

# Πανελλήνιο Συνέδριο της Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών και Νέων Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση

Τόμ. 14, Αρ. 2 (2026)

Πρακτικά 14ου Πανελληνίου Συνεδρίου Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών και Νέων Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση

## ΠΡΑΚΤΙΚΑ

### 14<sup>ο</sup>

ΠΑΝΕΛΛΗΝΙΟ ΣΥΝΕΔΡΙΟ  
ΔΙΔΑΚΤΙΚΗΣ ΦΥΣΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ  
και ΝΕΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ στην ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ

Διδασκαλία και Μάθηση στις Φυσικές Επιστήμες  
στην Εποχή της Τεχνητής Νοημοσύνης: Έρευνες, Καινοτομίες και Πρακτικές



Στην μνήμη της Άννας Σπύριου

12-14 Απριλίου 2025

ΥΠΟ ΤΗΝ ΑΙΓΙΔΑ  
ΤΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΦΥΣΙΚΗΣ, ΔΠΘ  
ΤΗΣ ΣΧΟΛΗΣ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ, ΔΠΘ

Εργαστήριο Διδακτικής της Φυσικής & Εκπαιδευτικής Τεχνολογίας,  
Τμήμα Φυσικής, Σχολή Θετικών Επιστημών,  
Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

synedrio2025.enepht.gr



**Διδασκαλία της Κβαντικής Θεωρίας στη Δευτεροβάθμια Εκπαίδευση: Εστίαση στην Ιστορία και τη Φύση της Επιστήμης**

*Μαρία Μαγαλιού, Γιάννα Κατσιαμπούρα, Κώστας Σκορδούλης*

doi: [10.12681/codiste.9913](https://doi.org/10.12681/codiste.9913)

## Διδασκαλία της Κβαντικής Θεωρίας στη Δευτεροβάθμια Εκπαίδευση: Εστίαση στην Ιστορία και τη Φύση της Επιστήμης

Μαρία Μαγαλιού<sup>1</sup>, Γιάννα Κατσιαμπούρα<sup>2</sup>, Κώστας Σκορδούλης<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Υποψήφια Διδάκτορας, <sup>2</sup>Επίκουρη Καθηγήτρια, <sup>3</sup>Καθηγητής

Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης,

Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών

<sup>1</sup>*mvpmag@gmail.com*, <sup>2</sup>*katsiaioan@primedu.uoa.gr*, <sup>3</sup>*kskordul@primedu.uoa.gr*

### Περίληψη

Η κβαντική θεωρία αποτελεί έναν από τους πιο συναρπαστικούς τομείς της σύγχρονης επιστήμης. Ωστόσο, η αφηρημένη και μαθηματικά απαιτητική φύση της αποτελεί μια πρόκληση για τους μαθητές/τριες. Τα τελευταία χρόνια έχουν προταθεί μια σειρά μέθοδοι διδασκαλίας της κβαντικής θεωρίας στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση, με τις δύο κυριότερες να εστιάζονται στη χρήση ψηφιακών μέσων και στη διεξαγωγή πειραμάτων στο εργαστήριο. Η παρούσα εργασία παρουσιάζει έρευνες που δημοσιεύτηκαν μετά το 2014 και εξετάζουν πώς μπορούν να διδαχθούν βασικές έννοιες και αρχές της κβαντικής θεωρίας σε μαθητές/τριες δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης με μέθοδο που να στηρίζεται και να αξιοποιεί την Ιστορία και τη Φύση της επιστήμης.

**Λέξεις κλειδιά:** δευτεροβάθμια εκπαίδευση, διδασκαλία, εννοιολογική κατανόηση, επιστημολογία, κβαντική θεωρία

## Teaching Quantum Theory in Secondary Education: A Focus on the History and Nature of Science

Maria Magaliou<sup>1</sup>, Gianna Katsiampoura<sup>2</sup>, Kostas Skordoulis<sup>3</sup>

<sup>1</sup>PhD candidate, <sup>2</sup>Associate Professor, <sup>3</sup>Professor

Department of Pedagogy and Primary Education,

National and Kapodistrian University of Athens

<sup>1</sup>*mvpmag@gmail.com*, <sup>2</sup>*katsiaioan@primedu.uoa.gr*, <sup>3</sup>*kskordul@primedu.uoa.gr*

### Abstract

Quantum theory is one of the most exciting and innovative fields in modern science. However, its abstract and mathematically demanding nature makes it challenging for students. In recent years, various methods of teaching quantum theory in secondary education have been proposed, with the two main ones focusing on the use of digital media and conducting experiments in the laboratory. This paper presents research published after 2014 that examines how basic concepts and principles of quantum theory can be taught to secondary school students, with a method that builds on and utilizes the History and Nature of Science.

**Keywords:** conceptual understanding, teaching, epistemology, quantum theory, secondary education

### Εισαγωγή

Η κβαντική φυσική ανέτρεψε τις κλασικές αντιλήψεις, εισάγοντας έννοιες όπως κβάντωση, κυματοσωματιδιακός δυϊσμός, αβεβαιότητα, υπέρθεση και διεμπλοκή. Ο ντετερμινιστικός κόσμος της κλασικής φυσικής, όπου όλα ήταν προβλέψιμα, αντικαθίσταται από έναν κόσμο

πιθανοτήτων και εγγενούς αβεβαιότητας. Οι ανακαλύψεις της αναμόρφωσαν τις επιστήμες, την τεχνολογία και τη φιλοσοφία των επιστημών, επηρεάζοντας τις αντιλήψεις για τον κόσμο (Müller & Mishina, 2021· Müller & Wiesner 2002). Παρά τη φαινομενική της απόσταση από την καθημερινότητα, η κβαντική φυσική θεμελιώνει σύγχρονες τεχνολογίες όπως φωτονική, ιατρική απεικόνιση, κρυπτογραφία, υπολογιστές κ.α. (Krijtenburg-Lewerissa et al., 2017· Staderman et al., 2021).

Η κβαντική φυσική, λόγω πολυπλοκότητας, συχνά παρερμηνεύεται από την ψευδο-επιστήμη, η οποία παραποιεί βασικές έννοιες. Η χρήση επιστημονικοφανούς ορολογίας, η υπεραπλούστευση και η επίκληση στη "μυστικιστική" φύση της δημιουργούν ψευδαισθήσεις επιστημονικής εγκυρότητας, παραπλανώντας το κοινό. Αυτή η εκμετάλλευση μπορεί να έχει σοβαρές επιπτώσεις, υπονομεύοντας την επιστημονική κουλτούρα, απειλώντας τη δημόσια υγεία και την οικονομική εξαπάτηση. Η εκπαίδευση στη κβαντική φυσική είναι κρίσιμη για την επιστημονική σκέψη και τη συμμετοχή των πολιτών στον δημόσιο διάλογο (Pospiech 2021). Αναγνωρίζοντας την αυξανόμενη σημασία της, πολλές χώρες (Αυστραλία, Αυστρία, Βέλγιο, Καναδάς, Δανία, Φιλανδία, Γαλλία, Γερμανία, Ιταλία, Ολλανδία, Νορβηγία, Πορτογαλία, Ισπανία, Σουηδία και Ηνωμένο Βασίλειο (Αγγλία και Σκωτία)) ενέταξαν την κβαντική θεωρία στα αναλυτικά προγράμματα της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης (Stadermann et al., 2021). Αντίθετα, στην Ελλάδα, η διδασκαλία της κβαντικής φυσικής στο λύκειο παραμένει περιορισμένη, και αφορά κυρίως μαθητές/τριες που προετοιμάζονται για εισαγωγικές εξετάσεις στους τομείς των φυσικών και θετικών επιστημών. Αυτό δημιουργεί εκπαιδευτικό αποκλεισμό, αφήνοντας πολλούς/ές μαθητές/τριες χωρίς την απαραίτητη επαφή με τις αρχές του πεδίου.

Ωστόσο, η διδασκαλία της κβαντικής θεωρίας σε μαθητές και μαθήτριες δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης παρουσιάζει σημαντικές προκλήσεις. Η αφηρημένη φύση των κβαντικών εννοιών, ο μαθηματικός φορμαλισμός και η αντίθεση με κλασικές αντιλήψεις δημιουργούν γνωστικά εμπόδια. Οι μαθητές/τριες συχνά δυσκολεύονται εννοιολογικά, διατηρώντας κλασικές αντιλήψεις και αδυνατώντας να συνδέσουν την κβαντική συμπεριφορά με την εμπειρία τους (Krijtenburg-Lewerissa et al., 2017).

Η παρούσα εργασία εστιάζεται σε μια εναλλακτική διδακτική προσέγγιση που αξιοποιεί την Ιστορία και τη Φύση της Επιστήμης ως εργαλεία για τη διδασκαλία της κβαντικής θεωρίας. Μέσα από μια βιβλιογραφική ανασκόπηση ερευνών που δημοσιεύτηκαν μετά το 2014, διερευνά κατά πόσο η ενσωμάτωση της Ιστορίας της Επιστήμης και στοιχείων της Φύσης της Επιστήμης μπορεί να συμβάλει στην κατανόηση των βασικών εννοιών και αρχών της κβαντικής θεωρίας από τους/ις μαθητές/τριες δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης.

Η βασική υπόθεση εργασίας είναι ότι με τη διδασκαλία της κβαντικής θεωρίας, με πλαίσιο την ιστορική της εξέλιξη και εμπλουτισμένη με στοιχεία της Φύσης της Επιστήμης, οι μαθητές/τριες μπορούν να αποκτήσουν ολοκληρωμένη και ουσιαστική κατανόηση των αρχών της. Αυτή η προσέγγιση μπορεί να γεφυρώσει το χάσμα μεταξύ της αφηρημένης κβαντικής θεωρίας και της μαθησιακής εμπειρίας, αναδεικνύοντας παράλληλα την ανθρώπινη διάσταση της επιστημονικής αναζήτησης και τον τρόπο με τον οποίο η επιστημονική γνώση οικοδομείται και εξελίσσεται.

Το ερευνητικό ερώτημα που καθοδηγεί την παρούσα εργασία είναι αν στηρίζεται βιβλιογραφικά η υπόθεση ότι η διδασκαλία της κβαντικής θεωρίας που αξιοποιεί και υποστηρίζεται από την Ιστορία της επιστήμης και εμπλουτισμένη με στοιχεία από τη Φύση της Επιστήμης μπορεί να οδηγήσει σε κατανόηση των κβαντικών εννοιών.

## Μεθοδολογία Έρευνας

Για τη διερεύνηση του ερευνητικού ερωτήματος, πραγματοποιήθηκε μια συστηματική βιβλιογραφική ανασκόπηση. Η αναζήτηση των εργασιών έγινε με αφετηρία κατ' αρχήν μια πρόσφατα δημοσιευμένη συστηματική βιβλιογραφική επισκόπηση της διδασκαλίας της κβαντικής θεωρίας στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση (Haron & Halim, 2023). Επιπλέον,

αξιοποιήθηκε η βάση δεδομένων Google Scholar, με χρονικό φίλτρο από το 2014 έως σήμερα, επιβάλλοντας το κριτήριο της δεκαετίας για να μελετηθούν οι πιο πρόσφατες ερευνητικές τάσεις.

Η διαδικασία αναζήτησης και επιλογής των εργασιών επικεντρώθηκε σε δημοσιεύσεις που αναφέρονταν στη διδασκαλία της κβαντικής θεωρίας στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση, με ιδιαίτερη έμφαση στην αξιοποίηση της Ιστορίας της Επιστήμης και της Φύσης της Επιστήμης. Συνολικά, εντοπίστηκαν και επιλέχθηκαν για ανάλυση επτά (7) δημοσιευμένες ερευνητικές εργασίες, οι οποίες παρουσιάζονται στη συνέχεια. Η ανάλυση των επιλεγμένων εργασιών οργανώθηκε γύρω από τρεις βασικούς άξονες, οι οποίοι αντικατοπτρίζουν τα κεντρικά θέματα της παρούσας εργασίας: (α) Δυσκολίες εννοιολογικής κατανόησης, όπου εξετάζονται οι κοινές δυσκολίες και παρανοήσεις που αντιμετωπίζουν οι μαθητές/τριες κατά τη διδασκαλία της κβαντικής θεωρίας, όπως αυτές αναδεικνύονται στην ερευνητική βιβλιογραφία.

(β) Διδακτική αξιοποίηση της Φύσης της Επιστήμης, όπου διερευνάται πώς η ενσωμάτωση στοιχείων της Φύσης της Επιστήμης στη διδασκαλία της κβαντικής θεωρίας μπορεί να συμβάλει στην εννοιολογική κατανόηση και στην ανάπτυξη μιας πιο ολοκληρωμένης άποψης για την επιστήμη. (γ) Διδακτική αξιοποίηση της Ιστορίας της Επιστήμης, όπου αναλύεται ο ρόλος της Ιστορίας της Επιστήμης ως διδακτικού εργαλείου για την κβαντική θεωρία, εστιάζοντας στο πώς η ιστορική προσέγγιση μπορεί να διευκολύνει την κατανόηση των κβαντικών εννοιών και να αναδείξει τη δυναμική και ανθρώπινη φύση της επιστημονικής γνώσης.

Στις επόμενες ενότητες, παρουσιάζονται οι κυριότερες διαπιστώσεις που προέκυψαν από την ανάλυση των επιλεγμένων ερευνών, οργανωμένες σύμφωνα με τους προαναφερθέντες άξονες.

### **Δυσκολίες στην εννοιολογική κατανόηση της κβαντικής θεωρίας**

Η έρευνα αναδεικνύει με επίταση τις σημαντικές δυσκολίες που αντιμετωπίζουν οι μαθητές/τριες στην εννοιολογική κατανόηση της κβαντικής θεωρίας. Οι δυσκολίες αυτές, όπως επισημαίνουν οι Krijtenburg-Lewerissa et al. (2017), συχνά έχουν τις ρίζες τους στις προϋπάρχουσες κλασικές αντιλήψεις των μαθητών/τριών. Οι μαθητές/τριες τείνουν να διατηρούν τις αντιλήψεις των ημικλασικών μοντέλων που έχουν διδαχθεί προηγουμένως και δυσκολεύονται να συνδέσουν την κβαντική συμπεριφορά με τη φυσική πραγματικότητα, όπως την αντιλαμβάνονται μέσω της καθημερινής τους εμπειρίας. Αυτή η ασυμφωνία οδηγεί σε σύγχυση μεταξύ κλασικών και κβαντικών εννοιών, δημιουργώντας σημαντικά εμπόδια στην κατανόηση.

Ακόμη και στην ποιοτική κατανόηση των φαινομένων που περιγράφονται από την κβαντική θεωρία, οι μαθητές/τριες συχνά οδηγούνται σε παρανοήσεις (Ambrose et al., 1999). Για παράδειγμα, η έννοια του κυματοσωματιδιακού δυισμού, η αρχή της αβεβαιότητας του Heisenberg και η κβάντωση της ενέργειας αποτελούν πηγή σύγχυσης και εσφαλμένων αντιλήψεων. Οι μαθητές/τριες δυσκολεύονται να αποδεχτούν ότι ένα σωματίδιο, π.χ., μπορεί να συμπεριφέρεται και ως κύμα ή ότι η θέση και η ορμή ενός σωματιδίου δεν μπορούν να προσδιοριστούν με απόλυτη ακρίβεια ταυτόχρονα (Levntini & Fantini, 2013).

Επιπλέον, ο μαθηματικός φορμαλισμός που απαιτείται για την πλήρη περιγραφή των κβαντικών φαινομένων αποτελεί ένα επιπλέον εμπόδιο, ιδιαίτερα για τους μαθητές και τις μαθήτριες του Γυμνασίου και του Λυκείου που δεν είναι εξοικειωμένοι με το απαιτούμενο επίπεδο μαθηματικών. Η συνήθης προσέγγιση στη διδασκαλία της σύγχρονης φυσικής σπάνια αναδεικνύει την κβαντική θεωρία ως μια ουσιαστικά καινούργια αντίληψη του κόσμου, σε ριζική αντίθεση με την κλασική θεωρία. Αυτό οδηγεί όσους/ες βλέπουν τη σχολική ύλη ως μια απλοποιημένη εκδοχή της πανεπιστημιακής να συμπεράνουν πως η εισαγωγή της κβαντικής στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση είναι ανέφικτη. Ωστόσο, η διδασκαλία της στη δευτεροβάθμια θα έπρεπε να την παρουσιάζει ως μια κομβική θεωρία για την κατανόηση της πραγματικότητας (Weissman, et al., 2021). Αυτοί οι παράγοντες έχουν οδηγήσει στην ανάγκη

σχεδιασμού διδασκαλιών που προσεγγίζουν την κβαντική θεωρία χωρίς την εκτεταμένη χρήση προχωρημένων μαθηματικών (Pospiech, 2003), εστιάζοντας στην ποιοτική κατανόηση και τις εννοιολογικές βάσεις.

Συνοψίζοντας, οι δυσκολίες στην εννοιολογική κατανόηση της κβαντικής θεωρίας είναι πολυδιάστατες. Προκύπτουν από την αφηρημένη φύση των εννοιών, την αντίθεση με τις κλασικές διαισθήσεις, την ανάγκη για μαθηματικό φορμαλισμό και την έλλειψη σύνδεσης με την καθημερινή εμπειρία των μαθητών/τριών. Η αντιμετώπιση αυτών των δυσκολιών απαιτεί καινοτόμες διδακτικές προσεγγίσεις που να λαμβάνουν υπόψη τις γνωστικές ιδιαιτερότητες των μαθητών/τριών και να συνιστούν εναλλακτικές μεθόδους. Είναι θετικό ότι υπάρχει πια ένα αυξανόμενο ενδιαφέρον για εναλλακτικούς τρόπους διδασκαλίας της κβαντικής φυσικής σε σχολεία της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης τα τελευταία χρόνια, που αντανακλάται σε έναν αξιοσημείωτο αριθμό σχετικών μελετών. Οι περισσότερες από αυτές τις εναλλακτικές προτάσεις σχετίζονται με νέες τεχνικές ή γνωστικές προσεγγίσεις στη διδασκαλία εννοιών της κβαντικής φυσικής (Bitzenbauer & Meyn, 2020).

### **Διδασκαλία της Κβαντικής Θεωρίας Εμπλουτισμένη με Θέματα της Φύσης της Επιστήμης**

Η ερευνητική εργασία των Müller & Mishina (2021) υπογραμμίζει τη σημασία της γνώσης του επιστημολογικού υποβάθρου των εννοιών για την κατανόηση της κβαντικής φυσικής. Η κατανόηση της Φύσης της Επιστήμης, δηλαδή των θεμελιωδών αρχών και χαρακτηριστικών της επιστημονικής γνώσης και διαδικασίας, μπορεί να βοηθήσει τους μαθητές και τις μαθήτριες να κατανοήσουν πληρέστερα τις έννοιες της κβαντικής φυσικής και να διακρίνουν τις διαφορές μεταξύ κλασικών και κβαντικών εννοιών.

Όπως επισημαίνουν οι Stadermann et al. (2019), υπάρχει μια ευρεία συναίνεση μεταξύ των μελών της εκπαιδευτικής κοινότητας ότι η διδασκαλία της επιστήμης δεν πρέπει να περιορίζεται στην παρουσίαση των επιστημονικών αποτελεσμάτων ως απλών γεγονότων. Αντίθετα, είναι απαραίτητο να διδάσκονται παράλληλα η μέθοδος επιστημονικής έρευνας, η διαδικασία ανάπτυξης και εξέλιξης της επιστημονικής γνώσης, καθώς και τα επιστημολογικά θεμέλια των επιστημονικών κλάδων.

Η Φύση της Επιστήμης αποτελεί έναν πολυδιάστατο και σύνθετο τομέα, που περιλαμβάνει διάφορες πτυχές της επιστημονικής γνώσης και διαδικασίας (Galli, 2019). Σύμφωνα με μια ευρέως αποδεκτή ερμηνεία, περιλαμβάνει την κατανόηση ότι η επιστημονική γνώση είναι:

- **Εξελισσόμενη:** Η επιστημονική γνώση δεν είναι απόλυτη και αμετάβλητη, αλλά υπόκειται σε αναθεώρηση και αλλαγή με βάση νέα στοιχεία και ερμηνείες (Brush 1989, Henriksen et al., 2018).
- **Εμπειρική:** Η επιστημονική γνώση βασίζεται στην εμπειρία και στην παρατήρηση του φυσικού κόσμου, αν και η σχέση μεταξύ θεωρίας και εμπειρίας δεν είναι απλή και άμεση (Allchin et al. 2014, Henriksen, et al 2018).
- **Φορτισμένη με Θεωρία:** Οι παρατηρήσεις και οι ερμηνείες των επιστημόνων επηρεάζονται από τις προϋπάρχουσες θεωρίες, αντιλήψεις και προσδοκίες τους (Abd-El-Khalick & Lederman 2000, Henriksen, et al., 2018).
- **Προϊόν ανθρώπινης συμπερασματολογίας, δημιουργικότητας και φαντασίας:** Η επιστημονική γνώση δεν προκύπτει αυτόματα από τα δεδομένα, αλλά απαιτεί ανθρώπινη δημιουργικότητα, φαντασία και λογική συμπερασματολογία για την ερμηνεία των δεδομένων και την κατασκευή θεωριών (Henriksen et al., 2018, Hogan, 2000).
- **Κοινωνικά και Πολιτισμικά προσδιορισμένη:** Η επιστημονική γνώση επηρεάζεται από το κοινωνικό, πολιτισμικό και ιστορικό πλαίσιο στο οποίο αναπτύσσεται, καθώς και από τις αξίες και τις πεποιθήσεις της επιστημονικής κοινότητας και της ευρύτερης κοινωνίας (Henriksen, et al 2018, Hogan, 2000).

Η ενσωμάτωση αυτών των πτυχών της Φύσης της Επιστήμης στη διδασκαλία της κβαντικής θεωρίας μπορεί να προσφέρει στους μαθητές και τις μαθήτριες μια πιο ρεαλιστική και

ολοκληρωμένη εικόνα για την επιστήμη και την επιστημονική γνώση. Για παράδειγμα, η συζήτηση των διαφορετικών ερμηνειών της κβαντικής θεωρίας, όπως η ερμηνεία της Κοπεγχάγης, η ερμηνεία των πολλών κόσμων, ή η ερμηνεία του Bohm, μπορεί να αναδείξει το ρόλο της ερμηνείας και της θεωρίας στην επιστημονική πρακτική (Bungum et al., 2018). Επιπλέον, η εξέταση των επιστημολογικών διαφωνιών και αντιπαραθέσεων μεταξύ επιστημόνων, όπως η ιστορική διαμάχη μεταξύ Bohr και Einstein για την ερμηνεία της κβαντικής θεωρίας, μπορεί να καταδείξει την ανθρώπινη και κοινωνική διάσταση της επιστήμης, καθώς και τον ρόλο της διαφωνίας και του διαλόγου στην επιστημονική πρόοδο (Garritz 2013 · Niaz & Rodríguez, 2002).

Συνεπώς, η διδασκαλία της κβαντικής θεωρίας εμπλουτισμένη με θέματα Φύσης της Επιστήμης, μπορεί να βοηθήσει τους μαθητές να ξεπεράσουν τις εννοιολογικές δυσκολίες, να αναπτύξουν μια πιο ρεαλιστική εικόνα για την επιστήμη και να εκτιμήσουν την επιστημονική γνώση ως μια δυναμική και εξελισσόμενη ανθρώπινη προσπάθεια.

### **Η Διδασκαλία της Κβαντικής Θεωρίας Μέσα από την Ιστορία της Επιστήμης**

Το ερώτημα, όμως, που τίθεται από τη σύγχρονη έρευνα είναι αν μπορεί να προσπελαστεί γνωσιακά η Φύση της Επιστήμης χωρίς γνώση της Ιστορίας και της Φιλοσοφίας της επιστήμης (Matthews, 2024). Η σύγχρονη έρευνα αναδεικνύει ότι η διδασκαλία της κβαντικής θεωρίας, ίσως περισσότερο από άλλες θεματικές ενότητες στη φυσική, πρέπει να στηρίζεται στην Ιστορία και τη Φιλοσοφία της επιστήμης. Επίσης πολλές εργασίες παλαιότερων ετών έχουν υποστηρίξει τη συμπερίληψη της Ιστορίας και της Φιλοσοφίας της επιστήμης στη διδασκαλία των φυσικών επιστημών ώστε οι μαθητές/τριες να αναπτύξουν ολοκληρωμένες απόψεις για τη Φύση της επιστήμης (Abd-El-Khalick & Lederman, 2000) αλλά και τη διδασκαλία της κβαντικής θεωρίας εντός του ιστορικού της πλαισίου, με σημαντικότερη συνεισφορά αυτήν του Helge Kragh (Kragh, 1992) ο οποίος άφησε ως κληρονομιά το εμβληματικό *The Quantum Generation* (σε ελληνική μετάφραση: *Οι Γενιές των Κβάντων*, Κάτοπτρο 2004).

Η Ιστορία της Επιστήμης αποτελεί ένα ισχυρό εργαλείο για την κατανόηση και τη διδασκαλία των επιστημονικών εννοιών και μεθόδων (Matthews, 2007). Η ενσωμάτωση της ιστορικής διάστασης στη διδασκαλία της κβαντικής θεωρίας μπορεί να προσφέρει πολλαπλά οφέλη, τόσο για την εννοιολογική κατανόηση, όσο και για την ανάπτυξη μιας πιο ολοκληρωμένης άποψης για τη Φύση της Επιστήμης. Όπως υποστηρίζουν πολλοί ερευνητές (Galili & Hazan 2001 · Greca & Freire 2014 · Kragh, 1992), οι εννοιολογικές δυσκολίες που αντιμετωπίζουν οι μαθητές/τριες στην κβαντική θεωρία συχνά αντικατοπτρίζουν τις δυσκολίες που αντιμετώπισαν οι ίδιοι οι φυσικοί κατά την ανάπτυξη της θεωρίας. Η ιστορική προσέγγιση μπορεί να αξιοποιήσει αυτή την αντιστοιχία, παρουσιάζοντας την εξέλιξη των κβαντικών ιδεών μέσα από το ιστορικό τους πλαίσιο, αναδεικνύοντας τις προκλήσεις, τις αμφιβολίες, τις διαφωνίες και τις δημιουργικές λύσεις που οδήγησαν στην διαμόρφωση της σύγχρονης κβαντικής θεωρίας.

Η ιστορική αφήγηση (Arya & Maul, 2012) ενισχύει το μαθητικό ενδιαφέρον, κάνοντας το περιεχόμενο πιο ζωντανό, προσιτό, ελκυστικό. Η παρουσίαση βιογραφιών επιστημόνων, ιστορικών πειραμάτων και κρίσιμων στιγμών στην ανάπτυξη της κβαντικής θεωρίας δείχνει την επιστημονική γνώση ως προϊόν ανθρώπινης προσπάθειας, δημιουργικότητας, συνεργασίας (Conant 1957 · Hogan, 2000). Η διαμάχη για τα θεμέλια και τις ερμηνείες της κβαντικής φυσικής υπήρξε μείζων διαμάχη στην Ιστορία της επιστήμης, κάτι που οι μαθητές/τριες πρέπει να γνωρίζουν. Οι αναφορές στη διαμάχη για την ερμηνεία της κβαντικής θεωρίας μπορεί να φέρουν στο προσκήνιο επιστήμονες με αντίθετες απόψεις, που μπορούν να γονιμοποιήσουν την αναζήτηση εναλλακτικών διδακτικών μεθόδων (Greca & Freire, 2014). Το πείραμα της διπλής σχισμής, π.χ., μπορεί να αξιοποιηθεί μέσα από ιστορικά ντοκουμέντα και αναπαραστάσεις, ώστε οι μαθητές/τριες να δουν πώς η παρατήρηση επηρεάζει τη συμπεριφορά των κβαντικών οντοτήτων (Gkiolmas et al., 2020). Μέσα από αυτή την ιστορική και εννοιολογική προσέγγιση, καθίσταται σαφές ότι η κβαντική θεωρία οδήγησε σε ριζική αναθεώρηση των κλασικών αντιλήψεων για τη φύση της πραγματικότητας και της

επιστημονικής γνώσης. Η κβαντική φυσική είναι ένα πολύ ζωντανό παράδειγμα της φυσικής ως ανθρώπινου και κοινωνικού επιτεύγματος, και δεν πρέπει να εξαιρούνται οι μαθητές/τριες από τη γνώση αυτή. Η συμπερίληψη του ιστορικού πλαισίου παραγωγής και ανάπτυξης της κβαντικής θεωρίας μπορεί να προκαλέσει το ενδιαφέρον των μαθητών/τριών, που συνήθως παρουσιάζεται εκτός πλαισίου, σε χωροχρονικό και κοινωνικοπολιτισμικό κενό (Greca & Freire, 2014).

Επιπλέον, η Ιστορία της Επιστήμης μπορεί να αναδείξει την εξελισσόμενη φύση της επιστημονικής γνώσης. Η παρουσίαση των αρχικών προβληματισμών, των εναλλακτικών θεωριών που εξετάστηκαν και απορρίφθηκαν, και των σταδιακών βημάτων που οδήγησαν στην καθιέρωση της κβαντικής θεωρίας μπορεί να βοηθήσει τους μαθητές και τις μαθήτριες να κατανοήσουν ότι η επιστημονική γνώση δεν είναι στατική και αμετάβλητη, αλλά υπόκειται σε συνεχή αναθεώρηση και εξέλιξη (Brush 1989· Höttecke et al., 2012). Μέσω της ιστορικής προσέγγισης, οι εκπαιδευόμενοι/ες μπορούν να συνειδητοποιήσουν ότι η επιστημονική γνώση δεν είναι απλώς μια συλλογή γεγονότων και τύπων, αλλά ένα δυναμικό και διαρκώς εξελισσόμενο σύστημα, που διαμορφώνεται μέσα από την ανθρώπινη περιέργεια, την έρευνα, το διάλογο και την αντιπαράθεση (Klassen 2011· Maurines & Beauvils, 2013). Η ιστορική διάσταση μπορεί επίσης να βοηθήσει στην αποφυγή του επιστημονισμού και του δογματισμού στη διδασκαλία, ενισχύοντας την κριτική σκέψη και την ανοιχτή προσέγγιση (Matthews, 2007).

Ωστόσο, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η χρήση της Ιστορίας της Επιστήμης στη διδασκαλία δεν πρέπει να είναι αποσπασματική ή επιφανειακή. Η ιστορική προσέγγιση δεν πρέπει να είναι εργαλειώδης, αλλά θα πρέπει να επιλέγονται και να ανασυγκροτούνται ιστορικά παραδείγματα και αφηγήσεις με γνώμονα την εκπαιδευτική τους αξία και τη συμβολή τους στην κατανόηση των επιστημονικών εννοιών και της Φύσης της Επιστήμης (Höttecke et al., 2012). Επίσης, πρέπει να αποφεύγεται η μυθοποίηση της επιστήμης και η παρουσίαση της επιστημονικής εξέλιξης ως μιας γραμμικής και ντετερμινιστικής διαδικασίας (Kragh, 1992).

Η ενσωμάτωση της Ιστορίας και Φιλοσοφίας της Επιστήμης στη διδασκαλία της φυσικής συναντά σημαντικές προκλήσεις. Οι εκπαιδευτικοί δυσκολεύονται να εντάξουν ιστορικά επεισόδια λόγω ελλείψεων σε δεξιότητες και ανάγκης προσαρμογής του ρόλου τους. Επιπλέον, ανησυχούν ότι η ανάπτυξη ενσυναίσθησης προς τους επιστήμονες μπορεί να αποσπάσει τους μαθητές και τις μαθήτριες από το επιστημονικό περιεχόμενο (Henke & Höttecke, 2015). Τα βασικά εμπόδια σχετίζονται με την κουλτούρα της φυσικής, τις στάσεις και αντιλήψεις των εκπαιδευτικών, το θεσμικό πλαίσιο και την απουσία σχετικού περιεχομένου στα σχολικά βιβλία. Η υπέρβασή τους απαιτεί μακροπρόθεσμη, συντονισμένη προσπάθεια (Höttecke & Silva, 2011). Παρά τις αντιρρήσεις για την ενσωμάτωση ιστορικών επεισοδίων στη διδασκαλία της επιστήμης (Garritz, 2013) η βιβλιογραφία υποστηρίζει με συνέπεια την αξία της ιστορικής προσέγγισης στη διδασκαλία της κβαντικής θεωρίας. Η ιστορική διάσταση μπορεί να εμπλουτίσει τη διδασκαλία, να ενισχύσει το ενδιαφέρον των εκπαιδευομένων, να διευκολύνει την εννοιολογική κατανόηση και να προάγει μια πιο ρεαλιστική και ολοκληρωμένη άποψη για την επιστήμη.

## **Συμπεράσματα**

Η βιβλιογραφική ανασκόπηση που πραγματοποιήθηκε ενισχύει την υπόθεση ότι η διδασκαλία της κβαντικής θεωρίας, όταν αξιοποιεί την Ιστορία της Επιστήμης και εμπλουτίζεται με στοιχεία Φύσης της Επιστήμης, μπορεί να οδηγήσει σε βελτιωμένη κατανόηση των κβαντικών εννοιών από τους μαθητές και τις μαθήτριες δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης.

Η ανάλυση των σχετικών σύγχρονων ερευνών κατέδειξε ότι η ενσωμάτωση στοιχείων της Φύσης της Επιστήμης και Ιστορίας της Επιστήμης στη διδασκαλία των φυσικών επιστημών, και ειδικότερα της κβαντικής θεωρίας, μπορεί να προσφέρει σημαντικά οφέλη. Αυτές οι προσεγγίσεις μπορούν να βοηθήσουν τους μαθητές και τις μαθήτριες να ξεπεράσουν τις

εννοιολογικές δυσκολίες που σχετίζονται με την αφηρημένη φύση της κβαντικής θεωρίας, την αντίθεση με τις κλασικές διαισθήσεις και την έλλειψη σύνδεσης με την καθημερινή εμπειρία.

Μέσω της ιστορικής προσέγγισης, οι εκπαιδευόμενοι/ες μπορούν να κατανοήσουν την εξέλιξη των κβαντικών ιδεών, να συνειδητοποιήσουν τις προκλήσεις και τις αμφιβολίες που αντιμετώπισαν οι επιστήμονες, και να εκτιμήσουν τη δημιουργική και ανθρώπινη διάσταση της επιστημονικής προσπάθειας. Η ενσωμάτωση στοιχείων της Φύσης της Επιστήμης, όπως η εξελικτική φύση της επιστημονικής γνώσης, ο ρόλος της θεωρίας και της ερμηνείας, και η κοινωνικοπολιτισμική διάσταση της επιστήμης, μπορεί να προσφέρει μια πιο ρεαλιστική και ολοκληρωμένη εικόνα για την επιστήμη και την επιστημονική γνώση.

Συνολικά, η παρούσα εργασία υποστηρίζει ότι η διδασκαλία της κβαντικής θεωρίας στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση μπορεί να γίνει πιο αποτελεσματική και ελκυστική όταν αξιοποιεί δημιουργικά την Ιστορία της Επιστήμης και ενσωματώνει στοιχεία Φύσης της Επιστήμης. Αυτή η προσέγγιση όχι μόνο διευκολύνει την εννοιολογική κατανόηση, αλλά επιπλέον συμβάλλει στην ανάπτυξη του επιστημονικού γραμματισμού και στην καλλιέργεια μιας θετικής στάσης απέναντι στην επιστήμη και την επιστημονική γνώση.

## Βιβλιογραφία

- Abd-El-Khalick, F., & Lederman, N. G. (2000). The influence of history of science courses on students' views of nature of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 37(10), 1057–1095. [https://doi.org/10.1002/1098-2736\(200012\)37:10<1057::AID-TEA3>3.0.CO;2-C](https://doi.org/10.1002/1098-2736(200012)37:10<1057::AID-TEA3>3.0.CO;2-C)
- Allchin, D., Andersen, H.M. And Nielsen, K. (2014), Complementary Approaches to Teaching Nature of Science: Integrating Student Inquiry, Historical Cases, and Contemporary Cases in Classroom Practice. *Science Education*, 98, 461–486. <https://doi.org/10.1002/sce.21111>
- Ambrose, B.S. Shaffer, P.S. Steinberg R.N. & McDermott, L C. (1999). An investigation of student understanding of single-slit diffraction and double-slit interference. *American Journal of Physics*, 67(2), 146-155. <https://doi.org/10.1119/1.19210>
- Arya, D. J., & Maul, A. (2012). The role of the scientific discovery narrative in middle school science education: An experimental study. *Journal of Educational Psychology*, 104(4), 1022–1032. <https://doi.org/10.1037/a0028108>
- Bitzenbauer, P., Meyn J. (2020). A new teaching concept on quantum physics in secondary schools, *Physics Education*, 55, 055031 <https://doi.org/10.1088/1361-6552/aba208>
- Brush, S.G. (1989). History of science and science education. *Interchange* 20, 60–70. <https://doi.org/10.1007/BF01807048>
- Bungum, B. Bøe, M.V. Henriksen, E.K. (2018). Quantum talk: How small-group discussions may enhance students' understanding in quantum physics. *Science Education*, 102, 856–877. <https://doi.org/10.1002/sce.21447>
- Garritz, A. (2013) Teaching the Philosophical Interpretations of Quantum Mechanics and Quantum Chemistry Through Controversies. *Science & Education* 22, 1787–1807 <https://doi.org/10.1007/s11191-012-9444-x>
- Gkiolmas, A., Stoumpa, A., Skordoulis, C., Lazos, P., & Chalkidis, A. (2020). The historical transition from the Young's double-slit experiment to the Davisson-Germer experiment, as taught to undergraduate educators. The educational outcomes and implications. Conference: XL National Congress of the Italian Society for the History of Physics and Astronomy, 225–231. <https://doi.org/10.12871/978883339517326>
- Greca, I.M., Freire, O. (2014). Meeting the Challenge: Quantum Physics in Introductory Physics Courses. Στο M. Matthews (Επιμ.) *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching*. Springer, Dordrecht. [https://doi.org/10.1007/978-94-007-7654-8\\_7](https://doi.org/10.1007/978-94-007-7654-8_7)
- Haron, S. & Halim, L. (2023). Teaching Quantum Physics at Secondary Schools: A Systematic Literature Review. *International Journal of Academic Research in Progressive Education and Development*, 12(3), 1976-1995. <http://dx.doi.org/10.6007/IJARPED/v12-i3/19308>
- Henke, A., Höttecke, D. (2015). Physics Teachers' Challenges in Using History and Philosophy of Science in Teaching. *Science & Education* 24, 349–385. <https://doi.org/10.1007/s11191-014-9737-3>
- Henriksen, E.K., Angell, C., Vistnes, A.I. Bungum, B. (2018) What Is Light?. *Science & Education* 27, 81–111 <https://doi.org/10.1007/s11191-018-9963-1>

- Hogan, K. (2000), Exploring a process view of students' knowledge about the nature of science. *Science Education*, 84(1) 51-70.  
[https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-237X\(200001\)84:1<51::AID-SCE5>3.0.CO;2-H](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-237X(200001)84:1<51::AID-SCE5>3.0.CO;2-H)
- Höttecke, D., Henke, A. & Riess, F. (2012) Implementing History and Philosophy in Science Teaching: Strategies, Methods, Results and Experiences from the European HIPST Project. *Science & Education* 21, 1233–1261. <https://doi.org/10.1007/s11191-010-9330-3>
- Höttecke, D., Silva, C.C. (2011) Why Implementing History and Philosophy in School Science Education is a Challenge: An Analysis of Obstacles. *Science & Education* 20, 293–316.  
<https://doi.org/10.1007/s11191-010-9285-4>
- Jardim, W.T., Guerra, A. & Schiffer, H. (2021). History of Science in Physics Teaching. *Science & Education* 30, 609–638 <https://doi.org/10.1007/s11191-020-00191-x>
- Kragh, H. (1992). A sense of history: History of science and the teaching of introductory quantum theory. *Science & Education*, 1, 349-363. <https://doi.org/10.1007/BF00430962>
- Krijtenburg-Lewerissa, K. Pol, H. J. Brinkman A., and van Joolingen, W. R. (2017) Insights into teaching quantum mechanics in secondary and lower undergraduate education, *Physical Review Physics Education Research*, 13, 010109 <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.13.010109>
- Krijtenburg-Lewerissa, K., Pol, H. J., Brinkman, A., & van Joolingen, W. R. (2018). Key topics for quantum mechanics at secondary schools: A Delphi study into expert opinions. *International journal of science education*, 41(3), 349-366.  
<https://doi.org/10.1080/09500693.2018.1550273>
- Levrini, O., Fantini, P. (2013). Encountering Productive Forms of Complexity in Learning Modern Physics. *Science & Education* 22, 1895–1910. <https://doi.org/10.1007/s11191-013-9587-4>
- Matthews, (2024) M.R. Thomas Kuhn and Science Education. *Science & Education* 33, 609–678.  
<https://doi.org/10.1007/s11191-022-00408-1>
- Müller, R. & Mishina, O. (2021). Quantum physics in secondary school -- milq.  
<https://doi.org/10.48550/arXiv.2012.15162>
- Müller, R., Wiesner, H. (2002). Teaching quantum mechanics on an introductory level, *American Journal of Physics*, 70, 200-209. <https://doi.org/10.1119/1.1435346>
- Niaz, M., Rodríguez, M. A. (2002). Improving learning by discussing controversies in 20th century physics. *Physics Education*, 37(1), 59–63. <https://doi.org/10.1088/0031-9120/37/1/308>
- Pospiech, G. (2003). Philosophy and Quantum Mechanics in Science Teaching. *Science & Education* 12, 559–571. <https://doi.org/10.1023/A:1025384115480>
- Pospiech, G. (2021). Quantum Cryptography as an Approach for Teaching Quantum Physics. Στο: B. Jarosievitz, C. Sükösd (Επιμ.) *Teaching-Learning Contemporary Physics. Challenges in Physics Education*. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-78720-2\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-030-78720-2_2)
- Stadermann, K., van den Berg, E., & Goedhart, M. (2019). Analysis of secondary school quantum physics curricula of 15 different countries: Different perspectives on a challenging topic. *Physical Review Physics Education Research*, 15(1), 1-25. Article 010130.  
<https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.15.010130>
- Stadermann, K., van den Berg, E., & Goedhart, M. (2021). How high schools teach quantum physics – a cross-national analysis of curricula in secondary education. *Journal of Physics: Conference Series*, 1929, 1-4. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1929/1/012045>
- Weissman, E.Y., Merzel, A., Katz, N. and Galili, I. (2021). Teaching quantum physics as a structured physics theory in high school, *Journal of Physics: Conference Series*, 1929, 012051  
<https://doi.org/10.1088/1742-6596/1929/1/012051>