



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ – ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΗΣ

Σύγχρονες Εκπαιδευτικές Προσεγγίσεις στο Φωτοηλεκτρικό Φαινόμενο στην Ελλάδα και στο Εξωτερικό

Βασιλείου Δημήτριος

dvasileiou@uth.gr

Μεταπτυχιακός φοιτητής

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ "ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗ ΦΥΣΙΚΗ"

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Υπεβλήθη για την εκπλήρωση μέρους των απαιτήσεων για την απόκτηση
του Μεταπτυχιακού Τίτλου "Εφαρμοσμένη Φυσική"

Λαμία – Χειμερινό Εξάμηνο 2024–2025

©2025 Δημήτριος Βασιλείου

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το Τμήμα Φυσικής της Σχολής Θετικών Επιστημών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας δεν υποδηλώνει αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα (Ν. 5343/32 αρ. 202 παρ. 2).

Εγκρίθηκε από τα Μέλη της Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής

Πρώτος Εξεταστής (Επιβλέπων): Νικόλαος Πετρόπουλος
Επίκουρος Καθηγητής, Τμήμα Φυσικής, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Δεύτερος Εξεταστής: Διονύσιος Βαβουγιός
Ομότιμος Καθηγητής, Τμήμα Φυσικής, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Τρίτος Εξεταστής: Θεόδωρος Καρακασίδης
Καθηγητής, Τμήμα Φυσικής, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Ευχαριστίες

Πρωτίστως, θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες προς τον επιβλέποντα της διπλωματικής μου εργασίας, Επίκουρο Καθηγητή κ. Νικόλαο Πετρόπουλο, για την πολύτιμη καθοδήγησή του, την αδιάκοπη υποστήριξή του και τις εύστοχες συμβουλές του καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης αυτής της εργασίας.

Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω τα μέλη της εξεταστικής επιτροπής, Καθηγητές κ. Διονύσιο Βαβουγιό και κ. Θεόδωρο Καραχασίδη, για τον χρόνο που αφιέρωσαν στην προσεκτική ανάγνωση της εργασίας μου, καθώς και για τις πολύτιμες παρατηρήσεις και υποδείξεις τους, οι οποίες συνέβαλαν στη βελτίωση της ποιότητάς της. Η συμβολή τους υπήρξε καθοριστική τόσο στην επιστημονική όσο και στην προσωπική μου εξέλιξη.

Ευχαριστώ, επίσης, όλους τους διδάσκοντες του Φυσικού του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας που συμμετείχαν στο πρόγραμμα ΜΠΣ Εφαρμοσμένης Φυσικής, καθώς η διδασκαλία τους και η καθοδήγησή τους αποτέλεσαν θεμέλιο λίθο της ακαδημαϊκής μου πορείας και της εμβάθυνσής μου στο πεδίο της Εφαρμοσμένης Φυσικής.

Ιδιαίτερη μνεία οφείλω στους συμφοιτητές, φίλους και συναδέλφους μου, με τους οποίους φτιάξαμε μια δυνατή ομάδα, για τη διαρκή ηθική και ψυχολογική υποστήριξη που μου προσέφεραν κατά τη διάρκεια αυτής της απαιτητικής πορείας.

Αυτή η εργασία ολοκληρώνει ένα σημαντικό κεφάλαιο της πορείας μου, αλλά ταυτόχρονα ανοίγει τον δρόμο για νέες προκλήσεις και ευκαιρίες. Ευχαριστώ όλους αυτούς που με στηρίζουν σε αυτό το ταξίδι, που συνεχίζεται και ανυπομονώ για όσα έρχονται.

Σύγχρονες Εκπαιδευτικές Προσεγγίσεις στο Φωτοηλεκτρικό Φαινόμενο στην Ελλάδα και στο Εξωτερικό

Δημήτριος Βασιλείου

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Φυσικής, Φεβρουάριος 2025

Επιβλέπων Καθηγητής: Νικόλαος Πετρόπουλος – Επίκουρος
Καθηγητής

Περίληψη

Στην παρούσα εργασία, διερευνώνται οι σύγχρονες εκπαιδευτικές προσεγγίσεις στη διδασκαλία του φωτοηλεκτρικού φαινομένου, τόσο στην Ελλάδα όσο και στο εξωτερικό, με έμφαση στην ενσωμάτωση των κβαντικών φαινομένων στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση. Η έρευνα ξεκινά με την ιστορική εξέλιξη και τους επιστημονικούς σταθμούς που οδήγησαν στην εισαγωγή της κβαντικής φυσικής στα σχολεία, φωτίζοντας τις προκλήσεις και τις καινοτομίες που έφερε αυτή η αλλαγή.

Ιδιαίτερη προσοχή δίνεται στις αντιδράσεις των εκπαιδευτικών και των μαθητών, καθώς και στις δυνατότητες που προσφέρουν τα σύγχρονα εκπαιδευτικά εργαλεία, όπως οι ψηφιακές προσομοιώσεις και τα διαδραστικά πειράματα, στη μετατροπή σύνθετων εννοιών σε κατανοητές εμπειρίες μάθησης. Μέσα από την ανάλυση των διδακτικών πρακτικών και των εκπαιδευτικών προκλήσεων, αναδεικνύεται η δύναμη της κβαντικής φυσικής να ενισχύει την κριτική σκέψη και τη δημιουργικότητα των μαθητών, προετοιμάζοντάς τους για τον κόσμο της σύγχρονης επιστήμης και τεχνολογίας.

Με στόχο να προσφέρει πρακτικές λύσεις και να εμπνεύσει την εκπαιδευτική κοινότητα, η εργασία αυτή δεν περιορίζεται στην περιγραφή του παρόντος. Αντίθετα, αναζητά το μέλλον της διδασκαλίας της φυσικής, συνδυάζοντας τη θεωρία με την εφαρμογή και προτείνοντας καινοτόμες διδακτικές παρεμβάσεις που γεφυρώνουν την επιστήμη με την εκπαιδευτική πράξη.

Λέξεις Κλειδιά: Κβαντική φυσική, φωτοηλεκτρικό φαινόμενο, διδασκαλία φυσικής, δευτεροβάθμια εκπαίδευση, εκπαιδευτικές προσεγγίσεις.

Modern Educational Approaches to the Photoelectric Effect in Greece and Abroad

Dimitrios Vasileiou

University of Thessaly, Physics Department, February 2025

Supervisor: Nicholas Petropoulos – Assistant Professor

Abstract

This study explores novel educational approaches to teaching the photoelectric effect, both in Greece and internationally, with a focus on the integration of quantum phenomena into secondary education. The research begins with the historical evolution and scientific milestones that led to the introduction of quantum physics in schools, shedding light on the challenges and innovations brought about by this change.

Special attention is given to the reactions of teachers and students, as well as the potential of modern educational tools, such as digital simulations and interactive experiments, to transform complex concepts into comprehensible learning experiences. Through an analysis of teaching practices and educational challenges, the study highlights the power of quantum physics to enhance students' critical thinking and creativity, preparing them for the world of modern science and technology.

Aiming to provide practical solutions and inspire the educational community, this work goes beyond a description of the current state. Instead, it envisions the future of physics education, combining theory with application and proposing innovative teaching interventions that bridge science with educational practice.

Keywords: *Quantum physics, photoelectric effect, physics education, secondary education, educational approaches.*

Πίνακας Περιεχομένων

1 Εισαγωγή	8
1.1 Σκοπός και Στόχοι της Εργασίας	8
1.2 Η Θέση του Φωτοηλεκτρικού Φαινομένου στο Πρόγραμμα Φυσικής Λυκείου	10
1.3 Ερευνητικά Ερωτήματα	12
1.4 Μεθοδολογία της Έρευνας	13
1.5 Δομή της Διπλωματικής Εργασίας	14
2 Ιστορική αναδρομή	14
2.1 Ανακάλυψη του Φωτοηλεκτρικού Φαινομένου	14
2.2 Συμβολή του Albert Einstein και Άλλων Επιστημόνων	15
2.3 Κβαντική Θεωρία και η συμβολή της στην Κατανόηση του Φωτοηλεκτρικού Φαινομένου	16
3 Εφαρμογές του Φωτοηλεκτρικού Φαινομένου στη Σύγχρονη Τεχνολογία	21
3.1 Ηλιακά Κελιά	21
3.2 Φωτοανιχνευτές και Αισθητήρες	22
4 Σύγχρονες Εκπαιδευτικές Προσεγγίσεις στο Φωτοηλεκτρικό Φαινόμενο	27
4.1 Από τη Νευτώνεια Μηχανική στην Κβαντική	27
4.2 Διδακτικές Προσεγγίσεις στην Ελλάδα	34
4.3 Διδακτικές Προσεγγίσεις στο Εξωτερικό (Ευρώπη, ΗΠΑ, Ασία κ.α.)	41
4.4 Ερευνητικά Δεδομένα για τις Λανθασμένες Αντιλήψεις των Μαθητών	45
5 Παρανοήσεις Μαθητών στο Φωτοηλεκτρικό Φαινόμενο	46
5.1 Προτάσεις για τη Βελτίωση της Διδασκαλίας του Φωτοηλεκτρικού Φαινομένου	51
6 Ανίχνευση των Απόψεων των Καθηγητών Μέσης Εκπαίδευσης για τη Διδασκαλία του Φωτοηλεκτρικού Φαινομένου	55
6.1 Στόχοι και Σημασία της Έρευνας	55
6.2 Απόψεις των καθηγητών στο εξωτερικό	56
6.3 Απόψεις των καθηγητών στο εσωτερικό	59
6.4 Συμπεράσματα και Σύγκριση Αποτελεσμάτων	74
6.5 Περιορισμοί της έρευνας και προτάσεις για επέκτασή της	79

7 Καλές πρακτικές και μια προτεινόμενη Διδακτική Παρέμβαση	83
7.1 Σχέδιο Μαθήματος για Διδακτική Παρέμβαση	85
7.2 Αντί Επιλόγου	91
8 Βιβλιογραφία	93
Παράρτημα	103

1 Εισαγωγή

1.1 Σκοπός και Στόχοι της Εργασίας

Η διδασκαλία της φυσικής, και ιδιαίτερα των χβαντικών φαινομένων, αποτελεί ένα από τα πιο συναρπαστικά και σύνθετα πεδία της εκπαιδευτικής έρευνας, ελκύνοντας το ενδιαφέρον των επιστημόνων και των εκπαιδευτικών εδώ και δεκαετίες. Η χβαντική φυσική, η οποία εισήχθη για πρώτη φορά στις αρχές του 20ού αιώνα, έφερε επανάσταση στον τρόπο με τον οποίο αντιλαμβανόμαστε τη φύση της ύλης και της ενέργειας. Τα εμβληματικά έργα του Einstein το 1905, που ανέδειξαν το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο, και του Millikan το 1916, που το επιβεβαίωσαν πειραματικά, αποτέλεσαν τα θεμέλια για την ανάπτυξη μιας νέας επιστημονικής επανάστασης, η οποία διαμόρφωσε την κατανόησή μας για τον μικρόκοσμο.

Παρά τη βαθιά επιστημονική της σημασία, η χβαντική φυσική εξακολουθεί να αποτελεί πρόκληση για τη διδασκαλία και τη μάθηση. Οι έννοιες της χβαντομηχανικής, όπως η κυματική-σωματιδιακή δυαδικότητα, η χβάντωση της ενέργειας και το φαινόμενο της αποσύνδεσης από την κλασική λογική, συχνά φαίνονται ακατανόητες όχι μόνο στους μαθητές, αλλά και σε πολλούς εκπαιδευτικούς και μη ειδικούς. Η αφηρημένη φύση αυτών των εννοιών, η οποία συγκρούεται με τη διαισθητική αντίληψη που βασίζεται στην κλασική φυσική, καθιστά αναγκαία τη δημιουργία νέων παιδαγωγικών προσεγγίσεων.

Μέσα από δεκαετίες εκπαιδευτικής έρευνας και πειραματισμού, η διεθνής εκπαιδευτική κοινότητα έχει επενδύσει σημαντικούς πόρους στην κατανόηση και τη βελτίωση της διδασκαλίας της χβαντικής φυσικής. Έχουν αναπτυχθεί στρατηγικές που διευκολύνουν τη μετάβαση από την κλασική στη σύγχρονη φυσική, εστιάζοντας στη σύνδεση αφηρημένων θεωρητικών εννοιών με βιωματικές και διαδραστικές μεθόδους μάθησης. Η ανάγκη για διδακτικές προσεγγίσεις που προωθούν την ολιστική κατανόηση των χβαντικών φαινομένων, καθιστώντας τα προσιτά και κατανοητά, αναδεικνύεται περισσότερο από ποτέ, καθώς η φυσική της "μικροκλίμακας" συνεχίζει να αποτελεί θεμέλιο της επιστήμης και της τεχνολογίας στον σύγχρονο κόσμο.

Η εισαγωγή της χβαντικής φυσικής στην εκπαίδευση δεν αποτελεί απλώς μια πρόκληση. Αντιπροσωπεύει μια μοναδική ευκαιρία να γεφυρωθεί το χάσμα ανάμεσα στην ακαδημαϊκή επιστήμη και την εκπαιδευτική πράξη, να προκληθεί το ενδιαφέρον των μαθητών για τη φυσική και να εμπνευστούν οι επόμενες γενιές επιστημόνων. Αυτό το έργο προσπαθεί να συμβάλει στην κατανόηση αυτής της πολυπλοκότητας και να προτείνει τρόπους βελτίωσης της διδασκαλίας των χβαντικών φαινομένων, με έμφαση στο φωτοηλεκτρικό φαινόμενο, ένα από τα πιο χαρακτηριστικά παραδείγματα που γεφυρώνουν τη θεωρία με το πείραμα.

Η χβαντική φυσική, παρά τη θεωρητική της πολυπλοκότητα, προσφέρει μια μοναδική ευκαιρία για την εκπαιδευτική πράξη να αναδείξει τη σύνδεση της επιστήμης με την κατανόηση του κόσμου και τις τεχνολογικές εφαρμογές του. Η εισαγωγή αυτής της

θεμελιώδους θεωρίας στην εκπαιδευτική διαδικασία, ενώ συνοδεύεται από προκλήσεις, δίνει τη δυνατότητα στους μαθητές να προσεγγίσουν τις πιο προοδευτικές πτυχές της φυσικής. Μέσα από την εξερεύνηση των χβαντικών φαινομένων, ενισχύεται η κριτική σκέψη και η επιστημονική περιέργεια, καλλιεργώντας την επόμενη γενιά που θα συνεχίσει να εξερευνά τις απερίοριστες δυνατότητες της φυσικής.

Η εστίαση του παρόντος έργου στο φωτοηλεκτρικό φαινόμενο αποσκοπεί ακριβώς σε αυτόν τον στόχο: να καταστήσει την χβαντική φυσική προσιτή στους μαθητές, γεφυρώνοντας την απόσταση ανάμεσα στη θεωρητική κατανόηση και την πειραματική επιβεβαίωση. Το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο, ως χαρακτηριστικό παράδειγμα της μετάβασης από την κλασική στη σύγχρονη φυσική, προσφέρει το ιδανικό έδαφος για την εφαρμογή καινοτόμων διδακτικών προσεγγίσεων που συνδυάζουν τη θεωρία, την προσομοίωση και τη βιωματική μάθηση. Μέσα από αυτή την οπτική, το έργο αυτό δεν αποσκοπεί απλώς στην αντιμετώπιση της πρόκλησης της διδασκαλίας των χβαντικών φαινομένων, αλλά και στην ανάδειξη των μαθησιακών δυνατοτήτων που δημιουργούνται από τη διδασκαλία τους.

Ο σκοπός αυτής της εργασίας είναι να εξετάσει τις σύγχρονες διδακτικές προσεγγίσεις που εφαρμόζονται για τη διδασκαλία του φωτοηλεκτρικού φαινομένου στην Ελλάδα και στο εξωτερικό. Επιπλέον, η εργασία στοχεύει να συγκρίνει τις ελληνικές πρακτικές με διεθνείς μεθόδους, προκειμένου να εντοπιστούν τα ισχυρά και αδύναμα σημεία των διδακτικών μοντέλων. Αυτό θα επιτρέψει τη διατύπωση προτάσεων για τη βελτίωση της διδασκαλίας του φωτοηλεκτρικού φαινομένου στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση στην Ελλάδα. Οι στόχοι της εργασίας είναι οι εξής:

- Να αναλύσει τις υπάρχουσες εκπαιδευτικές μεθόδους που χρησιμοποιούνται στην Ελλάδα για τη διδασκαλία του φωτοηλεκτρικού φαινομένου.
- Να συγκρίνει αυτές τις μεθόδους με αντίστοιχες που εφαρμόζονται στο εξωτερικό, ειδικά σε χώρες όπως οι ΗΠΑ και τα κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης.
- Να προτείνει βελτιώσεις που θα μπορούσαν να εφαρμοστούν στην ελληνική διδασκαλία, λαμβάνοντας υπόψη τις απόψεις των καθηγητών που διδάσκουν σε Ελληνικά σχολεία συνδυαστικά με καινοτόμες μεθοδολογίες που εφαρμόζονται στο εξωτερικό.

Το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο, ως θεμέλιο της χβαντικής φυσικής, δεν είναι απλώς ένα σημαντικό επιστημονικό επίτευγμα, αλλά και μια μοναδική ευκαιρία για να συνδεθούν οι μαθητές με τις πιο θεμελιώδεις αρχές της φυσικής και τις εφαρμογές της στον σύγχρονο κόσμο. Αυτή η εργασία δεν περιορίζεται μόνο στην καταγραφή των προκλήσεων που αντιμετωπίζουν οι εκπαιδευτικοί, αλλά επιδιώκει να προσφέρει πρακτικές λύσεις μέσα από μια καινοτόμα διδακτική παρέμβαση, που γεφυρώνει τη θεωρία με την πράξη.

Στόχος είναι να επαναπροσδιοριστεί ο τρόπος διδασκαλίας του φωτοηλεκτρικού φαινομένου, καθιστώντας το προσιτό και κατανοητό στους μαθητές, ενώ ταυτόχρονα ενδυναμώνεται ο ρόλος των εκπαιδευτικών με τη χρήση σύγχρονων εργαλείων και μεθόδων.

Η παρούσα εργασία φιλοδοξεί να συμβάλει όχι μόνο στη βελτίωση της εκπαιδευτικής διαδικασίας, αλλά και στην ενίσχυση του ενδιαφέροντος για τη φυσική, προετοιμάζοντας το έδαφος για τις επόμενες γενιές επιστημόνων. Η έρευνα αυτή είναι μια πρόσκληση προς την εκπαιδευτική κοινότητα να αναθεωρήσει και να ανανεώσει τη διδακτική της πρακτική, εμπνέοντας τους μαθητές να δουν τη φυσική όχι ως ένα δύσκολο γνωστικό πεδίο, αλλά ως ένα παράθυρο κατανόησης του σύμπαντος.

1.2 Η Θέση του Φωτοηλεκτρικού Φαινομένου στο Πρόγραμμα Φυσικής Λυκείου

Το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο αποτελεί έναν από τους ακρογωνιαίους λίθους της σύγχρονης φυσικής, καθώς σηματοδοτεί τη μετάβαση από την κλασική στη κβαντική θεώρηση του κόσμου. Η εισαγωγή του στο πρόγραμμα φυσικής Λυκείου δεν είναι τυχαία, αλλά αντανακλά τη σημασία του για την κατανόηση βασικών αρχών της κβαντικής φυσικής, όπως η σωματιδιακή φύση του φωτός και η αλληλεπίδραση της ενέργειας με την ύλη. Παράλληλα, προσφέρει μια ευκαιρία στους μαθητές να εξερευνήσουν θεμελιώδεις επιστημονικές έννοιες που συνδέονται άμεσα με τις τεχνολογικές εφαρμογές, όπως οι φωτοβολταϊκές κυψέλες και οι αισθητήρες φωτός.

Σε αυτό το κεφάλαιο, εξετάζεται η θέση που κατέχει το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο στο πρόγραμμα φυσικής της Γ' Λυκείου. Παρουσιάζεται το πλαίσιο στο οποίο διδάσκεται, οι στόχοι που τίθενται από το αναλυτικό πρόγραμμα και οι περιορισμοί που ενδεχομένως προκύπτουν στη διδασκαλία του. Η ανάλυση αυτή θα θέσει τις βάσεις για την κατανόηση του πώς αντιμετωπίζεται το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο στη σχολική τάξη, αποτελώντας σημείο εκκίνησης για την αξιολόγηση και τη βελτίωση των διδακτικών πρακτικών.

Η θεμελιώδης αλλαγή στις επιστημονικές αντιλήψεις που προκάλεσε το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο, δεν περιορίστηκε μόνο στη θεωρητική φυσική, αλλά είχε και ευρείες εφαρμογές στις τεχνολογικές καινοτομίες του 20ού και 21ου αιώνα. Οι αρχές του φωτοηλεκτρικού φαινομένου βρίσκουν σήμερα εφαρμογή σε πληθώρα τεχνολογιών, όπως τα φωτοβολταϊκά συστήματα και οι ανιχνευτές φωτός, οι οποίοι χρησιμοποιούνται σε κρίσιμες εφαρμογές, από συσκευές ιατρικής απεικόνισης μέχρι την ανάπτυξη προηγμένων αισθητήρων (Krause et al., 2018). Αυτή η διπλή διάσταση, ως θεμέλιο της κβαντικής φυσικής και ως εργαλείο για την τεχνολογική πρόοδο, καθιστά τη διδασκαλία του φωτοηλεκτρικού φαινομένου στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση μια μοναδική ευκαιρία για να έρθουν οι μαθητές σε επαφή με τη σύνδεση της επιστήμης και της κοινωνίας.

Η ένταξη του φωτοηλεκτρικού φαινομένου στο πρόγραμμα φυσικής της Γ' Λυκείου στην Ελλάδα σηματοδοτεί μια σημαντική προσπάθεια να γεφυρωθεί η διδασκαλία της κλασικής με τη σύγχρονη φυσική. Ειδικότερα, από το ακαδημαϊκό έτος 2022-2023, το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο αποτελεί αντικείμενο εξέτασης στις Πανελλαδικές εξετάσεις, αναδεικνύοντας τη

σημασία του στο αναλυτικό πρόγραμμα φυσικής κατεύθυνσης. Η διδασκαλία του, ωστόσο, συνοδεύεται από προκλήσεις. Έρευνες έχουν δείξει ότι οι μαθητές συχνά δυσκολεύονται να κατανοήσουν βασικές έννοιες όπως η φύση του φωτονίου και η αλληλεπίδραση του φωτός με την ύλη (Michellini et al., 2021). Αυτές οι δυσκολίες, ελλείπει κατάλληλης εκπαιδευτικής υποστήριξης, υπογραμμίζουν την ανάγκη για τη χρήση σύγχρονων διδακτικών εργαλείων, όπως οι προσομοιώσεις και τα διαδραστικά πειράματα.

Η πρώτη εμφάνιση του φωτοηλεκτρικού φαινομένου στις Πανελλαδικές εξετάσεις, το 2023, αντικατοπτρίζει αυτή την προσπάθεια για τη διδασκαλία θεμελιωδών εννοιών της κβαντικής φυσικής. Το θέμα (B2) ζητούσε από τους μαθητές να κατανοήσουν τη βασική αρχή ότι κάθε μέταλλο έχει μια χαρακτηριστική ενέργεια κατωφλίου, την οποία πρέπει να υπερβεί η προσπίπτουσα ακτινοβολία για να εκλύσει φωτοηλεκτρόνια. Οι μαθητές έπρεπε να υπολογίσουν την τάση αποκοπής, όταν η συχνότητα της ακτινοβολίας ήταν τριπλάσια της συχνότητας κατωφλίου, εφαρμόζοντας τη γνωστή εξίσωση του Einstein για το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο. Το συγκεκριμένο θέμα, αν και πρωτοεμφανιζόμενο, χαρακτηρίστηκε ως μέσης δυσκολίας, καθώς απαιτούσε από τους μαθητές καλή κατανόηση της θεωρίας και σωστή εφαρμογή της σε υπολογισμούς, χωρίς όμως να περιλαμβάνει υπερβολική πολυπλοκότητα.

Η επόμενη χρονιά, το 2024, έφερε μια εντυπωσιακή εξέλιξη στον τρόπο παρουσίασης του φωτοηλεκτρικού φαινομένου. Το νέο θέμα (B3), ενώ εξακολουθούσε να ανήκει στα θεωρητικά θέματα, ήταν αισθητά πιο σύνθετο και απαιτητικό. Οι μαθητές κλήθηκαν να συγκρίνουν την ενέργεια κατωφλίου τριών διαφορετικών υλικών (Βάριο, Βολφράμιο και Ταντάλιο) και να αξιολογήσουν ποιο από αυτά θα εκτόξευε φωτοηλεκτρόνια όταν η ακτινοβολία είχε διαφορετικά μήκη κύματος. Επιπλέον, έπρεπε να συνδυάσουν δεδομένα από δύο διαφορετικά πειράματα, να συγκρίνουν ενεργειακές τιμές και να εξαγάγουν συμπεράσματα με βάση τα αποτελέσματα. Το θέμα απαιτούσε όχι μόνο καλή γνώση της θεωρίας, αλλά και ικανότητα κριτικής σκέψης και ανάλυσης. Περιλάμβανε, τέλος, υπολογισμούς για τον προσδιορισμό της ενέργειας των φωτονίων και την εφαρμογή αυτών των υπολογισμών σε κάθε υλικό.

Το θέμα του 2024 χαρακτηρίστηκε από τους εκπαιδευτικούς ως ένα από τα πιο απαιτητικά στη θεματολογία της κβαντικής φυσικής, καθώς οι μαθητές έπρεπε να διαχειριστούν πληροφορίες πιο σύνθετες και να αφιερώσουν περισσότερο χρόνο στην ανάλυση και στους υπολογισμούς. Αυτή η διαφοροποίηση στη δυσκολία ανάμεσα στις δύο χρονιές αντικατοπτρίζει μια προσπάθεια να δοκιμαστούν οι γνώσεις των μαθητών τόσο στη θεωρητική κατανόηση όσο και στην κριτική αξιοποίηση αυτής της γνώσης, αναδεικνύοντας τη σημασία του φωτοηλεκτρικού φαινομένου ως ένα διδακτικό εργαλείο που συνδέει τη θεωρία με την πράξη.

Επιπροσθέτως στη Χημεία της Γ' Λυκείου, οι μαθητές μελετούν έννοιες που σχετίζονται με την κβαντική μηχανική, όπως οι κβαντικοί αριθμοί, τα ατομικά τροχιακά και η ηλεκτρονιακή δομή των ατόμων. Αυτές οι έννοιες είναι θεμελιώδεις για την κατανόηση

της συμπεριφοράς των ηλεκτρονίων στα άτομα και επηρεάζουν τις χημικές ιδιότητες των στοιχείων. Επιπλέον, η ύλη περιλαμβάνει τη μελέτη του ατομικού προτύπου του Bohr, την κυματική θεωρία της ύλης του de Broglie, την αρχή της αβεβαιότητας του Heisenberg και την εξίσωση του Schrödinger, που αποτελούν βασικά στοιχεία της κβαντομηχανικής περιγραφής των ατόμων.

Αξίζει να σημειωθεί ότι, ενώ στη Χημεία οι κβαντικοί αριθμοί και οι σχετικές έννοιες διδάσκονται και εξετάζονται πανελλαδικά από το 2002, στη Φυσική η εισαγωγή της κβαντικής μηχανικής στο αναλυτικό πρόγραμμα της Γ' Λυκείου έγινε μόλις πρόσφατα, το ακαδημαϊκό έτος 2022-2023. Αυτή η διαφορά στον χρόνο εισαγωγής των κβαντικών εννοιών στα δύο μαθήματα υπογραμμίζει την ανάγκη για συνεχή ανανέωση και προσαρμογή των αναλυτικών προγραμμάτων, ώστε να αντανακλούν τις σύγχρονες εξελίξεις της επιστήμης και να προετοιμάζουν κατάλληλα τους μαθητές για τις προκλήσεις της τριτοβάθμιας εκπαίδευσης και της σύγχρονης τεχνολογίας.

1.3 Ερευνητικά Ερωτήματα

Σε αυτή την ενότητα, θα αναλυθούν τα ερευνητικά ερωτήματα που θα καθοδηγήσουν την εργασία και θα διαμορφώσουν το πλαίσιο της έρευνας. Η έρευνα εστιάζει στη διδασκαλία του φωτοηλεκτρικού φαινομένου στην Ελλάδα και το εξωτερικό, και τα ερωτήματα που θα εξεταστούν είναι τα εξής:

- Πώς διδάσκεται το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο στα ελληνικά σχολεία;
 - Η μελέτη θα επικεντρωθεί στο αναλυτικό πρόγραμμα της φυσικής κατεύθυνσης της Γ' Λυκείου και στη χρήση των διαθέσιμων εκπαιδευτικών εργαλείων.
 - Θα εξεταστούν οι εκπαιδευτικές προσεγγίσεις που εφαρμόζονται στις ΗΠΑ και σε χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Αυτή η ανάλυση θα περιλαμβάνει τη χρήση ψηφιακών εργαλείων, εργαστηριακών ασκήσεων και άλλων καινοτόμων μεθόδων.
- Ποιες είναι οι διαφορές και οι ομοιότητες μεταξύ των ελληνικών και διεθνών διδακτικών προσεγγίσεων;
 - Θα γίνει σύγκριση των μεθόδων που εφαρμόζονται στην Ελλάδα με αυτές που εφαρμόζονται στο εξωτερικό, προκειμένου να αναδειχθούν τα δυνατά σημεία και οι προκλήσεις της κάθε προσέγγισης.
- Ποιες είναι οι αντιλήψεις των καθηγητών για το τρόπο διδασκαλίας του φωτοηλεκτρικού φαινομένου στην Ελλάδα σε σύγκριση με καθηγητές στο εξωτερικό;
 - Θα ανιχνευθούν και θα εξεταστούν οι απόψεις των καθηγητών μέσης εκπαίδευσης περί της διδασκαλίας του φωτοηλεκτρικού φαινομένου στο πλαίσιο της Φυσικής της Γ λυκείου που εξετάζεται και πανελλαδικά.

1.4 Μεθοδολογία της Έρευνας

Η μεθοδολογία της έρευνας που ακολουθείται είναι συνδυαστική, περιλαμβάνοντας τόσο ποιοτικές όσο και ποσοτικές προσεγγίσεις. Οι μέθοδοι που θα χρησιμοποιηθούν είναι οι εξής:

- Ανασκόπηση Βιβλιογραφίας
 - Θα πραγματοποιηθεί εκτενής ανασκόπηση της υπάρχουσας βιβλιογραφίας για τη διδασκαλία του φωτοηλεκτρικού φαινομένου στην Ελλάδα και στο εξωτερικό. Αυτό περιλαμβάνει ερευνητικά άρθρα, μελέτες περίπτωσης και διδακτικά εγχειρίδια.
- Συγκριτική Ανάλυση Αναλυτικών Προγραμμάτων
 - Θα εξεταστούν τα αναλυτικά προγράμματα φυσικής της Γ' Λυκείου στην Ελλάδα και αντίστοιχα προγράμματα σε διεθνές επίπεδο (π.χ. ΗΠΑ, Ηνωμένο Βασίλειο, Γερμανία). Αυτή η ανάλυση θα επικεντρωθεί στις διαφορές στη διδακτική προσέγγιση και στη χρήση εργαλείων όπως οι ψηφιακές προσομοιώσεις.
- Ποσοτική Έρευνα: Ερωτηματολόγια Καθηγητών
 - Θα διανεμηθούν ερωτηματολόγια σε Καθηγητές της Γ' Λυκείου στην Ελλάδα, με σκοπό τη διερεύνηση των αντιλήψεών τους για τη διδασκαλία του φωτοηλεκτρικού φαινομένου και την αξιολόγηση των λανθασμένων αντιλήψεων που ενδεχομένως έχουν οι μαθητές τους.

1.5 Δομή της Διπλωματικής Εργασίας

Η διπλωματική εργασία είναι δομημένη ως εξής:

- Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή Παρουσιάζει το θέμα, τους σκοπούς και τους στόχους της εργασίας, καθώς και τα ερευνητικά ερωτήματα και τη μεθοδολογία της έρευνας.
- Κεφάλαιο 2: Ιστορική Αναδρομή και Θεωρητικό Πλαίσιο
Αναλύει την ανακάλυψη του φωτοηλεκτρικού φαινομένου, τη συμβολή του Einstein και άλλων επιστημόνων, καθώς και τη σημασία της κβαντικής θεωρίας για τη σύγχρονη φυσική.
- Κεφάλαιο 3: Εφαρμογές του Φωτοηλεκτρικού Φαινομένου στη Σύγχρονη Τεχνολογία
Εξετάζει πώς το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο χρησιμοποιείται στη σύγχρονη τεχνολογία τη σημερινή εποχή.
- Κεφάλαιο 4: Σύγκριση Εκπαιδευτικών Προσεγγίσεων
Παρουσιάζει μια συγκριτική ανάλυση των διδακτικών μεθόδων στην Ελλάδα και το εξωτερικό, εστιάζοντας στις ομοιότητες και διαφορές στις πρακτικές διδασκαλίας.
- Κεφάλαιο 5: Ανίχνευση των Απόψεων των Καθηγητών Μέσης Εκπαίδευσης για τη Διδασκαλία του Φωτοηλεκτρικού Φαινομένου στην Ελλάδα
Παρουσιάζει μια συγκεκριμένη ποσοτική και ποιοτική έρευνα που πραγματοποιήθηκε στην ελληνική επικράτεια και γίνεται ανάλυση και σχολιασμός των αποτελεσμάτων.
- Κεφάλαιο 6: Συμπεράσματα και Προτάσεις
Περιλαμβάνει τα βασικά συμπεράσματα της έρευνας, καθώς και προτάσεις για τη βελτίωση της διδασκαλίας του φωτοηλεκτρικού φαινομένου στην Ελλάδα.

2 Ιστορική Αναδρομή

2.1 Ανακάλυψη του Φωτοηλεκτρικού Φαινομένου

Το 1887, ο Heinrich Hertz, κατά τη διάρκεια πειραμάτων για την επαλήθευση της θεωρίας του James Clerk Maxwell για την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, παρατήρησε ένα περίεργο φαινόμενο. Όταν υπεριώδης ακτινοβολία προσπίπτει σε μεταλλικά ηλεκτρόδια, αυτά απελευθερώνουν ηλεκτρόνια και δημιουργούσαν ρεύμα. Αυτό το φαινόμενο ήταν απροσδόκητο και δεν μπορούσε να εξηγηθεί πλήρως από την υπάρχουσα θεωρία του φωτός ως κύμα. Η παρατήρηση αυτή έθεσε τα θεμέλια για περαιτέρω έρευνα, αν και ο Hertz δεν εμβάθυνε στην κατανόηση του φαινομένου. Εστίασε κυρίως στο να αποδείξει ότι το φως είναι ηλεκτρομαγνητικά κύματα, κάτι που το κατάφερε με τα πειράματα που διεξήγαγε, αλλά η σημασία της απελευθέρωσης ηλεκτρονίων δεν του ήταν τότε εμφανής (Hertz, 1887).

Ο Wilhelm Hallwachs, λίγα χρόνια αργότερα, το 1888, έκανε ένα σημαντικό βήμα προς την κατανόηση του φωτοηλεκτρικού φαινομένου, διαπιστώνοντας ότι οι μεταλλικές

επιφάνειες που φωτιζόνταν με υπεριώδες φως παρουσίαζαν μεταβολές στο ηλεκτρικό φορτίο. Έδειξε πως το φως είχε την ικανότητα να προκαλεί την εκπομπή ηλεκτρονίων, ενώ η σχέση της έντασης του φωτός με το ρεύμα παρέμενε αδιευκρίνιστη.

Το 1899, ο J.J. Thomson συνέχισε την έρευνα αυτή και προσδιόρισε ότι τα εκπεμπόμενα σωματίδια ήταν στην πραγματικότητα ηλεκτρόνια, κάτι που επιβεβαίωσε την ύπαρξη των ηλεκτρονίων ως στοιχειωδών σωματιδίων (Thomson, 1899). Τα πειράματά του αποτέλεσαν κρίσιμο σημείο στην ανάπτυξη της θεωρίας για το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο, αλλά η εξήγηση για το γιατί η ενέργεια των ηλεκτρονίων εξαρτάται από τη συχνότητα του φωτός παρέμενε άγνωστη.

Το 1902, ο Philipp Lenard πραγματοποίησε πιο συγκεκριμένα πειράματα για να μελετήσει την απελευθέρωση ηλεκτρονίων από μεταλλικές επιφάνειες. Ανακάλυψε ότι η ενέργεια των εκπεμπόμενων ηλεκτρονίων δεν εξαρτιόταν από την ένταση του φωτός, αλλά από τη συχνότητά του. Αν και τα πειράματα του Lenard ήταν ακριβή, δεν μπορούσε να εξηγήσει γιατί το φως με υψηλότερη συχνότητα απελευθέρωνε περισσότερη ενέργεια από τα ηλεκτρόνια. Αυτή η παρατήρηση έθεσε υπό αμφισβήτηση την κλασική θεωρία του φωτός ως κύμα, η οποία υπαγόρευε ότι η ενέργεια θα έπρεπε να αυξάνεται με την ένταση του φωτός, ανεξαρτήτως συχνότητας (Lenard, 1902).

2.2 Συμβολή του Albert Einstein και Άλλων Επιστημόνων

Η εξέλιξη της κατανόησης του φωτοηλεκτρικού φαινομένου ακολουθεί μια χρονική διαδρομή που ξεκίνησε στα τέλη του 19ου αιώνα και κορυφώθηκε στις αρχές του 20ού αιώνα με τη θεωρία του Albert Einstein. Η ανακάλυψη του Max Planck το 1900 σχετικά με την ακτινοβολία μέλανος σώματος έθεσε τις βάσεις για την κβαντική θεωρία. Ο Planck πρότεινε ότι η ενέργεια του φωτός δεν είναι συνεχής, αλλά εκπέμπεται σε διακριτά πακέτα ή κβάντα, ανοίγοντας το δρόμο για την κβαντική επανάσταση (Planck, 1900). Παρότι ο Planck εισήγαγε την έννοια των κβάντων ως μια μαθηματική συνάρτηση, η πλήρης φυσική ερμηνεία της παραμένει ασαφής εκείνη την περίοδο.

Το 1905, ο Albert Einstein έκανε το επόμενο μεγάλο βήμα, αξιοποιώντας τη θεωρία του Planck για να ερμηνεύσει το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο. Σε μια δημοσίευσή του με τίτλο "Über einen die Erzeugung und Verwandlung des Lichtes betreffenden heuristischen Gesichtspunkt" (Σχετικά με έναν διαισθητικό τρόπο αντίληψης της παραγωγής και μετατροπής του φωτός), πρότεινε ότι το φως αποτελείται από διακριτά σωματίδια, τα φωτόνια, και ότι κάθε φωτόνιο μεταφέρει ενέργεια ίση με $E=h\nu$, όπου h είναι η σταθερά του Planck και ν η συχνότητα του φωτός. Η εξήγηση του Einstein απάντησε στα ερωτήματα που προέκυψαν από τα πειράματα του Philipp Lenard (1902), ο οποίος παρατήρησε ότι η ενέργεια των ηλεκτρονίων που εκτοξεύονται από ένα μέταλλο εξαρτάται από τη συχνότητα του προσπίπτοντος φωτός και όχι από την έντασή του. Σύμφωνα με τη θεωρία του Einstein, εάν η ενέργεια ενός φωτονίου (που καθορίζεται από τη συχνότητα) είναι αρκετά υψηλή,

ξεπερνά το "έργο εξαγωγής" του μετάλλου και απελευθερώνει ένα ηλεκτρόνιο. Αντίθετα, το φως χαμηλής συχνότητας, ανεξάρτητα από την έντασή του, δεν μπορεί να απελευθερώσει ηλεκτρόνια, καθώς δεν διαθέτει αρκετή ενέργεια (Einstein, 1905).

Η θεωρία αυτή αντιμετωπίστηκε με σκεπτικισμό στην αρχή, ειδικά από φυσικούς όπως ο Robert Millikan, ο οποίος ήταν αντίθετος στην ιδέα ότι το φως μπορεί να έχει σωματιδιακή φύση. Παρόλα αυτά, ο Millikan αποφάσισε να δοκιμάσει την υπόθεση του Einstein πειραματικά, και το 1916, μετά από μια σειρά λεπτομερών πειραμάτων, επιβεβαίωσε με ακρίβεια την πρόβλεψη του Einstein σχετικά με την αναλογία μεταξύ συχνότητας του φωτός και ενέργειας των εκπεμπόμενων ηλεκτρονίων (Millikan, 1916). Τα πειράματα του Millikan ήταν τόσο ακριβή που κατάφερε να προσδιορίσει τη σταθερά του Planck με υψηλή ακρίβεια, συμβάλλοντας έτσι στη θεμελίωση της κβαντικής θεωρίας.

Αν και ο Einstein κέρδισε το βραβείο Νόμπελ το 1921 για τη συμβολή του στη θεωρία του φωτοηλεκτρικού φαινομένου, η θεωρία του δεν υιοθετήθηκε άμεσα από όλους. Χρειάστηκε χρόνος για να αναγνωριστεί πλήρως η σημασία της θεωρίας του Einstein, αλλά τα ευρήματά του έθεσαν τις βάσεις για την κβαντική μηχανική. Αυτή η θεωρία επηρέασε πολλούς επιστήμονες, όπως ο Arthur Compton, του οποίου το φαινόμενο Compton το 1923 επιβεβαίωσε τη σωματιδιακή φύση του φωτός, ενισχύοντας την αποδοχή των φωτονίων και τη θεωρία του Einstein.

Η επιστημονική κοινότητα βρισκόταν σε μια περίοδο ταχείας αλλαγής, με τις νέες κβαντικές θεωρίες να αντικαθιστούν τις κλασικές ιδέες. Το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο αποτέλεσε ένα από τα πιο κρίσιμα πειράματα που έδειξαν ότι η κλασική φυσική δεν μπορούσε να εξηγήσει πλήρως τον μικρόκοσμο των ατομικών και υποατομικών σωματιδίων. Ο Einstein, με την προσέγγισή του στο φως ως σωματίδιο, προσέφερε την πρώτη ξεκάθαρη απόδειξη ότι το φως διαθέτει δυαδική φύση: τόσο κυματική όσο και σωματιδιακή, μια ιδέα που έγινε θεμελιώδης στην κβαντική φυσική.

2.3 Κβαντική Θεωρία και η συμβολή της στην Κατανόηση του Φωτοηλεκτρικού Φαινομένου

Η ανάπτυξη της κβαντικής θεωρίας αποτελεί μία από τις μεγαλύτερες επαναστάσεις στην ιστορία της φυσικής. Η κλασική φυσική, η οποία κυριαρχούσε μέχρι τα τέλη του 19ου αιώνα, αντιμετώπιζε το φως ως συνεχές κύμα. Αυτό το μοντέλο ήταν αποτελεσματικό για την κατανόηση πολλών φαινομένων, όπως η ανάκλαση, η διάθλαση και η περίθλαση, αλλά δεν μπορούσε να εξηγήσει φαινόμενα όπως το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο. Οι παρατηρήσεις των Lenard και Millikan, όπως ότι η ενέργεια των εκπεμπόμενων ηλεκτρονίων εξαρτάται από τη συχνότητα του φωτός και όχι από την έντασή του, έθεσαν την κυματική θεωρία υπό αμφισβήτηση.

Η κλασική θεωρία υποστηρίζει ότι η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία μπορεί να μεταφέρει ενέργεια συνεχώς, δηλαδή με οποιαδήποτε τιμή, ανάλογα με τη συχνότητά της. Ωστόσο, αυτή η θεώρηση αποδείχθηκε ανεπαρκής για την ερμηνεία συγκεκριμένων φαινομένων που παρατηρήθηκαν πειραματικά. Φαινόμενα όπως η ακτινοβολία του μέλανος σώματος, το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο, τα γραμμικά φάσματα εκπομπής των ατόμων και το φαινόμενο της σκέδασης των ακτίνων X (γνωστό ως φαινόμενο Compton) δεν μπορούσαν να εξηγηθούν ικανοποιητικά με βάση την κλασική φυσική (Φυσική Γ λυκείου, Σχολικό εγχειρίδιο). Το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο αποτελεί μία από τις πρώτες πειραματικές αποδείξεις της χβάντωσης της ενέργειας και αποτέλεσε καθοριστικό στοιχείο για την ανάπτυξη της χβαντικής θεωρίας. Η κλασική θεωρία του Maxwell, που περιέγραφε το φως ως κύμα, αδυνατούσε να εξηγήσει τα πειραματικά αποτελέσματα που παρατηρήθηκαν κατά την αλληλεπίδραση φωτός και ύλης. Σύμφωνα με την κλασική θεώρηση, η εκπομπή ηλεκτρονίων από μια μεταλλική επιφάνεια υπό την επίδραση φωτός θα έπρεπε να εξαρτάται από την ένταση του φωτός και όχι από τη συχνότητά του. Επιπλέον, η απορρόφηση της ενέργειας θεωρούνταν συνεχής διαδικασία, με τα ηλεκτρόνια να συσσωρεύουν ενέργεια μέχρι να ξεπεράσουν το έργο εξαγωγής του μετάλλου (Μαργιώλας, 2018). Ωστόσο, τα πειραματικά αποτελέσματα του Millikan κατέδειξαν ότι η εκπομπή ηλεκτρονίων δεν εξαρτάται από την ένταση του φωτός, αλλά μόνο από τη συχνότητά του, γεγονός που έρχεται σε πλήρη αντίθεση με τις προβλέψεις της κλασικής φυσικής (Gasiotowicz, 2020).

Για παράδειγμα, το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο αναδεικνύει ότι η ενέργεια των εκπεμπόμενων ηλεκτρονίων εξαρτάται μόνο από τη συχνότητα της προσπίπτουσας ακτινοβολίας και όχι από την έντασή της, γεγονός που έρχεται σε αντίθεση με τις προβλέψεις της κλασικής θεωρίας. Παρόμοια, η ακτινοβολία του μέλανος σώματος έδειξε ότι η κατανομή της ενέργειας της ακτινοβολίας σε διαφορετικά μήκη κύματος απαιτεί την εισαγωγή της έννοιας των χβάντων ενέργειας, όπως πρότεινε ο Max Planck.

Τέλος, το φαινόμενο Compton απέδειξε ότι το φως, υπό συγκεκριμένες συνθήκες, συμπεριφέρεται ως σωματίδιο, προκαλώντας αλλαγή στην ενέργεια και τη διεύθυνση των διασκορπισμένων φωτονίων, κάτι που δεν μπορούσε να εξηγηθεί από την κυματική φύση της κλασικής θεωρίας.

Αυτά τα φαινόμενα οδήγησαν τους επιστήμονες στην ανάπτυξη της χβαντικής θεωρίας, η οποία περιγράφει την ενέργεια ως διακριτά ποσά που ονομάζονται "χβάντα" και συνδυάζει τόσο την κυματική όσο και τη σωματιδιακή φύση της ακτινοβολίας.

Η πρώτη σημαντική ανατροπή της κλασικής φυσικής προήλθε από τον Max Planck το 1900, όταν εισήγαγε την έννοια των χβάντων για να εξηγήσει την ακτινοβολία μέλανος σώματος. Ο Planck πρότεινε ότι η ενέργεια δεν εκπέμπεται με συνεχή τρόπο, αλλά σε διακριτές ποσότητες που ονομάζονται χβάντα. Αυτή η θεωρία άνοιξε το δρόμο για την ανάπτυξη της χβαντικής μηχανικής, αλλά η πλήρης επίδρασή της δεν ήταν άμεσα εμφανής.

Το 1905, ο Albert Einstein αξιοποίησε τη θεωρία των κβάντων για να εξηγήσει το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο. Ο Einstein πρότεινε ότι το φως δεν είναι απλά κύμα, αλλά αποτελείται από διακριτά σωματίδια, τα οποία ονομάζονται φωτόνια. Κάθε φωτόνιο μεταφέρει μια ποσότητα ενέργειας που είναι ανάλογη με τη συχνότητά του, $E = h\nu$, όπου h είναι η σταθερά του Planck και ν η συχνότητα του φωτός.

$$K_{\max} = h\nu - W$$

Αυτή η θεωρία έλυσε το μυστήριο του φωτοηλεκτρικού φαινομένου, εξηγώντας γιατί το φως με υψηλότερη συχνότητα, όπως το υπεριώδες, έχει μεγαλύτερη ενέργεια και μπορεί να απελευθερώσει ηλεκτρόνια από ένα μέταλλο, ενώ το φως με χαμηλότερη συχνότητα, όπως το κόκκινο φως, δεν έχει αρκετή ενέργεια για να απελευθερώσει ηλεκτρόνια, ακόμη και αν η έντασή του είναι μεγάλη.

Η σημασία αυτής της θεωρίας είναι τεράστια, καθώς εισήγαγε την έννοια της δυαδικής φύσης του φωτός. Το φως μπορεί να συμπεριφέρεται τόσο ως κύμα όσο και ως σωματίδιο, ανάλογα με το πείραμα που διεξάγεται. Αυτή η δυαδική φύση του φωτός αποτέλεσε τον ακρογωνιαίο λίθο της κβαντικής μηχανικής και άνοιξε το δρόμο για την κατανόηση πολλών άλλων φαινομένων, όπως η κβαντική σύμπλεξη (ΕΝΑΓΚΑΛΙΣΜΟΣ), η αρχή της αβεβαιότητας του Heisenberg και το πείραμα των δύο σχισμών. Το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο ήταν το πρώτο πείραμα που επιβεβαίωσε την κβαντική φύση της ακτινοβολίας και έθεσε τα θεμέλια για τη θεωρία των φωτονίων και τη μετέπειτα ανάπτυξη της κβαντικής ηλεκτροδυναμικής.



Σχήμα 1. Χρονική εξέλιξη Φωτοηλεκτρικού Φαινομένου

Με τα παραπάνω βήματα η κβαντική θεωρία, ή κβαντική μηχανική, έφτασε πλέον να αποτελεί τη θεμελιώδη θεωρία της σύγχρονης φυσικής που εξηγεί τη συμπεριφορά της

ύλης και της ενέργειας σε μικροσκοπική κλίμακα, όπως σε ατομικό και υποατομικό επίπεδο. Συνοψίζοντας λοιπόν, η κβαντική θεωρία διαμορφώθηκε ως αποτέλεσμα της αποτυχίας των κλασικών θεωριών της φυσικής να εξηγήσουν μια σειρά από πειραματικά δεδομένα, όπως η ακτινοβολία του μέλανος σώματος και το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο. Η πρώτη κίνηση προς αυτή την κατεύθυνση ήρθε το 1900, όταν ο Max Planck εισήγαγε την έννοια της κβάντωσης της ενέργειας για να εξηγήσει την εκπομπή ακτινοβολίας από θερμά σώματα. Ο Planck πρότεινε ότι η ενέργεια εκπέμπεται σε μικρές διακριτές ποσότητες, τα κβάντα, αντί για συνεχή ροή, μια επαναστατική ιδέα που αποτέλεσε το πρώτο βήμα για την κβαντική θεωρία (Κούτρας, 2004).

Το 1905, ο Albert Einstein έκανε ένα σημαντικό άλμα, χρησιμοποιώντας την έννοια των κβάντων του Planck για να εξηγήσει το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο. Παρατήρησε ότι το φως δεν μπορεί να θεωρηθεί μόνο ως κύμα, αλλά και ως ροή σωματιδίων, τα οποία ονόμασε φωτόνια. Αυτή η πρόταση, η οποία υποδείκνυε ότι η ενέργεια ενός φωτονίου εξαρτάται από τη συχνότητά του, επιβεβαίωσε την κβαντική φύση του φωτός και οδήγησε στην αναγνώριση της δυαδικής του φύσης (Μουστάκας, 2015). Στη συνέχεια, το 1927, ο Werner Heisenberg διατύπωσε την αρχή της αβεβαιότητας, η οποία δηλώνει ότι είναι αδύνατον να γνωρίζουμε ταυτόχρονα με απόλυτη ακρίβεια τη θέση και την ορμή ενός σωματιδίου. Αυτή η αρχή υποδεικνύει ότι η παραδοσιακή έννοια της κίνησης δεν ισχύει στον κβαντικό κόσμο, επιβάλλοντας την ύπαρξη μιας θεμελιώδους αβεβαιότητας (Χατζηθεοδώρου, 2019).

Σημαντική συμβολή στην κατανόηση (Ertmer, 2012) της κβαντικής θεωρίας είχε και η κυματοσυνάρτηση που ανέπτυξε ο Erwin Schrödinger το 1926, η οποία περιγράφει την πιθανότητα να βρεθεί ένα σωματίδιο σε μια συγκεκριμένη θέση και με συγκεκριμένη ορμή. Η ερμηνεία της Κοπεγχάγης, που επικράτησε, δηλώνει ότι η κυματοσυνάρτηση παρέχει πληροφορίες για τις πιθανότητες των διαφόρων καταστάσεων και ότι αυτή η πληροφορία «καταρρέει» σε μια συγκεκριμένη τιμή όταν γίνει μέτρηση (Δασκαλόπουλος, 2011).

Η αρχή της συμπληρωματικότητας που διατυπώθηκε από τον Niels Bohr υποστηρίζει ότι οι κυματικές και σωματιδιακές ιδιότητες ενός σωματιδίου είναι αλληλοσυμπληρούμενες, γεγονός που σημαίνει ότι δεν μπορούν να παρατηρηθούν ταυτόχρονα, αλλά αντίθετα εξαρτώνται από το είδος του πειράματος που διεξάγεται (Κόντης, 2013). Η κβαντική θεωρία επιτρέπει επίσης την υπέρθεση καταστάσεων, δηλαδή τη δυνατότητα ενός σωματιδίου να υπάρχει ταυτόχρονα σε πολλαπλές πιθανές καταστάσεις μέχρι να γίνει μια μέτρηση, καθώς και την κβαντική σύμπλεξη (εναγκαλισμός), όπου δύο σωματίδια παραμένουν συνδεδεμένα, με την κατάσταση του ενός να επηρεάζει άμεσα το άλλο, ανεξάρτητα από την απόσταση μεταξύ τους (Αναστασίου, 2018).

Η κβαντομηχανική, με την ανάπτυξη των θεμελιωδών αρχών της, οδήγησε σε ριζική αλλαγή στον τρόπο κατανόησης της φύσης και της δομής του σύμπαντος, ενώ άνοιξε τον δρόμο για σημαντικές θεωρητικές και πρακτικές εξελίξεις. Στον επιστημονικό τομέα, έθεσε τα θεμέλια για την ανάλυση της συμπεριφοράς ατόμων και υποατομικών σωματιδίων, αντικαθιστώντας τον ντετερμινισμό της κλασικής φυσικής με μια πιθανοκρατική θεώρηση

(Heisenberg, 1927). Αυτή η μεταστροφή οδήγησε σε επανάσταση στη φυσική, με άμεσο αντίκτυπο στην τεχνολογία και στη φιλοσοφία.

Η κατανόηση των αρχών της κβαντικής θεωρίας οδήγησε σε εφαρμογές που άλλαξαν τον κόσμο. Οι ημιαγωγοί και τα τρανζίστορ, που βασίζονται στις κβαντικές ιδιότητες των υλικών, αποτέλεσαν τη βάση για την ανάπτυξη των ηλεκτρονικών και των υπολογιστών (Nielsen & Chuang, 2010). Παράλληλα, η κατανόηση του φωτοηλεκτρικού φαινομένου, που περιγράφεται από τον Einstein το 1905, έδωσε ώθηση στην ανάπτυξη των φωτοβολταϊκών κυψελών, που πλέον χρησιμοποιούνται ευρέως για την παραγωγή ενέργειας (Δασκαλόπουλος, 2011). Επιπλέον, οι αρχές της κβαντικής μηχανικής αξιοποιήθηκαν για τη δημιουργία των λέιζερ, που έχουν εφαρμογές στην ιατρική, στις τηλεπικοινωνίες και στη βιομηχανία.

Η θεωρία είχε σημαντικό αντίκτυπο και στην κατανόηση της χημείας και της βιολογίας. Ερμηνείες που αφορούν τους χημικούς δεσμούς και τις ιδιότητες των μορίων στηρίζονται στις κβαντικές αρχές (Atkins & Friedman, 2011). Επιπλέον, η φωτοσύνθεση, μια από τις βασικές διεργασίες για τη ζωή, εξηγείται πλέον με όρους κβαντομηχανικής (Scholes et al., 2017). Στην κοσμολογία, η σύνδεση της κβαντικής θεωρίας με τη γενική θεωρία της σχετικότητας προσφέρει νέες προσεγγίσεις για την κατανόηση του σύμπαντος, όπως η θεωρία του πληθωρισμού (Guth, 1981).

Εκτός από τις πρακτικές εφαρμογές, η κβαντική μηχανική συνέβαλε στη φιλοσοφική συζήτηση σχετικά με τη φύση της πραγματικότητας. Η κυματοσυνάρτηση του Schrödinger και η ερμηνεία της Κοπεγχάγης υποδεικνύουν ότι η πραγματικότητα δεν είναι ανεξάρτητη από τη μέτρηση, προκαλώντας ερωτήματα για τον ρόλο του παρατηρητή (Bohr, 1935). Παράλληλα, η αρχή της συμπληρωματικότητας και οι έννοιες της υπέρθεσης και της σύμπλεξης αναδιαμόρφωσαν τη θεώρηση για το πώς αντιλαμβανόμαστε τη φύση (Κόντης, 2013).

Τέλος, η κβαντική μηχανική συνεχίζει να αποτελεί πλατφόρμα για την ανάπτυξη νέων θεωριών και τεχνολογιών. Η κβαντική υπολογιστική, που βασίζεται στην υπέρθεση και τη σύμπλεξη, υπόσχεται επαναστατικές λύσεις σε προβλήματα μεγάλης πολυπλοκότητας (Preskill, 2018). Παράλληλα, η κβαντική ηλεκτροδυναμική και οι προσπάθειες ενοποίησης των θεμελιωδών δυνάμεων έχουν ανοίξει τον δρόμο για την ανάπτυξη θεωριών όπως η κβαντική βαρύτητα.

Οι παραπάνω αρχές της κβαντικής θεωρίας συνέθεσαν μια νέα κατανόηση της πραγματικότητας σε ατομικό και υποατομικό επίπεδο, ανατρέποντας τις παραδοσιακές ιδέες της κλασικής φυσικής και καθιερώνοντας μια εντελώς διαφορετική προσέγγιση για την κατανόηση του μικρόκοσμου.

3 Εφαρμογές του Φωτοηλεκτρικού Φαινομένου στη Σύγχρονη Τεχνολογία

Το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο δεν περιορίζεται σε θεωρητικό ενδιαφέρον, καθώς έχει πολλές πρακτικές εφαρμογές στη σύγχρονη τεχνολογία. Η ιδιότητα του φωτός να εκτοξεύει ηλεκτρόνια από μια επιφάνεια αξιοποιείται σε ποικίλες συσκευές, οι οποίες έχουν μεγάλη επίδραση στην καθημερινή ζωή και στη βιομηχανία.

3.1 Ηλιακά Κελιά

Μία από τις πιο διαδεδομένες εφαρμογές του φωτοηλεκτρικού φαινομένου είναι στα ηλιακά κελιά, που μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια σε ηλεκτρική μέσω του φωτοηλεκτρικού φαινομένου. Αυτές οι συσκευές, που βασίζονται σε υλικά όπως το πυρίτιο, αξιοποιούν τη διαδικασία με την οποία το φως εκτοξεύει ηλεκτρόνια, δημιουργώντας ηλεκτρικό ρεύμα. Τα ηλιακά κελιά αποτελούν τη βάση των φωτοβολταϊκών συστημάτων, τα οποία είναι μια από τις κύριες πηγές ανανεώσιμης ενέργειας στον κόσμο. Τα παραδοσιακά ηλιακά κελιά είναι συνήθως κατασκευασμένα από πυρίτιο, το οποίο είναι το πλέον διαδεδομένο υλικό, χάρη στην απόδοσή του στην απορρόφηση του φωτός. Ωστόσο, η επιστημονική έρευνα έχει επικεντρωθεί στη βελτίωση της απόδοσης και τη μείωση του κόστους παραγωγής τους, μέσω της χρήσης νέων υλικών, όπως τα οργανικά φωτοβολταϊκά, τα ηλιακά κελιά με βάση το χαλκό και το ινδικό νιτρίδιο, ή τα υβριδικά υλικά που προσφέρουν εναλλακτικές λύσεις με καλύτερη απόδοση και μικρότερο κόστος παραγωγής (Smith and Jones, 2022).

Η τεχνολογική πρόοδος έχει ενισχυθεί από διεθνείς πρωτοβουλίες, όπως το πρόγραμμα Mission Innovation, που εστιάζει στη βελτίωση της απόδοσης των ηλιακών κυττάρων και την ανάπτυξη νέων τεχνολογιών, συνδέοντας τις χώρες σε μια κοινή προσπάθεια να επιταχύνουν τη μετάβαση προς τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (Brown et al., 2020). Εκτός από τις βελτιώσεις στα υλικά, η καινοτομία στην αποθήκευση ενέργειας αποτελεί ζωτικής σημασίας πεδίο για την αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας.

Σήμερα, τεχνολογίες όπως οι μπαταρίες λιθίου και οι αποθηκευτικές λύσεις παρέχουν στα ηλιακά πάρκα τη δυνατότητα να προσφέρουν συνεχή παροχή ενέργειας, ακόμη και όταν δεν υπάρχει ηλιακή ακτινοβολία (Li et al., 2020). Τα περιβαλλοντικά οφέλη των ηλιακών κυττάρων είναι σημαντικά, καθώς μειώνουν τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, ενώ η χρήση τους συμβάλλει στον περιορισμό της εξάρτησης από τα ορυκτά καύσιμα (Green and White, 2019). Παρά τα πλεονεκτήματα, η ανακύκλωση των ηλιακών πάνελ μετά την ολοκλήρωση του κύκλου ζωής τους εξακολουθεί να αποτελεί πρόκληση, κάτι που ερευνάται διεθνώς για να διασφαλιστεί ότι η ηλιακή ενέργεια θα παραμείνει βιώσιμη και φιλική προς το περιβάλλον στο σύνολο του κύκλου ζωής της (Anderson et al., 2021).

Η συνεχής εξέλιξη αυτής της τεχνολογίας έχει οδηγήσει σε ηλιακά κελιά με υψηλότερη απόδοση και μειωμένο κόστος, καθιστώντας τα βιώσιμη λύση για τη μείωση της εξάρτησης από τα ορυκτά καύσιμα. Η τεχνολογία αυτή χρησιμοποιείται τόσο σε οικιακές εγκαταστάσεις όσο και σε μεγάλα ηλιακά πάρκα, προσφέροντας καθαρή και ανανεώσιμη ενέργεια σε παγκόσμια κλίμακα. Τα τελευταία χρόνια, η ΔΕΗ έχει επενδύσει σε μεγάλα φωτοβολταϊκά πάρκα ως μέρος της στρατηγικής της για την αύξηση της παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές. Ένα από τα μεγαλύτερα έργα της είναι το φωτοβολταϊκό πάρκο στην Πτολεμαΐδα (σχήμα 2), με ισχύ 550 MW. Το πάρκο αυτό, το οποίο είναι ένα από τα μεγαλύτερα στην Ευρώπη, κατασκευάζεται στην περιοχή των πρώην λιγνιτωρυχείων και αποτελεί βασικό βήμα προς την απανθρακοποίηση της περιοχής. Η ολοκλήρωσή του αναμένεται έως το 2025, με στόχο την ενίσχυση του «πράσινου» χαρτοφυλακίου της ΔΕΗ. Επιπλέον, η ΔΕΗ προχωρεί σε διάφορα έργα μικρότερης κλίμακας στη Δυτική Μακεδονία, όπως φωτοβολταϊκά πάρκα ισχύος 80 MW, τα οποία έχουν ήδη αρχίσει να υλοποιούνται.

Αυτές οι επενδύσεις εντάσσονται στην ευρύτερη στρατηγική της ΔΕΗ για την ενίσχυση της παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές και την αντικατάσταση της παραγωγής από λιγνίτη. (<https://www.insider.gr/>) Σύμφωνα επίσης με έκθεση του Διεθνούς Οργανισμού Ενέργειας (IEA), η χώρα μας κατατάσσεται δεύτερη παγκοσμίως ως προς το δυναμικό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από φωτοβολταϊκά, μετά την Ισπανία (Διεθνής Οργανισμός Ενέργειας, 2023). Το 2022, η Ελλάδα συνέδεσε στο δίκτυο 1.362 MW νέων φωτοβολταϊκών έργων, αυξάνοντας τη συνολική ηλιακή ισχύ στα 5,5 GW. Για το 2023, οι προβλέψεις ήταν ακόμη πιο εντυπωσιακές, με εκτιμήσεις για προσθήκη περίπου 2 GW νέας ηλιακής ισχύος. Αυτή η ανάπτυξη τοποθέτησε την Ελλάδα στη 10η θέση της παγκόσμιας κατάταξης για τα φωτοβολταϊκά (Διεθνής Οργανισμός Ενέργειας, 2023). Η Ευρωπαϊκή Ένωση κατέγραψε επίσης εντυπωσιακές επιδόσεις στον τομέα των φωτοβολταϊκών. Η συνολική ισχύς των φωτοβολταϊκών στην ΕΕ ανήλθε σε 263 GW, σημειώνοντας αύξηση 27% από τα 207 GW το 2022.

Η Ελλάδα κατέλαβε την έβδομη θέση στην εγκατεστημένη ισχύ ανά κάτοικο, με 691 Watt, ξεπερνώντας χώρες όπως η Αυστρία, η Σλοβενία και το Λουξεμβούργο (Διεθνής Οργανισμός Ενέργειας, 2023). Σε παγκόσμιο επίπεδο, η αγορά φωτοβολταϊκών αναμένεται να γνωρίσει πρωτοφανή ανάπτυξη. Προβλέπεται ότι θα ξεπεράσει τα 400 δισεκατομμύρια δολάρια έως το 2032, υπογραμμίζοντας τις αυξανόμενες επενδύσεις και την υιοθέτηση ηλιακών τεχνολογιών σε όλο τον κόσμο. Συνολικά, η Ελλάδα συνεχίζει να διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη των φωτοβολταϊκών, συμβάλλοντας ενεργά στην παγκόσμια προσπάθεια για καθαρή ενέργεια και βιώσιμη ανάπτυξη.

3.2 Φωτοανιχνευτές και Αισθητήρες

Οι φωτοανιχνευτές, αξιοποιώντας το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο, παίζουν καθοριστικό ρόλο σε συσκευές που εντοπίζουν το φως και το μετατρέπουν σε ηλεκτρικό σήμα. Αυτοί



Σχήμα 2. Φωτοβολταϊκό Πάρκο της ΔΕΗ, πηγή:insider.gr

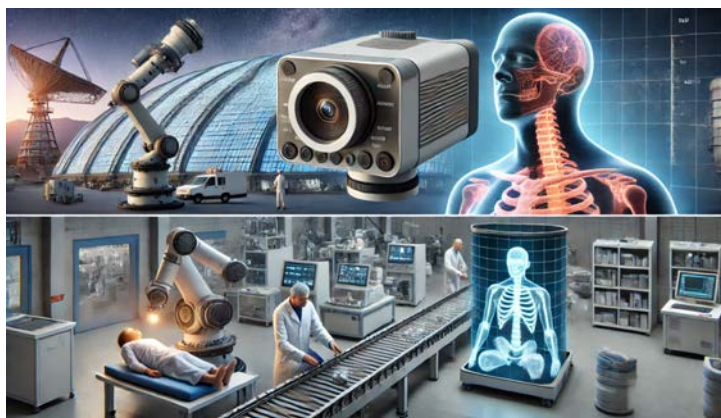
οι αισθητήρες βρίσκουν εφαρμογή σε μια ευρεία γκάμα τομέων, από τη φωτογραφία και την αστρονομία έως τα συστήματα ασφαλείας. Οι κάμερες και τα τηλεσκόπια, για παράδειγμα, εξαρτώνται από τέτοιου είδους ανιχνευτές για την καταγραφή εικόνων υψηλής ακρίβειας. Σε πιο εξειδικευμένες εφαρμογές, όπως στα επιστημονικά όργανα, χρησιμοποιούνται σωλήνες φωτοπολλαπλασιαστών, οι οποίοι έχουν τη δυνατότητα να εντοπίζουν ακόμη και ελάχιστες ποσότητες φωτός, κάτι που τους καθιστά απαραίτητους για την ανάλυση ασθενών ακτινοβολιών.

Οι τεχνολογίες που βασίζονται στο φωτοηλεκτρικό φαινόμενο έχουν μεγάλη σημασία σε τομείς όπως η ιατρική, η βιομηχανία και η επιστημονική έρευνα, καθώς απαιτούν υψηλή ευαισθησία και ακρίβεια στη μέτρηση του φωτός και των ακτινοβολιών. Στον τομέα της ιατρικής, για παράδειγμα, οι ανιχνευτές ακτινοβολίας διαδραματίζουν καίριο ρόλο στις σύγχρονες μεθόδους ψηφιακής απεικόνισης, όπως οι ψηφιακές κάμερες ακτίνων X. Αυτές οι κάμερες καταγράφουν με μεγάλη ευκρίνεια τις διαβαθμίσεις της ακτινοβολίας που διαπερνά το ανθρώπινο σώμα, δημιουργώντας καθαρές και λεπτομερείς εικόνες.

Η ακρίβεια και η ευαισθησία των ανιχνευτών εξασφαλίζουν την έγκαιρη διάγνωση και την ακριβή απεικόνιση των παθολογικών καταστάσεων, μειώνοντας παράλληλα τη δόση της ακτινοβολίας που λαμβάνουν οι ασθενείς σε σύγκριση με τις παραδοσιακές τεχνικές.

Η ιατρική τεχνολογία εκμεταλλεύεται επίσης το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο σε πολλές συσκευές, από ψηφιακές ακτινογραφικές κάμερες μέχρι παλμικά οξύμετρα. Οι κάμερες ακτίνων X, για παράδειγμα, χρησιμοποιούν ανιχνευτές βασισμένους στο φωτοηλεκτρικό φαινόμενο για να καταγράψουν την ακτινοβολία που διέρχεται από το σώμα, δημιουργώντας έτσι καθαρές, ψηφιακές εικόνες. Το πλεονέκτημα της ψηφιακής απεικόνισης είναι ότι παρέχει

καλύτερη ανάλυση, ταχύτερη διάγνωση και λιγότερη έκθεση του ασθενή στην ακτινοβολία σε σύγκριση με τις παραδοσιακές μεθόδους.



Σχήμα 3. Καλλιτεχνική απεικόνιση μέσω TN

Στη βιομηχανία, οι τεχνολογίες αυτές χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο ποιότητας και τη ρομποτική όραση, καθώς οι ανιχνευτές είναι σε θέση να μετρήσουν με ακρίβεια την ένταση και τη συχνότητα του φωτός που ανακλάται από επιφάνειες ή διαπερνά υλικά. Έτσι, οι βιομηχανίες μπορούν να παρακολουθούν τη διαδικασία παραγωγής, να ελέγχουν την ποιότητα των προϊόντων και να εντοπίζουν ελαττώματα ή ανομοιογένειες που δεν είναι ορατές στο ανθρώπινο μάτι.

Στην επιστημονική έρευνα, οι φωτοανιχνευτές είναι αναπόσπαστο εργαλείο για την αστρονομία και την πυρηνική φυσική. Τα σύγχρονα τηλεσκόπια εξαρτώνται από την ικανότητα αυτών των ανιχνευτών να καταγράφουν ακόμα και τις πιο ασθενείς πηγές φωτός από μακρινά ουράνια σώματα, επιτρέποντας στους επιστήμονες να μελετούν το σύμπαν με μεγαλύτερη ακρίβεια και λεπτομέρεια. Παράλληλα, σε πειράματα υψηλής ενέργειας, οι φωτοπολλαπλασιαστές αξιοποιούνται για την ανίχνευση υποατομικών σωματιδίων, συμβάλλοντας σημαντικά στην κατανόηση των θεμελιωδών δυνάμεων και αλληλεπιδράσεων της φύσης.

Το VLT (σχήμα 4 και 5) αποτελείται από τέσσερα κύρια τηλεσκόπια, καθένα από τα οποία διαθέτει καθρέφτη διαμέτρου 8,2 μέτρων, και από τέσσερα βοηθητικά τηλεσκόπια. Αυτά τα τηλεσκόπια μπορούν να συνεργάζονται για να σχηματίσουν ένα γιγάντιο συμβολόμετρο, που ονομάζεται VLT Interferometer (VLTI), επιτρέποντας έτσι την παρατήρηση με πολύ μεγαλύτερη ακρίβεια. Στο VLT, οι φωτοανιχνευτές παίζουν ζωτικό ρόλο. Χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση και τη μέτρηση του φωτός που προέρχεται από μακρινά αστρικά αντικείμενα, όπως εξωπλανήτες, άστρα, νεφελώματα και γαλαξίες. Οι ανιχνευτές αυτοί στηρίζονται στο φωτοηλεκτρικό φαινόμενο, το οποίο εκμεταλλεύεται τη δυνατότητα μετατροπής των φωτονίων σε ηλεκτρικά σήματα.

Τα κύρια όργανα του VLT περιλαμβάνουν υψηλής ακρίβειας φασματογράφους και κάμερες που χρησιμοποιούν φωτοανιχνευτές για την ανίχνευση οπτικών και υπέρυθρων ακτινοβολιών.



Σχήμα 4. Very Large Telescope (VLT) στο Paranal της Χιλής

Τα δεδομένα που συλλέγονται επεξεργάζονται για να δημιουργηθούν εικόνες και φάσματα, επιτρέποντας έτσι στους επιστήμονες να μελετούν λεπτομερώς τα χαρακτηριστικά και τη χημική σύσταση των ουράνιων αντικειμένων. Το VLT είναι υπεύθυνο για πολλές σημαντικές ανακαλύψεις, όπως η παρατήρηση εξωπλανητών, η μελέτη των μαύρων τρυπών και η ανάλυση της γέννησης και της εξέλιξης των γαλαξιών. Η ακρίβεια των φωτοανιχνευτών που χρησιμοποιούνται σε αυτό το τηλεσκόπιο επιτρέπει την καταγραφή εξαιρετικά αμυδρού φωτός και την παρατήρηση αστεριών που βρίσκονται κοντά σε μαύρες τρύπες. Το VLT αποτελεί παράδειγμα σύγχρονης αστρονομίας, όπου οι τεχνολογίες που βασίζονται στο φωτοηλεκτρικό φαινόμενο και άλλες προηγμένες οπτοηλεκτρονικές τεχνολογίες επιτρέπουν πρωτοποριακές ανακαλύψεις για το σύμπαν.



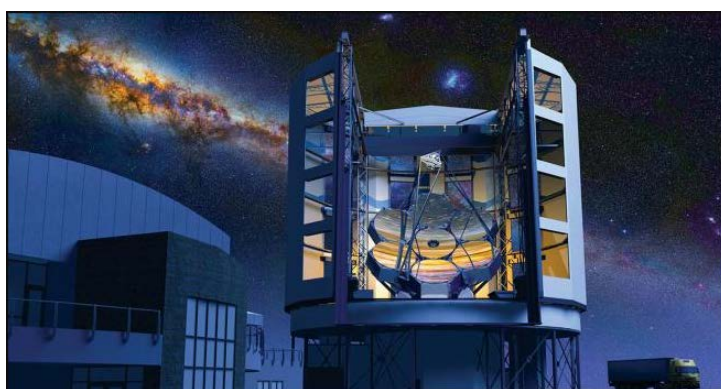
Σχήμα 5. Very Large Telescope (VLT) στο Paranal της Χιλής

Μια πρόσφατη σημαντική ανακάλυψη του VLT περιλαμβάνει τη δημιουργία του πιο λεπτομερούς χάρτη υπερύθρων του Γαλαξία μας που έγινε ποτέ. Ο χάρτης περιλαμβάνει πάνω από 1,5 δισεκατομμύρια αντικείμενα, συμπεριλαμβανομένων αστεριών, καφέ νάνων και ελεύθερα περιπλανώμενων πλανητών. Χρησιμοποιώντας δεδομένα που συλλέχθηκαν σε διάστημα 13 ετών, οι αστρονόμοι κατάφεραν να εξερευνήσουν λεπτομερώς περιοχές

του Γαλαξία μας που κρύβονται πίσω από νέφη σκόνης και αερίου (European Southern Observatory,2024).

Αυτό το επίτευγμα καθίσταται δυνατό χάρη στην κάμερα υπερύθρων VIRCAM, η οποία χρησιμοποιεί την τεχνολογία του φωτοηλεκτρικού φαινομένου για να ανιχνεύσει και να αναλύσει το φως που προέρχεται από αυτά τα αντικείμενα. Οι ερευνητές σκοπεύουν τώρα να αναβαθμίσουν τα όργανα για να σπάσουν το φως σε επιμέρους φάσματα, ώστε να κατανοήσουν καλύτερα τη χημική σύνθεση των νεοανακαλυφθέντων αντικειμένων.

Το Giant Magellan Telescope (GMT) είναι ένα από τα πιο πρόσφατα έργα που αναμένεται να ολοκληρωθεί στο European Southern Observatory (ESO) στην έρημο Atacama της Χιλής. Το GMT θα έχει έναν πρωτεύοντα καθρέφτη διαμέτρου 39 μέτρων, καθιστώντας το το μεγαλύτερο οπτικό τηλεσκόπιο στον κόσμο όταν ολοκληρωθεί. Αυτό το έργο βρίσκεται ακόμα σε φάση κατασκευής, αλλά έχει ήδη ενταχθεί στη νέα γενιά γιγαντιαίων τηλεσκοπίων που θα εξερευνήσουν το σύμπαν με ασύγκριτη ακρίβεια.



Σχήμα 6. Giant Magellan Telescope, artistic depiction from CfA

Το GMT χρησιμοποιεί εξελιγμένα φωτοανιχνευτικά συστήματα και φασματογράφους για να ανιχνεύει φως από μακρινά ουράνια αντικείμενα, όπως εξωπλανήτες, αστέρες και γαλαξίες. Θα είναι σε θέση να αναλύει την ατμόσφαιρα εξωπλανητών και να εντοπίζει ενδείξεις βιολογικής δραστηριότητας, κάνοντας το κατάλληλο για την ανίχνευση πιθανής εξωγήινης ζωής (Center for Astrophysics,2024).Το Giant Magellan Telescope (GMT) αναμένεται να ολοκληρωθεί και να τεθεί σε λειτουργία έως το 2029.

Αυτές οι εξελίξεις καταδεικνύουν πώς το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο, πέρα από τη θεωρητική του σημασία, αποτελεί τη βάση για πληθώρα πρακτικών εφαρμογών που έχουν αλλάξει ριζικά τη σύγχρονη τεχνολογία και επιστήμη και έχουν προσφέρει επικαιροποιημένη γνώση στο παγκόσμιο πολιτισμό.

4 Σύγχρονες Εκπαιδευτικές Προσεγγίσεις στο Φωτοηλεκτρικό Φαινόμενο

4.1 Από τη Νευτώνεια Μηχανική στη Κβαντική

Η εισαγωγή των εννοιών της κβαντικής φυσικής στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση στην Ελλάδα συνδέεται με την αναγνώριση της ανάγκης να προετοιμαστούν οι μαθητές για τη σύγχρονη φυσική και τις τεχνολογίες που βασίζονται σε αυτήν. Στη διδακτική πράξη, το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο προσφέρεται ως ένα καίριο διδακτικό εργαλείο για την εισαγωγή των μαθητών στις έννοιες της κβάντωσης και της διττής φύσης του φωτός. Ωστόσο, οι παραδοσιακές διδακτικές προσεγγίσεις τείνουν να παρουσιάζουν το φαινόμενο με αυστηρά μαθηματικό τρόπο, γεγονός που μπορεί να δυσκολεύει την εννοιολογική κατανόηση των μαθητών. Για την αντιμετώπιση αυτής της δυσκολίας, σύγχρονες μελέτες προτείνουν τη χρήση προσομοιώσεων και εικονικών εργαστηρίων, τα οποία επιτρέπουν στους μαθητές να διερευνήσουν τη σχέση μεταξύ συχνότητας φωτός και ενέργειας εκπεμπόμενων ηλεκτρονίων μέσω διαδραστικών εφαρμογών (Mashadi, 1996; Perkins et al., 2006). Τέτοιες προσεγγίσεις έχουν αποδειχθεί ιδιαίτερα αποτελεσματικές στη διδασκαλία της κβαντικής φυσικής, καθώς ενισχύουν την εννοιολογική κατανόηση και μειώνουν τις παρανοήσεις που συνήθως προκύπτουν από την αποκλειστική χρήση μαθηματικών αναλύσεων (Johnston, 1998). Η διδασκαλία του φωτοηλεκτρικού φαινομένου έχει ακολουθήσει μια εξέλιξη παράλληλη με τη γενικότερη διδασκαλία της κβαντικής φυσικής. Ως φαινόμενο που αμφισβήτησε ευθέως τις αρχές της κλασικής φυσικής και συνέβαλε στην ανάπτυξη της κβαντικής θεωρίας, αποτέλεσε κεντρικό σημείο αναφοράς στις εκπαιδευτικές μεταρρυθμίσεις που εισήγαγαν την κβάντωση της ενέργειας στα αναλυτικά προγράμματα φυσικών επιστημών (Μαργιώλας, 2018). Παρόλο που η εισαγωγή του στα σχολικά εγχειρίδια ανά τον κόσμο έγινε σχετικά νωρίς, η διδασκαλία του έχει συχνά εστιάσει στη μαθηματική προσέγγιση μέσω της εξίσωσης του Αϊνστάιν παραλείποντας τη σύνδεση με την ιστορική διαδρομή και τις πειραματικές αποδείξεις που οδήγησαν στη θεμελίωση της κβαντικής φυσικής (Johnston, 1998; Gasiorowicz, 2020). Η αναμόρφωση της διδασκαλίας της φυσικής στην Ελλάδα επηρεάστηκε από τα εκπαιδευτικά συστήματα διαφόρων χωρών, κυρίως λόγω των αλλαγών που παρατηρήθηκαν στην εκπαίδευση των φυσικών επιστημών σε παγκόσμιο επίπεδο. Ιδιαίτερα η Γερμανία, οι ΗΠΑ, η Γαλλία, το Ηνωμένο Βασίλειο και οι σκανδιναβικές χώρες έπαιξαν καθοριστικό ρόλο.

Στη Γερμανία, η έμφαση στην πειραματική διδασκαλία της φυσικής και στην εισαγωγή των κβαντικών φαινομένων ως αναπόσπαστο μέρος της επιστημονικής εκπαίδευσης οδήγησε στην υιοθέτηση παρόμοιων πρακτικών στην Ελλάδα (Ραβάνης, 2018). Οι Ηνωμένες Πολιτείες, μέσω της εκπαιδευτικής αναμόρφωσης που ακολούθησε την εκτόξευση του Σπούτνικ (1957) από τη Σοβιετική Ένωση, η οποία προκάλεσε έντονη ανησυχία στις Ηνωμένες Πολιτείες και λειτούργησε ως καταλύτης για τον εκσυγχρονισμό της εκπαίδευσης.

Εκείνη την περίοδο, οι ΗΠΑ αναθεώρησαν το εκπαιδευτικό τους σύστημα, δίνοντας έμφαση στην προώθηση της επιστήμης, της τεχνολογίας, της μηχανικής και των μαθηματικών (STEM). Στο πλαίσιο αυτής της μεταρρύθμισης, οι Ηνωμένες Πολιτείες εισήγαγαν νέες επιστημονικές έννοιες και θεωρίες, όπως αυτές της κβαντικής φυσικής και της ατομικής ενέργειας, ώστε να ενισχύσουν τη σύνδεση της θεωρητικής φυσικής με τις τεχνολογικές καινοτομίες.

Η προσπάθεια αυτή στόχευε να εξοπλίσει τη νέα γενιά με τις απαραίτητες γνώσεις και δεξιότητες για να ανταγωνιστεί στον επιστημονικό και τεχνολογικό τομέα και να διασφαλίσει την εθνική ασφάλεια και καινοτομία. Αυτή η προσέγγιση ενέπνευσε την ελληνική εκπαιδευτική μεταρρύθμιση, ιδιαίτερα μέσω προγραμμάτων όπως το "Project Physics Course" (Anweiler, 2016).

Στη Γαλλία, η αναθεώρηση των προγραμμάτων σπουδών στις δεκαετίες του 1970 και 1980 εισήγαγε τις κβαντικές έννοιες στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση, συνδέοντας τη διδασκαλία με τις σύγχρονες τεχνολογικές εφαρμογές. Η προσέγγιση αυτή επηρέασε και την ελληνική εκπαιδευτική πολιτική, η οποία ακολούθησε παρόμοιο μοντέλο (Sussmuth, 2016). Η γαλλική δευτεροβάθμια εκπαίδευση, σύμφωνα με τους Lautesse et al. (2015), προσεγγίζει τη διδασκαλία της κβαντικής φυσικής με δύο διακριτούς τρόπους. Ο πρώτος τρόπος ακολουθεί την κλασική Σχολή της Κοπεγχάγης και τις αντιλήψεις του Bohr (1928), βασιζόμενος σε κλασικά μεγέθη και έννοιες. Ο δεύτερος τρόπος απομακρύνεται από τις κλασικές αναφορές και στηρίζεται σε μια πιο σύγχρονη θεώρηση της κβαντικής φυσικής, εισάγοντας την έννοια του "κβάντον", όπως προτείνει ο Bunge (1973). Σε αυτή την προσέγγιση, τα φυσικά αντικείμενα της κβαντικής φυσικής δεν θεωρούνται ούτε σωματίδια ούτε κύματα, αλλά ως οντότητες που υπακούουν στους νόμους της κβαντικής μηχανικής.

Η έννοια του "κβάντον" απομακρύνει τις κλασικές αντιλήψεις και έχει σημαντική παιδαγωγική αξία, καθώς βοηθά τους μαθητές να κατανοήσουν τη θεμελιώδη διαφοροποίηση μεταξύ της κλασικής και της κβαντικής περιγραφής (Lautesse et al., 2015). Η χρήση απλοϊκών κλασικών εικόνων μπορεί να οδηγήσει σε παρανοήσεις σχετικά με τα κβαντικά φαινόμενα. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα διδασκαλίας που συνδυάζει τις δύο αυτές οπτικές είναι το πείραμα της διπλής σχισμής του Young (1804). Στη γαλλική εκπαιδευτική προσέγγιση, το πείραμα χρησιμοποιείται τόσο για τη διδασκαλία της κυματικής φύσης του φωτός όσο και για την κατανόηση των κβαντικών φαινομένων, ανεξάρτητα από το αν αφορά φωτόνια ή ηλεκτρόνια (Georgalas, 1977). Όταν παρατηρείται μεγάλος αριθμός γεγονότων πρόσπτωσης στο πέτασμα, η συμβολή ενισχύει την κυματική φύση των σωματιδίων. Ωστόσο, όταν μελετάται ένας μικρός αριθμός γεγονότων, εμφανίζεται μια εικόνα διακριτών σημείων, γεγονός που ερμηνεύεται με τη σωματιδιακή φύση των φωτονίων ή ηλεκτρονίων. Η Σχολή της Κοπεγχάγης θεωρεί ότι αυτά τα διαφορετικά πλαίσια ανάλυσης είναι αναγκαία για την περιγραφή της κβαντικής πραγματικότητας (Bohr, 1928), ενώ οι πιο σύγχρονες προσεγγίσεις υποστηρίζουν ότι η έννοια του σωματιδίου και του κύματος δεν έχει φυσικό νόημα στην Κβαντική Μηχανική. Στο πλαίσιο αυτό, το ηλεκτρόνιο δεν είναι ούτε κύμα

ούτε σωματίδιο, αλλά ένα νέο είδος οντότητας, το "κβάντον", που σχετίζεται με τα κβαντικά πεδία (Bunge, 1973). Ο Hobson (2013) προτείνει ότι για να λυθεί το παράδοξο της διπλής σχισμής, θα πρέπει να θεωρήσουμε ότι τα κβαντικά πεδία είναι πραγματικά φυσικά μεγέθη και όχι απλές μαθηματικές κατασκευές. Σύμφωνα με την Κβαντική Ηλεκτροδυναμική, το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο είναι κβαντισμένο, και το φωτόνιο δεν είναι ένα τοπικό σωματίδιο, αλλά μια εκδήλωση του πεδίου που καταλαμβάνει όλο το χώρο. Έτσι, η αλληλεπίδραση του πεδίου με την οθόνη στην εμπειρία της διπλής σχισμής δεν περιγράφεται με όρους σωματιδίων, αλλά ως ένα μη εντοπισμένο κβαντικό φαινόμενο (Hobson, 2013).

Το Ηνωμένο Βασίλειο, με τη μακρά παράδοση στη διδασκαλία της φυσικής, εισήγαγε τις κβαντικές έννοιες στα σχολικά προγράμματα σπουδών ήδη από τα μέσα του 20ού αιώνα, δίνοντας έμφαση τόσο στις επιστημονικές αρχές όσο και στις εφαρμογές τους (Ireson, 2000). Παράλληλα, οι σκανδιναβικές χώρες, όπως η Σουηδία και η Φινλανδία, επηρέασαν την ελληνική εκπαιδευτική αναμόρφωση μέσα από την εστίαση σε διδακτικές μεθόδους που ενθαρρύνουν την κριτική σκέψη και την πειραματική μάθηση (Politeianet, 2016).

Οι διεθνείς αυτές επιρροές συνέβαλαν στη διαμόρφωση μιας πιο σύγχρονης προσέγγισης στη διδασκαλία της φυσικής στην Ελλάδα, συνδέοντας την κλασική φυσική με την κβαντική θεωρία και τις νέες τεχνολογίες.

Η κβαντική φυσική, με τις αρχές της, όπως το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο, άρχισε να ενσωματώνεται σταδιακά στο ελληνικό αναλυτικό πρόγραμμα της φυσικής στις τελευταίες τάξεις του Λυκείου από τις αρχές του 21ου αιώνα. Μέχρι και τη δεκαετία του 1980, το περιεχόμενο της φυσικής στο ελληνικό Λύκειο εστίαζε κυρίως στη νευτώνεια μηχανική, την ηλεκτρομαγνητική θεωρία και τη θερμοδυναμική. Οι έννοιες της κβαντικής φυσικής θεωρούνταν ότι υπερέβαιναν τις δυνατότητες κατανόησης των μαθητών σε αυτή την ηλικία (Ireson, 2000). Επιπλέον, οι McKagan et al. (2008) αναφέρουν ότι οι παραδοσιακές διδακτικές προσεγγίσεις συχνά αποτυγχάνουν να μεταδώσουν αποτελεσματικά τις κβαντικές έννοιες στους μαθητές, οδηγώντας σε παρανοήσεις και ελλιπή κατανόηση.

Ωστόσο, η παγκόσμια τάση για την αναμόρφωση των προγραμμάτων φυσικών επιστημών και οι εξελίξεις στη σύγχρονη φυσική οδήγησαν σε αλλαγές. Κατά τη δεκαετία του 1990, ξεκίνησαν οι πρώτες πιλοτικές προσπάθειες ενσωμάτωσης της κβαντικής φυσικής στα σχολικά προγράμματα σπουδών. Η αρχική πρόταση για την ενσωμάτωση της κβαντικής φυσικής στο αναλυτικό πρόγραμμα της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης στην Ελλάδα έγινε από την Επιτροπή Αναμόρφωσης των Αναλυτικών Προγραμμάτων του Υπουργείου Παιδείας (Φωτεινός, 2020). Η επιτροπή αυτή περιλάμβανε ακαδημαϊκούς και εκπαιδευτικούς, που συνεργάστηκαν για να αναθεωρήσουν και να εχσυχρονίσουν τα προγράμματα φυσικών επιστημών. Στις αρχές της δεκαετίας του 1990, οι εισηγήσεις προήλθαν από επιστήμονες και πανεπιστημιακούς καθηγητές που ανησυχούσαν για τη στασιμότητα των ελληνικών προγραμμάτων σπουδών σε σχέση με τις σύγχρονες επιστημονικές εξελίξεις.

Ορισμένοι πανεπιστημιακοί, όπως ο Θεοδόσιος Τάσιος και ο Κώστας Δοξιάδης, είχαν τονίσει τη σημασία της εκπαίδευσης στην κβαντική φυσική για την κατανόηση των νέων τεχνολογιών και της σύγχρονης επιστήμης, προτείνοντας την εισαγωγή των σχετικών εννοιών ήδη από τις τελευταίες τάξεις του Λυκείου. Οι καθηγητές αυτοί, σε συνεργασία με ομάδες εργασίας από το Παιδαγωγικό Ινστιτούτο, υποστήριζαν την αναγκαιότητα να εκσυγχρονιστεί η διδακτέα ύλη, ώστε οι μαθητές να μπορούν να κατανοήσουν τις νέες επιστημονικές εξελίξεις και τεχνολογίες (Φωτεινός, 2020). Οι προσπάθειες βασίστηκαν κυρίως στην ανάγκη οι μαθητές να αποκτήσουν μια βασική κατανόηση των κβαντικών φαινομένων και της σημασίας τους στην τεχνολογία και την καθημερινή ζωή. Η διδασκαλία της κβαντικής φυσικής στη Γ' Λυκείου εστίασε αρχικά σε θεμελιώδεις έννοιες, όπως η δυαδική φύση του φωτός και η εξίσωση του Planck.

Η επίσημη ενσωμάτωση της κβαντικής φυσικής στο ελληνικό πρόγραμμα έγινε το 2000, με την εισαγωγή ενός ανανεωμένου αναλυτικού προγράμματος για τα μαθήματα της φυσικής κατεύθυνσης. Η κβαντική φυσική έγινε μέρος του μαθήματος της φυσικής της Γ' Λυκείου, με το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο να αποτελεί κεντρικό σημείο αυτής της ενότητας. Το Υπουργείο Παιδείας της Ελλάδας επέλεξε να περιλάβει τις βασικές έννοιες της κβαντικής θεωρίας, δίνοντας έμφαση στη σύνδεση θεωρίας και εφαρμογών, όπως οι ηλιακές κυψέλες και οι ψηφιακές συσκευές απεικόνισης, αλλά ενώ βρισκόταν με τη μορφή ενός μεγάλου κεφαλαίου στο νέο σχολικό εγχειρίδιο της Φυσικής Γ λυκείου δεν αποτελούσε ούτε ύλη των Πανελλαδικών εξετάσεων, αλλά ούτε διδακτέα ύλη (Φωτεινός, 2020). Η ανάγκη για μια πιο ολιστική προσέγγιση της φυσικής ήταν επίσης ένας από τους βασικούς λόγους για αυτήν την αναμόρφωση.

Οι μαθητές έπρεπε να δουν τη φυσική όχι μόνο ως ένα σύνολο κανόνων και εξισώσεων, αλλά ως μια επιστήμη που εξελίσσεται και προσαρμόζεται σε νέα δεδομένα και ανακαλύψεις (Bybee, 1997). Η πιθανοκρατική ερμηνεία της κβαντικής φυσικής και ο δυϊσμός κύματος-σωματιδίου αποτελούν θεμελιώδεις έννοιες που διαφοροποιούν τη σύγχρονη φυσική από την κλασική. Ωστόσο, η διδασκαλία τους στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση παρουσιάζει σημαντικές προκλήσεις, καθώς έρχονται σε αντίθεση με τη ντετερμινιστική θεώρηση του κόσμου που κυριαρχεί στις προϋπάρχουσες αντιλήψεις των μαθητών (Johnston, 1998). Η εισαγωγή της έννοιας του κυματοσωματιδιακού δυϊσμού, όπως αυτή διαμορφώθηκε από τις εργασίες του Louis de Broglie και επιβεβαιώθηκε πειραματικά μέσω του φαινομένου της περίθλασης των ηλεκτρονίων, αποτελεί μία από τις βασικές προκλήσεις της διδακτικής της φυσικής (Gasiorowicz, 2020). Έρευνες έχουν δείξει ότι οι μαθητές δυσκολεύονται να αποδεχθούν την πιθανότητα ως εγγενές χαρακτηριστικό της φύσης, ερμηνεύοντας την αβεβαιότητα ως περιορισμό της μεθοδολογίας της επιστήμης και όχι ως θεμελιώδες στοιχείο της φυσικής πραγματικότητας (Mashadi, 1996). Στην ελληνική εκπαιδευτική πρακτική, η πιθανοκρατική ερμηνεία της κυματοσυνάρτησης Ψ και η έννοια της απροσδιοριστίας του Heisenberg συχνά παρουσιάζονται αποσπασματικά, δίχως να συνοδεύονται από κατάλληλες διδακτικές παρεμβάσεις που να ενισχύουν τη βαθύτερη κατανόησή τους (Δημόπουλος, 2005).

Με την εισαγωγή της κβαντικής φυσικής, επιδιώχθηκε να καλλιεργηθεί η κριτική σκέψη και η κατανόηση της επιστημονικής μεθόδου. Η απόφαση του Υπουργείου Παιδείας να υιοθετήσει αυτές τις προτάσεις βασίστηκε, μεταξύ άλλων, και στις διεθνείς τάσεις στην εκπαίδευση της φυσικής, όπου πολλές χώρες είχαν ήδη ενσωματώσει στοιχεία κβαντικής φυσικής στα σχολικά τους προγράμματα. Μετά την αρχική πρόταση για την ενσωμάτωση της κβαντικής φυσικής στο πρόγραμμα δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης, τα επόμενα βήματα περιλάμβαναν μια σειρά από σημαντικές δράσεις και πρωτοβουλίες, με στόχο την επιτυχή εισαγωγή αυτών των νέων εννοιών στο σχολικό πλαίσιο.

Το πρώτο ουσιαστικό βήμα ήταν η αναθεώρηση του αναλυτικού προγράμματος της φυσικής. Η Επιτροπή Αναμόρφωσης των Αναλυτικών Προγραμμάτων συνεργάστηκε με πανεπιστημιακούς και ειδικούς επιστήμονες για την ανάπτυξη ενός επικαιροποιημένου και ολοκληρωμένου πλαισίου διδασκαλίας της φυσικής στη Γ' Λυκείου. Αυτό το πλαίσιο περιλάμβανε τις θεμελιώδεις έννοιες της κβαντικής θεωρίας, όπως το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο και η κβάντωση της ενέργειας (Psillos, D., & Kariotoglou, P., 2016).

Παράλληλα, το Παιδαγωγικό Ινστιτούτο και οι εκδοτικοί οίκοι εργάστηκαν για τη συγγραφή νέων σχολικών βιβλίων που να αντικατοπτρίζουν το ανανεωμένο περιεχόμενο. Τα νέα βιβλία περιλάμβαναν αναλυτικές εξηγήσεις, παραδείγματα και ασκήσεις, ώστε οι μαθητές να μπορούν να κατανοήσουν τις θεμελιώδεις αρχές της κβαντικής φυσικής. Η επιμόρφωση των καθηγητών ήταν καθοριστικής σημασίας για την επιτυχία της εφαρμογής του νέου προγράμματος. Διοργανώθηκαν σεμινάρια και εργαστήρια για εκπαιδευτικούς, με στόχο να εξοικειωθούν με τις νέες έννοιες και τις διδακτικές μεθοδολογίες. Τα σεμινάρια αυτά πραγματοποιήθηκαν από πανεπιστημιακούς καθηγητές και επιστήμονες της φυσικής και είχαν ως σκοπό να προετοιμάσουν τους καθηγητές για την αποτελεσματική διδασκαλία των νέων θεμάτων (Psillos, D., & Kariotoglou, P., 2016).

Στα τέλη της δεκαετίας του 1990, ξεκίνησε μια πιλοτική εφαρμογή της διδασκαλίας της κβαντικής φυσικής σε επιλεγμένα σχολεία. Κατά τη διάρκεια αυτής της φάσης, οι εκπαιδευτικοί και οι μαθητές παρείχαν ανατροφοδότηση για την αποδοτικότητα του αναλυτικού προγράμματος και των σχολικών εγχειριδίων. Με βάση τις παρατηρήσεις και τα προβλήματα που αναδείχθηκαν, έγιναν διορθώσεις και βελτιώσεις στα βιβλία και το πρόγραμμα. Μετά την πιλοτική φάση, το ανανεωμένο πρόγραμμα και τα νέα βιβλία άρχισαν να εφαρμόζονται σε εθνικό επίπεδο. Το Υπουργείο Παιδείας συνέχισε να αξιολογεί τα μαθησιακά αποτελέσματα και την κατανόηση των μαθητών σχετικά με την κβαντική φυσική μέσω ερευνών και εξετάσεων. Αυτή η αξιολόγηση έδειξε τις πρώτες δυσκολίες στην κατανόηση των θεμελιωδών εννοιών, γεγονός που οδήγησε σε περαιτέρω εκπαιδευτικές προσαρμογές (Φωτεινός, 2020). Παρόλο που το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο περιλαμβάνεται στη διδακτέα ύλη της Φυσικής Θετικής Κατεύθυνσης της Γ' Λυκείου, η παρουσίασή του είναι συχνά αποσπασματική και δεν συνδέεται επαρκώς με τις αρχές της κβαντικής θεωρίας (Βλάχου κ.α., 1999). Αρχικά, το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο παρουσιάστηκε ως ένα ακόμα πείραμα της φυσικής του 19ου αιώνα, χωρίς να τονίζεται η επαναστατική του

σημασία για την επιστήμη. Τα πρώτα σχολικά εγχειρίδια φυσικής βασίζονταν σχεδόν αποκλειστικά σε κλασικές εξηγήσεις και απέφευγαν τη σύνδεση του φαινομένου με τη διττή φύση του φωτός, καθώς ο κυματοσωματιδιακός дуΐσμός θεωρούνταν ιδιαίτερα αφηρημένη έννοια για τη δευτεροβάθμια εκπαίδευση (Μαργιώλας, 2018). Η ελληνική σχολική βιβλιογραφία επικεντρώνεται κυρίως στο μοντέλο του Bohr και στην περιγραφή της κβαντικής μηχανικής μέσω κλασικών αναλογιών, παραλείποντας τη συστηματική εισαγωγή των πιθανοκρατικών εννοιών και του κυματοσωματιδιακού дуΐσμού (Ιωάννου κ.α., 1999). Επιπλέον, οι διδακτικές πρακτικές βασίζονται κυρίως στη μαθηματική διατύπωση των φαινομένων, γεγονός που δυσχεραίνει την εννοιολογική κατανόηση από τους μαθητές, ιδιαίτερα όσον αφορά τις σύγχρονες προσεγγίσεις της κβαντικής φυσικής (Δημόπουλος, 2005). Η διδασκαλία της κβαντικής φυσικής στα σχολικά εγχειρίδια διαφέρει σημαντικά μεταξύ Ελλάδας και διεθνών εκπαιδευτικών συστημάτων, τόσο ως προς το περιεχόμενο όσο και ως προς τις διδακτικές προσεγγίσεις. Στην Ελλάδα, η πιθανοκρατική φύση της κβαντικής θεωρίας δεν παρουσιάζεται με σαφήνεια στα σχολικά εγχειρίδια, ενώ οι μαθητές εκτίθενται κυρίως στο μοντέλο του Bohr και σε μια περισσότερο ντετερμινιστική περιγραφή των ατομικών φαινομένων (Ιωάννου κ.α., 1999). Το γεγονός αυτό έχει ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη λανθασμένων αντιλήψεων, καθώς οι μαθητές δεν αντιλαμβάνονται τη θεμελιώδη αλλαγή παραδείγματος που εισήγαγε η κβαντομηχανική (Johnston, 1998). Αντιθέτως, σε διεθνές επίπεδο, οι σύγχρονες τάσεις στη διδακτική της φυσικής προσανατολίζονται προς τη χρήση πολυμεσικών εργαλείων και διαδραστικών προσομοιώσεων, που επιτρέπουν την καλύτερη αναπαράσταση των κβαντικών φαινομένων και διευκολύνουν την εννοιολογική κατανόηση (Gasiorowicz, 2020).

Ορισμένοι καθηγητές ανέφεραν ότι η κβαντική φυσική ήταν δυσνόητη για τους ίδιους, ειδικά αν δεν είχαν ισχυρό ακαδημαϊκό υπόβαθρο στη φυσική. Πολλοί εξέφρασαν ανησυχίες ότι η διδασκαλία εννοιών όπως η αρχή της αβεβαιότητας, η κβάντωση της ενέργειας και η κυματοσυνάρτηση θα ήταν δύσκολη χωρίς την κατάλληλη επιμόρφωση. Για παράδειγμα, σε έρευνα που πραγματοποιήθηκε από το Παιδαγωγικό Ινστιτούτο στα μέσα της δεκαετίας του 2000, καταγράφηκαν περιπτώσεις καθηγητών που δήλωναν ότι ένιωθαν ανεπαρκείς για τη διδασκαλία της κβαντικής φυσικής λόγω της έλλειψης προετοιμασίας και επιμόρφωσης (Παιδαγωγικό Ινστιτούτο, 2006). Άλλοι εκπαιδευτικοί ανέφεραν προβλήματα σχετικά με την υλικοτεχνική υποδομή των σχολείων, αναφέροντας ότι η έλλειψη κατάλληλων εργαστηρίων και εξοπλισμού έκανε δύσκολη τη διδασκαλία της νέας ύλης. Η διδασκαλία εννοιών όπως το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο απαιτεί κατάλληλες προσομοιώσεις και πειραματικές δραστηριότητες για να γίνουν κατανοητές από τους μαθητές (Psillos, D., & Kariotoglou, P., 2016). Ωστόσο, σε πολλά σχολεία δεν υπήρχαν οι απαραίτητες προσομοιώσεις ή ακόμα και οι βασικοί εργαστηριακοί εξοπλισμοί για να γίνει η σύνδεση θεωρίας και πράξης. Παρά τις δυσκολίες, αρκετοί καθηγητές θεώρησαν θετική την ενσωμάτωση της κβαντικής φυσικής, τονίζοντας ότι αυτή η αλλαγή εκσυγχρονίζει το πρόγραμμα σπουδών και καθιστά τη φυσική πιο συναφή με τις τεχνολογικές εξελίξεις. Κάποιοι καθηγητές ανέφεραν ότι οι νέες αυτές έννοιες ενθουσιάζουν τους μαθητές και

τους δίνουν την ευκαιρία να κατανοήσουν καλύτερα σύγχρονες εφαρμογές, όπως τα ηλιακά πάνελ, τα λείζερ και οι ψηφιακές συσκευές απεικόνισης (Παιδαγωγικό Ινστιτούτο,2006).

Υπήρξαν, επίσης, και αντιδράσεις που εξέφραζαν ανησυχίες για την κατανόηση αυτών των εννοιών από τους μαθητές, ειδικά δεδομένου ότι τα θέματα της χβαντικής φυσικής απαιτούν ένα υψηλότερο επίπεδο αφηρημένης σκέψης. Σε έρευνα που πραγματοποιήθηκε από το Πανεπιστήμιο Αθηνών το 2012, καθηγητές ανέφεραν ότι αρκετοί μαθητές βρίσκουν την χβαντική φυσική "αποπροσανατολιστική" και δυσκολεύονται να δεχθούν την έννοια της δυαδικής φύσης του φωτός ή την αβεβαιότητα στις μετρήσεις (Δημητρίου και Μακρής,2012).Οι περισσότεροι καθηγητές τόνισαν την ανάγκη για συνεχή επιμόρφωση και υποστήριξη από το Υπουργείο Παιδείας και το Παιδαγωγικό Ινστιτούτο, ώστε να διατηρούν τις γνώσεις και τις διδακτικές τους δεξιότητες επίκαιρες. Η έλλειψη συνεχούς εκπαίδευσης για τις νέες επιστημονικές εξελίξεις αποτελούσε έναν από τους κύριους προβληματισμούς των εκπαιδευτικών (Παιδαγωγικό Ινστιτούτο,2006).

Αυτά τα παραδείγματα δείχνουν ότι η αντίδραση των εκπαιδευτικών περιλάμβανε τόσο ενθουσιασμό και ενδιαφέρον για τις νέες ιδέες όσο και ανησυχίες και προκλήσεις λόγω των περιορισμών σε υποδομές και επιμόρφωση. Η αντίδραση των καθηγητών ήταν μικτή. Αρκετοί εκπαιδευτικοί θεώρησαν θετική την ενσωμάτωση της χβαντικής φυσικής στο πρόγραμμα, καθώς θεωρήθηκε μια αναγκαία ανανέωση και εκσυγχρονισμός των γνώσεων που παρέχονται στους μαθητές. Καθηγητές με ενδιαφέρον για τη φυσική και τις εξελίξεις της αγκάλιασαν την πρόκληση να διδάξουν τις νέες έννοιες, ενώ πολλοί από αυτούς αξιοποίησαν ευκαιρίες επιμόρφωσης και εκπαιδευτικών σεμιναρίων για να προετοιμαστούν κατάλληλα.

Σύμφωνα με μελέτη των Χούσου και Σίμου (2024), υπήρξαν και αρκετές ανησυχίες, κυρίως λόγω της πολυπλοκότητας των χβαντικών φαινομένων και της έλλειψης επαρκούς υλικοτεχνικής υποδομής στα σχολεία. Μερικοί εκπαιδευτικοί εξέφρασαν προβληματισμούς για την κατανόηση αυτών των θεμάτων από τους μαθητές, ιδιαίτερα σε ένα εκπαιδευτικό πλαίσιο που συχνά βασίζεται σε θεωρητική διδασκαλία και λιγότερο σε πειραματική προσέγγιση. Επίσης, διαπιστώθηκε ότι αρκετοί καθηγητές δεν αισθάνονταν άνετα με την ύλη της χβαντικής φυσικής, ειδικά αν δεν είχαν προηγούμενη ειδική κατάρτιση ή επιμόρφωση πάνω στο αντικείμενο.

Πολλοί εκπαιδευτικοί ζητούσαν από το Υπουργείο Παιδείας περισσότερους πόρους και ευκαιρίες για επιμόρφωση, καθώς και ανανέωση των σχολικών βιβλίων και του εργαστηριακού εξοπλισμού. Η ύπαρξη περισσότερων ευκαιριών για συνεχή επιμόρφωση και ανάπτυξη των δεξιοτήτων τους κρίθηκε απαραίτητη, ώστε να μπορούν να ανταποκριθούν αποτελεσματικά στις απαιτήσεις της νέας διδακτέας ύλης.

4.2 Διδακτικές προσεγγίσεις στην Ελλάδα

Συνολικά, η αλλαγή αυτή έφερε τον ακαδημαϊκό χώρο της φυσικής πιο κοντά στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση και έθεσε τα θεμέλια για μια πιο σύγχρονη προσέγγιση στη διδασκαλία των επιστημών. Αν και υπήρξαν δυσκολίες, η πρόοδος που επιτεύχθηκε με την ενσωμάτωση της κβαντικής φυσικής προσέφερε στους μαθητές τη δυνατότητα να κατανοήσουν καλύτερα τις τεχνολογικές και επιστημονικές εξελίξεις του 21ου αιώνα. Στην Ελλάδα, το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο αποτελεί βασικό μέρος της διδακτέας ύλης στη φυσική κατεύθυνσης της Γ' Λυκείου, ενταγμένο στο πλαίσιο της διδασκαλίας της κβαντικής φυσικής. Σύμφωνα με το ελληνικό αναλυτικό πρόγραμμα σπουδών, η διδασκαλία του φωτοηλεκτρικού φαινομένου περιλαμβάνει την παρουσίαση της θεωρίας των φωτονίων, όπως αυτή διατυπώθηκε από τον Einstein, και τη σύνδεσή της με την κβαντική μηχανική (Υπουργείο Παιδείας, 2020).

Η διδασκαλία της φυσικής στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση στην Ελλάδα χαρακτηρίζεται από έναν συνδυασμό παραδοσιακών και σύγχρονων προσεγγίσεων, ειδικά σε αφηρημένα θέματα όπως το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο. Παραδοσιακά, η διδασκαλία βασίζεται σε μετωπικές μεθόδους, όπως η διάλεξη και η επίλυση προβλημάτων, με ιδιαίτερη έμφαση στη θεωρητική κατανόηση του φαινομένου και των μαθηματικών εξισώσεων του (Βασιλείου & Παπαδόπουλος, 2020). Οι εκπαιδευτικοί συχνά επικεντρώνονται στις βασικές θεωρίες και εξισώσεις, όπως ο νόμος του Αϊνστάιν για το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο, αναλύοντας λεπτομερώς τις σχέσεις μεταξύ ενέργειας φωτονίων, συχνότητας και εκπομπής ηλεκτρονίων. Η διδασκαλία του φωτοηλεκτρικού φαινομένου αποτελεί μία από τις πρώτες επαφές των μαθητών με τις αρχές της κβαντικής φυσικής και, ως εκ τούτου, απαιτεί ιδιαίτερη διδακτική προσέγγιση που να ενισχύει την εννοιολογική κατανόηση.

Η εισαγωγή της κβαντικής φυσικής στα σχολικά προγράμματα ξεκίνησε με τη διδασκαλία της δυαδικότητας του φωτός κατά τις αρχές της δεκαετίας του 2000, ενώ ψήγματα κβαντικής φυσικής ενσωματώθηκαν στην εξεταστέα ύλη της Χημείας Γ' Λυκείου μέσω θεμάτων όπως η δόμηση στοιβάδων και υποστοιβάδων. Το 2021-2022, η κβαντική φυσική παρουσιάστηκε επίσημα στην ύλη της Γ' Λυκείου μέσω των τριών φαινομένων: του φωτοηλεκτρικού φαινομένου, της σκέδασης Compton και της ακτινοβολίας μέλανος σώματος. Παρότι η διδασκαλία αυτών των φαινομένων επικεντρώνεται στις θεωρητικές τους πτυχές, γίνεται προσπάθεια να συνδυαστεί με σύγχρονες διδακτικές προσεγγίσεις που ενισχύουν την κατανόηση των μαθητών (Βασιλείου & Παπαδόπουλος, 2020). Οι παραδοσιακές διδακτικές πρακτικές, που βασίζονται κυρίως σε μαθηματικές εξισώσεις χωρίς την κατάλληλη εποπτική υποστήριξη, έχουν αποδειχθεί ανεπαρκείς για τη διδασκαλία των κβαντικών φαινομένων, καθώς δεν αναδεικνύουν την ασυνέχεια της ενέργειας και τη θεμελιώδη σημασία της κβάντωσης (Johnston, 1998). Στην ελληνική εκπαιδευτική πραγματικότητα, το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο συχνά διδάσκεται αποσπασματικά, δίχως να εντάσσεται σε ένα ευρύτερο πλαίσιο που να περιλαμβάνει την ιστορική του σημασία και τη σύνδεσή του με τις σύγχρονες τεχνολογικές εφαρμογές (Δημόπουλος, 2005). Έρευνες

υποστηρίζουν ότι η διδακτική αξιοποίηση της ιστορικής εξέλιξης του φαινομένου, από τις αρχικές αδυναμίες της κλασικής φυσικής έως τη διατύπωση της κβαντικής θεωρίας από τον Αϊνστάιν, μπορεί να βοηθήσει τους μαθητές να κατανοήσουν όχι μόνο το ίδιο το φαινόμενο αλλά και τη διαδικασία της επιστημονικής ανακάλυψης (Περιβολαρόπουλος, 2023). Επιπλέον, η διερεύνηση των παρανοήσεων των μαθητών σχετικά με την έννοια της συχνότητας και της έντασης του φωτός μπορεί να καθοδηγήσει τους εκπαιδευτικούς στην υιοθέτηση στρατηγικών που ενισχύουν τη μεταγνωστική σκέψη και την επιστημολογική κατανόηση των μαθητών (Gasiorowicz, 2020)

Σημαντική πρόκληση για τους εκπαιδευτικούς αποτελεί η μετάβαση από την παραδοσιακή θεωρητική διδασκαλία σε πιο βιωματικές και πειραματικές προσεγγίσεις, καθώς η έλλειψη εξοπλισμού και υλικοτεχνικών υποδομών περιορίζει τη δυνατότητα διεξαγωγής εργαστηριακών ασκήσεων. Παράλληλα, η επιμόρφωση των καθηγητών θεωρείται κρίσιμη για την αποτελεσματική διδασκαλία αυτών των νέων εννοιών. Η ανάγκη για ανανεωμένα διδακτικά υλικά και πόρους είναι απαραίτητη για τη σύνδεση της θεωρίας με την πρακτική και την ενίσχυση της κατανόησης από τους μαθητές (Osborne & Dillon, 2008).

Η εργαστηριακή διδασκαλία στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση αποτελεί μια από τις πιο διαδεδομένες προσεγγίσεις για τη διδασκαλία της φυσικής, καθώς επιτρέπει στους μαθητές να εκτελούν πειράματα, να παρατηρούν φαινόμενα και να αναπτύσσουν πρακτικές δεξιότητες. Μέσα από αυτή τη μέθοδο, οι μαθητές έρχονται σε επαφή με τον πειραματισμό και την ερμηνεία των αποτελεσμάτων, γεγονός που συμβάλλει σημαντικά στην κατανόηση αφηρημένων εννοιών και στη σύνδεση της θεωρίας με την πράξη (Παπανδρέου & Αντωνίου, 2019).

Ωστόσο, η εφαρμογή της εργαστηριακής διδασκαλίας εξαρτάται συχνά από τη διαθεσιμότητα κατάλληλων εργαστηριακών υποδομών και εξοπλισμού, οι οποίες δεν είναι πάντα επαρκείς στα ελληνικά σχολεία, με αποτέλεσμα η διδασκαλία του φωτοηλεκτρικού φαινομένου να περιορίζεται σε θεωρητικό επίπεδο (Καλογερόπουλος, 2022). Οι περιορισμοί στην εργαστηριακή διδασκαλία εντείνονται ιδιαίτερα σε απομαχρυσμένες περιοχές και σε σχολεία που αντιμετωπίζουν οικονομικές δυσκολίες. Έρευνα του Σαμαρά και της Παπακωνσταντίνου (2018) έδειξε ότι μόνο το 60% των σχολείων διαθέτουν πλήρως εξοπλισμένα εργαστήρια φυσικής, ενώ πολλά από αυτά δεν διαθέτουν εξειδικευμένο εξοπλισμό για την εκτέλεση πιο σύνθετων πειραμάτων, όπως αυτό του φωτοηλεκτρικού φαινομένου.

Στις περιπτώσεις που τα εργαστήρια είναι καλά εξοπλισμένα, οι μαθητές μπορούν να εκτελέσουν βασικά πειράματα, όπως τη μέτρηση της ενέργειας του φωτός και την ανάλυση του φάσματος, αλλά η διδασκαλία του φωτοηλεκτρικού φαινομένου εξακολουθεί να παρουσιάζει δυσκολίες, λόγω των απαιτήσεων σε εξοπλισμό υψηλής ακρίβειας. Σύμφωνα με την Παπαδάκη (2022), η διεξαγωγή πειραμάτων που αφορούν την κβαντική φυσική και το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο απαιτεί εξοπλισμό ακριβείας, ο οποίος δεν είναι διαθέσιμος στα περισσότερα σχολεία, με αποτέλεσμα να βασίζεται συχνά σε θεωρητική

διδασκαλία. Στην ελληνική εκπαιδευτική πραγματικότητα, οι εργαστηριακές ασκήσεις και οι προσομοιώσεις στη διδασκαλία της φυσικής δεν αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι της διδακτικής διαδικασίας, αλλά εφαρμόζονται κυρίως ως πειράματα επίδειξης. Η έλλειψη ενσωμάτωσης των εργαστηριακών δραστηριοτήτων στη διδακτική μεθοδολογία έχει ως αποτέλεσμα τη χρήση τους με τρόπο αποσπασματικό, χωρίς να αξιοποιούνται πλήρως τα οφέλη που προσφέρουν στη διερευνητική μάθηση και την κατανόηση εννοιών της φυσικής (Νικολουδάκης, 2019). Συγκεκριμένα, οι εργαστηριακές δραστηριότητες εκτελούνται συνήθως από τον εκπαιδευτικό, ενώ οι μαθητές έχουν παθητικό ρόλο, περιοριζόμενοι στην παρακολούθηση του φαινομένου χωρίς ουσιαστική συμμετοχή στη διαδικασία διατύπωσης υποθέσεων, πειραματισμού και ανάλυσης δεδομένων. Αυτή η διδακτική προσέγγιση αποτρέπει τη βαθύτερη κατανόηση της φυσικής, καθώς οι μαθητές δεν εμπλέκονται ενεργά στην πειραματική διαδικασία και την εξαγωγή συμπερασμάτων μέσω της προσωπικής διερεύνησης (Νικολουδάκης, 2019).

Παρόμοια προβλήματα παρατηρούνται και στη χρήση των προσομοιώσεων στη διδασκαλία της φυσικής. Αν και τα τελευταία χρόνια υπάρχει αυξημένο ενδιαφέρον για την αξιοποίησή τους, η χρήση τους δεν είναι ακόμα πλήρως εδραιωμένη ως διδακτική πρακτική. Σύμφωνα με τον Βασίλη Δημόπουλο (2021), υπάρχουν δύο βασικοί τρόποι χρήσης των προσομοιώσεων στην εκπαίδευση: η χρήση ενός έτοιμου μοντέλου προσομοίωσης, όπου οι μαθητές αλλάζουν παραμέτρους για να μελετήσουν την εξέλιξη ενός φαινομένου, και η δημιουργία μοντέλου προσομοίωσης, στην οποία οι μαθητές εμπλέκονται στη διαδικασία σχεδιασμού και ανάπτυξης του μαθηματικού μοντέλου που περιγράφει το φαινόμενο. Ωστόσο, στην ελληνική πραγματικότητα, η χρήση των προσομοιώσεων περιορίζεται κυρίως στον πρώτο τύπο, όπου οι μαθητές απλώς αλληλεπιδρούν με έτοιμα προγράμματα χωρίς να έχουν ουσιαστικό ρόλο στη διαδικασία της μοντελοποίησης και της επιστημονικής διερεύνησης. Η διεθνής βιβλιογραφία υποστηρίζει ότι οι προσομοιώσεις και τα εικονικά εργαστήρια μπορούν να αποτελέσουν ισχυρά εργαλεία για την ανάπτυξη της επιστημονικής σκέψης, καθώς επιτρέπουν στους μαθητές να διερευνούν φαινόμενα που δεν μπορούν να αναπαρασταθούν εύκολα σε ένα παραδοσιακό σχολικό εργαστήριο (Perkins et al., 2006). Ειδικά στην χβαντική φυσική, όπου οι κλασικές πειραματικές προσεγγίσεις είναι περιορισμένες, οι προσομοιώσεις μπορούν να συμβάλουν στη βελτίωση της κατανόησης εννοιών όπως το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο, η κυματοσωματιδιακή δυαδικότητα και η αρχή της αβεβαιότητας (Singh et al., 2006). Στην Ελλάδα, η αξιοποίηση αυτών των εργαλείων είναι ακόμα σε πρώιμο στάδιο, καθώς η διδασκαλία της φυσικής παραμένει κατά κύριο λόγο προσανατολισμένη σε θεωρητικές προσεγγίσεις, με τα εργαστηριακά μαθήματα να λειτουργούν υποστηρικτικά και όχι ως κύριο μέσο μάθησης (Νικολουδάκης, 2019).

Αντίθετα, οι χώρες με πιο ανεπτυγμένα εργαστηριακά προγράμματα, όπως η Γερμανία και η Γαλλία, επενδύουν σημαντικά στην προμήθεια εξειδικευμένων εργαστηριακών εργαλείων, επιτρέποντας στους μαθητές να κατανοήσουν εμπειρικά το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο (Müller et al., 2019). Οι έρευνες έχουν δείξει ότι οι μαθητές που έχουν πρόσβαση σε εργαστηριακή

διδασκαλία παρουσιάζουν καλύτερη κατανόηση των εννοιών και μεγαλύτερη αυτοπεποίθηση στην εφαρμογή της γνώσης τους (Jones & Thompson, 2020).

Η χρήση ψηφιακών προσομοιώσεων στην εκπαίδευση της φυσικής έχει σημειώσει σημαντική αύξηση τα τελευταία χρόνια, ειδικά σε περιπτώσεις όπου η πρόσβαση σε εργαστηριακό εξοπλισμό είναι περιορισμένη. Η πλατφόρμα PhET, που αναπτύχθηκε από το Πανεπιστήμιο του Κολοράντο, προσφέρει προσομοιώσεις για μια πληθώρα φαινομένων, συμπεριλαμβανομένου του φωτοηλεκτρικού φαινομένου.

Η χρήση της επιτρέπει στους μαθητές να παρατηρούν τη διαδικασία εκτόξευσης ηλεκτρονίων από μεταλλικές επιφάνειες όταν εκτίθενται σε φως συγκεκριμένης συχνότητας και έντασης, δίνοντας έτσι τη δυνατότητα για βιωματική κατανόηση των φυσικών αρχών πίσω από το φαινόμενο (Karagiannis, 2021). Οι εκπαιδευτικοί που χρησιμοποιούν το PhET διαπιστώνουν βελτίωση στη συμμετοχή και κατανόηση των μαθητών, καθώς οι προσομοιώσεις διευκολύνουν τη διερεύνηση των παραμέτρων που εμπλέκονται στο φαινόμενο με τρόπο που δεν είναι δυνατός σε πραγματικές εργαστηριακές συνθήκες λόγω των τεχνολογικών και οικονομικών περιορισμών (Papadopoulos & Alexandri, 2020).

Οι προσομοιώσεις προσφέρουν τη δυνατότητα για αυξημένη αλληλεπίδραση των μαθητών με τη διδακτική ύλη, ενώ παράλληλα επιτρέπουν τη διερεύνηση «τι θα συνέβαινε αν» σενάρια, τα οποία ενισχύουν τη διαδικασία της μάθησης. Για παράδειγμα, έρευνες δείχνουν ότι η ενσωμάτωση τέτοιων εργαλείων οδηγεί σε βαθύτερη κατανόηση των αρχών της κβαντικής φυσικής και βελτίωση των επιδόσεων των μαθητών (Jones et al., 2019; Smith & Lee, 2020). Σύμφωνα με τη μελέτη των Dimou και Sofianou (2019), οι μαθητές που χρησιμοποίησαν προσομοιώσεις για τη μελέτη του φωτοηλεκτρικού φαινομένου ανέπτυξαν καλύτερη αντίληψη της συχνότητας και της έντασης του φωτός και της επίδρασης αυτών των παραγόντων στη διαδικασία εκπομπής ηλεκτρονίων.

Η Ελλάδα έχει επίσης υιοθετήσει αυτήν την πρακτική σε αρκετά σχολεία, με την υποστήριξη προγραμμάτων του Υπουργείου Παιδείας που προωθούν τις Τεχνολογίες Πληροφορικής και Επικοινωνίας (ΤΠΕ) στην εκπαίδευση. Σε πειραματικά και πρότυπα σχολεία, οι προσομοιώσεις, όπως το PhET και η πλατφόρμα e-me, χρησιμοποιούνται ευρέως για την κατανόηση της φυσικής, ενώ ενθαρρύνεται η βιωματική μάθηση με εστίαση σε ψηφιακά εργαλεία και προσομοιωμένα πειράματα (Papadimitriou & Tsalikidis, 2021).

Τέλος, μια πρόσφατη μελέτη των Brown και Thompson (2022) αναφέρει ότι οι ψηφιακές προσομοιώσεις όχι μόνο ενισχύουν την κατανόηση των μαθητών στις έννοιες της φυσικής, αλλά τους βοηθούν επίσης να αντιμετωπίσουν συνηθισμένες παρανοήσεις. Στο φωτοηλεκτρικό φαινόμενο, για παράδειγμα, οι μαθητές τείνουν να παρανοούν την έννοια της ενέργειας των φωτονίων και πώς αυτή σχετίζεται με τη συχνότητα του φωτός. Οι προσομοιώσεις επιτρέπουν στους μαθητές να παρατηρούν τις σχέσεις αυτές δυναμικά, κάνοντας τις αφηρημένες έννοιες περισσότερο κατανοητές (Müller et al., 2021).

Επίσης η διερευνητική μάθηση και η προβληματοκεντρική μάθηση (Problem-Based Learning - PBL) έχουν αρχίσει να εφαρμόζονται σε συγκεκριμένα πειραματικά σχολεία στην Ελλάδα, κυρίως σε επίπεδο Λυκείου. Στόχος αυτών των μεθόδων είναι η ενεργοποίηση της κριτικής σκέψης και η ενίσχυση της ενεργητικής συμμετοχής των μαθητών, δίνοντάς τους τη δυνατότητα να ερευνούν προβλήματα που σχετίζονται με πραγματικές εφαρμογές της φυσικής. Στο πλαίσιο της διερευνητικής μάθησης, οι μαθητές καλούνται να εξετάσουν επιστημονικές αρχές και να προσεγγίσουν τη γνώση μέσω της επίλυσης σύνθετων προβλημάτων, τα οποία προωθούν μια βαθύτερη κατανόηση και σύνδεση της θεωρίας με την πράξη (Παπαδημητρίου & Σωτηρίου, 2018).

Η διερευνητική μάθηση βασίζεται στην αρχή της ενεργητικής εμπλοκής του μαθητή στη διαδικασία της μάθησης, επιτρέποντας του να εντοπίσει ερωτήματα και να αναζητήσει απαντήσεις μέσα από συνεργασία και πειραματισμό (Καραγιάννης, 2020). Σύμφωνα με έρευνες, η χρήση αυτών των μεθόδων ενισχύει τη συμμετοχή των μαθητών, ενώ ταυτόχρονα αυξάνει την αυτοπεποίθησή τους ως προς την κατανόηση των επιστημονικών εννοιών και την ανάπτυξη δεξιοτήτων επίλυσης προβλημάτων (Παπαναστασίου & Κεφαλάς, 2019).

Η προβληματοκεντρική μάθηση (PBL) εστιάζει στη μελέτη αυθεντικών προβλημάτων που έχουν σχέση με την καθημερινή ζωή, όπως οι εφαρμογές της φυσικής στην τεχνολογία. Στο πλαίσιο της PBL, οι μαθητές αναλαμβάνουν την ευθύνη να ανακαλύψουν τη γνώση, προσεγγίζοντας ένα πρόβλημα από διαφορετικές οπτικές γωνίες και αξιοποιώντας πληροφορίες από πολλαπλές πηγές για την επίλυσή του (Αναγνώστου & Δημητρίου, 2021). Αυτή η μέθοδος έχει αποδειχθεί ιδιαίτερα αποτελεσματική στη διδασκαλία της φυσικής, καθώς βοηθά τους μαθητές να κατανοήσουν τις αφηρημένες έννοιες με πιο απτό τρόπο, καθώς και να αναπτύξουν δεξιότητες αυτονομίας και συλλογικής εργασίας.

Επιπλέον, η εισαγωγή των νέων αυτών προσεγγίσεων σε πειραματικά σχολεία υποστηρίζεται από το Υπουργείο Παιδείας και Θρησκευμάτων μέσω προγραμμάτων επαγγελματικής ανάπτυξης των εκπαιδευτικών. Το πρόγραμμα «Εισαγωγή στις ΤΠΕ» που εφαρμόζεται από το Ινστιτούτο Εκπαιδευτικής Πολιτικής προάγει τη χρήση της τεχνολογίας και των νέων διδακτικών πρακτικών στα ελληνικά σχολεία, υποστηρίζοντας την ενίσχυση της διερευνητικής μάθησης (Υπουργείο Παιδείας, 2021). Με αυτόν τον τρόπο, οι εκπαιδευτικοί έχουν τη δυνατότητα να εφαρμόζουν σύγχρονες μεθόδους που προάγουν την ανακαλυπτική και ενεργητική μάθηση, όπως η διερευνητική και η προβληματοκεντρική μάθηση, ενώ η ενσωμάτωση ψηφιακών εργαλείων και προσομοιώσεων ενισχύει περαιτέρω τη βιωματική εμπειρία (Μαρκάκης, 2022). Στόχος αυτών των μεθόδων είναι η προώθηση της ενεργητικής μάθησης και της κριτικής σκέψης, βοηθώντας τους μαθητές να εξερευνούν πραγματικά προβλήματα που σχετίζονται με τη φυσική και να αναζητούν λύσεις, συνδέοντας τις θεωρητικές έννοιες με πρακτικές εφαρμογές (Παπαδημητρίου & Σωτηρίου, 2018).

Τέλος η συνεργατική μάθηση αποτελεί μια σημαντική διδακτική προσέγγιση που έχει κερδίσει έδαφος στα ελληνικά σχολεία, ιδιαίτερα στη διδασκαλία της φυσικής και άλλων θετικών επιστημών. Αυτή η μέθοδος ενισχύει την ανταλλαγή ιδεών και την ανάπτυξη

συλλογικής σχέψης, καθώς οι μαθητές εργάζονται σε ομάδες για την επίλυση προβλημάτων και την κατανόηση σύνθετων εννοιών. Μέσω της συνεργασίας, οι μαθητές καλούνται να εξηγήσουν τις σχέψεις τους στους συμμαθητές τους, αναγκάζοντάς τους να αναστοχαστούν τις ίδιες τις αντιλήψεις τους και να διευκρινίσουν τις γνώσεις τους με τρόπο που να γίνεται κατανοητός από όλους (Παπαδημητρίου & Σωτηρίου, 2020).

Σε μια τάξη που ενσωματώνει τη συνεργατική μάθηση, οι μαθητές χωρίζονται σε ομάδες και εργάζονται μαζί για να επιλύσουν επιστημονικά προβλήματα, συζητώντας παρανοήσεις και αναζητώντας λύσεις μέσα από συλλογική σκέψη. Η προσέγγιση αυτή βοηθά στην καλλιέργεια δεξιοτήτων επικοινωνίας, καθώς οι μαθητές αναπτύσσουν επιχειρήματα και εξηγούν τις απόψεις τους, προσφέροντας τις γνώσεις τους και ανταλλάσσοντας απόψεις με τους συμμαθητές τους (Αναγνωστόπουλος, 2019). Έρευνες έχουν δείξει ότι όταν οι μαθητές συμμετέχουν ενεργά στη διαδικασία της συνεργατικής μάθησης, είναι πιο πιθανό να ξεπεράσουν τις λανθασμένες αντιλήψεις που μπορεί να έχουν για συγκεκριμένες έννοιες της φυσικής, όπως αυτές που σχετίζονται με τη φύση του φωτός και των σωματιδίων (Σταματοπούλου, 2021).

Η συνεργατική μάθηση στην ελληνική εκπαίδευση ενισχύεται και από τη χρήση ψηφιακών εργαλείων και πλατφορμών. Με τη χρήση της πλατφόρμας "e-me" και άλλων εκπαιδευτικών εργαλείων, οι μαθητές μπορούν να εργάζονται από κοινού σε εικονικές τάξεις, ανταλλάσσοντας πληροφορίες και λύνοντας προβλήματα ακόμη και από απόσταση. Αυτά τα εργαλεία προσφέρουν στους μαθητές τη δυνατότητα να ασχοληθούν με σύνθετες έννοιες, όπως το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο, με τρόπο διαδραστικό και συνεργατικό, προσφέροντας στους εκπαιδευτικούς τη δυνατότητα να παρακολουθούν την πρόοδό τους και να παρέχουν εξατομικευμένη υποστήριξη (Μαχρυγιάννης, 2022).

Μια επιπλέον πτυχή της συνεργατικής μάθησης είναι ότι επιτρέπει στους μαθητές να αναπτύξουν δεξιότητες που σχετίζονται με την επίλυση προβλημάτων, την κριτική σκέψη και την αυτονομία. Οι μαθητές μαθαίνουν να διαχειρίζονται τις ευθύνες τους και να αναζητούν τη γνώση συλλογικά, δημιουργώντας έτσι ένα υποστηρικτικό μαθησιακό περιβάλλον. Έρευνα των Παπαναστασίου και Κεφαλά (2019) έδειξε ότι οι μαθητές που συμμετέχουν σε δραστηριότητες συνεργατικής μάθησης αποκτούν μεγαλύτερη αυτοπεποίθηση και αισθάνονται περισσότερο προετοιμασμένοι για να αντιμετωπίσουν δυσκολίες στην επιστήμη.

Η συνεργατική μάθηση έχει υιοθετηθεί από αρκετά ελληνικά σχολεία, κυρίως στο πλαίσιο πειραματικών και πρότυπων σχολείων, με την υποστήριξη του Υπουργείου Παιδείας και Θρησκευμάτων. Το πρόγραμμα "Ψηφιακό Σχολείο", που υποστηρίζεται από το Ινστιτούτο Εκπαιδευτικής Πολιτικής, παρέχει εκπαιδευτικά εργαλεία και υποδομές για την ενίσχυση της συνεργατικής μάθησης, καθιστώντας τη μια βιώσιμη επιλογή ακόμη και σε δημόσια σχολεία όπου οι πόροι είναι περιορισμένοι (Υπουργείο Παιδείας, 2021).

Συνοψίζοντας λοιπόν στα ελληνικά σχολεία, η διδασκαλία της φυσικής έχει εξελιχθεί από την παραδοσιακή μετωπική διδασκαλία σε πιο σύγχρονες μεθόδους που ενσωματώνουν

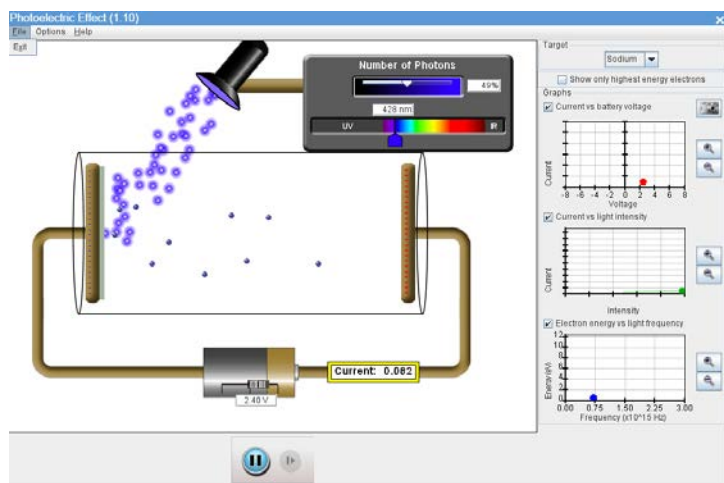
τη διερευνητική και την προβληματοκεντρική μάθηση, τη χρήση ψηφιακών προσομοιώσεων και την εφαρμογή της συνεργατικής μάθησης. Καθεμία από αυτές τις μεθόδους προσφέρει μοναδικά οφέλη στην εκπαιδευτική διαδικασία, συμβάλλοντας στην ενεργοποίηση των μαθητών και την κατανόηση σύνθετων εννοιών. Ωστόσο, η αποτελεσματικότητά τους εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ικανότητα του εκπαιδευτικού να συνδυάζει αυτές τις προσεγγίσεις και να προσαρμόζει την κάθε μέθοδο στις ανάγκες των μαθητών του. Η παραδοσιακή μετωπική διδασκαλία, αν και συχνά επικρίνεται ως παρωχημένη, παραμένει ένα αναγκαίο εργαλείο, ιδιαίτερα για τη διδασκαλία βασικών θεωρητικών εννοιών που χρειάζονται λεπτομερή επεξήγηση. Αυτή η μέθοδος είναι συχνά απαραίτητη για την εισαγωγή των μαθητών στις θεμελιώδεις αρχές της φυσικής, λειτουργώντας ως το υπόβαθρο για την περαιτέρω διερευνητική και πειραματική μάθηση (Βασιλείου & Παπαδόπουλος, 2020).

Ωστόσο, η αποτελεσματικότητα όλων αυτών των μεθόδων εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την κατάρτιση και την ευελιξία του εκπαιδευτικού. Ένας καταρτισμένος εκπαιδευτικός, που διαθέτει γνώσεις τόσο στο αντικείμενο της φυσικής όσο και στις σύγχρονες διδακτικές μεθόδους, μπορεί να συνδυάσει τις παραπάνω προσεγγίσεις προσαρμόζοντας τη διδασκαλία του ανάλογα με το μαθησιακό επίπεδο και τις ανάγκες των μαθητών του. Η συνεχής επιμόρφωση των εκπαιδευτικών είναι καθοριστική για τη σωστή εφαρμογή αυτών των μεθόδων. Τα εκπαιδευτικά προγράμματα που διοργανώνει το Υπουργείο Παιδείας και Θρησκευμάτων, όπως το πρόγραμμα «Εισαγωγή στις ΤΠΕ» και το «Ψηφιακό Σχολείο», προσφέρουν τα απαραίτητα εργαλεία και γνώσεις για τη βελτίωση της διδακτικής πρακτικής (Υπουργείο Παιδείας, 2021).

Συνολικά, η χρήση μιας συνδυαστικής προσέγγισης, που περιλαμβάνει τη μετωπική διδασκαλία, τη διερευνητική και προβληματοκεντρική μάθηση, τις ψηφιακές προσομοιώσεις και τη συνεργατική μάθηση, παρέχει μια ολοκληρωμένη μαθησιακή εμπειρία. Ένας εκπαιδευτικός με επαρκή κατάρτιση μπορεί να επιλέξει και να συνδυάσει αυτές τις μεθόδους ανάλογα με το περιεχόμενο και τις συνθήκες, προσφέροντας στους μαθητές μια πλούσια και ισορροπημένη εκπαιδευτική διαδικασία που ενισχύει τόσο τη θεωρητική κατανόηση όσο και τις πρακτικές δεξιότητες.

Σε μια προσπάθεια βελτίωσης της κατανόησης των μαθητών, αρκετές ελληνικές μελέτες έχουν προτείνει τη χρήση πειραματικών δραστηριοτήτων και ψηφιακών προσομοιώσεων, οι οποίες επιτρέπουν στους μαθητές να παρατηρήσουν και να πειραματιστούν με το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο σε εικονικά περιβάλλοντα. Οι προσομοιώσεις αυτές, όπως τα εργαλεία που προσφέρει η πλατφόρμα PhET, βοηθούν στην οπτικοποίηση της διαδικασίας και την εμπλοκή των μαθητών σε πιο ενεργή μάθηση (McKagan et al., 2009).

Έρευνες δείχνουν ότι η χρήση τέτοιων εργαλείων μπορεί να βελτιώσει την κατανόηση των μαθητών, μειώνοντας ταυτόχρονα τις λανθασμένες αντιλήψεις και ενισχύοντας τη σύνδεση μεταξύ θεωρίας και πειράματος (Zoupidis et al., 2011).



Σχήμα 7. Προσομοίωση με τη Πλατφόρμα Phet

Παρόλο που οι ψηφιακές προσομοιώσεις έχουν ενταχθεί σε ορισμένες περιπτώσεις στη διδασκαλία, η χρήση τους παραμένει περιορισμένη στην ελληνική εκπαιδευτική πραγματικότητα. Οι προκλήσεις που αντιμετωπίζουν οι εκπαιδευτικοί σχετίζονται με την έλλειψη κατάλληλης επιμόρφωσης και τεχνικής υποστήριξης, γεγονός που καθιστά δύσκολη την ενσωμάτωση τέτοιων καινοτόμων μεθόδων στην καθημερινή διδασκαλία. Έρευνες, όπως αυτή του Μίχου (2015), υποδεικνύουν ότι η υποστήριξη των εκπαιδευτικών και η επένδυση σε ψηφιακές υποδομές είναι απαραίτητα βήματα για την αποτελεσματική εφαρμογή των ψηφιακών εργαλείων στη διδασκαλία της κβαντικής φυσικής.

4.3 Διδακτικές Προσεγγίσεις στο Εξωτερικό (Ευρώπη, ΗΠΑ, Ασία)

Στο εξωτερικό, οι διδακτικές προσεγγίσεις για το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο ποικίλουν, με την έμφαση να δίνεται σε πιο ενεργητικές και διερευνητικές μεθόδους μάθησης. Στις Ηνωμένες Πολιτείες και την Ευρώπη, η διδασκαλία του φωτοηλεκτρικού φαινομένου συνήθως ενσωματώνεται σε ευρύτερα μαθήματα φυσικής ή κβαντικής μηχανικής και συχνά συνοδεύεται από πειραματικές δραστηριότητες. Στις Ηνωμένες Πολιτείες, η διδασκαλία της φυσικής και ειδικά της κβαντικής φυσικής έχει υποστεί σημαντικές αλλαγές την τελευταία πενήντα χρόνια, ακολουθώντας μια πορεία από παραδοσιακές θεωρητικές μεθόδους σε πιο ενεργητικές και διερευνητικές προσεγγίσεις. Αυτές οι αλλαγές έχουν βασιστεί σε ερευνητικά δεδομένα και καινοτομίες στη διδακτική πρακτική, με στόχο την ενίσχυση της κατανόησης αφηρημένων εννοιών που διέπουν και το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο.

Στις δεκαετίες του 1970 και 1980, η διδασκαλία της κβαντικής φυσικής επικεντρωνόταν στην αναλυτική επίλυση μαθηματικών εξισώσεων και την κατανόηση της θεωρίας. Η εστίαση ήταν στη μετάδοση γνώσεων από τον εκπαιδευτικό προς τον μαθητή (πομπός - δέκτης), ενώ η κατανόηση βασιζόταν στην απομνημόνευση και στην επίλυση μαθηματικών ασκήσεων.

Στη δεκαετία του 1990, ο Eric Mazur στο Πανεπιστήμιο του Harvard εισήγαγε το Peer Instruction, μια μέθοδο διδασκαλίας που βασίζεται στη συζήτηση μεταξύ των μαθητών για την κατανόηση δύσκολων εννοιών. Οι μαθητές απαντούν αρχικά σε ερωτήσεις μόνοι τους, συζητούν τις απαντήσεις τους σε ομάδες και επαναπροσδιορίζουν τις απαντήσεις τους μετά τη συζήτηση. Η μέθοδος αυτή βοηθά στην εξάλειψη παρανοήσεων και βελτιώνει τη βαθύτερη κατανόηση των χβαντικών εννοιών που περιγράφουν και το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο (Mazur, 1997). Ωστόσο, η ανάγκη για μεγαλύτερη συμμετοχή των μαθητών στην εκπαιδευτική διαδικασία οδήγησε στην εμφάνιση της διερευνητικής μάθησης και της Προβληματοκεντρικής Μάθησης (Problem-Based Learning - PBL), η οποία ενθαρρύνει τους μαθητές να ανακαλύπτουν τις αρχές μέσα από πραγματικά προβλήματα (Kolodner et al., 2003). Η δεκαετία του 2000 έφερε την ανάπτυξη και ευρεία εφαρμογή των ψηφιακών προσομοιώσεων PhET από το Πανεπιστήμιο του Κολοράντο.

Οι προσομοιώσεις αυτές επιτρέπουν στους μαθητές να αλληλεπιδρούν με τις αφηρημένες έννοιες της διατήρησης της ενέργειας στο φωτοηλεκτρικό φαινόμενο, πειραματιζόμενοι με παραμέτρους όπως η συχνότητα και η ένταση του φωτός σε ένα εικονικό περιβάλλον. Σύμφωνα με έρευνες των Finkelstein et al. (2005), οι προσομοιώσεις PhET βελτιώνουν την κατανόηση, καθώς προσφέρουν μια πιο βιωματική εμπειρία και διευκολύνουν την οπτικοποίηση αφηρημένων φαινομένων. Τα τελευταία χρόνια, η διδασκαλία της χβαντικής φυσικής στις ΗΠΑ έχει επωφεληθεί από συνδυαστικές προσεγγίσεις που ενσωματώνουν το Peer Instruction, τις ψηφιακές προσομοιώσεις και τη Φύση της Επιστήμης (Nature of Science - NOS). Οι συνδυαστικές αυτές προσεγγίσεις εστιάζουν στη συμμετοχή των μαθητών σε αυθεντικά προβλήματα και τη διερεύνηση της επιστημονικής μεθόδου, δίνοντας στους μαθητές τη δυνατότητα να κατανοούν τις αρχές της χβαντικής φυσικής μέσα από μια βιωματική και ερευνητική διαδικασία.

Σύγχρονες μελέτες, όπως αυτή των Osborne et al. (2020), έδειξαν ότι αυτές οι προσεγγίσεις βελτιώνουν τη μάθηση, μειώνουν τις παρανοήσεις και προάγουν τη συνεργατική μάθηση, ενώ διευκολύνουν την εφαρμογή της θεωρίας σε πραγματικές εφαρμογές, όπως οι ανιχνευτές φωτός και τα ηλιακά πάνελ.

Στην Ευρώπη, πολλές χώρες έχουν ενσωματώσει στο εκπαιδευτικό τους πρόγραμμα τη χρήση σύγχρονων τεχνολογικών εργαλείων για τη διδασκαλία του φωτοηλεκτρικού φαινομένου. Η Ευρώπη έχει επενδύσει σημαντικά στην ανάπτυξη και εφαρμογή καινοτόμων διδακτικών προσεγγίσεων για τη διδασκαλία της χβαντικής φυσικής και ειδικότερα του φωτοηλεκτρικού φαινομένου. Στη Γερμανία και τη Γαλλία, η χρήση ψηφιακών εργαλείων και εργαστηριακών δραστηριοτήτων έχει καταστεί βασικό συστατικό της διδασκαλίας της χβαντικής φυσικής. Μελέτες υποστηρίζουν ότι τα ψηφιακά εργαλεία, όπως οι προσομοιώσεις, βοηθούν τους μαθητές να κατανοήσουν πολύπλοκες έννοιες μέσα από μια οπτικοποιημένη και αλληλεπιδραστική προσέγγιση. Σύμφωνα με τους Michelinini et al. (2021), τα εργαλεία αυτά προσφέρουν στους μαθητές τη δυνατότητα να εξερευνήσουν τις αρχές της χβαντικής

φυσικής σε εικονικά εργαστήρια, κάτι που είναι δύσκολο να επιτευχθεί με φυσικά πειράματα, λόγω των τεχνικών και οικονομικών περιορισμών.

Μια παρόμοια μελέτη στη Γαλλία, από τους Chevallard et al. (2018), έδειξε ότι οι ψηφιακές προσομοιώσεις βοηθούν στη μείωση των παρανοήσεων που σχετίζονται με την κυματική και σωματιδιακή φύση του φωτός. Οι μαθητές είχαν τη δυνατότητα να πειραματιστούν με διαφορετικές συχνότητες και εντάσεις φωτός και να δουν πώς αυτές επηρεάζουν την εκπομπή ηλεκτρονίων από μεταλλικές επιφάνειες. Πέτυχε έτσι να ενισχύσει την κατανόηση μέσω της βιωματικής μάθησης, επιτρέποντας στους μαθητές να συνδέσουν τη θεωρία με την πράξη.

Η ενεργητική και η προβληματοκεντρική μάθηση (Problem-Based Learning - PBL) έχουν επίσης βρει εφαρμογή σε πολλές ευρωπαϊκές χώρες. Στην Ιταλία, μελέτες των Battaglia et al. (2015) έδειξαν ότι οι μαθητές που συμμετέχουν σε δραστηριότητες PBL επιτυγχάνουν καλύτερη κατανόηση των χβαντικών φαινομένων. Η μέθοδος αυτή περιλαμβάνει την επίλυση πραγματικών προβλημάτων, όπως η ανάλυση της λειτουργίας των ηλιακών πάνελ και των φωτοανιχνευτών, προσφέροντας στους μαθητές την ευκαιρία να εφαρμόσουν τις χβαντικές θεωρίες σε καθημερινές εφαρμογές. Αυτή η διαδικασία βοηθά στη βαθύτερη κατανόηση των εννοιών και στην ανάπτυξη δεξιοτήτων κριτικής σκέψης. Η ενσωμάτωση επίσης της φύσης της επιστήμης (NOS) στη διδασκαλία της χβαντικής φυσικής αποτελεί ένα καινοτόμο στοιχείο που προωθείται ιδιαίτερα στην Ολλανδία. Η έρευνα των Stadermann και Goedhart (2021) ανέδειξε ότι η εισαγωγή της NOS στη διδασκαλία του φωτοηλεκτρικού φαινομένου βοηθά τους μαθητές να κατανοήσουν πώς εξελίσσεται η επιστημονική γνώση και οι μεθοδολογίες που χρησιμοποιούνται για την επαλήθευση των επιστημονικών θεωριών. Οι μαθητές μαθαίνουν πώς λειτουργεί η επιστήμη μέσα από τον πειραματισμό και τη συνεχή αναθεώρηση ή συμπλήρωση των θεωριών, αναγνωρίζοντας την αβεβαιότητα και την περιοδική προσαρμογή των γνώσεων.

Στη Δανία, οι Hansen et al. (2019) προώθησαν τη χρήση πολυμέσων για τη διδασκαλία της χβαντικής φυσικής, με έμφαση στην οπτικοποίηση δύσκολων εννοιών. Μέσα από βίντεο και προσομοιώσεις, οι μαθητές κατανοούν την κυματική φύση του φωτός και τη συμπεριφορά των ηλεκτρονίων όταν αυτά επηρεάζονται από φωτόνια. Τα πολυμέσα ενισχύουν την εμπλοκή των μαθητών και βοηθούν στην αποσαφήνιση αφηρημένων εννοιών, ενώ παράλληλα καθιστούν τη μάθηση πιο προσβάσιμη και ελκυστική.

Τα ερευνητικά δεδομένα από ευρωπαϊκές χώρες λοιπόν, δείχνουν ότι η χρήση σύγχρονων εργαλείων και μεθόδων μάθησης συμβάλλει σημαντικά στη βελτίωση της κατανόησης των μαθητών. Σε σύγκριση με τις παραδοσιακές μεθόδους, οι ψηφιακές προσομοιώσεις, η ενεργητική μάθηση και η ενσωμάτωση της NOS έχουν αποδειχθεί πιο αποτελεσματικές, καθώς επιτρέπουν στους μαθητές να εμβαθύνουν σε αφηρημένες έννοιες και να τις συνδέσουν με πρακτικές εφαρμογές.

Η "ενσωμάτωση της Φύσης της Επιστήμης (Nature of Science - NOS)" στη διδασκαλία της χβαντικής φυσικής σημαίνει ότι, εκτός από τις ίδιες τις επιστημονικές έννοιες (όπως το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο), οι μαθητές διδάσκονται πώς αναπτύσσεται και λειτουργεί η επιστημονική γνώση. Αυτό περιλαμβάνει κατανόηση του πώς οι επιστήμονες διερευνούν φαινόμενα, πώς αναπτύσσονται οι επιστημονικές θεωρίες, και ποιοι παράγοντες επηρεάζουν την αποδοχή ή την αναθεώρησή τους. Έτσι οι μαθητές στην Ευρώπη μαθαίνουν ότι η επιστημονική γνώση βασίζεται σε δεδομένα και πειραματικές παρατηρήσεις, αλλά υπόκειται σε αναθεωρήσεις. Για παράδειγμα, η κατανόηση του φωτός και του φωτοηλεκτρικού φαινομένου εξελίχθηκε, και οι θεωρίες προσαρμόστηκαν καθώς οι επιστήμονες ανακάλυψαν νέα στοιχεία. Με αυτό το τρόπο οι μαθητές αντιλαμβάνονται ότι η επιστήμη περιλαμβάνει διερεύνηση, επαλήθευση και συχνά διόρθωση της γνώσης. Αυτό σημαίνει ότι οι επιστήμονες συχνά δοκιμάζουν διαφορετικές προσεγγίσεις και εξετάζουν τα αποτελέσματα για να επιβεβαιώσουν ή να απορρίψουν μια θεωρία. Καταλήγοντας ότι η επιστημονική γνώση δεν είναι πάντα απόλυτη ή σταθερή. Για παράδειγμα, η χβαντική φυσική εισάγει την έννοια της αβεβαιότητας και του πιθανοκρατικού χαρακτήρα στην κατανόηση της ύλης και της ενέργειας, κάτι που είναι θεμελιώδες για τη σύγχρονη επιστήμη.

Στην Ασία, χώρες όπως η Ιαπωνία, η Κίνα και η Νότια Κορέα έχουν σημειώσει σημαντική πρόοδο στη διδασκαλία της χβαντικής φυσικής και του φωτοηλεκτρικού φαινομένου, με έμφαση σε διερευνητικές και ενεργητικές μεθόδους διδασκαλίας. Τα τελευταία 50 χρόνια, η διδακτική προσέγγιση στην χβαντική φυσική έχει υποστεί αλλαγές, με τις εκπαιδευτικές πρακτικές να κινούνται από την παραδοσιακή θεωρητική διδασκαλία προς πιο βιωματικές και συνεργατικές μορφές μάθησης, που ενσωματώνουν τεχνολογία και εικονικά πειράματα.

Στην Ιαπωνία, η διερευνητική μάθηση αποτελεί βασικό στοιχείο της διδασκαλίας της χβαντικής φυσικής. Τα εικονικά εργαστήρια είναι πλέον κοινή πρακτική, δίνοντας στους μαθητές τη δυνατότητα να εξερευνούν και να πειραματίζονται με το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο σε ψηφιακά περιβάλλοντα. Οι μαθητές έχουν την ευκαιρία να παρατηρούν και να κατανοούν πώς οι μεταβολές στη συχνότητα και την ένταση του φωτός επηρεάζουν την εκπομπή ηλεκτρονίων, κάτι που δύσκολα επιτυγχάνεται με τα φυσικά πειράματα (Hirose et al., 2019). Επίσης η ίδια έρευνα των Hirose et al. (2019) έδειξε ότι οι μαθητές που συμμετείχαν σε αυτά τα εικονικά εργαστήρια εμφάνισαν βελτίωση στην κατανόηση των χβαντικών εννοιών και ανέπτυξαν δεξιότητες κριτικής σκέψης. Επιπλέον, η μελέτη αναφέρει ότι οι εικονικές εργαστηριακές ασκήσεις επιτρέπουν στους μαθητές να πειραματιστούν χωρίς περιορισμούς υλικού εξοπλισμού, κάτι που προσφέρει μεγαλύτερη ευελιξία και μειώνει τους κινδύνους αποτυχίας των πειραμάτων.

Στην Κίνα, οι εκπαιδευτικές πολιτικές έχουν δώσει προτεραιότητα στη χρήση τεχνολογικών εργαλείων και πολυμέσων για τη διδασκαλία της χβαντικής φυσικής, συμπεριλαμβανομένου του φωτοηλεκτρικού φαινομένου. Η χρήση των πολυμέσων επιτρέπει στους μαθητές να κατανοούν δύσκολες έννοιες μέσω οπτικοποίησης, ενώ συνδέει τις θεωρητικές διδασκαλίες με πρακτικές εφαρμογές. Έρευνα των Li et al. (2020) αναφέρει ότι

η ενσωμάτωση των πολυμέσων στην τάξη βελτιώνει την κατανόηση των μαθητών σχετικά με την κυματική και σωματιδιακή φύση του φωτός, μειώνοντας τις παρανοήσεις. Εκτός του γνωστού πλέον Phet εδώ έχουν εκπαιδευτικά λογισμικά που χρησιμοποιούν κινούμενα σχέδια και διαδραστικά βίντεο (Mozaik Education, Hihilulu και το Xuele Learning) τα οποία επιτρέπουν στους μαθητές να βλέπουν πώς τα φωτόνια αλληλεπιδρούν με τα ηλεκτρόνια σε διαφορετικά υλικά, ανάλογα με τη συχνότητα και την ένταση του φωτός. Αυτά τα πολυμέσα ενσωματώνονται στα μαθήματα με σκοπό να διευκολύνουν την οπτικοποίηση των φαινομένων.

Στη Νότια Κορέα, οι μέθοδοι διδασκαλίας της κβαντικής φυσικής έχουν επίσης μετατοπιστεί προς πιο συνεργατικές μορφές μάθησης. Έρευνες, όπως αυτή των Park et al. (2018), δείχνουν ότι η συνεργατική μάθηση σε ομάδες βοηθά τους μαθητές να ενισχύσουν την κατανόησή τους για το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο. Οι μαθητές συνεργάζονται για να αναλύσουν τις θεωρίες και τα αποτελέσματα των πειραμάτων, ενισχύοντας τις δεξιότητές τους στην ανάλυση και τη σύνθεση της επιστημονικής γνώσης.

Τα τελευταία 50 χρόνια, η διδασκαλία της κβαντικής φυσικής στην Ασία έχει προσαρμοστεί για να περιλαμβάνει ενεργητικές μεθόδους, με έμφαση στις δεξιότητες κριτικής σκέψης και την πρακτική κατανόηση της θεωρίας. Παλαιότερα, η εκπαίδευση επικεντρωνόταν κυρίως στη θεωρητική γνώση, αλλά οι σύγχρονες μέθοδοι στοχεύουν στη βιωματική μάθηση, κάνοντας τη γνώση πιο προσβάσιμη και ελκυστική.

Συνολικά, οι διδακτικές προσεγγίσεις στο εξωτερικό εστιάζουν στην ενεργή εμπλοκή των μαθητών στη μαθησιακή διαδικασία, με στόχο την ανάπτυξη βαθύτερης κατανόησης της κβαντικής φυσικής και των εφαρμογών της. Η διεθνής έρευνα καταδεικνύει ότι η ενσωμάτωση εργαλείων, όπως οι προσομοιώσεις και η πειραματική διερεύνηση, μπορεί να προσφέρει καλύτερα μαθησιακά αποτελέσματα, καθώς ενισχύει την κατανόηση των μαθητών και τους βοηθά να συνδέσουν θεωρητικές έννοιες με πρακτικές εφαρμογές. Παράλληλα, οι ερευνητές τονίζουν τη σημασία της σωστής καθοδήγησης των μαθητών κατά τη διάρκεια της χρήσης ψηφιακών εργαλείων και πειραματικών προσεγγίσεων, καθώς η ανεξέλεγκτη διερεύνηση μπορεί να προκαλέσει σύγχυση και να ενισχύσει τις λανθασμένες αντιλήψεις (McDermott et al., 1998). Επομένως, η εκπαίδευση των καθηγητών και η επιμόρφωση τους σε αυτές τις μεθόδους είναι κρίσιμη για την αποτελεσματική εφαρμογή τους.

4.4 Ερευνητικά Δεδομένα για τις Λανθασμένες Αντιλήψεις των Μαθητών

Ένα από τα μεγαλύτερα εμπόδια στη διδασκαλία του φωτοηλεκτρικού φαινομένου είναι οι λανθασμένες αντιλήψεις που αναπτύσσουν οι μαθητές. Να σημειωθεί εδώ ότι οι μαθητές της Γ λυκείου ακριβώς πριν διδαχθούν το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο και τα υπόλοιπα στοιχεία της κβαντικής θεωρίας στο πλαίσιο της εξεταστέας ύλης των πανελλαδικών έχουν ήδη

εμβαθύνει σε ταλαντώσεις, μηχανικά κύματα και σχεδόν όλη τη νευτώνεια μηχανική επί μια συνεχόμενη τετραετία. Οι μαθητές, ερχόμενοι από μια εκπαιδευτική πορεία όπου κυριαρχεί η κλασική φυσική, συχνά δυσκολεύονται να αποδεχτούν και να κατανοήσουν έννοιες όπως η πιθανοκρατική φύση της ύλης, ο κυματοσωματιδιακός дуϊσμός και η κβάντωση της ενέργειας. Έτσι ερευνητές έχουν εντοπίσει διάφορες εσφαλμένες αντιλήψεις σχετικά με τη φύση του φωτός και την αλληλεπίδρασή του με την ύλη, οι οποίες δυσκολεύουν την κατανόηση της κβαντικής φυσικής. Οι λανθασμένες αντιλήψεις ή παρανοήσεις (misconceptions), όπως συχνά αναφέρονται είναι εναλλακτικές αντιλήψεις που οι μαθητές αναπτύσσουν είτε λόγω των καθημερινών τους εμπειριών είτε λόγω της προηγούμενης εκπαίδευσής τους. Είναι νοητικά μοντέλα που διαφέρουν σημαντικά από τις επιστημονικά αποδεκτές θεωρίες και λειτουργούν ως εμπόδια στην εννοιολογική αλλαγή (Μπουντούρη, 2023). Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, οι παρανοήσεις που εμφανίζονται στη μάθηση των φυσικών επιστημών μπορούν να διακριθούν σε τρεις βασικές κατηγορίες:

- **Γνωστικές παρανοήσεις** – Αναπτύσσονται όταν οι μαθητές λαμβάνουν λανθασμένες ή ατελείς πληροφορίες, με αποτέλεσμα να διαμορφώνουν εσφαλμένες αντιλήψεις για τα επιστημονικά φαινόμενα.
- **Επιστημολογικές παρανοήσεις** – Προκύπτουν από τη δυσκολία κατανόησης της φύσης της επιστήμης και του τρόπου με τον οποίο διαμορφώνονται, εξελίσσονται και ερμηνεύονται οι θεωρίες της.
- **Διδακτικές παρανοήσεις** – Δημιουργούνται ως αποτέλεσμα του τρόπου παρουσίασης των επιστημονικών φαινομένων στα σχολικά εγχειρίδια ή της διδακτικής προσέγγισης που ακολουθείται στην τάξη, οδηγώντας συχνά σε επιφανειακή ή εσφαλμένη κατανόηση των επιστημονικών εννοιών.

5 Παρανοήσεις Μαθητών στο Φωτοηλεκτρικό Φαινόμενο

Το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο αποτελεί μία από τις πιο παρανοημένες έννοιες της κβαντικής φυσικής. Οι μαθητές συχνά επιχειρούν να το ερμηνεύσουν με βάση την κλασική φυσική, γεγονός που τους οδηγεί σε εσφαλμένα συμπεράσματα. Μία από τις πιο συνηθισμένες παρανοήσεις αφορά τη σχέση μεταξύ της έντασης του φωτός και της κινητικής ενέργειας των εκπεμπόμενων ηλεκτρονίων. Πολλοί μαθητές θεωρούν ότι η αύξηση της έντασης του φωτός συνεπάγεται και αύξηση της κινητικής ενέργειας των ηλεκτρονίων. Ωστόσο, στην πραγματικότητα, η ένταση του φωτός επηρεάζει μόνο τον αριθμό των εκπεμπόμενων ηλεκτρονίων, ενώ η κινητική τους ενέργεια εξαρτάται αποκλειστικά από τη συχνότητα του φωτός, όπως διατυπώθηκε από τον Einstein το 1905.

Μια άλλη διαδεδομένη παρανόηση σχετίζεται με την απορρόφηση ενέργειας από τα ηλεκτρόνια. Επηρεασμένοι από έννοιες της κλασικής φυσικής, πολλοί μαθητές πιστεύουν

ότι τα ηλεκτρόνια απορροφούν σταδιακά ενέργεια από το φως μέχρι να φτάσουν σε ένα όριο και να εξαχθούν. Ωστόσο, το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο είναι στιγμιαίο: αν η ενέργεια ενός μεμονωμένου φωτονίου δεν επαρκεί για να υπερνικήσει το έργο εξαγωγής του μετάλλου, τότε δεν εκπέμπεται κανένα ηλεκτρόνιο, ανεξάρτητα από την ένταση του φωτός. Εξίσου συχνή είναι και η παρανόηση ότι το φαινόμενο μπορεί να συμβεί μόνο με ορατό φως ή με συγκεκριμένα μήκη κύματος. Στην πραγματικότητα, το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο μπορεί να παρατηρηθεί σε οποιαδήποτε συχνότητα ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, αρκεί η ενέργεια των φωτονίων να είναι μεγαλύτερη από το έργο εξαγωγής του συγκεκριμένου μετάλλου.

Οι παρανοήσεις των μαθητών για το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο δεν είναι τυχαίες, αλλά προκύπτουν από διάφορους παράγοντες. Ένας από τους σημαντικότερους είναι η κυριαρχία της κλασικής φυσικής στη διδακτική διαδικασία. Οι μαθητές εκπαιδεύονται κυρίως σε αιτιοκρατικά μοντέλα φυσικής, όπου οι ιδιότητες των σωμάτων μεταβάλλονται συνεχώς και σταδιακά, αντίληψη που έρχεται σε αντίθεση με τις αρχές της κβαντικής θεωρίας. Επιπλέον, η μαθηματική παρουσίαση του φαινομένου χωρίς επαρκή εννοιολογική επεξήγηση εντείνει τη σύγχυση. Το φαινόμενο συχνά παρουσιάζεται απλώς ως μια μαθηματική σχέση της μορφής

$$K_{\max} = hf - W$$

χωρίς να δίνεται έμφαση στη φυσική του σημασία, γεγονός που οδηγεί τους μαθητές στο να επικεντρώνονται σε αλγεβρικούς υπολογισμούς αντί στη βαθύτερη κατανόηση του μηχανισμού του φαινομένου. Παράλληλα, η αποσπασματική διδασκαλία της κβαντικής φυσικής αποτελεί έναν ακόμα κρίσιμο παράγοντα δημιουργίας παρανοήσεων. Η κβαντική θεωρία συχνά παρουσιάζεται ως μια απότομη επιστημονική ανατροπή, χωρίς να εξηγείται επαρκώς η σταδιακή μετάβαση από την κλασική στη σύγχρονη φυσική. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα οι μαθητές να αντιμετωπίζουν την κβαντική θεωρία ως μια αυθαίρετη ή ανεξήγητη αλλαγή στο επιστημονικό παράδειγμα, χωρίς να κατανοούν τους λόγους που οδήγησαν στην ανάγκη για μια νέα θεωρία.

Η διδασκαλία του φωτοηλεκτρικού φαινομένου πρέπει να λαμβάνει υπόψη αυτές τις παρανοήσεις και να υιοθετεί στρατηγικές που βοηθούν στην εννοιολογική κατανόηση του φαινομένου, χρησιμοποιώντας ιστορικές, πειραματικές και διαδραστικές προσεγγίσεις που αναδεικνύουν τη σημασία του στην εξέλιξη της φυσικής.

Η βιβλιογραφία επίσης υποστηρίζει ότι πολλοί μαθητές δυσκολεύονται να αντιληφθούν ότι το φως μπορεί να συμπεριφέρεται ως σωματίδιο και ταυτόχρονα ως κύμα, μια έννοια θεμελιώδης για την κβαντική θεωρία (McKagan et al., 2009). Οι μαθητές τείνουν να βλέπουν το φως είτε ως κύμα είτε ως σωματίδιο, αλλά δυσκολεύονται να κατανοήσουν τη δυαδική του φύση. Επίσης σε μια μελέτη από τους Singh και E. Marshman, φάνηκε ότι οι μαθητές θεωρούν το φως είτε κύμα είτε σωματίδιο, ανάλογα με την εφαρμογή ή το πείραμα. Η έρευνα αυτή υποστηρίζει την ιδέα ότι οι μαθητές χρειάζονται πιο πρακτικές

και διερευνητικές προσεγγίσεις για να αντιληφθούν τη δυαδική φύση του φωτός (Singh et al., 2010).

Επιπλέον, οι μαθητές συχνά μπερδεύουν την ένταση του φωτός με τη συχνότητα, πιστεύοντας λανθασμένα ότι το φως μεγαλύτερης έντασης θα πρέπει να έχει περισσότερη ενέργεια για την απελευθέρωση ηλεκτρονίων, ανεξάρτητα από τη συχνότητά του. Αυτό το σφάλμα προέρχεται από την κλασική αντίληψη της ενέργειας και δεν συνάδει με την κβαντική θεωρία. Έρευνες όπως αυτή του Pospiech (1999) έχουν δείξει ότι οι μαθητές δυσκολεύονται να διαχωρίσουν αυτές τις δύο παραμέτρους και συχνά πιστεύουν ότι η ένταση του φωτός καθορίζει την ενέργεια των φωτονίων. Οι Thornton και συνεργάτες έδειξαν ότι οι μαθητές συγχέουν τη συχνότητα με την ένταση λόγω της καθημερινής εμπειρίας τους με το φως (όπου η ένταση σχετίζεται με τη φωτεινότητα). Πρότειναν ότι η χρήση προσομοιώσεων που επιτρέπουν τη μεταβολή της συχνότητας και της έντασης μπορεί να αποσαφηνίσει αυτή την έννοια (Thornton et al., 2002).

Οι Ambrose και συνεργάτες επισημαίνουν ότι οι μαθητές χρησιμοποιούν "μακροσκοπικές" αντιλήψεις για την ερμηνεία κβαντικών φαινομένων, με αποτέλεσμα τη σύγχυση έντασης και συχνότητας. Η έρευνά τους προτείνει τη διεξαγωγή πειραμάτων με προσομοιώσεις ως αποτελεσματικό τρόπο διδασκαλίας (Ambrose et al., 2004). Με τον όρο "μακροσκοπικές" αντιλήψεις εννοούμε τις καθημερινές ή «κλασικές» αντιλήψεις που έχουν οι μαθητές από την εμπειρία τους με τον κόσμο σε μακροσκοπικό επίπεδο, δηλαδή στον κόσμο που βλέπουμε και αντιλαμβανόμαστε καθημερινά, και όχι στον μικροσκοπικό ή κβαντικό κόσμο.

Για παράδειγμα, οι μαθητές συνήθως αντιλαμβάνονται το φως με βάση την ένταση (δηλαδή τη φωτεινότητα), που συνδέεται άμεσα με την ποσότητα φωτός που βλέπουν. Αυτό τους οδηγεί να θεωρούν ότι η ένταση του φωτός καθορίζει την ενέργεια των φωτονίων, κάτι που ισχύει στον μακροσκοπικό κόσμο (Ambrose et al., 2004). Στην κβαντική φυσική, όμως, η ενέργεια των φωτονίων εξαρτάται από τη συχνότητα του φωτός, μια έννοια που δύσκολα γίνεται αντιληπτή μέσω μακροσκοπικών εμπειριών. Άρα, όταν λέμε ότι οι μαθητές έχουν μακροσκοπικές αντιλήψεις, εννοούμε ότι αντιμετωπίζουν δυσκολίες στην κατανόηση αφηρημένων κβαντικών φαινομένων επειδή βασίζονται σε καθημερινές αντιλήψεις από τον μακροσκοπικό κόσμο.

Επίσης η έννοια του έργου εξαγωγής, δηλαδή της ελάχιστης ενέργειας που απαιτείται για την εκπομπή ενός ηλεκτρονίου από το μέταλλο, δεν γίνεται πάντα σωστά αντιληπτή από τους μαθητές. Οι Domert και συνεργάτες έδειξαν ότι πολλοί μαθητές θεωρούν το φως ως γραμμικό παράγοντα που επηρεάζει την εκπομπή ηλεκτρονίων, χωρίς να κατανοούν την έννοια του έργου εξαγωγής. Η έρευνα προτείνει την εισαγωγή αναλυτικών θεωρητικών εξηγήσεων και πρακτικών παραδειγμάτων (Domert et al., 2005). Ο όρος "γραμμικός παράγοντας" σημαίνει ότι υπάρχει μια άμεση και σταθερή αναλογία ή σχέση μεταξύ δύο μεταβλητών. Στην περίπτωση του φωτοηλεκτρικού φαινομένου, όταν οι μαθητές αντιλαμβάνονται το φως ως γραμμικό παράγοντα στην εκπομπή ηλεκτρονίων, θεωρούν λανθασμένα ότι η αύξηση της έντασης του φωτός (της φωτεινότητας) θα αυξάνει

αντίστοιχα και την ενέργεια των εκπεμπόμενων ηλεκτρονίων με τρόπο αναλογικό. Στην πραγματικότητα, η εκπομπή των ηλεκτρονίων δεν εξαρτάται γραμμικά από την ένταση του φωτός, αλλά από τη συχνότητα του φωτός. Μια μεταγενέστερη έρευνα επίσης ανέδειξε ότι οι μαθητές παραβλέπουν το έργο εξαγωγής. Συγκεκριμένα, οι μαθητές αντιλαμβάνονται τη διαδικασία ως άμεσο αποτέλεσμα της ενέργειας του προσπίπτοντος φωτός, χωρίς να λαμβάνουν υπόψη ότι η ενέργεια αυτή πρέπει πρώτα να ξεπεράσει το ενεργειακό φράγμα που επιβάλλει το μέταλλο. Η έρευνα προτείνει τη χρήση συγκεκριμένων διδακτικών ασκήσεων που εστιάζουν στο ενεργειακό φράγμα (Seop et al., 2017). Οι ασκήσεις αυτές ενσωματώνουν σε γραφικές αναπαραστάσεις τη σχέσης μεταξύ της ενέργειας φωτονίου, της κινητικής ενέργειας των εκπεμπόμενων ηλεκτρονίων και του έργου εξαγωγής, προκειμένου να ενισχύσουν τη μαθησιακή κατανόηση. Επιπλέον, προτείνουν τη χρήση πειραμάτων προσομοίωσης που δείχνουν τη διαδικασία της απελευθέρωσης ηλεκτρονίων και τις προϋποθέσεις για την πραγματοποίησή της.

Τέλος οι μαθητές συχνά αναμένουν ότι τα αποτελέσματα στην κβαντική φυσική είναι σταθερά και καθορισμένα, παρόμοια με τις κλασικές φυσικές θεωρίες, και δυσκολεύονται να κατανοήσουν ότι τα αποτελέσματα μπορεί να είναι "πιθανοκρατικά". Έρευνητές στο εξωτερικό (Johnston et al., 1998, Singh et al., 2006) διαπίστωσαν ότι οι μαθητές έχουν μεγάλη δυσκολία στην αποδοχή της πιθανοκρατικής φύσης της κβαντικής φυσικής και τείνουν να προτιμούν ντετερμινιστικές εξηγήσεις.

Ο Hestenes και συνεργάτες πρότειναν την εισαγωγή της θεωρίας των πιθανοτήτων από τα πρώτα στάδια διδασκαλίας της κβαντικής φυσικής για να εξοικειωθούν οι μαθητές με αυτήν την έννοια (Hestenes, 1990). Οι Tsai και συνεργάτες ερεύνησαν τον τρόπο με τον οποίο οι μαθητές προσεγγίζουν την αβεβαιότητα και την πιθανότητα στην κβαντική φυσική και βρήκαν ότι οι μαθητές συχνά αντιμετωπίζουν δυσκολία στην κατανόηση της ασάφειας των κβαντικών γεγονότων, προτείνοντας ότι πρέπει να ενισχυθεί η εκπαίδευση σχετικά με τις αρχές της θεωρίας πιθανοτήτων (Tsai et al., 2015).

Οι μαθητές πολλές φορές εξέφρασαν τη δυσκολία τους στην κατανόηση των αφηρημένων εννοιών της κβαντικής φυσικής, όπως η δυαδική φύση του φωτός και η αρχή της αβεβαιότητας. Έρευνες όπως αυτή του Δημητρίου και του Μακρή (2012) ανέφεραν ότι οι μαθητές αντιμετωπίζουν πρόβλημα στην αποδοχή της έννοιας ότι το φως μπορεί να λειτουργεί τόσο ως κύμα όσο και ως σωματίδιο, καθώς αυτό έρχεται σε αντίθεση με την καθημερινή εμπειρία τους. Οι ερευνητές ανέφεραν ότι πολλοί μαθητές αναπτύσσουν λανθασμένες αντιλήψεις που δυσκολεύονται να διορθώσουν, παρά τις προσπάθειες των καθηγητών.

Πέρα από την κατανόηση, μελέτες καταγράφουν επίσης τις συναισθηματικές αντιδράσεις των μαθητών. Κάποιοι μαθητές ένιωσαν απογοήτευση ή άγχος, ειδικά όταν δεν μπορούσαν να συνδέσουν τις νέες έννοιες με πιο γνωστές και απλές ιδέες της κλασικής φυσικής (Παπαθεοδώρου, 2008). Η αβεβαιότητα και η πολυπλοκότητα των νέων εννοιών προκάλεσαν σε κάποιες περιπτώσεις αίσθηση "αποπροσανατολισμού" και "ανοικτότητας" στις γνώσεις

τους. Η «ανοικτότητα» αφορά την ιδέα ότι οι μαθητές πρέπει να αποδεχθούν πως τα σωματίδια δεν έχουν μια καθορισμένη θέση ή ορμή μέχρι να μετρηθούν και ότι οι κλασικές απόψεις σχετικά με τη θέση και την ταυτόχρονη γνώση δεν ισχύουν στον κβαντικό κόσμο. Η διδασκαλία της Κβαντικής Μηχανικής στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση παρουσιάζει σημαντικές προκλήσεις, καθώς οι μαθητές έρχονται αντιμέτωποι με έννοιες που δεν ευθυγραμμίζονται με την κλασική φυσική και τις προϋπάρχουσες αντιλήψεις τους. Επιπροσθέτως σύμφωνα με τον Bonacci (2018), οι μαθητές συναντούν έξι κύριες δυσκολίες στην κατανόηση της κβαντικής θεωρίας. Η πρώτη αφορά την πολυπλοκότητα της θεωρίας, καθώς η Κβαντική Μηχανική χαρακτηρίζεται από έντονη μαθηματική αυστηρότητα, γεγονός που καθιστά δύσκολη την κατανόηση της πιθανότητας, της υπέρθεσης και της κυματοσυνάρτησης. Οι μαθητές έχουν συνηθίσει να προσεγγίζουν τη φυσική μέσω ντετερμινιστικών μοντέλων και η μετάβαση σε ένα πλαίσιο όπου η επιστήμη δεν παρέχει απόλυτες προβλέψεις αλλά μόνο πιθανότητες για τα αποτελέσματα των μετρήσεων αποτελεί σοβαρό εμπόδιο στη μάθησή τους (Bonacci, 2018).

Επιπλέον, ένας σημαντικός παράγοντας που περιπλέκει την κατανόηση της Κβαντικής Μηχανικής είναι η επίδραση της επιστημονικής φαντασίας στη διαμόρφωση των νοητικών μοντέλων των μαθητών. Οι αναφορές σε ταινίες και βιβλία που παρουσιάζουν την κβαντική φυσική μέσα από μη ρεαλιστικές ερμηνείες συχνά οδηγούν στην άκριτη αποδοχή μη επιστημονικών ιδεών, όπως η «κβαντική τηλεμεταφορά» ή τα «παράλληλα σύμπαντα», χωρίς τη φυσική τους βάση.

Μια ακόμη σοβαρή πρόκληση είναι η δυσκολία που αντιμετωπίζουν οι μαθητές στον μαθηματικό φορμαλισμό της θεωρίας. Η χρήση διαφορικών εξισώσεων και πινάκων δημιουργεί εμπόδια για την εννοιολογική κατανόηση, καθώς οι μαθητές συχνά επικεντρώνονται στις μαθηματικές πράξεις χωρίς να αντιλαμβάνονται πλήρως τη φυσική τους σημασία. Άλλωστε δεν έχει ακόμα δημιουργηθεί το κατάλληλο μαθηματικό υπόβαθρο σε μαθητές λυκείου για να χρησιμοποιήσουν τέτοια "εργαλεία".

Τέλος, η Κβαντική Μηχανική δεν αναπτύχθηκε με γραμμικό τρόπο, όπως η Κλασική Φυσική, γεγονός που καθιστά δύσκολη τη διδασκαλία της με βάση τις παραδοσιακές μεθόδους. Η μη γραμμική εξέλιξη της θεωρίας απαιτεί μια διαφορετική διδακτική προσέγγιση που δεν βασίζεται στην αυστηρή διαδοχή εννοιών, αλλά επιτρέπει την επιστροφή σε προηγούμενα σημεία για την καλύτερη κατανόηση των θεμελιωδών αρχών της. Τέλος, ένα σημαντικό πρόβλημα είναι η αποσπασματική παρουσίαση των ερμηνειών της Κβαντικής Μηχανικής. Συχνά, η Σχολή της Κοπεγχάγης υποτιμάται ή παρουσιάζεται με απλουστευτικό τρόπο, χωρίς να εξηγείται ο ρόλος της στην ανάπτυξη της θεωρίας, με αποτέλεσμα οι μαθητές να αποκτούν ελλιπή εικόνα για τα θεμέλια της Κβαντομηχανικής (Bonacci, 2018).

Από την άλλη πλευρά, υπήρξαν και μαθητές που βρήκαν τις έννοιες της κβαντικής φυσικής συναρπαστικές και ενδιαφέρουσες, ειδικά όταν αυτές συνδέθηκαν με εφαρμογές στη σύγχρονη τεχνολογία, όπως τα ηλιακά πάνελ και οι οθόνες LCD. Έρευνα του Παπαδόπουλου και του Σωτηρίου (2015) έδειξε ότι οι μαθητές που εκτίθενται σε

διαδραστικές μεθόδους διδασκαλίας, όπως πειράματα ή ψηφιακές προσομοιώσεις, εκδήλωσαν μεγαλύτερο ενδιαφέρον και ενθουσιασμό για την χβαντική φυσική, συγκριτικά με εκείνους που παρακολούθησαν μόνο θεωρητικές διαλέξεις.

Είδαμε λοιπόν ότι προσομοιώσεις και πειράματα έχουν αποδειχθεί ως αποτελεσματικές μέθοδοι για τη μείωση των λανθασμένων αντιλήψεων και την ενίσχυση της κατανόησης. Μέσα από εικονικά πειράματα, οι μαθητές μπορούν να ελέγξουν τη συχνότητα και την ένταση του φωτός και να δουν άμεσα τις επιπτώσεις αυτών των παραγόντων στη λειτουργία του φωτοηλεκτρικού φαινομένου (McDermott et al., 1998). Με αυτόν τον τρόπο, κατανοούν καλύτερα την "αρχή" ότι η συχνότητα καθορίζει την ενέργεια των φωτονίων και ότι η ένταση του φωτός επηρεάζει μόνο τον αριθμό των ηλεκτρονίων που εκτοξεύονται/αποδεσμεύονται από τη κάθοδο, όχι όμως την ενέργειά τους.

Ωστόσο, η εφαρμογή προσομοιώσεων και πειραμάτων δεν εξαλείφει πλήρως τις λανθασμένες αντιλήψεις. Ορισμένες έρευνες υποδεικνύουν ότι ακόμη και μετά τη χρήση προσομοιώσεων, οι μαθητές μπορεί να συνεχίσουν να κρατούν ορισμένες εσφαλμένες ιδέες, ιδίως όταν οι εξηγήσεις που λαμβάνουν δεν είναι πλήρως κατανοητές ή όταν δεν λαμβάνουν την κατάλληλη καθοδήγηση από τον καθηγητή (Michellini et al., 2021). Όταν οι μαθητές δεν κατανοούν πλήρως τις εξηγήσεις που προσφέρονται, διατηρούν τις αρχικές τους παρανοήσεις.

Σύμφωνα με τους Michellini et al. (2021), οι ψηφιακές προσομοιώσεις και τα πειράματα μπορεί να παρουσιάζουν τις έννοιες, αλλά δεν επαρκούν για την αποσαφήνιση των πιο λεπτών σημείων χωρίς σαφείς και απλές επεξηγήσεις. Οι μαθητές χρειάζονται καθοδήγηση και διευκρινίσεις από τον καθηγητή για να ερμηνεύσουν σωστά τα δεδομένα που προκύπτουν από τα εικονικά πειράματα. Οι έρευνες υποδεικνύουν ότι χωρίς την παρουσία εκπαιδευτικού που να παρέχει ανατροφοδότηση και να επισημαίνει τις λεπτομέρειες, οι μαθητές ενδέχεται να παραμείνουν με λανθασμένες αντιλήψεις. Είναι σημαντικό να συνδυάζονται οι ψηφιακές τεχνολογίες με την παραδοσιακή διδασκαλία και να επισημαίνονται οι λεπτομέρειες που μπορεί να οδηγήσουν σε σύγχυση.

5.1 Προτάσεις για τη Βελτίωση της Διδασκαλίας του Φωτοηλεκτρικού Φαινομένου

Η διδασκαλία του φωτοηλεκτρικού φαινομένου απαιτεί αναθεώρηση και προσαρμογή των διδακτικών πρακτικών, λαμβάνοντας υπόψη τα ερευνητικά δεδομένα για τις αντιλήψεις των μαθητών και τις νέες τεχνολογίες που είναι διαθέσιμες. Για να ξεπεραστούν αυτά τα γνωστικά εμπόδια, το διδακτικό μοντέλο που προτείνεται από τους Kalkanis et al. (2003) περιλαμβάνει τρία στάδια. Αρχικά, η αναγνώριση και αποδόμηση των εναλλακτικών ιδεών επιτυγχάνεται μέσω κατάλληλων δραστηριοτήτων και διαλογικών συζητήσεων που αποκαλύπτουν τις δυσκολίες των μαθητών στη μετάβαση από την κλασική στη σύγχρονη φυσική. Στη συνέχεια, ακολουθεί η σταδιακή εισαγωγή των χβαντικών

εννοιών με τη χρήση νοητικών εργαλείων που ενισχύουν τη μαθησιακή διαδικασία, όπως αναλογίες και οπτικοποιήσεις (Hadzidaki, Kalkanis & Stavrou, 2000). Τέλος, η αναδόμηση των εννοιολογικών σχημάτων επιτυγχάνεται μέσω της ενεργού συμμετοχής των μαθητών και της χρήσης εκπαιδευτικών τεχνολογιών, όπως διαδραστικές προσομοιώσεις και εικονικά εργαστήρια (Zacharia, 2007). Ένα από τα κύρια βήματα για τη βελτίωση της διδασκαλίας είναι η ένταξη ενεργητικών μαθησιακών προσεγγίσεων που ενθαρρύνουν τη συμμετοχή των μαθητών σε πειραματικές δραστηριότητες και διερευνήσεις. Όπως έχει αποδειχθεί, οι μαθητές που συμμετέχουν ενεργά στη μαθησιακή διαδικασία τείνουν να αναπτύσσουν βαθύτερη κατανόηση των εννοιών, σε αντίθεση με τη μηχανική μάθηση μέσω θεωρητικών διαλέξεων (Kolodner et al., 2003). Η έννοια των νοητικών πειραμάτων στη φυσική κατέχει κεντρική θέση στη διαδικασία κατανόησης αφηρημένων και δύσκολων επιστημονικών εννοιών. Στο πλαίσιο της διδασκαλίας του φωτοηλεκτρικού φαινομένου, τα νοητικά πειράματα επιτρέπουν στους μαθητές να αναπτύξουν επιστημονικό συλλογισμό, διερευνώντας τις συνέπειες της κβάντωσης της ενέργειας και του κυματοσωματιδιακού дуϊσμού του φωτός χωρίς την ανάγκη πολύπλοκων μαθηματικών εργαλείων (Μαργιώλας, 2018). Σύμφωνα με τη διεθνή διδακτική έρευνα, τα νοητικά πειράματα συμβάλλουν καθοριστικά στη μάθηση της κβαντικής φυσικής, καθώς επιτρέπουν στους μαθητές να αντιμετωπίσουν γνωστικές συγκρούσεις και να αποδεχτούν νέα επιστημονικά παραδείγματα (Mashadi, 1996). Στην περίπτωση του φωτοηλεκτρικού φαινομένου, η αναπαράσταση του πειράματος μέσω νοητικής προσέγγισης μπορεί να εστιάσει στα εξής ερωτήματα:

1. Τι θα συνέβαινε αν το φως ήταν αποκλειστικά κύμα;

– Σύμφωνα με την κλασική θεωρία του Maxwell, τα ηλεκτρόνια θα απορροφούσαν σταδιακά ενέργεια μέχρι να διαφύγουν από το μέταλλο, ανεξάρτητα από τη συχνότητα.

2. Τι συμβαίνει αν αυξήσουμε μόνο την ένταση του φωτός;

– Η πειραματική απόδειξη δείχνει ότι η ένταση επηρεάζει τον αριθμό των εκπεμπόμενων ηλεκτρονίων, αλλά όχι την ενέργειά τους, γεγονός που έρχεται σε αντίθεση με την κλασική φυσική.

3. Πώς εξηγείται η άμεση εκπομπή ηλεκτρονίων;

– Το γεγονός ότι τα ηλεκτρόνια εκπέμπονται χωρίς καθυστέρηση όταν η ενέργεια του φωτονίου υπερβαίνει το έργο εξαγωγής του μετάλλου, αποτελεί απόδειξη της κβαντικής φύσης του φωτός (Johnston, 1998).

Η αξιοποίηση νοητικών πειραμάτων μπορεί να βοηθήσει τους μαθητές να κατανοήσουν ότι το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο δεν είναι απλώς μια εξίσωση, αλλά μια θεμελιώδης απόδειξη της ύπαρξης φωτονίων. Επιπλέον, η διδασκαλία μέσω τέτοιων τεχνικών έχει αποδειχθεί ότι βελτιώνει τη μεταγνωστική ικανότητα των μαθητών, καθώς τους ωθεί να αξιολογούν εναλλακτικές ερμηνείες και να διαμορφώνουν τεκμηριωμένες απόψεις (Gasiorowicz, 2020).

Στην ελληνική εκπαιδευτική πραγματικότητα, τα νοητικά πειράματα δεν χρησιμοποιούνται συστηματικά, παρά το γεγονός ότι προσφέρουν έναν αποτελεσματικό τρόπο εισαγωγής της κβαντικής φυσικής (Μαργιώλας, 2018). Αντίθετα, στη διεθνή εκπαιδευτική κοινότητα, τα νοητικά πειράματα συχνά συνδυάζονται με διαδραστικές προσομοιώσεις, όπως το PhET Interactive Simulations, το οποίο επιτρέπει στους μαθητές να διερευνήσουν τη συμπεριφορά του φωτοηλεκτρικού φαινομένου μέσα από ελεγχόμενες αλλαγές σε φυσικές παραμέτρους (Perkins et al., 2006).

Η εφαρμογή των νοητικών πειραμάτων στη διδασκαλία του φωτοηλεκτρικού φαινομένου μπορεί να ενισχύσει την κριτική σκέψη των μαθητών και να τους βοηθήσει να κατανοήσουν τις βασικές αρχές της κβαντικής φυσικής, πέρα από την απομνημόνευση μαθηματικών τύπων. Έτσι, η διδακτική ένταξη τέτοιων μεθόδων μπορεί να αποτελέσει ένα κρίσιμο βήμα προς την εκσυγχρονισμένη διδασκαλία της φυσικής στην Ελλάδα, με στόχο την ανάπτυξη ενεργητικής μάθησης και τη βελτίωση της κατανόησης των κβαντικών φαινομένων (Mashadi, 1996; Gasiorowicz, 2020).

Η έρευνα του Bonacci (2018) δείχνει ότι η διδασκαλία της Κβαντικής Μηχανικής πρέπει να ξεφύγει από την αυστηρά μαθηματική παρουσίαση και να ενσωματώσει ιστορικές, επιστημολογικές και διαδραστικές προσεγγίσεις. Η χρήση σύγχρονων εκπαιδευτικών εργαλείων, όπως οι προσομοιώσεις και τα εικονικά εργαστήρια, μπορεί να διευκολύνει την κατανόηση των αφηρημένων εννοιών, επιτρέποντας στους μαθητές να πειραματιστούν με τις αρχές της κβαντικής θεωρίας με έναν πιο διαισθητικό τρόπο (Singh et al., 2006). Η ενσωμάτωση τέτοιων στρατηγικών στη διδασκαλία της Κβαντικής Μηχανικής στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση μπορεί να γεφυρώσει το χάσμα μεταξύ κλασικής και κβαντικής φυσικής και να συμβάλει στην εννοιολογική αλλαγή των μαθητών. Για την αποφυγή παρανοήσεων που προκύπτουν από την επιστημονική φαντασία, προτείνεται η ανάπτυξη κριτικής σκέψης στους μαθητές, μέσα από δραστηριότητες που τους καλούν να συγκρίνουν δημοφιλή αναφορές στην κβαντική φυσική με τις πραγματικές επιστημονικές θεωρίες (Παπαγεωργίου, 2023).

Επιπλέον, η χρήση ψηφιακών εργαλείων και προσομοιώσεων μπορεί να ενισχύσει σημαντικά τη διδασκαλία, καθώς επιτρέπει στους μαθητές να βλέπουν στην πράξη τις επιπτώσεις των παραγόντων που επηρεάζουν το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο. Η χρήση ψηφιακών προσομοιώσεων, όπως αυτές που προσφέρει η πλατφόρμα PhET, παρέχει στους μαθητές μια άμεση, βιωματική εμπειρία του φαινομένου, επιτρέποντάς τους να πειραματιστούν με τη συχνότητα και την ένταση του φωτός και να δουν τις επιδράσεις τους στην εκπομπή ηλεκτρονίων (Finkelstein et al., 2005). Και πρέπει να τονιστεί ότι τα πειράματα και οι ψηφιακές προσομοιώσεις δεν έχουν σκοπό απλά να γίνουν προς επίδειξη της Φυσικής, αλλά αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι της εκπαιδευτικής διδασκαλίας στις οποίες πρέπει να προβλέπονται διδακτικές ώρες στο αναλυτικό πρόγραμμα.

Ωστόσο, είναι κρίσιμο αυτά τα εργαλεία να συνοδεύονται από κατάλληλη καθοδήγηση και εξηγήσεις, καθώς οι μαθητές μπορεί να μην είναι σε θέση να εξάγουν σωστά συμπεράσματα

μόνοι τους. Η υποστήριξη των εκπαιδευτικών και η επιμόρφωσή τους σε αυτές τις τεχνολογίες είναι εξίσου σημαντική για την επιτυχημένη εφαρμογή αυτών των μεθόδων (Hirose et al., 2019). Μέθοδοι ενεργητικής μάθησης, όπως το Peer Instruction και οι ομαδικές συζητήσεις, ενθαρρύνουν τους μαθητές να διατυπώνουν τις αντιλήψεις τους και να εντοπίζουν τις παρανοήσεις μέσω της αλληλεπίδρασης με τους συνομηλίκους τους (Mazur, 1997). Αυτές οι μέθοδοι διευκολύνουν τη συμμετοχή των μαθητών και ενισχύουν την κριτική σκέψη και την αναλυτική τους ικανότητα.

Μία ακόμη πρόταση αφορά τη σταδιακή εισαγωγή στον μαθηματικό φορμαλισμό της θεωρίας. Η διδασκαλία πρέπει να ξεκινά από απλές ποιοτικές περιγραφές και σταδιακά να ενσωματώνει τον μαθηματικό φορμαλισμό, χρησιμοποιώντας οπτικές αναπαραστάσεις και διαγράμματα που διευκολύνουν τη μαθησιακή διαδικασία (Perkins et al., 2006). Εξίσου σημαντική πρόταση αφορά την ενσωμάτωση της πιθανοκρατικής φύσης της Κβαντικής Μηχανικής στις επιστημονικές εξηγήσεις. Οι μαθητές, έχοντας ανατραφεί σε ένα εκπαιδευτικό σύστημα που δίνει έμφαση σε αιτιοκρατικά μοντέλα, δυσκολεύονται να αποδεχτούν την έννοια της πιθανοκρατικής πρόβλεψης. Για να διευκολυνθεί αυτή η μετάβαση, η διδασκαλία της Κβαντικής Μηχανικής πρέπει να συνδεθεί με τις πιθανότητες στα μαθηματικά και τη χημεία, προσφέροντας στους μαθητές οικεία παραδείγματα κατανομής πιθανότητας, όπως παιχνίδια τύχης και ρίψη ζαριών. Με αυτόν τον τρόπο, μπορούν να κατανοήσουν ότι η Κβαντική Μηχανική δεν περιγράφει αυθαίρετα φαινόμενα, αλλά βασίζεται σε μαθηματικά θεμελιωμένες προβλέψεις που ερμηνεύουν τη συμπεριφορά των σωματιδίων σε μικροσκοπικό επίπεδο (Perkins et al., 2006). Επίσης, η διδασκαλία της Κβαντικής Μηχανικής πρέπει να είναι μη γραμμική, δηλαδή να επιτρέπει την επιστροφή σε προηγούμενες έννοιες και τη σύνδεση διαφορετικών φαινομένων, ώστε να διευκολύνεται η συνολική κατανόηση. Τέλος, είναι κρίσιμο να παρουσιαστούν οι διαφορετικές ερμηνείες της Κβαντικής Μηχανικής, ώστε οι μαθητές να αντιληφθούν ότι η επιστημονική γνώση δεν είναι απόλυτη, αλλά εξελίσσεται μέσω πειραματικών επιβεβαιώσεων και θεωρητικών αναπροσαρμογών (Bonacci, 2018).

Τέλος, η ενσωμάτωση της ιστορίας φυσικής ως επιστήμη στη διδασκαλία του φωτοηλεκτρικού φαινομένου μπορεί να βοηθήσει τους μαθητές να αναπτύξουν μια πιο σφαιρική εικόνα της επιστημονικής διαδικασίας και της εξέλιξης των θεωριών. Η "Ιστορία της Φυσικής" ως επιστήμη αναφέρεται στη διδακτική προσέγγιση που στοχεύει στην κατανόηση από τους μαθητές όχι μόνο των επιστημονικών εννοιών, αλλά και του τρόπου με τον οποίο η επιστήμη λειτουργεί ως διαδικασία. Δηλαδή, δεν μαθαίνουν μόνο το τι είναι το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο ή τί είναι οι κβαντικές θεωρίες, αλλά και το πώς οι επιστήμονες αναπτύσσουν και επιβεβαιώνουν θεωρίες μέσω πειραματισμών, δεδομένων και συνεργασίας. Μέσα από την κατανόηση του πώς αναπτύχθηκε η θεωρία του Einstein και πώς επιβεβαιώθηκε με πειραματικά δεδομένα, οι μαθητές μπορούν να εκτιμήσουν τον τρόπο με τον οποίο η επιστήμη εξελίσσεται και προχωρά μέσω της έρευνας και των αποδείξεων. Ο Bonacci (2018), στο πλαίσιο αυτό, προτείνει ότι η εισαγωγή της Κβαντικής Μηχανικής

στην εκπαιδευτική διαδικασία θα πρέπει να συνοδεύεται από μια σύντομη παρουσίαση της φιλοσοφίας και της ιστορίας της θεωρίας, ώστε να παρέχεται στους μαθητές το απαραίτητο επιστημονικό πλαίσιο. Η διεπιστημονική προσέγγιση, που συνδυάζει φιλοσοφικά και ιστορικά στοιχεία, μπορεί να τους βοηθήσει να κατανοήσουν όχι μόνο τις θεωρητικές και πειραματικές ανατροπές που οδήγησαν στην ανάπτυξη της Κβαντικής Μηχανικής, αλλά και τις επιστημονικές διαμάχες που τη συνόδευαν, όπως αυτή μεταξύ του Bohr και του Einstein. Αυτή η μεθοδολογία συμβάλλει στο να αντιληφθούν οι μαθητές ότι η επιστήμη δεν εξελίσσεται γραμμικά, αλλά μέσω συγκρούσεων και αναθεωρήσεων, στοιχείο που μπορεί να ενισχύσει τη βαθύτερη κατανόηση της κβαντικής θεωρίας (Bonacci, 2018). Η επιστήμη δηλαδή προχωρά μέσω συνεχούς ελέγχου και αναθεώρησης των θεωριών (Stadermann and Goedhart, 2021).

6 Ανίχνευση των Απόψεων των Καθηγητών Μέσης Εκπαίδευσης για τη Διδασκαλία του Φωτοηλεκτρικού Φαινομένου

6.1 Στόχοι και Σημασία της Έρευνας

Οι κύριοι στόχοι αυτής της έρευνας είναι να διερευνηθούν οι απόψεις και οι αντιλήψεις των καθηγητών σχετικά με τη διδασκαλία του φωτοηλεκτρικού φαινομένου, δίνοντας έμφαση σε διάφορες πτυχές της διδακτικής διαδικασίας. Πρώτον, αποσκοπεί στην κατανόηση των εκπαιδευτικών αναγκών των καθηγητών και στον εντοπισμό των περιοχών όπου οι ίδιοι αισθάνονται ότι χρειάζονται περαιτέρω στήριξη, είτε σε θέματα γνώσεων είτε σε διδακτικές δεξιότητες. Επιπλέον, στοχεύει στην αξιολόγηση των πρακτικών και των διδακτικών προσεγγίσεων που εφαρμόζουν, αναλύοντας πώς αυτές οι πρακτικές επηρεάζουν την κατανόηση των μαθητών.

Στο πλαίσιο αυτό, δίνεται ιδιαίτερη σημασία στις μεθόδους που θεωρούν αποτελεσματικές και στον τρόπο που αντιμετωπίζουν τις δυσκολίες κατά την εφαρμογή τους στην τάξη. Ένας από τους στόχους είναι επίσης να καταγραφούν οι προκλήσεις και οι περιορισμοί που αντιμετωπίζουν οι καθηγητές στη διδασκαλία του φωτοηλεκτρικού φαινομένου. Σκοπός είναι να αναδειχθούν όχι μόνο οι δυσκολίες που σχετίζονται με την κατανόηση του θέματος από τους μαθητές, αλλά και οι περιορισμοί που πηγάζουν από την έλλειψη εξοπλισμού ή υποστήριξης στη χρήση νέων διδακτικών εργαλείων. Συνεπώς, οι απόψεις των καθηγητών είναι κρίσιμες, καθώς αναμένεται να προσφέρουν πολύτιμες προτάσεις για τη βελτίωση της διδασκαλίας και για την προσαρμογή του περιεχομένου με τρόπο που ανταποκρίνεται καλύτερα στις σύγχρονες εκπαιδευτικές ανάγκες. Η σημασία αυτής της έρευνας έγκειται στην ανάδειξη των εμπειριών των καθηγητών και στη σύνδεσή τους με τις διδακτικές πρακτικές και τις μελλοντικές ανάγκες της εκπαίδευσης. Η έρευνα επιδιώκει να εντοπίσει τις απόψεις

των εκπαιδευτικών όχι μόνο ως πηγή πληροφόρησης, αλλά και ως έναν τρόπο κατανόησης του πώς η εκπαιδευτική πρακτική μπορεί να εξελιχθεί ώστε να αντιμετωπιστούν οι σύγχρονες προκλήσεις.

Η σημασία αυτού του κεφαλαίου έγκειται στην προσπάθεια να αναδείξουμε τις εμπειρίες των καθηγητών και να κατανοήσουμε πώς αυτές επηρεάζουν τη διδακτική πρακτική στο σχολικό περιβάλλον. Με την καταγραφή και ανάλυση των απόψεων και των εμπειριών τους, το κεφάλαιο αυτό επιδιώκει να προσδιορίσει τις προκλήσεις που αντιμετωπίζουν οι εκπαιδευτικοί όταν διδάσκουν το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο, ιδίως όσον αφορά τις παρανοήσεις των μαθητών και τις δυσκολίες στη χρήση σύγχρονων εκπαιδευτικών εργαλείων.

Παράλληλα, αποσκοπεί στο να δώσει έμφαση στη σύνδεση αυτών των εμπειριών με τις τρέχουσες και μελλοντικές ανάγκες της εκπαίδευσης στη φυσική. Η καταγραφή των απόψεων αναμένεται να αναδείξει όχι μόνο τις υπάρχουσες ανάγκες, αλλά και τις προσδοκίες τους για υποστήριξη σε ζητήματα, όπως η ενσωμάτωση νέων τεχνολογιών και η παροχή επιμόρφωσης στις σύγχρονες διδακτικές μεθόδους. Έτσι, το κεφάλαιο λειτουργεί ως πλατφόρμα που διευκολύνει την έκφραση των εκπαιδευτικών αναγκών και στόχων, συμβάλλοντας στο να διαμορφωθεί μια πιο υποστηρικτική και αποτελεσματική εκπαιδευτική πολιτική.

6.2 Απόψεις των καθηγητών στο εξωτερικό

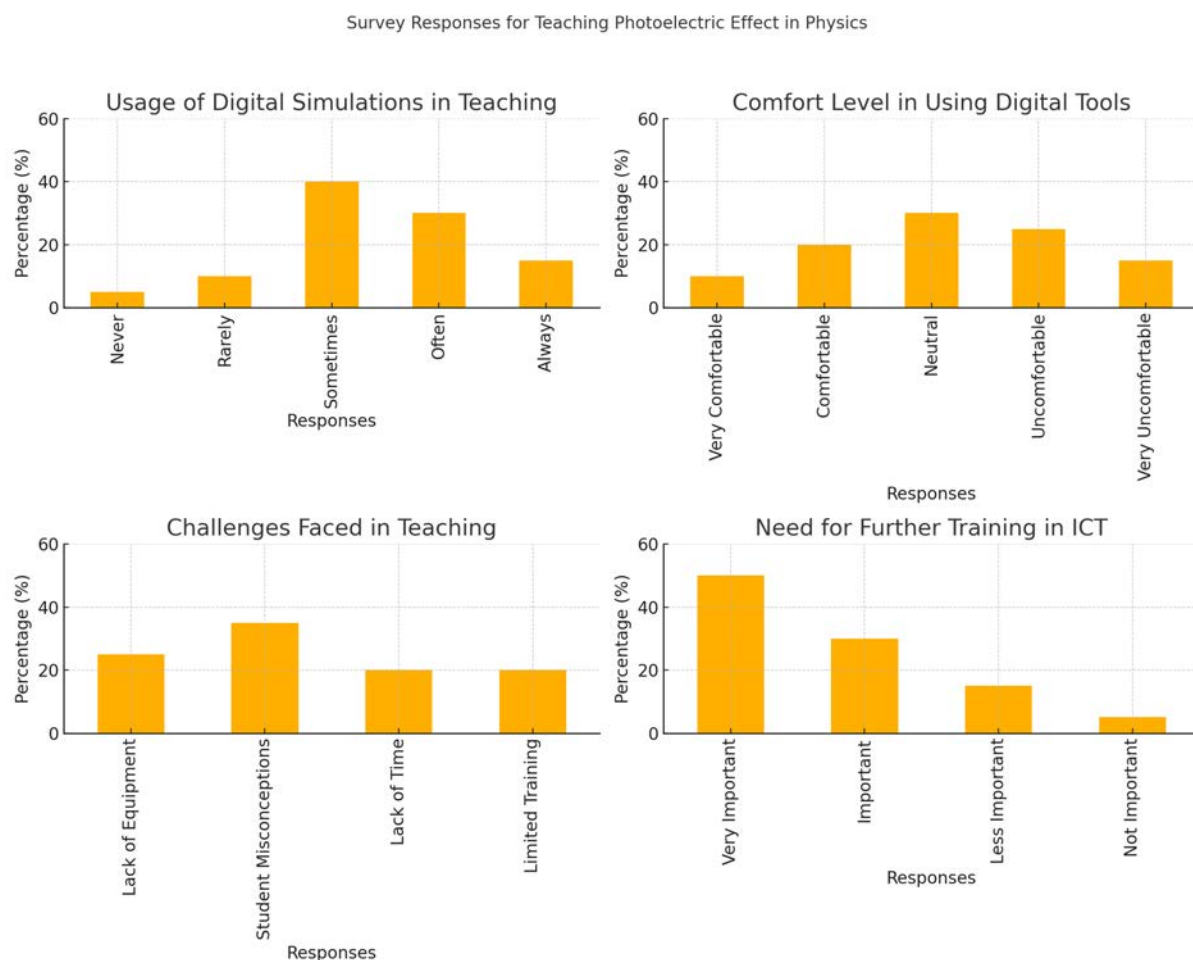
Στο εξωτερικό υπάρχουν μελέτες που έχουν εξετάσει τις απόψεις και τις αντιλήψεις των καθηγητών φυσικής σχετικά με τη διδασκαλία του φωτοηλεκτρικού φαινομένου και των κβαντικών φαινομένων γενικότερα. Αυτές οι μελέτες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για σύγκριση με τα ελληνικά δεδομένα, ώστε να αναδειχθούν οι ομοιότητες, οι διαφορές και τα κοινά προβλήματα ή επιτυχημένες πρακτικές.

Διεθνείς μελέτες (π.χ. στις Ηνωμένες Πολιτείες και στη Γερμανία) έχουν δείξει ότι οι καθηγητές φυσικής σε μεγάλο ποσοστό αναγνωρίζουν τα οφέλη της χρήσης ψηφιακών προσομοιώσεων (π.χ., PhET), αλλά συχνά αισθάνονται ανεπαρκείς στη χρήση αυτών των εργαλείων λόγω περιορισμένης κατάρτισης. Σύμφωνα με μελέτη των Finkelstein et al. (2005), οι καθηγητές ανέφεραν ότι οι προσομοιώσεις διευκολύνουν την κατανόηση αφηρημένων εννοιών, αν και πολλοί εξ αυτών δήλωσαν ότι χρειάζονται περισσότερη υποστήριξη για να αξιοποιούν τα ψηφιακά εργαλεία αποτελεσματικά.

Στην Αυστραλία, μια μελέτη των Oon και Subramaniam (2011) έδειξε ότι οι καθηγητές θεωρούν τα κβαντικά φαινόμενα, συμπεριλαμβανομένου του φωτοηλεκτρικού φαινομένου, ιδιαίτερα δύσκολα για τη διδασκαλία, κυρίως λόγω των παρανοήσεων των μαθητών. Οι εκπαιδευτικοί εκφράζουν την ανάγκη για πρόσβαση σε καλύτερα εργαλεία που να εξηγούν τη δυαδική φύση του φωτός και την πιθανοκρατική φύση της κβαντικής φυσικής. Η σύγκριση

αυτών των διεθνών δεδομένων με τα ελληνικά μπορεί να φανερώσει τις ομοιότητες στις ανάγκες και προκλήσεις των εκπαιδευτικών φυσικής. Παράλληλα, μπορεί να αναδείξει πρακτικές, όπως η επιμόρφωση στις ΤΠΕ, η χρήση ενεργητικής μάθησης, ή η σύνδεση της διδασκαλίας με τη φύση της επιστήμης (NOS), που είναι αποτελεσματικές διεθνώς και μπορούν να εφαρμοστούν στο ελληνικό εκπαιδευτικό πλαίσιο.

Η τάση των μελετών στο εξωτερικό συνοψίζεται στο παρακάτω γράφημα (Σχήμα 9):



Σχήμα 8. Έρευνες του εξωτερικού

Στα παραπάνω διαγράμματα παρατηρούμε διάφορες τάσεις στις απαντήσεις των καθηγητών σχετικά με τη διδασκαλία του φωτοηλεκτρικού φαινομένου. Η πλειονότητα των καθηγητών φαίνεται να χρησιμοποιεί ψηφιακές προσομοιώσεις, με το 40% να δηλώνει ότι τις χρησιμοποιεί "μερικές φορές" και το 30% "συχνά". Αυτή η τάση δείχνει πως, αν και υπάρχει ενδιαφέρον για τη χρήση προσομοιώσεων στη διδασκαλία, αυτές δεν έχουν ενταχθεί συστηματικά στη διδακτική πρακτική. Είναι πιθανό ότι η μερική αυτή χρήση συνδέεται με την ανάγκη για περισσότερη κατάρτιση ή και τεχνική υποστήριξη, ώστε οι καθηγητές να ενσωματώσουν τις προσομοιώσεις πιο αποτελεσματικά (Wieman et al., 2008).

Παράλληλα, παρατηρείται ότι περίπου το 55% των εκπαιδευτικών δηλώνει πως αισθάνεται "ουδέτερα" έως και "μη άνετα" με τη χρήση των ψηφιακών εργαλείων στην τάξη (Inan et al., 2010). Αυτό υποδηλώνει έλλειψη αυτοπεποίθησης ή και εξοικείωσης με την τεχνολογία, καθιστώντας σαφή την ανάγκη για ενίσχυση της επιμόρφωσης σε τεχνολογικές δεξιότητες, ώστε οι καθηγητές να νιώθουν πιο άνετα με τη χρήση τους στην τάξη.

Όσον αφορά τις προκλήσεις που αντιμετωπίζουν στη διδασκαλία, η πιο συχνά αναφερόμενη πρόκληση είναι οι παρανοήσεις των μαθητών σχετικά με το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο, με ποσοστό 35%. Ακολουθούν η έλλειψη κατάλληλου εξοπλισμού (25%) και ο περιορισμένος χρόνος που αφιερώνεται στη διδασκαλία του φαινομένου (20%). Αυτά τα αποτελέσματα αναδεικνύουν την ανάγκη για καλύτερη υποστήριξη σε υλικοτεχνικές υποδομές, καθώς και για διάθεση περισσότερου χρόνου σε διαδραστικές δραστηριότητες, ώστε να βοηθηθούν οι μαθητές στην κατανόηση δύσκολων εννοιών (Lawless et al., 2007).

Τέλος, ένα πολύ μεγάλο ποσοστό των καθηγητών, που φτάνει το 80%, θεωρεί την επιμόρφωση στις ΤΠΕ "πολύ σημαντική" ή "σημαντική" (Lawless et al., 2007). Αυτή η απάντηση δείχνει ότι οι εκπαιδευτικοί αναγνωρίζουν τη σημασία των ψηφιακών εργαλείων και είναι διατεθειμένοι να αναβαθμίσουν τις γνώσεις τους για την ενσωμάτωση των τεχνολογιών στη διδασκαλία, υπογραμμίζοντας την επιθυμία τους για περαιτέρω κατάρτιση.

Τα αποτελέσματα των ερευνών στο εξωτερικό αναδεικνύουν την επιτακτική ανάγκη για την ενίσχυση της επιμόρφωσης των εκπαιδευτικών στις Τεχνολογίες Πληροφορίας και Επικοινωνίας (ΤΠΕ), καθώς και στις ψηφιακές προσομοιώσεις. Η επιμόρφωση αυτή κρίνεται απαραίτητη για τη βελτίωση της διδασκαλίας της φυσικής, καθώς επιτρέπει στους εκπαιδευτικούς να ενσωματώσουν σύγχρονα εργαλεία που ενισχύουν την κατανόηση και τη συμμετοχή των μαθητών. Οι ψηφιακές προσομοιώσεις, όταν χρησιμοποιούνται αποτελεσματικά, μπορούν να βοηθήσουν τους μαθητές να προσεγγίσουν αφηρημένα φαινόμενα, όπως το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο, με τρόπο που τους καθιστά ικανούς να συνδέσουν τη θεωρία με την εφαρμογή της.

Η έλλειψη κατάλληλου εκπαιδευτικού εξοπλισμού και εργαλείων αποτελεί σημαντικό εμπόδιο στη διδασκαλία της φυσικής. Η παροχή σύγχρονων υποδομών, όπως διαδραστικοί πίνακες, εργαστηριακά εργαλεία και εξειδικευμένο λογισμικό, μπορεί να διευκολύνει την πρακτική προσέγγιση και να ενισχύσει τη διδασκαλία. Παράλληλα, η ύπαρξη αυτών των

μέσων επιτρέπει στους μαθητές να συμμετέχουν σε βιωματικές δραστηριότητες, οι οποίες ενισχύουν την κατανόηση και τη μνήμη τους.

Ένα άλλο ζήτημα που πρέπει να αντιμετωπιστεί είναι οι παρανοήσεις των μαθητών σχετικά με έννοιες της φυσικής, όπως το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο. Αυτές οι παρανοήσεις συχνά προκύπτουν από την αποσπασματική διδασκαλία και την ελλιπή σύνδεση της θεωρίας με την πρακτική. Η επικέντρωση στη διαχείριση αυτών των παρανοήσεων απαιτεί τη χρήση διαδραστικών μεθόδων διδασκαλίας που προωθούν την ενεργή μάθηση. Μέθοδοι όπως η επίλυση προβλημάτων, οι ομαδικές δραστηριότητες και οι εργαστηριακές προσεγγίσεις δίνουν τη δυνατότητα στους μαθητές να ανακαλύπτουν τη γνώση μέσα από εμπειρίες, μειώνοντας τα κενά κατανόησης.

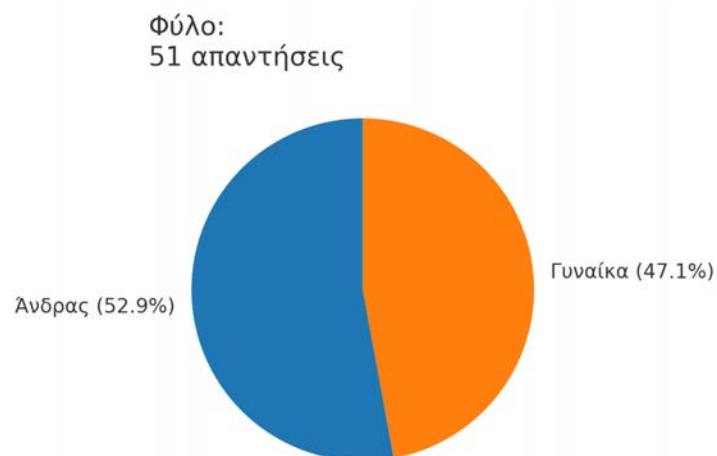
Η υιοθέτηση σύγχρονων μεθόδων που ενθαρρύνουν την ενεργή συμμετοχή των μαθητών και τη διερευνητική μάθηση μπορεί να έχει σημαντικά οφέλη. Τέτοιες μέθοδοι όχι μόνο συμβάλλουν στη βαθύτερη κατανόηση των μαθητών αλλά και στη διατήρηση της γνώσης μακροπρόθεσμα. Επιπλέον, δίνουν στους μαθητές τη δυνατότητα να αναπτύξουν δεξιότητες κριτικής σκέψης, αναλύοντας δεδομένα και ερμηνεύοντας αποτελέσματα.

Τα παραπάνω συμπεράσματα υπογραμμίζουν την ανάγκη διαμόρφωσης στοχευμένων εκπαιδευτικών πολιτικών που θα υποστηρίξουν μια πιο αποτελεσματική και καινοτόμα προσέγγιση στη διδασκαλία της φυσικής στην Ελλάδα. Η ανάπτυξη ολοκληρωμένων προγραμμάτων επιμόρφωσης, η παροχή κατάλληλου εξοπλισμού και η ενίσχυση της χρήσης ψηφιακών τεχνολογιών μπορούν να συμβάλουν καθοριστικά στη βελτίωση της διδασκαλίας. Μια τέτοια προσέγγιση όχι μόνο ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις της σύγχρονης εποχής, αλλά και προετοιμάζει τους μαθητές να αντιμετωπίσουν τις επιστημονικές προκλήσεις του μέλλοντος. Αυτά τα συμπεράσματα μπορούν να καθοδηγήσουν τη διαμόρφωση στοχευμένων εκπαιδευτικών πολιτικών, οι οποίες θα υποστηρίξουν μια πιο αποτελεσματική προσέγγιση στη διδασκαλία της φυσικής και συγκεκριμένα του φωτοηλεκτρικού φαινομένου στην Ελλάδα.

6.3 Απόψεις των καθηγητών στο εσωτερικό

Η παρουσίαση των αποτελεσμάτων της παρούσας έρευνας ξεκινά με την ανάλυση των δημογραφικών χαρακτηριστικών των συμμετεχόντων, τα οποία συλλέχθηκαν ως μέρος της μελέτης. Συνολικά στο ερωτηματολόγιο απάντησαν 62 καθηγητές Φυσικής που δουλεύουν σε σχολεία στην Ελληνική επικράτεια. Οι 11 από αυτούς όμως δήλωσαν ότι δεν έχουν διδάξει ποτέ το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο, οπότε αποκλείστηκαν από το στατιστικό δείγμα.

Η κατανομή του φύλου (Σχήμα 9) των συμμετεχόντων είναι σχεδόν ισομερής. Συγκεκριμένα, από τις 51 συνολικές απαντήσεις, οι άνδρες ανέρχονται σε 27 (52,9%), ενώ οι γυναίκες σε 24 (47,1%). Αυτό δείχνει ότι οι απόψεις που συλλέχθηκαν είναι ισορροπημένες



Σχήμα 9. Φύλο

όσον αφορά την αναλογία των φύλων. Αν και υπάρχει ελαφρώς μεγαλύτερη εκπροσώπηση των ανδρών, η διαφορά δεν είναι σημαντική.



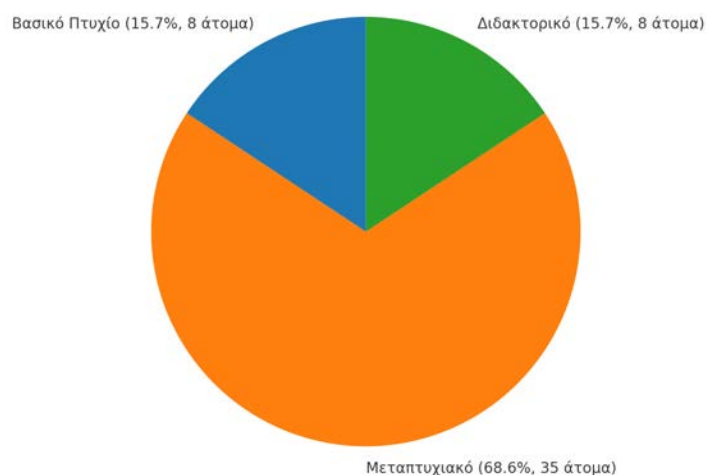
Σχήμα 10. Εμπειρία

Η κατανομή των ετών υπηρεσίας (Σχήμα 10) μεταξύ των συμμετεχόντων στο δείγμα δείχνει ότι 17 εκπαιδευτικοί (33,3%) έχουν πάνω από 20 χρόνια εμπειρίας, αντιπροσωπεύοντας την πιο πολυπληθή κατηγορία. Η δεύτερη μεγαλύτερη ομάδα περιλαμβάνει 15 εκπαιδευτικούς (29,4%) με εμπειρία 11-20 έτη.

Αυτές οι δύο κατηγορίες μαζί αντιπροσωπεύουν το 62,7% του δείγματος, υποδεικνύοντας ότι η πλειοψηφία των συμμετεχόντων διαθέτει σημαντική εμπειρία στον τομέα της εκπαίδευσης. Οι υπόλοιπες κατηγορίες περιλαμβάνουν 11 εκπαιδευτικούς (21,6%) με 0-5 έτη υπηρεσίας και 8 εκπαιδευτικούς (15,7%) με 6-10 έτη υπηρεσίας, οι οποίοι εκπροσωπούν τους νεότερους επαγγελματίες. Η συγκεκριμένη κατανομή επιτρέπει την ανάλυση διαφοροποιημένων απόψεων με βάση την επαγγελματική εμπειρία, ενώ παράλληλα

υποδεικνύει την παρουσία έμπειρων στελεχών που μπορούν να λειτουργήσουν ως πηγή γνώσης και καθοδήγησης για τους νεότερους συναδέλφους τους.

Επίπεδο Εκπαίδευσης των Συμμετεχόντων (Συνολική Ανάλυση)

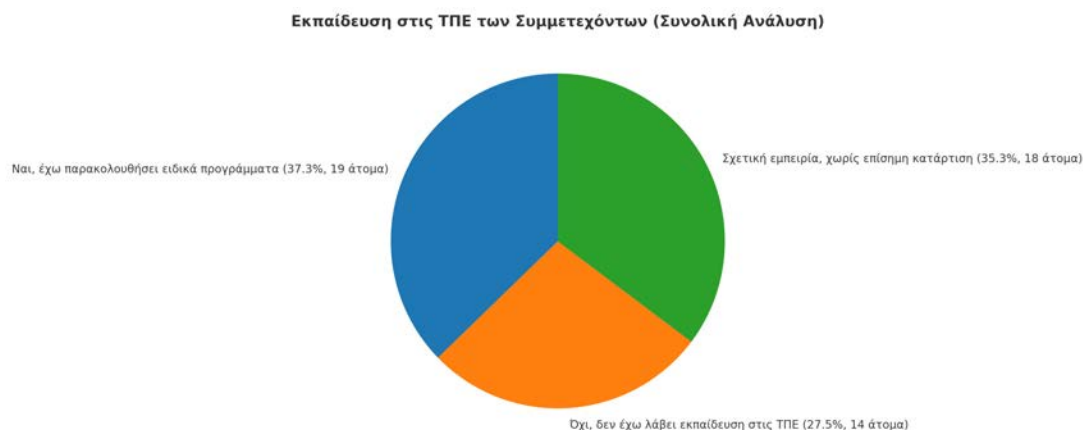


Σχήμα 11. Επίπεδο Εκπαίδευσης

Η ανάλυση του επιπέδου εκπαίδευσης (Σχήμα 11) των 51 συμμετεχόντων δείχνει ότι η πλειονότητα (68,6%, 35 άτομα) έχει μεταπτυχιακό τίτλο, γεγονός που υποδεικνύει υψηλή εξειδίκευση και ενδιαφέρον για τη συνεχιζόμενη ακαδημαϊκή ανάπτυξη. Οι συμμετέχοντες με βασικό πτυχίο και διδακτορικό είναι εξίσου ισοκατανεμημένοι, με 15,7% (8 άτομα) σε κάθε κατηγορία.

Η κατανομή αυτή καταδεικνύει την ισχυρή παρουσία εκπαιδευτικών με προχωρημένη εκπαίδευση, που πιθανώς συμβάλλει σε πιο ενδεδειγμένη κατανόηση και εφαρμογή σύγχρονων διδακτικών μεθόδων. Η ισότητα μεταξύ των δύο άκρων της εκπαιδευτικής κλίμακας, βασικό πτυχίο και διδακτορικό, υποδηλώνει την ύπαρξη μιας ποικιλομορφίας στις εμπειρίες και τις απόψεις, που μπορούν να εμπλουτίσουν τα αποτελέσματα της έρευνας.

Η ανάλυση των δεδομένων δείχνει ότι το 37,3% των συμμετεχόντων (19 άτομα) έχουν παρακολουθήσει ειδικά προγράμματα εκπαίδευσης στις ΤΠΕ, γεγονός που υποδηλώνει ότι υπάρχει ένα σημαντικό επίπεδο εξοικείωσης με την τεχνολογία. Επίσης, το 35,3% (18 άτομα) δηλώνουν σχετική εμπειρία χωρίς επίσημη κατάρτιση, υποδεικνύοντας την αξιοποίηση πρακτικών γνώσεων. Ωστόσο, ένα σημαντικό ποσοστό, 27,5% (14 άτομα), δεν έχει λάβει καμία εκπαίδευση στις ΤΠΕ, γεγονός που αναδεικνύει ένα κενό στη διάδοση της τεχνολογικής κατάρτισης. Από τα δεδομένα επίσης παρατηρούμε ότι η πλειονότητα των συμμετεχόντων, δηλαδή 32 άτομα (18 με σχετική εμπειρία χωρίς επίσημη κατάρτιση και 14 χωρίς καμία εκπαίδευση), δεν έχουν λάβει κάποια επίσημη μορφή κατάρτισης στις Τεχνολογίες Πληροφορικής και Επικοινωνιών (ΤΠΕ). Αυτό υποδηλώνει ότι οι περισσότεροι καθηγητές βασίζονται κυρίως στην εμπειρία και τις προσωπικές τους γνώσεις για την

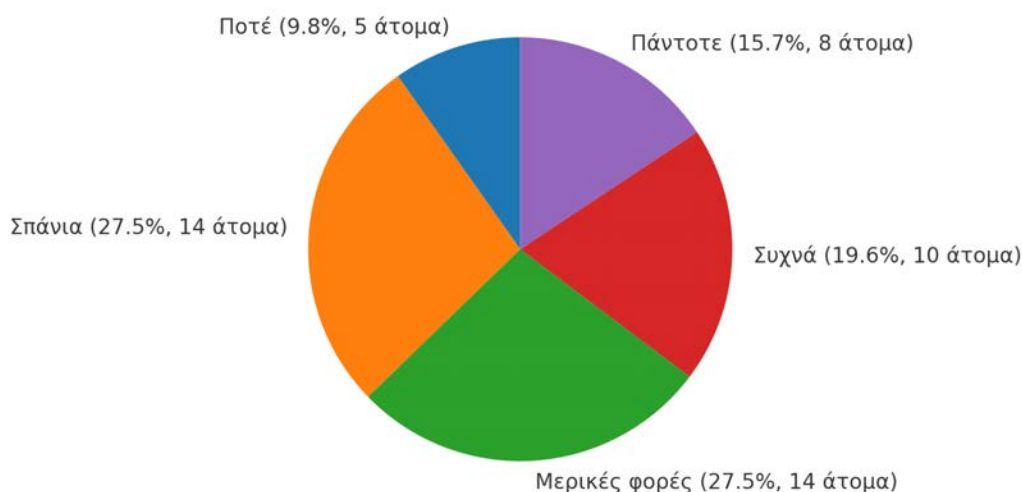


Σχήμα 12. Εκπαίδευση σε ΤΠΕ

αξιοποίηση ψηφιακών εργαλείων στην εκπαιδευτική διαδικασία εξερευνώντας μόνοι τους τις δυνατότητες και εφαρμογές των ΤΠΕ.

Η συγκεκριμένη διαπίστωση αναδεικνύει ένα σημαντικό έλλειμμα στην επίσημη εκπαίδευση των εκπαιδευτικών στις ΤΠΕ, ενώ ταυτόχρονα επισημαίνει την ανάγκη για στοχευμένα προγράμματα επιμόρφωσης, ώστε να ενισχυθεί η τεχνολογική τους επάρκεια και να διευκολυνθεί η ενσωμάτωση των ψηφιακών εργαλείων στην καθημερινή διδασκαλία.

**Συχνότητα Χρήσης Ψηφιακών Εργαλείων
στη Διδασκαλία του Φωτοηλεκτρικού Φαινομένου (51 απαντήσεις)**



Σχήμα 13. Συχνότητα χρήσης ΤΠΕ

Η κατανομή της συχνότητας χρήσης ψηφιακών εργαλείων (Σχήμα 13) δείχνει μια αξιοσημείωτη διαφοροποίηση μεταξύ των συμμετεχόντων. Ειδικότερα, οι κατηγορίες "Σπάνια" και "Μερικές φορές" έχουν ίσα ποσοστά, με 27,5% η καθεμία (14 άτομα), υποδηλώνοντας ότι πάνω από το μισό δείγμα χρησιμοποιεί τα εργαλεία σε πολύ περιορισμένη βάση. Οι συμμετέχοντες που δηλώνουν ότι χρησιμοποιούν συχνά τα ψηφιακά εργαλεία

ανέρχονται στο 19,6% (10 άτομα), ενώ εκείνοι που τα χρησιμοποιούν πάντα αποτελούν το 15,7% (8 άτομα).

Παράλληλα, ένα μικρό ποσοστό (9,8%, 5 άτομα) δεν χρησιμοποιεί ποτέ ψηφιακά εργαλεία, γεγονός που μπορεί να οφείλεται σε ελλείψεις υποδομών ή εξοικείωσης. Η συγκεκριμένη κατανομή αναδεικνύει την ανάγκη για στοχευμένες παρεμβάσεις, όπως εκπαίδευση και τεχνική υποστήριξη, προκειμένου να ενισχυθεί η συχνότητα και η ποιότητα της χρήσης ψηφιακών εργαλείων στην εκπαιδευτική διαδικασία.

Το επίπεδο εκπαίδευσης των εκπαιδευτικών επίσης φαίνεται να επηρεάζει την εξοικείωση τους με τις ΤΠΕ. Οι καθηγητές με μεταπτυχιακούς και διδακτορικούς τίτλους σπουδών παρουσιάζουν μεγαλύτερη ευχέρεια στη χρήση τεχνολογικών εργαλείων σε σύγκριση με εκείνους που διαθέτουν μόνο βασικό πτυχίο. Άλλωστε, η αυξημένη εξοικείωση αποδίδεται στην έκθεση σε ερευνητικές διαδικασίες και στην εξοικείωση με σύγχρονες διδακτικές μεθόδους κατά τη διάρκεια των σπουδών τους (Ertmer et al.,2012).

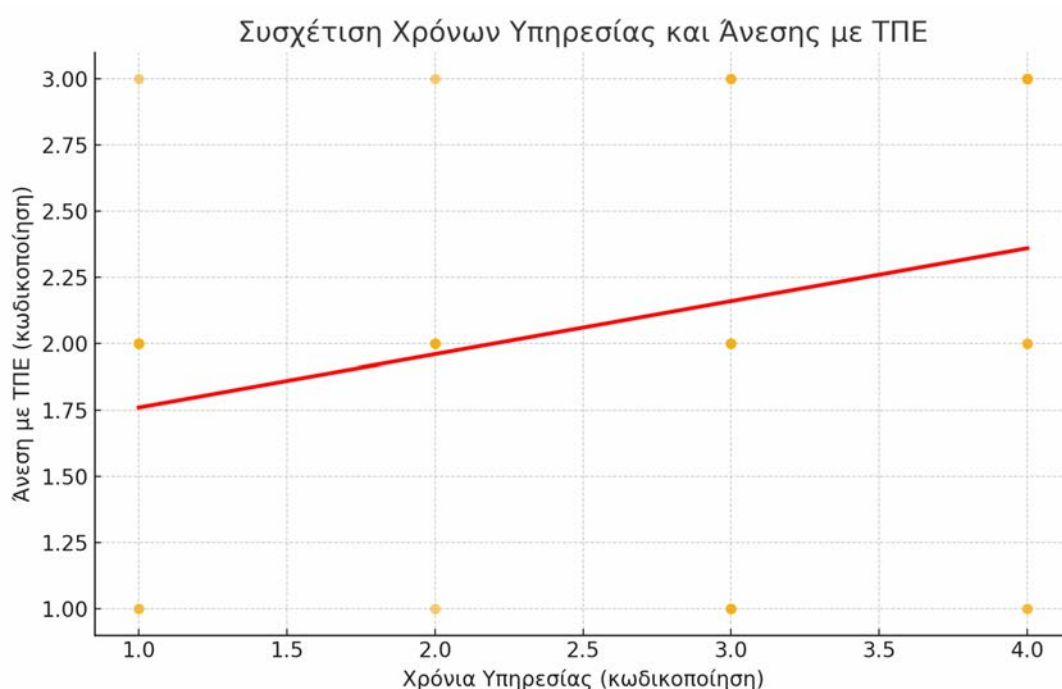
Όσον αφορά την ηλικιακή κατανομή, φαίνεται πως οι νεότεροι εκπαιδευτικοί, και συγκεκριμένα εκείνοι στην ηλικιακή ομάδα των 28-38 ετών, δείχνουν υψηλότερη εξοικείωση με τις τεχνολογίες αυτές. Αυτή η εξοικείωση μειώνεται σταδιακά στις μεγαλύτερες ηλικιακές ομάδες, καθώς οι εκπαιδευτικοί που ανήκουν σε αυτές έχουν, κατά κανόνα, μικρότερη έκθεση σε ψηφιακά εργαλεία λόγω της χρονικής απόστασης από την αρχική τους εκπαίδευση. Η έρευνα μας συμφωνεί με τα αποτελέσματα μιας εθνικής έρευνας του Κέντρου Ανάπτυξης Εκπαιδευτικής Πολιτικής της ΓΣΕΕ το 2020 επικεντρώθηκε στις ψηφιακές δεξιότητες των εργαζομένων στην Ελλάδα (ΚΑΝΕΠ-ΓΣΕΕ,2020). Σύμφωνα με τα διαθέσιμα στοιχεία, η μελέτη ανέλυσε την απασχόληση ατόμων με εκπαίδευση στον τομέα της Πληροφορικής και των Τεχνολογιών Πληροφορικής και Επικοινωνιών (ΤΠΕ). Συγκεκριμένα, εξετάστηκε το ποσοστό των εργαζομένων με εξειδίκευση στις ΤΠΕ, το οποίο το 2020 ανέρχόταν σε 2% της συνολικής απασχόλησης στην Ελλάδα, κατατάσσοντας τη χώρα στην 25η θέση μεταξύ των 27 κρατών-μελών της ΕΕ.

Η εις βάθος ανάλυση των δεδομένων ανέδειξε ενδιαφέρουσες πτυχές σχετικά με τη χρήση και την άνεση των ΤΠΕ από τους εκπαιδευτικούς, καθώς και τους παράγοντες που τις επηρεάζουν. Αρχικά, βρέθηκε ότι τα χρόνια υπηρεσίας έχουν μια ελαφρά θετική συσχέτιση με την άνεση των εκπαιδευτικών στη χρήση ΤΠΕ, με συντελεστή Pearson $r=0.302$ και $p=0.046$, υποδεικνύοντας ότι η συσχέτιση είναι στατιστικά σημαντική σε επίπεδο 0.05. Αυτό δείχνει ότι οι εκπαιδευτικοί με περισσότερα χρόνια εμπειρίας αισθάνονται πιο άνετα με τη χρήση των ΤΠΕ, γεγονός που πιθανώς οφείλεται στη μεγαλύτερη αυτοπεποίθηση που αποκτούν με την πάροδο του χρόνου. Η κόκκινη γραμμή στο διάγραμμα αντιπροσωπεύει μια γραμμή τάσης (regression line) που δείχνει τη γενική τάση της σχέσης μεταξύ των χρόνων υπηρεσίας και της άνεσης με τις ΤΠΕ. Η θετική της κλίση υποδηλώνει ότι, γενικά, όσο αυξάνονται τα χρόνια υπηρεσίας, αυξάνεται και η άνεση με τις ΤΠΕ (σχήμα 14). Για τη δημιουργία του διαγράμματος, οι κατηγορίες Χρόνια υπηρεσίας” και Άνεση με ΤΠΕ” κωδικοποιήθηκαν σε αριθμητικές τιμές ώστε να είναι δυνατή η ανάλυση και η οπτικοποίηση.

Συγκεκριμένα, τα χρόνια υπηρεσίας στην εκπαίδευση κωδικοποιήθηκαν ως εξής: 0-5 έτη αντιστοιχούν στην τιμή 1, 6-10 έτη στην τιμή 2, 11-20 έτη στην τιμή 3, και πάνω από 20 έτη στην τιμή 4. Αντίστοιχα, το επίπεδο άνεσης με τη χρήση ΤΠΕ κωδικοποιήθηκε με τις εξής τιμές: Καθόλου άνετα” ως 1, Λίγο άνετα” ως 2, Ουδέτερα” ως 3, Αρκετά άνετα” ως 4, και “Πολύ άνετα” ως 5. Έτσι, κάθε εκπαιδευτικός που συμμετείχε στην έρευνα είχε μια αριθμητική αναπαράσταση των χρόνων υπηρεσίας και του επιπέδου άνεσης με ΤΠΕ. Κάθε πορτοκαλί σημείο στο διάγραμμα αντιπροσωπεύει έναν εκπαιδευτικό και δείχνει τη σχέση μεταξύ:

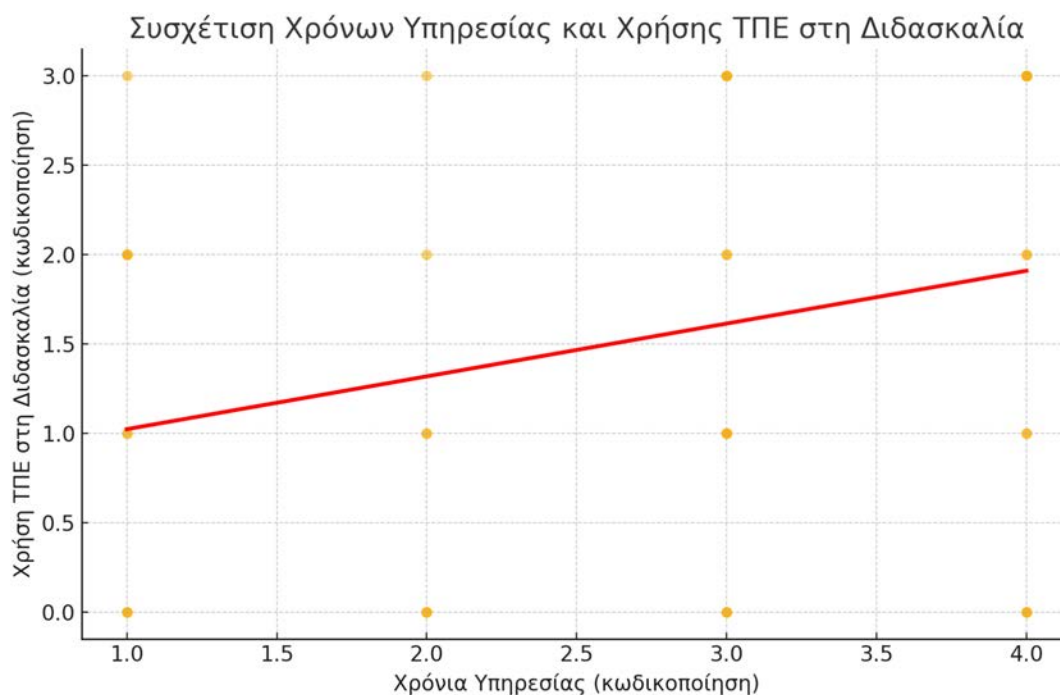
Των χρόνων υπηρεσίας του (x-άξονας) Του επιπέδου άνεσης που νιώθει με τη χρήση ΤΠΕ (y-άξονας) Δηλαδή, αν ένας εκπαιδευτικός έχει 6-10 έτη υπηρεσίας και νιώθει ουδέτερος απέναντι στις ΤΠΕ, το σημείο του θα είναι περίπου στη θέση (2, 3).

Ωστόσο, η συσχέτιση μεταξύ χρόνων υπηρεσίας και της συχνότητας χρήσης των ΤΠΕ ήταν μικρότερη ($r=0.278$, $p=0.068$) και όχι στατιστικά σημαντική, υποδεικνύοντας ότι η εμπειρία από μόνη της δεν οδηγεί απαραίτητα σε αυξημένη χρήση των εργαλείων αυτών στη διδασκαλία. Η θετική κλίση της γραμμής παλινδρόμησης στο διάγραμμα οφείλεται στο γεγονός ότι το μέσο επίπεδο χρήσης των ΤΠΕ αυξάνεται ελαφρώς με τα χρόνια υπηρεσίας, έστω και αν η συσχέτιση δεν είναι στατιστικά σημαντική (σχήμα 15).



Σχήμα 14. Συσχέτιση Χρόνων Υπηρεσίας Και Άνεσης Με ΤΠΕ

Η εκπαίδευση στις ΤΠΕ εξετάστηκε μέσω της ανάλυσης διασποράς (ANOVA), η οποία έδειξε ότι δεν υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές ούτε στην άνεση ($F=0.316$, $p=0.731$) ούτε στη χρήση ($F=0.930$, $p=0.403$) ανάμεσα στις ομάδες εκπαιδευτικών με διαφορετικά επίπεδα εκπαίδευσης στις ΤΠΕ. Παρατηρούμε δηλαδή ότι η παρακολούθηση

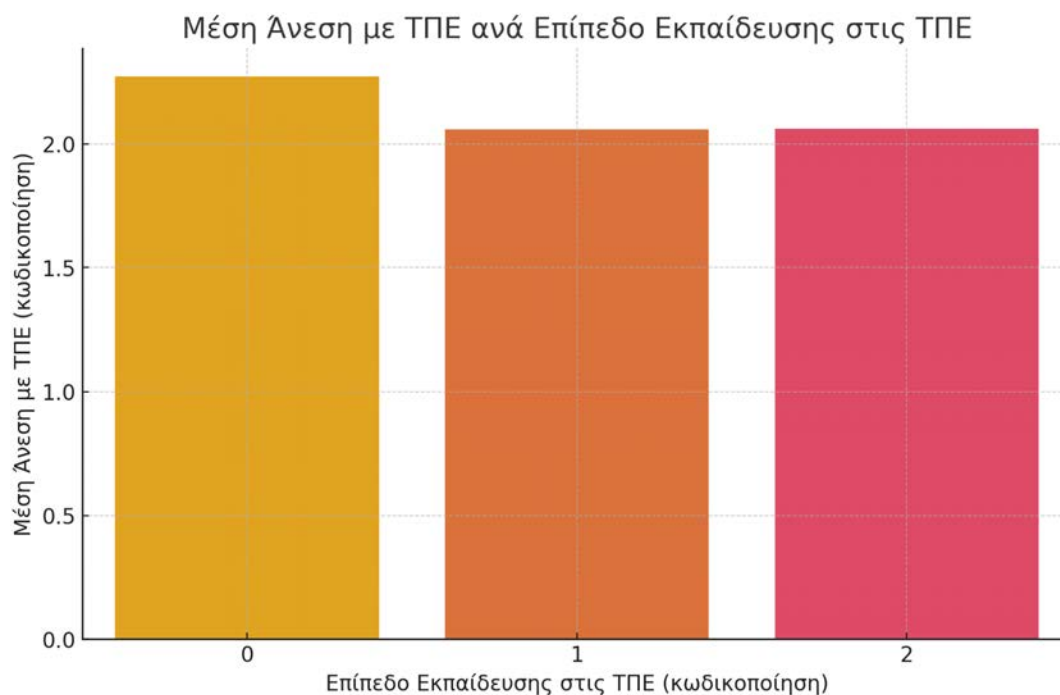


Σχήμα 15. Συσχέτιση Χρόνων Υπηρεσίας Και Χρήσης ΤΠΕ Στη Διδασκαλία

ειδικών προγραμμάτων εκπαίδευσης στις ΤΠΕ δεν αποτελεί από μόνη της καθοριστικό παράγοντα για την άνεση ή τη χρήση τους, πιθανώς λόγω της περιορισμένης πρακτικής εφαρμογής αυτών των προγραμμάτων.

Η ανάλυση των μέσων όρων για την άνεση και τη χρήση ΤΠΕ, όπως παρουσιάστηκε στα γραφήματα (Σχήμα 17 και 18), αποκαλύπτει ενδιαφέροντα ευρήματα σχετικά με την επίδραση της εκπαίδευσης στις ΤΠΕ. Συγκεκριμένα, η μέση άνεση με τις ΤΠΕ δεν φαίνεται να διαφέρει σημαντικά μεταξύ των τριών ομάδων εκπαιδευτικών: αυτών που δεν έχουν λάβει εκπαίδευση στις ΤΠΕ (κωδικοποίηση 0), αυτών που έχουν σχετική εμπειρία αλλά χωρίς επίσημη κατάρτιση (κωδικοποίηση 1), και αυτών που έχουν παρακολουθήσει ειδικά προγράμματα εκπαίδευσης (κωδικοποίηση 2). Οι μέσοι όροι της άνεσης είναι σχεδόν ταυτόσημοι, υποδεικνύοντας ότι η εκπαίδευση, όπως παρέχεται, δεν επιφέρει αξιοσημείωτη αλλαγή στην αυτοπεποίθηση των εκπαιδευτικών για τη χρήση των ΤΠΕ. Η διαδικασία αυτή επιβεβαιώνει ότι οι διαφορές μεταξύ των ομάδων, τόσο στην "Άνεση" όσο και στη "Χρήση" των ΤΠΕ, είναι πολύ μικρές. Παρότι οι εκπαιδευτικοί που έχουν παρακολουθήσει επίσημα προγράμματα εκπαίδευσης στις ΤΠΕ δείχνουν ελαφρώς καλύτερα αποτελέσματα, αυτά δεν είναι αρκετά για να θεωρηθούν στατιστικά ή πρακτικά σημαντικά. Αυτό υποστηρίζει τα αποτελέσματα της ANOVA, όπου δεν εντοπίστηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των ομάδων.

Παρομοίως, η μέση χρήση των ΤΠΕ στη διδασκαλία παρουσιάζει παρόμοια εικόνα. Αν και η ομάδα των εκπαιδευτικών που έχει λάβει επίσημη εκπαίδευση (κωδικοποίηση 2, σχήμα 18) φαίνεται να χρησιμοποιεί ελαφρώς περισσότερο τις ΤΠΕ, οι διαφορές παραμένουν μικρές



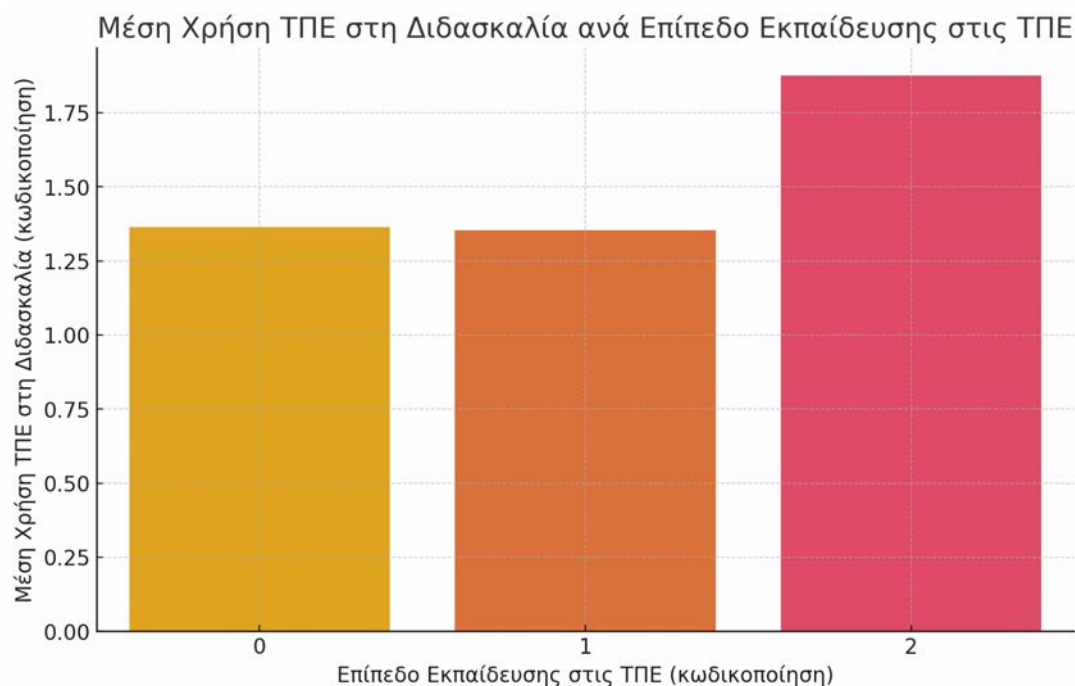
Σχήμα 16. Μέση Άνεση Με ΤΠΕ Ανά Επίπεδο Εκπαίδευσης Στις ΤΠΕ

και όχι στατιστικά σημαντικές. Αυτό υποδεικνύει ότι η επίσημη εκπαίδευση δεν αρκεί από μόνη της για να αυξήσει τη συχνότητα χρήσης των ψηφιακών εργαλείων στη διδασκαλία.

Συνολικά, τα ευρήματα αυτά υποδηλώνουν ότι η εκπαίδευση στις ΤΠΕ, όπως παρέχεται σήμερα, πιθανώς δεν ανταποκρίνεται στις πραγματικές ανάγκες των εκπαιδευτικών. Παρά την επίσημη κατάρτιση ή τη σχετική εμπειρία, δεν παρατηρούνται ουσιαστικές βελτιώσεις ούτε στην άνεση ούτε στη χρήση των ΤΠΕ, γεγονός που υπογραμμίζει την ανάγκη για πιο στοχευμένα και πρακτικά εκπαιδευτικά προγράμματα που θα εστιάζουν στη σύνδεση θεωρίας και πράξης.

Επιπλέον, η ανάλυση σχετικά με τη σημασία που αποδίδουν οι εκπαιδευτικοί στην επιμόρφωση για τα σύγχρονα ψηφιακά εργαλεία έδειξε ότι δεν υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές στην άνεση ($F=0.758$, $p=0.475$) ή στη χρήση ($F=1.457$, $p=0.245$) μεταξύ των εκπαιδευτικών που θεωρούν την επιμόρφωση πολύ, αρκετά ή λιγότερο σημαντική. Αυτό υποδεικνύει ότι οι αντιλήψεις για τη σημασία της επιμόρφωσης δεν επηρεάζουν άμεσα τη συμπεριφορά ή την αυτοπεποίθηση στη χρήση των ΤΠΕ, ενώ άλλοι παράγοντες, όπως η πρόσβαση σε τεχνολογικούς πόρους ή η πραγματική εφαρμογή των γνώσεων στην τάξη, φαίνεται να παίζουν μεγαλύτερο ρόλο.

Συνολικά, τα ευρήματα υποδεικνύουν ότι ενώ η εμπειρία μπορεί να ενισχύσει την αυτοπεποίθηση στη χρήση των ΤΠΕ, η εφαρμογή τους στη διδασκαλία εξαρτάται από μια σειρά παραμέτρων που ξεπερνούν την προσωπική εκπαίδευση ή τις απόψεις για τη σημασία της επιμόρφωσης. Οι πολιτικές για τη βελτίωση της διδασκαλίας με ΤΠΕ θα πρέπει να επικεντρωθούν στη βελτίωση της ποιότητας της εκπαίδευσης, στην πρακτική υποστήριξη



Σχήμα 17. Μέση Χρήση ΤΠΕ Στη Διδασκαλία Ανά Επίπεδο Εκπαίδευσης Στις ΤΠΕ

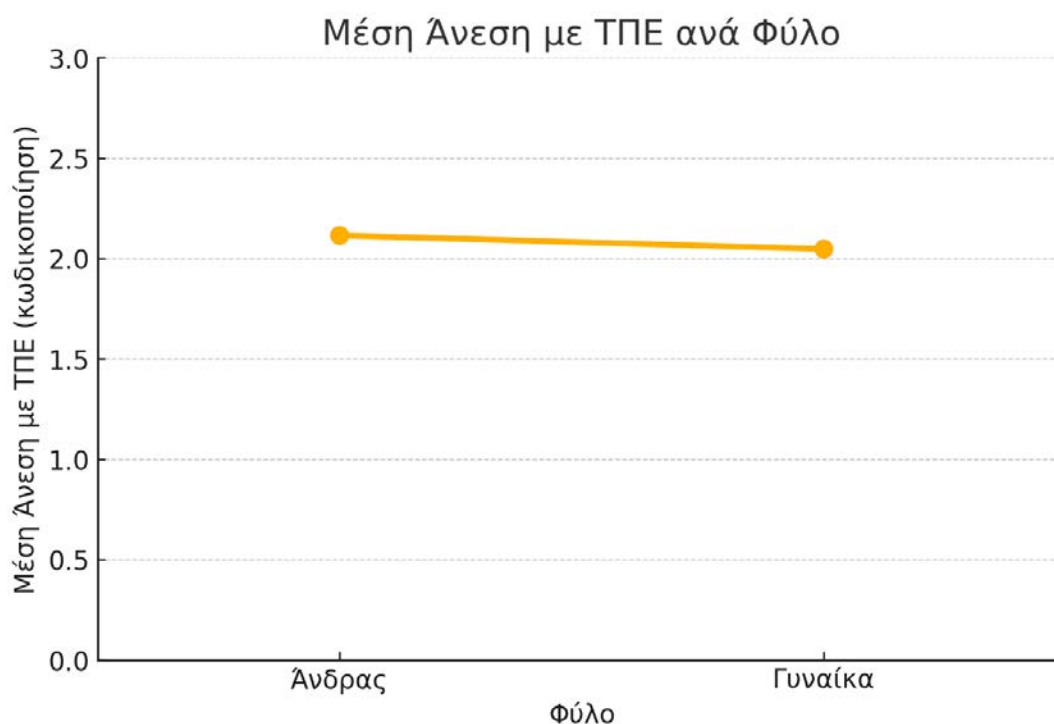
των εκπαιδευτικών, καθώς και στη διασφάλιση επαρκών πόρων και εργαλείων στις σχολικές μονάδες. Αυτός ο συνδυασμός μπορεί να οδηγήσει σε πιο ουσιαστική ενσωμάτωση των ΤΠΕ στη διδασκαλία.

Όσον αφορά το φύλο, τα δεδομένα της πανελλαδικής του ΚΑΝΕΠ -ΓΣΕΕ έδειχναν πως οι άνδρες εκπαιδευτικοί κυριαρχούν στη χρήση των ΤΠΕ, με τις γυναίκες να αποτελούν περίπου το 30% των χρηστών, ποσοστό που, αν και περιορισμένο, είναι το δεύτερο υψηλότερο στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Αυτή η τάση αντανακλά ευρύτερα κοινωνικά δεδομένα στον τομέα των ΤΠΕ και υποδεικνύει ότι, αν και υπάρχει ανισότητα στα δύο φύλα στον τομέα αυτό, η Ελλάδα διατηρεί σχετικά υψηλή συμμετοχή γυναικών εκπαιδευτικών στις ΤΠΕ (ΚΑΝΕΠ-ΓΣΕΕ,2020). Η δική μας έρευνα όμως επικεντρώθηκε στην επίδραση του φύλου στις μεταβλητές "Άνεση με τις ΤΠΕ" και "Χρήση ΤΠΕ". Για να γίνει αυτό, πραγματοποιήθηκε πρώτα η κωδικοποίηση των ποιοτικών δεδομένων, ώστε οι απαντήσεις που είχαν αρχικά καταγραφεί σε λεκτική μορφή (π.χ., "Πολύ άνετα", "Συχνά") να μετατραπούν σε αριθμητικές τιμές. Συγκεκριμένα, για την άνεση με τις ΤΠΕ, οι απαντήσεις κωδικοποιήθηκαν σε μια κλίμακα από 0 έως 3 (όπου 0 = "Καθόλου άνετα" και 3 = "Πολύ άνετα"). Αντίστοιχα, η χρήση ΤΠΕ κωδικοποιήθηκε σε μια κλίμακα από 0 έως 3 (όπου 0 = "Σπάνια" και 3 = "Πάντοτε"). Αυτή η μετατροπή επέτρεψε τη χρήση στατιστικών μεθόδων, όπως η σύγκριση μέσων όρων και τα t-tests.

Με βάση την ανάλυση, προέκυψαν οι ακόλουθοι μέσοι όροι για τις δύο μεταβλητές, ανάλογα με το φύλο. Στην "Άνεση με τις ΤΠΕ", οι άνδρες είχαν μέσο όρο 2.12, που αντιστοιχεί στην κατηγορία "Αρκετά άνετα", με τυπική απόκλιση 0.77 και πλήθος 26 ατόμων.

Οι γυναίκες είχαν μέσο όρο 2.05, επίσης κοντά στην κατηγορία "Αρκετά άνετα", με τυπική απόκλιση 0.74 και πλήθος 21 ατόμων. Στη "Χρήση των ΤΠΕ", οι άνδρες είχαν μέσο όρο 1.30, που βρίσκεται μεταξύ των κατηγοριών "Μερικές φορές" και "Σπάνια", με τυπική απόκλιση 1.22 και πλήθος 23 ατόμων. Αντίστοιχα, οι γυναίκες είχαν μέσο όρο 1.65, που πλησιάζει περισσότερο στην κατηγορία "Μερικές φορές", με τυπική απόκλιση 1.23 και πλήθος 23 ατόμων.

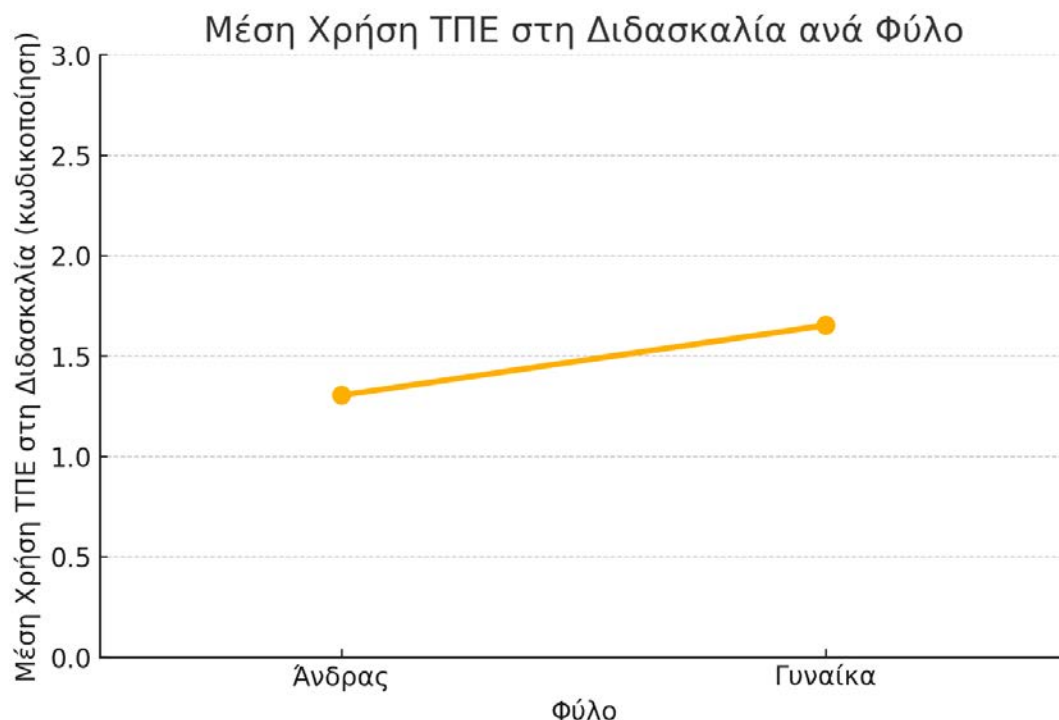
Για να εξεταστεί αν οι διαφορές στους μέσους όρους μεταξύ ανδρών και γυναικών είναι στατιστικά σημαντικές, διεξήχθησαν t-tests ανεξάρτητων δειγμάτων. Για την "Άνεση με τις ΤΠΕ", το t-statistic ήταν 0.31 και το p-value ήταν 0.76, δείχνοντας ότι δεν υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές. Αντίστοιχα, για τη "Χρήση ΤΠΕ", το t-statistic ήταν -0.96 και το p-value ήταν 0.34, επιβεβαιώνοντας και πάλι την έλλειψη στατιστικά σημαντικών διαφορών.



Σχήμα 18. Μέση Άνεση Με ΤΠΕ Ανά Φύλο

Η οπτικοποίηση των δεδομένων μέσω των point plots αποκαλύπτει με σαφήνεια τη σχέση μεταξύ φύλου και των δύο μεταβλητών: Άνεση με τις ΤΠΕ και Χρήση ΤΠΕ στη Διδασκαλία. Στην περίπτωση της Άνεσης με τις ΤΠΕ, οι μέσες τιμές που παρατηρήθηκαν για τους άνδρες και τις γυναίκες είναι σχεδόν ταυτόσημες. Αυτό δείχνει ότι δεν υπάρχουν ουσιαστικές διαφορές μεταξύ των δύο φύλων όσον αφορά την αυτοπεποίθηση που νιώθουν για τη χρήση των ΤΠΕ κατά τη διδασκαλία.

Αντίστοιχα, στην περίπτωση της Χρήσης ΤΠΕ στη Διδασκαλία, οι γυναίκες εμφανίζουν ελαφρώς υψηλότερη μέση τιμή σε σύγκριση με τους άνδρες. Παρόλα αυτά, η διαφορά



Σχήμα 19. Μέση Χρήση ΤΠΕ Στη Διδασκαλία Ανά Φύλο

είναι μικρή και, όπως φάνηκε από τη στατιστική ανάλυση, δεν είναι στατιστικά σημαντική. Αυτό υποδηλώνει ότι το φύλο δεν αποτελεί παράγοντα που επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό τη συχνότητα χρήσης των ΤΠΕ.

Τα αποτελέσματα αυτά δείχνουν ότι οι άνδρες και οι γυναίκες έχουν παρόμοια επίπεδα άνεσης και συχνότητας χρήσης ΤΠΕ. Το φύλο, επομένως, δεν φαίνεται να αποτελεί παράγοντα διαφοροποίησης στην προσέγγιση των ΤΠΕ από τους εκπαιδευτικούς. Αυτό υποδηλώνει ότι άλλοι παράγοντες, όπως η εμπειρία, η πρόσβαση σε τεχνολογικά εργαλεία ή η εκπαίδευση, παίζουν πιο σημαντικό ρόλο στον τρόπο με τον οποίο οι εκπαιδευτικοί αισθάνονται άνετα ή χρησιμοποιούν τα ΤΠΕ στη διδασκαλία τους.

Τέλος, όσον αφορά τα χρόνια εμπειρίας, η εξοικείωση με τις ΤΠΕ δεν φαίνεται να μειώνεται ιδιαίτερα με την αύξηση της διδακτικής εμπειρίας. Συγκεκριμένα, οι εκπαιδευτικοί με 11 έως 20 έτη εμπειρίας παρουσιάζουν υψηλά επίπεδα εξοικείωσης με τις τεχνολογίες, γεγονός που υποδηλώνει ότι η συνεχής επιμόρφωση και η επαγγελματική ανάπτυξη μπορούν να συντελέσουν στην εξοικείωση ακόμα και στους πιο έμπειρους διδάσκοντες συμφωνώντας έτσι με τις σχετικές έρευνες (Ertmer et al., 2012).

Συνολικά, τα παραπάνω ευρήματα υπογραμμίζουν τη σημασία των δημογραφικών και ακαδημαϊκών παραμέτρων στην εξοικείωση των εκπαιδευτικών φυσικής με τις Τεχνολογίες Πληροφορίας και Επικοινωνίας (ΤΠΕ). Παράγοντες όπως η ηλικία, τα χρόνια διδακτικής εμπειρίας, το επίπεδο εκπαίδευσης και η προηγούμενη έκθεση σε επιμορφωτικά προγράμματα σχετίζονται άμεσα με την ευχέρεια και την αυτοπεποίθηση των εκπαιδευτικών στη χρήση

ψηφιακών εργαλείων. Για παράδειγμα, νεότεροι εκπαιδευτικοί ή εκείνοι που έχουν πρόσφατα συμμετάσχει σε προγράμματα επιμόρφωσης τείνουν να είναι πιο εξοικειωμένοι με τις ΤΠΕ, ενώ οι πιο έμπειροι συχνά αναζητούν πρακτικές λύσεις που εστιάζουν στην προσαρμογή της τεχνολογίας στις ανάγκες της τάξης.

Αυτή η διαφοροποίηση καθιστά σαφή την ανάγκη για στοχευμένη επιμόρφωση που να λαμβάνει υπόψη τα διαφορετικά επίπεδα εξοικείωσης των εκπαιδευτικών με τις ΤΠΕ. Για παράδειγμα, προγράμματα επιμόρφωσης που περιλαμβάνουν βασικές γνώσεις για αρχάριους, αλλά και προχωρημένες δεξιότητες για έμπειρους χρήστες, μπορούν να ανταποκριθούν στις ανάγκες ενός ευρύτερου φάσματος εκπαιδευτικών. Παράλληλα, η επιμόρφωση θα πρέπει να συνδυάζεται με πρακτική υποστήριξη και παροχή εργαλείων που θα βοηθούν τους εκπαιδευτικούς να ενσωματώνουν τις ΤΠΕ στην καθημερινή τους διδακτική πρακτική.

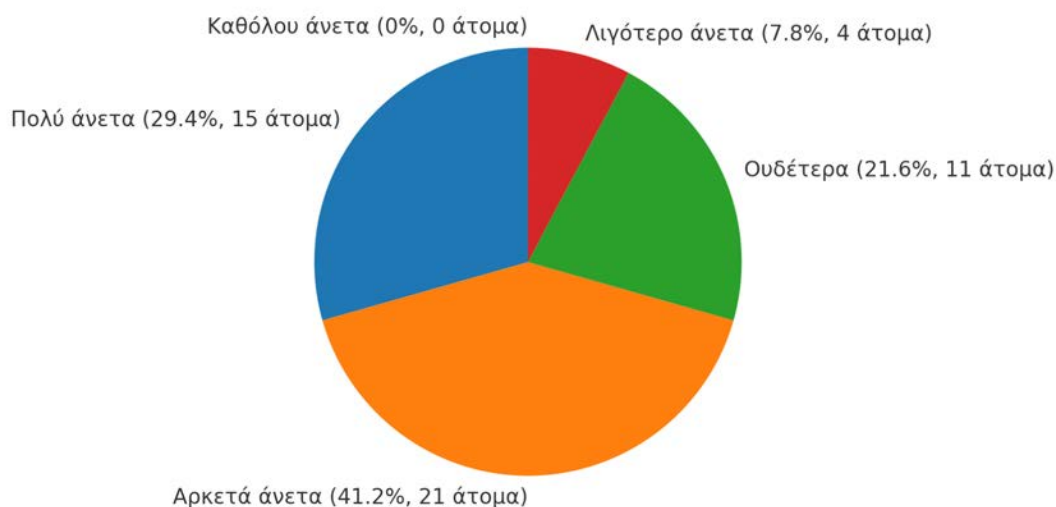
Η ενίσχυση των ψηφιακών δεξιοτήτων στο εκπαιδευτικό περιβάλλον δεν αφορά μόνο τη χρήση ψηφιακών εργαλείων αλλά και την κατανόηση της παιδαγωγικής τους διάστασης. Οι εκπαιδευτικοί πρέπει να είναι σε θέση να αξιολογούν ποια εργαλεία και προσεγγίσεις είναι πιο κατάλληλα για την επίτευξη των μαθησιακών στόχων, λαμβάνοντας υπόψη τις ανάγκες των μαθητών τους. Επιπλέον, η χρήση ΤΠΕ μπορεί να ενισχύσει τη δημιουργικότητα και την αυτονομία των μαθητών, καθιστώντας τη διδασκαλία πιο διαδραστική και αποτελεσματική (Inan et al., 2010).

Αυτή η βάση για στοχευμένη επιμόρφωση και υποστήριξη αποτελεί ένα σημαντικό βήμα για τη δημιουργία ενός πιο σύγχρονου εκπαιδευτικού περιβάλλοντος. Η επένδυση στις ψηφιακές δεξιότητες των εκπαιδευτικών φυσικής είναι κρίσιμη, όχι μόνο για την αποτελεσματικότητα της διδασκαλίας αλλά και για την προετοιμασία των μαθητών να αντιμετωπίσουν τις απαιτήσεις μιας τεχνολογικά προηγμένης κοινωνίας. Με αυτόν τον τρόπο, η εκπαιδευτική κοινότητα μπορεί να ανταποκριθεί στις προκλήσεις του 21ου αιώνα, ενισχύοντας τόσο τη διδασκαλία όσο και τη μάθηση (Tondeur et al., 2012).

Η κατανομή των επιπέδων άνεσης στη διδασκαλία του φωτοηλεκτρικού φαινομένου (Σχήμα 15) δείχνει ότι το μεγαλύτερο ποσοστό των συμμετεχόντων (41,2%, 21 άτομα) δηλώνουν ότι αισθάνονται αρκετά άνετα, ενώ ένα σημαντικό ποσοστό (29,4%, 15 άτομα) δηλώνουν ότι αισθάνονται πολύ άνετα. Οι εκπαιδευτικοί που δηλώνουν ουδέτερα συναισθήματα ανέρχονται στο 21,6% (11 άτομα), ενώ μόνο το 7,8% (4 άτομα) αισθάνονται λιγότερο άνετα. Είναι αξιοσημείωτο ότι κανένας συμμετέχων δεν δηλώνει ότι αισθάνεται καθόλου άνετα με τη διδασκαλία του θέματος.

Αυτή η κατανομή αναδεικνύει ότι οι περισσότεροι εκπαιδευτικοί έχουν θετική στάση απέναντι στη διδασκαλία του φωτοηλεκτρικού φαινομένου, υποδηλώνοντας ένα καλό επίπεδο εξοικείωσης και κατανόησης. Παράλληλα, η παρουσία μιας μικρής ομάδας που αισθάνεται λιγότερο άνετα υπογραμμίζει την ανάγκη για στοχευμένη υποστήριξη και κατάρτιση, ώστε να ενισχυθεί η αυτοπεποίθηση όλων των εκπαιδευτικών στη διδασκαλία αυτής της ενότητας.

Επίπεδο Άνεσης στη Διδασκαλία του Φωτοηλεκτρικού Φαινομένου (51 απαντήσεις)

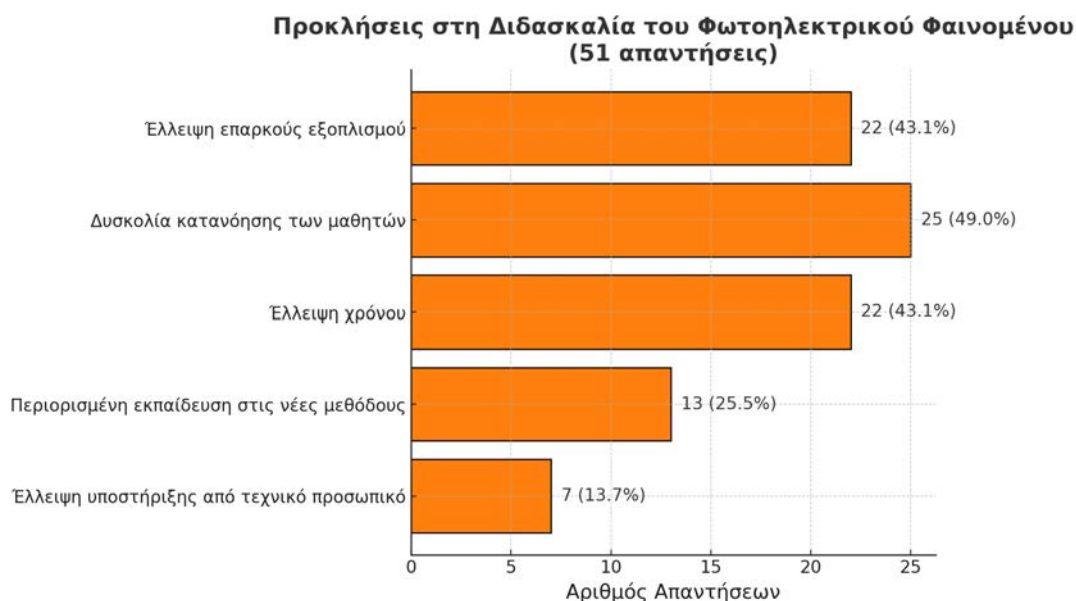


Σχήμα 20. Επίπεδο Άνεσης

Εν συνεχεία, από την ανάλυση προκύπτει ότι η πιο συχνή πρόκληση που αναφέρθηκε από τους συμμετέχοντες είναι η δυσκολία κατανόησης(του φαινομένου) από τους μαθητές, η οποία συγκεντρώνει σχεδόν το μισό ποσοστό ,δηλαδή έφτασε το 49% (25 απαντήσεις). Αυτό υπογραμμίζει την ανάγκη για πιο αποτελεσματικές και σύγχρονες διδακτικές μεθόδους για την κατανόηση του φωτοηλεκτρικού φαινομένου. Εξίσου σημαντική είναι η έλλειψη επαρκούς εξοπλισμού και η έλλειψη χρόνου, με ποσοστά 43,1% (22 απαντήσεις για κάθε πρόκληση), γεγονός που αναδεικνύει την ανάγκη για καλύτερες υλικοτεχνικές υποδομές και πιο οργανωμένο χρόνο διδασκαλίας. Μη ξεχνάμε ότι το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο αποτελεί την τελευταία διετία εξεταστέα ύλη για τις Πανελλαδικές εξετάσεις.

Επίσης η περιορισμένη εκπαίδευση στις νέες μεθόδους επηρεάζει το 25,5% (13 απαντήσεις) των συμμετεχόντων, ενώ η έλλειψη υποστήριξης από τεχνικό προσωπικό είναι μια λιγότερο συχνή πρόκληση, που καταγράφηκε στο 13,7% (7 απαντήσεις).Τα ευρήματα αυτά υπογραμμίζουν την ανάγκη για επενδύσεις σε υποδομές, επιμόρφωση και υποστήριξη, προκειμένου να αντιμετωπιστούν οι βασικές δυσκολίες που σχετίζονται με τη διδασκαλία του φωτοηλεκτρικού φαινομένου.

Στη τελευταία ερώτηση (η μόνη ανοιχτού τύπου), που αφήνει τον εκπαιδευτικό να αναφέρει, αν θέλει ποια αισθάνεται ως την μεγαλύτερη ανάγκη για για τη βελτίωση της διδασκαλίας του φωτοηλεκτρικού φαινομένου υπήρξαν πολλές απαντήσεις που εστίαζαν στην ανάγκη για σαφή καθοδήγηση και υποστήριξη από επίσημους φορείς. Τόνισαν ως πρωταρχική ανάγκη την πρόσβαση σε εκπαιδευτικό υλικό και προσβάσιμες προσομοιώσεις που να διευκολύνουν την κατανόηση του φαινομένου από τους μαθητές και ένιωσαν έντονα την ανάγκη για εκπαιδευτική καθοδήγηση με έτοιμα παραδείγματα, σχέδια μαθήματος



Σχήμα 21. Προκλήσεις

διαδραστικά εργαλεία, και ενδεχομένως ενσωματωμένα ψηφιακά εργαλεία που να του επιτρέπουν να μεταφέρουν την επιστημονική θεωρία στην πράξη με απλό τρόπο.

Ενώ διατυπώθηκε και η ανάγκη για συνεργασία με άλλους συναδέλφους με σκοπό την ανταλλαγή διδακτικών πρακτικών, ώστε να προσαρμόζει τις μεθόδους του ανάλογα με τις τρέχουσες ανάγκες της τάξης και να ενισχύσει τις κριτικές δεξιότητες των μαθητών. Η περαιτέρω ανάλυση των δεδομένων για τις ανάγκες βελτίωσης της διδασκαλίας του φωτοηλεκτρικού φαινομένου φανερώνει πολυεπίπεδες προκλήσεις που απαιτούν στοχευμένες παρεμβάσεις. Η σημαντικότερη ανάγκη, που αναφέρεται από το 39,2% των συμμετεχόντων, είναι τελικά η παροχή επιπλέον εκπαιδευτικού υλικού και προσομοιώσεων. Αυτή η ανάγκη αντικατοπτρίζει το κενό στην πρόσβαση σε πόρους που διευκολύνουν την κατανόηση του φωτοηλεκτρικού φαινομένου και υπογραμμίζει την ανάγκη για υλικό που προσαρμόζεται στις ανάγκες των μαθητών και των εκπαιδευτικών.

Η δεύτερη πιο συχνά αναφερόμενη ανάγκη, με ποσοστό 29,4% (15 απαντήσεις), είναι η επιμόρφωση των εκπαιδευτικών στις Τεχνολογίες Πληροφορίας και Επικοινωνίας (ΤΠΕ) και γενικότερα στα ψηφιακά εργαλεία. Αυτό δείχνει ότι, παρά την αυξημένη διαθεσιμότητα τεχνολογίας, οι εκπαιδευτικοί αισθάνονται την ανάγκη για πιο στοχευμένη επαγγελματική ανάπτυξη, που να περιλαμβάνει πρακτική εξάσκηση στις εφαρμογές ΤΠΕ στην εκπαιδευτική διαδικασία. Η αποτελεσματική χρήση αυτών των εργαλείων θα μπορούσε να ενισχύσει τη διδασκαλία, διευκολύνοντας τη βιωματική μάθηση και την αλληλεπίδραση.

Η ανάγκη για ανάπτυξη πιο απλών και πρακτικών πειραμάτων, που εκφράζεται από το 15,7% των συμμετεχόντων, αναδεικνύει την πρόκληση της εφαρμογής του φαινομένου στην πράξη. Πολλοί εκπαιδευτικοί αναζητούν λύσεις που θα είναι οικονομικά αποδοτικές, προσιτές

και εύκολες στη χρήση, ώστε να ενισχύσουν την εμπλοκή των μαθητών με τη φυσική μέσω πειραμάτων.

Η έλλειψη τεχνικής υποστήριξης από εξειδικευμένο προσωπικό, που καταγράφηκε στο 9,8% (5 απαντήσεις), αποτελεί κρίσιμο εμπόδιο. Αυτή η ανάγκη είναι ιδιαίτερα σημαντική, καθώς η έλλειψη τεχνογνωσίας και άμεσης βοήθειας κατά τη χρήση εξειδικευμένων εργαλείων μπορεί να αποθαρρύνει τους εκπαιδευτικούς από τη χρήση των ΤΠΕ ή την πραγματοποίηση πειραμάτων. Η τεχνική υποστήριξη δεν αποτελεί μόνο αναγκαία υποδομή, αλλά και παράγοντα που επηρεάζει την αυτοπεποίθηση των εκπαιδευτικών κατά την ενσωμάτωση νέων εργαλείων στη διδασκαλία.

Ποια είναι η μεγαλύτερη ανάγκη σας για τη βελτίωση της διδασκαλίας του φωτοηλεκτρικού φαινομένου;
51 απαντήσεις



Σχήμα 22. Βελτίωση Διδασκαλίας

6.4 Συμπεράσματα και Σύγκριση Αποτελεσμάτων

Η ανάλυση των δεδομένων της έρευνας ανέδειξε κρίσιμα ζητήματα στη διδασκαλία του φωτοηλεκτρικού φαινομένου, τα οποία παρουσιάζουν αξιοσημείωτες ομοιότητες με ευρήματα από τη βιβλιογραφία. Πρωταρχικά, η μεγαλύτερη ανάγκη που καταγράφηκε είναι η παροχή επιπλέον εκπαιδευτικού υλικού και προσομοιώσεων, γεγονός που αντικατοπτρίζει τα ευρήματα προηγούμενων ερευνών στον ελληνικό χώρο (π.χ. ΚΑΝΕΠ-ΓΣΕΕ, 2020), όπου επισημαίνεται η έλλειψη πρόσβασης σε σύγχρονες και ποιοτικές εκπαιδευτικές πηγές. Αυτή η ανάγκη συνδέεται στενά με την αυξανόμενη ζήτηση για εργαλεία που διευκολύνουν τη βιωματική και διαδραστική μάθηση, προσφέροντας στους μαθητές την ευκαιρία να εξερευνήσουν αφηρημένες έννοιες μέσα από πρακτικές εφαρμογές.

Η δεύτερη πιο έντονη ανάγκη αφορά την ουσιαστική επιμόρφωση των εκπαιδευτικών στις ΤΠΕ και στα ψηφιακά εργαλεία, κάτι που ευθυγραμμίζεται με τη διαπίστωση της ελληνικής βιβλιογραφίας ότι πολλοί εκπαιδευτικοί αισθάνονται ανεπαρκώς εξοικειωμένοι με τις απαιτήσεις της ψηφιακής εποχής. Μελέτες, όπως εκείνες του ΙΕΠ (2020), υπογραμμίζουν τη σημασία της διαρκούς επαγγελματικής ανάπτυξης για την ενίσχυση των ψηφιακών δεξιοτήτων, ιδίως σε κλάδους όπως η φυσική, όπου η χρήση προσομοιώσεων και εργαστηριακών εργαλείων είναι καθοριστικής σημασίας. Οι επιμορφώσεις αυτές όμως πρέπει να γίνονται δια ζώσης και να προσφέρουν λύσεις στους προβληματισμούς των εκπαιδευτικών.

Μια σημαντική πτυχή που αναδείχθηκε από τις απαντήσεις των εκπαιδευτικών είναι η ανάγκη σύνδεσης της διδασκαλίας του φωτοηλεκτρικού φαινομένου με εφαρμογές της τεχνολογίας και της καθημερινής ζωής. Πολλοί εκπαιδευτικοί τόνισαν ότι η παρουσίαση πρακτικών εφαρμογών, όπως τα φωτοβολταϊκά συστήματα, οι αισθητήρες φωτός και οι φωτοηλεκτρικές κυψέλες, θα ενίσχυε την κατανόηση και την ελκυστικότητα του θέματος. Αυτή η διαπίστωση συνάδει με τη διεθνή και εγχώρια βιβλιογραφία, που υπογραμμίζει τη σημασία της πρακτικής εφαρμογής της φυσικής για την ενίσχυση της σύνδεσης των μαθητών με τις επιστημονικές έννοιες (π.χ. Παπαδόπουλος, 2019). Η σύνδεση της επιστήμης με την καθημερινή ζωή βοηθά τους μαθητές να κατανοήσουν τη χρησιμότητα των φυσικών φαινομένων και να αναπτύξουν ένα πιο θετικό κίνητρο για μάθηση.

Ένα ενδιαφέρον στοιχείο της παρούσας έρευνας είναι η καταγεγραμμένη έλλειψη τεχνικής υποστήριξης, η οποία ανέρχεται στο 9,8%. Παρόλο που το ποσοστό αυτό φαίνεται συγκριτικά χαμηλότερο, βιβλιογραφικά δεδομένα (π.χ. Παπαδοπούλου & συν., 2019) τονίζουν ότι η έλλειψη τεχνικής βοήθειας επηρεάζει δυσανάλογα την αποτελεσματική χρήση των ΤΠΕ, ιδίως σε σχολεία με περιορισμένους πόρους. Σύμφωνα με τους Butler και Sellbom (2002), η έλλειψη τεχνικής υποστήριξης αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα εμπόδια στην ενσωμάτωση των ΤΠΕ στα σχολεία. Αυτή η ανάγκη είναι ενδεικτική της γενικότερης απουσίας ενός υποστηρικτικού πλαισίου, το οποίο θα επέτρεπε στους εκπαιδευτικούς να ενσωματώσουν με μεγαλύτερη αυτοπεποίθηση την τεχνολογία στη διδασκαλία τους.

Επιπλέον, η έλλειψη τεχνικής υποστήριξης μπορεί να προκαλέσει άγχος στους εκπαιδευτικούς, επηρεάζοντας την προθυμία τους να υιοθετήσουν τις ΤΠΕ στη διδασκαλία τους. Αυτό το άγχος μπορεί να οδηγήσει σε αποφυγή χρήσης τεχνολογικού εξοπλισμού, καθώς οι εκπαιδευτικοί φοβούνται μήπως προκαλέσουν βλάβες ή αντιμετωπίσουν προβλήματα που δεν μπορούν να επιλύσουν. Η έλλειψη αυτοπεποίθησης και ο φόβος ως προς τη σωστή χρήση των ΤΠΕ ή ως προς τις αντιδράσεις των μαθητών απέναντί τους έχουν επισημανθεί ως αρνητικά συναισθήματα που επηρεάζουν την ενσωμάτωση των ΤΠΕ. Αυτή η κατάσταση μπορεί να αποτρέψει τους εκπαιδευτικούς από το να πραγματοποιούν πειράματα ή να χρησιμοποιούν τεχνολογικά εργαλεία στη διδασκαλία τους, περιορίζοντας έτσι την εκπαιδευτική τους πρακτική. Η έλλειψη τεχνικής υποστήριξης και υλικοτεχνικής υποδομής έχει αναφερθεί ως ανασταλτικός παράγοντας για την αξιοποίηση των ΤΠΕ στην εκπαιδευτική διαδικασία. Συνοψίζοντας, η έλλειψη τεχνικής υποστήριξης, ακόμη και σε μικρά ποσοστά, μπορεί να έχει δυσανάλογα μεγάλη επίδραση στην ενσωμάτωση των ΤΠΕ στην εκπαίδευση. Η παροχή επαρκούς τεχνικής υποστήριξης και η ενίσχυση της αυτοπεποίθησης των εκπαιδευτικών είναι κρίσιμες για την αποτελεσματική χρήση των τεχνολογικών εργαλείων στη διδασκαλία.

Επιπλέον, η έλλειψη εργαστηριακών ασκήσεων και κατάλληλων πειραματικών διατάξεων στα ελληνικά σχολεία αποτελεί σημαντικό εμπόδιο. Παρά τις δυνατότητες που προσφέρουν τα πειράματα για την κατανόηση αφηρημένων φαινομένων, πολλά σχολεία στερούνται τον απαραίτητο εξοπλισμό. Σύμφωνα με έρευνες, όπως αυτή του Χατζόπουλου (2018), τα πολύπλοκα ή ακριβοπληρωμένα πειράματα συχνά αποθαρρύνουν τους εκπαιδευτικούς από τη χρήση τους, με αποτέλεσμα να μην αξιοποιούνται οι δυνατότητες βιωματικής μάθησης. Επιπλέον, το ισχύον αναλυτικό πρόγραμμα δεν καθορίζει μια ελάχιστη ή ενδεικτική αναλογία διδακτικών ωρών που να αφιερώνονται σε εργαστηριακές ασκήσεις ή σε προσομοιώσεις. Αυτό έχει ως συνέπεια την περιορισμένη αξιοποίησή τους, καθώς η εφαρμογή τους εξαρτάται αποκλειστικά από την πρωτοβουλία του εκάστοτε εκπαιδευτικού και όχι από ένα σαφώς διατυπωμένο πλαίσιο υποχρεωτικής ενσωμάτωσής τους στη διδακτική πρακτική. Η έλλειψη θεσμοθετημένης κατανομής διδακτικών ωρών οδηγεί σε μια κατά κύριο λόγο θεωρητική προσέγγιση των φυσικών επιστημών, όπου οι μαθητές έρχονται σε επαφή με έννοιες και φαινόμενα κυρίως μέσα από το εγχειρίδιο και την παράδοση του μαθήματος, χωρίς να έχουν τη δυνατότητα να τα εξερευνήσουν εμπειρικά.

Για να βελτιωθεί η κατάσταση, κρίνεται απαραίτητη η αναθεώρηση του αναλυτικού προγράμματος με την ενσωμάτωση σαφώς καθορισμένων διδακτικών ωρών για εργαστηριακή και προσομοιωμένη διδασκαλία. Ένα τέτοιο μέτρο θα διασφάλιζε ότι όλοι οι μαθητές θα έχουν την ευκαιρία να συμμετέχουν σε πειραματικές δραστηριότητες, ανεξάρτητα από τον βαθμό εξοικείωσης ή προτεραιοτήτων του εκπαιδευτικού τους. Παράλληλα, θα ενίσχυε τη μαθησιακή διαδικασία, καθώς πολυάριθμες μελέτες επισημαίνουν ότι η βιωματική προσέγγιση συμβάλλει στην καλύτερη κατανόηση και διατήρηση των γνώσεων.

Η στελέχωση των σχολικών εργαστηρίων με κατάλληλο ανθρώπινο δυναμικό είναι ζωτικής σημασίας για την αποτελεσματική εφαρμογή εργαστηριακών ασκήσεων και την ουσιαστική ενσωμάτωση της πειραματικής προσέγγισης στη διδασκαλία των φυσικών επιστημών. Η αποκλειστική ευθύνη του καθηγητή για τη διεξαγωγή, την προετοιμασία και την εποπτεία των πειραμάτων συχνά δημιουργεί εμπόδια, καθώς οι αυξημένες υποχρεώσεις του δεν επιτρέπουν πάντα την οργάνωση και υλοποίηση εργαστηριακών δραστηριοτήτων στον βαθμό που απαιτείται. Για να αντιμετωπιστεί αυτό το πρόβλημα, μπορούν να προταθούν οι εξής λύσεις:

Διορισμός εξειδικευμένου εργαστηριακού προσωπικού

Όπως ισχύει σε πανεπιστημιακά ιδρύματα, έτσι και στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση θα μπορούσε να προβλεφθεί η πρόσληψη εργαστηριακών τεχνικών ή επιστημονικών συνεργατών με αρμοδιότητα την υποστήριξη των εργαστηρίων. Οι εργαζόμενοι αυτοί θα μπορούσαν να προετοιμάζουν τα πειράματα, να φροντίζουν για τη συντήρηση του εξοπλισμού και να παρέχουν βοήθεια κατά τη διάρκεια των εργαστηριακών ασκήσεων.

Συνεργασία με προγράμματα πρακτικής άσκησης φοιτητών

Φοιτητές από πανεπιστημιακά τμήματα φυσικών επιστημών ή παιδαγωγικών σχολών και φοιτητές τμημάτων Πληροφορικής ή Ηλεκτρονικής θα μπορούσαν να πραγματοποιούν πρακτική άσκηση στα σχολικά εργαστήρια, προσφέροντας υποστήριξη στους εκπαιδευτικούς. Αυτό όχι μόνο θα συνέβαλε στην εύρυθμη λειτουργία των εργαστηρίων, αλλά και θα παρείχε στους ίδιους πολύτιμη εμπειρία στη διδακτική των φυσικών επιστημών και στην οργάνωση και λειτουργία των εργαστηρίων.

Αξιοποίηση αποφοίτων ή εθελοντών από την τοπική κοινότητα

Σε περιοχές όπου υπάρχουν επιστήμονες ή απόφοιτοι φυσικών επιστημών που ενδιαφέρονται να συνεισφέρουν στην εκπαίδευση, θα μπορούσαν να δημιουργηθούν προγράμματα εθελοντικής συμμετοχής ή περιστασιακής διδασκαλίας στα σχολικά εργαστήρια.

Δημιουργία επιμορφωτικών προγραμμάτων για καθηγητές

Αντί της πρόσληψης επιπλέον προσωπικού, θα μπορούσαν να προσφερθούν ειδικά σεμινάρια και επιμορφώσεις στους εκπαιδευτικούς, ώστε να αποκτήσουν τις απαραίτητες δεξιότητες για την καλύτερη οργάνωση και διεξαγωγή εργαστηριακών ασκήσεων. Παράλληλα, η μείωση του διοικητικού φόρτου των καθηγητών θα τους επέτρεπε να αφιερώνουν περισσότερο χρόνο στη διδασκαλία μέσω πειραμάτων.

Χρηματοδότηση για την ανάπτυξη σύγχρονων εργαστηρίων με αυτοματοποιημένα ή απομακρυσμένα πειράματα

Σε περιπτώσεις όπου η φυσική παρουσία επιπλέον προσωπικού δεν είναι εφικτή, η αξιοποίηση ψηφιακών τεχνολογιών, όπως απομακρυσμένα εργαστήρια (remote labs) και αυτοματοποιημένα πειράματα, θα μπορούσε να προσφέρει λύσεις.

Η ενίσχυση του ανθρώπινου δυναμικού των σχολικών εργαστηρίων δεν αποτελεί απλώς μια πολυτέλεια, αλλά αναγκαία συνθήκη για την αποτελεσματική και ουσιαστική εισαγωγή της πειραματικής διδασκαλίας στην εκπαίδευση.

Επιπλέον, η παρούσα έρευνα επιβεβαιώνει ευρύτερες τάσεις που καταγράφονται διεθνώς σχετικά με την εξοικείωση των εκπαιδευτικών μεγαλύτερης ηλικίας με τις ψηφιακές τεχνολογίες. Οι μεγαλύτεροι σε ηλικία εκπαιδευτικοί του δείγματος τείνουν να αισθάνονται λιγότερη άνεση με τα ψηφιακά εργαλεία και τις προσομοιώσεις, ένα εύρημα που ευθυγραμμίζεται με αντίστοιχα δεδομένα από έρευνες στις Ηνωμένες Πολιτείες και την Ευρώπη. Όπως καταγράφεται από τη διεθνή βιβλιογραφία (π.χ. OECD, 2021), οι εκπαιδευτικοί αυτοί συχνά αναζητούν επιμόρφωση για την ενσωμάτωση των ΤΠΕ στη διδασκαλία, κάτι που παρατηρείται και στην ελληνική πραγματικότητα. Αυτή η τάση υπογραμμίζει την ανάγκη για στοχευμένα προγράμματα επαγγελματικής ανάπτυξης, προσαρμοσμένα στις ανάγκες αυτής της ηλικιακής ομάδας, ώστε να διευκολυνθεί η μετάβαση στην ψηφιακή εκπαιδευτική εποχή.

Συγκριτικά, η ανάγκη για απλούστερα και πιο προσιτά πειράματα καταγράφηκε στο 15,7%, κάτι που συμφωνεί με παλαιότερες μελέτες που τονίζουν ότι τα πολύπλοκα ή ακριβοπληρωμένα πειράματα αποθαρρύνουν τη χρήση τους από τους εκπαιδευτικούς (Χατζόπουλος, 2018). Εξίσου, η ανεπάρκεια του διδακτικού χρόνου, που αναφέρθηκε από το 3,9% των συμμετεχόντων, και η ανάγκη για συσκευές πειραμάτων (1,0%) αντικατοπτρίζουν ευρύτερα ζητήματα που σχετίζονται με τη δομή του αναλυτικού προγράμματος, όπως έχει επισημανθεί στη μελέτη του ΚΑΝΕΠ (2020). Το αναλυτικό πρόγραμμα και οι χρονικοί περιορισμοί συνιστούν το πρόβλημα, ιδιαίτερα στη Γ' Λυκείου, όπου το μάθημα της φυσικής επικεντρώνεται στην προετοιμασία για τις Πανελλήνιες Εξετάσεις. Αυτή η προσέγγιση συχνά περιορίζει τις ευκαιρίες για εις βάθος ανάλυση και εξερεύνηση εννοιών όπως το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο. Το Ινστιτούτο Εκπαιδευτικής Πολιτικής (ΙΕΠ, 2020) έχει επισημάνει ότι το υπάρχον πλαίσιο διδασκαλίας δεν παρέχει αρκετό χώρο για δραστηριότητες που προάγουν την κριτική σκέψη και την κατανόηση των φαινομένων μέσω πρακτικής εφαρμογής.

Η διεθνής εμπειρία υποδεικνύει ότι σε χώρες όπως η Γερμανία και η Ολλανδία, υπάρχουν δομημένα και συστηματικά προγράμματα επιμόρφωσης για εκπαιδευτικούς, τα οποία σχεδιάζονται με βάση τις ανάγκες των συμμετεχόντων και τις απαιτήσεις της σύγχρονης διδασκαλίας. Αυτά τα προγράμματα εστιάζουν στη συνεχή επαγγελματική ανάπτυξη, παρέχοντας στους εκπαιδευτικούς τις δεξιότητες και τα εργαλεία που απαιτούνται για την ενσωμάτωση των ΤΠΕ στις καθημερινές διδακτικές πρακτικές (OECD, 2021). Σε σύγκριση με αυτά τα παραδείγματα, η Ελλάδα υστερεί σημαντικά, καθώς οι εκπαιδευτικοί έχουν περιορισμένη πρόσβαση σε εξειδικευμένα προγράμματα επιμόρφωσης στις ΤΠΕ. Η έλλειψη αυτή επηρεάζει άμεσα την εξοικείωσή τους με τα ψηφιακά εργαλεία και μειώνει την αυτοπεποίθησή τους στη χρήση της τεχνολογίας στην τάξη (ΚΑΝΕΠ-ΓΣΕΕ, 2020).

Ωστόσο, η ανάλυση των δεδομένων της έρευνας δείχνει μια θετική πλευρά: οι Έλληνες εκπαιδευτικοί, όπως αυτοί του δείγματός μας, εκφράζουν έντονη επιθυμία για περαιτέρω επιμόρφωση στις ΤΠΕ. Αυτό αποτελεί μια σαφή ένδειξη ότι, παρά τις ελλείψεις, υπάρχει ισχυρή διάθεση για προσαρμογή στις απαιτήσεις της τεχνολογικά ενισχυμένης εκπαίδευσης. Σε χώρες όπως η Γαλλία και η Ιαπωνία, παρατηρείται αντίστοιχη θετική στάση των εκπαιδευτικών απέναντι στην επιμόρφωση, κάτι που έχει συμβάλει στην επιτυχή ενσωμάτωση των ΤΠΕ στην εκπαιδευτική διαδικασία (European Commission, 2020). Αντίθετα, χώρες όπως η Ιταλία αντιμετωπίζουν μεγαλύτερη αντίσταση από τους εκπαιδευτικούς όσον αφορά τη χρήση της τεχνολογίας, γεγονός που καθυστερεί τη μετάβασή τους σε σύγχρονες μορφές διδασκαλίας (UNESCO, 2021).

Η θετική στάση των Ελλήνων εκπαιδευτικών, σε συνδυασμό με την αυξημένη ζήτηση για εκπαιδευτικό υλικό και τεχνική υποστήριξη, δημιουργεί μια σημαντική ευκαιρία για την ανάπτυξη στοχευμένων προγραμμάτων επαγγελματικής ανάπτυξης. Τα δεδομένα δείχνουν ότι οι εκπαιδευτικοί επιθυμούν να ενισχύσουν τις δεξιότητές τους, κάτι που προσφέρει μια σταθερή βάση για τη σχεδίαση βιώσιμων παρεμβάσεων (ΙΕΠ, 2020).

Επίσης η έρευνά μας έδειξε ότι η διδασκαλία του φωτοηλεκτρικού φαινομένου στη Γ' Λυκείου παρουσιάζει ιδιαίτερες προκλήσεις, οι οποίες σχετίζονται τόσο με την εννοιολογική κατανόηση των μαθητών όσο και με τις διδακτικές μεθόδους που εφαρμόζονται. Οι μαθητές συχνά δυσκολεύονται να κατανοήσουν αφηρημένες έννοιες, όπως η κβαντική φύση του φωτός και η ενέργεια των φωτονίων, ενώ έχουν λανθασμένες αντιλήψεις για βασικά στοιχεία της θεωρίας, όπως η εξίσωση του Einstein και η έννοια του έργου εξόδου. Αυτά τα ζητήματα έχουν επισημανθεί και σε πρόσφατες εγχώριες μελέτες, όπως αυτή των Μαρκοπούλου και συνεργατών (2021), που τονίζουν την ανάγκη ενίσχυσης της διδασκαλίας της φυσικής με εργαλεία που υποστηρίζουν τη μετάβαση από την κλασική στη σύγχρονη φυσική.

Η χρήση προσομοιώσεων και ψηφιακών εργαλείων, όπως το PhET Interactive Simulations, αποτελεί μια από τις πιο αποδοτικές πρακτικές στη διδασκαλία του φωτοηλεκτρικού φαινομένου. Οι μαθητές έχουν τη δυνατότητα να παρατηρήσουν πειραματικά το φαινόμενο και να εξερευνήσουν τη σχέση ανάμεσα στις μεταβλητές, όπως η συχνότητα και η ένταση του φωτός, και στην ενέργεια των εκπεμπόμενων ηλεκτρονίων. Αυτή η πρακτική διευκολύνει την κατανόηση και επιτρέπει την ανακάλυψη της φυσικής μέσω ενός διαδραστικού περιβάλλοντος.

Παράλληλα, η σύνδεση της διδασκαλίας με εφαρμογές της τεχνολογίας, όπως τα φωτοβολταϊκά συστήματα και οι αισθητήρες φωτός, αναδεικνύεται ως ιδιαίτερα σημαντική. Τέτοια παραδείγματα ενισχύουν την κατανόηση της πρακτικής εφαρμογής του φωτοηλεκτρικού φαινομένου και αυξάνουν το ενδιαφέρον των μαθητών. Έρευνες, όπως αυτή του Παπαδόπουλου (2019), έχουν δείξει ότι η σύνδεση της επιστήμης με την τεχνολογία και την καθημερινή ζωή βοηθά στη διατήρηση του μαθησιακού κινήτρου και της ενεργής συμμετοχής.

Η διαφοροποιημένη διδασκαλία και η βιωματική μάθηση συμβάλλουν επίσης σημαντικά στην κατανόηση του φαινομένου. Μέθοδοι όπως τα παιχνίδια ρόλων, όπου οι μαθητές υποδύονται φωτόνια ή ηλεκτρόνια, ή οι ομαδικές δραστηριότητες για τη σχεδίαση και την ανάλυση πειραμάτων, μπορούν να προσαρμοστούν στις διαφορετικές μαθησιακές ανάγκες. Με αυτόν τον τρόπο, ενισχύεται η συμμετοχή των μαθητών και δημιουργείται ένα μαθησιακό περιβάλλον πιο προσαρμοσμένο στις ανάγκες τους.

Η διαθεματική προσέγγιση, από την άλλη, ενσωματώνει τη φυσική με άλλα επιστημονικά πεδία, όπως τα μαθηματικά και η τεχνολογία. Για παράδειγμα, η χρήση εξισώσεων για την εξαγωγή της ενέργειας των ηλεκτρονίων ή η ανάλυση φωτοβολταϊκών κυψελών ενισχύει τη μαθησιακή διαδικασία και βοηθά τους μαθητές να κατανοήσουν τη φυσική ως μια επιστήμη που διασυνδέεται με πολλούς τομείς.

Τέλος, η αφηγηματική διδασκαλία προσφέρει μια ελκυστική μέθοδο διδασκαλίας, παρουσιάζοντας την ιστορική εξέλιξη του φωτοηλεκτρικού φαινομένου. Η εισαγωγή των πειραμάτων του Hertz και η εξήγηση του φαινομένου από τον Einstein εμπλουτίζουν το μάθημα με στοιχεία της διαδικασίας επιστημονικής ανακάλυψης, προσφέροντας στους μαθητές την ευκαιρία να αντιληφθούν τη φυσική ως μια επιστήμη με βαθιές ιστορικές ρίζες και σημαντικές επιπτώσεις στην κατανόηση του κόσμου μας. Έτσι συνολικά η χρήση διαδραστικών εργαλείων, ιστορικών προσεγγίσεων και διερευνητικών μεθόδων μπορεί να συμβάλει στην εννοιολογική αλλαγή, βοηθώντας τους μαθητές να αντιληφθούν τη φυσική ως ένα εξελισσόμενο πεδίο γνώσης. Η σύνδεση του φαινομένου με τεχνολογικές εφαρμογές ενισχύει τη μαθησιακή εμπειρία και δίνει στους μαθητές κίνητρα να κατανοήσουν τις βασικές αρχές της κβαντικής θεωρίας (Perkins et al., 2006).

Συνολικά, η Ελλάδα ακολουθεί τις διεθνείς τάσεις σε θέματα εξοικείωσης και επιμόρφωσης στις ΤΠΕ, αλλά αντιμετωπίζει συγκεκριμένες προκλήσεις, κυρίως λόγω της έλλειψης επαρκούς υποστήριξης και υποδομών. Η θετική προδιάθεση των Ελλήνων εκπαιδευτικών, ωστόσο, μπορεί να αποτελέσει τον πυρήνα για αλλαγές που θα φέρουν τη χώρα πιο κοντά στις διεθνείς προδιαγραφές. Η επένδυση στη συνεχή επιμόρφωση, με προγράμματα προσαρμοσμένα στις ανάγκες των εκπαιδευτικών, θα μπορούσε να ενισχύσει τη διδασκαλία και να ενσωματώσει την τεχνολογία με ουσιαστικό τρόπο στην εκπαιδευτική διαδικασία. Παράλληλα, η δημιουργία ενός υποστηρικτικού πλαισίου, που θα συνδυάζει τεχνική βοήθεια και σύγχρονες τεχνολογικές λύσεις, είναι απαραίτητη για τη βιώσιμη ανάπτυξη του τομέα αυτού.

6.5 Περιορισμοί της έρευνας και προτάσεις για επέκτασή της

Η έρευνα αντιμετώπισε ορισμένους περιορισμούς που ενδέχεται να έχουν επηρεάσει την εμβέλεια και την πληρότητα των ευρημάτων της. Ένας από τους βασικούς περιορισμούς αφορά την απουσία ποιοτικής εμβάθυνσης. Παρότι συλλέχθηκαν δεδομένα με ποσοτικές μεθόδους, δεν συμπεριλήφθηκαν συνεντεύξεις ή παρατηρήσεις που θα μπορούσαν να

προσφέρουν βαθύτερη κατανόηση των προκλήσεων και των αναγκών στη διδασκαλία του φωτοηλεκτρικού φαινομένου. Η έλλειψη ποιοτικών δεδομένων περιορίζει την ερμηνεία ορισμένων παραμέτρων που αφορούν τη διδακτική πρακτική και τη μαθησιακή εμπειρία, καθώς δεν επιτρέπει την καταγραφή των υποκειμενικών εμπειριών και των συναισθηματικών ανταποκρίσεων των εκπαιδευτικών και των μαθητών (Creswell & Poth, 2018; Maxwell, 2012).

Ένας ακόμη περιορισμός αφορά την επικέντρωση της έρευνας αποκλειστικά στη φυσική και στο φωτοηλεκτρικό φαινόμενο, χωρίς να εξεταστούν πώς άλλοι επιστημονικοί κλάδοι, όπως τα μαθηματικά ή η τεχνολογία, ενδέχεται να επηρεάζουν τη διδασκαλία. Η απουσία μιας διαθεματικής προσέγγισης ενδεχομένως στερεί από την ανάλυση τη δυνατότητα να αναδείξει πώς η διδασκαλία του φωτοηλεκτρικού φαινομένου μπορεί να ενσωματωθεί σε ευρύτερα επιστημονικά και τεχνολογικά πλαίσια, τα οποία θα μπορούσαν να ενισχύσουν τη μαθησιακή εμπειρία και να καταστήσουν το φαινόμενο πιο προσιτό και ελκυστικό για τους μαθητές.

Να τονιστεί εδώ επίσης ότι υπάρχουν περιπτώσεις σε σχολεία, ειδικά στη περιφέρεια που ο καθηγητής που κάνει το μάθημα της Φυσικής Γ λυκείου δεν είναι Φυσικός αλλά ανήκει στον ενοποιημένο κλάδο των Φυσικών επιστημών (ΠΕ04) που περιλαμβάνει εκτός από φυσικούς και Χημικούς, Βιολόγους και Γεωλόγους. Οι απαντήσεις αυτών δεν συμπεριελήφθησαν στην έρευνα. Η απόφαση να αποκλειστούν οι απαντήσεις εκπαιδευτικών που ανήκουν στον ενοποιημένο κλάδο ΠΕ04 αλλά δεν έχουν ειδικότητα Φυσικού, αιτιολογείται από την εξειδικευμένη φύση της ύλης της Γ' Λυκείου και την πολυπλοκότητα εννοιών όπως το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο. Εκπαιδευτικοί με ειδικότητα στη Χημεία, τη Βιολογία ή τη Γεωλογία, παρότι συχνά καλούνται να διδάξουν το μάθημα της Φυσικής, ενδέχεται να μην διαθέτουν την ίδια εμπέδωση ή εμπειρία στη διδασκαλία θεμάτων που σχετίζονται με τη σύγχρονη φυσική και την κβαντική θεωρία.

Ωστόσο, ο αποκλεισμός αυτών των απαντήσεων αποτελεί περιορισμό της έρευνας, καθώς δεν καταγράφηκαν οι εμπειρίες και οι απόψεις μιας σημαντικής ομάδας εκπαιδευτικών που εμπλέκεται άμεσα στη διδασκαλία της Φυσικής στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση. Ιδιαίτερα σε περιοχές της περιφέρειας, όπου η στελέχωση σχολείων με εκπαιδευτικούς της κατάλληλης ειδικότητας είναι συχνά δύσκολη, οι εκπαιδευτικοί άλλων ειδικοτήτων αναλαμβάνουν τη διδασκαλία της Φυσικής, κάτι που μπορεί να επηρεάσει τη διδακτική διαδικασία και τα μαθησιακά αποτελέσματα.

Αυτός ο περιορισμός υπογραμμίζει την ανάγκη για περαιτέρω έρευνα που θα συμπεριλάβει τις εμπειρίες αυτών των εκπαιδευτικών. Μια τέτοια προσέγγιση θα μπορούσε να αναδείξει τις ιδιαίτερες προκλήσεις που αντιμετωπίζουν οι μη εξειδικευμένοι στη Φυσική εκπαιδευτικοί, καθώς και τις στρατηγικές που χρησιμοποιούν για να ανταποκριθούν στις απαιτήσεις της ύλης. Επιπλέον, θα μπορούσε να αποτελέσει βάση για τη διαμόρφωση επιμορφωτικών προγραμμάτων που θα τους παρέχουν την απαραίτητη υποστήριξη και καθοδήγηση.

Επιπλέον, η χρονική διάρκεια της έρευνας αποτέλεσε έναν σημαντικό περιορισμό, καθώς πραγματοποιήθηκε εντός ενός μόνο εξαμήνου, κατά το οποίο οι περισσότεροι εκπαιδευτικοί δεν είχαν ακόμη διδάξει το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο, δεδομένου ότι βρίσκεται στο τέλος της διδακτέας ύλης. Αν και πολλοί από τους συμμετέχοντες είχαν εμπειρία από τη διδασκαλία του φαινομένου τα προηγούμενα έτη, η περιορισμένη χρονική περίοδος ενδέχεται να μην επέτρεψε τη λεπτομερή καταγραφή της τρέχουσας πρακτικής διδασκαλίας ή των πρόσφατων αλλαγών που μπορεί να έχουν πραγματοποιηθεί.

Ένας ακόμη περιορισμός σχετίζεται με το αναλυτικό πρόγραμμα και τις απαιτήσεις του. Το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο βρίσκεται στο τέλος της ύλης της Γ' Λυκείου, γεγονός που σημαίνει ότι η διδασκαλία του επηρεάζεται συχνά από πιέσεις χρόνου και προτεραιότητες που θέτουν οι εξετάσεις. Οι αυστηρές αυτές απαιτήσεις περιορίζουν τη δυνατότητα εφαρμογής διαφοροποιημένων ή καινοτόμων διδακτικών προσεγγίσεων, οι οποίες θα μπορούσαν να βοηθήσουν στη βαθύτερη κατανόηση του φαινομένου. Ο διδακτικός χρόνος συχνά αφιερώνεται στην επανάληψη και προετοιμασία των μαθητών για τις εξετάσεις, γεγονός που στερεί από τους εκπαιδευτικούς τη δυνατότητα να εφαρμόσουν πιο βιωματικές ή διαδραστικές μεθόδους.

Τέλος, η έλλειψη διαθεματικής προσέγγισης αποτελεί έναν ακόμη περιορισμό, καθώς το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο θα μπορούσε να συνδεθεί πιο αποτελεσματικά με άλλες επιστημονικές περιοχές, όπως η τεχνολογία ή τα μαθηματικά, για να αναδειχθούν οι πρακτικές του εφαρμογές. Για παράδειγμα, η συσχέτιση με φωτοβολταϊκά συστήματα ή οι υπολογισμοί που αφορούν την ενέργεια των φωτονίων και το έργο εξόδου μπορούν να προσεγγιστούν διαθεματικά, ενισχύοντας την κατανόηση των μαθητών. Η έλλειψη αυτής της σύνδεσης ενδέχεται να έχει περιορίσει τη δυνατότητα των μαθητών να αντιληφθούν το φαινόμενο ως μέρος ενός ευρύτερου επιστημονικού και τεχνολογικού πλαισίου.

Για να ενισχυθεί η κατανόηση και η διδασκαλία του φωτοηλεκτρικού φαινομένου στη Γ' Λυκείου, προτείνονται οι ακόλουθες κατευθύνσεις για μελλοντική έρευνα, οι οποίες δεν έχουν διερευνηθεί επαρκώς στην Ελλάδα, αλλά έχουν εφαρμοστεί με επιτυχία σε διεθνές επίπεδο.

Πρώτον, είναι σημαντικό να μελετηθούν τα μαθησιακά αποτελέσματα που προκύπτουν από διαφορετικές διδακτικές προσεγγίσεις του φωτοηλεκτρικού φαινομένου. Στο εξωτερικό, έρευνες έχουν δείξει ότι η χρήση προσομοιώσεων και διαδραστικών εργαλείων μπορεί να βελτιώσει σημαντικά την κατανόηση των μαθητών σε σύνθετα θέματα της φυσικής. Για παράδειγμα, μελέτες έχουν καταδείξει ότι οι προσομοιώσεις ενισχύουν την κατανόηση των μαθητών σε κβαντικά φαινόμενα, όπως το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο (Finkelstein et al., 2005). Στην Ελλάδα, παρόμοιες έρευνες είναι περιορισμένες, καθιστώντας αναγκαία τη διεξαγωγή μελετών που θα αξιολογούν την αποτελεσματικότητα τέτοιων μεθόδων στη διδασκαλία του συγκεκριμένου φαινομένου.

Δεύτερον, η διερεύνηση των στάσεων και των κινήτρων των μαθητών απέναντι στη φυσική, και ειδικότερα στην κβαντική φυσική, είναι κρίσιμη. Διεθνείς μελέτες έχουν αναδείξει ότι οι θετικές στάσεις και τα υψηλά κίνητρα συνδέονται με βελτιωμένες επιδόσεις και αυξημένο ενδιαφέρον για τις φυσικές επιστήμες (Osborne, Simon, & Collins, 2003). Στην Ελλάδα, η κατανόηση των παραγόντων που επηρεάζουν τις στάσεις των μαθητών μπορεί να οδηγήσει σε προσαρμογές στη διδακτική προσέγγιση, με στόχο την ενίσχυση του ενδιαφέροντος και της συμμετοχής τους.

Τέλος, η σύγκριση των διδακτικών πρακτικών του φωτοηλεκτρικού φαινομένου στην Ελλάδα με εκείνες άλλων χωρών μπορεί να προσφέρει πολύτιμες πληροφορίες. Διεθνείς συγκριτικές μελέτες έχουν αποκαλύψει καλές πρακτικές που μπορούν να προσαρμοστούν και να εφαρμοστούν σε διαφορετικά εκπαιδευτικά συστήματα (Treagust, Duit, & Fraser, 1996). Στην Ελλάδα, η διερεύνηση παρόμοιων συγκριτικών πρακτικών θα μπορούσε να ανοίξει τον δρόμο για την ενσωμάτωση καινοτόμων μεθόδων, ενισχύοντας την ποιότητα της διδασκαλίας και προσαρμόζοντας την εκπαιδευτική προσέγγιση στις σύγχρονες απαιτήσεις.

Συνοψίζοντας, η διερεύνηση αυτών των ερευνητικών προσεγγίσεων, σε συνδυασμό με την καταγραφή και ανάλυση των απόψεων των εκπαιδευτικών που διδάσκουν το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο στη μέση εκπαίδευση, μπορεί να οδηγήσει σε έναν ουσιαστικό μετασχηματισμό της διδασκαλίας. Οι εμπειρίες και οι προτάσεις των ίδιων των καθηγητών, που βρίσκονται στην καρδιά της εκπαιδευτικής διαδικασίας, αναδεικνύουν τις προκλήσεις που αντιμετωπίζουν και προτείνουν συγκεκριμένες βελτιώσεις, εστιάζοντας στις ανάγκες τόσο των μαθητών όσο και των ίδιων των εκπαιδευτικών.

Αξιοποιώντας αυτήν την πολύτιμη γνώση, η διδασκαλία του φωτοηλεκτρικού φαινομένου μπορεί να μετατραπεί από μια αφηρημένη ενότητα της κβαντικής φυσικής σε ένα δυναμικό εργαλείο που ενισχύει την κατανόηση, εμπνέει το ενδιαφέρον και συνδέει τη θεωρία με την πράξη. Μέσα από τη χρήση βιωματικών μεθόδων, τη διασύνδεση της ύλης με εφαρμογές της καθημερινότητας και την αξιοποίηση τεχνολογιών αιχμής, οι μαθητές μπορούν να κατανοήσουν την επιστήμη ως ένα ζωντανό και ουσιαστικό κομμάτι της ζωής τους.

Ταυτόχρονα, η ενεργή συμμετοχή των εκπαιδευτικών στη διαμόρφωση και εφαρμογή καινοτόμων διδακτικών πρακτικών δημιουργεί μια εκπαιδευτική δυναμική που μπορεί να εμπνεύσει γενιές μαθητών να δουν τη φυσική όχι μόνο ως ένα σύνολο γνώσεων, αλλά και ως μια πύλη κατανόησης του κόσμου. Με αυτόν τον τρόπο, η έρευνα αυτή προσφέρει ένα πολύτιμο όραμα για την αναβάθμιση της διδασκαλίας στη Γ' Λυκείου, ενώ θέτει τα θεμέλια για την ανάπτυξη μιας εκπαιδευτικής κοινότητας που προσαρμόζεται, εξελίσσεται και εμπνέει.

7 Καλές πρακτικές και μια προτεινόμενη Διδακτική Παρέμβαση

Η ανάλυση των δεδομένων της έρευνας ανέδειξε σημαντικές προκλήσεις που σχετίζονται με τη διδασκαλία του φωτοηλεκτρικού φαινομένου στη Γ' Λυκείου. Ωστόσο, αυτές οι προκλήσεις προσφέρουν την ευκαιρία για την ανάπτυξη και εφαρμογή καλών πρακτικών που μπορούν να βελτιώσουν την ποιότητα της διδασκαλίας και την κατανόηση της φυσικής από τους μαθητές. Οι προτεινόμενες παρεμβάσεις επικεντρώνονται στην ανάπτυξη εργαστηριακών ασκήσεων, την αναβάθμιση των εκπαιδευτικών εγχειριδίων, την επιμόρφωση των εκπαιδευτικών και την ενίσχυση της τεχνολογικής υποστήριξης, καθώς και στη σύνδεση του μαθήματος με την πραγματική ζωή.

Πιο συγκεκριμένα, η ανάπτυξη εργαστηριακών ασκήσεων χαμηλού κόστους είναι κρίσιμη για την ελληνική εκπαιδευτική πραγματικότητα, καθώς θα διευκολύνει την πρακτική διδασκαλία σε σχολεία με περιορισμένους πόρους. Παράλληλα, η αναθεώρηση των σχολικών εγχειριδίων με την εισαγωγή δραστηριοτήτων και παραδειγμάτων που ενισχύουν τη σύνδεση θεωρίας και πράξης θα βοηθήσει τους μαθητές να κατανοήσουν τη χρησιμότητα της φυσικής. Εξίσου σημαντική είναι η επιμόρφωση των εκπαιδευτικών μέσω εξειδικευμένων σεμιναρίων, τα οποία θα τους εξοπλίσουν με γνώσεις και δεξιότητες για την αποτελεσματική χρήση των ψηφιακών εργαλείων και προσομοιώσεων.

Επιπλέον, η ανάπτυξη μιας εθνικής ψηφιακής πλατφόρμας με εκπαιδευτικό υλικό και προσομοιώσεις θα μπορούσε να διευκολύνει την πρόσβαση σε σύγχρονες εκπαιδευτικές πηγές, ενώ η συνεργασία με πανεπιστήμια και ερευνητικά κέντρα θα ενισχύσει τη σύνδεση της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης με την επιστημονική κοινότητα. Η συνεργασία μεταξύ πανεπιστημίων και δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης στην Ελλάδα παρουσιάζει προκλήσεις, με τα πανεπιστήμια να εμφανίζουν συχνά περιορισμένη εξωστρέφεια προς τα σχολεία. Αν και ακόμα δεν υπάρχουν συγκεκριμένες μελέτες που να τεκμηριώνουν αυτή την εσωστρέφεια, η ανάγκη για ενίσχυση της συνεργασίας είναι εμφανής. Το Υπουργείο Παιδείας και Θρησκευμάτων έχει αναγνωρίσει τη σημασία της διεθνοποίησης και της εξωστρέφειας των ελληνικών πανεπιστημίων, προωθώντας δράσεις όπως η «Διεθνοποίηση εκπαιδευτικών υπηρεσιών των ΑΕΙ», με στόχο την ενίσχυση της συνεργασίας με εγνωσμένου κύρους πανεπιστήμια του εξωτερικού (Greece 20, n.d.). Ωστόσο, η συνεργασία με τη δευτεροβάθμια εκπαίδευση παραμένει περιορισμένη, υποδεικνύοντας την ανάγκη για περαιτέρω ανάπτυξη και ενίσχυση των δεσμών μεταξύ των δύο βαθμίδων εκπαίδευσης. Αυτές οι παρεμβάσεις, αν υλοποιηθούν, μπορούν να αποτελέσουν ένα ισχυρό εργαλείο για την αναβάθμιση της διδασκαλίας του φωτοηλεκτρικού φαινομένου, δημιουργώντας ένα πιο δυναμικό και αποτελεσματικό μαθησιακό περιβάλλον.

Η διδακτική παρέμβαση για τη διδασκαλία του φωτοηλεκτρικού φαινομένου πρέπει να ακολουθήσει μια πολυδιάστατη προσέγγιση που συνδυάζει μετωπική διδασκαλία,

διερευνητική μάθηση, συνεργασία και τη χρήση ψηφιακών εργαλείων. Το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο αποτελεί κομβικό σημείο για τη μετάβαση των μαθητών από την κλασική στη σύγχρονη φυσική. Το πλάνο αυτό θα επιτρέψει στους μαθητές να κατανοήσουν τόσο τις θεωρητικές όσο και τις πρακτικές πλευρές του φαινομένου, συνδέοντας τη γνώση με πραγματικές εφαρμογές και καλλιεργώντας τις κριτικές και συνεργατικές τους δεξιότητες.

Αυτή η σύγχρονη διδακτική προσέγγιση δεν ωφελεί μόνο τους μαθητές αλλά διευκολύνει και τους καθηγητές στο εκπαιδευτικό τους έργο. Με τη μετωπική διδασκαλία, ο καθηγητής έχει την ευκαιρία να προσφέρει μια σταθερή βάση γνώσης, εξασφαλίζοντας ότι όλοι οι μαθητές κατανοούν τις βασικές έννοιες του φωτοηλεκτρικού φαινομένου πριν προχωρήσουν στις πιο πρακτικές πτυχές του μαθήματος.

Επομένως αρχικά, η διδασκαλία ξεκινά με μια εισαγωγή στη θεωρία, όπου ο εκπαιδευτικός παρουσιάζει τη βασική έννοια του φωτοηλεκτρικού φαινομένου. Κατά τη μετωπική διδασκαλία, οι μαθητές μαθαίνουν τι είναι το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο, πώς το ανέλυσε ο Αϊνστάιν, και ποια είναι η σημασία του έργου εξαγωγής. Στόχος αυτής της φάσης είναι η παροχή θεωρητικού υποβάθρου, ώστε οι μαθητές να είναι προετοιμασμένοι για τα επόμενα βήματα της διερευνητικής μάθησης.

Μετά την αρχική εισαγωγή, οι μαθητές έχουν τη δυνατότητα να πειραματιστούν με μια ψηφιακή προσομοίωση, όπως αυτή που προσφέρει η πλατφόρμα PhET. Εδώ, οι μαθητές μπορούν να αλλάζουν παραμέτρους όπως η ένταση και η συχνότητα του φωτός, παρατηρώντας τις αλλαγές που συμβαίνουν στην εκπομπή ηλεκτρονίων. Αυτό τους επιτρέπει να κατανοήσουν ότι η ένταση του φωτός επηρεάζει τον αριθμό των εκπεμπόμενων ηλεκτρονίων, αλλά μόνο η συχνότητα πάνω από ένα συγκεκριμένο όριο προκαλεί την εκπομπή τους, λόγω του έργου εξαγωγής του υλικού.

Η προσομοίωση διευκολύνει την κατανόηση της αφηρημένης αυτής έννοιας με βιωματικό τρόπο. Η χρήση ψηφιακών προσομοιώσεων διευκολύνει επίσης τους εκπαιδευτικούς, καθώς τους παρέχει ένα εργαλείο που οπτικοποιεί και καθιστά κατανοητές έννοιες που συχνά είναι δύσκολο να εξηγηθούν μόνο θεωρητικά. Οι προσομοιώσεις επιτρέπουν στους μαθητές να εξερευνήσουν το φαινόμενο με ασφάλεια και ευελιξία, ενώ ο εκπαιδευτικός μπορεί να παρακολουθεί και να καθοδηγεί τη διαδικασία, χωρίς την ανάγκη εξειδικευμένου εργαστηριακού εξοπλισμού. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό στα ελληνικά σχολεία, όπου συχνά οι εργαστηριακές υποδομές είναι περιορισμένες.

Αφού οι μαθητές ολοκληρώσει την προσομοίωση, χωρίζονται σε ομάδες για να συζητήσουν τα αποτελέσματα και τις παρατηρήσεις τους. Η συνεργατική μάθηση δίνει στους μαθητές τη δυνατότητα να ανταλλάξουν απόψεις και να αναλύσουν τυχόν παρανοήσεις. Κατά τη διάρκεια της συζήτησης, ο εκπαιδευτικός καθοδηγεί τους μαθητές να διορθώσουν τις λανθασμένες αντιλήψεις, όπως την αντίληψη ότι η εκπομπή ηλεκτρονίων εξαρτάται γραμμικά από την ένταση του φωτός χωρίς να λαμβάνεται υπόψη η συχνότητα. Η συνεργατική

μάθηση ενισχύει τη διαχείριση της τάξης, καθώς οι μαθητές δουλεύουν σε ομάδες, ενώ ο εκπαιδευτικός μπορεί να λειτουργεί ως συντονιστής και καθοδηγητής.

Μέσα από τη συνεργασία των μαθητών, ο εκπαιδευτικός αποκτά καλύτερη εικόνα για το επίπεδο κατανόησης των μαθητών και μπορεί να εντοπίζει τυχόν παρανοήσεις και δυσκολίες πιο εύκολα. Έτσι, η διαχείριση του μαθήματος γίνεται πιο ευέλικτη και ο καθηγητής μπορεί να επεμβαίνει στοχευμένα, προσαρμόζοντας τη διδασκαλία στις ανάγκες της τάξης..

Στη συνέχεια, η γνώση που απέκτησαν οι μαθητές εφαρμόζεται σε ένα πρακτικό πρόβλημα που σχετίζεται με την καθημερινή ζωή: τη λειτουργία των φωτοβολταϊκών κυψελών. Οι μαθητές καλούνται να εξηγήσουν πώς το φως μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια, εφαρμόζοντας την κατανόησή τους για το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο και το έργο εξαγωγής. Μέσα από την προβληματοκεντρική αυτή μάθηση, μπορούν οι μαθητές να συνδέουν τη θεωρία με την πράξη, κατανοώντας πώς οι φυσικές αρχές επηρεάζουν αλλά και προάγουν την τεχνολογία.

Επιπλέον, με την εφαρμογή της προβληματοκεντρικής μάθησης και την ανάλυση πραγματικών προβλημάτων, ο εκπαιδευτικός μπορεί να ενισχύσει τη σύνδεση του θεωρητικού υλικού με την καθημερινή ζωή. Αυτό διευκολύνει την εμπλοκή των μαθητών, που συχνά βρίσκουν τις αφηρημένες έννοιες της φυσικής δύσκολες και άσχετες με την πραγματικότητα. Αντιθέτως, με τη συσχέτιση με εφαρμογές όπως τα φωτοβολταϊκά, ο εκπαιδευτικός έχει την ευκαιρία να δείξει στους μαθητές τη σημασία της φυσικής στον σύγχρονο κόσμο, κάτι που μπορεί να αυξήσει το ενδιαφέρον και την αφοσίωσή τους.

Τέλος, πραγματοποιείται μια συνολική ανασκόπηση και αξιολόγηση, όπου ο εκπαιδευτικός ανακεφαλαιώνει τα βασικά σημεία του μαθήματος. Η αξιολόγηση μπορεί να περιλαμβάνει ερωτήσεις που εξετάζουν την κατανόηση της θεωρίας, καθώς και μια ερώτηση ανοιχτού τύπου όπου οι μαθητές περιγράφουν με δικά τους λόγια τη διαδικασία που ακολουθείται στα φωτοβολταϊκά. Συνολικά, η συνδυαστική αυτή προσέγγιση διευκολύνει και τον εκπαιδευτικό, καθώς του προσφέρει διάφορα εργαλεία για να υποστηρίξει την αποτελεσματική μάθηση, να εμπλέξει τους μαθητές ενεργά και να προσαρμόσει το μάθημα στις ανάγκες και τις δυνατότητες κάθε τάξης.

7.1 Σχέδιο Μαθήματος για Διδακτική Παρέμβαση

Συνολική Διάρκεια

12 διδακτικές ώρες (12 x 45 λεπτά)

Διδακτικοί στόχοι Μετά την ολοκλήρωση της διδακτικής παρέμβασης, οι μαθητές θα πρέπει να είναι σε θέση να:

1. Κατανοήσουν τις δυσκολίες της κλασικής φυσικής στην ερμηνεία του φωτοηλεκτρικού φαινομένου.

2.Περιγράφουν τα πειραματικά δεδομένα που οδήγησαν στη διατύπωση της θεωρίας του Einstein.

3.Χρησιμοποιήσουν προσομοιώσεις για να αναλύσουν την εξάρτηση της κινητικής ενέργειας των ηλεκτρονίων από τη συχνότητα και την ένταση του φωτός.

4.Συγκρίνουν τη θεωρία του Einstein με την κλασική θεωρία του Maxwell.

5.Συνδέσουν το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο με εφαρμογές όπως τα φωτοβολταϊκά και οι αισθητήρες φωτός.

1η – 2η Διδακτική Ώρα: Ιστορική προσέγγιση & δυσκολίες της κλασικής φυσικής

- Σύντομη εισαγωγή στο πρόβλημα της αλληλεπίδρασης φωτός-ύλης και την κυματική φύση του φωτός.
- Αναφορά στον Hertz και στον Hallwachs (πρώτες παρατηρήσεις του φαινομένου).
- Επεξήγηση των προσδοκιών της κλασικής φυσικής: Αναμενόμενη εξάρτηση της ενέργειας των ηλεκτρονίων από την ένταση του φωτός.
- Συζήτηση: Γιατί η κλασική φυσική αποτυγχάνει να εξηγήσει το φαινόμενο;
- Δραστηριότητα: Σύντομο ερωτηματολόγιο εννοιολογικών ερωτήσεων για την αρχική κατανόηση των μαθητών.

3η – 4η Διδακτική Ώρα: Πείραμα του Millikan και νόμος του Einstein

- Σύντομη εισαγωγή στο πρόβλημα της αλληλεπίδρασης φωτός-ύλης και την κυματική φύση του φωτός.
- Παρουσίαση του πειράματος του Millikan: Μέτρηση της κινητικής ενέργειας των εκπεμπόμενων ηλεκτρονίων.
- Εισαγωγή του Einstein (1905) Κβαντική θεωρία του φωτός (φωτόνια) και Θεμελιώδης εξίσωση του φωτοηλεκτρικού φαινομένου
- Δραστηριότητα: Ανάλυση γραφικών παραστάσεων που συνδέουν την κινητική ενέργεια των ηλεκτρονίων με τη συχνότητα του φωτός.
- Συζήτηση για το σταθερό όριο συχνότητας (κατώφλιο συχνότητας) και τη σημασία του..

5η – 6η Διδακτική Ώρα: Προσομοιώσεις και ανάλυση δεδομένων

Χρήση του PhET Simulations για το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο)

- Ρύθμιση έντασης και συχνότητας του φωτός.
- Παρατήρηση της εκπομπής ηλεκτρονίων και των μεταβολών στην κινητική τους ενέργεια.

Διαδραστική άσκηση: Οι μαθητές κάνουν πειράματα με την προσομοίωση και καταγράφουν δεδομένα σε πίνακες.

Ομαδική συζήτηση: Σύγκριση των αποτελεσμάτων με τις προβλέψεις της θεωρίας.

Αντιμετώπιση πιθανών παρανοήσεων:

- Η ένταση επηρεάζει τον αριθμό των ηλεκτρονίων, όχι την ενέργειά τους.
- Η ενέργεια εξαρτάται από τη συχνότητα του φωτός, όχι από την έντασή του.

7η – 8η Διδακτική Ώρα: Σύγκριση κλασικής και κβαντικής προσέγγισης

Ανάλυση διαφορών:

- Η κλασική θεωρία προέβλεπε ότι η ένταση θα καθόριζε την ενέργεια των ηλεκτρονίων.
- Η κβαντική θεωρία έδειξε ότι η συχνότητα του φωτός είναι το κρίσιμο μέγεθος

Δημιουργία συγκριτικού πίνακα

Οι μαθητές καταγράφουν τις βασικές διαφορές μεταξύ των δύο θεωριών.

Δραστηριότητα:

Συζήτηση με ερωτήσεις κρίσης και εφαρμογής της θεωρίας σε διάφορα φαινόμενα.

9η – 10η Διδακτική Ώρα: Διεπιστημονική σύνδεση και εφαρμογές

Εφαρμογές του φωτοηλεκτρικού φαινομένου:

- Φωτοβολταϊκές κυψέλες: Πώς η ηλιακή ενέργεια μετατρέπεται σε ηλεκτρική

- Αισθητήρες φωτός και κάμερες CCD.
- Ηλεκτρονικά κυκλώματα και αυτόματοι διακόπτες φωτός.

Εργασία σε ομάδες:

Οι μαθητές ερευνούν μία από τις εφαρμογές και παρουσιάζουν μια σύντομη αναφορά.

11η Διδακτική Ώρα: Επίλυση προβλημάτων και αναστοχασμός

Επιλογή ασκήσεων:

Λύση βασικών αριθμητικών προβλημάτων με τη χρήση της εξίσωσης του Einstein.

Δραστηριότητα:

Μελέτη πραγματικών δεδομένων από πειραματικές μετρήσεις.

Αναστοχασμός:

Συζήτηση πάνω στις πιο δύσκολες έννοιες και πιθανές εναλλακτικές προσεγγίσεις.

12η Διδακτική Ώρα: Αξιολόγηση και κλείσιμο

Δοκιμασία αξιολόγησης:

Κλειστές και ανοικτές ερωτήσεις για έλεγχο της κατανόησης.

Ομαδική συζήτηση:

Οι μαθητές απαντούν σε ερωτήσεις τύπου "Γιατί;" και εξηγούν τις ιδέες τους.

Ανάλυση των απαντήσεων:

Ανατροφοδότηση από τον καθηγητή και επίλυση αποριών.

Τελική δραστηριότητα:

Δημιουργία εννοιολογικού χάρτη με τις βασικές έννοιες.

Η διδακτική προσέγγιση που προτείνεται έχει ως στόχο να προσφέρει στους μαθητές μια ολοκληρωμένη κατανόηση του φωτοηλεκτρικού φαινομένου, συνδυάζοντας ιστορική αναδρομή, πειραματική και διαδραστική μάθηση, σύγκριση κλασικής και κβαντικής θεωρίας, καθώς και εφαρμογές στην τεχνολογία. Οι διδακτικοί στόχοι περιλαμβάνουν την κατανόηση των δυσκολιών της κλασικής φυσικής στην ερμηνεία του φαινομένου, την εξοικείωση με την θεωρία του Einstein, τη χρήση προσομοιώσεων για την ανάλυση των βασικών παραμέτρων του φαινομένου, τη σύγκριση της νέας θεωρίας με την προγενέστερη κυματική θεώρηση του φωτός και τέλος τη σύνδεση της γνώσης με πρακτικές εφαρμογές, όπως τα φωτοβολταϊκά συστήματα και οι ηλεκτρονικοί αισθητήρες.

Η παρέμβαση ξεκινά με μια εισαγωγή στην ιστορική εξέλιξη της έννοιας του φωτός και στη σχέση του με την ύλη. Οι μαθητές έρχονται σε επαφή με τα πειράματα του Hertz και του Hallwachs, τα οποία οδήγησαν στην ανακάλυψη του φωτοηλεκτρικού φαινομένου, καθώς και με τις αρχικές προσδοκίες της κλασικής φυσικής, σύμφωνα με τις οποίες η ένταση του φωτός θα έπρεπε να καθορίζει την ενέργεια των εκπεμπόμενων ηλεκτρονίων. Μέσα από αυτή τη διαδικασία, αναδεικνύεται ο πρώτος βασικός στόχος, που είναι η κατανόηση των δυσκολιών της κλασικής θεωρίας στην εξήγηση του φαινομένου. Οι μαθητές καλούνται να διατυπώσουν υποθέσεις και να εντοπίσουν πιθανά προβλήματα στη θεωρητική περιγραφή της εποχής, αναπτύσσοντας κριτική σκέψη και προβληματισμό.

Στη συνέχεια, η προσοχή μετατοπίζεται στο πείραμα του Millikan, μέσα από το οποίο έγινε δυνατή η ποσοτική ανάλυση του φωτοηλεκτρικού φαινομένου. Οι μαθητές αναλύουν τα αποτελέσματα του πειράματος και βλέπουν πώς η κινητική ενέργεια των ηλεκτρονίων εξαρτάται από τη συχνότητα του προσπίπτοντος φωτός, όχι όμως από την έντασή του. Σε αυτό το σημείο, εισάγεται η θεωρία του Einstein και η έννοια του φωτονίου, που οδηγούν στη διατύπωση της εξίσωσης του φωτοηλεκτρικού φαινομένου. Η εξίσωση αυτή παρουσιάζεται με τρόπο που να αναδεικνύει τη σχέση της με τη διατήρηση της ενέργειας, δίνοντας έμφαση στον ρόλο του έργου εξαγωγής και της συχνότητας κατωφλίου. Οι μαθητές, μέσα από αυτή τη διαδικασία, επιτυγχάνουν τον δεύτερο διδακτικό στόχο, που είναι η περιγραφή των πειραματικών δεδομένων που οδήγησαν στη θεωρία του Einstein.

Η κατανόηση του φαινομένου ενισχύεται περαιτέρω με τη χρήση προσομοιώσεων μέσω της πλατφόρμας PhET. Οι μαθητές πραγματοποιούν εικονικά πειράματα, όπου μπορούν να μεταβάλλουν την ένταση και τη συχνότητα του φωτός και να παρατηρήσουν τις αντίστοιχες αλλαγές στην εκπομπή ηλεκτρονίων. Τα αποτελέσματά τους καταγράφονται σε πίνακες και αναλύονται μέσα στην τάξη, ώστε να επιβεβαιώσουν τις θεωρητικές προβλέψεις. Η προσέγγιση αυτή εξυπηρετεί τον τρίτο διδακτικό στόχο, που είναι η ανάπτυξη ικανοτήτων ανάλυσης και ερμηνείας δεδομένων μέσα από την αλληλεπίδραση με ψηφιακά εργαλεία. Επιπλέον, μέσα από την πειραματική προσέγγιση, οι μαθητές διακρίνουν καθαρά τις διαφορές

μεταξύ της έντασης και της συχνότητας του φωτός, αποφεύγοντας κοινές παρανοήσεις, όπως η λανθασμένη αντίληψη ότι η ένταση επηρεάζει την κινητική ενέργεια των ηλεκτρονίων.

Μετά την κατανόηση των βασικών αρχών του φωτοηλεκτρικού φαινομένου, οι μαθητές προχωρούν στη σύγκριση της κλασικής και της κβαντικής θεώρησης του φωτός. Δημιουργούν έναν συγκριτικό πίνακα όπου καταγράφουν τις διαφορές μεταξύ της κυματικής θεωρίας του Maxwell και της κβαντικής περιγραφής του Einstein, ενώ παράλληλα συμμετέχουν σε μια συζήτηση σχετικά με τις επιστημολογικές συνέπειες της νέας θεωρίας. Η δραστηριότητα αυτή συμβάλλει στην επίτευξη του τέταρτου διδακτικού στόχου, καθώς οι μαθητές κατανοούν πώς η θεωρία του Einstein τροποποιεί τις κλασικές αντιλήψεις για το φως και εισάγει τη σύγχρονη κβαντική φυσική.

Η παρέμβαση ολοκληρώνεται με την εφαρμογή των γνώσεων σε σύγχρονες τεχνολογίες, όπως τα φωτοβολταϊκά συστήματα, οι ηλεκτρονικοί αισθητήρες και οι φωτοδιακόπτες. Οι μαθητές χωρίζονται σε ομάδες και ερευνούν μία από τις εφαρμογές, την οποία παρουσιάζουν στην τάξη. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται ο πέμπτος στόχος της διδακτικής παρέμβασης, δηλαδή η σύνδεση του φωτοηλεκτρικού φαινομένου με πρακτικές και τεχνολογικές εφαρμογές που χρησιμοποιούνται στην καθημερινή ζωή.

Η διδακτική διαδικασία ολοκληρώνεται με την αξιολόγηση της κατανόησης των μαθητών μέσω αριθμητικών προβλημάτων, ερωτήσεων κρίσεως και δημιουργίας ενός εννοιολογικού χάρτη. Οι μαθητές καλούνται να εξηγήσουν τις απαντήσεις τους και να επιχειρηματολογήσουν πάνω στις έννοιες που έμαθαν, ενισχύοντας έτσι την κριτική τους σκέψη και την ικανότητά τους να συνθέτουν και να εφαρμόζουν τη γνώση.

Συνολικά, η προτεινόμενη διδακτική παρέμβαση ακολουθεί μια πολυδιάστατη προσέγγιση που περιλαμβάνει ιστορική ανάλυση, πειραματική και διαδραστική μάθηση, συγκριτική επιστημονική ανάλυση και διεπιστημονικές εφαρμογές. Μέσα από αυτή τη μεθοδολογία, οι μαθητές συμμετέχουν ενεργά στη μαθησιακή διαδικασία, αποκτούν βαθύτερη κατανόηση του φωτοηλεκτρικού φαινομένου και αντιλαμβάνονται τη σημασία του στη σύγχρονη επιστήμη και τεχνολογία. Κλείνοντας, ο εκπαιδευτικός μπορεί να ενθαρρύνει τους μαθητές να συνεχίσουν να εξερευνούν τις κβαντικές έννοιες, να θέτουν ερωτήματα και να συνδέουν τη φυσική με το μέλλον. Ένα σύντομο μήνυμα που υπογραμμίζει τη σημασία της επιστήμης στην κατανόηση και τη διαμόρφωση του κόσμου μπορεί να αποτελέσει το ιδανικό τέλος για αυτή τη διδακτική παρέμβαση. Για παράδειγμα:

"Η επιστήμη μάς βοηθά να δούμε τον κόσμο με νέα μάτια. Το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο είναι μόνο η αρχή της εξερεύνησης των κβαντικών κόσμων. Ίσως οι ανακαλύψεις που θα κάνετε στο μέλλον να είναι ακόμη πιο συναρπαστικές."

7.2 Αντί Επιλόγου

Κλείνοντας το κεφάλαιο αυτό, είναι σαφές ότι οι καλές πρακτικές και η προτεινόμενη διδακτική παρέμβαση δεν αποτελούν απλώς μια θεωρητική προσέγγιση, αλλά έναν οδικό χάρτη για τη βελτίωση της διδασκαλίας του φωτοηλεκτρικού φαινομένου στη Γ' Λυκείου. Η παρέμβαση αυτή βασίζεται σε σύγχρονες παιδαγωγικές προσεγγίσεις, στηριγμένες τόσο σε επιστημονικά δεδομένα όσο και στις εμπειρίες και απόψεις των ίδιων των εκπαιδευτικών που βρίσκονται στην πρώτη γραμμή της διδασκαλίας.

Η εφαρμογή αυτών των πρακτικών έχει τη δυνατότητα να ενισχύσει την κατανόηση της φυσικής, να καλλιεργήσει στους μαθητές την κριτική σκέψη και να δημιουργήσει μια πιο ζωντανή και διαδραστική μαθησιακή εμπειρία. Παράλληλα, προτείνεται μια δυναμική αλλαγή στη διδακτική προσέγγιση, η οποία επιδιώκει να γεφυρώσει το χάσμα ανάμεσα στη θεωρητική γνώση και τις πρακτικές εφαρμογές, φέρνοντας τη φυσική πιο κοντά στην πραγματικότητα που ζουν οι μαθητές. Η διδασκαλία του φωτοηλεκτρικού φαινομένου δεν είναι απλώς μια ενότητα της φυσικής που πρέπει να καλυφθεί μέσα σε λίγες διδακτικές ώρες, αλλά αποτελεί μια εξαιρετική ευκαιρία για τους μαθητές να έρθουν σε επαφή με τη γέννηση της κβαντικής φυσικής και την επανάσταση που έφερε στη σύγχρονη επιστήμη.

Φέτος(2025), συμπληρώνονται εκατό χρόνια από τη θεμελίωση της κβαντικής μηχανικής, μιας θεωρίας που ξεκίνησε από την ανάγκη να εξηγηθούν φαινόμενα όπως το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο, οδηγώντας σε μια νέα κατανόηση της ύλης και της ενέργειας. Η σημασία του φαινομένου δεν περιορίζεται μόνο στο θεωρητικό του υπόβαθρο, αλλά έχει πρακτικές εφαρμογές που επηρεάζουν την καθημερινότητά μας, από τα φωτοβολταϊκά και τους αισθητήρες φωτός μέχρι τις τεχνολογίες λέιζερ και την κβαντική υπολογιστική.

Παρόλα αυτά, η διδασκαλία του φωτοηλεκτρικού φαινομένου συχνά περιορίζεται σε μια περιγραφική παρουσίαση της εξίσωσης του Einstein, συνοδευόμενη από μερικά παραδείγματα και κάποιες φορές ένα πείραμα επίδειξης. Μια τέτοια προσέγγιση, αν και παρέχει βασικές πληροφορίες, δεν αρκεί για να επιτρέψει στους μαθητές να κατανοήσουν πραγματικά το βάθος της επιστημονικής επανάστασης που συντελέστηκε. Η προτεινόμενη διδακτική παρέμβαση αναδεικνύει τη σημασία της ενσωμάτωσης πειραματικών διαδικασιών και διαδραστικών προσομοιώσεων στη διδασκαλία, όχι ως μια επιφανειακή επίδειξη ενός φαινομένου, αλλά ως αναπόσπαστο κομμάτι της μαθησιακής εμπειρίας. Μέσα από το πείραμα, οι μαθητές αποκτούν ενεργό ρόλο στη διερεύνηση των φυσικών νόμων, αναλύουν δεδομένα, διαμορφώνουν υποθέσεις και εξάγουν συμπεράσματα, ενώ μέσω των προσομοιώσεων έχουν τη δυνατότητα να παρατηρήσουν πτυχές του φαινομένου που δεν θα μπορούσαν να γίνουν άμεσα ορατές σε ένα πραγματικό πείραμα.

Για να έχει η διδασκαλία του φωτοηλεκτρικού φαινομένου το επιθυμητό μαθησιακό αποτέλεσμα, είναι απαραίτητο να προβλεφθούν οι κατάλληλες ώρες στο αναλυτικό πρόγραμμα, επιτρέποντας στους μαθητές να εμβαθύνουν στα βασικά του σημεία και να κατανοήσουν τη μετάβαση από την κλασική στη σύγχρονη φυσική. Η περιορισμένη χρονική

διάρκεια που συχνά διατίθεται σήμερα σε τέτοιες έννοιες δεν επιτρέπει την ανάπτυξη μιας πλήρους μαθησιακής εμπειρίας και οδηγεί σε αποσπασματική κατανόηση. Μια πιο εκτεταμένη και διαδραστική προσέγγιση, όπου οι μαθητές συμμετέχουν ενεργά μέσα από πειραματισμούς, ανάλυση δεδομένων και συγκριτική μελέτη θεωριών, είναι αναγκαία ώστε να επιτευχθεί ουσιαστική μάθηση.

Συνδέοντας όλα τα παραπάνω, το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο δεν αποτελεί μόνο ένα από τα σημαντικότερα σημεία καμπής στη φυσική του 20ού αιώνα, αλλά και μια ευκαιρία να αναδειχθεί η επιστημονική μεθοδολογία μέσα από τη διδασκαλία. Οι μαθητές δεν πρέπει απλώς να ακούσουν για το πείραμα του Millikan και την εξίσωση του Einstein, αλλά να εμπλακούν ενεργά στη διαδικασία, να αναρωτηθούν, να πειραματιστούν και να ανακαλύψουν τη σημασία του φαινομένου μέσα από βιωματικές και διερευνητικές προσεγγίσεις. Σε αυτή τη βάση, η εκπαίδευση στη φυσική δεν πρέπει να περιορίζεται στη μετάδοση πληροφοριών, αλλά να καλλιεργεί την επιστημονική σκέψη, προετοιμάζοντας τους μαθητές όχι απλώς ως γνώστες, αλλά ως ερευνητές του φυσικού κόσμου.

Αυτή η πρόταση επίσης δεν είναι στατική, αλλά έχει τη δυνατότητα να εξελίσσεται, καθώς οι εκπαιδευτικοί θα την προσαρμόζουν στις ιδιαίτερες ανάγκες και συνθήκες των σχολείων τους. Μέσω της διαρκούς αξιολόγησης και ανατροφοδότησης, η παρέμβαση αυτή μπορεί να συμβάλει στη δημιουργία ενός πιο ευέλικτου και αποτελεσματικού εκπαιδευτικού περιβάλλοντος.

Εν τέλει, οι καλές πρακτικές που προτείνονται δεν αποσκοπούν μόνο στη βελτίωση της διδασκαλίας του φωτοηλεκτρικού φαινομένου, αλλά και στη διαμόρφωση μιας νέας κουλτούρας στη διδασκαλία της φυσικής στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση. Μια κουλτούρα που θα βασίζεται στην καινοτομία, τη συνεργασία και την έμπνευση, θέτοντας τις βάσεις για την ανάπτυξη μαθητών που δεν απλώς κατανοούν τις επιστημονικές έννοιες, αλλά και μαθαίνουν να τις αξιοποιούν για να ανακαλύπτουν και να κατανοούν τον κόσμο που τους περιβάλλει. Με αυτή τη φιλοσοφία, η διδασκαλία μετατρέπεται από μια απλή μετάδοση γνώσεων σε ένα μέσο καλλιέργειας δημιουργικών και στοχαστικών νέων, έτοιμων να αντιμετωπίσουν τις προκλήσεις του μέλλοντος.

Τελικά, η επιτυχία μιας τέτοιας προσπάθειας δεν εξαρτάται μόνο από την καλή πρόθεση ή την τεχνογνωσία, αλλά από τη συνεργασία της εκπαιδευτικής κοινότητας σε όλα τα επίπεδα. Μια τέτοια συνέργεια μπορεί να προσφέρει στους μαθητές όχι μόνο γνώσεις, αλλά και την έμπνευση να δουν τη φυσική ως ένα εργαλείο κατανόησης και ανακάλυψης, διαμορφώνοντας έτσι μια νέα γενιά που θα είναι καλύτερα εξοπλισμένη να ανταποκριθεί στις προκλήσεις του μέλλοντος.

8 Βιβλιογραφία

Anderson, T., Chen, S., & Lee, J. (2021). Sustainability challenges in the recycling of solar panels. *Renewable Energy Journal*, 85(4), 150-162. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.06.015>

Anweiler, O. (2016). Εκπαιδευτικά Συστήματα στην Ευρώπη και στην Ελλάδα. Εκδόσεις Πολιτεία.

Atkins, P. W., & Friedman, R. (2011). *Molecular quantum mechanics*. Oxford University Press.

Baliouiskas, G. (2020). Barriers and challenges in the integration of ICT in education: Teachers' perspectives (Master's thesis, University of Peloponnese).

Battaglia, F., Gerosa, T., & Realdon, G. (2015). Problem-based learning in teaching quantum phenomena in secondary school. *Physics Education Research Journal*, 10(1), 102-112.

Bhadra, S. (2022). Advances in Flexible Organic Photodetectors: Materials and Applications. *Nanomaterials*, 12(21), 3775.

Bohr, N. (1935). Can quantum-mechanical description of physical reality be considered complete? *Physical Review*, 48(8), 696.

Bonacci, E. (2018). Proposals for High School Teaching of Quantum Physics. *Atiner's Conference Paper Proceedings Series*, PHY2018-0082, Athens, 82.

Brown, A., & Thompson, D. (2022). Digital simulations as tools for correcting misconceptions in physics education. *Physics Education Review*, 34(2), 89-101. <https://doi.org/10.1088/1361-6552/abfd47>

Brown, A., Foster, K., & Greene, P. (2020). The role of international collaboration in advancing solar energy technology. *International Journal of Renewable Energy*, 12(3), 456-470. <https://doi.org/10.1007/s11191-020-00153-6>

Butler, D. L., & Sellbom, M. (2002). Barriers to adopting technology for teaching and learning. *Educause Quarterly*, 25(2), 22-28.

Bybee, R. W. (1997). Achieving scientific literacy: From purposes to practices. Heinemann.

Cataloglu, E., & Robinett, R. W. (2002). Testing the development of student conceptual and visualization understanding in quantum mechanics through the undergraduate career. *American Journal of Physics*, 70(3), 238-251.

Chen, R., Sun, J., & Sun, X. (2024). Advances Photodetection: Materials, Device, and Applications. *Micromachines*, 15(10), 1249.

Chevallard, Y., Bosch, M., & Sensevy, G. (2018). Teaching physics in the digital age: Effects of simulations on understanding. *European Journal of Physics Education*, 6(2), 75-88.

Chousou, M., & Simos, P. (2024). Challenges in introducing quantum physics into secondary education curricula: Teachers' perspectives. *eProceedings of CoDiSTE*, 3(1), 15-28.

Creswell, J. W., & Poth, C. N. (2018). *Qualitative inquiry and research design: Choosing among five approaches* (4th ed.). Sage Publications.

Dimou, S., & Sofianou, A. (2019). Enhancing quantum physics understanding through interactive simulations in Greek high schools. *Journal of Science Education*, 25(3), 243-256.

Ertmer, P. A., Ottenbreit-Leftwich, A. T., Sadik, O., Sendurur, E., & Sendurur, P. (2012). Teacher beliefs and technology integration practices: A critical relationship. *Computers & Education*, 59(2), 423-435.

Felani, K. (2019). Obstacles in ICT integration in Greek secondary education: Teacher perspectives (Master's thesis, University of Piraeus).

Finkelstein, N. D., Adams, W. K., Keller, C. J., Kohl, P. B., Perkins, K. K., Podolefsky, N. S., & Reid, S. (2005). When learning about the real world is better done virtually: A study of substituting computer simulations for laboratory equipment. *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*, 1(1), 010103.

Gasiorowicz, S. (2020). *Κβαντική Φυσική (μετ. στα ελληνικά)*. Κλειδάριθμος.

Georgalas, C. (1977). *Εισαγωγή στην Κβαντομηχανική: Τόμος 1*. Εκδόσεις Παπαζήσης.

Greece 20. (n.d.). Διεθνοποίηση εκπαιδευτικών υπηρεσιών των ΑΕΙ. Ανακτήθηκε από <https://greece20.gov.gr/?calls=diethnpoiisi-ekpaideytikon-ypiresion-ton-aei>

Green, B., White, L. (2019). Environmental benefits of photovoltaic energy: Reducing CO2 emissions. *Journal of Clean Energy*, 44(2), 300-315.

Hadzidaki, P., Kalkanis, G., & Stavrou, D. (2000). Quantum mechanics: A teaching-learning proposal based on a four-mode conceptual framework. *Journal of Science Education and Technology*, 9(1), 51-63.

Hadzidaki, P., Kalkanis, G., & Stavrou, D. (2001). Teaching the particle-wave duality concept. *Physics Education*, 36(4), 301-306.

Hansen, L., Jessen, T., & Frederiksen, B. (2019). Multimedia in teaching quantum physics: The effect of visualization on students' understanding. *Scandinavian Journal of Educational Research*, 63(4), 582-601.

Hestenes, D. (1990). On decoupling probability from kinematics in quantum mechanics. *Foundations of Physics*, 20(10), 1213-1232.

Hirose, A., Takahashi, M., & Fujimoto, T. (2019). Virtual laboratories in quantum physics education: Enhancing students' understanding and critical thinking skills. *Japanese Journal of Physics Education*, 14(3), 215-228.

Hirose, K., Morita, M., & Fujii, T. (2019). Development of virtual lab environments for teaching quantum physics in Japanese high schools. *Journal of Physics: Conference Series*, 1287(1), 012018. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1287/1/012018>

Hobson, A. (2013). *Concepts in quantum mechanics*. Springer.

Inan, F. A., & Lowther, D. L. (2010). Factors affecting technology integration in K-12 classrooms: A path model. *Educational Technology Research and Development*, 58(2), 137-154.

Ireson, G. (2000). Physics education research on quantum mechanics. *Physics Education*, 35(3), 183-189.

Ireson, G. (2000). The quantum understanding of pre-university physics students. *Physics Education*, 35(1), 15-21. <https://doi.org/10.1088/0031-9120/35/1/302> Johnston, I. D., Crawford, K., & Fletcher, P. R. (1998). Student difficulties in learning quantum mechanics. *International Journal of Science Education*, 20(4), 427-446.

Johnston, K. (1998). *Student difficulties with quantum mechanics concepts: A phenomenographic approach*. University of Sydney.

Jones, L., & Thompson, D. (2020). Experimental learning in physics education: Comparative study across European schools. *Journal of Physics Education*, 12(2), 133-145.

Jones, L., Smith, R., & Lee, M. (2019). The impact of digital simulations on student learning in modern physics. *International Journal of Physics Teaching*, 12(4), 307-319.

Kalkanis, G., Hadzidaki, P., & Stavrou, D. (2003). An instructional model for a radical conceptual change towards quantum mechanics concepts. *Science Education*, 87, 257.

Karagiannis, I. (2021). The role of PhET simulations in understanding the photoelectric effect in Greek education. *Education Research Journal*, 33(2), 25-36.

Koehler, M. J., & Mishra, P. (2009). What is technological pedagogical content knowledge (TPACK)? *Contemporary Issues in Technology and Teacher Education*, 9(1), 60-70.

Kolodner, J. L., Hmelo, C. E., & Narayanan, N. H. (2003). *Problem-Based Learning: A Research Perspective on Learning Interactions*. Lawrence Erlbaum Associates. Kuhn, T. S. (1970). *The structure of scientific revolutions*. University of Chicago Press.

Lautesse, P., Dupin, J., & Johsua, S. (2015). Teaching quantum mechanics in secondary education: The French perspective. *European Journal of Science Education*, 37(3), 387-408.

Lawless, K. A., & Pellegrino, J. W. (2007). Professional development in integrating technology into teaching and learning: Known, unknowns, and ways to pursue better questions and answers. *Review of Educational Research*, 77(4), 575–614.

Li, Y., Chen, H., & Wang, L. (2020). Multimedia in teaching quantum phenomena: Reducing misconceptions and enhancing understanding. *Chinese Journal of Science Education*, 35(2), 67-78.

Mashadi, A. (1996). Teaching Quantum Physics in Secondary Education: Cognitive Barriers and Conceptual Change. *Journal of Research in Science Teaching*.

Mazur, E. (1997). *Peer Instruction: A User's Manual*. Prentice Hall.

McDermott, L. C. (1991). Millikan lecture 1990: What we teach and what is learned—Closing the gap. *American Journal of Physics*, 59(4), 301-315.

McKagan, S. B., Perkins, K. K., & Wieman, C. E. (2008). Designing research-based instructional materials for teaching quantum mechanics. *American Journal of Physics*, 76(4), 406–417. <https://doi.org/10.1119/1.2835054>

McKagan, S. B., Perkins, K. K., & Wieman, C. E. (2009). Design and validation of the quantum mechanics conceptual survey. *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*, 5(1), 1-17.

Michelini, M., Ragazzon, R., Santi, L., & Stefanel, A. (2021). Innovative approaches to teaching quantum physics in high schools: The role of digital simulations. *Physics Education*, 56(5), 055032. <https://doi.org/10.1088/1361-6552/abfd47>

Michelini, M., Santi, L., & Viola, R. (2021). Developing quantum concepts in secondary school: A teaching-learning sequence. *Journal of Science Education*, 8(1), 25-34.

Michos, D. (2015). *Digital Technologies in Physics Teaching: Challenges and Opportunities*. Patakis Publications.

Müller, H., Weber, F., & Schmidt, R. (2019). Quantum physics in high school: Bridging theory and practice in German labs. *International Journal of Science Education*, 41(5), 723-741.

National Research Council. (2012). *A framework for K-12 science education: Practices, crosscutting concepts, and core ideas*. The National Academies Press.

Osborne, J., & Dillon, J. (2008). *Science education in Europe: Critical reflections*. Nuffield Foundation.

Osborne, J., Simon, S., & Collins, S. (2003). Attitudes towards science: A review of the literature and its implications. *International Journal of Science Education*, 25(9), 1049–1079.

Papadimitriou, G., & Tsalikidis, N. (2021). Technology-enhanced learning in Greek schools: The case of physics. *Hellenic Journal of Education*, 20(1), 45-58.

Papadopoulos, D., & Alexandri, M. (2020). Examining the educational benefits of simulation-based learning in quantum mechanics. *Physics Education*, 12(3), 160-170.

Park, S., Oh, J., & Kim, H. (2018). Collaborative learning in quantum mechanics: Improving students' analytical skills through group activities. *Korean Journal of Science Education*, 38(4), 451-469.

Perkins, K., Loeblein, P., & Wieman, C. (2006). *PhET Interactive Simulations: Research-Based Simulations for Teaching Physics Concepts*. University of Colorado.

Politeianet. (2016). Εκπαιδευτικά Συστήματα στην Ευρώπη και στην Ελλάδα. Ανακτήθηκε από www.politeianet.gr.

Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. W., & Gertzog, W. A. (1982). Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66(2), 211-227.

Psillos, D., & Kariotoglou, P. (2016). *Teaching and learning in the science classroom*. Springer.

Sang, G., Valcke, M., Braak, J., & Tondeur, J. (2010). Student teachers' thinking processes and ICT integration: Predictors of prospective teaching behaviors with educational technology. *Computers & Education*, 54(1), 103-112.

Seop, K., Lee, J., & Park, H. (2017). Understanding the photoelectric effect: Emphasizing the role of the work function in electron emission. *Journal of Physics Education*, 52(4), 215-223.

Singh, C., Belloni, M., & Christian, W. (2006). Improving students' understanding of quantum mechanics. *Physics Today*, 59(8), 43-49.

Smith, J., & Jones, R. (2022). Advances in materials for solar cell technology. *Journal of Photovoltaics*, 33(1), 20-34. <https://doi.org/10.1109/jpv.2022.114731>

Sokolov, A. S., Akimenko, N. Y., & Kokhanenko, A. P. (2023). Silicon-Based Avalanche Photodiodes: Advancements and Applications in Medical Imaging. *Nanomaterials*, 13(23), 3078.

Stadermann, H. K. E., & Goedhart, M. J. (2021). Incorporating the nature of science in teaching quantum mechanics: A case study from the Netherlands. *Science & Education*, 30(2), 367-391. <https://doi.org/10.1007/s11191-020-00153-6>

Stadermann, H. K. E., & Goedhart, M. J. (2021). Integrating nature of science (NOS) in teaching quantum physics in secondary school. *International Journal of Science Education*, 43(5), 725-744.

Süssmuth, R. (2016). The European Union's Education Policy: A Historical and Political Analysis. *Journal of European Integration*, 38(2), 123–137.

Tondeur, J., van Braak, J., Ertmer, P. A., & Ottenbreit-Leftwich, A. (2012). Understanding the relationship between teachers' pedagogical beliefs and technology use in education: A systematic review of qualitative evidence. *Educational Technology Research and Development*, 60(3), 347-365

Tondeur, J., van Braak, J., Sang, G., Voogt, J., Fisser, P., & Ottenbreit-Leftwich, A. (2017). Preparing pre-service teachers to integrate technology in education: A synthesis of qualitative evidence. *Computers & Education*, 59(2), 423-435. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2017.02.009>

Treagust, D. F., Duit, R., & Fraser, B. J. (1996). Improving teaching and learning in science and mathematics. Teachers College Press.

Tsai, C.-C., Chou, C.-H., & Lin, T.-F. (2015). Students' understanding of uncertainty and probability in quantum mechanics. *Physical Review Physics Education Research*, 11(2), 020115.

Vosniadou, S. (2008). International handbook of research on conceptual change. Routledge.

Wieman, C. E., Adams, W. K., & Perkins, K. K. (2008). PhET: Simulations that enhance learning. *Science*, 322(5902), 682–683

Zacharia, Z. C. (2007). Comparing and combining real and virtual experimentation: An effort to enhance students' conceptual understanding of electric circuits. *Journal of Research in Science Teaching*, 44(3), 459-479.

Zoupidis, A., & Kalantzi, N. (2011). Integration of Digital Simulations in Quantum Physics Education: Assessment and Effectiveness. *Journal of Science Education*, 14(2), 60-78.

Αναγνωστόπουλος, Κ. (2019). Η συνεργατική μάθηση στη φυσική εκπαίδευση: Στρατηγικές και πρακτικές εφαρμογές. *Περιοδικό Εκπαιδευτικής Καινοτομίας*, 5(2), 33-47.

Αναγνώστου, Κ., & Δημητρίου, Π. (2021). Η προβληματοκεντρική μάθηση και οι προκλήσεις της εφαρμογής της στη διδασκαλία της φυσικής. *Εκπαιδευτικά Νέα*, 40(2), 45-59.

Αναστασίου, Π. (2018). Κβαντική Σύμπλεξη και Υπερθέση Καταστάσεων: Νέες Εξελίξεις στη Φυσική. *Εκδόσεις Ποιότητα*.

Βασιλείου, Α., & Παπαδόπουλος, Γ. (2020). Η διδασκαλία της φυσικής στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση: Παραδοσιακές και σύγχρονες προσεγγίσεις. *Πρακτικά Συνεδρίου Φυσικής*, 4(1), 45-58.

Δασκαλόπουλος, Θ. (2011). Κυματοσυνάρτηση και Ερμηνεία της Κοπεγχάγης. Εκδόσεις Gutenberg.

Δασκαλόπουλος, Θ. (2011). Η εφαρμογή του φωτοηλεκτρικού φαινομένου στην τεχνολογία. Ελληνική Φυσική Εταιρεία.

ΔΕΗ. (2023). Επενδύσεις της ΔΕΗ σε φωτοβολταϊκά πάρκα: Στρατηγική για βιώσιμη ενέργεια. Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού. Ανακτήθηκε από <https://www.dei.gr>

Δημητρίου, Α., & Μακρής, Κ. (2012). Προκλήσεις και δυνατότητες στη διδασκαλία της κβαντικής φυσικής: Απόψεις καθηγητών και μαθητών δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης. Πανεπιστήμιο Αθηνών.

Δημητρίου, Α., & Μακρής, Κ. (2012). Προκλήσεις και δυνατότητες στη διδασκαλία της κβαντικής φυσικής: Απόψεις καθηγητών δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης. Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Φυσικής. Επιστημονική Επιθεώρηση Φυσικών Επιστημών, 19(3), 45-62.

Δημόπουλος, Β. (2005). Εκπαίδευση με Τεχνολογίες Πληροφόρησης στις Φυσικές Επιστήμες – Προτάσεις και εφαρμογές κβαντικών προσεγγίσεων. Πανεπιστήμιο Αθηνών.

Δημόπουλος, Β. (2021). Χρήση Προσομοιώσεων στην Εκπαίδευση: Θεωρητικό Υπόβαθρο και Εφαρμογές στη Δευτεροβάθμια Εκπαίδευση. Πανεπιστήμιο Αθηνών.

Διεθνής Οργανισμός Ενέργειας. (2023). Η Ελλάδα δεύτερη στον κόσμο στα φωτοβολταϊκά. [in.gr](https://www.iea.org).

Διεθνής Οργανισμός Ενέργειας. (2023). Φωτοβολταϊκά: Η Ελλάδα στην 10η θέση της παγκόσμιας κατάταξης. [ot.gr](https://www.iea.org).

Ertmer, P. A., Ottenbreit-Leftwich, A. T., Sadik, O., Sendurur, E., & Sendurur, P. (2012). Teacher beliefs and technology integration practices: A critical relationship. *Computers & Education*, 59(2), 423-435. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2012.02.001>

Ενεργειακό Περιοδικό. (2023). Οι 10 χώρες που θα παράγουν την περισσότερη φωτοβολταϊκή ενέργεια το 2024. [energymag.gr](https://www.energymag.gr). Ανακτήθηκε από

Ευρωπαϊκή Ένωση. (2023). Στο ευρωπαϊκό top-10 για τα φωτοβολταϊκά η Ελλάδα. [euronews.gr](https://www.euronews.com). Ανακτήθηκε από <https://gr.euronews.com/2023/12/16/sto-eyrwpaiiko-top-10-gia-ta-fwtoboltaika-h-ellada>

ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΗΣ ΠΟΛΙΤΙΚΗΣ(ΙΕΠ) (2021). Εισαγωγή στις ΤΠΕ και το Ψηφιακό Σχολείο: Επιμόρφωση εκπαιδευτικών στις σύγχρονες διδακτικές προσεγγίσεις. Υπουργείο Παιδείας και Θρησκευμάτων.

Ιωάννου, Α., κ.α. (1999). Φυσική Θετικής και Τεχνολογικής Κατεύθυνσης Γ' Λυκείου. ΟΕΔΒ

Καλογερόπουλος, Α. (2020). Προκλήσεις και προοπτικές της εργαστηριακής διδασκαλίας στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση. *Εκπαιδευτικά Νέα*, 35(3), 45-56.

Καραγιάννης, Ι. (2020). Η διερευνητική μάθηση και η εφαρμογή της στη διδασκαλία της φυσικής: Μια μελέτη περίπτωσης σε ελληνικά πειραματικά σχολεία. *Περιοδικό Διδακτικής Φυσικής*, 11(1), 33-47.

Κωνσταντίνου, Ε. (2018). Ο ρόλος της τεχνικής υποστήριξης στη χρήση των ΤΠΕ στην πρωτοβάθμια εκπαίδευση (Master's thesis, University of Western Macedonia).

Κέντρο Ανάπτυξης Εκπαιδευτικής Πολιτικής (ΚΑΝΕΠ) - ΓΣΕΕ. (2020). Έρευνα για το επίπεδο των δεξιοτήτων στο εργατικό δυναμικό.

Κόντης, Μ. (2013). Συμπληρωματικότητα και Κβαντική Θεωρία. Εκδόσεις Κάκτος.

Κόντης, Μ. (2013). Η αρχή της συμπληρωματικότητας στη φυσική. Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης.

Κούτρας, Α. (2004). Η Εξέλιξη της Κβαντικής Θεωρίας. Εκδόσεις Νέα Παιδεία.

Μακρυγιάννης, Ν. (2022). Ψηφιακές πλατφόρμες και η εφαρμογή της συνεργατικής μάθησης στη διδασκαλία της φυσικής. *Επιστημονική Επιθεώρηση Φυσικών Επιστημών*, 12(3), 55-67.

Μαργιώλας, Γ. (2018). Εισαγωγή στην κβαντική φυσική, μια προσέγγιση για μαθητές Λυκείου. *Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο*

Μαρκάκης, Δ. (2022). Ψηφιακές προσομοιώσεις και ανακαλυπτική μάθηση: Νέες προοπτικές για τη διδασκαλία της φυσικής. *Επιστημονική Επιθεώρηση Φυσικών Επιστημών*, 15(3), 89-102.

Μαρκοπούλου, Ε., Παπαδόπουλος, Κ., & Γεωργίου, Α. (2021). Εννοιολογικές δυσκολίες στη διδασκαλία της κβαντικής φυσικής στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση: Εμπειρική μελέτη στο φωτοηλεκτρικό φαινόμενο. *Παιδαγωγική Επιθεώρηση*, 67(2), 45-62

Μουστάκας, Ν. (2015). Η Δυαδική Φύση του Φωτός και η Κβαντική Θεωρία. Εκδόσεις Παπαζήση.

Μπουντούρη, Α. (2023). Η σημασία της ιστορίας των φυσικών επιστημών στη διδασκαλία της κβαντικής φυσικής. *Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο*.

Νικολουδάκης, Γ. (2023). Διδακτικές Προσεγγίσεις στην Κβαντική Φυσική: Το Φωτοηλεκτρικό Φαινόμενο και οι Προσομοιώσεις στη Διδασκαλία. *Πανεπιστήμιο Κρήτης*.

Νικολουδάκης, Δ. (2019). Διδασκαλία βασικών εννοιών Κβαντικής Θεωρίας: Το πρόβλημα του ημι-κλασικού μοντέλου δόμησης του ατόμου και το κβαντικό μοντέλο στη Δευτεροβάθμια Εκπαίδευση. *Πανεπιστήμιο Κρήτης*.

Παιδαγωγικό Ινστιτούτο. (2006). Η εισαγωγή των κβαντικών φαινομένων στη διδασκαλία της φυσικής στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση: Έρευνα και αξιολόγηση. Υπουργείο Παιδείας και Θρησκευμάτων. Ανακτήθηκε από το αρχείο του Παιδαγωγικού Ινστιτούτου.

Παπαγεωργίου, Ε. (2023). Θέματα Κβαντομηχανικής για μαθητές Λυκείου. Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο.

Παπαδάκη, Μ. (2021). Εξοπλισμός εργαστηρίων φυσικής και επιπτώσεις στη διδασκαλία της κβαντικής φυσικής. *Περιοδικό Διδακτικής Φυσικής*, 10(1), 85-97.

Παπαδημητρίου, Γ., & Σωτηρίου, Δ. (2018). Προβληματοκεντρική μάθηση και φυσική: Ανάπτυξη κριτικής σκέψης. *Εκπαιδευτική Έρευνα*, 12(3), 125-137.

Παπαδημητρίου, Γ., & Σωτηρίου, Δ. (2020). Συνεργατική μάθηση και ανάπτυξη κριτικής σκέψης στη φυσική εκπαίδευση. *Εκπαιδευτική Έρευνα και Καινοτομία*, 7(1), 12-25.

Παπαδόπουλος, Δ., & Σωτηρίου, Γ. (2015). Η επίδραση των διαδραστικών μεθόδων στη διδασκαλία της κβαντικής φυσικής. *Εκδόσεις Κλειδάριθμος*.

Παπαδοπούλου, Α., & συν. (2019). Η επιρροή της τεχνικής υποστήριξης στη χρήση των ΤΠΕ στην εκπαίδευση. *Πρακτικά Συνεδρίου Εκπαιδευτικής Τεχνολογίας*, 2650-2509

Παπαθεοδώρου, Ν. (2008). Η υιοθέτηση των νέων τεχνολογιών στη διδασκαλία της φυσικής: Προβλήματα και προοπτικές. *Παιδαγωγική Επιθεώρηση*, 7(1), 120-138.

Παπαθεοδώρου, Ν. (2008). Η ψυχολογική επίδραση της διδασκαλίας της σύγχρονης φυσικής στους μαθητές. *Παιδαγωγική Επιθεώρηση*, 7(1), 90-112.

Παπαναστασίου, Α., & Κεφαλάς, Μ. (2019). Αυτοπεποίθηση και συνεργατική μάθηση: Η επίδραση των ομαδικών δραστηριοτήτων στη φυσική. *Ελληνική Επιθεώρηση Εκπαίδευσης*, 29(4), 57-72.

Παπαναστασίου, Α., & Κεφαλάς, Μ. (2019). Συνεργατική και διερευνητική μάθηση στη διδασκαλία των φυσικών επιστημών: Επιπτώσεις στην αυτοπεποίθηση των μαθητών. *Ελληνική Επιθεώρηση Εκπαίδευσης*, 29(4), 57-72.

Παπανδρέου, Α., & Αντωνίου, Μ. (2019). Εργαστηριακή διδασκαλία στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση: Εφαρμογές και προκλήσεις. *Πρακτικά Επιστημονικής Συνάντησης*, 5, 92-104.

Περιβολαρόπουλος, Α. (2023). Εισαγωγή στην Κβαντική Θεωρία. *Εκδόσεις Καλλίπολις*.

Ραβάνης, Κ. (2018). Εισαγωγή στη Διδακτική και στη Διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών. *Εκδόσεις Πολιτεία*.

Σαμαράς, Ν., & Παπακωνσταντίνου, Ε. (2018). Η κατάσταση των σχολικών εργαστηρίων φυσικών επιστημών στην Ελλάδα. *Ελληνική Επιθεώρηση Εκπαίδευσης*, 27(4), 301-319.

Σταματοπούλου, Ε. (2021). Η αντιμετώπιση των λανθασμένων αντιλήψεων στη φυσική μέσω της συνεργατικής μάθησης. *Περιοδικό Διδακτικής Φυσικής*, 10(2), 45-58.

Σωτηρίου, Γ., & Παπαδόπουλος, Δ. (2015). Εκπαιδευτικές στρατηγικές για τη διδασκαλία της σύγχρονης φυσικής: Προκλήσεις και ευκαιρίες στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση. *Εκδόσεις Κλειδάριθμος*.

Υπουργείο Παιδείας και Θρησκευμάτων. (2021). Εισαγωγή στις ΤΠΕ: Εκπαιδευτικά προγράμματα επαγγελματικής ανάπτυξης εκπαιδευτικών. Ινστιτούτο Εκπαιδευτικής Πολιτικής.

Υπουργείο Παιδείας και Θρησκευμάτων. (2021). Ψηφιακό Σχολείο: Εκπαιδευτικά εργαλεία και υποδομές για τη συνεργατική μάθηση. Ινστιτούτο Εκπαιδευτικής Πολιτικής.

Φωτεινός, Δ. (2020). Αναλυτικά προγράμματα και εκπαιδευτικές μεταρρυθμίσεις στην Ελλάδα (1950–2020): Ιστορική και συγκριτική ανάλυση. Πανεπιστήμιο Αθηνών. Διαθέσιμο από

Χατζηθεοδώρου, Δ. (2019). Η Αρχή της Αβεβαιότητας του Heisenberg. Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης.

Χατζόπουλος, Α. (2018). Η πειραματική διδασκαλία της φυσικής στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση: Προκλήσεις και προοπτικές. Αθήνα: Εκδόσεις Παπαδόπουλος.

Παράρτημα: Ερωτηματολόγιο για Καθηγητές Φυσικής - Διδασκαλία του Φωτοηλεκτρικού Φαινομένου

Μέρος Α: Προσωπικά Στοιχεία

Φύλο:

- Άνδρας
- Γυναίκα
- Άλλο

Χρόνια υπηρεσίας στην εκπαίδευση:

- 0-5 έτη
- 6-10 έτη
- 11-20 έτη
- Πάνω από 20 έτη

Επίπεδο εκπαίδευσης:

- Βασικό πτυχίο
- Μεταπτυχιακό
- Διδακτορικό

Εκπαίδευση στις Τεχνολογίες Πληροφορικής και Επικοινωνιών (ΤΠΕ):

- Ναι, έχω παρακολουθήσει ειδικά προγράμματα
- Όχι, δεν έχω λάβει εκπαίδευση στις ΤΠΕ
- Σχετική εμπειρία, χωρίς επίσημη κατάρτιση

Μέρος Β: Απόψεις για τη Διδασκαλία του Φωτοηλεκτρικού Φαινομένου

Πόσο άνετα αισθάνεστε με τη διδασκαλία του φωτοηλεκτρικού φαινομένου;

- Πολύ άνετα
- Αρκετά άνετα
- Ουδέτερα
- Λιγότερο άνετα
- Καθόλου άνετα

Πόσο συχνά χρησιμοποιείτε ψηφιακά εργαλεία (π.χ., προσομοιώσεις PhET) για τη διδασκαλία του φωτοηλεκτρικού φαινομένου;

- Ποτέ

- Σπάνια
- Μερικές φορές
- Συχνά
- Πάντοτε

Ποιες προκλήσεις αντιμετωπίζετε στη διδασκαλία του φωτοηλεκτρικού φαινομένου; (επιλέξτε έως δύο)

- Έλλειψη επαρκούς εξοπλισμού
- Δυσκολία κατανόησης των μαθητών
- Έλλειψη χρόνου
- Περιορισμένη εκπαίδευση στις νέες μεθόδους
- Άλλο (παρακαλώ διευκρινίστε): _____

Πιστεύετε ότι η χρήση ψηφιακών προσομοιώσεων βοηθά τους μαθητές να κατανοήσουν καλύτερα το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο;

- Ναι, πολύ
- Ναι, ως ένα βαθμό
- Όχι, δεν επηρεάζει ιδιαίτερα
- Όχι, το βρίσκω αναποτελεσματικό

Πόσο σημαντική θεωρείτε την επιμόρφωση στα σύγχρονα ψηφιακά εργαλεία για τη διδασκαλία της φυσικής;

- Πολύ σημαντική
- Αρκετά σημαντική
- Λιγότερο σημαντική
- Καθόλου σημαντική

Ποια είναι η μεγαλύτερη ανάγκη σας για τη βελτίωση της διδασκαλίας του φωτοηλεκτρικού φαινομένου;

- Περισσότερη επιμόρφωση σε ΤΠΕ και ψηφιακά εργαλεία
- Παροχή επιπλέον εκπαιδευτικού υλικού και προσομοιώσεων
- Ανάπτυξη πιο απλών και πρακτικών πειραμάτων
- Άλλο (παρακαλώ διευκρινίστε): _____

και βρίσκεται στον σύνδεσμο : [Πατήστε εδώ για το Google Form](#)



Σχήμα 23. 2025: Έτος Κβαντικής Επιστήμης και Τεχνολογίας