα, Η διαμάχη Νεύτωνα –Huygens για τη φύση  
του φωτός  
και η αξιοποίησή της στη διδασκαλία της κυματοειδούς φύσης του  
φωτός

## Περίληψη

Η παρούσα μελέτη, διερευνά το αποτέλεσμα μιας διδακτικής παρέμβασης που επικεντρώνεται στη διαμάχη Newton-Huygens όσον αφορά στην κατανόηση από την πλευρά των μαθητών/τριών για τη φύση του φωτός και τον ευρύτερο επιστημονικό γραμματισμό τους. Η παρέμβαση είχε στόχο να αποσαφηνίσει τα ιστορικά και θεωρητικά θεμέλια των κυμάτων και των σωματιδιακών θεωριών του φωτός αξιοποιώντας την ιστορική συζήτηση μεταξύ του Ισαάκ Νεύτωνα και του Christian Huygens.

Πριν από τη διδακτική παρέμβαση και μετά αξιοποιήθηκαν ερωτηματολόγια για να αξιολογηθούν οι αλλαγές στις γνώσεις και τις στάσεις των μαθητών/τριών. Πριν από την παρέμβαση, οι μαθητές/ήτριες παρουσίασαν σημαντικές παρανοήσεις και μια κατακερματισμένη κατανόηση του φωτός και των ιδιοτήτων του. Μόνο το 46,67% αναγνώρισε τη διπλή φύση του φωτός και υπήρξε ουσιαστική εσφαλμένη απόδοση της ιστορικής συνεισφοράς στις θεωρίες του φωτός.

Τα αποτελέσματα μετά την παρέμβαση έδειξαν αξιοσημείωτες βελτιώσεις, με το 73,33% των μαθητών/τριών να αναγνωρίζουν σωστά ότι το φως έχει χαρακτηριστικά τόσο κυμάτων όσο και σωματιδίων. Οι σωστές αποδόσεις της θεωρίας των σωματιδίων στον Newton και της κυματικής θεωρίας στον Huygens αυξήθηκαν σημαντικά, αντανακλώντας μια σαφέστερη κατανόηση της συνεισφοράς τους. Οι μαθητές/ήτριες επέδειξαν επίσης βελτιωμένη κατανόηση οπτικών φαινομένων όπως η διασπορά και η διάθλαση, με τις σωστές αποκρίσεις να αυξάνονται σε 80% και 70%, αντίστοιχα. Η παρέμβαση επηρέασε επίσης θετικά τις αντιλήψεις των μαθητών/τριών για τις επιστημονικές θεωρίες, με το 86,67% να αναγνωρίζει την εξελισσόμενη φύση τους και τη σημασία του ιστορικού πλαισίου στην επιστήμη.

Επιπλέον, η παρέμβαση ενθάρρυνε την εκδήλωση μεγαλύτερου ενδιαφέροντος για την ενασχόληση με την επιστημονική εξερεύνηση, με το 80% των μαθητών/τριών να εκδηλώνουν αυξημένο ενδιαφέρον να μάθουν για τις επιστημονικές θεωρίες και τον κρίσιμο ρόλο των πειραμάτων. Η πιθανότητα ενασχόλησης με επιστημονικό περιεχόμενο εκτός σχολείου και το ενδιαφέρον για επιστημονική σταδιοδρομία παρουσίασαν επίσης αξιοσημείωτες αυξήσεις. Αυτά τα ευρήματα υπογραμμίζουν την αποτελεσματικότητα της χρήσης ιστορικών επιστημονικών αντιπαραθέσεων για την ενίσχυση της κατανόησης των πολύπλοκων επιστημονικών εννοιών από τους μαθητές/ήτριες και τον ενθουσιασμό τους για την επιστήμη. Η μελέτη υπογραμμίζει την παιδαγωγική αξία της ενσωμάτωσης του ιστορικού πλαισίου στην εκπαίδευση των επιστημών για την αντιμετώπιση παρανοήσεων και την προώθηση της βαθύτερης εκτίμησης της επιστημονικής έρευνας και της ανάπτυξής της.

## Abstract

This study investigates the impact of a didactic intervention centered on the Newton-Huygens controversy on students' understanding of the nature of light and their broader scientific literacy. The intervention aimed to clarify the historical and theoretical foundations of the wave and particle theories of light by leveraging the historical debate between Isaac Newton and Christian Huygens. Pre- and post-intervention questionnaires were administered to assess changes in students' knowledge and attitudes. Prior to the intervention, students exhibited significant misconceptions and a fragmented understanding of light and its properties. Only 46.67% recognized light's dual nature, and there was substantial misattribution of historical contributions to the theories of light.

Post-intervention results showed marked improvements, with 73.33% of students correctly identifying light as having both wave and particle characteristics. Correct attributions of the particle theory to Newton and the wave theory to Huygens increased significantly, reflecting a clearer understanding of their contributions. Students also demonstrated enhanced comprehension of optical phenomena such as dispersion and refraction, with correct responses increasing to 80% and 70%, respectively. The intervention also positively influenced students' perceptions of scientific theories, with 86.67% acknowledging their evolving nature and the importance of historical context in science.

Furthermore, the intervention fostered greater interest and engagement in scientific exploration, with 80% of students expressing increased interest in learning about scientific theories and the critical role of experiments. The likelihood of engaging with scientific content outside of school and interest in pursuing scientific careers also saw notable increases. These findings underscore the effectiveness of using historical scientific controversies to enhance students' understanding of complex scientific concepts and their enthusiasm for science. The study highlights the pedagogical value of integrating historical context into science education to address misconceptions and promote a deeper appreciation of scientific inquiry and its development.

## Περιεχόμενα

Περίληψη .....	vi
Abstract .....	vii
Πίνακας Εικόνων .....	ix
Πίνακας Διαγραμμάτων .....	x
Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή .....	1
1.1 Σκοπός της μελέτης.....	2
1.2 Σημασία της μελέτης.....	3
Κεφάλαιο 2: Βιβλιογραφική ανασκόπηση.....	5
2.1 Σωματιδιακή Θεωρία του Isaac Newton.....	5
2.2 Κυματική Θεωρία του Christiaan Huygens .....	7
2.3 Η διαμάχη Newton-Huygens .....	9
2.4 Παιδαγωγική αξία των ιστορικών αντιπαραθέσεων στην εκπαίδευση των Φυσικών Επιστημών .....	11
2.5 Η διαμάχη Newton-Huygens ως διδακτικό εργαλείο .....	12
2.6 Προκλήσεις και προβληματισμοί.....	13
2.7 Ανασκόπηση πρόσφατης έρευνας για τις ιστορικές προσεγγίσεις στην εκπαίδευση.....	15
Κεφάλαιο 3: Σχεδιασμός του Εκπαιδευτικού Υλικού της εργασίας.....	18
3.1 Ερευνητικά Ερωτήματα .....	18
3.2 Σκοπός της Έρευνας .....	18
3.3. Μεθοδολογία Έρευνας.....	18
3.4 Χρονική περίοδος διεξαγωγής της έρευνας .....	19
3.5 Είδος της Έρευνας .....	19
3.6 Δειγματοληψία .....	19
3.7 Μέσα Συλλογής Δεδομένων .....	19
3.8 Περιορισμοί της Έρευνας .....	19
3.9 Δεοντολογία Έρευνας .....	20
3.10 Ανάλυση Δεδομένων .....	20
3.11 Μοντέλα σχεδιασμού και ανάπτυξης διδακτικού υλικού .....	21
3.12 Εκπαιδευτικό Πλαίσιο .....	22



3.12.1 Πλαίσιο φιλοσοφίας και στόχων.....	22
3.12.2 Πλαίσιο θεωριών μάθησης .....	23
3.12.3 Άξονες περιεχομένου και διδακτική στρατηγική .....	26
3.12.4 Οι πυλώνες στήριξης του σχεδιασμού του ΕΥ .....	27
Κεφάλαιο 4: Υλοποίηση - περιγραφή του εκπαιδευτικού υλικού .....	29
Κεφάλαιο 5: Αποτελέσματα της έρευνας.....	36
Pre Lesson Questionnaire .....	36
Φως και Ιστορικά Πρόσωπα .....	36
Κατανόηση Επιστημονικών Εννοιών .....	37
Αντίληψη της επιστήμης .....	39
Post-Lesson Questionnaire.....	43
Φως και Ιστορικά Πρόσωπα .....	43
Κατανόηση Επιστημονικών Εννοιών .....	44
Αντίληψη της επιστήμης .....	46
Προσδοκίες και ενδιαφέρον για την επιστήμη .....	48
Συζήτηση.....	53
Συμπεράσματα .....	56
Παράρτημα.....	60
Βιβλιογραφικές Αναφορές .....	69

## Πίνακας Εικόνων

Εικόνα 1: Το Μοντέλο ADDIE (Kurt, 2017).....	21
Εικόνα 2: Στόχοι για μια δημοκρατική κουλτούρα (Council of Europe, 2018) .....	23
Εικόνα 3: Πλατφόρμα Slack .....	33
Εικόνα 4: Ονομασία συνομιλίας.....	33
Εικόνα 5: Προσθήκη ονόματος ερευνητή.....	34
Εικόνα 6: Προσθήκη email μαθητών/τριών .....	34
Εικόνα 7: Μορφή συνομιλίας .....	35

## Πίνακας Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 1: Πως μεταδίδεται το φως .....	36
Διάγραμμα 2: Γνώσεις για τον Ισαάκ Νεύτωνα .....	36
Διάγραμμα 3: Ο λόγος που ο Νεύτων είναι αναγνωρίσιμος.....	36
Διάγραμμα 4: Η μελέτη του Huygens.....	36
Διάγραμμα 5: Γνώσεις για τον Christian Huygens .....	37
Διάγραμμα 6: Το φως αποτελείται από σωματίδια; .....	37
Διάγραμμα 7: Τι προτείνει η κυματική θεωρία του φωτός;.....	38
Διάγραμμα 8: Τι κάνει ένα πρίσμα στο φως; .....	38
Διάγραμμα 9: Ποιος χρησιμοποίησε ένα πρίσμα για τη μελέτη του φάσματος φωτός; .....	38
Διάγραμμα 10: Πότε συμβαίνει η διάθλαση;.....	38
Διάγραμμα 11: Η κατανόηση της επιστήμης είναι σημαντική για την εκμάθησή της; .....	39
Διάγραμμα 12: Επιστημονικές θεωρίες .....	39
Διάγραμμα 15: Ποιες είναι οι διαφορές μεταξύ των επιστημόνων;.....	40
Διάγραμμα 13: Πως πιστεύετε ότι οι επιστημονικές ανακαλύψεις επηρεάζουν την καθημερινότητά μας; .....	40
Διάγραμμα 14: Μπορούν οι επιστημονικές συζητήσεις να επηρεάσουν τις τεχνολογικές εξελίξεις; .....	40
Διάγραμμα 16: Ενδιαφέρον σχετικά με την ανάπτυξη των θεωριών από τους δύο επιστήμονες.....	41
Διάγραμμα 17: Χρησιμότητα πειραμάτων για την κατανόηση των επιστημονικών εννοιών.....	41
Διάγραμμα 20: Επιθυμία ενασχόλησης με την επιστήμη στον επαγγελματικό τομέα βάση τωρινών γνώσεων.....	42
Διάγραμμα 18: Πιστεύετε ότι είναι ενδιαφέρουσα η μάθηση για τις επιστημονικές διαμάχες; .....	42
Διάγραμμα 19: Συχνότητα ενασχόλησης με επιστημονικό περιεχόμενο εκτός σχολικού χώρου.....	42
Διάγραμμα 21: Τρόπος περιγραφής του φωτός .....	43
Διάγραμμα 22: Ο επιστήμονας που σχετίζεται με τη σωματιδιακή θεωρία του φωτός .....	43
Διάγραμμα 23: Ο επιστήμονας που πρότεινε την κυματική θεωρία του φωτός .....	43
Διάγραμμα 24: Το φαινόμενο της διάσπασης του λευκού φωτός σε ένα φάσμα χρωμάτων μέσω ενός πρίσματος. ....	43
Διάγραμμα 25: Η καλύτερη εξήγηση της κυματικής θεωρίας του φωτός .....	44
Διάγραμμα 26: Αντίληψη της διαδικασίας ταξιδιού του φωτός στο διάστημα μετά την παρέμβαση .....	44
Διάγραμμα 27: Τι είναι η διάθλαση; .....	45
Διάγραμμα 28: Πώς ένα πρίσμα επηρεάζει το φως; .....	45

Διάγραμμα 29: Πως εξηγείται καλύτερα το φαινόμενο της περίθλασης;.....	45
Διάγραμμα 30: Ο επιστήμονας που πραγματοποίησε πειράματα για να μελετήσει το φως .....	45
Διάγραμμα 31: Αλλαγή της άποψης για τη σημασία του ιστορικού πλαισίου στην επιστήμη .....	46
Διάγραμμα 32: Γνώμη για τις επιστημονικές θεωρίες.....	46
Διάγραμμα 35: Πως αντιλαμβάνεστε το ρόλο των διαφωνιών στην επιστημονική πρόοδο μετά από το μάθημα; .....	47
Διάγραμμα 33: Σχετικότητα συνεισφορών Νεύτων και Huygens στη σύγχρονη επιστήμη.....	47
Διάγραμμα 34: Η κατανόηση των επιστημονικών συζητήσεων οδηγεί σε καλύτερες τεχνολογικές καινοτομίες; .....	47
Διάγραμμα 36: Υπάρχει μεγαλύτερο ενδιαφέρον για εξερεύνηση επιστημονικών θεωριών μετά από το μάθημα; .....	48
Διάγραμμα 37: Σημαντικότητα εκτέλεσης πειραμάτων για την επιστημονική κατανόηση.....	48
Διάγραμμα 38: Πιθανότητα ενασχόλησης με το επιστημονικό περιεχόμενο εκτός σχολείου μετά τη διδακτική παρέμβαση .....	48
Διάγραμμα 39: Ποσοστό ενδιαφέροντος για μάθηση σχετικά με τις επιστημονικές διαμάχες. ....	48
Διάγραμμα 40: Ενδιαφέρον για μια καριέρα στην επιστήμη.....	49

Κανελλοπούλου Πέλλα, Η διαμάχη Νεύτωνα –Huygens για τη φύση  
του φωτός  
και η αξιοποίησή της στη διδασκαλία της κυματοειδούς φύσης του  
φωτός

## Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

Η κλασική φυσική που έχουμε μελετήσει ως τώρα, ασχολείται με δύο κατηγορίες φαινομένων: τα σωμάτια και τα κύματα. Σύμφωνα με την καθημερινή μας πείρα, τα «σωμάτια» είναι μικροσκοπικά αντικείμενα όμοια με μικρές σφαίρες. Έχουν μάζα και υπακούουν στους νόμους του Νεύτωνα, δηλαδή κινούνται ευθύγραμμα όταν δεν ασκείται πάνω τους καμία δύναμη. Σύμφωνα πάλι με την καθημερινή μας πείρα, τα «κύματα» (όπως της θάλασσας) είναι φαινόμενα που εκτείνονται στο χώρο. Όταν ένα κύμα περνά μέσα από ένα άνοιγμα ή κινείται γύρω από ένα εμπόδιο, τα διάφορα μέρη του συμβάλλουν και επακολουθεί περίθλαση. Έτσι είναι εύκολο να διακρίνουμε τα σωμάτια από τα κύματα, γιατί έχουν ιδιότητες αποκλειστικές. Παρόλα αυτά, το πρόβλημα της ταξινόμησης του φωτός υπήρξε μυστήριο επί αιώνες.

Μία από τις πρώτες θεωρίες που διατυπώθηκαν για τη φύση του φωτός είναι αυτή του Πλάτωνος, ο οποίος πίστευε ότι το φως αποτελείται από ακτίνες που έστελναν τα μάτια. Στο έργο του, Τιμαίος, ο Πλάτωνας περιγράφει τη θεωρία του για την όραση και τη φύση του φωτός, σύμφωνα με την οποία το φως εκπέμπεται από τα μάτια και συναντά το εξωτερικό φως που προέρχεται από αντικείμενα δημιουργώντας έτσι την αίσθηση της όρασης. Στο κείμενό του αναφέρει πως όταν ακτίνες φωτός από τα μάτια συγχωνεύονται με το φως από το περιβάλλον, η ψυχή αντιλαμβάνεται τα αντικείμενα που βρίσκονται μπροστά (Plato, 2000). Την άποψή του την αποδέχτηκε και ο Ευκλείδης. Οι Πυθαγόρειοι, από την άλλη, πίστευαν πως το φως εξέρχεται από φωτεινά σώματα και κατευθύνεται προς το μάτι με τη μορφή πολύ μικρών σωματίων. Ο Εμπειροκλής δίδασκε πως το φως αποτελείται από κάποιου είδους κύματα μεγάλης ταχύτητας. Το 1704 ο Ισαάκ Νεύτων περιέγραψε το φως σαν ρεύμα σωματίων. Επέμεινε στην άποψή του αυτή παρά το πείραμα που έκανε αργότερα με το ανακλώμενο φως σε γυάλινες πλάκες, όπου παρατήρησε τους φωτεινούς και σκοτεινούς κροσσούς (δακτύλιοι του Νεύτωνα) και αναγνώρισε πως τα σωμάτια του φωτός έχουν κάποιου είδους κυματική φύση. Το έργο του Opticks αρχίζει με τη δήλωση : «Στόχος μου στο βιβλίο αυτό δεν είναι να εξηγήσω τη φύση του φωτός με υποθέσεις, αλλά να τις προτείνω και να τις αποδείξω με τη λογική και πειράματα» ( Segre, 1997). Από την άλλη μεριά, ο Christian Huygens, σύγχρονος του Νεύτωνα, υποστήριξε έντονα την κυματική θεωρία του φωτός.

Με φόντο όλη αυτήν την διαμάχη, ο Τόμας Γιανγκ έκανε το 1801 το «πείραμα της διπλής σχισμής», που φάνηκε να αποδεικνύει τελικά πως το φως είναι κυματικό φαινόμενο. Η άποψη αυτή ενισχύθηκε το 1862 από την ανακοίνωση του Μάξγουελ ότι το φως είναι ενέργεια μεταφερόμενη από το ηλεκτρικό και μαγνητικό πεδίο των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. Επιπλέον, η κυματική άποψη για το φως επιβεβαιώθηκε πειραματικά 25 χρόνια αργότερα από τον Χερτζ. Το 1905, όμως, ο Άλμπερτ Αϊνστάιν δημοσίευσε μία εργασία του, που κέρδισε και το βραβείο Νόμπελ, και με την οποία αναιρούσε την κυματική θεωρία του φωτός, αποδεικνύοντας ότι το φως κατά τις αλληλεπιδράσεις του με την ύλη δεν περιορίζεται σε συνεχή κύματα, όπως πίστευε ο Μάξγουελ, αλλά σε μικροσκοπικά πακέτα ενέργειας, που τα ονόμασε κβάντα φωτός ή φωτόνια. Αυτή η παράξενη συμπεριφορά του φωτός ήταν η αρχική σύλληψη των κβαντικών κανόνων, οι οποίοι κυβερνούν τον ατομικό κόσμο (Hewitt, 1997).

## 1.1 Σκοπός της μελέτης

Ο σκοπός αυτής της μελέτης είναι να διερευνήσει την εκπαιδευτική αποτελεσματικότητα της ενσωμάτωσης ιστορικών επιστημονικών αντιπαραθέσεων, ειδικά της διαμάχης Newton-Huygens για τη φύση του φωτός, στη διδασκαλία της σύγχρονης επιστήμης. Αυτή η έρευνα στοχεύει να αξιολογήσει πώς η συμπερίληψη ιστορικών στοιχείων ενισχύει την κατανόηση των επιστημονικών εννοιών από τους/ις μαθητές/ήτριες, την κριτική σκέψη και επηρεάζει την κριτική σκέψη τους απέναντι στην επιστήμη.

Οι ιστορικές διαμάχες στην επιστήμη προσφέρουν ένα μοναδικό φακό μέσω του οποίου οι μαθητές/ήτριες μπορούν να δουν την ανάπτυξη επιστημονικών ιδεών και θεωριών με την πάροδο του χρόνου (Braga, 2010). Εξετάζοντας τη δυναμική συζήτηση μεταξύ του Newton και του Huygens κατά τη διάρκεια του 17ου αιώνα σχετικά με τις σωματικές και κυματικές θεωρίες του φωτός, οι μαθητές/ήτριες μπορούν να αποκτήσουν γνώσεις για τη φύση της επιστημονικής έρευνας - πώς αναπτύσσονται, αμφισβητούνται και τελειοποιούνται οι θεωρίες υπό το φως νέων στοιχείων. Αυτή η μελέτη σκοπεύει να αποδείξει ότι η εκμάθηση τέτοιων συζητήσεων μπορεί να βοηθήσει στην απομυθοποίηση των επιστημονικών διαδικασιών, δείχνοντας την επιστήμη ως μια ανθρώπινη προσπάθεια που εξελίσσεται μέσα από τις συνεισφορές πολλών ατόμων με διαφορετικές απόψεις.

Οι ειδικοί στόχοι της μελέτης περιλαμβάνουν:

Ενίσχυση της Εννοιολογικής Κατανόησης: αξιολόγηση στο κατά πόσο οι μαθητές/ήτριες που ασχολούνται με το ιστορικό πλαίσιο της διαμάχης Newton-Huygens παρουσιάζουν μια βαθύτερη κατανόηση της δυαδικότητας κύματος-σωματιδίου του φωτός σε σύγκριση με μαθητές/ήτριες που μαθαίνουν μέσω παραδοσιακών μεθόδων.

Ανάπτυξη κριτικής σκέψης: Αξιολόγηση του αντίκτυπου των ιστορικών περιπτώσιολογικών μελετών στην ικανότητα των μαθητών/τριών να σκέφτονται κριτικά για επιστημονικά στοιχεία και επιχειρήματα, καθώς και στην ικανότητά τους να κατανοούν και να αναλύουν την πρόοδο της επιστημονικής σκέψης.

Διαμόρφωση στάσεων απέναντι στην επιστήμη: Διερεύνηση στο κατά πόσο η έκθεση στις ιστορικές εξελίξεις στην επιστήμη επηρεάζει τις αντιλήψεις των μαθητών/τριών για τη φύση της, τον ρόλο της στην κοινωνία και το ενδιαφέρον τους να ακολουθήσουν την επιστήμη ως πεδίο σπουδών ή καριέρας.

Για την επίτευξη αυτών των στόχων, η μελέτη θα χρησιμοποιήσει μια προσέγγιση μεικτών μεθόδων, που θα συνδυάζει ποσοτικές αξιολογήσεις (όπως τεστ πριν και μετά την παρέμβαση) και ποιοτικές μεθόδους (συμπεριλαμβανομένων των συνεντεύξεων με τους μαθητές/ήτριες και των παρατηρήσεων στην τάξη). Αυτή η προσέγγιση θα παρέχει μια ολοκληρωμένη άποψη του τρόπου με τον οποίο οι ιστορικές διαμάχες μπορούν να αξιοποιηθούν για να εμπλουτίσουν την επιστημονική εκπαίδευση (Cohen, Manion, & Morrison, 2018).

Επιπλέον, αυτή η έρευνα επιδιώκει να προσφέρει πρακτικές συστάσεις για τους εκπαιδευτικούς σχετικά με το πώς να ενσωματώσουν αποτελεσματικά τις ιστορικές διαμάχες στο πρόγραμμα σπουδών των φυσικών επιστημών. Θα διερευνήσει ποιες παιδαγωγικές τεχνικές και υλικά είναι πιο αποτελεσματικά για να ζωντανέψουν τις ιστορικές συζητήσεις,

παρέχοντας έτσι στους εκπαιδευτικούς εργαλεία για να εμπλέξουν τους μαθητές/ήτριες πιο βαθιά και ουσιαστικά στη μάθηση των φυσικών επιστημών.

Τελικά, γεφυρώνοντας την ιστορική με την επιστημονική εκπαίδευση, αυτή η μελέτη στοχεύει να συμβάλει σε μια ευρύτερη κατανόηση του τρόπου με τον οποίο οι εκπαιδευτικές πρακτικές μπορούν να εξελιχθούν ώστε να προετοιμαστούν καλύτερα οι μαθητές/ήτριες για έναν κόσμο όπου η επιστημονική παιδεία είναι ολοένα και πιο σημαντική. Μέσω αυτής της εργασίας, ελπίζουμε να εμπνεύσουμε μια νέα γενιά μαθητών/τριών να εκτιμήσουν την πολυπλοκότητα και την ομορφιά της επιστημονικής εξερεύνησης και τον αντίκτυπό της στην κατανόησή μας για τον κόσμο.

## 1.2 Σημασία της μελέτης

Η σημασία αυτής της μελέτης έγκειται στη δυνατότητά της να εμπλουτίσει την επιστημονική εκπαίδευση ενσωματώνοντας ιστορικές αντιπαραθέσεις, ιδιαίτερα τη διαμάχη Newton - Huygens για τη φύση του φωτός, ενισχύοντας έτσι το εκπαιδευτικό τοπίο σε πολλούς βασικούς τομείς.

1. Προώθηση Παιδαγωγικών Προσεγγίσεων: Αυτή η μελέτη αντιμετωπίζει ένα κρίσιμο κενό στην εκπαιδευτική έρευνα παρέχοντας εμπειρικά στοιχεία σχετικά με τα αποτελέσματα της χρήσης ιστορικών αντιπαραθέσεων στη διδασκαλία των φυσικών επιστημών (Kuhn, 1962). Η παραδοσιακή επιστημονική εκπαίδευση δίνει συχνά έμφαση στην απομνημόνευση και την κυριαρχία των γεγονότων και των τύπων, γεγονός που μπορεί να κρύψει τη δυναμική και επαναληπτική φύση της επιστημονικής ανακάλυψης. Ενσωματώνοντας ιστορικές διαμάχες, οι εκπαιδευτικοί μπορούν να παρουσιάσουν την επιστήμη ως ένα πιο ζωντανό πεδίο έρευνας όπου η γνώση αναπτύσσεται συνεχώς και βελτιώνεται μέσω της συζήτησης και του πειραματισμού. Αυτή η προσέγγιση όχι μόνο εμπλουτίζει το πρόγραμμα σπουδών, αλλά και ευθυγραμμίζεται με τους σύγχρονους εκπαιδευτικούς στόχους που δίνουν προτεραιότητα στην κριτική σκέψη, την επίλυση προβλημάτων και την ικανότητα ενασχόλησης με επιχειρηματολογία βάσει στοιχείων (Kuhn, 1962).

2. Ενίσχυση του ενδιαφέροντος και της κατανόησης των μαθητών/τριών: Ένας από τους πρωταρχικούς στόχους αυτής της έρευνας είναι να διερευνήσει πώς τα ιστορικά πλαίσια μπορούν να εμβαθύνουν στην κατανόηση των μαθητών/τριών περίπλοκων επιστημονικών εννοιών, όπως η δυαδικότητα κύματος-σωματιδίου του φωτός (Heering & Höttecke, 2013). Οι ιστορικές αφηγήσεις παρέχουν ένα συναρπαστικό πλαίσιο που μπορεί να κάνει τις αφηρημένες έννοιες πιο απτές και πιο σχετικές. Βλέποντας πώς θεωρίες όπως αυτές που προτάθηκαν από τους Newton και Huygens εξελίχθηκαν μέσω της αλληλεπίδρασης και του πειραματισμού στον πραγματικό κόσμο, οι μαθητές/ήτριες μπορεί να βρουν την επιστήμη πιο προσιτή και ελκυστική, αυξάνοντας ενδεχομένως το ενδιαφέρον και τη διατήρησή τους στα πεδία STEM (Alisir & Irez (2020).

3. Προώθηση της κριτικής σκέψης: Η μελέτη επιδιώκει επίσης να αξιολογήσει πώς οι συζητήσεις ιστορικών επιστημονικών αντιπαραθέσεων μπορούν να ενισχύσουν τις δεξιότητες κριτικής σκέψης. Αναλύοντας πώς προέκυψαν και συναγωνίστηκαν διαφορετικές θεωρίες με την πάροδο του χρόνου, οι μαθητές/ήτριες ενθαρρύνονται να σκεφτούν κριτικά τη φύση των αποδεικτικών στοιχείων, τον ρόλο του πειραματισμού και την επίδραση κοινωνικών και πολιτισμικών παραγόντων στην επιστημονική πρόοδο. Αυτές οι δεξιότητες είναι απαραίτητες

όχι μόνο για την επιστημονική παιδεία αλλά και για την ενημερωμένη ιδιότητα του πολίτη σε έναν όλο και πιο περίπλοκο κόσμο όπου η επιστημονική γνώση διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο στη δημόσια πολιτική και στη λήψη προσωπικών αποφάσεων (Vincent-Lancrin, 2021).

4. Διαμόρφωση στάσεων απέναντι στην επιστήμη: Η διερεύνηση της ιστορικής εξέλιξης των επιστημονικών ιδεών μπορεί επίσης να επηρεάσει τη στάση των μαθητών/τριών απέναντι στην επιστήμη. Αυτή η έρευνα θα διερευνήσει εάν οι μαθητές/ήτρες που μαθαίνουν την επιστήμη μέσα από τα ιστορικά επεισόδια της αντιλαμβάνονται την επιστήμη ως πιο ρευστή και επηρεασμένη από την ανθρώπινη δημιουργικότητα και τη συλλογική προσπάθεια. Μια τέτοια προοπτική θα μπορούσε να απομυθοποιήσει την επιστήμη και να κάνει την ενασχόληση με την επιστήμη να φαίνεται πιο ελκυστική σε ένα ευρύ φάσμα μαθητών/τριών, συμπεριλαμβανομένων εκείνων που μπορεί να μην θεωρούν τους εαυτούς τους ως «τυπικούς» επιστήμονες (Heering & Höttecke, 2013).

5. Παροχή προτάσεων που βασίζονται σε αποδεικτικά στοιχεία: Τέλος, η μελέτη θα προσφέρει θεμελιωμένες, υποστηριζόμενες από την έρευνα προτάσεις για εκπαιδευτικούς σχετικά με το πώς να ενσωματώσουν αποτελεσματικά τις ιστορικές διαμάχες στην εκπαίδευση των επιστημών. Αυτές οι κατευθυντήριες γραμμές θα είναι ζωτικής σημασίας για τους προγραμματιστές προγραμμάτων σπουδών, τους υπεύθυνους χάραξης εκπαιδευτικής πολιτικής και τους δασκάλους της τάξης, καθώς επιδιώκουν να εκσυγχρονίσουν τις μεθόδους διδασκαλίας και τα προγράμματα σπουδών ως απάντηση στα εξελισσόμενα εκπαιδευτικά πρότυπα και τις κοινωνικές ανάγκες (Matthews, 2015).

Εν ολίγοις, η σημασία αυτής της μελέτης εκτείνεται πέρα από το ακαδημαϊκό ενδιαφέρον για τη διαμάχη Newton-Huygens. έχει πρακτικές επιπτώσεις για τη βελτίωση της ποιότητας της εκπαίδευσης στις Φυσικές Επιστήμες, τη βελτίωση των αποτελεσμάτων των μαθητών/τριών και την προώθηση μιας πιο λεπτής κατανόησης του τρόπου κατασκευής της επιστημονικής γνώσης. Αυτή η έρευνα υπόσχεται να συνεισφέρει πολύτιμες γνώσεις σχετικά με τα παιδαγωγικά οφέλη της διδασκαλίας της επιστήμης μέσα από το πρίσμα των ιστορικών εξελίξεων, μεταμορφώνοντας δυνητικά τον τρόπο με τον οποίο οι μαθητές/ήτρες αντιλαμβάνονται και ασχολούνται με την επιστήμη (Höttecke, Henke, & Riess, 2010).



## Κεφάλαιο 2: Βιβλιογραφική ανασκόπηση

### 2.1 Σωματιδιακή Θεωρία του Isaac Newton

Ο Newton (1642–1727) γεννήθηκε στο μικρό αγγλικό χωριό του Woolsthorpe στο Lincolnshire λίγους μήνες μετά το θάνατο του Γαλιλαίου. Τον Ιούνιο του 1661 ξεκίνησε τις σπουδές του στο Cambridge, στο Trinity College (Edwards, 1979). Συνδυάζοντας το πείραμα με τη μαθηματική ανάλυση κατόρθωσε να ενοποιήσει τη γήινη με την ουράνια μηχανική θέτοντας τις βάσεις για τη σύγχρονη μηχανική καθώς και την οπτική (Γαβρόγλου, 2003). Τα επιτεύγματα του Newton ήταν πολύ περισσότερα από την επινόηση του Λογισμού, την ανάπτυξη της μηχανικής και τις οπτικές ανακαλύψεις του. Η συμβολή του στα καθαρά Μαθηματικά συμπεριλαμβάνει εμβριθείς μελέτες για καμπύλες τρίτης τάξης, αριθμητικές μεθόδους για την επίλυση εξισώσεων και πολύ περισσότερα από εκείνα που διδάσκονται στην Ανάλυση ή στην Άλγεβρα. Στη φυσική μελέτησε Θερμομετρία, παρατηρώντας τη σταθερή θερμοκρασία στην οποία το νερό βράζει ή παγώνει, τους νόμους ψύξης των θερμών σωμάτων και διάφορα άλλα θέματα που ωχριούν, μόνο σε σύγκριση με τα μεγάλα επιτεύγματά του. (Segre, 2001). Θεωρείται πως είχε μελετήσει τον Ευκλείδη (τον οποίο θεωρούσε απλοϊκό), τη θεωρία της κίνησης του Αριστοτέλη, αναλυτική Γεωμετρία του Καρτέσιου, τους νόμους του Κέπλερ, τον Γαλιλαίο για την ελεύθερη πτώση των σωμάτων καθώς και άλλους επιστήμονες (Edwards, 1979).

Τα πρώτα πειράματα του Newton με φως πραγματοποιήθηκαν το 1662 στις αίθουσες του Trinity College. Τότε μελετώντας τις ιδιότητες των κατόπτρων, κατασκεύασε το πρώτο κατοπτρικό τηλεσκόπιο. Αυτή του η ανακάλυψη του εξασφάλισε την εισδοχή του στη Royal Society, το 1672 (Edwards, 1979).

Μετά από ένδεκα χρόνια και έπειτα από μία σειρά πειραμάτων οδηγήθηκε στο συμπέρασμα πως το φως δεν ήταν μία ομογενής οντότητα, όπως πίστευαν μέχρι τότε από την εποχή του Αριστοτέλη, αλλά σύνθεση πολλών χρωμάτων (Besson, 2010). Για να μελετήσει το φως προμηθεύτηκε ένα τριγωνικό γυάλινο πρίσμα και έχοντας συσκοτίσει το δωμάτιο άνοιξε μία μικρή τρύπα στα παραθυρόφυλλα για να μπαίνει ορισμένη ποσότητα ηλιακού φωτός και τοποθέτησε το πρίσμα με τέτοιο τρόπο ώστε να διαθλάται το φως προς τον απέναντι τοίχο (Besson, 2010). Τότε αρχικά παρατήρησε τα διάφορα χρώματα στα οποία αναλύθηκε το φως και κατόπιν αντιλήφθηκε πως τα χρώματα είχαν επίμηκες σχήμα ενώ με τις μέχρι τότε γνώσεις περί διάθλασης θα έπρεπε να έχουν κυκλικό σχήμα. Κατόπιν χρησιμοποίησε και ένα δεύτερο πρίσμα στο οποίο διάθλασε μία ακτίνα από κάθε χρώμα και τότε κατέληξε στο συμπέρασμα πως η διαθλαστικότητα είναι σταθερό μέγεθος για το κάθε χρώμα, και είναι μεγαλύτερη για το ιώδες ενώ μικρότερη για το κόκκινο. Μόλις δημοσίευσε αυτά του τα συμπεράσματα ήρθε σε αντίθεση με πολλούς επιστήμονες και κυρίως με τον Hooke (1635 - 1703) ο οποίος υποστήριζε την κυματική φύση του φωτός. Ο Newton τότε αποφάσισε να μην προβεί σε άλλες δημοσιεύσεις στο μέλλον. Μετά το θάνατο του Hooke (1635 - 1703), το 1704 κυκλοφόρησε το βιβλίο του «Opticks», στο οποίο υποστήριξε ότι το φως αποτελείται από σωματίδια.

Σύμφωνα με τη σωματιδιακή θεωρία του φωτός του Newton, το φως θεωρήθηκε ότι αποτελείται από μικρά σωματίδια που μπορούσαν να διανύσουν μεγάλες αποστάσεις χωρίς μεγάλη αλληλεπίδραση με τον περιβάλλοντα αέρα. Αυτή ήταν μια ριζική μετατόπιση από

άλλες θεωρίες που είχαν υποθέσει το φως χωρίς να καθορίζουν επακριβώς τη φύση της φυσικής οντότητας από την οποία αποτελείται. Αυτό συνέβη επειδή ο Newton διεξήγαγε την έρευνά του με στόχο να κατανοήσει την ανάκλαση και τη διάθλαση του φωτός καθώς οι θεωρίες που βασίζονται στα κύματα δεν μπορούσαν να περιγράψουν ικανοποιητικά. Η θεωρία των σωματιδίων του παρείχε έναν απλό μηχανισμό: Τα φωτόνια του φωτός που πέφτουν στην επιφάνεια του αντικειμένου θα μπορούσαν είτε να ανακλασθούν από την επιφάνεια είτε να περάσουν μέσα από την επιφάνεια. Αυτή η μηχανική άποψη ήταν επίσης σύμφωνη με τη γενική προσέγγιση του Newton στη φυσική, σύμφωνα με την οποία προσπάθησε να εξηγήσει τα φαινόμενα με όρους αλληλεπιδράσεων υλικών ουσιών.

Το ευρύτερο έργο του Newton στη μηχανική, ειδικά οι νόμοι της κίνησης και της παγκόσμιας έλξης, παρείχαν ένα πλαίσιο μέσα στο οποίο ανέπτυξε τις ιδέες του για το φως (Shapiro, 2017). Αυτοί οι νόμοι απεικόνιζαν το σύμπαν ως ένα πλήρως οργανωμένο και δομημένο περιβάλλον όπου τα πάντα, συμπεριλαμβανομένου του φωτός, λειτουργούσαν μέσα σε ένα καθορισμένο πλαίσιο μαθηματικών αρχών και νόμων. Ήθελε να επεκτείνει τα θεμέλια της θεωρίας του για το φως και για να το κάνει αυτό διεξήγαγε αρκετά πειράματα που υποστήριζαν τις θεωρίες του (Shapiro, 2017).

Ανάμεσα σε όλα αυτά τα πειράματα, ένα από τα πιο αξιοσημείωτα ήταν το πείραμα του πρίσματος το οποίο οδήγησε σε υποστηρικτικά στοιχεία για τη σωματιδιακή θεωρία του φωτός. Μέσω της χρήσης ενός γυάλινου πρίσματος, ο Newton μπόρεσε να δείξει ότι το λευκό φως αποτελείται από ένα φάσμα χρωμάτων, τα οποία είναι διαφορετικά μέρη φωτός (Shapiro, 2017). Σύμφωνα με τα λόγια του ίδιου του Newton, αυτά τα χρώματα δεν παράγονται από το γυαλί που αλλοιώνει το φως με κάποιο τρόπο, αλλά απλώς διαχωρίζονται ανάλογα με τις διαφορετικές γωνίες διάθλασης (Shapiro, 2017). Ο Newton ισχυρίστηκε ότι κάθε χρώμα περιελάμβανε σωματίδια που είχαν διαφορετική απόκλιση από την αρχική κατεύθυνση όταν περνούσαν από ένα πρίσμα και το κόκκινο χρώμα έχει τη μικρότερη απόκλιση ενώ το ιώδες τη μεγαλύτερη απόκλιση. Αυτό το πείραμα όχι μόνο παρείχε μια υποστηρικτική απόδειξη για τη θεωρία των σωματιδίων του φωτός, αλλά ήταν επίσης σε αντίθεση με την ευρέως αποδεκτή πεποίθηση ότι το λευκό φως είναι καθαρό και το έγχρωμο φως ήταν μια τροποποίηση του λευκού φωτός (Shapiro, 2017).

Επίσης, ο Newton χρησιμοποίησε έναν φακό και ένα δεύτερο πρίσμα για να συνθέσει ξανά αυτά τα χρώματα σε λευκό φως και να δείξει ότι τα χρώματα ήταν πράγματι συστατικά του λευκού φωτός, καθένα από τα οποία αντιστοιχεί σε σωματίδια ορισμένου μεγέθους και ταχύτητας. Αυτός ο διαχωρισμός καθώς και ο ανασυνδυασμός του φάσματος σε λευκό φως ήταν καθοριστικής σημασίας για την απόδειξη ότι το φως ήταν φτιαγμένο από σωματίδια ή όπως ονομάζονταν σωματίδια, επειδή αυτά τα σωματίδια φάνηκε να έχουν διακριτές ιδιότητες που δεν μπορούν να αλλοιωθούν (Shapiro, 2017).

Η αποδοχή και ο θρίαμβος της σωματιδιακής θεωρίας του Newton στην επιστημονική κοινότητα επήλθαν κυρίως λόγω της αυθεντίας του και της αξιοπιστίας των μεθόδων του στα πειράματα (Baierlein, 1992; Harper, 2011). Η θεωρία του ήταν λογική και μαθηματικά ορθή και όχι μόνο έδινε μια περιγραφή της οπτικής συμπεριφοράς αλλά ήταν επίσης σε αρμονία με τη μηχανική κοσμοθεωρία που ήταν δημοφιλής εκείνη την εποχή. Αυτό ήταν σύμφωνο με τη γενική άποψη για τον κόσμο ως ένα σύνθετο σύστημα που μπορούσε να περιγραφεί με όρους αιτιών και αποτελεσμάτων και να ελεγχθεί μέσω της μελέτης των αιτιών και των αποτελεσμάτων (Baierlein, 1992; Harper, 2011).

Κατά τη διάρκεια της ζωής του Newton και ακόμη και μέχρι τον δέκατο όγδοο αιώνα, η σωματιδιακή θεωρία του φωτός ήταν ευρέως αποδεκτή στην Αγγλία καθώς και σε άλλες ευρωπαϊκές χώρες (Ball, 2023). Η σωματιδιακή θεωρία του φωτός υποστήριξε την εξήγηση αρκετών οπτικών φαινομένων που δεν ήταν εύκολα εξηγήσιμα με τις υπάρχουσες κυματικές θεωρίες. Για παράδειγμα, τα φαινόμενα περίθλασης, όπως η εμφάνιση των σκιών των αιχμηρών άκρων που ήταν αντιφατικά με τη θεωρία των κυμάτων, μπορούσαν να εξηγηθούν από τη σωματιδιακή θεωρία του φωτός. Η επιρροή του Newton ήταν τόσο μεγάλη που οι αντίθετες θεωρίες σπάνια γίνονταν αποδεκτές ή ακόμη και αγνοήθηκαν, αν και υπήρξαν κάποιες προσπάθειες από τους υποστηρικτές των κυμάτων (Ball, 2023).

Επιπλέον, η θεωρία του Newton ήταν σημαντική στην ανάπτυξη του πεδίου της οπτικής καθώς οδήγησε σε περαιτέρω πειραματικές προσπάθειες για τη μελέτη του φωτός. Άνοιξε την πόρτα για τους μελλοντικούς επιστήμονες, τους Thomas Young και Augustin-Jean Fresnel, οι οποίοι θα συνέχιζαν να βασίζονται στις κυματικές θεωρίες σε μια προσπάθεια να αποδείξουν λάθος τη σωματική θεωρία (Belendez, 2015; Weisstein, n.d.). Εντούτοις, η σωματιδιακή θεωρία συνέχισε να κυριαρχεί και χρησίμευσε ως ακρογωνιαίος λίθος στην πρόοδο της φυσικής επιστήμης παρέχοντας ένα εννοιολογικό πλαίσιο για την αντιμετώπιση των ιδιοτήτων του φωτός που απασχόλησαν την επιστημονική κοινότητα έως ότου η δυαδικότητα κύματος-σωματιδίου επικράτησε τον εικοστό αιώνα.

Από τη σωματιδιακή θεωρία του φωτός του Newton, μπορεί κανείς να παρατηρήσει την πρόοδο όχι μόνο μιας επιστημονικής θεωρίας αλλά και την επίδραση αυτής της θεωρίας στην πορεία της φυσικής καθώς και στη δυναμική της επιστημονικής προσέγγισης, απεικονίζοντας την αλληλεπίδραση μεταξύ των εμπειρικών στοιχείων, της θεωρητικής ερμηνείας και των ευρύτερων επιστημονικών παραδειγμάτων της εποχής. Αυτή η θεωρία όχι μόνο καθόρισε την ανάπτυξη της οπτικής επιστήμης αλλά επηρέασε επίσης τον σχηματισμό ερωτημάτων που είναι απαραίτητα για την κατανόηση της φύσης της επιστήμης και της διαδικασίας της (Baierlein, 1992).

## 2.2 Κυματική Θεωρία του Christiaan Huygens

Ο Christiaan Huygens (1629–1695) γεννήθηκε στη Χάγη της Ολλανδίας, σε μία ισχυρή οικογένεια με μεγάλη κοινωνική επιρροή (Cartwright, 2023). Ο πατέρας του ήταν διπλωμάτης και σύμβουλος του Οίκου της Οράγγης, κάτι που επέτρεψε στον Huygens να λάβει εξαιρετική εκπαίδευση, κυρίως στα μαθηματικά και τις επιστήμες. Σπούδασε στο Πανεπιστήμιο του Leiden και αργότερα σπούδασε νομικά και μαθηματικά στο College of Orange στη Μπρέντα (Cartwright, 2023).

Ο Huygens επηρεάστηκε βαθιά από το έργο κορυφαίων επιστημόνων της εποχής του, όπως ο Γαλιλαίος και ο Ντεκάρτ (Rawat, 2017). Η συνεισφορά του στην επιστήμη ήταν ευρεία και σημαντική, περιλαμβάνοντας τομείς όπως η οπτική, η μηχανική και η αστρονομία. Εφαρμόζοντας μια αυστηρή μαθηματική προσέγγιση στα φυσικά φαινόμενα, προώθησε την κατανόηση της κίνησης του εκκρεμούς, συμβάλλοντας στην ανάπτυξη του ρολογιού με εκκρεμές το 1656, το οποίο ήταν πολύ πιο ακριβές από οποιαδήποτε προηγούμενη συσκευή μέτρησης χρόνου. Αυτή η εφεύρεση του έφερε άμεση φήμη σε όλη την Ευρώπη.

Στον τομέα της οπτικής, ο Huygens διατύπωσε μια κυματική θεωρία του φωτός, που παρουσιάστηκε στο σημαντικό έργο του *Traité de la Lumière* (Πραγματεία για το φως), που

δημοσιεύθηκε το 1690. Ενώ η θεωρία του Newton βασιζόταν στο σωματιδιακό μοντέλο, ο Huygens παρατήρησε ότι το φως συμπεριφέρεται σαν κύμα, κινούμενο από την πηγή σε κυκλική κίνηση (Rawat, 2017).

Η κυματική θεωρία του Huygens βασίστηκε στα πειράματά του με κύματα σε υγρά και στη συνέχεια εφαρμόστηκε στην περιγραφή του φωτός ως κύμα. Ο Huygens δήλωσε ότι το φως είναι ένα σύνολο διαμήκων κυμάτων που διαδίδονται μέσω του αιθέρα - ένα αόρατο ρευστό που γεμίζει ολόκληρο το σύμπαν. Ο Huygens υπέθεσε ότι αυτός ο αιθέρας γέμιζε όλο το διάστημα και ήταν το μέσο με το οποίο τα κύματα του φωτός ταξίδευαν. Αυτή ήταν μια επαναστατική ιδέα γιατί πρόσφερε έναν νέο τρόπο εξήγησης της φύσης του φωτός και του πώς αλληλοεπιδρά με άλλα αντικείμενα μέσω των αρχών της κυματικής κίνησης (Rawat, 2017).

Για να υποστηρίξει τη θεωρία των κυμάτων, ο Huygens παρουσίασε αρκετές βασικές έννοιες και μεταξύ αυτών η πιο σημαντική ήταν η κατασκευή μετώπου κύματος που είναι επίσης γνωστή ως Αρχή του Huygens. Αυτή η αρχή έλεγε ότι κάθε σημείο σε ένα μέτωπο κύματος αντιμετωπίζεται ως πηγή νέων δευτερευόντων κυμάτων που διαδίδονται προς τα εμπρός σε μια συγκεκριμένη κατεύθυνση με την ταχύτητα του φωτός. Το νέο μέτωπο κύματος σχηματίζεται στη συνέχεια από την εξωτερική επιφάνεια αυτών των δευτερευόντων κυμάτων και αυτό καθιστά ευκολότερο να εξηγήσουμε πώς τα κύματα ταξιδεύουν στο διάστημα (Petersen, 2024).

Ως απόδειξη για τη θεωρία του, ο Huygens εξήγησε μια σειρά από οπτικά φαινόμενα υπό το φως της κυματικής φύσης. Για παράδειγμα, χρησιμοποίησε τον νόμο της διάθλασης για να εξηγήσει ότι η ταχύτητα του φωτός ήταν πιο αργή σε πυκνότερο μέσο και όταν το φως περνούσε σε ένα πιο πυκνό μέσο από ένα λιγότερο πυκνό, τότε έπρεπε να αλλάξει την κατεύθυνσή του. Αυτή η εξήγηση ήταν ιδιαίτερα συναρπαστική επειδή χρησιμοποίησε τη θεωρία των κυμάτων για να εξαγάγει μαθηματικά τον νόμο της διάθλασης του Snell, δείχνοντας ότι το ημίτονο της γωνίας πρόσπτωσης διαιρούμενο με το ημίτονο της γωνίας διάθλασης είναι μια σταθερά (Libre Texts Physics, 2016).

Ο Huygens προσπάθησε επίσης να εξηγήσει τη διπλή διάθλαση, μια διαδικασία όπου το φως που διέρχεται από ορισμένα υλικά, όπως ο κρύσταλλος ασβεστίτη, χωρίζεται σε δύο δέσμες με διαφορετικές ταχύτητες, ως αποτέλεσμα της κρυσταλλικής δομής, η οποία χωρίζει το κύμα φωτός στα δύο συστατικά (Petersen, 2024). Οι εξηγήσεις και οι μαθηματικές διατυπώσεις του παρείχαν ένα σαφές και περιεκτικό πλαίσιο που θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για να εξηγήσει και να προβλέψει το οπτικό φαινόμενο, το οποίο ήταν μια σημαντική βελτίωση σε σχέση με προηγούμενες προσπάθειες περιγραφής του φωτός ως κύμα.

Οι ιδέες που παρουσιάστηκαν από την κυματική θεωρία του Huygens ήταν καινοτόμες και έδειχναν πολλά υποσχόμενες, ωστόσο, αντιμετώπισε αντιρρήσεις και συχνά αγνοήθηκε σε σύγκριση με τη σωματική θεωρία του φωτός του Newton, ιδιαίτερα στην Αγγλία λόγω της ισχυρής επιρροής του έργου του Newton. Οι κύριοι λόγοι αυτής της αρνητικής υποδοχής ήταν δύο: Αρχικά οφειλόταν στην κυριαρχία της Νευτώνειας φυσικής που βασιζόταν σε σωματίδια και δυνάμεις, και δεύτερον στη φύση του «αιθέρα» που δεν ήταν τόσο απτός όσο τα σωματίδια (Petersen, 2024).

Ωστόσο, μέχρι τα τέλη του δέκατου όγδοου αιώνα και ιδιαίτερα τον δέκατο ένατο αιώνα, διεξήχθησαν περισσότερα πειράματα και παρουσιάστηκαν νέες θεωρίες που δεν

μπορούσαν να εξηγηθούν εύκολα από το σωματιδιακό μοντέλο του φωτός, ανοίγοντας έτσι τον δρόμο για την κυματική θεωρία του φωτός. Είναι σημαντικό να αναφέρουμε ότι το πείραμα διπλής σχισμής του Thomas Young, το οποίο διεξήχθη το 1801, υποστήριξε την κυματική φύση του φωτός, καθώς τα σχήματα συμβολής δεν μπορούσαν να εξηγηθούν στο πλαίσιο της θεωρίας των σωματιδίων (Petersen, 2024).

Η τελική αποδοχή της κυματικής θεωρίας επηρεάστηκε επίσης από τον Augustin Jean Fresnel, ο οποίος βασίστηκε σε έννοιες του Huygens και παρείχε πιο λεπτομερή μαθηματική περιγραφή της κυματικής συμπεριφοράς εξηγώντας έτσι τα πιο πολύπλοκα φαινόμενα όπως η περίθλαση. Η κυματική θεωρία του φωτός θεωρήθηκε ως μια από τις πιο επαναστατικές ιδέες στην ιστορία της οπτικής. Αυτή η θεωρία άνοιξε το δρόμο για νέες ανακαλύψεις και βελτιωμένη κατανόηση του φωτός.

Οι ιδέες του Huygens, επομένως, αποτέλεσαν τη βάση για την κυματική θεωρία του φωτός, η οποία ήταν μια σημαντική αλλαγή στον τρόπο σκέψης του πεδίου της οπτικής. Επιπλέον, η θεωρία του βοήθησε στην καλύτερη κατανόηση του φωτός και επίσης οδήγησε στην ανάπτυξη μελλοντικών θεωριών όπως ο Ηλεκτρομαγνητισμός από τον James Clerk Maxwell που συνδύασε το φως μαζί με ηλεκτρικά και μαγνητικά φαινόμενα και έθεσε τα θεμέλια για τη σύγχρονη φυσική. Λόγω της δημιουργικής του σκέψης και της αταλάντευτης υποστήριξης της κυματικής θεωρίας του φωτός, ο Huygens εμπλούτισε σημαντικά την ανάπτυξη της οπτικής επιστήμης, αντανakλώντας τη δυναμική της διαδικασίας σχηματισμού επιστημονικών θεωριών ως αποτέλεσμα νέων ευρημάτων και νέων απόψεων.

### 2.3 Η διαμάχη Newton-Huygens

Ο Newton και ο Huygens είχαν εντελώς διαφορετική ερμηνεία για τη φύση του φωτός, και αυτό δεν ήταν μόνο μια επιστημονική διαμάχη, αλλά και μια σύγκρουση δύο φιλοσοφικών και πειραματικών προσεγγίσεων. Ο Newton πίστευε ότι το φως ήταν φτιαγμένο από σωματίδια σύμφωνα με τη μηχανική του κοσμοθεωρία, η οποία είχε ως στόχο να αναγάγει όλα τα φαινόμενα σε σωματίδια ακολουθώντας τους φυσικούς νόμους. Αυτό συνέβη ιδιαίτερα επειδή αυτή η θεωρία ήταν σε θέση να παρέχει μια λογική εξήγηση σε ορισμένες οπτικές δραστηριότητες όπως η ανάκλαση και η διάθλαση μέσω της προβλέψιμης συμπεριφοράς του σωματιδίου (Khalikov Alimardon Sultanovich, 2023).

Ωστόσο, η κυματική θεωρία του Huygens είχε υποθέσει ότι το φως ήταν ένα κύμα που ταξιδεύει μέσω μιας υλικής ουσίας που ονομάζεται αιθέρας. Αυτή η άποψη βασίστηκε στην αναλογία με τα ηχητικά κύματα και τα κύματα νερού που ήταν γνωστά στον Huygens και σε άλλους επιστήμονες της εποχής του. Η προσέγγιση του Huygens στο να εξηγήσει πώς τα κύματα φωτός θα μπορούσαν να παρεμβαίνουν μεταξύ τους βασίστηκε στη μαθηματική μοντελοποίηση και στην κατασκευή του μετώπου κύματος: μια έννοια που η θεωρία των σωματιδίων δεν μπορούσε να εξηγήσει (Khalikov Alimardon Sultanovich, 2023).

Τα κύρια σημεία διαφοράς μεταξύ των δύο θεωριών ήταν η φύση του φωτός (σωματίδιο ή κύμα), πώς διαδίδεται το φως και πώς προκαλεί φαινόμενα όπως ανάκλαση, διάθλαση και περίθλαση. Η θεωρία του Newton υιοθετήθηκε πιο εύκολα επειδή μπορούσε να ενσωματωθεί ευκολότερα στο προϋπάρχον πλαίσιο μηχανικής φυσικής, με βάση την κοινή λογική των αντικειμένων που μοιάζουν με σωματίδια που κινούνται μέσα στο διάστημα. Ωστόσο, η αποδοχή της θεωρίας του Huygens καθυστέρησε για διάφορους λόγους, μεταξύ των οποίων

είναι ότι η ιδέα ενός παγκόσμιου αιθέρα ήταν πιο θολή και ήταν δύσκολο να παρασχεθούν συγκεκριμένα στοιχεία που να υποστηρίζουν την ύπαρξή του (Khalikov Alimardon Sultanovich, 2023).

Η διαφωνία Newton-Huygens ήταν μια σημαντική διαμάχη που επηρέασε την εξέλιξη της φυσικής, ειδικά στον τομέα της οπτικής. Οι υποστηρικτές του Newton στην επιστημονική κοινότητα εξασφάλισαν ότι η σωματιδιακή θεωρία παρέμεινε το ευρέως αποδεκτό μοντέλο της οπτικής για σχεδόν έναν αιώνα. Λόγω της εστίασής της στα σωματίδια, αυτή η θεωρία επηρέασε άλλους τομείς της φυσικής και συνέβαλε στην ανάπτυξη μοντέλων του φυσικού κόσμου με βάση τα σωματίδια, τα οποία περιλάμβαναν ακόμη και πρώιμες θεωρίες για τη θερμότητα και τον ηλεκτρισμό (Khalikov Alimardon Sultanovich, 2023).

Ωστόσο η αδυναμία της θεωρίας αυτής έγινε πιο εμφανής όταν εμφανίστηκαν νέα οπτικά φαινόμενα που η σωματιδιακή θεωρία δεν ήταν σε θέση να εξηγήσει. Αυτά τα φαινόμενα εξηγήθηκαν καλύτερα από την κυματική θεωρία, η οποία επέτρεπε επίσης την κυματική συμβολή και υπέρθεση.

Η επιμονή της κυματικής θεωρίας, παρά την αρχική της έλλειψη δημοτικότητας, ήταν καθοριστική για τη μετέπειτα ανάπτυξη του πεδίου της οπτικής κυμάτων. Η κυματική θεωρία παρείχε έναν πιο ακριβή τρόπο εξήγησης ορισμένων οπτικών φαινομένων, γι' αυτό αναβίωσε και αναγνωρίστηκε τον 19ο αιώνα με την υποστήριξη πειραμάτων από άλλους επιστήμονες, συμπεριλαμβανομένων των Thomas Young και Augustin Jean Fresnel.

Το γνωστό πλέον πείραμα του Young της διπλής σχισμής που πραγματοποιήθηκε το 1801 επιβεβαίωσε το γεγονός της συμβολής, η οποία θα μπορούσε να είναι δυνατή μόνο εάν το φως λειτουργούσε σαν κύμα (Ananthaswamy, 2023). Αυτό το έργο του Young επανέφερε τη θεωρία των κυμάτων στον επιστημονικό κόσμο αποδεικνύοντας ότι τα κύματα φωτός συνέβαλαν παράγοντας κροσσούς, οι οποίοι φαίνονται ως φωτεινές και σκοτεινές ζώνες σε μια οθόνη.

Ο Fresnel εμβάθυνε στη θεωρία των κυμάτων μέσω της μαθηματικής του μοντελοποίησης της διάδοσης των κυμάτων, ιδιαίτερα της εξήγησης της περίθλασης. Στη συνέχεια, ο Fresnel χρησιμοποίησε τις μαθηματικές αρχές της αρχής του Huygens για να καταλήξει σε θεωρητικές προβλέψεις και περιγραφές μοτίβων φωτός που παράγονται από διάφορα εμπόδια και ανοίγματα οι οποίες ήταν σύμφωνες με τις κυματικές ιδιότητες του φωτός και έτσι έδωσαν αξιοπιστία στην κυματική θεωρία στον τομέα της οπτικής (Thomas, 2024).

Μόνο στις αρχές του εικοστού αιώνα οι ιδέες του Newton και του Huygens συμβιβάστηκαν για να σχηματίσουν τη θεωρία της δυαδικότητας κυμάτων-σωματιδίων. Η τελική ολοκλήρωση των θεωριών των κυμάτων και των σωματιδίων ξεκίνησε από τους Max Planck και Albert Einstein. Σύμφωνα με τη κβαντική θεωρία του Planck για την ακτινοβολία του μέλανος σώματος και την εξήγηση του Αϊνστάιν για το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο, υποτέθηκε ότι το φως είχε διπλά χαρακτηριστικά με αποτέλεσμα να είναι ταυτόχρονα και σωματίδιο και κύμα.

Αυτή η δυαδικότητα εξηγήθηκε καλά στην κβαντική μηχανική, όπου σωματίδια όπως τα ηλεκτρόνια και τα φωτόνια βρέθηκαν να έχουν ταυτόχρονα χαρακτηριστικά κύματος και σωματιδίου. Η υπόθεση του Louis de Broglie για τα κύματα της ύλης επέκτεινε περαιτέρω αυτή τη δυαδικότητα σε όλη την ύλη, και συγκεκριμένα, δήλωσε ότι κάθε σωματίδιο έχει

κυματικά χαρακτηριστικά και κάθε κύμα μπορεί να έχει χαρακτηριστικά σωματιδίων (Chang, 2024).

Από τη διαφωνία μεταξύ του Newton και του Huygens υπάρχει η σύγχρονη έννοια της διττής φύσης του φωτός (σωματίδιο και κύμα). Οι δύο διαφορετικές θεωρίες που πρότειναν άνοιξαν το δρόμο για την κατανόηση της φύσης και των ποικίλων περιπλοκών της, γεννώντας την κβαντική μηχανική που είναι μια από τις πιο ακριβείς και επί του παρόντος αναγνωρισμένες θεωρίες στη φυσική.

Έτσι, η διαμάχη Newton-Huygens δεν ήταν απλά μια διαφωνία αλλά και μια πρόκληση για περαιτέρω μελέτη των ιδιοτήτων του φωτός και της φύσης του που άνοιξε τις πόρτες για περαιτέρω πρόοδο στον τομέα. Αυτό το συγκεκριμένο κεφάλαιο στην ιστορία της επιστήμης δείχνει επίσης ότι η νέα γνώση στην επιστήμη μπορεί να αποκτηθεί μόνο μέσω επιχειρημάτων και συζητήσεων και μέσω της συλλογής εμπειρικών δεδομένων προκειμένου να επιτευχθεί καλύτερη κατανόηση των φαινομένων στο σύμπαν.

## **2.4 Παιδαγωγική αξία των ιστορικών αντιπαραθέσεων στην εκπαίδευση των Φυσικών Επιστημών**

Η ενσωμάτωση αυτών των ιστορικών αντιπαραθέσεων όπως η διαμάχη Newton-Huygens είναι σημαντική για την ενίσχυση της διδασκαλίας και της εκμάθησης των φυσικών επιστημών. Εκτείνεται πέρα από το να αναφέρει απλώς στους μαθητές/ήτριες κάτι για την ιστορία της επιστήμης και τις έννοιές της καθώς τους διδάσκει για την επιστημονική μέθοδο (Bragaetal., 2010). Η μελέτη ιστορικών πλαισίων αποκαλύπτει πώς η επιστημονική γνώση παράγεται και μετασχηματίζεται με την πάροδο του χρόνου, γι' αυτό είναι σημαντικό να κατανοήσουμε ότι η επιστήμη δεν είναι μια συλλογή γεγονότων παγωμένα στο χρόνο αλλά μια συνεχής διαδικασία μάθησης, επιχειρηματολογίας, προσαρμογής και μερικές φορές απόρριψης (Bragaetal., 2010).

Στις προηγούμενες ενότητες η παρούσα εργασία έχει τονίσει τη σημασία της χρήσης ιστορικών αντιπαραθέσεων για τη διδασκαλία της επιστήμης και το κύριο πλεονέκτημα αυτής της προσέγγισης είναι η προώθηση των δεξιοτήτων κριτικής σκέψης. Με αυτόν τον τρόπο, οι μαθητές/ήτριες είναι σε θέση να αναλύσουν τα επιχειρήματα που διατύπωσαν οι Newton και Huygens για να υποστηρίξουν τις θεωρίες τους και να αξιολογήσουν κριτικά τα πλεονεκτήματα κάθε επιχειρήματος. Αυτή η άσκηση είναι ωφέλιμη για να κατανοήσουν πως η επιστημονική σκέψη δεν είναι μια απλή διαδικασία αλλά συμβάλλει σημαντικά στη διαμόρφωση της επιστημονικής γνώσης (Bragaetal., 2010).

Επιπλέον, οι ιστορικές συζητήσεις αποκαλύπτουν ότι υπάρχει ένα στοιχείο απρόβλεπτου και μάθησης στη διαδικασία διεξαγωγής επιστημονικής έρευνας. Οι μαθητές/ήτριες κατανοούν επίσης ότι η επιστήμη δεν είναι μια συστηματική οικοδόμηση γνώσης μέσω γεγονότων αλλά μέσω αμφισβήτησης, πειραματισμού και επιχειρηματολογίας. Αυτή η κατανόηση μπορεί να βοηθήσει στη μείωση του μυστηρίου της επιστήμης μεταξύ των μαθητών/τριών και, ως εκ τούτου, να κάνει την επιστήμη ευκολότερη και λιγότερο τρομακτική γι' αυτούς, βλέποντας μεγάλους επιστήμονες, συμπεριλαμβανομένων των Newton και Galileo, ως μαθητές/ήτριες και μερικές φορές ως επαναστάτες (Mutanen, 2013).

## 2.5 Η διαμάχη Newton-Huygens ως διδακτικό εργαλείο

Η διαμάχη Newton-Huygens μπορεί να χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικά στη διδακτική διαδικασία ως βάση για μια ενότητα, «Τι είναι το φως;» Θα πρέπει να ζητηθεί από τους μαθητές/ήτριες να συγκρίνουν τις δύο θεωρίες χρησιμοποιώντας αποσπάσματα από τα έργα *Opticks* του Newton και *Treatise on Light* του Huygens για το φως. Αυτό μπορεί να ακολουθηθεί από πρακτική σύνδεση ορισμένων από τα ιστορικά πειράματα που υποστήριξαν καθεμία από τις προτεινόμενες θεωρίες. Για παράδειγμα, οι μαθητές/ήτριες μπορούν να επαναλάβουν το πείραμα του πρίσματος του Newton για να δουν πώς διαθλάται το φως και, χρησιμοποιώντας δεξαμενές κυμάτων να επιδείξουν την παρεμβολή κυμάτων και να τη συσχετίσουν με τις περιγραφές του Huygens.

Αυτή η προσέγγιση βοηθά επίσης τους μαθητές/ήτριες να εργαστούν με τα ιστορικά γεγονότα και τα πειραματικά δεδομένα από πρώτο χέρι και να βρουν τις δικές τους θεωρίες με βάση τα αποτελέσματα του δικού τους πειράματος. Βοηθά επίσης τους μαθητές/ήτριες να εκτιμήσουν τη διαδικασία ανάπτυξης των επιστημονικών θεωριών και τις αλλαγές που γίνονται σε αυτές όταν έρχονται νέα στοιχεία.

Μια ακόμη εκπαιδευτική προσέγγιση είναι η χρήση ιστορικών διαμαχών ως δραστηριότητες που βασίζονται σε προβλήματα. Για παράδειγμα, οι δάσκαλοι θα μπορούσαν να δώσουν στους μαθητές/ήτριες μια μελέτη όπου οι μαθητές/ήτριες χωρίζονται σε δύο ομάδες και πρέπει να πάρουν θέση στη συζήτηση Newton vs Huygens, λαμβάνοντας υπόψη ορισμένα πειραματικά δεδομένα. Στη συνέχεια, οι μαθητές/ήτριες θα μπορούσαν να κληθούν να σχεδιάσουν ένα πείραμα που θα μπορούσε να βοηθήσει στην επίλυση της διαμάχης αν είχε πραγματοποιηθεί κατά την περίοδο της τεχνολογικής προόδου του 17ου και 18ου αιώνα.

Αυτοί οι τύποι ασκήσεων όχι μόνο ενισχύουν τις έννοιες που μαθαίνονται αλλά βελτιώνουν επίσης τις ικανότητες κριτικής σκέψης των μαθητών/τριών (Vincent-Lancrin, 2021). Καταλαβαίνουν επίσης πώς να συλλογίζονται και να καταλήγουν σε νέες ιδέες, έχοντας επίγνωση του πώς η έλλειψη γνώσης και τεχνολογίας επηρέασε τις θεωρίες που διατυπώνονταν (Anderson & Krathwohl, 2001; Heering & Höttecke, 2013).

Έτσι, το ιστορικό υπόβαθρο της διαμάχης Newton-Huygens μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αντιμετώπιση και άλλων θεμάτων, συμπεριλαμβανομένης της επιστημονικής μεθόδου και της ηθικής της έρευνας. Έτσι, οι μαθητές/ήτριες θα είναι σε θέση να προσδιορίσουν πώς παράγοντες όπως οι δικές τους προκαταλήψεις και οι προτιμήσεις της επιστημονικής κοινότητας θα μπορούσαν να έχουν επηρεάσει τη θεώρηση της σωματιδιακής θεωρίας ως καλύτερη από την κυματική θεωρία κατά την εποχή του Newton. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε συζήτηση μεταξύ των μελών της επιστημονικής κοινότητας, καθώς και του τρόπου με τον οποίο εγκρίνονται και γίνονται αποδεκτές οι νέες ιδέες εντός της κοινότητας και εάν υπάρχουν ηθικοί παράγοντες που μπορεί να προκύψουν από τέτοιες συζητήσεις.

Επιπλέον, οι μαθητές/ήτριες μπορούν να ανακαλύψουν πώς οι κοινωνικοί, φιλοσοφικοί και τεχνολογικοί παράγοντες επηρεάζουν την επιστήμη ως πτυχή της γενικής κουλτούρας. Η επιστήμη δεν είναι μια μεμονωμένη οντότητα αλλά ένα μέρος του πολιτισμού. Αυτό επιτρέπει στο θέμα να εφαρμοστεί πιο άμεσα σε ζητήματα που αντιμετωπίζουν οι μαθητές/ήτριες στην καθημερινή τους ζωή και τους επιτρέπει να εξετάσουν πώς θέματα όπως η υπερθέρμανση του πλανήτη ή η γενετική μηχανική επηρεάζονται από παρόμοιους παράγοντες.



Για παράδειγμα, η εστίαση σε ιστορικές διαμάχες, όπως η διαμάχη Newton-Huygens στη διδασκαλία και τη μάθηση της επιστήμης, παρουσιάζει έναν πιο περίπλοκο τρόπο διδασκαλίας που δεν περιορίζεται στην πραγματική μάθηση. Είναι μια διαδικασία μάθησης που εμπλέκει τους μαθητές/ήτριες στην επιστημονική ανακάλυψη, προωθεί τη λογική και ευαισθητοποιεί τους μαθητές/ήτριες για τις κοινωνικές και ανθρώπινες επιπτώσεις της επιστήμης. Μέσα από τη μελέτη της ιστορίας των επιστημονικών ιδεών, θα μπορέσουν να κατανοήσουν και να αναγνωρίσουν πως η επιστήμη είναι μια συνεχής διαδικασία και πως επηρεάζει την κοινωνία. Όχι μόνο μαθαίνουν για την ιστορία της Επιστήμης και τις θεωρίες της, αλλά έχουν επίσης την ευκαιρία να γίνουν μέρος της τρέχουσας και μελλοντικής επιστήμης και τεχνολογίας.

## 2.6 Προκλήσεις και προβληματισμοί

Υπάρχουν πολλές σκέψεις σχετικά με τον τρόπο εφαρμογής ιστορικών αντιπαραθέσεων στο αναλυτικό πρόγραμμα εκπαίδευσης της σύγχρονης επιστήμης. Το πρώτο πρόβλημα είναι ο χρονικός περιορισμός που είναι εγγενής στο εκπαιδευτικό περιβάλλον. Τα αναλυτικά προγράμματα εκπαίδευσης στις φυσικές επιστήμες τείνουν να είναι εξαιρετικά περιεκτικά απαιτώντας από τους μαθητές/ήτριες να μάθουν μεγάλο αριθμό εννοιών και θεωριών, καθώς και δεξιότητες επίλυσης προβλημάτων (Matthews, 2015). Οι ιστορικές διαμάχες απαιτούν επίσης περισσότερο χρόνο για επεξεργασία και ανάλυση, κάτι που μπορεί να μην είναι πάντα εφικτό στο πλαίσιο ενός κανονικού προγράμματος μαθημάτων. Οι δάσκαλοι έχουν την ευθύνη να μεταδώσουν γνώσεις σχετικά με τα επιστημονικά δεδομένα που είναι απαραίτητα για τον μαθητή, όπως ορίζονται στο πρόγραμμα σπουδών, ενώ ταυτόχρονα πρέπει να δώσουν στον μαθητή μια εικόνα της ιστορίας.

Ένα άλλο πρόβλημα είναι το πώς να διδαχθεί συχνά το μάλλον πολύπλοκο περιεχόμενο ιστορικών συζητήσεων όπως η διαμάχη Newton-Huygens. Τέτοιες συζητήσεις προϋποθέτουν ότι οι συνομιλητές έχουν κάποια γνώση της ιστορίας της επιστήμης και των επιστημονικών γεγονότων και θεωριών που συζητούνται. Για παράδειγμα, για να έχουν την πλήρη εικόνα της διαμάχης του Newton και του Huygens, οι μαθητές/ήτριες θα έπρεπε να γνωρίζουν τις θεμελιώδεις έννοιες της οπτικής, της φυσικής και πιθανώς ακόμη και της φιλοσοφίας. Αυτό συμβαίνει επειδή οι δάσκαλοι πρέπει να σχεδιάζουν και να παραδίδουν μαθήματα που να περιλαμβάνουν πληροφορίες ιστορικού πλαισίου και επιστημονικές έννοιες με απλό και κατανοητό τρόπο (Matthews, 2015). Πρέπει να αποφύγουν να αφήσουν το ιστορικό πλαίσιο να βαλτώσει τις θεμελιώδεις επιστημονικές ιδέες που εξετάζονται.

Επιπλέον, η ενσωμάτωση ιστορικών αντιπαραθέσεων είναι ένα λεπτό θέμα που βασίζεται σε καλά σχεδιασμένο πρόγραμμα σπουδών και ποιοτικούς διδακτικούς πόρους που μπορεί να μην είναι πάντα εύκολα προσβάσιμοι (Matthews, 2015). Οι δάσκαλοι από την άλλη μπορεί να απαιτούν περαιτέρω εκπαίδευση και πόρους για μαθήματα που συνοδεύονται από ιστορικό πλαίσιο μαζί με το επιστημονικό. Αυτό μπορεί να αποτελέσει πρόκληση, ειδικά σε σχολεία που διαθέτουν λίγους πόρους ή όπου δίνεται έμφαση στην παροχή στους μαθητές/ήτριες πιο παραδοσιακών και συμβατικών γνώσεων και στην προετοιμασία τους για τυποποιημένες δοκιμασίες.

Ωστόσο, υπάρχει ο κίνδυνος ιστορικών παρανοήσεων ή υπεραπλουστευμένων απόψεων της επιστήμης ή της ιστορίας να προβληθούν ως γεγονότα (Hötteckeetal., 2010). Οι

συζητήσεις εντός των ιστορικών επιστημών είναι σπάνια «ασπρόμαυρες» και μπορούν να επηρεαστούν από τις συνθήκες της δεδομένης ιστορικής περιόδου, συμπεριλαμβανομένων των φιλοσοφικών παραδειγμάτων και των τεχνολογικών δυνατοτήτων. Όταν τέτοιες συζητήσεις παρουσιάζονται με απλουστευμένο τρόπο για σκοπούς εκπαίδευσης, η πιθανότητα παραποίησης των επιστημονικών εννοιών ή των απόψεων ιστορικών προσώπων είναι υψηλή.

Για παράδειγμα, η εξήγηση της διαμάχης Newton-Huygens για τη φύση του φωτός στους μαθητές/ήτριες ως προς τα σωματίδια και τα κύματα μπορεί να τους κάνει να αγνοήσουν το γεγονός ότι ο Newton και ο Huygens είχαν διαφορετικά συστήματα φιλοσοφίας και μεθοδολογίας. Μια τέτοια απλούστευση μπορεί να οδηγήσει στη διαστρέβλωση της εικόνας της επιστημονικής έρευνας και στην ανάπτυξη νέων εννοιών στην επιστημονική κοινότητα. Θα μπορούσε να αφήσει στους μαθητές/ήτριες την αίσθηση ότι η επιστήμη είναι μια διαρκώς εξελισσόμενη διαδικασία και όχι μια σειρά βημάτων που οδηγούν στην αποκάλυψη της αλήθειας.

Ένας άλλος παράγοντας κινδύνου είναι η πιθανότητα αναχρονισμού, όταν κάποιος μπορεί να χρησιμοποιήσει τις σημερινές έννοιες για να αξιολογήσει τις προηγούμενες έννοιες και γνώσεις (Hötteckeetal., 2010). Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε ένα είδος προκατάληψης σύμφωνα με την οποία οι επιστήμονες και οι θεωρίες τους του παρελθόντος μπορούν να επικριθούν άδικα ή ακόμη και να απορριφθούν ως άκυρες απλώς και μόνο επειδή εργάστηκαν σε διαφορετικό πρότυπο και με διαφορετικούς πόρους. Ως εκ τούτου, οι ιστορικοί και οι εκπαιδευτικοί πρέπει να διασφαλίσουν ότι το υλικό είναι κατάλληλα διαμορφωμένο ώστε να μην δίνεται στους αναγνώστες η εντύπωση ότι οι θεωρίες του παρελθόντος ήταν απλώς εσφαλμένες.

Επιπλέον, υπάρχει ο κίνδυνος να είναι αντιπαραγωγικό και απλώς να επιβεβαιώνει κάποιες λανθασμένες αντιλήψεις για την επιστήμη (Hötteckeetal., 2010). Εάν οι διαμάχες δεν εξηγούνται σωστά, οι μαθητές/ήτριες μπορεί να αναπτύξουν μια λανθασμένη αντίληψη ότι όλες οι επιστημονικές διαμάχες σχετίζονται με κάποιο τρόπο με προσωπικά συμφέροντα ή παρεμβάσεις αντί να κατανοήσουν την επιστημονική διαδικασία που ακολουθεί τη διατύπωση τέτοιων διαφορών. Αυτή η ασυμφωνία θα μπορούσε να οδηγήσει τους μαθητές/ήτριες να αμφιβάλλουν για την αποτελεσματικότητα της επιστήμης στην αποκάλυψη γεγονότων για το φυσικό σύμπαν, διαβρώνοντας έτσι την εμπιστοσύνη τους στο θέμα.

Για να ενσωματωθούν αποτελεσματικά οι ιστορικές διαμάχες στην επιστημονική εκπαίδευση και έτσι να ελαχιστοποιηθούν αυτές οι ανησυχίες, οι δάσκαλοι και οι σχεδιαστές προγραμμάτων σπουδών θα πρέπει να προχωρήσουν μεθοδικά. Αυτό απαιτεί μεγάλη προσοχή ώστε το περιεχόμενο της ιστορίας να σχετίζεται και να ενισχύει την επιστημονική γνώση που μαθαίνουν οι μαθητές/ήτριες. Για το σκοπό αυτό, οι εκπαιδευτικοί θα πρέπει να καταβάλουν προσπάθειες για να παρουσιάσουν τις ιστορικές επιστημονικές διαμάχες με τρόπο που να αντικατοπτρίζει τις δύο όψεις του ίδιου νομίσματος.

Τα προγράμματα επαγγελματικής ανάπτυξης μπορούν να βοηθήσουν τους εκπαιδευτικούς να αποκτήσουν τις απαιτούμενες γνώσεις για την ιστορία της επιστήμης και τις μεθόδους διδασκαλίας που μπορούν να βοηθήσουν στη διαχείριση του απαιτητικού περιεχομένου του ιστορικού επιστημονικού αντικειμένου. Επιπλέον, θα πρέπει να γίνει προσπάθεια παραγωγής εκπαιδευτικού υλικού για την ενίσχυση αυτών των πρωτοβουλιών

ώστε να εξηγηθούν οι επιστημονικές αρχές, η ιστορία των γεγονότων και η σχέση μεταξύ των δύο.

Συμπερασματικά, είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι ενώ η διαδικασία ενσωμάτωσης ιστορικών αντιπαραθέσεων στα μαθήματα των θετικών επιστημών έχει τις δυσκολίες και τα πιθανά προβλήματα της, αυτά τα ζητήματα μπορούν να αντιμετωπιστούν αποτελεσματικά με υπεύθυνες και καλά μελετημένες προσεγγίσεις στη διδασκαλία. Τα πλεονεκτήματα της εφαρμογής μιας τέτοιας προσέγγισης όσον αφορά την ενίσχυση της αντίληψης των μαθητών/τριών για την επιστήμη ως μια συνεχή διαδικασία, υπερτερούν των δυσκολιών που πρέπει να αντιμετωπιστούν για την επίτευξη αυτού του στόχου.

## 2.7 Ανασκόπηση πρόσφατης έρευνας για τις ιστορικές προσεγγίσεις στην εκπαίδευση

Η τρέχουσα βιβλιογραφία για την εκπαίδευση των Φυσικών Επιστημών έχει επίσης αποκαλύψει ότι η χρήση ιστορικών προσεγγίσεων στη διδασκαλία έχει αποδειχθεί ευεργετική. Αυτή η τάση δείχνει ότι όλο και περισσότερα ιδρύματα αναγνωρίζουν τη σημασία της έκθεσης των μαθητών/τριών σε ιστορίες της επιστήμης για να τους βοηθήσει να κατανοήσουν τον χαρακτήρα της επιστημονικής έρευνας καθώς και τη διαδικασία οικοδόμησης της επιστημονικής γνώσης με την πάροδο του χρόνου. Η έρευνα σε αυτόν τον τομέα έχει εξετάσει διάφορες πτυχές των ιστορικών προσεγγίσεων, όπως η αποτελεσματικότητά της στη διδασκαλία του περιεχομένου, καθώς και η ανάπτυξη της κριτικής σκέψης και το ενδιαφέρον και τα κίνητρα των μαθητών/τριών (Höttecke et al., 2010).

Ένας άλλος τομέας ενδιαφέροντος στην τρέχουσα έρευνα είναι να αναλύσει πώς η ιστορία μπορεί να χρησιμεύσει ως εργαλείο για την επίδειξη της επαναληπτικής και, κατά καιρούς, ακατάστατης φύσης της επιστημονικής προόδου (Höttecke et al., 2010). Άλλες μελέτες έχουν επικεντρωθεί στην ανάλυση ορισμένων ιστορικών γεγονότων, όπως για παράδειγμα της σύγκρουσης Newton – Huygens που προσπαθεί να κάνει η παρούσα μελέτη, για να δείξουν πώς αναπτύσσονται οι επιστημονικές ιδέες μέσω πειραμάτων, συζητήσεων και συλλογής στοιχείων (Heering & Höttecke, 2013). Αυτές οι μελέτες συχνά περιστρέφονται γύρω από τις δυνατότητες των ιστορικών αφηγήσεων να εξανθρωπίσουν την επιστήμη και, επομένως, να την κάνουν λιγότερο αποθαρρυντική για τους αναγνώστες, παρουσιάζοντας τους επιστήμονες ως απλούς ανθρώπους που είναι διστακτικοί, και μερικές φορές κάνουν και λάθος.

Μια άλλη τάση είναι μία διευρυμένη προσέγγιση η οποία συνδυάζει τρεις βασικές γνωστικές περιοχές: την Ιστορία, τη Φιλοσοφία και την Επιστήμη (HPS) (Vos, 2021). Αυτό σημαίνει ότι οι μαθητές και οι ερευνητές μπορούν να κατανοήσουν βαθύτερα την επιστημονική γνώση, εξετάζοντάς την όχι μόνο ως σύνολο τεχνικών δεδομένων, αλλά και μέσω του ιστορικού της πλαισίου και των φιλοσοφικών θεμελίων της. Αυτή η προσέγγιση είναι περισσότερο γνωσιολογική, καθώς στοχεύει στην ενίσχυση της κατανόησης των μαθητών/τριών για το τι είναι η επιστήμη και πώς οικοδομείται και αιτιολογείται η γνώση στην επιστήμη.

Ωστόσο, πρόσφατες μελέτες που έχουν διεξαχθεί για τον προσδιορισμό του αντίκτυπου των ιστορικών προσεγγίσεων στην εκπαίδευση των Φυσικών Επιστημών ήταν θετικές (Heering&Cavicchi, 2020; Vosniadou, 2019; Alisir&Irez, 2020). Πολλοί ερευνητές έχουν υποδείξει ότι όταν παρέχονται στους μαθητές/ήτριες πληροφορίες σχετικά με την ιστορική

ανάπτυξη των επιστημονικών εννοιών, ενισχύεται η κατανόηση των εννοιών καθώς και η διαδικασία της επιστημονικής μελέτης. Για παράδειγμα, έχει διαπιστωθεί ότι οι περιπτώσιολογικές μελέτες που προέρχονται από την ιστορία μπορούν να βοηθήσουν τους μαθητές/ήτριες να αποκτήσουν μια καλύτερη προοπτική σχετικά με τη σημασία των επιστημονικών εννοιών και θεωριών και τις εφαρμογές ή τις αντιπαραθέσεις τους στην πραγματική επιστημονική πρακτική (Heering&Cavicchi, 2020).

Έτσι, οι ιστορικές προσεγγίσεις είναι γνωστό ότι βελτιώνουν σημαντικά το επίπεδο εμπλοκής των μαθητών/τριών. Αυτό το άρθρο υποστηρίζει ότι η οπτική γωνία του ανθρώπινου ενδιαφέροντος που συνοδεύει την ιστορία μπορεί να βοηθήσει στην εμπλοκή των μαθητών/τριών περισσότερο από ό,τι μέσω άλλων συμβατικών μορφών διδασκαλίας, όπως η άμεση επεξήγηση των εννοιών. Αυτός ο τύπος δέσμευσης δεν είναι μόνο πολύτιμος για την απόκτηση συγκεκριμένων γνώσεων περιεχομένου, αλλά και για την καλλιέργεια μακροπρόθεσμου ενδιαφέροντος για την επιστήμη (Heering&Cavicchi, 2020).

Επιπλέον, η έρευνα έχει επίσης απεικονίσει ότι οι ιστορικές προσεγγίσεις που υιοθετούνται στη διδασκαλία και τη μάθηση ενισχύουν τις θετικές στάσεις μεταξύ των μαθητών/τριών σχετικά με την επιστήμη. Έτσι, οι μαθητές/ήτριες μπορεί να πιστεύουν ότι η επιστήμη είναι πιο κατανοητή και πραγματική όταν μπορούν να δουν ότι η επιστήμη είναι μια διαδικασία ανθρώπινης δραστηριότητας, παρά ένα σύνολο προτάσεων που απέχουν αρκετά από τις ζωές των ανθρώπων. Αυτό θα μπορούσε να βοηθήσει τους ανθρώπους να κατανοήσουν την επιστήμη με απλούστερο τρόπο και μπορεί να κάνει την επιστήμη να φαίνεται λιγότερο τρομακτική, προσελκύοντας έτσι περισσότερους μαθητές/ήτριες, συμπεριλαμβανομένων εκείνων που παραδοσιακά δεν επιλέγουν μαθήματα επιστήμης (Vincent-Lancrin, 2021).

Οι ακόλουθες συστάσεις γίνονται με βάση την τρέχουσα μελέτη και μπορεί να είναι χρήσιμες σε εκπαιδευτικούς που επιθυμούν να ενσωματώσουν ιστορικά παραδείγματα στην πρακτική τους και διδασκαλία τους στην τάξη (Höttecke, Henke και Riess, 2010). Πρώτα απ' όλα, είναι κρίσιμο για τους εκπαιδευτικούς να επιλέγουν ιστορικά γεγονότα, τα οποία σχετίζονται στενά με τις επιστημονικές έννοιες που καλύπτονται στην τάξη. Η σειρά δεν πρέπει να έχει μόνο ιστορικό υπόβαθρο αλλά και να σχετίζεται με τους παρόντες μαθησιακούς στόχους των μαθητών/τριών (Matthews, 2015). Για παράδειγμα, η διαμάχη Newton-Huygens θα μπορούσε να ενσωματωθεί στη διδασκαλία του φωτός και της οπτικής, δίνοντας έτσι στους μαθητές/ήτριες ουσιαστικές πληροφορίες για τα θέματα.

Δεύτερον, οι εκπαιδευτικοί πρέπει να διασφαλίσουν ότι η ιστορική γνώση δεν παρουσιάζεται με τρόπο «λαμβάνω και αφομοιώνω», αλλά με τρόπο που ενθαρρύνει τους μαθητές/ήτριες να κάνουν ερωτήσεις και να σκέφτονται κριτικά. Για το σκοπό αυτό, αντί να παρουσιάζουν απλώς γεγονότα, οι δάσκαλοι θα πρέπει να διασφαλίζουν ότι οι μαθητές/ήτριες είναι σε θέση να συζητούν τους λόγους, τα επιχειρήματα και τα στοιχεία που παρουσιάζονται από ιστορικά πρόσωπα κατά τη διάρκεια όσων μπορούν να αναφέρονται ως επιστημονικές διαμάχες (Heering & Höttecke, 2013). Αυτή η προσέγγιση μπορεί να βοηθήσει τους μαθητές/ήτριες να καλλιεργήσουν σημαντικές δεξιότητες που είναι ζωτικής σημασίας για την παιδεία στην επιστήμη, για παράδειγμα, την αξιολόγηση της αξιοπιστίας των πηγών και τη δημιουργία επιχειρημάτων με βάση στοιχεία (Mutanen, 2013; Höttecke, Henke, & Riess, 2010).

Τρίτον, για να ενισχυθεί η αποτελεσματικότητα των ιστορικών προσεγγίσεων, οι εκπαιδευτικοί θα πρέπει να εξετάσουν το ενδεχόμενο χρήσης μιας ποικιλίας μεθόδων διδασκαλίας, συμπεριλαμβανομένης της ανάλυσης πρωτογενών πηγών, του παιχνιδιού ρόλων και των συζητήσεων. Αυτές οι ενεργητικές στρατηγικές μάθησης μπορούν να κάνουν το ιστορικό περιεχόμενο πιο ελκυστικό και αξέχαστο στους μαθητές/ήτριες (Höttecke, Henke, & Riess, 2010). Για παράδειγμα, το παιχνίδι ρόλων διαφορετικών ιστορικών προσώπων που συμμετέχουν στη συζήτηση Newton-Huygens μπορεί να παρέχει στους μαθητές/ήτριες πληροφορίες για την επιστημονική διαδικασία και τα ανθρώπινα στοιχεία που την επηρεάζουν (Heering & Höttecke, 2013)..

Τέλος, οι εκπαιδευτικοί θα πρέπει να επιδιώξουν να ενσωματώσουν συζητήσεις σχετικά με τη φύση της επιστημονικής γνώσης και μεθόδου στη χρήση των ιστορικών προσεγγίσεων (Vincent-Lancrin, 2021). Αυτή η ενσωμάτωση μπορεί να βοηθήσει τους μαθητές/ήτριες να εκτιμήσουν τα ευρύτερα επιστημολογικά μαθήματα της μελέτης της ιστορίας της επιστήμης, όπως η κατανόηση του τρόπου με τον οποίο η επιστημονική γνώση κατασκευάζεται, επικυρώνεται και μερικές φορές αναθεωρείται (Braga, Guerra, & Reis, 2010).

Συμπερασματικά, η πρόσφατη έρευνα υποστηρίζει την ενσωμάτωση ιστορικών προσεγγίσεων στην εκπαίδευση των Φυσικών Επιστημών ως μέσο για την ενίσχυση της κατανόησης του περιεχομένου, της δέσμευσης των μαθητών/τριών και των στάσεων απέναντι στην επιστήμη (Heering & Cavicchi, 2020). Ακολουθώντας αυτές τις συστάσεις, οι εκπαιδευτικοί μπορούν να αξιοποιήσουν αποτελεσματικότερα τις παιδαγωγικές δυνατότητες των ιστορικών γεγονότων για να εμπλουτίσουν τη διδασκαλία των φυσικών επιστημών και να προετοιμάσουν καλύτερα τους μαθητές/ήτριες για ενεργό συμμετοχή στην επιστημονική κοινότητα (Alisir & Irez, 2020).

## Κεφάλαιο 3: Σχεδιασμός του Εκπαιδευτικού Υλικού της εργασίας

### 3.1 Ερευνητικά Ερωτήματα

Παρακάτω παρουσιάζονται τα ερευνητικά ερωτήματα της μελέτης, καθένα από τα οποία έχει δημιουργηθεί για να αξιολογήσει διακριτές διαστάσεις του εκπαιδευτικού αντίκτυπου της διδακτικής παρέμβασης στη διαμάχη Newton-Huygens. Ο κοινός σκοπός αυτών των ερευνητικών ερωτημάτων είναι να διερευνήσουν πώς η παρέμβαση επηρεάζει την κατανόηση των επιστημονικών εννοιών από τους μαθητές/ήτριες και τις αντιλήψεις τους για τη φύση και την αξία της επιστημονικής έρευνας.

- Πώς εξελίσσεται η κατανόηση των μαθητών/τριών για το φως και τις ιστορικές φιγούρες ως αποτέλεσμα της παρέμβασης;
- Πώς η παρέμβαση επηρεάζει την κατανόηση των Επιστημονικών Εννοιών από τους μαθητές/ήτριες;
- Πώς επηρεάζει η παρέμβαση την αντίληψη των μαθητών/τριών για την επιστήμη;
- Τι επίδραση έχει η παρέμβαση στις προσδοκίες και το ενδιαφέρον των μαθητών/τριών για την επιστήμη;

Το κάθε ερευνητικό ερώτημα συνεισφέρει στην αξιολόγηση του βαθμού στον οποίο η διδακτική παρέμβαση έχει ενισχύσει τις γνώσεις και τις στάσεις των μαθητών/τριών στους παραπάνω τομείς.

### 3.2 Σκοπός της Έρευνας

Σκοπός αυτής της έρευνας είναι να αξιολογήσει την αποτελεσματικότητα μιας εκπαιδευτικής παρέμβασης που ενσωματώνει την ιστορική διαμάχη μεταξύ του Issac Newton και του Christiaan Huygens στη διδασκαλία των θεωριών του φωτός στα μαθήματα επιστήμης της Δευτέρας Λυκείου. Συγκεκριμένα, η μελέτη στοχεύει να προσδιορίσει πώς αυτό το ιστορικό πλαίσιο επηρεάζει την κατανόηση των μαθητών/τριών για περίπλοκες επιστημονικές έννοιες όπως η δυαδικότητα κυμάτων-σωματιδίων, ενισχύει τις δεξιότητες κριτικής σκέψης τους και διαμορφώνει τη στάση τους απέναντι στην επιστήμη ως δυναμικό και εξελισσόμενο επιστημονικό κλάδο.

### 3.3. Μεθοδολογία Έρευνας

Η έρευνα χρησιμοποιεί έναν πειραματικό σχεδιασμό που περιλαμβάνει αξιολογήσεις πριν και μετά την διδακτική παρέμβαση. Αυτός ο σχεδιασμός επιτρέπει την εξέταση των αλλαγών στις γνώσεις, τις ικανότητες κριτικής σκέψης και τις στάσεις των μαθητών/τριών απέναντι στην επιστήμη πριν και μετά την εκπαιδευτική παρέμβαση.

### 3.4 Χρονική περίοδος διεξαγωγής της έρευνας

Η έρευνα διεξήχθη σε 12 εβδομάδες το έτος 2024 καθώς η ερευνήτρια επιθυμούσε να διαθέτει επαρκή χρόνο για προγραμματισμό, παράδοση παρέμβασης, συλλογή δεδομένων και ανάλυση. Η ίδια η παρέμβαση διήρκησε μία εβδομάδα, με τρεις δίωρες συνεδρίες. Οι αξιολογήσεις «πριν από την παρέμβαση» πραγματοποιήθηκαν μία εβδομάδα πριν από την παρέμβαση και οι αξιολογήσεις «μετά την παρέμβαση» πραγματοποιήθηκαν αμέσως μετά την τελευταία συνεδρία.

### 3.5 Είδος της Έρευνας

Αυτή η μελέτη έχει σχεδιαστεί ως εφαρμοσμένη έρευνα, χρησιμοποιώντας μια πειραματική μεθοδολογία για την άμεση αξιολόγηση των πρακτικών αποτελεσμάτων μιας εκπαιδευτικής στρατηγικής. Η έρευνα είναι ποσοτικής φύσης δηλαδή αναλύει τις αλλαγές στις απαντήσεις των μαθητών/τριών σε στοιχεία δομημένου ερωτηματολογίου. Αυτή η προσέγγιση θα επιτρέψει μια ολοκληρωμένη ανάλυση του αντίκτυπου της παρέμβασης στα μαθησιακά αποτελέσματα και τις αντιλήψεις των μαθητών/τριών.

### 3.6 Δειγματοληψία

Στη μελέτη συμμετείχαν μαθητές/ήτριες από μια τάξη φυσικών επιστημών Δευτέρας Λυκείου. Συγκεκριμένα, 30 μαθητές/ήτριες συμμετείχαν για να εξασφαλίσουν ένα διαχειρίσιμο αλλά επαρκές μέγεθος δείγματος για στατιστική ανάλυση. Οι συμμετέχοντες επιλέχθηκαν βάσει δειγματοληψίας ευκολίας από το ίδιο εκπαιδευτικό ίδρυμα για τη διατήρηση της συνέπειας στο εκπαιδευτικό υπόβαθρο και την έκθεση.

### 3.7 Μέσα Συλλογής Δεδομένων

Εκπαιδευτικό Υλικό: Περιλαμβάνει λεπτομερή σχέδια μαθήματος, πόρους πολυμέσων, διαδραστικές προσομοιώσεις και πρακτικές πειραματικές ρυθμίσεις σχεδιασμένες για την παρέμβαση Newton-Huygens.

Ερωτηματολόγια: Χρησιμοποιήθηκαν δύο σετ ερωτηματολογίων (Παράρτημα):

- Ερωτηματολόγιο πριν από το μάθημα: Αξιολόγηση βασικών γνώσεων και στάσεων σχετικά με τη φύση του φωτός, τις επιστημονικές θεωρίες και τις αντιλήψεις της επιστήμης.
- Ερωτηματολόγιο μετά το μάθημα: Παρόμοιο με την έκδοση πριν από το μάθημα, αλλά περιλαμβάνει πρόσθετες ερωτήσεις που αξιολογούν τη διατήρηση και το βάθος της γνώσης που αποκτήθηκε, καθώς και τις αλλαγές στις στάσεις και τις δεξιότητες κριτικής σκέψης.

### 3.8 Περιορισμοί της Έρευνας

Η μελέτη αντιμετώπισε περιορισμούς όπως η πιθανή μεροληψία των αυτοαναφερόμενων δεδομένων, η επίδραση εξωτερικών μεταβλητών που δεν ελέγχονται σε ένα περιβάλλον τάξης (συγκεκριμένα κάποιοι μαθητές/ήτριες προσπάθησαν να αντιγράψουν

τις απαντήσεις από συμμαθητές/ήτριες τους) και το περιορισμένο μέγεθος δείγματος που μπορεί να επηρεάσει τη γενίκευση των ευρημάτων.

### 3.9 Δεοντολογία Έρευνας

Όλοι οι συμμετέχοντες ενημερώθηκαν για το σκοπό της μελέτης και ελήφθη ενημερωμένη συγκατάθεση από τους μαθητές/ήτριες και τους κηδεμόνες τους. Η συμμετοχή ήταν εθελοντική, με διαβεβαιώσεις ότι η μη συμμετοχή ή η αποχώρηση από τη μελέτη δεν θα επηρεάσει την ακαδημαϊκή τους υπόσταση.

### 3.10 Ανάλυση Δεδομένων

Η ακόλουθη ενότητα περιγράφει τον ερευνητικό σχεδιασμό της διαδικασίας ανάλυσης που χρησιμοποιήθηκε σε αυτή τη μελέτη για την αξιολόγηση της εκπαιδευτικής βελτίωσης της διδακτικής παρέμβασης στη διαμάχη Newton-Huygens. Συνολικά, 30 μαθητές/ήτριες συμμετείχαν στη μελέτη. Όλοι συμπλήρωσαν τα 2 τυποποιημένα ερωτηματολόγια πριν και μετά την παρέμβαση. Αυτή η προσέγγιση επιτρέπει μια ολοκληρωμένη αξιολόγηση του πώς η παρέμβαση επηρέασε τις γνώσεις και τις στάσεις των μαθητών/τριών σε διάφορες διαστάσεις της επιστημονικής μάθησης.

Η συλλογή δεδομένων και η ανάλυση της επίδρασης της διδακτικής παρέμβασης στις γνώσεις και τις αντιλήψεις των μαθητών/τριών θα γίνει με τη χρήση ποσοτικών μεθόδων έρευνας. Η κατανόηση και οι αλλαγές συμπεριφοράς κάθε μαθητή αξιολογούνται μέσω μιας σειράς ερωτήσεων κλειστού τύπου που χωρίζονται σε τέσσερις διακριτές διαστάσεις: Ανάλογα με τις ομάδες, οι κατηγορίες είναι: Φωτεινές και Ιστορικές Φιγούρες (Light and Historical Figures - LHF), Επιστημονικές Έννοιες (Scientific Concepts - SC), Αντίληψη της Επιστήμης (Perception of Science - PS), και Προσδοκίες και Ενδιαφέρον για την Επιστήμη (Expectations and Interest in Science - EIS). Όλες οι διαστάσεις αποτελούνται από πέντε ερωτήσεις και κάθε ερώτηση έχει μία σωστή, ή τουλάχιστον προτιμώμενη, απάντηση. Οι απαντήσεις των μαθητών/τριών σημειώνονται για να καταλήξουν στη συνολική και διαστατική βαθμολογία γνώσης και αντίληψης, όπου κάθε σωστή απάντηση μετράει στη συνολική βαθμολογία της αντίστοιχης διάστασης και έως πέντε βαθμούς ανά διάσταση και είκοσι βαθμούς συνολικά.

Αρχικά, υπολογίστηκαν τα βασικά περιγραφικά στατιστικά στοιχεία τόσο για τις απαντήσεις πριν όσο και μετά το μάθημα όλων των διαστάσεων και τα αποτελέσματα παρουσιάστηκαν σε γραφήματα πίτας. Στη συνέχεια, για κάθε διάσταση, υπολογίζονται οι μέσοι όροι των βαθμολογιών και για τους 30 μαθητές/ήτριες, ο οποίος δίνει μια μέση βαθμολογία πριν και μετά την παρέμβαση για καθεμία από τις τέσσερις διαστάσεις και μια συνολική μέση βαθμολογία. Αυτή η διαδικασία επιτρέπει τη σύγκριση των μέσων βαθμολογιών πριν και μετά την εκπαιδευτική παρέμβαση για κάθε διάσταση ειδικότερα, κάτι που βοηθάει στην εκτίμηση του αντίκτυπου της διδακτικής παρέμβασης. Για την περαιτέρω αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας της παρέμβασης ως προς τη μάθηση των μαθητών/τριών και την αλλαγή αντίληψης σχετικά με το περιεχόμενο και τους στόχους της μελέτης, πραγματοποιούνται t-test ζευγαρωμένων δειγμάτων για την ανάλυση της μέσης διαφοράς μεταξύ των βαθμολογιών πριν και μετά την παρέμβαση. Αυτή η μέθοδος εγγυάται ότι τα αποτελέσματα της παρέμβασης στις γνώσεις και τις στάσεις των μαθητών/τριών

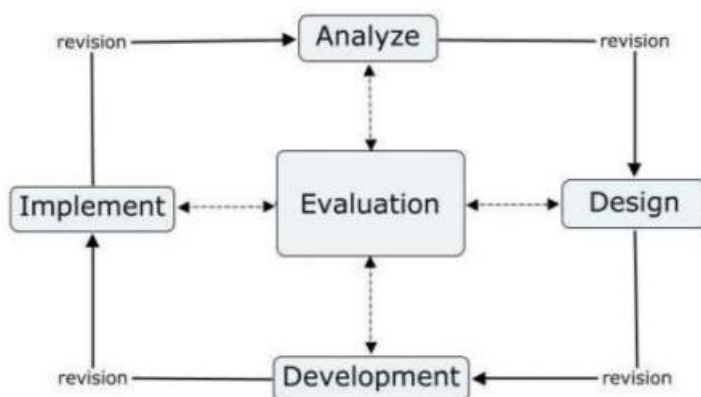


απέναντι στις στοχευμένες εκπαιδευτικές πτυχές αξιολογούνται με συγκεκριμένο και ακριβή τρόπο.

### 3.11 Μοντέλα σχεδιασμού και ανάπτυξης διδακτικού υλικού

Σύμφωνα με τους Σοφός et al. (2015:65-68), το εκπαιδευτικό μοντέλο σχεδιασμού των Dick & Carey είναι ένα ευρέως αναγνωρισμένο και ευρέως χρησιμοποιούμενο συστημικό μοντέλο στον τομέα της εκπαίδευσης. Αυτό το μοντέλο αποτελείται από δέκα βήματα που πρέπει να ακολουθηθούν κατά το σχεδιασμό μιας εκπαιδευτικής παρέμβασης. Στο πλαίσιο αυτής της μεθοδολογίας, το έβδομο βήμα συνεπάγεται την ανάπτυξη και επιλογή εκπαιδευτικού υλικού, που αναφέρεται ως ΕΥ. Αυτό το βήμα θα πρέπει να περιλαμβάνει και να λαμβάνει υπόψη όλα τα στοιχεία από τα προηγούμενα βήματα, και συγκεκριμένα: (α) Identify Instructional Goals (προσδιορισμό εκπαιδευτικών στόχων), (β) Conduct Instructional Analysis (Διεξαγωγή διδακτικής ανάλυσης), (γ) Analyze Learners and Contexts (Ανάλυση σε Μαθητές/ήτριες και περιβάλλοντα), (δ) Write Performance Objectives (καθορισμός στόχων απόδοσης), (ε) Develop Assessment Instruments (Ανάπτυξη εργαλείων αξιολόγησης) και (στ) Develop Instructional Strategy (Χάραξη εκπαιδευτικής στρατηγικής). Οι τρεις τελευταίες διαδικασίες περιλαμβάνουν (η) Design and Conduct Formative Evaluation (Σχεδιασμός και Διεξαγωγή Διαμορφωτικής αξιολόγησης), (θ) Revise Instruction (Αναθεώρηση της Οδηγίας) και (ι) Design and Conduct Summative Evaluation (Σχεδιασμός και Διεξαγωγή Αθροιστικής Εκτίμησης).

Ένα άλλο ευρέως χρησιμοποιούμενο μοντέλο, γνωστό ως ADDIE, ακολουθεί μια παρόμοια ακολουθία διαδικασιών, οι οποίες αντιπροσωπεύονται από τα ρήματα Analyze, Design, Develop, Implement και Evaluate (Kurt, 2017). Τα ρήματα αυτά αφορούν ενέργειες που σχετίζονται με την οργάνωση μιας εκπαιδευτικής παρέμβασης, ειδικά στο πλαίσιο της εκπαίδευσης των πρώτων χρόνων. Η κρίσιμη φάση αυτού του μοντέλου είναι η ανάλυση των αναγκών των μαθητών/τριών.



Εικόνα 1: Το Μοντέλο ADDIE (Kurt, 2017)

Ωστόσο, ο στόχος αυτού του έργου δεν ήταν να αναπτύξει μια ολοκληρωμένη εκπαιδευτική παρέμβαση ειδικά σχεδιασμένη για έναν συγκεκριμένο οργανισμό, στοχευμένη σε μια καλά καθορισμένη ομάδα μαθητών/τριών με γνωστές απαιτήσεις και προηγούμενες

εμπειρίες έτσι ώστε με την ενσωμάτωση πληροφοριών και εμπειριών, να μπορεί να αναπτυχθεί ΕΥ ακολουθώντας τα συγκεκριμένα στάδια που περιγράφονται στο μοντέλο. Η ανάπτυξη εκπαιδευτικών διαδραστικών υλικών που είναι προσαρμόσιμα και μπορούν να χρησιμοποιηθούν στη σύγχρονη εκπαίδευση, είτε μόνα τους είτε ως συμπληρωματικά, ανάλογα με το συγκεκριμένο περιβάλλον στο οποίο χρησιμοποιούνται ήταν ο κύριος στόχος αυτής της μελέτης.

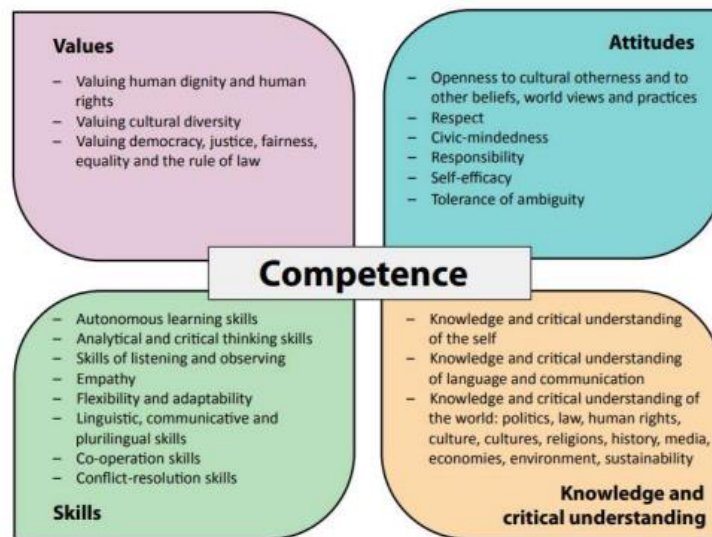
Ως τυπική υπόθεση για το σχεδιασμό αυτού του εκπαιδευτικού προγράμματος, λάβαμε υπόψη ότι το κοινό που απευθύνεται αποτελείται από μαθητές/ήτριες που έχουν ολοκληρώσει επιτυχώς το Γυμνάσιο. Αυτό σημαίνει ότι έχουν γενικά αποκτήσει ένα ευρύ φάσμα μαθησιακών στόχων, που περιλαμβάνουν γνώσεις, δεξιότητες και στάσεις που καλύπτονται σε αυτό το στάδιο. Αφού λάβουμε υπόψη αυτές τις βασικές εξηγήσεις, θα εξετάσουμε στη συνέχεια το εκπαιδευτικό πλαίσιο του σχεδιασμού του ΕΥ της παρούσας μελέτης.

### **3.12 Εκπαιδευτικό Πλαίσιο**

#### **3.12.1 Πλαίσιο φιλοσοφίας και στόχων**

Η Διακήρυξη του Incheon, που εγκρίθηκε από την UNESCO το 2015, εισήγαγε το Πρόγραμμα Δράσης «Εκπαίδευση 2030». Αυτό το πρόγραμμα ορίζει την ποιοτική εκπαίδευση, τόσο σε επίπεδο σχολείου όσο και σε επίπεδο δια βίου μάθησης, ως εκπαίδευση που προωθεί τη δημιουργικότητα και τη γνώση διασφαλίζοντας παράλληλα την απόκτηση θεμελιωδών γραμματικών και αριθμητικών δεξιοτήτων, καθώς και προηγμένες γνωστικές, διαπροσωπικές και κοινωνικές δεξιότητες απαραίτητες για την επίλυση προβλημάτων και την ανάλυση. Επιπλέον, προωθεί την απόκτηση ικανοτήτων, αρχών και νοοτροπιών που ενδυναμώνουν τα άτομα να οδηγούνται σε υγιείς και ευχάριστους τρόπους ζωής, να κάνουν καλά ενημερωμένες επιλογές και να αντιμετωπίζουν αποτελεσματικά τόσο τοπικά όσο και παγκόσμια εμπόδια.

Το Συμβούλιο της Ευρώπης (Council of Europe, 2018) έχει αναπτύξει ένα σύνολο αρχών και κατευθυντήριων γραμμών που ονομάζονται «Ποιοτική Εκπαίδευση στην Ιστορία στον 21ο αιώνα» ως μέρος ενός σχεδίου δράσης. Αυτές οι αρχές και οι κατευθυντήριες γραμμές σκιαγραφούν τους στόχους για την προώθηση μιας δημοκρατικής κουλτούρας (Εικόνα 2). Οι αρχές και τα πρότυπα υποστηρίζουν ιδανικά όπως η ανθρώπινη αξιοπρέπεια, τα ανθρώπινα δικαιώματα, η πολιτιστική πολυμορφία, η δημοκρατία, η δικαιοσύνη, η ισότητα και το κράτος δικαίου.



Εικόνα 2: Στόχοι για μια δημοκρατική κουλτούρα (Council of Europe, 2018)

Οι επιθυμητές στάσεις σε αυτό το πλαίσιο περιλαμβάνουν την προθυμία να ενσωματωθεί η πολιτισμική ποικιλομορφία, συμπεριλαμβανομένων των απόψεων, των προοπτικών και των εθίμων των άλλων. Οι επιθυμητές δεξιότητες περιλαμβάνουν αυτοκατευθυνόμενη μάθηση, αναλυτική και διακριτική σκέψη, προσεκτική ακρόαση και παρατήρηση, ενσυναίσθηση και ευελιξία, επάρκεια στη γλώσσα και την επικοινωνία, πολυγλωσσικές ικανότητες, καθώς και δεξιότητες συνεργασίας και επίλυσης συγκρούσεων. Τελικά, η επιδίωξη της γνώσης και της κριτικής κατανόησης περιλαμβάνει διάφορες πτυχές όπως η πολιτική, η νομοθεσία, τα ανθρώπινα δικαιώματα, ο πολιτισμός, οι θρησκείες, οι ιστορίες, τα μέσα ενημέρωσης, η οικονομία, το περιβάλλον και η βιωσιμότητα.

Το παρόν ΕΥ διατυπώνεται με βάση ένα πλαίσιο φιλοσοφίας, αρχών και στόχων. Ενσωματώνει επίσης τους έξι πυλώνες μάθησης της UNESCO για τον 21ο αιώνα, οι οποίοι περιλαμβάνουν «μαθαίνω να υπάρχω», «μαθαίνοντας να κάνω», «μαθαίνω να ζούμε μαζί βιώσιμα», «μαθαίνω να γνωρίζω», «μαθαίνω να δίνω» και «μαθαίνω να μετασχηματίζω τον εαυτό μου και την κοινωνία». Επιπλέον, ενσωματώνει τις 10 δεξιότητες (10Cs) για τον 21ο αιώνα με υποστήριξη ΤΠΕ, οι οποίες περιλαμβάνουν «κριτική σκέψη», «κριτική συνείδηση», «διασύνδεση και δικτύωση», «δημιουργικότητα και καινοτομία», «συνεργασία», «επικοινωνία», «κριτική σκέψη και επίλυση προβλημάτων», «οικοδόμηση γνώσεων», «συνυπευθυνότητα» και «διαπολιτισμικές δεξιότητες». Αυτές οι δεξιότητες εντοπίστηκαν από τον Μακράκη, αν και το μοντέλο του δεν εφαρμόστηκε άμεσα (Makrakis et al., 2016).

### 3.12.2 Πλαίσιο θεωριών μάθησης

Ο σχεδιασμός του ΕΥ ενσωμάτωσε στοιχεία από θεμελιώδεις παιδαγωγικές προσεγγίσεις και τις συνοδευτικές θεωρίες μάθησης. Τα ακόλουθα είναι τα πιο σημαντικά:

α) Στοιχεία του θεωριών του Συμπεριφορισμού

Η μέθοδος του συμπεριφορισμού είναι εμφανής:

- στη ρητή άρθρωση των στόχων και των αναμενόμενων μαθησιακών αποτελεσμάτων, βασιζόμενη στην ενημερωμένη ταξινόμηση του Bloom

(Anderson & Krathwohl, 2001). Αυτή η προσέγγιση, κοινή με τις γνωστικές θεωρίες, έχει ενισχυθεί από τη μοναδική τους οπτική.

- Στη γραμμική οργάνωση και δομή των πληροφοριών στην ΕΥ δεν είναι υποχρεωτική ή περιοριστική για τον εκπαιδευόμενο, εφόσον έχει την ελευθερία να περιηγηθεί σε αυτήν σύμφωνα με τις προτιμήσεις του.
- Όταν παρουσιάζεται περιεχόμενο που σχετίζεται με ιστορικά γεγονότα που είναι ευρέως αποδεκτά και δεν επιδέχονται ερμηνεία.
- Όταν δίνει ανατροφοδότηση στις διαδραστικές δραστηριότητες αυτής της παρουσίασης, καθώς και στις δραστηριότητες αυτοαξιολόγησης, επιτρέπεται στον εκπαιδευόμενο να κάνει λάθη και να μαθαίνει από αυτά.
- Επειδή τα χαρακτηριστικά παιχνιδιού (παιχνιδοποίηση) περιλαμβάνουν θετική και αρνητική ενίσχυση, ανταγωνισμό, προκαθορισμένη διαδρομή και αποστολές, κουίζ με κλειστές ερωτήσεις και αντίστοιχη ανατροφοδότηση.

#### β) Στοιχεία των Γνωστικών θεωριών

Οι γνωστικές θεωρίες είναι εμφανείς με τους εξής τρόπους:

- οι αρχές της Θεωρίας Πολυμεσικής Μάθησης εφαρμόζονται στο ΕΥ, αντλώντας από ερευνητικά ευρήματα από διάφορες γνωστικές θεωρίες,
- οι δραστηριότητες έχουν σχεδιαστεί για να δημιουργήσουν συνδέσεις με προϋπάρχουσα γνώση
- οι δραστηριότητες έχουν σχεδιαστεί για να αναπτύξουν και να αξιοποιήσουν τις μεταγνωστικές ικανότητες του μαθητή.

#### γ) Συστατικά των θεωριών του κοινωνικού κονστрукτιβισμού

Οι θεωρίες που έχουν τις ρίζες τους στον κοινωνικό κονστрукτιβισμό τονίζουν τις εξής βασικές πτυχές:

- την ενεργό συμμετοχή του μαθητή στη μαθησιακή διαδικασία και την ικανότητά του να ελέγχουν τον ρυθμό της μάθησης
- τη σημασία των αλληλεπιδράσεων μεταξύ μαθητών/τριών και εκπαιδευτικών, καθώς και μεταξύ των ίδιων των μαθητών/τριών, που διευκολύνεται από εργαλεία όπως φόρουμ και πλατφόρμες συνομιλίας. Αυτές οι αλληλεπιδράσεις προάγουν τη συνεργατική κατασκευή της γνώσης και την ανάπτυξη κοινών κατανοήσεων και ερμηνειών. Η εφαρμογή που χρησιμοποιήθηκε είναι το Slack, μια ευέλικτη πλατφόρμα επικοινωνίας που υποστηρίζει τόσο τη σύγχρονη όσο και την ασύγχρονη αλληλεπίδραση. Το Slack ρυθμίστηκε για τη δημιουργία αποκλειστικών καναλιών για διαφορετικές πτυχές της παρέμβασης, όπως ξεχωριστά κανάλια για συζητήσεις σχετικά με τις θεωρίες του Newton, τις θεωρίες του Huygens, τις πειραματικές παρατηρήσεις και γενικά ερωτήματα. Αυτή η ρύθμιση επιτρέπει στους μαθητές/ήτριες να συμμετέχουν σε συζητήσεις για συγκεκριμένο θέμα, να μοιράζονται πόρους και να βελτιώνουν συνεργατικά την κατανόησή τους για τις επιστημονικές έννοιες. Η ερευνήτρια συμμετείχε ενεργά καθοδηγώντας συζητήσεις, διευκρινίζοντας αμφιβολίες και παρέχοντας ανατροφοδότηση, όλα μέσα στο περιβάλλον του Slack. Επιπλέον, η ικανότητα του Slack να ενσωματώνεται με άλλα εργαλεία, όπως το Google Drive για κοινή

χρήση εγγράφων και το YouTube για τη διάδοση εκπαιδευτικών βίντεο, το καθιστά ένα ολοκληρωμένο εργαλείο για την προώθηση ενός δυναμικού και διαδραστικού περιβάλλοντος μάθησης. Αυτή η προσέγγιση όχι μόνο υποστηρίζει τους εκπαιδευτικούς στόχους της εμβάθυνσης της επιστημονικής κατανόησης, αλλά επίσης ενισχύει τον ψηφιακό γραμματισμό και τις δεξιότητες ομαδικής εργασίας μεταξύ των μαθητών/τριών.

- η βιωματική μάθηση περιλαμβάνει τη συμμετοχή σε μια διαδικασία έρευνας-ανακάλυψης σε ένα πραγματικό περιβάλλον, όπως η διεξαγωγή πειραμάτων παρατήρησης παρόμοια με αυτά που πραγματοποιήθηκαν αρχικά από ιστορικά πρόσωπα όπως ο Isaac Newton και ο Christiaan Huygens. Για να ενσωματωθεί αποτελεσματικά αυτό στη διδακτική παρέμβαση, οι μαθητές/ήτρίες συμμετείχαν σε αναδημιουργημένα πειράματα που μιμούνται εκείνα που διεξήγαγαν οι Newton και Huygens κατά την εξερεύνηση των θεωριών του φωτός. Για παράδειγμα, οι μαθητές/ήτρίες χρησιμοποίησαν πρίσματα για να χωρίσουν το φως σε φάσματα, μιμούμενοι τα πειράματα πρίσματος του Newton ή να δημιουργήσουν δεξαμενές κυμάτων (που θα εξηγηθούν παρακάτω) για να οπτικοποιήσουν την παρεμβολή και τη διάθλαση κυμάτων, αντανακλώντας το έργο του Huygens στη θεωρία κυμάτων.
- η συνεργατική μάθηση δίνει έμφαση όταν οι εκπαιδευόμενοι συνεργάζονται ή συμμετέχουν μαζί στο παιχνίδι. Στην παρούσα μελέτη, η συνεργατική μάθηση δομήθηκε γύρω από ένα ομαδικό έργο όπου οι μαθητές/ήτρίες δημιουργούν από κοινού ένα φυσικό μοντέλο που απεικονίζει τις αρχές είτε της σωματιδιακής θεωρίας του Newton είτε της κυματικής θεωρίας του φωτός του Huygens. Σε κάθε ομάδα ανατέθηκε μία θεωρία για διερεύνηση και παρουσίαση. Οι μαθητές/ήτρίες συνεργάστηκαν για να ερευνήσουν τη θεωρία που τους έχει ανατεθεί, να σχεδιάσουν πειράματα ή προσομοιώσεις για να επιδείξουν βασικές έννοιες και να προετοιμάσουν μια παρουσίαση που εξηγεί πώς η θεωρία τους αντιμετωπίζει συγκεκριμένα φαινόμενα φωτός όπως διάθλαση, ανάκλαση ή διασπορά. Αυτό το έργο ενθαρρύνει τους μαθητές/ήτρίες να ασχοληθούν σε βάθος με το υλικό, βασιζόμενοι στις δυνάμεις και τις γνώσεις του άλλου για να οικοδομήσουν μια ολοκληρωμένη κατανόηση της θεωρίας. Ως συνεργατική προσπάθεια, τονίζει τη σημασία της ομαδικής εργασίας, της επικοινωνίας και της συλλογικής επίλυσης προβλημάτων, παρέχοντας στους μαθητές/ήτρίες την ευκαιρία να συμμετέχουν ενεργά στη μαθησιακή διαδικασία και να εφαρμόζουν επιστημονικές έννοιες σε ένα συλλογικό περιβάλλον. Οι τελικές παρουσιάσεις μοιράστηκαν με την τάξη σε μια συνεδρία όπου οι μαθητές/ήτρίες ενθαρρύνονταν από την ερευνήτρια να ασκήσουν κριτική και να συζητήσουν τα ευρήματα κάθε ομάδας, ενισχύοντας περαιτέρω τη μάθηση μέσω της αλληλεπίδρασης με τους συνομηλίκους.
- δραστηριότητες που ενθαρρύνουν τους μαθητές/ήτρίες να συνδέσουν νέες πληροφορίες με τις δικές τους εμπειρίες και να τις εφαρμόσουν στη ζωή τους είναι επίσης σημαντικές. Συγκεκριμένα, η δραστηριότητα για τη σύνδεση νέων πληροφοριών με τις εμπειρίες των μαθητών/τριών ονομάστηκε «Εξερεύνηση φαινομένων φωτός του πραγματικού κόσμου». Σε αυτή τη δραστηριότητα, οι μαθητές/ήτρίες είχαν την αποστολή να εντοπίσουν και να αναλύσουν

καθημερινά περιστατικά συμπεριφοράς φωτός, όπως ουράνια τόξα, σχέδια που δημιουργούνται από το φως που περνά μέσα από ανάγλυφο γυαλί ή το λύγισμα από ένα καλαμάκι σε ένα ποτήρι νερό λόγω διάθλασης. Κάθε μαθητής ή ομάδα επέλεξε ένα φαινόμενο για διερεύνηση, ερευνώντας τις βασικές αρχές του φωτός (σωματίδιο ή κύμα) που εξηγούν το περιστατικό και στη συνέχεια παρουσιάζοντας τα ευρήματά τους στην τάξη. Αυτή η προσέγγιση όχι μόνο βοηθά τους μαθητές/ήτριες να εφαρμόσουν επιστημονικές έννοιες από την παρέμβαση σε σενάρια πραγματικού κόσμου, αλλά επίσης τους ενθαρρύνει να δουν το καθημερινό τους περιβάλλον μέσα από το πρίσμα της επιστημονικής έρευνας. Συσχετίζοντας αφηρημένες επιστημονικές ιδέες με γνωστές εμπειρίες, οι μαθητές/ήτριες είναι πιο πιθανό να εσωτερικεύσουν και να εκτιμήσουν τη συνάφεια των ιστορικών επιστημονικών συζητήσεων και τις σύγχρονες επιπτώσεις τους, ενισχύοντας τόσο την κατανόηση όσο και το ενδιαφέρον τους για το θέμα.

### **3.12.3 Αξονες περιεχομένου και διδακτική στρατηγική**

Οι Σοφός et al. (2015) αναφέρουν ότι οι Smith & Ragan (2004) βλέπουν την εκπαιδευτική στρατηγική ως ένα σύστημα ενεργειών που στοχεύουν στην επίτευξη συγκεκριμένων μαθησιακών αποτελεσμάτων. Ο Branch (2009) το ορίζει ως την οργάνωση και τη σειρά των μαθησιακών δραστηριοτήτων. Οι Jonassen, Grabinger και Harris (1990) το περιγράφουν ως σχέδιο για την επίτευξη των επιθυμητών αποτελεσμάτων. Οι Dick, Carey και Carey (2009) κάνουν διάκριση μεταξύ του μακρο-επίπεδου, που αφορά τη συνολική οργάνωση και δομή μιας παρέμβασης, και του μικρο-επίπεδου, το οποίο αφορά τις τακτικές και τις μαθησιακές δραστηριότητες για μεμονωμένους στόχους.

Υπό το φως αυτών των θεμελιωδών προοπτικών, η εκπαιδευτική παρέμβαση που σχεδιάστηκε για να διερευνήσει τη διαμάχη Newton-Huygens μέσα από το φακό των διαφορετικών θεωριών τους για το φως παρέχει μια πρακτική εφαρμογή αυτών των θεωρητικών πλαισίων. Αυτή η παρέμβαση ευθυγραμμίζεται στρατηγικά με την έννοια του Branch (2009) για την οργάνωση και την αλληλουχία των μαθησιακών δραστηριοτήτων, δομώντας το περιεχόμενο σε τρεις προοδευτικές συνεδρίες που στηρίζουν την κατανόηση των μαθητών/τριών από τις βασικές έννοιες έως τις πιο σύνθετες εφαρμογές. Κάθε συνεδρία έχει σχεδιαστεί για να βασίζεται στην προηγούμενη, ξεκινώντας με μια εισαγωγή στους Newton και Huygens, προχωρώντας σε λεπτομερείς συζητήσεις των θεωριών τους και καταλήγοντας σε μια κριτική ανάλυση των συνεπειών τους στη σύγχρονη επιστήμη.

Επιπλέον, η παρέμβαση ακολουθεί τη διαφοροποίηση των Dick, Carey και Carey (2009) μεταξύ μακρο και μικροεπίπεδων του εκπαιδευτικού σχεδιασμού. Σε μακροεπίπεδο, η συνολική δομή σχεδιάζεται να δημιουργήσει πρώτα μια ιστορική και εννοιολογική βάση πριν εμπλακεί οι μαθητές/ήτριες σε βαθύτερη ανάλυση και συζήτηση. Αυτό διασφαλίζει ότι οι μαθητές/ήτριες όχι μόνο είναι εξοπλισμένοι με πραγματικές γνώσεις, αλλά είναι επίσης προετοιμασμένοι να ασχοληθούν κριτικά με το υλικό. Σε μικροεπίπεδο, χρησιμοποιούνται ειδικές μαθησιακές δραστηριότητες, όπως διαδραστικές επιδείξεις, συζητήσεις με παιχνίδια ρόλων και ομαδικές συζητήσεις για τη στόχευση μεμονωμένων μαθησιακών στόχων που σχετίζονται με την κατανόηση της δυαδικότητας κύματος-σωματιδίου του φωτός και την ανάπτυξη δεξιοτήτων στην επιστημονική επιχειρηματολογία.

Αυτή η στρατηγική προσέγγιση υποστηρίζεται από τον ορισμό των Jonassen, Grabinger και Harris (1990) για μια εκπαιδευτική στρατηγική ως ένα σχέδιο για την επίτευξη των επιθυμητών αποτελεσμάτων. Σε αυτή την περίπτωση, τα επιθυμητά αποτελέσματα είναι η ενίσχυση της κατανόησης των επιστημονικών εννοιών και της ιστορικής τους εξέλιξης από τους μαθητές/ήτριες, η βελτίωση των δεξιοτήτων κριτικής σκέψης και η αλλαγή των αντιλήψεων για τη φύση της επιστημονικής εργασίας. Οι δραστηριότητες κάθε συνεδρίας επιλέγονται προσεκτικά και σχεδιάζονται για να οδηγήσουν τους μαθητές/ήτριες σε αυτά τα αποτελέσματα, ενθαρρύνοντας μια πιο λεπτή κατανόηση του τρόπου με τον οποίο εξελίσσονται οι επιστημονικές θεωρίες και του ρόλου της επιστημονικής συζήτησης στην προώθηση της γνώσης.

Για να μετρηθεί αποτελεσματικά ο αντίκτυπος αυτής της εκπαιδευτικής στρατηγικής, η παρέμβαση περιλαμβάνει ερωτηματολόγια (φύλλα εργασίας) πριν και μετά το μάθημα, προσαρμοσμένα για την αξιολόγηση των αλλαγών στις γνώσεις και τις στάσεις των μαθητών/τριών. Αυτή η μεθοδολογική επιλογή αντανακλά την τήρηση μιας συστηματικής προσέγγισης της εκπαιδευτικής στρατηγικής, διασφαλίζοντας ότι η αποτελεσματικότητα των διδακτικών παρεμβάσεων μπορεί να αξιολογηθεί έναντι συγκεκριμένων μαθησιακών αποτελεσμάτων όπως αρχικά σκιαγραφήθηκαν από τους Smith & Ragan (2004).

### **3.12.4 Οι πυλώνες στήριξης του σχεδιασμού του EY**

Ο σχεδιασμός του εκπαιδευτικού υλικού, ειδικά για μια σύνθετη παρέμβαση όπως η παρούσα που διερευνά τη διαμάχη Newton-Huygens, βασίζεται σε αρκετούς κρίσιμους υποστηρικτικούς πυλώνες που διασφαλίζουν την αποτελεσματικότητα και την εκπαιδευτική του ακεραιότητα. Αυτοί οι πυλώνες περιλαμβάνουν:

1. Ευθυγράμμιση με Μαθησιακούς Στόχους: Το εκπαιδευτικό υλικό πρέπει να είναι στενά ευθυγραμμισμένο με τους συγκεκριμένους μαθησιακούς στόχους της παρέμβασης. Αυτό σημαίνει ότι κάθε κομμάτι περιεχομένου, δραστηριότητας και εργαλείο αξιολόγησης έχει σχεδιαστεί για να συμβάλλει άμεσα στην επίτευξη των επιθυμητών εκπαιδευτικών αποτελεσμάτων, όπως η κατανόηση επιστημονικών εννοιών, η ανάπτυξη δεξιοτήτων κριτικής σκέψης και ο επηρεασμός των στάσεων απέναντι στην επιστήμη.

2. Διαχείριση Γνωστικού Φορτίου: Το αποτελεσματικό εκπαιδευτικό υλικό έχει σχεδιαστεί για τη σωστή διαχείριση του γνωστικού φορτίου. Αυτό περιλαμβάνει την οργάνωση πληροφοριών και δραστηριοτήτων με τρόπο που καθιστά προσιτές τις σύνθετες ιδέες χωρίς να βομβαρδίζονται οι μαθητές/ήτριες. Η χρήση τμηματοποιημένων, προοδευτικών ενοτήτων μάθησης βοηθά τους μαθητές/ήτριες να απορροφούν και να ενσωματώνουν τη γνώση πιο αποτελεσματικά χτίζοντας σε αυτά που ήδη γνωρίζουν χωρίς να υπερβαίνουν τη γνωστική τους ικανότητα φόρτισης.

3. Δέσμευση και κίνητρο: Για να διατηρηθεί η συμμετοχή των μαθητών/τριών, το εκπαιδευτικό υλικό πρέπει να είναι ενδιαφέρον και σχετικό. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί μέσω της συμπερίληψης διαδραστικών στοιχείων, εφαρμογών πραγματικού κόσμου και ευκαιριών για ενεργή συμμετοχή. Τα παιχνίδια ρόλων, οι συζητήσεις και τα πρακτικά πειράματα είναι παραδείγματα στρατηγικών που αυξάνουν τη δέσμευση κάνοντας τη μάθηση πιο δυναμική και συμμετοχική.

4. Διαφοροποίηση και Προσβασιμότητα: Τα υλικά θα πρέπει να καλύπτουν ποικίλα στυλ μάθησης, ικανότητες και υπόβαθρα. Η διαφοροποίηση μπορεί να περιλαμβάνει την παροχή πολλαπλών μορφών παράδοσης περιεχομένου (κείμενο, βίντεο, διαδραστικές προσομοιώσεις) και ποικίλα επίπεδα πολυπλοκότητας για την υποδοχή διαφορετικών μαθητών/τριών. Η διασφάλιση της προσβασιμότητας περιλαμβάνει την εξέταση μαθητών/τριών με ιδιαιτερότητες όπως μαθητές/ήτριες που δε γνωρίζουν την ελληνική γλώσσα.

5. Ανατροφοδότηση και Αξιολόγηση: Το αποτελεσματικό εκπαιδευτικό υλικό ενσωματώνει μηχανισμούς για συνεχή αξιολόγηση και ανατροφοδότηση. Αυτό επιτρέπει τόσο στους μαθητές/ήτριες όσο και στους καθηγητές να μετρούν συνεχώς την κατανόηση και να προσαρμόζουν τη διαδρομή μάθησης όπως απαιτείται. Οι καλά σχεδιασμένες αξιολογήσεις συμβάλλουν στην ενίσχυση της μάθησης και παρέχουν πληροφορίες για την πρόοδο και τις παρανοήσεις των μαθητών/τριών, διευκολύνοντας την έγκαιρη παρέμβαση όπου χρειάζεται.

6. Επιστημονική Ακρίβεια: Ιδιαίτερα στην εκπαίδευση των φυσικών επιστημών, είναι σημαντικό όλο το περιεχόμενο να αντικατοπτρίζει την πιο πρόσφατη επιστημονική κατανόηση και να παρουσιάζεται με ακρίβεια. Αυτό περιλαμβάνει τακτικές ενημερώσεις και αναθεωρήσεις του εκπαιδευτικού υλικού για να ενσωματωθούν οι πιο πρόσφατες επιστημονικές ανακαλύψεις και συναίνεση, διασφαλίζοντας ότι οι μαθητές/ήτριες λαμβάνουν μια σύγχρονη εκπαίδευση βασισμένη στην τελευταία έρευνα.

7. Ένταξη Θεωρητικής και Πρακτικής Γνώσης: Τα υλικά δεν πρέπει μόνο να παρέχουν θεωρητική γνώση αλλά και να δείχνουν πώς αυτές οι θεωρίες μπορούν να εφαρμοστούν σε πρακτικά σενάρια. Αυτή η ενοποίηση βοηθά στη σταθεροποίηση αφηρημένων εννοιών επιδεικνύοντας τις επιπτώσεις και τις εφαρμογές τους στον πραγματικό κόσμο, ενισχύοντας τη βαθύτερη μάθηση και διατήρηση.

8. Πολιτιστική και Ηθική Ευαισθησία: Κατά τη σχεδίαση εκπαιδευτικού υλικού, είναι σημαντικό να ληφθούν υπόψη οι πολιτιστικές και ηθικές συνέπειες για να διασφαλιστεί ότι το περιεχόμενο περιλαμβάνει πολιτισμικά και δεν διαδίδει ακούσια προκαταλήψεις. Αυτό περιλαμβάνει τη χρήση παραδειγμάτων, γλώσσας και εικόνων που σέβονται διαφορετικά υπόβαθρα και προοπτικές.

Αυτοί οι πυλώνες υποστηρίζουν την ανάπτυξη ισχυρών και αποτελεσματικών εκπαιδευτικών υλικών που όχι μόνο μεταφέρουν περιεχόμενο αλλά και προωθούν ένα ολοκληρωμένο περιβάλλον μάθησης όπου οι μαθητές/ήτριες μπορούν να ευδοκιμήσουν και να αναπτύξουν μια λεπτή κατανόηση περίπλοκων θεμάτων όπως η διαμάχη Newton-Huygens.



## Κεφάλαιο 4: Υλοποίηση - περιγραφή του εκπαιδευτικού υλικού

### Διδακτική Παρέμβαση

Για να αντιμετωπιστεί επαρκώς η διαμάχη Newton-Huygens και να επιτευχθούν οι εκπαιδευτικοί στόχοι που είναι η βελτίωση της εννοιολογικής γνώσης, οι δεξιότητες κριτικής σκέψης και η οικοδόμηση στάσεων απέναντι στην επιστήμη, χρειάζεται ένα καλά σχεδιασμένο και οργανωμένο πρόγραμμα. Παρακάτω δίνεται το πρόγραμμα που ακολουθήθηκε για τη διδακτική παρέμβαση:

#### Πρόγραμμα Διδακτικής Παρέμβασης: Διαφωνία Newton-Huygens

Συνολική Διάρκεια: Η διδακτική παρέμβαση διήρκεσε 6 διδακτικές ώρες χωρισμένες σε τρία τμήματα. Κάθε τμήμα είναι μια δίωρη διδασκαλία που μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε δύο συνεχόμενες ημέρες ή στο διάστημα μίας εβδομάδας, δίνοντας χρόνο για ατομική μελέτη. Πριν από την πρώτη συνεδρία, οι μαθητές/ήτριες συμπλήρωσαν το “pre-lesson” ερωτηματολόγιο για να διαπιστωθεί η αρχική τους γνώση, κατανόηση και στάσεις απέναντι στην επιστήμη. Ομοίως, μετά την τελευταία συνεδρία, οι μαθητές/ήτριες έπρεπε να συμπληρώσουν το “post-lesson” ερωτηματολόγιο για να αξιολογηθεί η γνώση που απέκτησαν, οι αλλαγές στη σκέψη και στη στάση τους απέναντι στην επιστήμη. Τα δύο ερωτηματολόγια μπορούν να βρεθούν στο Παράρτημα 1.

#### Συνεδρία 1: Εισαγωγή στις θεωρίες του φωτός και στο ιστορικό πλαίσιο (2 ώρες)

##### Ωρα 1: Εισαγωγή στην Επιστημονική Επανάσταση

- Επισκόπηση του επιστημονικού τοπίου του 17ου αιώνα.
- Βασικές συνεισφορές των Isaac Newton και Christiaan Huygens στην επιστήμη.

Κατά την πρώτη ώρα της συνεδρίας με τίτλο «Εισαγωγή στην Επιστημονική Επανάσταση», έγινε συζήτηση για το επιστημονικό τοπίο του 17ου αιώνα και τους νέους τρόπους σκέψης που προέκυψαν και άνοιξαν το δρόμο για τη σύγχρονη επιστήμη. Κατά την ώρα αυτή σκιαγραφήθηκε το πώς η Επιστημονική Επανάσταση οδήγησε στην απόρριψη του Αριστοτελισμού και του μεσαιωνικού σχολαστικισμού υποστηρίζοντας την παρατήρηση και την επιστημονική μέθοδο. Επικεντρωθήκαμε σε σημαντικά έργα μερικών από τους πιο σημαντικούς συγγραφείς, όπως ο Isaac Newton και ο Christiaan Huygens. Οι ανακαλύψεις του Newton περιγράφηκαν μέσω των νόμων της κίνησης, του παγκόσμιου νόμου της βαρύτητας και της ανάπτυξης του λογισμού και των θεωριών για το φως και το χρώμα. Εν τω μεταξύ, στο έργο του Huygens επισημάνθηκε η κυματική θεωρία του φωτός, η μελέτη της μηχανικής του εκκρεμούς και οι αστρονομικές παρατηρήσεις, συμπεριλαμβανομένων των δακτυλίων του Κρόνου και του φεγγαριού του Τιτάνα. Αυτή η εισαγωγή όχι μόνο βοήθησε στην κατανόηση της συνολικής συνεισφοράς του καθενός από αυτούς τους δύο επιστήμονες στους αντίστοιχους τομείς τους, αλλά και τοποθέτησε τους δύο επιστήμονες και το συλλογικό τους έργο στο ευρύτερο πλαίσιο της επιστημονικής επανάστασης.

## Ωρα 2: Θεμελιώδεις Έννοιες του Φωτός

- Εισαγωγή στην κυματική και σωματιδιακή θεωρία του φωτός.
- Βασικά πειράματα και η θεμελιώδης φυσική που κρύβεται πίσω από κάθε θεωρία.

Σε αυτή την ενότητα οι μαθητές/ήτριες είναι σε θέση να μάθουν για τις δύο κύριες θεωρίες του 17ου αιώνα σχετικά με τη φύση του φωτός. Ξεκινώντας με τη σωματιδιακή θεωρία του Ισαάκ Newton, εξηγήθηκε το πως ο Newton αντιλήφθηκε το φως ως σωματίδια που θα μπορούσαν να αντανακλούν σε επιφάνειες, να διαθλαστούν ή να διαχέονται σε διαφορετικά χρώματα όταν περνούν από ένα πρίσμα. Τα φαινόμενα αυτά παρουσιάστηκαν μέσω απλών αλλά αποτελεσματικών πειραμάτων, όπως η διασπορά του φωτός από τον ήλιο χρησιμοποιώντας ένα πρίσμα για τη δημιουργία ενός φάσματος. Η θεωρία αυτή έρχεται σε αντίθεση με την κυματική θεωρία του Christiaan Huygens όπου το φως αναπαρίσταται ως μέτωπα κυμάτων που κινούνται μέσα από τον αιθέρα, μια έννοια που βασίζεται στην αρχή της κατασκευής μετώπου κύματος. Η θεωρία του Huygens περιλάμβανε επίσης τις έννοιες της διάθλασης καθώς και τα φαινόμενα της συμβολής και της περίθλασης τα οποία αποδείχθηκαν μέσα από πειράματα όπως η παρατήρηση της διαδρομής των κυμάτων φωτός όταν συναντούν ένα αντικείμενο.

### Συνεδρία 2: Σε βάθος εξερεύνηση των θεωριών του Newton και του Huygens (2 ώρες)

#### Ωρα 1: Η Σωματιδιακή Θεωρία του Newton

- Λεπτομερής συζήτηση των πειραμάτων του Newton με το φως, συμπεριλαμβανομένου του πειράματος με το πρίσμα.
- Διαδραστική επίδειξη που αποδεικνύει τις προβλέψεις της σωματιδιακής θεωρίας.

Την πρώτη ώρα της δεύτερης συνεδρίας, εστίασαμε στη «Φυσική Θεωρία του Newton», κάνοντας μια συζήτηση για τα πειράματα του Newton με το φως και πιο συγκεκριμένα με το περίφημο πείραμα του πρίσματος. Αυτό το πείραμα που περιλάμβανε τη χρήση ενός γυάλινου πρίσματος για να χωρίσει μια δέσμη φωτός σε ένα φάσμα χρωμάτων ήταν ένα από τα πιο επαναστατικά πειράματα που άλλαξε τις συμβατικές πεποιθήσεις για το φως και το χρώμα. Κατά τη συζήτηση έγινε μια περιγραφή του τρόπου με τον οποίο ο Newton χρησιμοποίησε αυτά τα αποτελέσματα για να υπερασπιστεί τη σωματιδιακή του θεωρία, σύμφωνα με την οποία ισχυρίστηκε ότι το φως αποτελείται από σωματίδια τα οποία όταν περνούν από ένα μέσο, κάμπτονται σε διαφορετικές γωνίες ανάλογα με το χρώμα και τις εγγενείς ιδιότητες των σωματιδίων. Για να βοηθήσουμε τους μαθητές/ήτριες να κατανοήσουν αυτές τις ιδέες, πραγματοποιήθηκε μια δραστηριότητα όπου αναπαράγαμε το πείραμα με το πρίσμα του Newton. Αυτή η επίδειξη επέτρεψε στους μαθητές/ήτριες να παρακολουθήσουν τα φυσικά φαινόμενα σε πραγματικό χρόνο και να κατανοήσουν το πως η θεωρία των σωματιδίων του Newton εξηγεί τη συμπεριφορά του φωτός, ενισχύοντας έτσι την κατανόησή τους και για την πρακτική πτυχή των πειραμάτων και των θεωριών του Newton στην οπτική.

## Ωρα 2: Θεωρία κυμάτων Huygens

- Διερεύνηση της αρχής του Huygens και πώς εξηγεί τη συμπεριφορά του φωτός.
- Δραστηριότητες που περιλαμβάνουν παρεμβολή και περίθλαση κυμάτων για την οπτικοποίηση της κυματικής θεωρίας.

Η 2<sup>η</sup> ώρα της συνεδρίας εστιάστηκε στην «Θεωρία των Κυμάτων του Φωτός του Huygens» ο οποίος υποστηρίζει ότι το φως είναι ένα κύμα που διαδίδεται ισότροπα στον χώρο ξεκινώντας από την πηγή του. Αυτή η συνεδρία βασίστηκε στην Αρχή του Huygens, η οποία δηλώνει ότι κάθε σημείο σε ένα μέτωπο κύματος λειτουργεί ως πηγή σφαιρικών κυμάτων και τα δευτερεύοντα κύματα που παράγονται από διαφορετικά σημεία συνδυάζονται σε ένα νέο μέτωπο κύματος. Αυτή η αρχή αναπτύχθηκε περαιτέρω με τη βοήθεια διαγραμμάτων και λεπτομερών συζητήσεων σχετικά με το πώς βοηθά στην εξήγηση των νόμων της διάθλασης και της ανάκλασης. Για καλύτερη κατανόηση του θέματος, πραγματοποιήθηκαν πειράματα σχετικά με την συμβολή και την περίθλαση κυμάτων. Οι μαθητές/ήτριες συμμετείχαν σε πειράματα χρησιμοποιώντας δεξαμενές κυμάτων όπου μπορούν να παρατηρήσουν και να χειριστούν τα μοτίβα των κυμάτων, βιώνοντας οπτικά πώς αλληλεπιδρούν τα κύματα όταν συναντούν εμπόδια ή περνούν μέσα από ρωγμές. Αυτές οι δραστηριότητες στοχεύουν να παρέχουν μια απτή σύνδεση με τις θεωρητικές ιδέες του Huygens, ενισχύοντας την κατανόηση του πώς η κυματική θεωρία παρέχει μια συναρπαστική εξήγηση για διάφορα οπτικά φαινόμενα.

## Συνεδρία 3: Κριτική Ανάλυση και Σύνθεση (2 ώρες)

### Ωρα 1: Συζήτηση Θεωριών

- Δομημένη συζήτηση και δραστηριότητα παιχνιδιού ρόλων όπου οι μαθητές/ήτριες υπερασπίζονται μια θεωρία βασισμένη σε ιστορικά και επιστημονικά στοιχεία.
- Κριτική συζήτηση για τις επιπτώσεις κάθε θεωρίας.

Την πρώτη ώρα της τελικής συνεδρίας που είναι η «Συζήτηση των Θεωριών», έγινε μια ομαδική συζήτηση/άσκηση παιχνιδιού ρόλων όπου οι μαθητές/ήτριες κλήθηκαν να συζητήσουν για τη θεωρία των σωματιδίων του Newton και την κυματική θεωρία του φωτός του Huygens χρησιμοποιώντας ιστορικά και επιστημονικά γεγονότα. Αυτή η διαδικασία ενθαρρύνει τους μαθητές/ήτριες να ασχοληθούν με τις ιδιαιτερότητες της επιστημονικής άποψης του κάθε επιστήμονα και να την υποστηρίξουν με τα στοιχεία από τα πειράματα που πραγματοποιήθηκαν στις αντίστοιχες εποχές τους. Στην τάξη, οι μαθητές/ήτριες χωρίστηκαν σε δύο διαφορετικές ομάδες, σε κάθε μία από τις οποίες ανατέθηκε μια θεωρία την οποία κλήθηκαν να υποστηρίξουν και να αναπτύξουν γιατί η θεωρία που υποστηρίζουν εξηγεί διαφορετικά οπτικά φαινόμενα. Ολοκληρώνοντας το παιχνίδι ρόλων και συζητήσαμε με τους μαθητές/ήτριες τις ευρύτερες συνέπειες κάθε θεωρίας για τη διαμόρφωση της σύγχρονης φυσικής. Αυτό το τμήμα της συνεδρίας επιδιώκει να βελτιώσει την κατανόηση των μαθητών/τριών για τη σχέση μεταξύ των θεωριών που στηρίζουν την επιστήμη και την τεχνολογική πρόοδο και τη φιλοσοφία της επιστημονικής έρευνας.

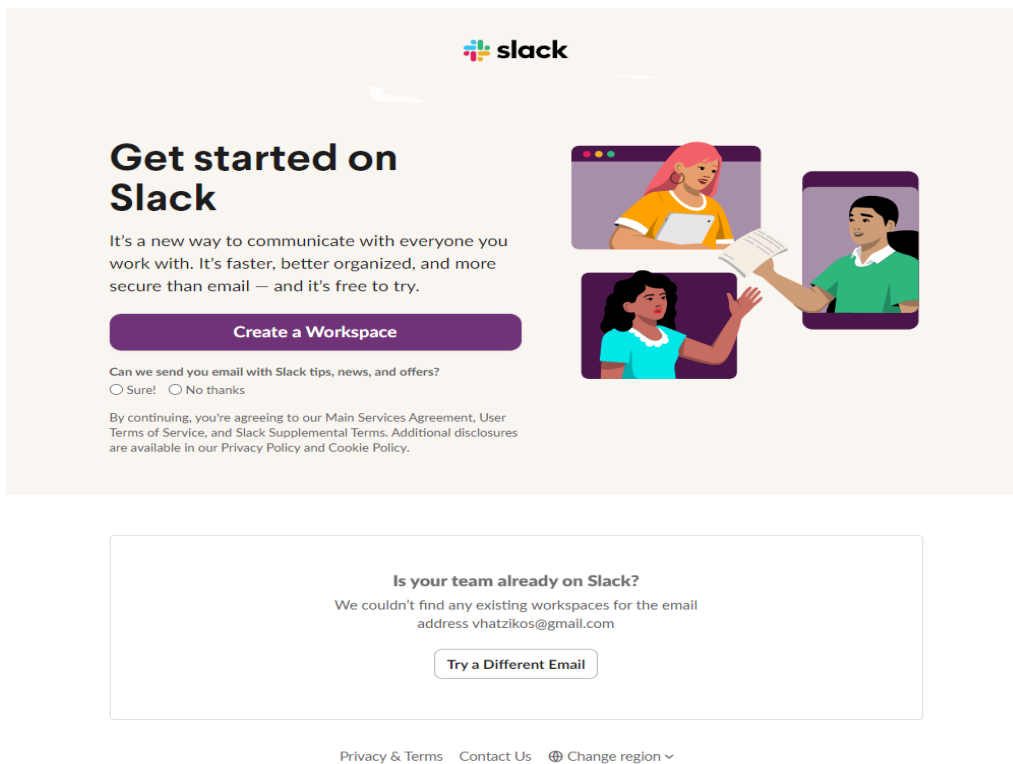
## Ωρα 2: Η κληρονομιά και ο αντίκτυπος της διαμάχης Newton-Huygens

- Συζήτηση του πώς η διαμάχη Newton-Huygens επηρέασε τη μελλοντική επιστημονική σκέψη και τεχνολογία.
- Αμφισβήτηση της φύσης της επιστημονικής προόδου και πώς οι διαφωνίες οδηγούν στην ανακάλυψη.

Στο δεύτερο μέρος της συνεδρίας επικεντρωθήκαμε στο πώς αυτή η συγκεκριμένη διαμάχη επηρέασε όχι μόνο την ανάπτυξη των οπτικών μελετών, αλλά και τις μελλοντικές επιστημονικές προσεγγίσεις και καινοτομίες. Πιο συγκεκριμένα, συζητήθηκε πώς η δυαδικότητα του φωτός άνοιξε το δρόμο προς την πρόοδο της επιστήμης και πιο ιδιαίτερα στη γέννηση της κβαντικής μηχανικής που ενσωματώνει και τις δύο ιδέες στην εξήγηση της συμπεριφοράς του φωτός και της ύλης. Επίσης, εξετάστηκε προσεκτικά η φύση της επιστημονικής προόδου υπό το φως του γεγονότος ότι οι διαφωνίες και οι διαμάχες, όπως φαίνονται στην υπόθεση Newton και Huygens, είναι απαραίτητες για την πρόοδο της επιστήμης. Συζητώντας πώς αυτές οι συγκρούσεις ενθαρρύνουν την περαιτέρω σκέψη και συμβάλλουν σε σημαντικά ευρήματα, οι μαθητές/ήτριες κατανόησαν την πολυπλοκότητα και μερικές φορές την αντιπαράθεση της επιστημονικής διαδικασίας, εκτιμώντας ότι οι περισσότερες εξελίξεις προέρχονται από την αμφισβήτηση και αντίθεση με τη συμβατική γνώση.

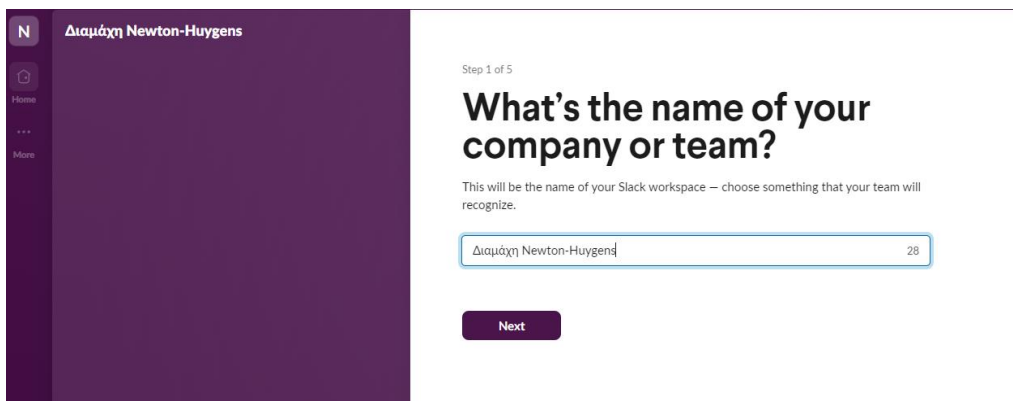
Αυτό το χρονοδιάγραμμα συνολικά επιτρέπει τόσο την κάλυψη των ιστορικών όσο και των επιστημονικών πτυχών της διαμάχης Newton-Huygens, ενώ παρέχει επίσης ευκαιρίες για κριτική σκέψη και προβληματισμό. Η απόσταση μεταξύ των συνεδριών προσαρμόστηκε με βάση το μαθησιακό περιβάλλον και τις ανάγκες των μαθητών/τριών.

Μετά την ολοκλήρωση των διαζώσεων συνεδριών, δημιουργήθηκε μια συνομιλία Slack (Εικόνα 3) για να διευκολυνθεί η συνεχής συζήτηση και η δέσμευση μεταξύ των παιδιών. Η συνομιλία Slack έγινε μια καινοτόμος επέκταση της τάξης, προσφέροντας μια πλατφόρμα στους μαθητές/ήτριες να εξερευνήσουν και να συζητήσουν από κοινού αυτές τις ιδέες σε πραγματικό χρόνο. Μέσω αυτού του ψηφιακού μέσου, οι μαθητές/ήτριες ήταν σε θέση να διατυπώσουν την κατανόησή τους, να θέσουν ερωτήσεις και να συμμετάσχουν στη μάθηση από ομοτίμους. Αυτή η αλληλεπίδραση τους ενθάρρυνε να αξιολογήσουν κριτικά το ιστορικό πλαίσιο και τα επιστημονικά στοιχεία που παρουσίασαν τόσο ο Newton όσο και ο Huygens. Η χρήση του Slack όχι μόνο ενίσχυσε το περιεχόμενο που καλύπτεται κατά τη διάρκεια των μαθημάτων, αλλά ενίσχυσε επίσης ένα δυναμικό και διαδραστικό περιβάλλον μάθησης, όπου οι μαθητές/ήτριες μπορούσαν να ασχολούνται συνεχώς με το υλικό και να αναπτύξουν τις δεξιότητες κριτικής σκέψης τους. Αυτή η προσέγγιση γεφύρωσε αποτελεσματικά τις παραδοσιακές μεθόδους διδασκαλίας με τη σύγχρονη τεχνολογία, ενισχύοντας την εκπαιδευτική εμπειρία και εμβαθύνοντας την κατανόηση των μαθητών/τριών για την επιστημονική διαδικασία και την εξέλιξη των επιστημονικών ιδεών.



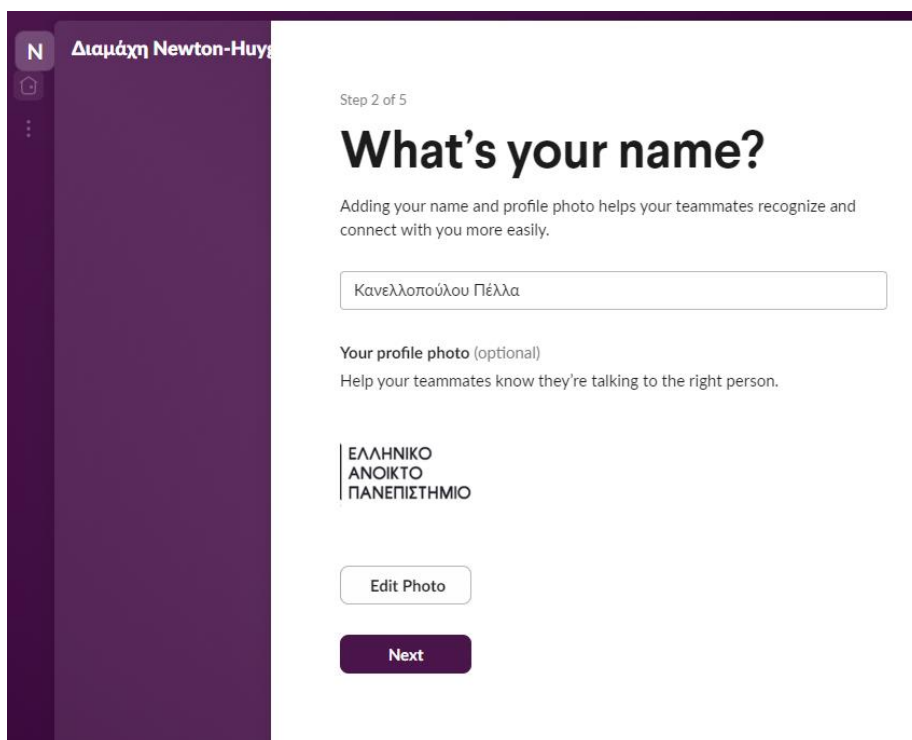
Εικόνα 3: Πλατφόρμα Slack

Πιο συγκεκριμένα, αρχικά ονομάστηκε η συνομιλία με θέμα τη Διδακτική παρέμβαση (Εικόνα 4):



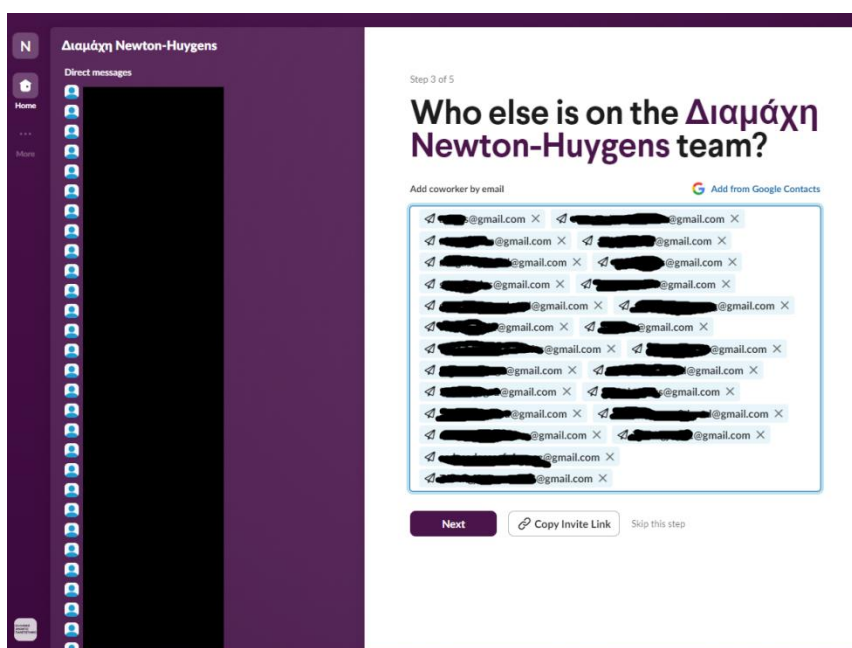
Εικόνα 4: Ονομασία συνομιλίας

Έπειτα εισάγαμε το όνομα της ερευνήτριας καθώς και το email και τα προσωπικά στοιχεία που ζητάει η πλατφόρμα για να πραγματοποιηθεί η εγγραφή χρήστη (Εικόνα 5):



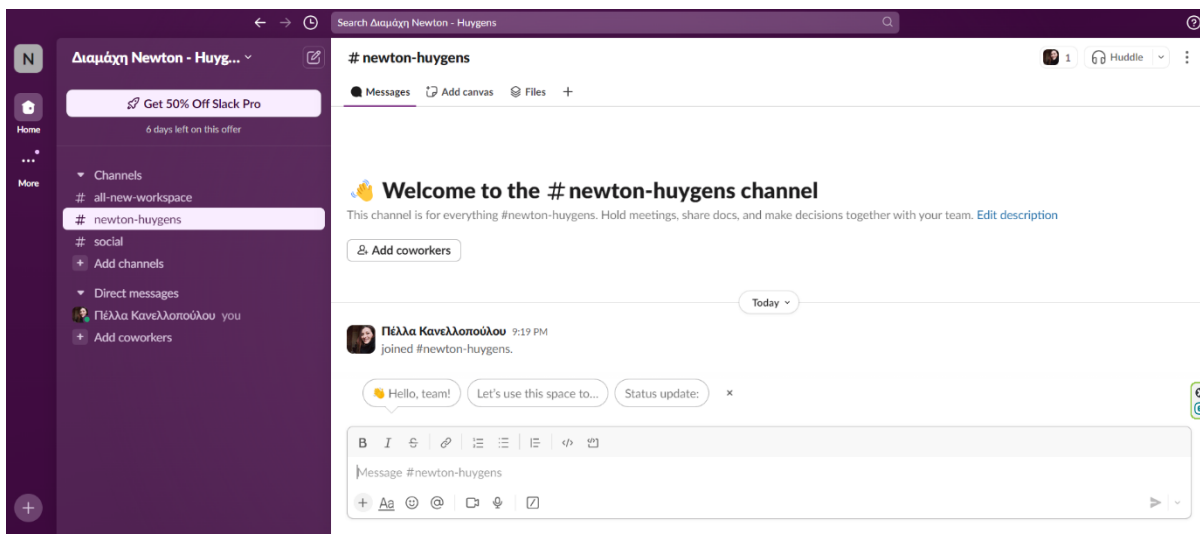
Εικόνα 5: Προσθήκη ονόματος ερευνητή

Συνεχίζοντας, προσθέσαμε ένα προς ένα όλα τα email των μαθητών/τριών που επιθυμούσαν να συμμετέχουν στη συνομιλία (για λόγους δεοντολογίας αφαιρέθηκαν τα ονόματα από την εικόνα)(Εικόνα 6):



Εικόνα 6: Προσθήκη email μαθητών/τριών

Η συνομιλία είχε την εξής μορφή (Εικόνα 7):



Εικόνα 7: Μορφή συνομιλίας

Η συζήτηση πυροδοτήθηκε από ένα εκπαιδευτικό βίντεο από το YouTube που παρείχε μια ολοκληρωμένη επισκόπηση της διαμάχης (Εκόνα 6), απεικονίζοντας τις θεμελιώδεις διαφορές μεταξύ της σωματιδιακής θεωρίας του Newton και της κυματικής θεωρίας του Huygens. Αυτή η προσέγγιση πολυμέσων μαγνήτισε την προσοχή των μαθητών/τριών, θέτοντας το υπόβαθρο για μια διαδραστική και δυναμική συζήτηση.

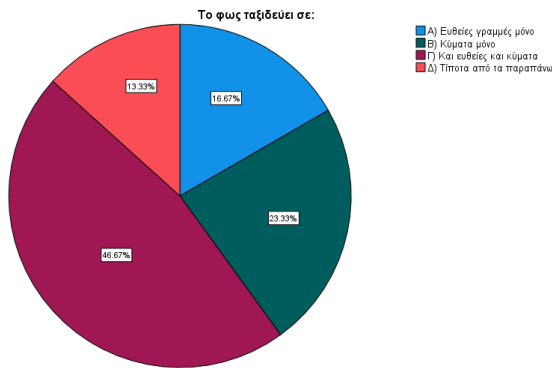
Καθώς οι μαθητές/ήτριες άρχισαν να ασχολούνται με το υλικό, η συνομιλία του Slack έγινε γρήγορα ένας κόμβος ενθουσιώδους συζήτησης και έρευνας. Ένας μαθητής, αναλογιζόμενος το περιεχόμενο του βίντεο, παρατήρησε: «Μου φάνηκε συναρπαστικό το πώς ο Newton πίστευε ότι το φως ήταν φτιαγμένο από σωματίδια, επειδή εξηγεί γιατί το φως ταξιδεύει σε ευθείες γραμμές». Αυτό το σχόλιο ώθησε έναν άλλο μαθητή να απαντήσει: «Αλλά η κυματική θεωρία του Huygens είναι πιο λογική για μένα, ειδικά όταν σκέφτεσαι πώς τα κύματα μπορούν να κάμπτονται γύρω από εμπόδια, όπως το φως όταν περνάει από μια στενή σχισμή». Η συζήτηση εξελίχθηκε καθώς οι μαθητές/ήτριες συνέκριναν και αντιπαραβάλλουν τις δύο θεωρίες, επιδεικνύοντας τις δεξιότητες κατανόησης και κριτικής σκέψης τους. «Δεν είναι ενδιαφέρον», πρόσθεσε ένας άλλος μαθητής, «πώς και οι δύο θεωρίες ήταν εν μέρει σωστές; Η ιδέα του Newton εξηγεί ορισμένες συμπεριφορές του φωτός, αλλά η κυματική θεωρία του Huygens ταιριάζει με την έννοια της παρεμβολής και της περίθλασης».

Η πλατφόρμα Slack διευκόλυνε μια απρόσκοπτη και διαδραστική ανταλλαγή ιδεών, επιτρέποντας στους μαθητές/ήτριες να βασιστούν ο ένας στις γνώσεις του άλλου και να εμβαθύνουν την κατανόησή τους για το θέμα. Η ασύγχρονη φύση της συνομιλίας επέτρεψε τη στοχαστική σκέψη, καθώς οι μαθητές/ήτριες μπορούσαν να επανεξετάσουν το βίντεο και τα σχόλια ο ένας του άλλου πριν συνεισφέρουν. Η ερευνήτρια καθοδήγησε τη συζήτηση, ωθώντας τους μαθητές/ήτριες να εξετάσουν τις ευρύτερες επιπτώσεις της διαμάχης και την επίλυσή της. Με την ενσωμάτωση της σύγχρονης τεχνολογίας με την παραδοσιακή μάθηση, η παρέμβαση όχι μόνο ενίσχυσε το εκπαιδευτικό περιεχόμενο αλλά ενίσχυσε επίσης ένα συνεργατικό και ελκυστικό μαθησιακό περιβάλλον, ενισχύοντας τελικά την κατανόηση των πολυπλοκοτήτων που είναι εγγενείς στην επιστημονική εξερεύνηση και συζήτηση.

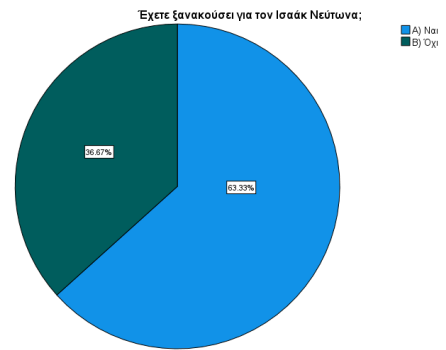
## Κεφάλαιο 5: Αποτελέσματα της έρευνας

### Pre Lesson Questionnaire

#### Φως και Ιστορικά Πρόσωπα

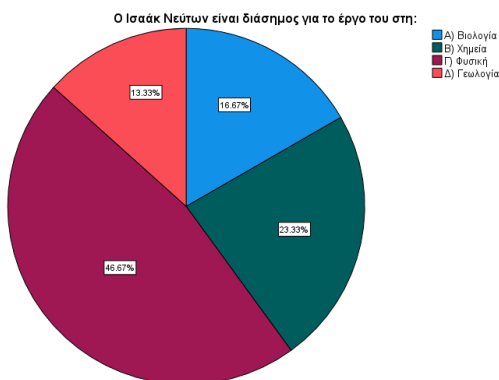


Διάγραμμα 1: Πως μεταδίδεται το φως

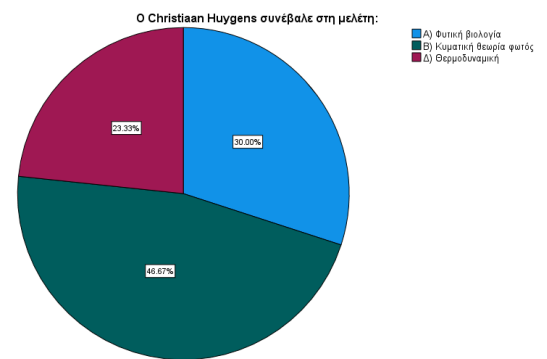


Διάγραμμα 2: Γνώσεις για τον Ισαάκ Νεύτωνα

Στην ερώτηση σχετικά με το πως μεταδίδεται το φως (Διάγραμμα 1), το 16,67% των ερωτηθέντων δήλωσε σε ευθείες γραμμές μόνο, το 23,33% δήλωσε σε κύματα μόνο, το 46,67% απάντησε και ευθείες και κύματα ενώ το 13,33% τίποτα από τα παραπάνω. Αναφορικά με την ερώτηση «Έχετε ξανακούσει για τον Ισαάκ Newton;», το 63,33% δήλωσε Ναι ενώ το 36,67% δήλωσε Όχι.



Διάγραμμα 4: Ο λόγος που ο Νεύτων είναι αναγνωρίσιμος

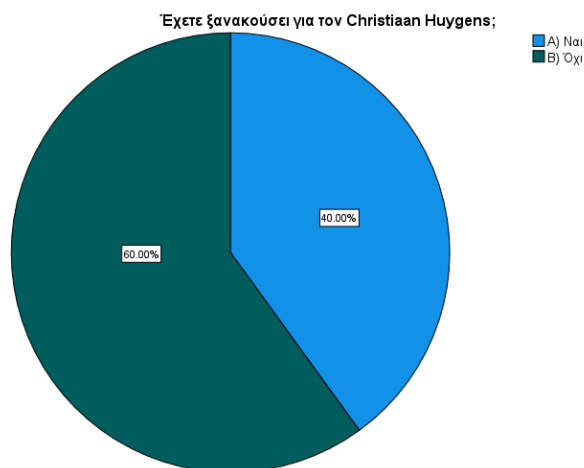


Διάγραμμα 3: Η μελέτη του Huygens

Οι μαθητές/ήτριες δήλωσαν ότι ο Ισαάκ Newton κατά κύριο λόγο είναι διάσημος για το έργο του στη Φυσική (46,67%), ενώ ένα εξίσου μεγάλο ποσοστό (23,33% δήλωσε ότι είναι διάσημος για το έργο του στη Χημεία (Διάγραμμα 3). Το 16,67% των μαθητών/τριών δήλωσε ότι είναι αναγνωρίσιμος για το έργο του στη Βιολογία ενώ ένα ποσοστό της τάξεως του 13,33% δήλωσε ότι είναι διάσημος για το έργο του στη Γεωλογία. Αναφορικά με τον Huygens (Διάγραμμα 4), ένα μεγάλο ποσοστό (46,67%) δήλωσε ότι συνέβαλε στη μελέτη της



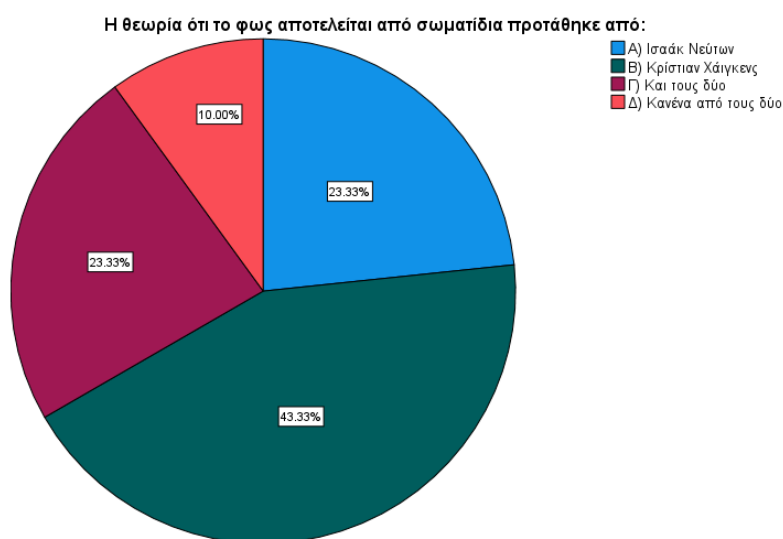
Κυματικής θεωρίας του φωτός, το 30% των μαθητών/τριών δήλωσε ότι συνέβαλε στη μελέτη της Φυτικής βιολογίας ενώ το 23,33% ότι συνέβαλε στη Θερμοδυναμική.



Διάγραμμα 5: Γνώσεις για τον Christian Huygens

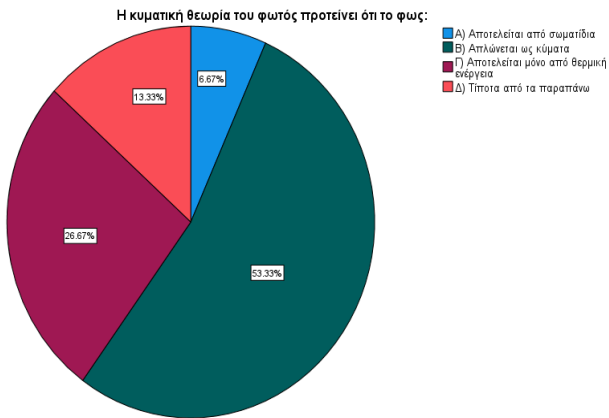
Στην ερώτηση: «Έχετε ξανακούσει για τον Christian Huygens;», το 60% των μαθητών/τριών δήλωσε πως δεν έχει ξανακούσει ενώ το 40% ότι τον γνωρίζει (Διάγραμμα 5).

### Κατανόηση Επιστημονικών Εννοιών

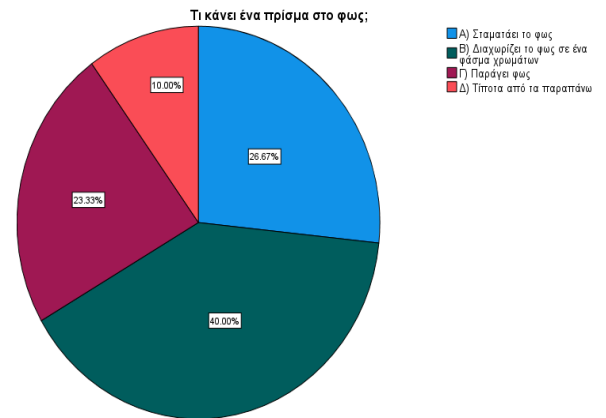


Διάγραμμα 6: Το φως αποτελείται από σωματίδια;

Στην ερώτηση σχετικά με το ποιος πρότεινε ότι η θεωρία ότι το φως αποτελείται από σωματίδια, το 43,33% των μαθητών/τριών επέλεξε τον Huygens, το 23,33% επέλεξε τον Newton, το 23,33% δήλωσε ότι την πρότειναν και οι δύο ενώ το 10% δήλωσε ότι την πρότειναν κανένας από τους δύο (Διάγραμμα 6).

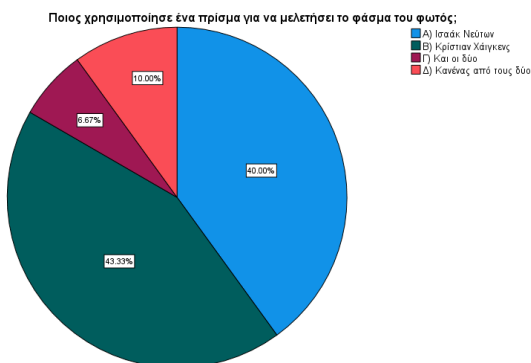


Διάγραμμα 7: Τι προτείνει η κυματική θεωρία του φωτός;

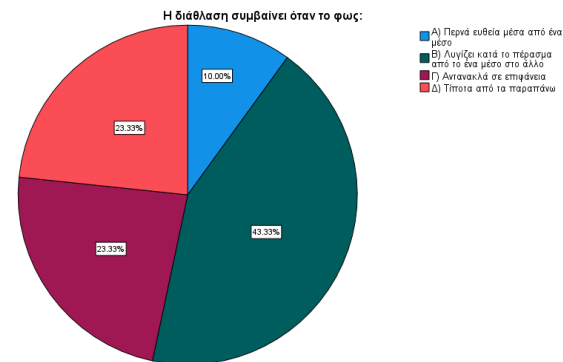


Διάγραμμα 8: Τι κάνει ένα πρίσμα στο φως;

Όταν οι μαθητές/ήτριες ερωτήθηκαν σχετικά με το τι προτείνει η κυματική θεωρία του φωτός, το 53,33% δήλωσε ότι το φως «Απλώνεται ως κύματα», το 26,67% δήλωσε ότι το φως «Αποτελείται μόνο από θερμική ενέργεια», το 6,67% δήλωσε ότι το φως «Αποτελείται από σωματίδια», ενώ το 13,33% επέλεξε την απάντηση «Τίποτα από τα παραπάνω» (Διάγραμμα 7). Όσον αφορά στην ερώτηση «Τι κάνει ένα πρίσμα στο φως;» το 40% των μαθητών/τριών επέλεξαν την απάντηση «Διαχωρίζει το φως σε ένα φάσμα χρωμάτων», το 26,67% επέλεξαν «Σταματάει το φως», το 23,33% επέλεξαν «Παράγει φως» ενώ το 10% επέλεξε «Τίποτα από τα παραπάνω» (Διάγραμμα 8).



Διάγραμμα 10: Ποιος χρησιμοποίησε ένα πρίσμα για τη μελέτη του φάσματος φωτός;

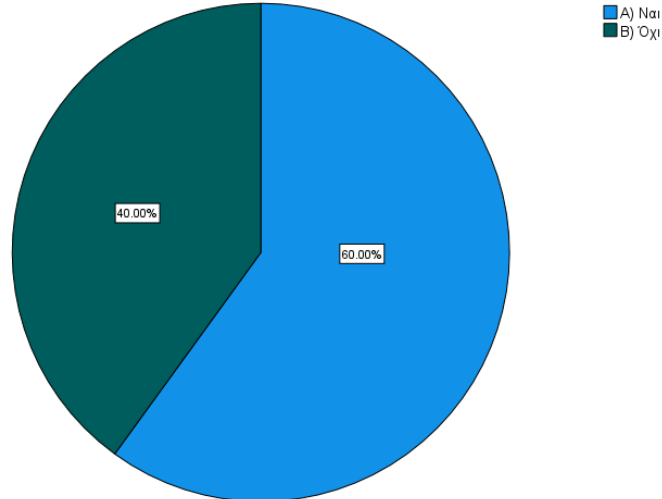


Διάγραμμα 9: Πότε συμβαίνει η διάθλαση;

Οι απαντήσεις των μαθητών/τριών σχετικά με τη διάθλαση είχαν ως εξής: 43,33% απάντησε ότι το φως λυγίζει κατά το πέρασμα από το ένα μέσο στο άλλο, 23,33% ότι αντανakλά σε επιφάνεια, 10% ότι περνά ευθεία μέσα από ένα μέσο ενώ 23,33% απάντησε τίποτα από όλα τα παραπάνω (Διάγραμμα 9). Αναφορικά με τον άνθρωπο που χρησιμοποίησε ένα πρίσμα για να μελετήσει το φάσμα του φωτός, το 40% των μαθητών/τριών απάντησε ο Ισαάκ Newton, το 43,33% απάντησε ο Huygens ένα πολύ μικρό ποσοστό της τάξεως του 6,67% απάντησε και οι δύο ενώ το 10% απάντησε κανένας από τους δύο (Διάγραμμα 10).

### Αντίληψη της επιστήμης

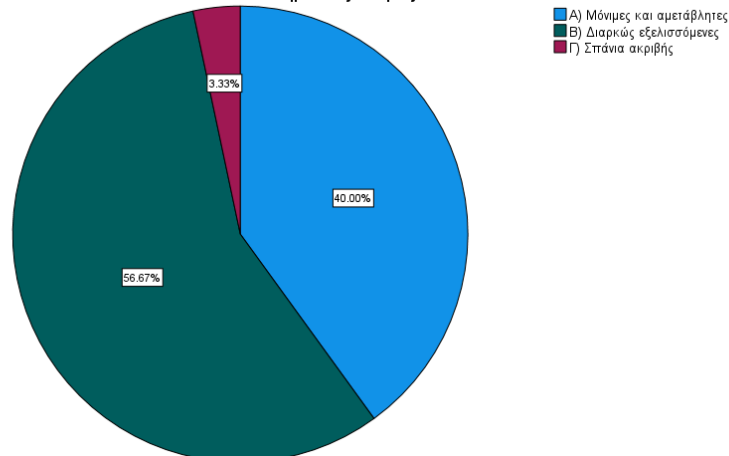
Πιστεύετε ότι η κατανόηση της ιστορίας της επιστήμης είναι σημαντική για την εκμάθηση της επιστήμης;



Διάγραμμα 11: Η κατανόηση της επιστήμης είναι σημαντική για την εκμάθησή της;

Στην ερώτηση σχετικά με το αν πιστεύουν ότι η κατανόηση της επιστήμης είναι σημαντική για την εκμάθησή της, το 60% των μαθητών/τριών απάντησε Ναι ενώ το 40% απάντησε Όχι (Διάγραμμα 11).

Οι επιστημονικές θεωρίες είναι:

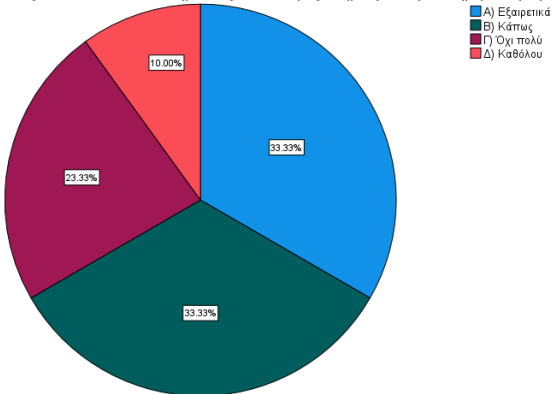


Διάγραμμα 12: Επιστημονικές θεωρίες

Στην ερώτηση σχετικά με το τι είναι οι επιστημονικές θεωρίες οι απαντήσεις είχαν ως εξής (Διάγραμμα 12):

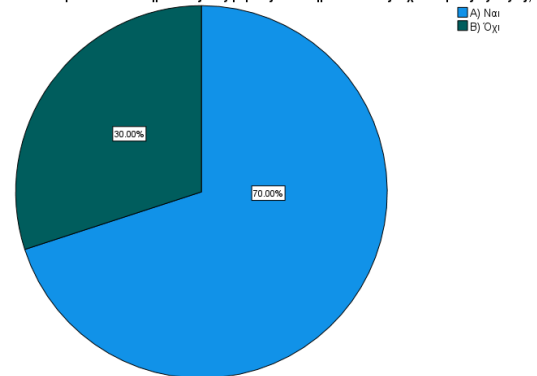
- A) Μόνιμες και αμετάβλητες – 40%
- B) Διαρκώς εξελισσόμενες – 56,67%
- Γ) Σπάνια ακριβής – 3,33%

Πώς πιστεύετε ότι οι επιστημονικές ανακαλύψεις επηρεάζουν την καθημερινότητά μας;



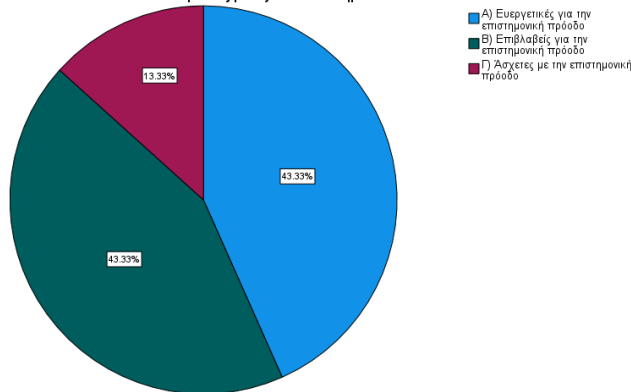
Διάγραμμα 13: Πώς πιστεύετε ότι οι επιστημονικές ανακαλύψεις επηρεάζουν την καθημερινότητά μας;

Μπορούν οι επιστημονικές συζητήσεις να επηρεάσουν τις τεχνολογικές εξελίξεις;



Διάγραμμα 14: Μπορούν οι επιστημονικές συζητήσεις να επηρεάσουν τις τεχνολογικές εξελίξεις;

Οι διαφωνίες μεταξύ των επιστημόνων είναι:

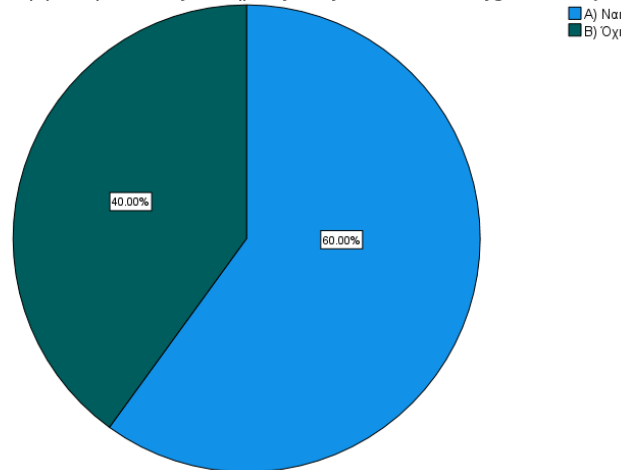


Διάγραμμα 15: Ποιες είναι οι διαφωνίες μεταξύ των επιστημόνων;

Στην ερώτηση σχετικά με το αν μπορούν οι επιστημονικές συζητήσεις να επηρεάσουν τις τεχνολογικές εξελίξεις, το 70% των μαθητών/τριών είχε θετική ανταπόκριση (Ναι) ενώ το 30% αρνητική (Όχι) (Διάγραμμα 14). Όταν ερωτήθηκαν οι μαθητές/ήτριες «Πώς πιστεύετε ότι οι επιστημονικές ανακαλύψεις επηρεάζουν την καθημερινότητά μας;» το 33,33% των μαθητών/τριών απάντησε Εξαιρετικά, το 33,33% απάντησε Κάπως, το 23,33% απάντησε Όχι πολύ και το 10% απάντησε Καθόλου (Διάγραμμα 13). Τέλος, αναφορικά με τις διαφωνίες μεταξύ των επιστημόνων ένα ποσοστό της τάξεως του 43,33% απάντησε «Ευεργετικές για την επιστημονική πρόοδο», ένα ίδιο ποσοστό (43,33%) απάντησε «Επιβλαβείς για την επιστημονική πρόοδο» ενώ ένα ποσοστό της τάξεως του 13,33% απάντησε «Άσχετες με την επιστημονική πρόοδο» (Διάγραμμα 15).

## Προσδοκίες και ενδιαφέρον για την επιστήμη

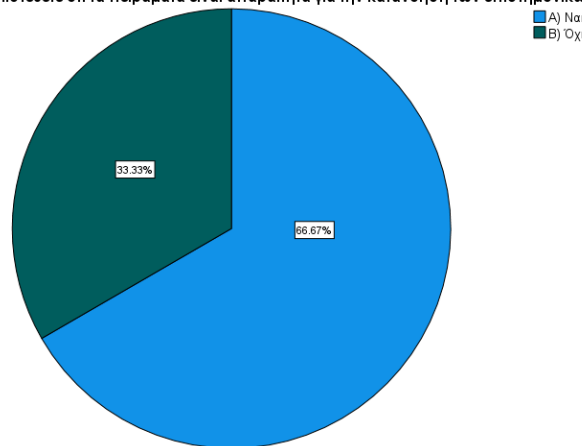
Σας ενδιαφέρει να μάθετε πώς επιστήμονες όπως ο Newton και ο Huygens ανέπτυξαν τις θεωρίες τους;



**Διάγραμμα 16:** Ενδιαφέρον σχετικά με την ανάπτυξη των θεωριών από τους δύο επιστήμονες

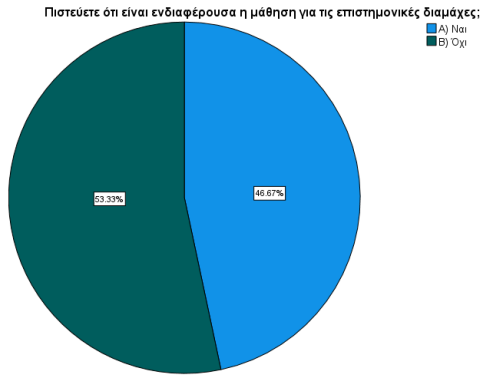
Το 60% των μαθητών/τριών εκδήλωσε ενδιαφέρον να μάθει πως οι επιστήμονες σαν τον Newton και τον Huygens ανέπτυξαν τις θεωρίες τους ενώ το 40% έδειξε αδιαφορία (Διάγραμμα 16).

Πιστεύετε ότι τα πειράματα είναι απαραίτητα για την κατανόηση των επιστημονικών εννοιών;

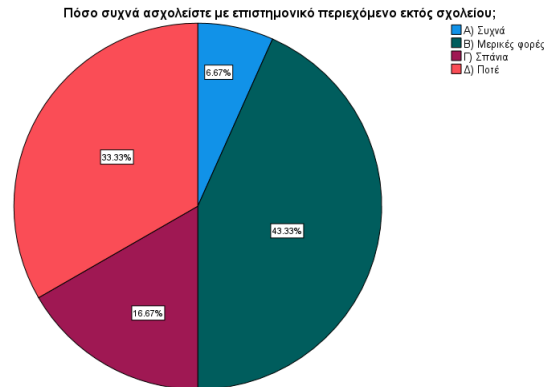


**Διάγραμμα 17:** Χρησιμότητα πειραμάτων για την κατανόηση των επιστημονικών εννοιών

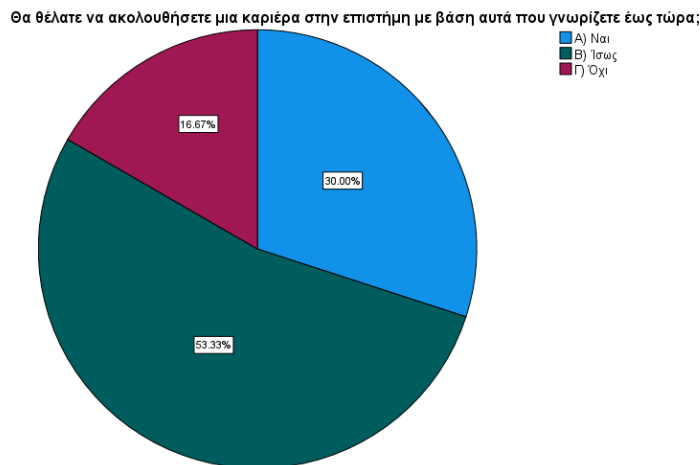
Το 66,67% των μαθητών/τριών είχε θετική αντίδραση αναφορικά με τη χρησιμότητα των πειραμάτων για την κατανόηση των επιστημονικών εννοιών ενώ το 33,33% αρνητική (Διάγραμμα 17).



Διάγραμμα 19: Πιστεύετε ότι είναι ενδιαφέρουσα η μάθηση για τις επιστημονικές διαμάχες;



Διάγραμμα 18: Συχνότητα ενασχόλησης με επιστημονικό περιεχόμενο εκτός σχολικού χώρου

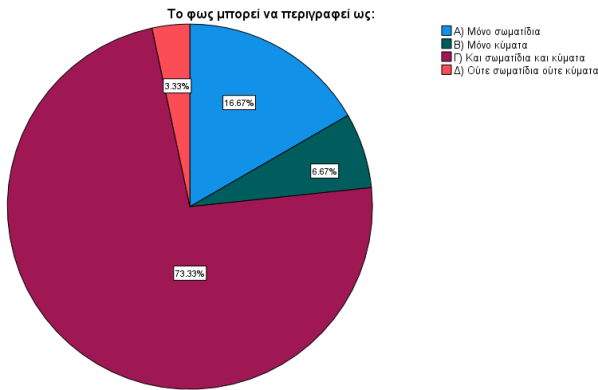


Διάγραμμα 20: Επιθυμία ενασχόλησης με την επιστήμη στον επαγγελματικό τομέα βάσει τωρινών γνώσεων

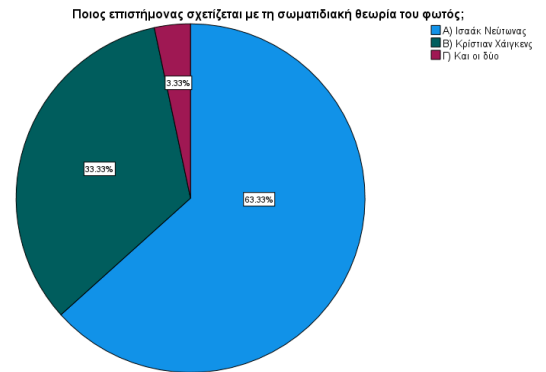
Οι μαθητές/ήτριες όταν ερωτήθηκαν για τη συχνότητα ενασχόλησης με επιστημονικό περιεχόμενο εκτός σχολικού χώρου απάντησαν ως εξής: 6,67% «Συχνά», 43,33% «Μερικές φορές», 16,67% «Σπάνια» και 33,33% «Ποτέ» (Διάγραμμα 19). Όταν ερωτήθηκαν για το αν θεωρούν την εκμάθηση για τις επιστημονικές διαμάχες ενδιαφέρουσα, απάντησαν ως εξής: 46,67% «Ναι», 53,33% «Όχι» (Διάγραμμα 18). Τέλος, οι απαντήσεις στην ερώτηση «Θα θέλατε να ακολουθήσετε μια καριέρα στην επιστήμη με βάση αυτά που γνωρίζετε ως τώρα;», το 30% των μαθητών/τριών απάντησε «Ναι», το 53,33% των μαθητών/τριών απάντησε «Ίσως» και το 16,67% απάντησε «Όχι» (Διάγραμμα 20).

## Post-Lesson Questionnaire

### Φως και Ιστορικά Πρόσωπα



Διάγραμμα 21: Τρόπος περιγραφής του φωτός

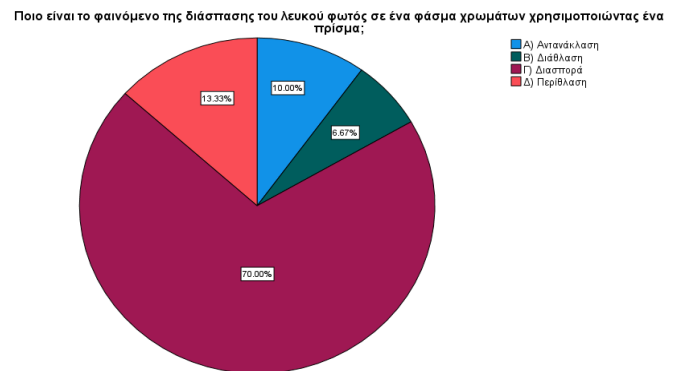


Διάγραμμα 22: Ο επιστήμονας που σχετίζεται με τη σωματιδιακή θεωρία του φωτός

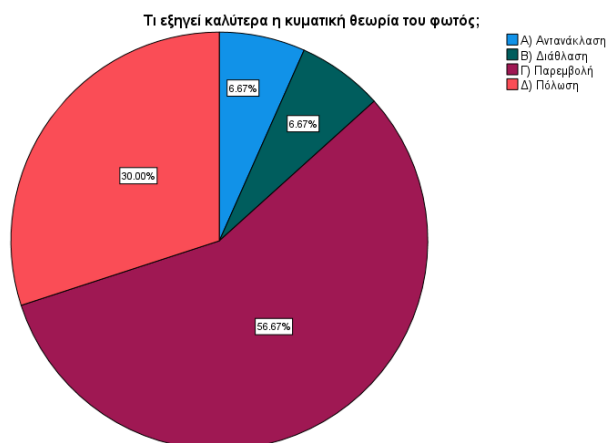
Στο ερωτηματολόγιο που διαμοιράστηκε μετά τη διδακτική παρέμβαση, η πρώτη ερώτηση αφορούσε τον τρόπο που μπορεί να περιγραφεί το φως. Το 73,33% των μαθητών/τριών απάντησαν ότι το φως θα μπορούσε να περιγραφεί ως και σωματίδια και κύματα, το 16,67% δήλωσε μόνο σωματίδια, το 6,67% δήλωσε μόνο κύματα ενώ το 3,33% δήλωσε ούτε σωματίδια ούτε κύματα (Διάγραμμα 21). Αναφορικά με τον επιστήμονα που σχετίζεται με τη σωματιδιακή θεωρία του φωτός, το 63,33% επέλεξε τον Ισαάκ Newton, το 33,33% επέλεξε τον Huygens ενώ το 3,33% επέλεξε και τους δύο (Διάγραμμα 22).



Διάγραμμα 23: Ο επιστήμονας ένα φάσμα χρωμάτων μέσω ενός πρίσματος του φωτός



Αναφορικά με τον επιστήμονα που πρότεινε την κυματική θεωρία του φωτός, το 26,67% επέλεξε τον Ισαάκ Newton, το 70% επέλεξε τον Huygens ενώ το 3,33% επέλεξε και τους δύο (Διάγραμμα 23). Όταν ερωτήθηκαν ποιο είναι το φαινόμενο της διάσπασης του λευκού φωτός σε ένα φάσμα χρωμάτων χρησιμοποιώντας ένα πρίσμα, το 70% των μαθητών/τριών επέλεξε την απάντηση Διασπορά, το 6,67% επέλεξε τη Διάθλαση, το 10% επέλεξε την Αντανάκλαση ενώ το 13,33% επέλεξε την Περίθλαση.



**Διάγραμμα 25: Η καλύτερη εξήγηση της κυματικής θεωρίας του φωτός**

Στην ερώτηση «Τι εξηγεί καλύτερα την κυματική θεωρία του φωτός;», οι απαντήσεις των μαθητών/τριών είχαν ως εξής (Διάγραμμα 25):

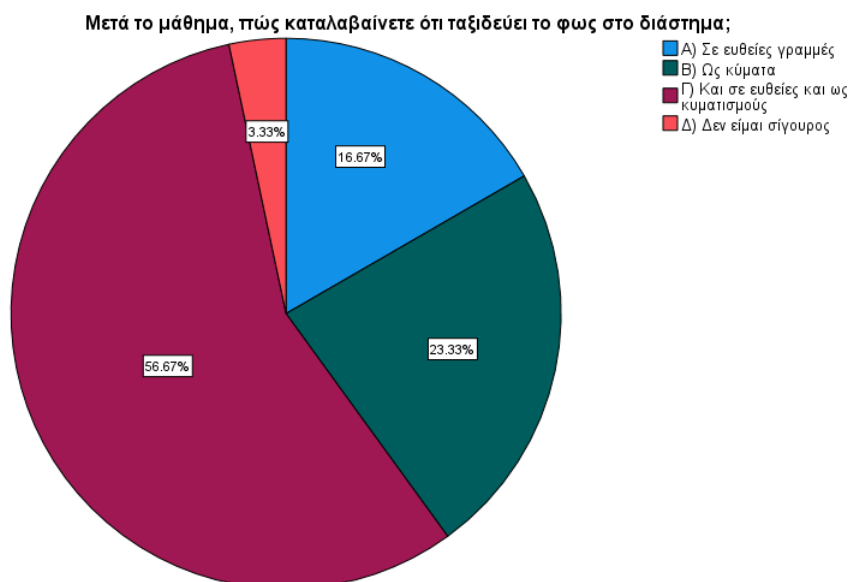
A) Αντανάκλαση – 6,67%

B) Διάθλαση – 6,67%

Γ) Παρεμβολή – 56,67%

Δ) Πόλωση – 30%

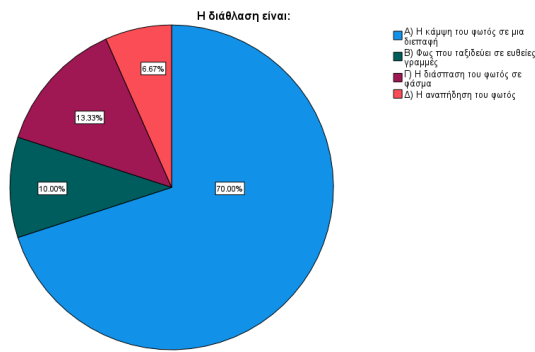
### **Κατανόηση Επιστημονικών Εννοιών**



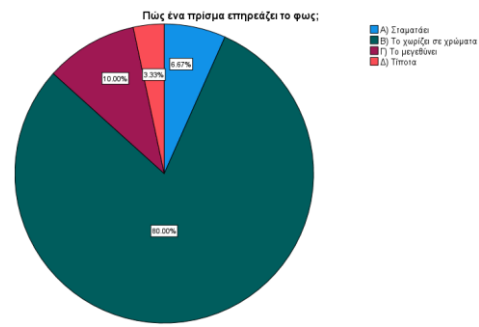
**Διάγραμμα 26: Αντίληψη της διαδικασίας ταξιδιού του φωτός στο διάστημα μετά την παρέμβαση**

Στην ερώτηση, πώς αντιλαμβάνονται οι μαθητές/ήτριες ότι ταξιδεύει το φως στο διάστημα μετά την παρέμβαση, το μεγαλύτερο ποσοστό των μαθητών/τριών (56,67%) δήλωσε και σε ευθείες και σε κυματισμούς, το 23,33% δήλωσε σε κύματα, το 16,67% δήλωσε σε ευθείες γραμμές ενώ ένα 3,33% δήλωσε ότι δεν είναι σίγουρο (Διάγραμμα 26).



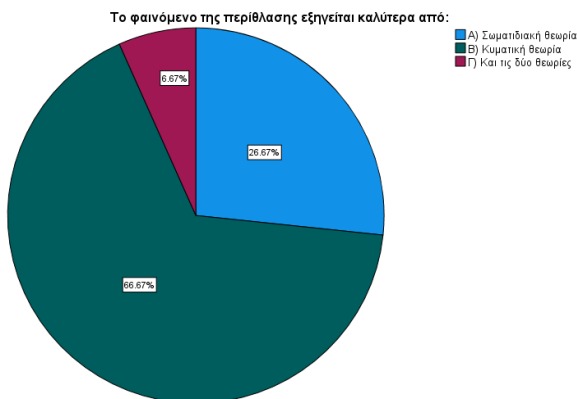


Διάγραμμα 28: Τι είναι η διάθλαση;



Διάγραμμα 27: Πώς ένα πρίσμα επηρεάζει το φως;

Το 80% των μαθητών/τριών δήλωσε ότι ένα πρίσμα χωρίζει το φως σε χρώματα, το 6,67% δήλωσε ότι ένα πρίσμα σταματάει το φως, το 10% δήλωσε ότι το μεγθύνει ενώ το 3,33% δήλωσε ότι δεν το επηρεάζει (Διάγραμμα 28). Αναφορικά με την ερώτηση «Τι είναι η διάθλαση;», το 70% απάντησε ότι είναι η κάμψη του φωτός σε μια διεπαφή, το 10% απάντησε ότι είναι το φως που ταξιδεύει σε ευθείες γραμμές, το 13,33% απάντησε ότι είναι η διάσπαση του φωτός σε φάσμα και το 6,67% απάντησε ότι είναι η αναπήδηση του φωτός (Διάγραμμα 27).



Διάγραμμα 30: Πως εξηγείται καλύτερα το φαινόμενο της περίθλασης;

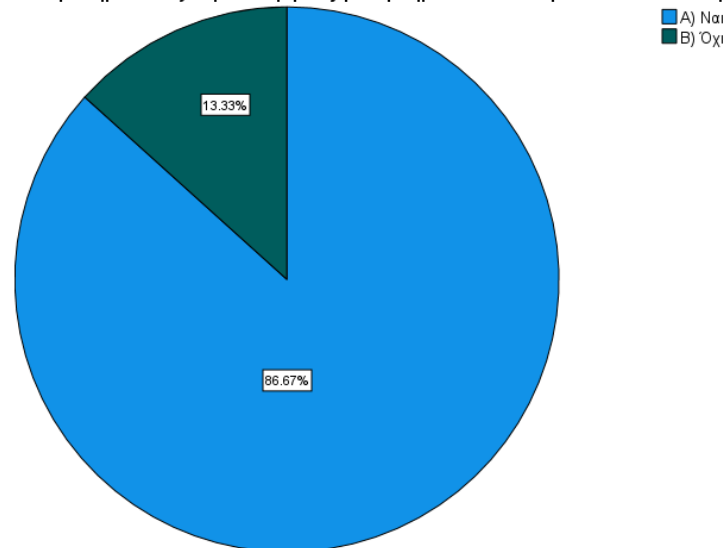


Διάγραμμα 29: Ο επιστήμονας που πραγματοποίησε πειράματα για να μελετήσει το φως

Το 90% των μαθητών/τριών όταν ερωτήθηκε ποιος είναι ο επιστήμονας που έκανε πειράματα με πρίσματα για να μελετήσει το φως (με βάση αυτά που έμαθε στην εκπαιδευτική παρέμβαση) επέλεξε τον Ισαάκ Newton, ενώ ένα ποσοστό της τάξεως του 10% επέλεξε τον Huygens (Διάγραμμα 30). Αναφορικά με το φαινόμενο της περίθλασης, το 66,67% απάντησε ότι το τελευταίο εξηγείται καλύτερα από την Κυματική θεωρία, το 26,67% απάντησε ότι εξηγείται από τη Σωματιδιακή θεωρία ενώ ένα μικρό ποσοστό της τάξεως του 6,67% επέλεξε και τις δύο θεωρίες (Διάγραμμα 29).

### Αντίληψη της επιστήμης

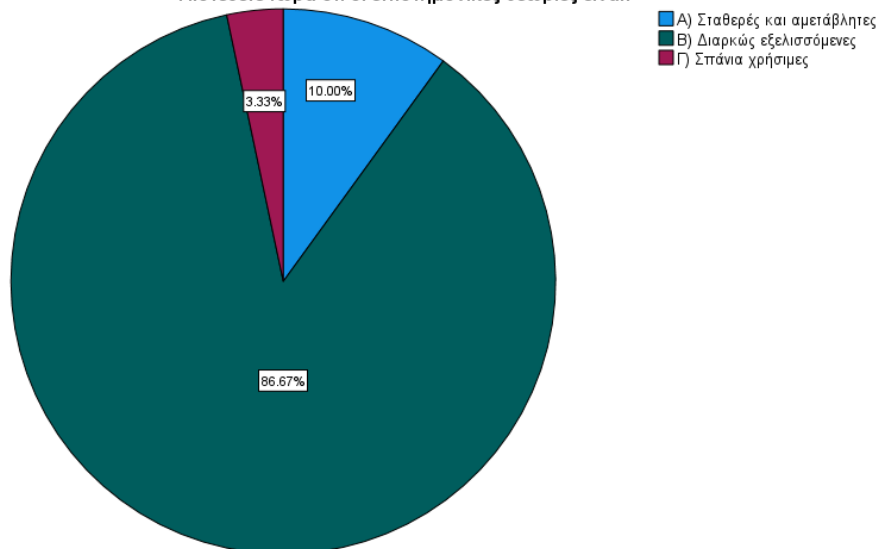
Αυτό το μάθημα άλλαξε την άποψή σας για τη σημασία του ιστορικού πλαισίου στην επιστήμη;



Διάγραμμα 31: Αλλαγή της άποψης για τη σημασία του ιστορικού πλαισίου στην επιστήμη

Το 86,67% των μαθητών/τριών δήλωσε ότι από το μάθημα (εκπαιδευτική παρέμβαση), άλλαξε η άποψη του για τη σημασία του ιστορικού πλαισίου στην επιστήμη, ενώ το 13,33% δήλωσε πως δεν άλλαξε (Διάγραμμα 31).

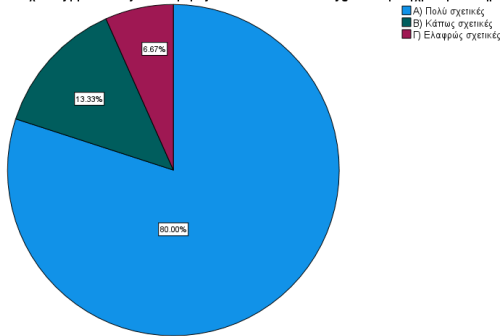
Πιστεύετε τώρα ότι οι επιστημονικές θεωρίες είναι:



Διάγραμμα 32: Γνώμη για τις επιστημονικές θεωρίες

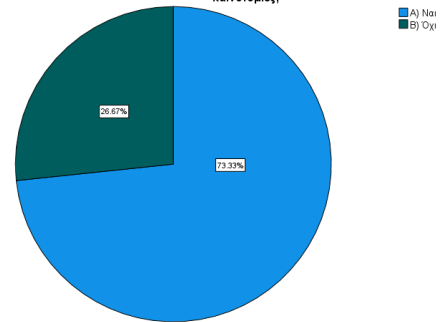
Αναφορικά με την άποψη των μαθητών/τριών για τις επιστημονικές θεωρίες, το 86,67% των μαθητών/τριών δήλωσε ότι πιστεύει ότι οι επιστημονικές θεωρίες είναι Διαρκώς εξελισσόμενες, το 10% δήλωσε ότι πιστεύει ότι οι επιστημονικές θεωρίες είναι Σταθερές και αμετάβλητες ενώ το 3,33% δήλωσε ότι πιστεύει ότι είναι Σπάνια χρήσιμες (Διάγραμμα 32).

Πόσο σχετικές βρίσκετε τις συνεισφορές του Newton και του Huygens στη σύγχρονη επιστήμη;



Διάγραμμα 33: Σχετικότητα συνεισφορών Νεύτων και Huygens στη σύγχρονη επιστήμη.

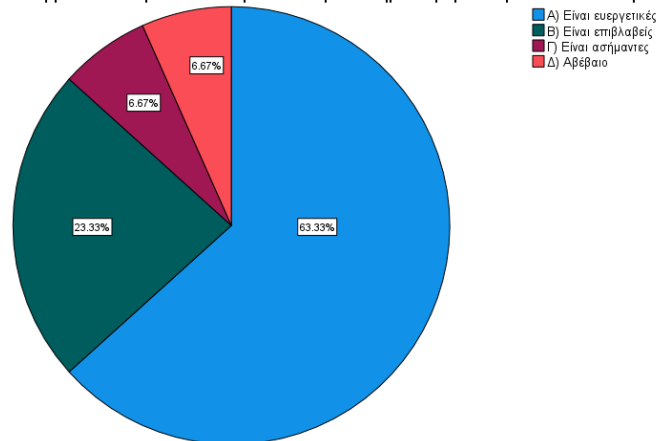
Πιστεύετε ότι η κατανόηση των επιστημονικών συζητήσεων μπορεί να οδηγήσει σε καλύτερες τεχνολογικές καινοτομίες;



Διάγραμμα 34: Η κατανόηση των επιστημονικών συζητήσεων οδηγεί σε καλύτερες τεχνολογικές καινοτομίες;

Στην ερώτηση «Πόσο σχετικές βρίσκετε τις συνεισφορές του Newton και Huygens στη σύγχρονη επιστήμη;» το 90% των μαθητών/τριών απάντησε Πολύ σχετικές, το 13,33% απάντησε Κάπως σχετικές ενώ το 6,67% απάντησε Ελαφρώς σχετικές (Διάγραμμα 33). Το 73,33% των μαθητών/τριών δήλωσε ότι θεωρεί ότι η κατανόηση των επιστημονικών συζητήσεων μπορεί να οδηγήσει σε καλύτερες τεχνολογικές καινοτομίες ενώ το 26,67% των μαθητών/τριών διαφώνησε με αυτή την άποψη (Διάγραμμα 34).

Πώς αντιλαμβάνεστε τον ρόλο των διαφωνιών στην επιστημονική πρόοδο μετά από αυτό το μάθημα;



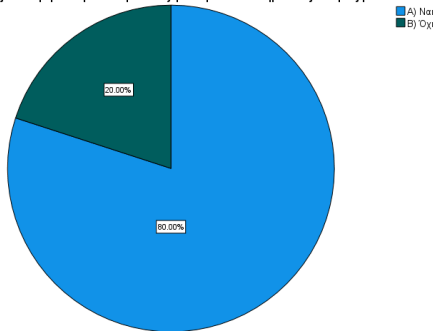
Διάγραμμα 35: Πώς αντιλαμβάνεστε το ρόλο των διαφωνιών στην επιστημονική πρόοδο μετά από το μάθημα;

Στην ερώτηση «Πώς αντιλαμβάνεστε το ρόλο των διαφωνιών στην επιστημονική πρόοδο μετά από αυτό το μάθημα;» οι απαντήσεις είχαν ως εξής:

- Α) Είναι ευεργετικές – 63,33%
- Β) Είναι επιβλαβείς – 23,33%
- Γ) Είναι ασήμαντες – 6,67%
- Δ) Αβέβαιο – 6,67%

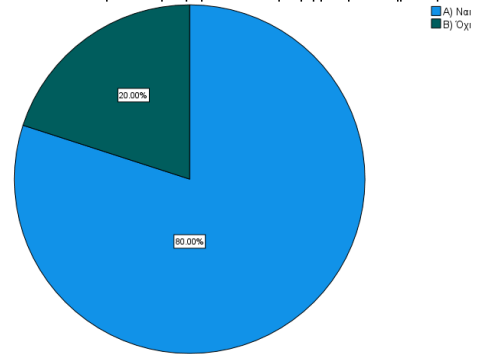
### Προσδοκίες και ενδιαφέρον για την επιστήμη

Σας ενδιαφέρει περισσότερο να εξερευνήσετε επιστημονικές θεωρίες μετά από αυτό το μάθημα;



Διάγραμμα 36: Υπάρχει μεγαλύτερο ενδιαφέρον για εξερεύνηση επιστημονικών θεωριών μετά από το μάθημα;

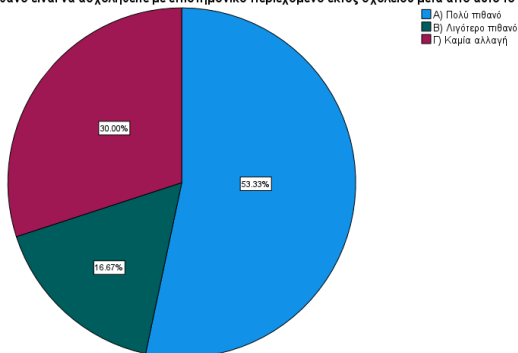
Πιστεύετε ότι η εκτέλεση πειραμάτων είναι κρίσιμη για την επιστημονική κατανόηση;



Διάγραμμα 37: Σημαντικότητα εκτέλεσης πειραμάτων για την επιστημονική κατανόηση

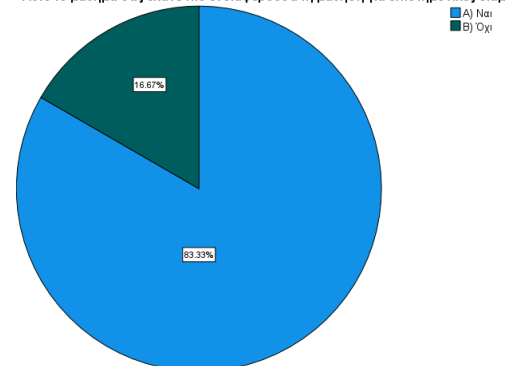
Οι μαθητές/ήτριες έδειξαν θετική ανταπόκριση στην ερώτηση αν μετά από τη διδακτική παρέμβαση ενδιαφέρονται να εξερευνήσουν επιστημονικές θεωρίες κατά 80%. Οι αρνητικές απαντήσεις άγγιζαν το 20% (Διάγραμμα 36). Αναφορικά με τη σημαντικότητα εκτέλεσης πειραμάτων σχετικά με την επιστημονική κατανόηση το 80% των μαθητών/τριών απάντησε ότι θεωρεί την εκτέλεση πειραμάτων κρίσιμη, ενώ το 20% απάντησε ότι διαφωνεί (Διάγραμμα 37).

Πόσο πιθανό είναι να ασχοληθείτε με επιστημονικό περιεχόμενο εκτός σχολείου μετά από αυτό το μάθημα;



Διάγραμμα 38: Πιθανότητα ενασχόλησης με το επιστημονικό περιεχόμενο εκτός σχολείου μετά τη διδακτική παρέμβαση

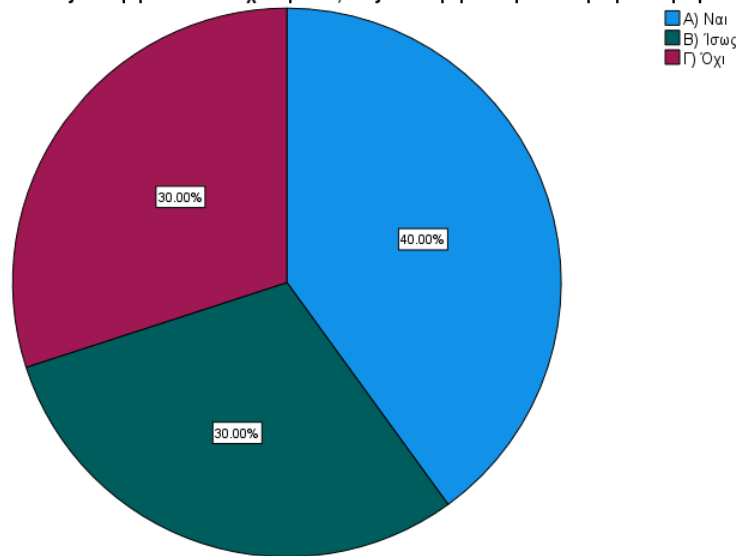
Αυτό το μάθημα σας έκανε πιο ενδιαφέρουσα τη μάθηση για επιστημονικές διαμάχες;



Διάγραμμα 39: Ποσοστό ενδιαφέροντος για μάθηση σχετικά με τις επιστημονικές διαμάχες.

Όταν ερωτήθηκαν πόσο πιθανό είναι να ασχοληθούν με επιστημονικό περιεχόμενο εκτός σχολείου μετά από τη διδακτική παρέμβαση, το 53,33% των μαθητών/τριών δήλωσε ότι είναι «Πολύ πιθανό», το 16,67% απάντησε «Λιγότερο πιθανό» ενώ το 30% απάντησε «Καμία αλλαγή» (Διάγραμμα 38). Στην ερώτηση «Αυτό το μάθημα σας έκανε πιο ενδιαφέρουσα τη μάθηση για επιστημονικές διαμάχες;» το 83,33% απάντησε «Ναι» ενώ το 16,67% απάντησε «Όχι» (Διάγραμμα 39).

Λαμβάνοντας υπόψη αυτά που έχετε μάθει, σας ενδιαφέρει περισσότερο μια καριέρα στην επιστήμη;

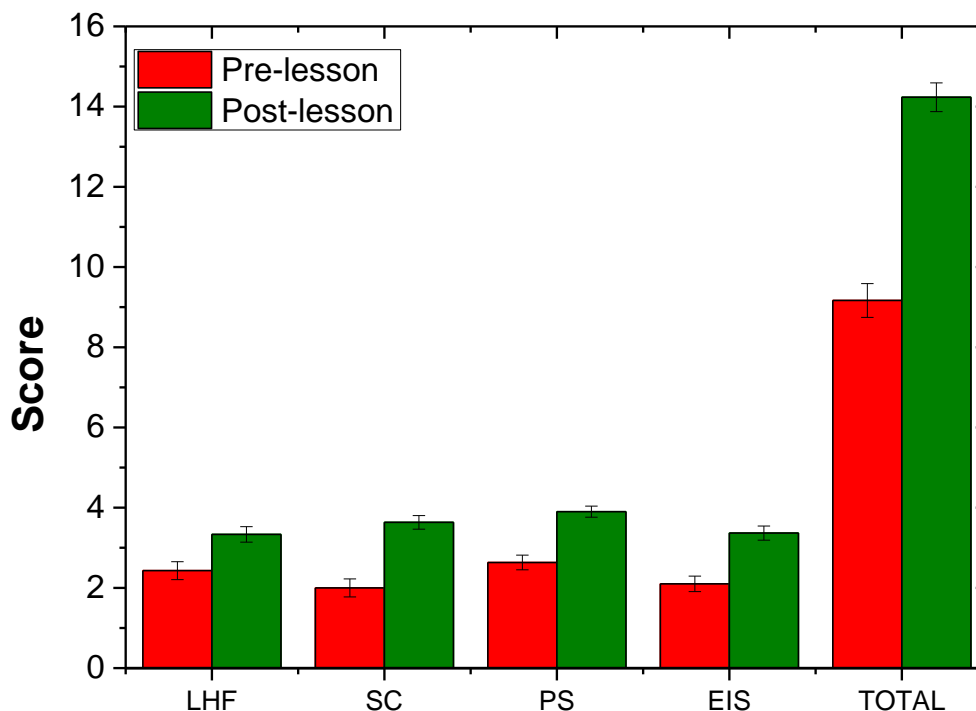


Διάγραμμα 40: Ενδιαφέρον για μια καριέρα στην επιστήμη

Τέλος, στην ερώτηση «Λαμβάνοντας υπόψη αυτά που έχετε μάθει, σας ενδιαφέρει μια καριέρα στην επιστήμη;», το 40% απάντησε «Ναι», το 30% απάντησε «Ίσως» ενώ το 30% απάντησε «Όχι» (Διάγραμμα 40).

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται η μέση βαθμολογία που κατέγραψαν οι 30 μαθητές/ήτριες ανά διάσταση στα δύο ερωτηματολόγια που διαμοιράστηκαν. Τα αποτελέσματα απεικονίζονται επίσης σχηματικά στο παρακάτω διάγραμμα:

	Διάσταση 1 (LHF)	Διάσταση 2 (SC)	Διάσταση 3 (PS)	Διάσταση 4 (EIS)	Συνολική βαθμολογία
<b>Pre- lesson Questionnaire</b>	2.4±0.2	2.0±0.2	2.6±0.2	2.1±0.2	9.2±0.4
<b>Post- lesson Questionnaire</b>	3.3±0.2	3.6±0.2	3.9±0.1	3.4±0.2	14.2±0.4



Τα αποτελέσματα από τα ερωτηματολόγια πριν και μετά το μάθημα αποκαλύπτουν σημαντική βελτίωση σε όλες τις διαστάσεις που αξιολογήθηκαν στη μελέτη. Πριν από την παρέμβαση, οι μέσες βαθμολογίες ήταν σχετικά χαμηλότερες σε κάθε κατηγορία: Η διάσταση «Φως και Ιστορικές Φιγούρες (LHF)» κατέγραψαν βαθμολογία  $2.4 \pm 0.2$ , η «Κατανόηση Επιστημονικών Εννοιών (SC)» ήταν  $2.0 \pm 0.2$ , η «Αντίληψη της Επιστήμης (PS)» ήταν  $2.6 \pm 0.2$ , και οι «προσδοκίες και το ενδιαφέρον για την επιστήμη (EIS)» ήταν  $2.1 \pm 0.2$ , με συνολική βαθμολογία κατά μέσο όρο  $9.2 \pm 0.4$ . Αυτές οι αρχικές βαθμολογίες δείχνουν ένα μέτριο επίπεδο κατανόησης και ενδιαφέροντος, το οποίο παρείχε μια βάση για τη μέτρηση του αντίκτυπου της εκπαιδευτικής παρέμβασης.

Μετά την παρέμβαση, όλες οι διαστάσεις παρουσίασαν αξιοσημείωτες βελτιώσεις. Οι βαθμολογίες για το LHF αυξήθηκαν στο  $3.3 \pm 0.2$ , το SC αυξήθηκε σημαντικά στο  $3.6 \pm 0.2$ , το PS βελτιώθηκε στο  $3.9 \pm 0.1$  και το EIS αυξήθηκε στο  $3.4 \pm 0.2$ , ανεβάζοντας τη συνολική μέση βαθμολογία στο  $14.2 \pm 0.4$ . Αυτές οι βελτιώσεις υποδηλώνουν ότι η παρέμβαση ήταν εξαιρετικά αποτελεσματική στην εμπάθυνση των γνώσεων των μαθητών/τριών και στη μετατόπιση των αντιλήψεων και των στάσεων τους απέναντι στην επιστήμη. Η αύξηση των βαθμολογιών σε κάθε διάσταση καταδεικνύει όχι μόνο ενισχυμένη κατανόηση, ιδιαίτερα σε επιστημονικές έννοιες και ιστορικά πλαίσια, αλλά και μια πιο θετική δέσμευση και ευρύτερη εκτίμηση της φύσης και των επιπτώσεων της επιστημονικής μελέτης. Η σημαντική αύξηση της συνολικής βαθμολογίας υπογραμμίζει τη συνολική αποτελεσματικότητα της παρέμβασης, επιβεβαιώνοντας ότι οι μαθητές/ήτριες επωφελήθηκαν σημαντικά από την εκπαιδευτική προσέγγιση που χρησιμοποιήθηκε.

### T-test analysis

Τα αποτελέσματα από τα ζευγαρωμένα δείγματα t-test παρέχουν ουσιαστικές αποδείξεις για την αποτελεσματικότητα της διδακτικής παρέμβασης σχετικά με τη διαμάχη Newton-Huygens και παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

<b>Paired Samples T-test</b>			
	<b>Μέση τιμή</b>	<b>t</b>	<b>Sig (2-tailed)</b>
<b>LHF (πριν-μετά)</b>	-0.90±0.35	-2.594	0.015
<b>SC (πριν-μετά)</b>	-1.63±0.29	-5.564	<0.001
<b>PS (πριν-μετά)</b>	-1.27±0.25	-5.091	<0.001
<b>EIS (πριν-μετά)</b>	-1.27±0.27	-4.675	<0.001
<b>Συνολικό Σκορ (πριν-μετά)</b>	-5.07±0.63	-8.036	<0.001

Η κατανόηση των παραπάνω αποτελεσμάτων βοηθά στην απάντηση των ερευνητικών ερωτημάτων της εργασίας. Πιο συγκεκριμένα:

***Ερευνητικό ερώτημα 1: Πώς εξελίσσεται η κατανόηση των μαθητών/τριών για το φως και τις ιστορικές φιγούρες ως αποτέλεσμα της παρέμβασης;***

Οι μέσοι όροι πριν και μετά την παρέμβαση για τη διάσταση «Φως και Ιστορικές Φιγούρες» ήταν 2,43 και 3,33, αντίστοιχα. Η στατιστική ανάλυση αποκαλύπτει σημαντική αύξηση ( $t = -2,594$ ,  $p = 0,015$ ) στις βαθμολογίες μετά την παρέμβαση. Αυτή η βελτίωση δείχνει ότι η παρέμβαση ενίσχυσε αποτελεσματικά την κατανόηση των βασικών ιστορικών προσώπων από τους μαθητές/ήτριες και τη συμβολή τους στην επιστήμη του φωτός.

***Ερευνητικό ερώτημα 2: Πώς η παρέμβαση επηρεάζει την κατανόηση των Επιστημονικών Εννοιών από τους μαθητές/ήτριες;***

Για τη διάσταση «Κατανόηση Επιστημονικών Εννοιών», οι βαθμολογίες αυξήθηκαν από τον μέσο όρο 2,00 πριν από την παρέμβαση σε 3,63 μετά από αυτήν. Αυτή η σημαντική αύξηση ( $t = -5,564$ ,  $p < 0,001$ ) υποδηλώνει ότι η παρέμβαση ήταν εξαιρετικά αποτελεσματική στην εμβάθυνση της κατανόησης των επιστημονικών εννοιών που συζητήθηκαν, ιδιαίτερα εκείνων που σχετίζονται με τις θεωρίες του φωτός. Αυτό το εύρημα απαντά θετικά στο δεύτερο ερευνητικό ερώτημα, αποδεικνύοντας ότι η επιστημονική κατανόηση των μαθητών/τριών βελτιώθηκε σημαντικά ως αποτέλεσμα της παρέμβασης.

***Ερευνητικό ερώτημα 3: Πώς επηρεάζει η παρέμβαση την αντίληψη των μαθητών/τριών για την επιστήμη;***

Οι βαθμολογίες «Αντίληψη της Επιστήμης» αυξήθηκαν από 2,63 σε 3,90, με το t-test να δείχνει σημαντική αύξηση ( $t = -5,091$ ,  $p < 0,001$ ). Αυτό υποδηλώνει ότι η παρέμβαση άλλαξε σημαντικά τις αντιλήψεις των μαθητών/τριών για την επιστήμη, κάνοντάς τους πιθανότατα πιο ευγνώμονες για τη δυναμική και εξελισσόμενη φύση της επιστημονικής έρευνας. Αυτό αφορά το τρίτο ερευνητικό ερώτημα, υποδεικνύοντας μια θετική αλλαγή στον τρόπο με τον οποίο οι μαθητές/ήτριες αντιλαμβάνονται την επιστήμη λόγω της εκπαιδευτικής παρέμβασης.

***Ερευνητικό ερώτημα 4: Τι επίδραση έχει η παρέμβαση στις προσδοκίες και το ενδιαφέρον των μαθητών/τριών για την επιστήμη;***

Οι βαθμολογίες για "Προσδοκίες και ενδιαφέρον για την επιστήμη" παρουσίασαν επίσης σημαντική αύξηση από 2,10 σε 3,37 ( $t = -4,675$ ,  $p < 0,001$ ). Αυτό το αποτέλεσμα υποδηλώνει ότι η παρέμβαση ενίσχυσε με επιτυχία το ενδιαφέρον και τις προσδοκίες των μαθητών/τριών για την επιστήμη ως πεδίο σπουδών και δυναμικής σταδιοδρομίας. Απαντά στο τέταρτο ερευνητικό ερώτημα επιβεβαιώνοντας ότι η παρέμβαση επηρέασε θετικά τη δέσμευση και τον ενθουσιασμό των μαθητών/τριών για την επιστήμη.



## Συζήτηση

Πριν από τη διδακτική παρέμβαση, οι γνώσεις και οι στάσεις των μαθητών/τριών σχετικά με τη φύση του φωτός, τις επιστημονικές θεωρίες και τη γενική επιστημονική κατανόηση αποκάλυψαν σημαντικά κενά και παρανοήσεις, καθώς και ένα μείγμα ενδιαφέροντος και αδιαφορίας για επιστημονικά θέματα. Το ερωτηματολόγιο πριν από το μάθημα παρείχε πολύτιμες γνώσεις σχετικά με τις προϋπάρχουσες έννοιές τους και την ποικιλομορφία του επιστημονικού τους γραμματισμού.

Όσον αφορά την περίπτωση της μετάδοσης του φωτός, πολλοί μαθητές/ήτριες είχαν μια μάλλον διαφορούμενη αντίληψη, με τα αποτελέσματα να δείχνουν ότι το 46,67% εξ αυτών αναγνώρισε σωστά τις ευθείες γραμμές όσο και τα κύματα ως τρόπους μετάδοσης του φωτός. Ωστόσο, ένα αξιοσημείωτο τμήμα της κοόρτης είχε πιο περιορισμένες απόψεις, με το 16,67% να πιστεύει μόνο σε ευθείες γραμμές και το 23,33% μόνο σε κύματα, υποδηλώνοντας μερική αλλά κατακερματισμένη κατανόηση της διπλής φύσης του φωτός. Αυτή η διαφορά υπογραμμίζει την ανάγκη για μια πιο ολοκληρωμένη προσέγγιση στη διδασκαλία των αρχών της οπτικής

Η εξοικείωση με τον Ισαάκ Newton ήταν σχετικά υψηλή, με το 63,33% των μαθητών/τριών να αναγνωρίζουν το όνομά του. Παρόλα αυτά, επικρατούσαν παρερμηνείες σχετικά με τις συνεισφορές του. Ενώ το 46,67% προσδιόρισε σωστά τη συμβολή του στη φυσική, ένας σημαντικός αριθμός απέδωσε τη φήμη του σε άσχετα πεδία όπως η χημεία (23,33%), η βιολογία (16,67%) και η γεωλογία (13,33%). Αυτή η εσφαλμένη απόδοση υπογραμμίζει μια θεμελιώδη παρανόηση της ιστορικής και επιστημονικής σημασίας του Newton.

Αντίθετα, ο Christian Huygens ήταν λιγότερο γνωστός μεταξύ των μαθητών/τριών, με το 60% να αναφέρει ότι δεν είχε προηγούμενη γνώση του. Μεταξύ εκείνων που αναγνώρισαν τον Huygens, το 46,67% τον συσχέτισε σωστά με την κυματική θεωρία του φωτός, ωστόσο ένας σημαντικός αριθμός τον συνέδεσε λανθασμένα με τη φυτική βιολογία (30%) και τη θερμοδυναμική (23,33%). Αυτά τα λάθη υποδηλώνουν την ανάγκη για σαφέστερο εκπαιδευτικό περιεχόμενο για ιστορικά επιστημονικά πρόσωπα και τις συγκεκριμένες συνεισφορές τους.

Όσον αφορά τα θεωρητικά θεμέλια του φωτός, η σύγχυση παρέμεινε στους μαθητές/ήτριες. Όταν ρωτήθηκε για τον υποστηρικτή της σωματιδιακής θεωρίας του φωτός, το 43,33% απέδωσε λανθασμένα αυτή τη θεωρία στον Huygens, ενώ μόνο το 23,33% αναγνώρισε σωστά τον Newton. Επιπλέον, το 53,33% των μαθητών/τριών δήλωσε σωστά ότι η κυματική θεωρία του φωτός προτείνει ότι διαδίδεται ως κύματα, αλλά μια σημαντική μειοψηφία εξακολουθεί να έχει ανακριβείς απόψεις, όπως φως που αποτελείται μόνο από θερμική ενέργεια (26,67%) ή σωματίδια (6,67%).

Η κατανόηση των βασικών οπτικών φαινομένων, όπως η λειτουργία ενός πρίσματος και η έννοια της διάθλασης, ήταν επίσης ασυνεπής. Ενώ το 40% κατάλαβε σωστά ότι ένα πρίσμα διαχωρίζει το φως σε ένα φάσμα χρωμάτων, άλλοι πίστευαν ότι σταματά (26,67%) ή παράγει φως (23,33%). Ομοίως, μόνο το 43,33% περιέγραψε σωστά τη διάθλαση ως την

κάμψη του φωτός όταν διέρχεται από διαφορετικά μέσα, με το υπόλοιπο να έχει λανθασμένες αντιλήψεις σχετικά με την ανάκλαση, τη μετάδοση ή εντελώς άσχετες διεργασίες.

Κατά την αξιολόγηση ευρύτερων επιστημονικών εννοιών, οι μαθητές/ήτριες επέδειξαν μικτή κατανόηση. Η πλειοψηφία (56,67%) αναγνώρισε ότι οι επιστημονικές θεωρίες εξελίσσονται συνεχώς, ωστόσο το 40% λανθασμένα πίστευε ότι είναι μόνιμες και αμετάβλητες. Αυτή η διχοτόμηση αντανακλά μια ελλιπή εκτίμηση της δυναμικής φύσης της επιστημονικής γνώσης.

Οι στάσεις απέναντι στην επιστήμη και η συνάφειά της ήταν γενικά θετικές αλλά ποικίλες. Ενώ το 70% των μαθητών/τριών αναγνώρισε τον αντίκτυπο των επιστημονικών συζητήσεων στις τεχνολογικές εξελίξεις, μόνο το 60% πίστευε ότι η κατανόηση της επιστήμης ήταν ζωτικής σημασίας για την εκμάθησή της. Αυτό δείχνει ένα χάσμα μεταξύ της αναγνώρισης της σημασίας της επιστημονικής προόδου και της εκτίμησης της ίδιας της διαδικασίας της επιστημονικής έρευνας.

Το ενδιαφέρον για μάθηση για ιστορικές επιστημονικές διαμάχες, όπως αυτές που αφορούσαν τον Newton και τον Huygens, ήταν παρόν στο 60% των μαθητών/τριών, ωστόσο το 40% εξέφρασε αδιαφορία. Επιπλέον, ενώ τα δύο τρίτα των μαθητών/τριών αναγνώρισαν τη χρησιμότητα των πειραμάτων στην κατανόηση των επιστημονικών εννοιών, το υπόλοιπο τρίτο δεν το έκανε, υποδηλώνοντας την ανάγκη να προωθηθεί μια πιο πρακτική, βασισμένη στην έρευνα προσέγγιση στην επιστημονική εκπαίδευση.

Μετά τη διδακτική παρέμβαση, η αξιολόγηση των γνώσεων και των στάσεων των μαθητών/τριών για τη φύση του φωτός, τις επιστημονικές θεωρίες και τη γενική κατανόηση της επιστήμης αποκάλυψε μια ουσιαστική βελτίωση τόσο στην ακρίβεια της γνώσης όσο και στις επιστημονικές στάσεις. Το ερωτηματολόγιο μετά την παρέμβαση τόνισε αυτές τις αλλαγές, παρέχοντας μια σαφή αντίθεση με την κατανόηση και τις παρανοήσεις πριν από την παρέμβαση.

Όσον αφορά τη φύση του φωτός, παρατηρήθηκε σημαντική βελτίωση. Πριν από την παρέμβαση, μόνο το 46,67% των μαθητών/τριών αναγνώριζε ότι το φως μπορεί να περιγραφεί και ως σωματίδια και ως κύματα. Μετά την παρέμβαση, το ποσοστό αυτό ανήλθε δραματικά στο 73,33%. Αυτή η μετατόπιση υποδηλώνει μια πιο ολοκληρωμένη κατανόηση της διπλής φύσης του φωτός. Επιπλέον, η σωστή απόδοση της σωματιδιακής θεωρίας του φωτός στον Ισαάκ Newton αυξήθηκε από 23,33% σε 63,33%, ενώ η αναγνώριση του Christian Huygens ως εισηγητή της κυματικής θεωρίας αυξήθηκε από 70% σε 26,67%. Αυτές οι αλλαγές αντικατοπτρίζουν μια πιο ακριβή αντίληψη των ιστορικών επιστημονικών συνεισφορών.

Όσον αφορά την κατανόηση των επιστημονικών φαινομένων, οι μαθητές/ήτριες παρουσίασαν αξιοσημείωτη βελτίωση. Για παράδειγμα, πριν από την παρέμβαση, μόνο το 40% αναγνώρισε σωστά ότι ένα πρίσμα διαχωρίζει το φως σε ένα φάσμα χρωμάτων. Αυτό το ποσοστό αυξήθηκε στο 80% μετά την παρέμβαση. Ομοίως, η κατανόηση της διάθλασης ως η κάμψη του φωτός σε μια διεπαφή βελτιώθηκε από 43,33% σε 70%. Αυτά τα αποτελέσματα υποδηλώνουν ότι η παρέμβαση αποσαφήνισε αποτελεσματικά βασικές οπτικές έννοιες.

Οι μαθητές/ήτριες επέδειξαν επίσης βελτιωμένη κατανόηση πιο περίπλοκων φαινομένων όπως η παρεμβολή και η περίθλαση, τα οποία είναι κρίσιμα για την κυματική θεωρία του φωτός. Πριν από την παρέμβαση, επικρατούσαν παρανοήσεις, με πολλούς μαθητές/ήτριες να μην μπορούσαν να προσδιορίσουν σωστά αυτές τις έννοιες. Μετά την παρέμβαση, το 56,67% των μαθητών/τριών συνέδεσε σωστά την παρεμβολή με την κυματική θεωρία του φωτός και το 66,67% αναγνώρισε την περίθλαση όπως εξηγείται καλύτερα από τη θεωρία των κυμάτων, δείχνοντας σημαντική αύξηση στην κατανόηση.

Η παρέμβαση επηρέασε επίσης θετικά τις αντιλήψεις των μαθητών/τριών για τις επιστημονικές θεωρίες και την ανάπτυξή τους. Η πλειοψηφία των μαθητών/τριών (86,67%) συνειδητοποίησε ότι οι επιστημονικές θεωρίες εξελίσσονται συνεχώς, από 56,67% πριν από την παρέμβαση. Αυτό υποδηλώνει μια βαθύτερη εκτίμηση της δυναμικής φύσης της επιστημονικής έρευνας και προόδου. Επιπλέον, η αναγνώριση του ιστορικού πλαισίου στην επιστήμη αυξήθηκε, με το 86,67% των μαθητών/τριών να αναγνωρίζουν τη σημασία του μετά την παρέμβαση, σε σύγκριση με μόλις 60% προηγουμένως.

Η στάση των μαθητών/τριών προς τη συνάφεια των συνεισφορών του Newton και του Huygens στη σύγχρονη επιστήμη βελτιώθηκε επίσης σημαντικά. Μετά την παρέμβαση, το 90% των μαθητών/τριών θεώρησε ότι οι συνεισφορές τους ήταν πολύ σχετικές, μια σημαντική αύξηση από την αντίληψη πριν από την παρέμβαση. Αυτό υποδηλώνει μια καλύτερη κατανόηση της διαρκούς επίδρασης αυτών των ιστορικών προσώπων στη σύγχρονη επιστήμη.

Η παρέμβαση είχε βαθιά επίδραση στις απόψεις των μαθητών/τριών για τον ρόλο των διαφωνιών στην επιστημονική πρόοδο. Αρχικά, οι μαθητές/ήτριες διχάστηκαν ως προς το αν οι επιστημονικές διαφωνίες ήταν ωφέλιμες ή επιβλαβείς. Μετά την παρέμβαση, το 63,33% αναγνώρισε ότι οι διαφωνίες είναι ευεργετικές για την επιστημονική πρόοδο, υποδηλώνοντας μια πιο λεπτή κατανόηση του τρόπου με τον οποίο ο επιστημονικός λόγος και η συζήτηση οδηγούν τις προόδους.

Το ενδιαφέρον για την επιστημονική εξερεύνηση και η σημασία των πειραμάτων παρουσίασαν επίσης θετικές αλλαγές. Μετά την παρέμβαση, το 80% των μαθητών/τριών εξέφρασε αυξημένο ενδιαφέρον για την εξερεύνηση επιστημονικών θεωριών και το ίδιο ποσοστό αναγνώρισε τον κρίσιμο ρόλο των πειραμάτων στην επιστημονική κατανόηση. Αυτά τα στοιχεία αντιπροσωπεύουν μια αξιοσημείωτη αύξηση στον ενθουσιασμό και την αναγνώριση των πρακτικών πτυχών της επιστημονικής έρευνας.

Τέλος, η παρέμβαση επηρέασε τη μελλοντική ενασχόληση των μαθητών/τριών με την επιστήμη. Μετά την παρέμβαση, το 53,33% των μαθητών/τριών ανέδειξε μεγαλύτερη πιθανότητα ενασχόλησης με επιστημονικό περιεχόμενο εκτός σχολείου, σε σύγκριση με μια πιο σποραδική ενασχόληση που αναφέρθηκε προηγουμένως. Το ενδιαφέρον για σταδιοδρομία στην επιστήμη αυξήθηκε επίσης, με το 40% των μαθητών/τριών να εκδηλώνει οριστικό ενδιαφέρον, από 30% πριν από την παρέμβαση.

## Συμπεράσματα

Σε αυτήν την έρευνα, πραγματοποιήθηκε μια λεπτομερής διδακτική παρέμβαση βασισμένη στην ιστορική διαμάχη μεταξύ του Newton και του Huygens για τη φύση του φωτός. Στόχος της παρέμβασης ήταν να αυξήσει τις γνώσεις και τις απόψεις των μαθητών/τριών για σημαντικά επιστημονικά γεγονότα, καθώς και τη στάση τους απέναντι στην επιστήμη. Έτσι, με βάση τα σχεδιασμένα δομημένα ερωτηματολόγια πριν και μετά το μάθημα που χωρίσαμε σε συγκεκριμένες διαστάσεις όπως Φως και Ιστορικές Φιγούρες, Επιστημονικές Έννοιες, Αντίληψη της Επιστήμης, Προσδοκίες και Ενδιαφέρον για την Επιστήμη, προσπαθήσαμε να ποσοτικοποιήσουμε τις αλλαγές στη γνώση και τη στάση μετά την παρέμβαση. Κάθε ερωτηματολόγιο πλαισιώθηκε με τέτοιο τρόπο ώστε να ελέγχει την κατανόηση των μαθητών/τριών, καθώς και την εικόνα που είχαν σχετικά με τις εκπαιδευτικές δραστηριότητες πριν περάσουν από την παρέμβαση και πώς αυτή η εικόνα έχει αλλάξει μετά την ενσωμάτωση της παρέμβασης.

Σε όλους τους παράγοντες που συζητήθηκαν, το αποτέλεσμα της ανάλυσης πρότεινε μια θετική μετατόπιση στις βαθμολογίες. Η διδακτική παρέμβαση του θέματος στόχευε στην ενίσχυση της γνώσης των μαθητών/τριών για τη διαμάχη Newton-Huygens και οι διδακτικές στρατηγικές, πράγματι, πέτυχαν με τρόπο που διεύρυνε και ενίσχυσε την κατανόηση των μαθητών/τριών για τις ιστορικο-επιστημονικές πτυχές της διαμάχης με έμφαση στη διαδικασία και προαγωγή της γνώσης. Επίσης, δημιούργησε μια θετική προσέγγιση για την επιστήμη, με αποτέλεσμα τη βελτίωση της μάθησης και της συμμετοχής των μαθητών/τριών. Αυτά τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η χρήση ιστορικών επιστημονικών αντιπαραθέσεων ως συστατικού της επιστημονικής εκπαίδευσης μπορεί να είναι ένα πολύ χρήσιμο και αποτελεσματικό μέσο όχι μόνο μετάδοσης επιστημονικών πληροφοριών αλλά και δημιουργίας προοδευτικού και εστιασμένου ενδιαφέροντος για την επιστήμη. Συμπερασματικά, η μελέτη καταδεικνύει ότι η επίκληση ιστορικών στοιχείων κατά τη διδασκαλία μπορεί να είναι χρήσιμη στην ενίσχυση του βάθους κατανόησης μιας συγκεκριμένης έννοιας από τους μαθητές/ήτριες, ενώ παράλληλα δημιουργεί συνδέσεις με τη σημερινή επιστημονική κλίση.

Η παρέμβαση ενίσχυσε σημαντικά την κατανόηση των μαθητών/τριών για τη φύση του φωτός και τα ιστορικά πρόσωπα που σχετίζονται με τη μελέτη του. Πριν από την παρέμβαση, μόνο το 46,67% των μαθητών/τριών αναγνώριζε ότι το φως μπορούσε να περιγραφεί και ως σωματίδια και ως κύματα. Αυτή η κατανόηση βελτιώθηκε ουσιαστικά σε 73,33% μετά την παρέμβαση, υποδεικνύοντας μια πιο ολοκληρωμένη κατανόηση της διπλής φύσης του φωτός.

Επιπλέον, η σωστή απόδοση της θεωρίας των σωματιδίων του φωτός στον Ισαάκ Newton αυξήθηκε από 23,33% σε 63,33%, ενώ η αναγνώριση του Huygens ως υποστηρικτή της κυματικής θεωρίας αυξήθηκε στο 70% από μια χαμηλότερη γραμμή βάσης πριν από την παρέμβαση. Αυτά τα ευρήματα υποδηλώνουν ότι η παρέμβαση αποσαφήνισε αποτελεσματικά τους ρόλους και τη συμβολή αυτών των κομβικών ιστορικών προσωπικοτήτων στη μελέτη του φωτός.

Η κατανόηση των βασικών επιστημονικών εννοιών που σχετίζονται με το φως από τους μαθητές/ήτριες σημείωσε επίσης αξιοσημείωτες βελτιώσεις. Η ικανότητα σωστής αναγνώρισης του φαινομένου της διασποράς μέσω ενός πρίσματος αυξήθηκε από 40% σε 80% μετά την παρέμβαση, αντικατοπτρίζοντας μια σαφέστερη κατανόηση αυτής της θεμελιώδους οπτικής διαδικασίας. Η γνώση της διάθλασης βελτιώθηκε παρομοίως, με το 70% των μαθητών/τριών να την αναγνωρίζουν σωστά ως την κάμψη του φωτός σε μια διεπαφή, από 43,33% πριν από την παρέμβαση. Επιπλέον, οι μαθητές/ήτριες έδειξαν καλύτερη κατανόηση φαινομένων που σχετίζονται με πολύπλοκα κύματα, όπως η παρεμβολή και η περίθλαση, με το 56,67% να συνδέει την παρεμβολή με την κυματική θεωρία του φωτός και το 66,67% να αναγνωρίζει τη διάθλαση όπως εξηγείται από την κυματική θεωρία. Αυτά τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η παρέμβαση ήταν επιτυχής στην εμπάθυνση της κατανόησης των επιστημονικών εννοιών που σχετίζονται με το φως από τους μαθητές/ήτριες.

Επιπρόσθετα, η παρέμβαση είχε σημαντικό θετικό αντίκτυπο στην ευρύτερη κατανόηση των φυσικών επιστημών και της ανάπτυξής της από τους μαθητές/ήτριες. Η πλειοψηφία των μαθητών/τριών (86,67%) αντιλήφθηκε ότι οι επιστημονικές θεωρίες εξελίσσονται συνεχώς, μια αξιοσημείωτη αύξηση από το 56,67% που είχε αυτή την άποψη πριν από την παρέμβαση. Αυτή η αλλαγή αντανακλά μια βαθύτερη αναγνώριση της δυναμικής φύσης της επιστημονικής γνώσης. Επιπλέον, το 86,67% των μαθητών/τριών μετά την παρέμβαση αναγνώρισε τη σημασία του ιστορικού πλαισίου στην επιστήμη, από 60% πριν από την παρέμβαση. Η βελτιωμένη αντίληψη της συνάφειας των συνεισφορών του Newton και του Huygens στη σύγχρονη επιστήμη, με το 90% των μαθητών/τριών να τις βρίσκει πολύ σχετικές μετά την παρέμβαση, υπογραμμίζει μια πιο ενημερωμένη και πιο λεπτή κατανόηση του ιστορικού και συνεχούς αντίκτυπου των επιστημονικών ανακαλύψεων.

Η παρέμβαση επηρέασε θετικά τις προσδοκίες και το ενδιαφέρον των μαθητών/τριών για την επιστήμη. Μετά την παρέμβαση, το 80% των μαθητών/τριών εξέφρασε αυξημένο ενδιαφέρον για διερεύνηση επιστημονικών θεωριών, μια σημαντική άνοδος από τα προ της παρέμβασης επίπεδα. Ομοίως, η αναγνώριση της σημασίας των πειραμάτων στην

κατανόηση των επιστημονικών εννοιών αυξήθηκε, με το 80% των μαθητών/τριών να αναγνωρίζουν τον κρίσιμο ρόλο τους. Το ενδιαφέρον για ενασχόληση με επιστημονικό περιεχόμενο εκτός σχολείου αυξήθηκε επίσης, με το 53,33% των μαθητών/τριών να δηλώνει μεγαλύτερη πιθανότητα τέτοιας δέσμευσης μετά την παρέμβαση. Επιπλέον, το ενδιαφέρον για σταδιοδρομία στην επιστήμη αυξήθηκε, με το 40% των μαθητών/τριών να εκδηλώνουν οριστικό ενδιαφέρον σε σύγκριση με το 30% πριν από την παρέμβαση. Αυτά τα ευρήματα υποδηλώνουν ότι η παρέμβαση όχι μόνο βελτίωσε την επιστημονική κατανόηση αλλά ενθάρρυνε επίσης μεγαλύτερο ενθουσιασμό και προσδοκία για περαιτέρω επιστημονική εξερεύνηση και πιθανές σταδιοδρομίες στον τομέα.

Συμπερασματικά, η διδακτική παρέμβαση στη διαμάχη Newton-Huygens αντιμετώπισε με επιτυχία τα ερευνητικά ερωτήματα, επιδεικνύοντας σημαντικές βελτιώσεις στην κατανόηση του φωτός, των ιστορικών προσώπων και των επιστημονικών εννοιών από τους μαθητές/ήτριες. Επηρέασε επίσης θετικά την ευρύτερη κατανόησή τους για την επιστήμη και αύξησε το ενδιαφέρον και τις προσδοκίες τους για επιστημονική μάθηση και σταδιοδρομία.

## Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

Ως προτάσεις περαιτέρω έρευνας σχετικά με τη διδακτική αξιοποίηση της διαμάχης Newton-Huygens θα μπορούσαν να εξεταστούν τα εξής:

- **Επέκταση της έρευνας σε μεγαλύτερο δείγμα:** Μία μελλοντική έρευνα θα μπορούσε να περιλαμβάνει περισσότερους μαθητές/ήτριες από διαφορετικά εκπαιδευτικά περιβάλλοντα, προκειμένου να εξαχθούν πιο γενικεύσιμα αποτελέσματα. Το μικρό δείγμα που χρησιμοποιήθηκε στη συγκεκριμένη μελέτη μπορεί να έχει περιορίσει την αντιπροσωπευτικότητα των ευρημάτων.
- **Εφαρμογή σε άλλα επιστημονικά πεδία:** Μία ακόμη κατεύθυνση θα ήταν να αξιοποιηθεί η ίδια ιστορική προσέγγιση για τη διδασκαλία άλλων εννοιών της φυσικής, όπως ο ηλεκτρισμός ή η θερμοδυναμική, προκειμένου να διερευνηθεί η γενική αποτελεσματικότητα αυτής της μεθόδου στη διδακτική των φυσικών επιστημών.
- **Διαπολιτισμικές συγκρίσεις:** Μία ενδιαφέρουσα κατεύθυνση θα ήταν η σύγκριση των αντιλήψεων μαθητών/τριών από διαφορετικές χώρες ή πολιτισμούς σχετικά με την επιστήμη, εξετάζοντας αν η διδασκαλία της διαμάχης Newton-Huygens οδηγεί σε διαφορετικά μαθησιακά αποτελέσματα ανάλογα με το πολιτισμικό πλαίσιο.

- Ανάλυση της εξέλιξης της επιστημονικής σκέψης: Μελλοντικές έρευνες θα μπορούσαν να επικεντρωθούν στο πώς η διδασκαλία της επιστημονικής εξέλιξης μέσω ιστορικών αντιπαραθέσεων επηρεάζει τη μακροπρόθεσμη κατανόηση των μαθητών/τριών για την επιστημονική μέθοδο και την κριτική σκέψη τους.
- Εκτίμηση ψυχολογικών και κοινωνικών επιδράσεων: Θα μπορούσε να διερευνηθεί το πώς η χρήση ιστορικών επιστημονικών αντιπαραθέσεων επηρεάζει τη στάση των μαθητών/τριών απέναντι στην επιστήμη, καθώς και τη σχέση τους με την επιστημονική κοινότητα και την κοινωνία.

## Παράρτημα

### PRE-LESSON QUESTIONNAIRE

#### Φως και Ιστορικά Πρόσωπα

1. Το φως ταξιδεύει σε:
  - A) Ευθείες γραμμές μόνο
  - B) Κύματα μόνο
  - Γ) Και ευθείες και κύματα
  - Δ) Τίποτα από τα παραπάνω
  
2. Έχετε ξανακούσει για τον Ισαάκ Newton;
  - A) Ναι
  - B) Όχι
  
3. Ο Ισαάκ Newton είναι διάσημος για το έργο του στη:
  - A) Βιολογία
  - B) Χημεία
  - Γ) Φυσική
  - Δ) Γεωλογία
  
4. Ο Christiaan Huygens συνέβαλε στη μελέτη:
  - A) Φυτική βιολογία
  - B) Κυματική θεωρία φωτός
  - Γ) Τεκτονική πλακών
  - Δ) Θερμοδυναμική
  
5. Έχετε ξανακούσει για τον Christiaan Huygens;
  - A) Ναι
  - B) Όχι



### **Κατανόηση Επιστημονικών Εννοιών**

6. Η θεωρία ότι το φως αποτελείται από σωματίδια προτάθηκε από:

- Α) Isaac Newton
- Β) Christiaan Huygens
- Γ) Και τους δύο
- Δ) Κανένα από τους δύο

7. Η κυματική θεωρία του φωτός προτείνει ότι το φως:

- Α) Αποτελείται από σωματίδια
- Β) Απλώνεται ως κύματα
- Γ) Αποτελείται μόνο από θερμική ενέργεια
- Δ) Τίποτα από τα παραπάνω

8. Τι κάνει ένα πρίσμα στο φως;

- Α) Σταματάει το φως
- Β) Διαχωρίζει το φως σε ένα φάσμα χρωμάτων
- Γ) Παράγει φως
- Δ) Τίποτα από τα παραπάνω

9. Η διάθλαση συμβαίνει όταν το φως:

- Α) Περνά ευθεία μέσα από ένα μέσο
- Β) Λυγίζει κατά το πέρασμα από το ένα μέσο στο άλλο
- Γ) Αντανακλά σε επιφάνεια
- Δ) Τίποτα από τα παραπάνω

10. Ποιος χρησιμοποίησε ένα πρίσμα για να μελετήσει το φάσμα του φωτός;

- Α) Isaac Newton
- Β) Christiaan Huygens
- Γ) Και οι δύο

- Δ) Κανένας από τους δύο

### Αντίληψη της επιστήμης

11. Πιστεύετε ότι η κατανόηση της ιστορίας της επιστήμης είναι σημαντική για την εκμάθηση της επιστήμης;

- A) Ναι
- B) Όχι

12. Οι επιστημονικές θεωρίες είναι:

- A) Μόνιμες και αμετάβλητες
- B) Διαρκώς εξελισσόμενες
- Γ) Σπάνια ακριβείς
- Δ) Μη χρήσιμες

13. Πώς πιστεύετε ότι οι επιστημονικές ανακαλύψεις επηρεάζουν την καθημερινότητά μας;

- A) Εξαιρετικά
- B) Κάπως
- Γ) Όχι πολύ
- Δ) Καθόλου

14. Μπορούν οι επιστημονικές συζητήσεις να επηρεάσουν τις τεχνολογικές εξελίξεις;

- A) Ναι
- B) Όχι

15. Οι διαφωνίες μεταξύ των επιστημόνων είναι:

- A) Ευεργετικές για την επιστημονική πρόοδο
- B) Επιβλαβείς για την επιστημονική πρόοδο
- Γ) Άσχετες με την επιστημονική πρόοδο
- Δ) Δεν ξέρω

### **Προσδοκίες και ενδιαφέρον για την επιστήμη**

16. Σας ενδιαφέρει να μάθετε πώς επιστήμονες όπως ο Newton και ο Huygens ανέπτυξαν τις θεωρίες τους;

- A) Ναι
- B) Όχι

17. Πιστεύετε ότι τα πειράματα είναι απαραίτητα για την κατανόηση των επιστημονικών εννοιών;

- A) Ναι
- B) Όχι

18. Πόσο συχνά ασχολείστε με επιστημονικό περιεχόμενο εκτός σχολείου;

- A) Συχνά
- B) Μερικές φορές
- Γ) Σπάνια
- Δ) Ποτέ

19. Πιστεύετε ότι είναι ενδιαφέρουσα η μάθηση για τις επιστημονικές διαμάχες;

- A) Ναι
- B) Όχι

20. Θα θέλατε να ακολουθήσετε μια καριέρα στην επιστήμη με βάση αυτά που γνωρίζετε έως τώρα;

- A) Ναι
- B) Ίσως
- Γ) Όχι

### **### Post-Lesson Questionnaire**

#### **Φως και Ιστορικά Πρόσωπα**

1. Το φως μπορεί να περιγραφεί ως:

- A) Μόνο σωματίδια
- B) Μόνο κύματα
- Γ) Και σωματίδια και κύματα
- Δ) Ούτε σωματίδια ούτε κύματα

2. Ποιος επιστήμονας σχετίζεται με τη σωματιδιακή θεωρία του φωτός;

- A) Isaac Newton
- B) Christiaan Huygens
- Γ) Και οι δύο
- Δ) Κανένας από τους δύο

3. Ποιος επιστήμονας πρότεινε την κυματική θεωρία του φωτός;

- A) Isaac Newton
- B) Christiaan Huygens
- Γ) Και τα δύο
- Δ) Κανένα από τα δύο

4. Ποιο είναι το φαινόμενο της διάσπασης του λευκού φωτός σε ένα φάσμα χρωμάτων χρησιμοποιώντας ένα πρίσμα;

- A) Αντανάκλαση
- B) Διάθλαση
- Γ) Διασπορά
- Δ) Περίθλαση

5. Τι εξηγεί καλύτερα η κυματική θεωρία του φωτός;

- Α) Αντανάκλαση
- Β) Διάθλαση
- Γ) Παρεμβολή
- Δ) Πόλωση

### **Κατανόηση Επιστημονικών Εννοιών**

6. Μετά το μάθημα, πώς καταλαβαίνετε ότι ταξιδεύει το φως στο διάστημα;

- Α) Σε ευθείες γραμμές
- Β) Ως κύματα
- Γ) Και σε ευθείες και ως κυματισμούς
- Δ) Δεν είμαι σίγουρος

7. Πώς ένα πρίσμα επηρεάζει το φως;

- Α) Σταματάει
- Β) Το χωρίζει σε χρώματα
- Γ) Το μεγεθύνει
- Δ) Τίποτα

8. Η διάθλαση είναι:

- Α) Η κάμψη του φωτός σε μια διεπαφή
- Β) Φως που ταξιδεύει σε ευθείες γραμμές
- Γ) Η διάσπαση του φωτός σε φάσμα
- Δ) Η αναπήδηση του φωτός

9. Με βάση αυτά που μάθατε, ποιος έκανε πειράματα με πρίσματα για να μελετήσει το φως;

- Α) Isaac Newton
- Β) Christiaan Huygens
- Γ) Και οι δύο
- Δ) Κανένας από τους δύο

10. Το φαινόμενο της περίθλασης εξηγείται καλύτερα από:

- A) Σωματιδιακή θεωρία
- B) Κυματική θεωρία
- Γ) Και τις δύο θεωρίες
- Δ) Καμία θεωρία

### Αντίληψη της επιστήμης

11. Αυτό το μάθημα άλλαξε την άποψή σας για τη σημασία του ιστορικού πλαισίου στην επιστήμη;

- A) Ναι
- B) Όχι

12. Πιστεύετε τώρα ότι οι επιστημονικές θεωρίες είναι:

- A) Σταθερές και αμετάβλητες
- B) Διαρκώς εξελισσόμενες
- Γ) Σπάνια χρήσιμες
- Δ) Μη απαραίτητες

13. Πόσο σχετικές βρίσκετε τις συνεισφορές του Newton και του Huygens στη σύγχρονη επιστήμη;

- A) Πολύ σχετικές
- B) Κάπως σχετικές
- Γ) Ελαφρώς σχετικές
- Δ) Καθόλου σχετικές

14. Πιστεύετε ότι η κατανόηση των επιστημονικών συζητήσεων μπορεί να οδηγήσει σε καλύτερες τεχνολογικές καινοτομίες;

- A) Ναι
- B) Όχι

15. Πώς αντιλαμβάνεστε τον ρόλο των διαφωνιών στην επιστημονική πρόοδο μετά από αυτό το μάθημα;

- Α) Είναι ευεργετικές
- Β) Είναι επιβλαβείς
- Γ) Είναι ασήμαντες
- Δ) Αβέβαιο

**Προσδοκίες και ενδιαφέρον για την επιστήμη**

16. Σας ενδιαφέρει περισσότερο να εξερευνήσετε επιστημονικές θεωρίες μετά από αυτό το μάθημα;

- Α) Ναι
- Β) Όχι

17. Πιστεύετε ότι η εκτέλεση πειραμάτων είναι κρίσιμη για την επιστημονική κατανόηση;

- Α) Ναι
- Β) Όχι

18. Πόσο πιθανό είναι να ασχοληθείτε με επιστημονικό περιεχόμενο εκτός σχολείου μετά από αυτό το μάθημα;

- Α) Πολύ πιθανό
- Β) Λιγότερο πιθανό
- Γ) Καμία αλλαγή
- Δ) Δεν ασχολούμαι ποτέ με επιστημονικό περιεχόμενο

19. Αυτό το μάθημα σας έκανε πιο ενδιαφέρουσα τη μάθηση για επιστημονικές διαμάχες;

- Α) Ναι
- Β) Όχι

20. Λαμβάνοντας υπόψη αυτά που έχετε μάθει, σας ενδιαφέρει περισσότερο μια καριέρα στην επιστήμη;

Κανελλοπούλου Πέλλα, Η διαμάχη Νεύτωνα – Huygens για τη φύση του φωτός και η αξιοποίησή της στη διδασκαλία της κυματοειδούς φύσης του φωτός

- Α) Ναι
- Β) Ίσως
- Γ) Όχι



## Βιβλιογραφικές Αναφορές

- Alisir, Z. N., & Irez, S. (2020). The Effect of Replicating Historical Scientific Apparatus on High School Students' Attitudes Towards Science and Their Understanding of Nature of Science. *Science & Education*. <https://doi.org/10.1007/s11191-020-00148-0>
- Ally, M. (2008). *Foundations of Educational Theory for Online Learning*. Athabasca University. Reposted with permission by the author in Saint Paul University Ανακτήθηκε στις 13/6/2024 από [https://eddl.tru.ca/wp-content/uploads/2018/12/01\\_Anderson\\_2008-Theory\\_and\\_Practice\\_of\\_Online\\_Learning.pdf](https://eddl.tru.ca/wp-content/uploads/2018/12/01_Anderson_2008-Theory_and_Practice_of_Online_Learning.pdf)
- Ananthaswamy, A. (2023). Particle, wave, both or neither? The experiment that challenges all we know about reality. *Nature*, 618(7965), 454–456. <https://doi.org/10.1038/d41586-023-01938-6>
- Anderson, L. & Krathwohl, D. (Eds) . (2001). *A Taxonomy for Learning, Teaching and Assessing: A Revision of Bloom's Taxonomy of Educational Objectives: Complete Edition*. New York: Longman.
- Anderson, T. & Dron, J. (2011). *Three Generations of Distance Education Pedagogy*. In *International Review of Research in Open and Distance Learning*, v.12.3., pp.80-97 Ανακτήθηκε στις 18/6/2024 από <http://www.irrodl.org/index.php/irrodl/article/view/890/1826>.
- Baierlein, R. (1992). *Newton's particle theory*. In: *Newton to Einstein: The Trail of Light: An Excursion to the Wave-Particle Duality and the Special Theory of Relativity*. Cambridge University Press; 1992:33-58.
- Ball, P. (2023, November 11). "Refraction is then all there is to it": How Isaac Newton's experiments revealed the mystery of light. Livescience.com. <https://www.livescience.com/physics-mathematics/refraction-is-then-all-there-is-to-it-how-isaac-newtons-experiments-revealed-the-mystery-of-light>

- Belendez, A. (2015, June 12). *OpenMind*. OpenMind.  
<https://www.bbvaopenmind.com/en/science/leading-figures/thomas-young-and-the-wave-nature-of-light/>
- Besson, U. (2010). The History of the Cooling Law: When the Search for Simplicity can be an Obstacle. *Science & Education*, 21(8), 1085–1110. <https://doi.org/10.1007/s11191-010-9324-1>
- Braga, M., Guerra, A., & Reis, J. C. (2010). The Role of Historical-Philosophical Controversies in Teaching Sciences: The Debate Between Biot and Ampère. *Science & Education*, 21(6), 921–934. <https://doi.org/10.1007/s11191-010-9312-5>
- Cartwright, M. (2023, October 3). *Christiaan Huygens*. World History Encyclopedia. [https://www.worldhistory.org/Christiaan\\_Huygens/](https://www.worldhistory.org/Christiaan_Huygens/)
- Chang, D. C. (2024). *A New Understanding on Wave-Particle Duality: Comparing the Quantum Wave Model with the Copenhagen Interpretation and Other Alternative Models*. 123–139. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-48777-4\\_10](https://doi.org/10.1007/978-3-031-48777-4_10)
- Cohen, L., Manion, L., & Morrison, K. (2018). *Research methods in education* (8th ed.). Routledge.
- Council of Europe. (2018). *Quality History Education in the 21st Century: Principles and Guidelines*. <https://rm.coe.int/prems-108118-gbr-2507-quality-history-education-web21x21/16808eace7>.
- Edwards, C. H. (1979). The Calculus According to Newton. *Springer EBooks*, 189–230. [https://doi.org/10.1007/978-1-4612-6230-5\\_8](https://doi.org/10.1007/978-1-4612-6230-5_8)
- Harper, W. L. (2011). An Introduction to Newton’s Scientific Method. *Oxford University Press EBooks*, 1–49. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780199570409.003.0001>
- Heering, P., & Cavicchi, E. (2020). Teaching About Nature of Science Through Historical Experiments. *Science: Philosophy, History and Education*, 609–626. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-57239-6\\_33](https://doi.org/10.1007/978-3-030-57239-6_33)

- Heering, P., & Höttecke, D. (2013). Historical-Investigative Approaches in Science Teaching. *Springer EBooks*, 1473–1502. [https://doi.org/10.1007/978-94-007-7654-8\\_46](https://doi.org/10.1007/978-94-007-7654-8_46)
- Höttecke, D., Henke, A., & Riess, F. (2010). Implementing History and Philosophy in Science Teaching: Strategies, Methods, Results and Experiences from the European HIPST Project. *Science & Education*, 21(9), 1233–1261. <https://doi.org/10.1007/s11191-010-9330-3>
- Khalikov Alimardon Sultanovich. (2023). SOME CONSIDERATIONS IN THE STUDY OF LIDHT. *the American Journal of Engineering and Technology*, 05(12), 11–14. <https://doi.org/10.37547/tajet/volume05issue12-03>
- Kuhn, T. S. (1962). *The structure of scientific revolutions*. University of Chicago Press.
- Kurt, S. (2017). *ADDIE Model: Instructional Design*. In *Educational Technology*, August 29, 2017. Προσπελάστηκε στις 1/6/2024 από <https://educationaltechnology.net/the-addie-model-instructional-design/>.
- Libre Texts Physics. (2016, November 1). 1.7: Huygens's Principle. Physics LibreTexts. [https://phys.libretexts.org/Bookshelves/University\\_Physics/University\\_Physics\\_%28OpenStax%29/University\\_Physics\\_III\\_-\\_Optics\\_and\\_Modern\\_Physics\\_%28OpenStax%29/01%3A\\_The\\_Nature\\_of\\_Light/1.07%3A\\_Huygens\\_Principle](https://phys.libretexts.org/Bookshelves/University_Physics/University_Physics_%28OpenStax%29/University_Physics_III_-_Optics_and_Modern_Physics_%28OpenStax%29/01%3A_The_Nature_of_Light/1.07%3A_Huygens_Principle)
- Makrakis, V. & Kostoulas-Makrakis, N. (2016). *An Instructional - Learning Model Applying in Problem-Based Learning*. In Anastasiades, P, Zaranis, N. (Eds.). *Research on e-Learning and ICT in Education: Technological, Pedagogical and Instructional Perspectives*. Springer, 3-16
- Matthews, M. R. (2015). History of Science in the Curriculum. *Springer EBooks*, 459–462. [https://doi.org/10.1007/978-94-007-2150-0\\_162](https://doi.org/10.1007/978-94-007-2150-0_162)
- Mutanen, A. (2013). Questioning and Experimentation. *Science & Education*, 23(8), 1567–1582. <https://doi.org/10.1007/s11191-013-9645-y>

- Nam, C. & Smith-Jackson, T. (2007). *Web-Based Learning Environment: A TheoryBased Design Process for Development and Evaluation*. In *Journal of Information Technology Education*, 6: 23-43. Ανακτήθηκε στις 15/6/2024 από <http://www.jite.org/documents/Vol6/JITEv6p023-043Nam145.pdf>.
- Petersen, C. (2024). “Christiaan Huygens’ Wave Theory of Light: A Major Contribution to Seventeenth Century Science,” *The Thetean: A Student Journal for Scholarly Historical Writing: Vol. 20: Iss. 1, Article 4*.
- Plato. (2000). *Timaeus* (D. J. Zeyl, Trans.). Hackett Publishing Company. (Original work published ca. 360 B.C.E.)
- Rawat, H. (2017, November 1). *Christiaan Huygens Theory of Light - Huygens Principle Explained*. Physics in My View. [https://physicsinmyview.com/2017/11/huygens-principle-explained.html?utm\\_content=cmp-true](https://physicsinmyview.com/2017/11/huygens-principle-explained.html?utm_content=cmp-true)
- Segre, E. (1997, June). *Ιστορία της Φυσικής - Από την Πτώση των Σωμάτων έως τα Ραδιοκύματα Τόμος Α*. [www.diavlos-books.gr](http://www.diavlos-books.gr). <https://www.diavlos-books.gr/product/553/istoria-tis-fysikis-apo-tin-ptosi-ton-somaton-eos-ta-radiokymata-tomos-a->
- Shapiro, A. E. (2017). *Newton’s Optical Experiments and Theories*. <https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780199930418.013.12>
- Σοφός, Α., Κώστας, Α., Παράσχου, Β.,. (2015). *Online εξ αποστάσεως εκπαίδευση. (ηλεκτρονικό βιβλίο)*. Αθήνα: Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών. Ανακτήθηκε στις 5/6/2024 από <http://hdl.handle.net/11419/182>.
- Thomas, J. I. (2024). Geometrization of the Huygens–Fresnel principle: Applications to Fraunhofer diffraction. *AIP Advances*, 14(5). <https://doi.org/10.1063/5.0191874>
- Vincent-Lancrin, S. (2021). Fostering Students’ Creativity and Critical Thinking in Science Education. *Education in the 21st Century*, 29–47. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-85300-6\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-030-85300-6_3)

- Vos, B. (2021). Integrated HPS? Formal versus historical approaches to philosophy of science. *Synthese*, 199(5-6), 14509–14533. <https://doi.org/10.1007/s11229-021-03431-x>
- Vosniadou, S. (2019). The Development of Students' Understanding of Science. *Frontiers in Education*, 4. <https://doi.org/10.3389/educ.2019.00032>
- Weisstein, E. W. (n.d.). *Fresnel, Augustin (1788-1827) -- from Eric Weisstein's World of Scientific Biography*. Scienceworld.wolfram.com. Retrieved May 30, 2024, from <https://scienceworld.wolfram.com/biography/Fresnel.html>