



Σχολή Θετικών Επιστημών και Τεχνολογίας

Μεταπτυχιακή Ειδίκευση Καθηγητών Φυσικών Επιστημών

Διπλωματική Εργασία

«Πρόγραμμα Σπουδών Κβαντικής Φυσικής στη Γ΄ Τάξη  
Γενικού Λυκείου του Ελληνικού Εκπαιδευτικού Συστήματος:

Σύγκριση με αντίστοιχα Προγράμματα Σπουδών 13

Ευρωπαϊκών Χωρών»

Μαρία Κουτελάκη

Επιβλέπων καθηγητής: Αλέξανδρος Κεχαγιάς

Πάτρα, Ιούνιος 2024

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



«Πρόγραμμα Σπουδών Κβαντικής Φυσικής στη Γ΄ Τάξη  
Γενικού Λυκείου του Ελληνικού Εκπαιδευτικού Συστήματος:  
Σύγκριση με αντίστοιχα Προγράμματα Σπουδών 13  
Ευρωπαϊκών Χωρών»

Μαρία Κουτελάκη

Επιτροπή Επίβλεψης Διπλωματικής Εργασίας

Επιβλέπων Καθηγητής:

Αλέξανδρος Κεχαγιάς

Καθηγητής, ΕΜΠ

Συν-Επιβλέπων Καθηγητής:

Αντώνιος Λεϊσος

Αναπληρωτής Καθηγητής, ΕΑΠ

Πάτρα, Ιούνιος 2024

*Στους γονείς μου*

## Περίληψη

Η Κβαντική Φυσική αποτελεί αναπόσπαστο τμήμα της Σύγχρονης Φυσικής και τα τελευταία έτη περιλαμβάνεται στα προγράμματα σπουδών της ανώτερης δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης πολλών χωρών μεταξύ των οποίων και της Ελλάδας. Στην παρούσα εργασία πρώτα από όλα γίνεται μία σύντομη ιστορική περιγραφή της κβαντικής θεωρίας ώστε να σημειωθούν οι θεμελιώδεις αρχές κβαντικής φυσικής πάνω στις οποίες βασίζονται τα προγράμματα σπουδών της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης. Επίσης, γίνεται μία προσπάθεια παρουσίασης των τάσεων που επικρατούν στην εκπαιδευτική κοινότητα και αφορούν τον τρόπο προσέγγισης της διδασκαλίας της κβαντικής θεωρίας που απευθύνεται σε μαθητές δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης. Στο κύριο μέρος της παρούσας εργασίας μελετάται αναλυτικά το πρόγραμμα σπουδών της κβαντικής θεωρίας που είναι ενσωματωμένη στο μάθημα φυσικής της Γ' τάξης του Γενικού Λυκείου του Ελληνικού εκπαιδευτικού συστήματος και παρακολουθούν οι μαθητές που φοιτούν στις ομάδες προσανατολισμού *θετικών σπουδών* και *σπουδών υγείας*. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται συνοπτικά αντίστοιχα προγράμματα σπουδών 13 Ευρωπαϊκών χωρών. Τέλος, γίνεται μία προσπάθεια σύγκρισης των προγραμμάτων σπουδών με σκοπό τον εντοπισμό κοινών στοιχείων αλλά και διαφορών και την εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων. Η σύγκριση αφορά το μάθημα στο οποίο είναι ενσωματωμένη η διδακτική της κβαντικής θεωρίας, αν πρόκειται για μάθημα επιλογής ή υποχρεωτικό, την τάξη και την ηλικία των μαθητών που το παρακολουθούν, τον τρόπο αξιολόγησης του μαθήματος καθώς και το θεματικό περιεχόμενο της κβαντικής φυσικής που περιλαμβάνεται στα προγράμματα σπουδών.

### Λέξεις – Κλειδιά

Κβαντική Φυσική, Δευτεροβάθμια Εκπαίδευση, Προγράμματα Σπουδών, Ευρωπαϊκές Χώρες.

## «Quantum Physics Curriculum in the 3<sup>rd</sup> Grade of General High School in the Greek Educational System: Comparison with equivalent Curricula of 13 European Countries»

Maria Koutelaki

### **Abstract**

Quantum Physics is an integral part of Modern Physics and in recent years it has been included in the upper secondary education curricula of many countries, including Greece. In this paper, first of all, a brief historical description of quantum theory is made in order to note the fundamental principles of quantum physics on which secondary school curricula are based. Also, an attempt is made to present the trends that prevail in the educational community and concern the approach to the teaching of quantum theory addressed to secondary school students. In the main part of this paper, is studied in detail the curriculum of quantum theory that is integrated in the physics course of the third stage in the general high school of the Greek educational system and is attended by students in natural science and health studies. Next, equivalent curricula of 13 European countries are briefly presented. Finally, an attempt is made to compare the curricula in order to identify common elements and differences and draw useful conclusions. The comparison concerns the subject in which the didactics of quantum theory is integrated, whether it is an elective course or compulsory, the class and age of the students attending it, the way the course is evaluated as well as the thematic content of quantum physics included in curricula.

### **Keywords**

Quantum Physics, Secondary Education, Curricula, European Countries.

## Περιεχόμενα

Περίληψη.....	v
Abstract.....	vi
Περιεχόμενα.....	vii
Κατάλογος Πινάκων.....	viii
1.Εισαγωγή.....	1
1.1 Σύντομη Ιστορική Περιγραφή της Κβαντικής Θεωρίας.....	2
1.2 Η διδασκαλία της Κβαντικής Φυσικής στη Δευτεροβάθμια Εκπαίδευση.....	4
2.Το Πρόγραμμα Σπουδών Φυσικής της Γ' Τάξης Λυκείου του Ελληνικού Εκπαιδευτικού Συστήματος για τη διδασκαλία της Κβαντικής Φυσικής.....	8
3.Ανάλυση των Προγραμμάτων Σπουδών Φυσικής 13 Ευρωπαϊκών Χωρών για τη διδασκαλία της Κβαντικής Φυσικής .....	12
3.1 Αυστρία.....	15
3.2 Βέλγιο.....	17
3.3 Γαλλία.....	19
3.4 Γερμανία.....	21
3.5 Δανία.....	24
3.6 Ηνωμένο Βασίλειο(Αγγλία).....	25
3.7 Ισπανία.....	27
3.8 Ιταλία.....	28
3.9 Νορβηγία.....	29
3.10 Ολλανδία.....	31
3.11 Πορτογαλία.....	32
3.12 Σουηδία.....	33
3.13 Φινλανδία.....	34
4.Σύγκριση-Συζήτηση των αποτελεσμάτων.....	36
Βιβλιογραφία.....	47

## Κατάλογος Πινάκων

<b>Πίνακας 1-1.</b> Χρήσιμες πληροφορίες για το μάθημα φυσικής όπου διδάσκεται η κβαντική θεωρία στις διάφορες χώρες.....	36
<b>Πίνακας 1-2.</b> Κατάλογος θεμάτων Κβαντικής Θεωρίας για σύγκριση και ανάλυση των προγραμμάτων σπουδών των Ευρωπαϊκών Χωρών.....	41
<b>Πίνακας 1-3.</b> Ομαδοποίηση θεμάτων Κβαντικής Θεωρίας.....	42
<b>Πίνακας 1-4.</b> Επισκόπηση θεματικών περιεχομένων κβαντικής φυσικής στα προγράμματα σπουδών των διαφόρων χωρών.....	44

## Κατάλογος Λιστών

<b>Λίστα 1-1.</b> Λίστα ιστοσελίδων εύρεσης προγραμμάτων σπουδών των 13 Ευρωπαϊκών Χωρών, που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία.....	13
--	----



# 1. Εισαγωγή

Η Κβαντική Φυσική αποτελεί θεμελιώδη θεωρία που καθόρισε τη σύγχρονη φυσική, ερμήνευσε φαινόμενα που δεν μπορούσε να εξηγήσει η Κλασική Φυσική και έφερε ριζοσπαστικές αλλαγές στον τρόπο με τον οποίο αντιμετωπίζουμε τον φυσικό κόσμο. Η σπουδαιότητα της κβαντικής φυσικής στην εξέλιξη της επιστήμης και της τεχνολογίας είναι αδιαμφισβήτητη. Ωστόσο, η διδασκαλία της κβαντικής θεωρίας στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση υπήρξε έντονο θέμα συζήτησης μεταξύ εκπαιδευτικών και συγγραφέων σχολικών εγχειριδίων για πολλές δεκαετίες. Η επιλογή του διδακτικού περιεχομένου, οι εκπαιδευτικοί στόχοι, τα προσδοκώμενα μαθησιακά αποτελέσματα και ο τρόπος αξιολόγησης της γνώσης αποτελούσαν θέματα για τα οποία εκφραζόντουσαν διαφορετικές απόψεις. Υπήρχαν αμφιβολίες για το κατά πόσο οι μαθητές δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης είναι σε θέση να κατανοήσουν, να αποδεχτούν και να μάθουν κβαντική φυσική (Stadermann et al., 2021).

Τα τελευταία χρόνια μαθήματα κβαντικής φυσικής έχουν ενσωματωθεί στα προγράμματα σπουδών δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης πολλών χωρών μεταξύ των οποίων και της Ελλάδας. Είναι ενδιαφέρον και χρήσιμο να συγκρίνουμε τον τρόπο με τον οποίο έχει γίνει η συμπερίληψη της κβαντικής φυσικής στα προγράμματα σπουδών δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης.

Στην παρούσα εργασία γίνεται μία λεπτομερής ανάλυση του διδακτικού περιεχομένου της κβαντικής θεωρίας που ενσωματώθηκε στο πρόγραμμα σπουδών του μαθήματος της φυσικής στη Γ' τάξη του Γενικού Λυκείου του Ελληνικού εκπαιδευτικού συστήματος. Στη συνέχεια, παρουσιάζεται μία γενική επισκόπηση των αντίστοιχων προγραμμάτων σπουδών της ανώτερης δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης 13 ευρωπαϊκών χωρών. Ο εντοπισμός κοινών στοιχείων όπως και διαφορών μεταξύ των προγραμμάτων σπουδών διαφαίνεται ιδιαίτερα εποικοδομητικός καθώς μέσα από τα συμπεράσματα που προκύπτουν μας δίνει τη δυνατότητα να αντιληφθούμε διαφορετικές πρακτικές και απόψεις σχετικά με τη διδασκαλία της κβαντικής φυσικής σε μαθητές δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης.

Αρχικά, θεωρείται σκόπιμο να αναφέρουμε τις θεμελιώδεις έννοιες που υποστηρίζει η κβαντική θεωρία και αποτελούν τη βάση για την επιλογή κατάλληλου διδακτικού περιεχομένου σε ένα πρόγραμμα σπουδών δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης. Επίσης, γίνεται μία προσπάθεια επισκόπησης των τάσεων που επικρατούν στην εκπαιδευτική κοινότητα για τη διδακτική προσέγγιση στη συμπερίληψη της κβαντικής θεωρίας στα προγράμματα σπουδών της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης.

## 1.1 Σύντομη Ιστορική Περιγραφή της Κβαντικής Θεωρίας

Στις αρχές του 20<sup>ου</sup> αιώνα μία νέα επιστημονική θεωρία, η *Κβαντική Φυσική*, άρχισε να αναπτύσσεται. Η νέα αυτή θεωρία εισήγαγε καινούριες έννοιες, παραδοχές και εφάρμοσε διαφορετικούς τρόπους επίλυσης προβλημάτων σε σχέση με τις επιστημονικές θεωρίες που επικρατούσαν εκείνη την εποχή. Θα μπορούσαμε να ισχυριστούμε πως η Κβαντική Φυσική έφερε μία επανάσταση στον επιστημονικό κόσμο καθώς εισήγαγε ριζοσπαστικές, για την εποχή εκείνη, ιδέες.

Κατ' αρχάς, η νέα επιστημονική θεωρία υποστηρίζει την *Αρχή του Κυματοσωματιδιακού Διϊσμού ή Αρχή της Συμπληρωματικότητας*. Σε αντίθεση με την Κλασική Φυσική, το φως δεν αντιμετωπίζεται πια μόνο ως κύμα αλλά ταυτόχρονα του αποδίδεται και σωματιδιακός χαρακτήρας. Επιπλέον, σωματίδια, όπως τα ηλεκτρόνια, δεν είναι αποκλειστικά σωματίδια αλλά έχουν και κυματικά χαρακτηριστικά.

Ένα από τα επιτεύγματα της νέας αυτής θεωρίας ήταν η εξήγηση της φασματικής κατανομής της ακτινοβολίας του μέλανος σώματος, η οποία δεν μπορούσε να ερμηνευθεί στα πλαίσια της Κλασικής Ηλεκτρομαγνητικής Θεωρίας. Ο *Max Planck* το 1927 εισήγαγε την έννοια των *κβάντα* και έλυσε το πρόβλημα του μέλανος σώματος. Υιοθετήθηκε η υπόθεση του Planck ότι η ενέργεια της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας δεν εκπέμπεται ούτε απορροφάται με συνεχή τρόπο αλλά σε *κβάντα* δηλαδή παίρνει διακριτές τιμές. Η *σταθερά του Planck* έγινε ο συνδετικός κρίκος μεταξύ σωματιδιακών και κυματικών χαρακτηριστικών των υποατομικών σωματιδίων και ο Planck καθιερώθηκε ως ο πατέρας της Κβαντικής Φυσικής.

Μεγάλη επιτυχία της *Κβαντικής Φυσικής* ήταν η εξήγηση του *φωτοηλεκτρικού φαινομένου*. Ο *Albert Einstein*, με την υπόθεση της ύπαρξης *φωτονίων* (στοιχειωδών φορέων ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας) και χρησιμοποιώντας τον τρόπο με τον οποίο αλληλεπιδρούν με την ύλη ως σωματίδια, διατύπωσε τη *φωτοηλεκτρική εξίσωση* και ερμήνευσε το συγκεκριμένο φαινόμενο. Για την εξήγηση, μάλιστα, του συγκεκριμένου φαινομένου, του απονεμήθηκε και το βραβείο Nobel το 1921. Με την παραδοχή ότι το φως έχει διττή φύση, δηλαδή είναι ταυτόχρονα και σωματίδιο και κύμα, εξηγήθηκε ακόμη και η ύπαρξη του *φαινομένου σκέδασης Compton*, το οποίο δε μπορούσε να ερμηνευθεί με την καθαρά κυματική φύση του φωτός όπως όριζε η Κλασική Φυσική.

Με αφετηρία την κυματική θεωρία της ύλης του *De Broglie*, ο *Erwin Schrödinger*, που θεωρείται ο θεμελιωτής της Κβαντικής Φυσικής, διατύπωσε την *κυματική εξίσωση* της κβαντομηχανικής. Από την επίλυση αυτής της εξίσωσης προκύπτει η *κυματοσυνάρτηση*, μία μαθηματική οντότητα που αντιστοιχεί σε ένα κινούμενο σωματίδιο και είναι συνάρτηση των τριών συντεταγμένων της θέσης του στον τρισδιάστατο χώρο καθώς και συνάρτηση του χρόνου.

Μεγάλη φυσική σημασία έχει το τετράγωνο της κυματοσυνάρτησης, που εκφράζει την πυκνότητα πιθανότητας να βρεθεί το σωματίδιο σε κάποια στοιχειώδη περιοχή του τρισδιάστατου χώρου. Ο *Max Born* συσχέτισε την κυματοσυνάρτηση με θεωρία πιθανοτήτων και έτσι τα *κβαντικά κύματα* αντιμετωπίζονται πλέον ως *κύματα πιθανότητας*.

Δύο σωματίδια που δημιουργούνται μαζί τότε μπορούν να αλληλεπιδράσουν διαμέσου των κυματοσυναρτήσεών τους ανεξάρτητα από τον χώρο ανάμεσά τους. Πρόκειται για το φαινόμενο του *Κβαντικού Εναγκαλισμού* ή *Κβαντικής Διεμπλοκής*, επίσης θεμελιώδες υπαρκτό φαινόμενο στη Κβαντική Φυσική. Ένα ακόμη σημαντικό συμπέρασμα της κβαντικής θεωρίας είναι το *Φαινόμενο Σήραγγας*, όπου ένα σωματίδιο μπορεί να διέλθει μέσα από ενεργειακό φράγμα, που αποτελεί κλασικά απαγορευμένη περιοχή. Το φαινόμενο αυτό είναι πολύ σημαντικό καθώς αποτελεί τη βάση για την εξήγηση της δημιουργίας χημικών δεσμών.

Κατά την παρουσίαση της σύντομης ιστορικής περιγραφής της κβαντικής θεωρίας δε θα μπορούσαμε να παραλείψουμε να αναφέρουμε την ερμηνεία του Heisenberg για τα κβαντικά φαινόμενα. Η *Αρχή Αβεβαιότητας* ή *Απροσδιοριστίας του Heisenberg* με τη μορφή ανισότητας έθεσε περιορισμούς στην ακρίβεια προσδιορισμού κβαντικών μεγεθών και τόνισε την αντίθεση με την Κλασική Φυσική. (Τραχανάς κεφ.1,2; Hewitt κεφ.31,32).

Συνεπώς, η Κβαντομηχανική έφερε μία νέα επιστημονική πραγματικότητα, εξήγησε φαινόμενα που δε μπορούσε η Κλασική Φυσική και αποτέλεσε τη θεωρητική βάση που οδήγησε στη δημιουργία και εξέλιξη πολλών σύγχρονων τεχνολογικών εφαρμογών, όπως lasers, ημιαγωγοί, τρανζίστορ υπολογιστών και GPS. Οι βασικές της αρχές, όπως παρουσιάστηκαν στη σύντομη αυτή ιστορική περιγραφή, είναι οι θεμέλιοι λίθοι του διδακτικού υλικού που επιλέγεται να μελετηθεί στη διδασκαλία της κβαντικής φυσικής στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση και παρουσιάζεται στα προγράμματα σπουδών.

## 1.2 Η διδασκαλία της Κβαντικής Φυσικής στη Δευτεροβάθμια Εκπαίδευση

Η Κβαντική Φυσική, όπως αναφέρθηκε, είναι αναπόσπαστο τμήμα της Σύγχρονης Φυσικής και δεν υπάρχει αμφιβολία ότι ένα σύγχρονο πρόγραμμα σπουδών στη Δευτεροβάθμια Εκπαίδευση οφείλει να περιλαμβάνει μαθήματα Κβαντικής Φυσικής που θα εισάγουν τους μαθητές στις καινοτόμες ιδέες της Κβαντικής Θεωρίας. Ωστόσο, ο τρόπος με τον οποίο πρέπει να διδαχθεί η Κβαντική Φυσική σε μαθητές Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης αποτελεί ακόμη αντικείμενο συζήτησης στην εκπαιδευτική κοινότητα, μεταξύ εκπαιδευτικών και συγγραφέων σχολικών εγχειριδίων. Τα τελευταία χρόνια έχουν προταθεί διαφορετικοί τρόποι προσέγγισης και ενσωμάτωσης της Κβαντικής Φυσικής στα προγράμματα σπουδών του μαθήματος της φυσικής στη Δευτεροβάθμια Εκπαίδευση (Stadermann et al., 2021). Στη συνέχεια, γίνεται μία προσπάθεια επισκόπησης των ζητημάτων που αφορούν τη διδακτική προσέγγιση της παρουσίασης της Κβαντικής Θεωρίας σε μαθητές Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης.

Τα φαινόμενα που εξετάζει η Κβαντική Φυσική είναι θεμελιώδη για την κατανόηση του φυσικού κόσμου και γι' αυτό είναι σημαντικό να διδαχθούν. Σε αντίθεση, όμως, με τα φαινόμενα που εξετάζει η Κλασική Φυσική και τα οποία οι μαθητές μπορούν να αντιληφθούν με τις αισθήσεις τους ή έχουν γι' αυτά κάποιο οπτικό μοντέλο, για τα κβαντικά φαινόμενα δεν έχουν κάποια οπτική εικόνα. Αυτό, όμως, δεν είναι απαραίτητα εμπόδιο για τη διδασκαλία της Κβαντικής Φυσικής. Η Κβαντική Φυσική μπορεί να αποτελέσει έναν νέο φυσικό κόσμο για τους μαθητές που θα αρχίσουν να εξερευνούν. Η διδασκαλία της Κβαντικής Φυσικής εξοικειώνει τους μαθητές με τις ιδέες της σύγχρονης φυσικής, τις τεχνολογικές εφαρμογές της και ανοίγει έναν νέο ορίζοντα γνώσης και οπτικής της επιστήμης της Φυσικής (Krijtenburg et al., 2017).

Είναι, βέβαια, σημαντικό οι διδασκόμενοι να μπορέσουν να αντιληφθούν τους περιορισμούς που υπάρχουν στις διαισθητικές αντιλήψεις τους. Για την κατανόηση στην πράξη και την αποδοχή της κβαντικής θεωρίας από τους μαθητές ενδείκνυται η μελέτη θεμελιωδών πειραμάτων μέσα από τα οποία καθιερώθηκε η Κβαντική Φυσική όπως το πείραμα της διπλής σχισμής, που απέδειξε την κυματική φύση των υποατομικών σωματιδίων. Η χρήση, επίσης, κβαντικών μοντέλων προσομοίωσης βοηθά τους μαθητές να ξεπεράσουν το εμπόδιο που οφείλεται στον περιορισμό των αισθήσεών τους και να μπορέσουν να κατανοήσουν με απλό τρόπο τα κβαντικά φαινόμενα (Dür & Heusler, 2014 ; Kohnle et al., 2015).

Η διδασκαλία της Κβαντικής Φυσικής αρχίζει συχνά μέσω ιστορικών πειραμάτων. Η παρουσίαση μιας ιστορικής εισαγωγής και συγκεκριμένα εκείνων των θεμελιωδών φυσικών φαινομένων που δεν μπορούσαν να εξηγηθούν στα πλαίσια της Κλασικής Φυσικής, όπως η ακτινοβολία μέλανος σώματος και το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο, είναι ιδιαίτερα εποικοδομητική από διδακτική σκοπιά, καθώς μέσα από αυτά τα φαινόμενα ανακαλύφθηκαν οι κβαντικοί νόμοι (Bungum et al., 2015).

Δεν πρέπει να ξεχνάμε ότι πολλοί μαθητές έχουν σχηματίσει στο μυαλό τους μία μυθική «εικόνα» για τη Κβαντική Φυσική. Υποθέτουν ότι είναι εκείνη η θεωρία στην οποία θα βασιστούμε ώστε να μπορέσουμε να συζητήσουμε για παράλληλα σύμπαντα και ταξίδια στο χρόνο. Είναι σημαντικό η διδασκαλία της Κβαντικής Φυσικής να ενισχύσει το ενδιαφέρον των μαθητών για την επιστήμη και όχι να επιφέρει το αντίθετο αποτέλεσμα. Ο εκπαιδευτικός στα πλαίσια της ερμηνείας της κβαντικής θεωρίας μπορεί να συζητήσει για ύπαρξη ή όχι κβαντικού πολυσύμπαντος χωρίς όμως να ενισχύσει κάποια παραφυσική αντίληψη των μαθητών.

Η νέα φυσική πραγματικότητα που παρουσιάζεται στους διδασκόμενους έρχεται σε αντίθεση με την κλασική θεωρία που διδάχθηκαν σε προηγούμενες τάξεις. Οι αντικρουόμενες ιδέες αφορούν κυρίως τη φύση των υποατομικών σωματιδίων, τα ζητήματα του *ρεαλισμού*, της *τοπικότητας* και της *αιτιότητας*. Η χρήση, όμως, επιστημονικών διαμαχών στη διδακτική των φυσικών επιστημών μπορεί να αποδειχθεί ιδιαίτερα ωφέλιμη γιατί έτσι ανακαλύπτεται η πολύπλοκη διαδικασία από την οποία περνά μία θεωρία μέχρι να κυριαρχήσει στον επιστημονικό κόσμο, γίνεται καλύτερα αντιληπτό το θεματικό περιεχόμενο που εξετάζεται και διαφαίνεται ο τρόπος εξέλιξης της επιστήμης (Chalmers, κεφ.8).

Η συστηματική, βέβαια, μελέτη και η κατανόηση της Κβαντικής Θεωρίας απαιτούν πολύπλοκους μαθηματικούς φορμαλισμούς τους οποίους για να διαχειριστεί ένας μαθητής πρέπει πρώτα να έχει αποκτήσει εμπειρία στην επίλυση μερικών διαφορικών εξισώσεων, στη χρήση μιγαδικών αριθμών και γραμμικών τελεστών σε χώρους Hilbert, που αποτελούν βασικά μαθηματικά εργαλεία της Κβαντομηχανικής, καθώς και να έχει γνώσεις πάνω στην κατανομή πιθανοτήτων. Είναι, λοιπόν, εμφανές ότι μία τέτοια προσέγγιση στη διδασκαλία της Κβαντικής Θεωρίας δε θα ήταν εφικτή για μαθητές Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης αφού δεν έχουν το αναγκαίο μαθηματικό υπόβαθρο (Verrucchi, 2023).

Τα μαθήματα Κβαντικής Φυσικής που απευθύνονται σε μαθητές Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης είναι προτιμότερο να περιλαμβάνουν τη παρουσίαση των βασικών ιδεών της Κβαντικής Θεωρίας, όπως η αρχή του κυματοσωματιδιακού δυϊσμού ύλης και φωτός, το μήκος κύματος De Broglie, η αρχή απροσδιοριστίας του Heisenberg και η στατιστική ερμηνεία της κυματοσυνάρτησης. Τα μαθήματα, δηλαδή, να έχουν ένα εισαγωγικό περιεχόμενο της Κβαντικής Θεωρίας χωρίς να απαιτείται η χρήση πολύπλοκων μαθηματικών φορμαλισμών (Wuttiptom et al, 2009).

Πρέπει να αναφερθεί πως η στείρα παράθεση κβαντικών ιδεών, νόμων και αρχών, από τον εκπαιδευτικό, ελλοχεύει κινδύνους για την εκπαιδευτική διαδικασία. Αν παρουσιαστεί ένα επιστημονικό αποτέλεσμα ως μία προκαθορισμένη αλήθεια, οι μαθητές, ενδεχομένως, όχι μόνο να μην το κατανοήσουν αλλά και να μην το αποδεχτούν. Αν, όμως, μάθουν τις μεθόδους που χρησιμοποίησαν οι επιστήμονες και τη διαδικασία εξέλιξης της νέας επιστημονικής θεωρίας μέχρι να εδραιωθεί στον επιστημονικό κόσμο, θα συμμετέχουν πιο ενεργά στην εκπαιδευτική διαδικασία, θα κατανοήσουν βαθύτερα και θα μπορέσουν να κατακτήσουν τη νέα γνώση. (Kragh, 1992 ; Τζανάκης, 2001).

Εξάλλου, σημαντικός στόχος της διδασκαλίας των φυσικών επιστημών είναι ο επιστημονικός γραμματισμός των διδασκόμενων. Οι μαθητές πρέπει να συμμετέχουν ενεργά στην εκπαιδευτική διαδικασία, να θέτουν ερωτήματα, να κατανοούν τη λογική πορεία εξέλιξης της επιστημονικής μεθόδου και όχι να δέχονται παθητικά επιστημονικές έννοιες. Με το κατάλληλο γνωστικό υπόβαθρο θα μπορέσουν να γίνουν ενεργοί μελλοντικοί πολίτες της κοινωνίας και να λαμβάνουν αποφάσεις για προσωπικό και κοινωνικό συμφέρον. Υλοποιείται με αυτόν τον τρόπο ο κοινωνικός και ανθρωπιστικός ρόλος της διδακτικής των φυσικών επιστημών (Yacoubian, 2018).

Ένας μαθητής που δε μπορεί να αντιληφθεί τη διαδικασία εξέλιξης της επιστημονικής μεθόδου δε θα καταφέρει και να εκτιμήσει τις διαφορετικές ερμηνείες της Κβαντικής Θεωρίας. Πρέπει να τονίσουμε, βέβαια, σ' αυτό το σημείο τη σπουδαιότητα του ρόλου του εκπαιδευτικού. Η διδακτική προσέγγιση του εκπαιδευτικού και η προσωπική του επιλογή για τα θέματα που επιδέχονται διαφορετική ερμηνεία καθορίζουν και τον τρόπο κατανόησης της Κβαντικής Φυσικής από τον μαθητή. (Baily & Finkelstein, 2015).

Η διδασκαλία της φύσης της επιστήμης είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για την εκμάθηση της Κβαντικής Φυσικής. Για παράδειγμα, χωρίς τη γνώση των περιορισμών των ατομικών μοντέλων του Rutherford και του Bohr, οι μαθητές, θα επιμείνουν στην κλασική αντίληψή τους ότι τα υποατομικά σωματίδια μοιάζουν και συμπεριφέρονται ως μικροσκοπικές σφαίρες (Johnston et al., 1998).

Τέλος, θα πρέπει να αναφέρουμε τη χρησιμότητα της μελέτης τεχνολογικών εφαρμογών, η λειτουργία των οποίων βασίζεται στη Κβαντική Φυσική, ώστε οι μαθητές να μπορέσουν να κατανοήσουν τον τρόπο με τον οποίο η Κβαντική Θεωρία βοήθησε στην εξέλιξη της τεχνολογίας (Jones & Kirk, 2007). Επιπλέον, οι μαθητές έχουν την ευκαιρία να ανακαλύψουν τη σπουδαιότητα της Κβαντομηχανικής σε τεχνολογικές εφαρμογές που καθόρισαν το σύγχρονο κόσμο όπως η τεχνολογία των laser και η αξιοποίηση κβαντικών τελειών για τη δημιουργία ηλιακών κυττάρων. Ταυτόχρονα ενισχύεται το ενδιαφέρον τους για συναρπαστικούς τομείς έρευνας που βρίσκονται σε διαρκή εξέλιξη όπως η κβαντική ιατρική και οι κβαντικοί υπολογιστές. (Alonso, 2002).

Συμπερασματικά, η διδακτική της Κβαντικής Φυσικής στη Δευτεροβάθμια Εκπαίδευση περιλαμβάνει συνήθως την παρουσίαση των βασικών ιδεών της Κβαντικής Θεωρίας χωρίς να απαιτείται η χρήση πολύπλοκων μαθηματικών φορμαλισμών. Η απλουστευμένη, όμως, προσέγγιση της Κβαντικής Θεωρίας στα μαθήματα Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης πρέπει να γίνει με τέτοιο τρόπο που να είναι πειστικός για τους μαθητές χωρίς να δημιουργεί σύγχυση, παραπληροφόρηση ή να εντείνει το μυστήριο που έχουν γύρω από τη Κβαντική Φυσική. Γι' αυτό το σκοπό είναι απαραίτητος ο σχεδιασμός στρατηγικής για τη διδασκαλία της Κβαντικής Φυσικής στη Δευτεροβάθμια Εκπαίδευση.

## 2. Το Πρόγραμμα Σπουδών Φυσικής της Γ' Τάξης Λυκείου του Ελληνικού Εκπαιδευτικού Συστήματος για τη διδασκαλία της Κβαντικής Φυσικής

Στην ανώτερη δευτεροβάθμια εκπαίδευση του Ελληνικού εκπαιδευτικού συστήματος και συγκεκριμένα στη Β' τάξη του Γενικού Λυκείου, οι μαθητές έχουν τη δυνατότητα να επιλέξουν να παρακολουθήσουν πρόγραμμα μαθημάτων που ανήκει στην ομάδα προσανατολισμού θετικών σπουδών, όπου δίνεται έμφαση στις θετικές επιστήμες. Ένα από τα μαθήματα της συγκεκριμένης ομάδας είναι μάθημα φυσικής το οποίο, όμως, δεν περιλαμβάνει θεωρία κβαντικής φυσικής. Η κβαντική φυσική αποτελεί διδακτική ενότητα του μαθήματος *Φυσικής* δύο ομάδων προσανατολισμού, σπουδών υγείας και θετικών σπουδών, που μπορούν να επιλέξουν οι μαθητές, ηλικίας 17-18 ετών, στη Γ' τάξη του Γενικού Λυκείου.

Στο ωρολόγιο πρόγραμμα μαθημάτων της Γ' τάξης του ημερήσιου Γενικού Λυκείου, που δημοσιεύθηκε στην Εφημερίδα της Κυβερνήσεως τον Σεπτέμβριο του έτους 2023, αναφέρεται πως το μάθημα *Φυσικής* πρέπει να έχει συνολική διάρκεια 6 διδακτικών ωρών εβδομαδιαίως. Επιπλέον, αποτελεί εξεταζόμενο μάθημα στις Πανελλαδικές Εξετάσεις, στις οποίες έχουν δικαίωμα συμμετοχής οι μαθητές της Γ' τάξης του Λυκείου. Η διεξαγωγή των Πανελλαδικών Εξετάσεων υπάγεται στην αρμοδιότητα του υπουργείου Παιδείας, Θρησκευμάτων και Αθλητισμού. Τα θέματα του εξεταζόμενου μαθήματος, που καλούνται να απαντήσουν γραπτώς οι υποψήφιοι, καθορίζονται από κεντρική επιτροπή εξετάσεων. Η βαθμολόγηση των γραπτών πραγματοποιείται από εκπαιδευτικούς των Βαθμολογικών Κέντρων, που ορίζονται κάθε έτος με σχετική υπουργική απόφαση. Οι υποψήφιοι που επιτυγχάνουν στις εξετάσεις έχουν δικαίωμα πρόσβασης στην Τριτοβάθμια Εκπαίδευση της Χώρας.

Οι μαθητές της τελευταίας τάξης του Λυκείου που επιλέγουν να παρακολουθήσουν και να εξεταστούν στο μάθημα *Φυσικής* είναι εκείνοι που διεκδικούν την εισαγωγή τους σε Ελληνική Σχολή θετικών επιστημών τριτοβάθμιας εκπαίδευσης. Να σημειωθεί ότι το μάθημα της φυσικής περιλαμβάνεται και στις ενδοσχολικές εξετάσεις. Οι διδασκόμενοι περίπου δέκα ημέρες πριν την έναρξη των Πανελλαδικών Εξετάσεων συμμετέχουν και στις ενδοσχολικές εξετάσεις προκειμένου να αποκτήσουν το απολυτήριο δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης. Την ίδια ημέρα που διεξάγεται η κάθε προγραμματισμένη ενδοσχολική εξέταση και περίπου δύο ώρες πριν την έναρξή της, ο διευθυντής του σχολείου και οι διδάσκοντες του μαθήματος κληρώνουν δύο θέματα από την Τράπεζα Θεμάτων, ένα σύστημα καταχώρισης θεμάτων που περιλαμβάνεται σε πλατφόρμα του Υπουργείου. Τα υπόλοιπα θέματα της εξέτασης είναι προσωπικές επιλογές των διδασκόντων του μαθήματος. Η βαθμολόγηση των γραπτών πραγματοποιείται από τον εκπαιδευτικό του σχολείου που διδάσκει το μάθημα (Επίσημος Ιστότοπος της Ευρωπαϊκής ένωσης, χ.χ.).



Στην υπουργική απόφαση, που δημοσιεύθηκε τον Ιούλιο του 2023 στην Εφημερίδα της Κυβερνήσεως, για τον καθορισμό της ύλης των πανελλαδικώς εξεταζόμενων μαθημάτων του σχολικού έτους 2023-2024, αναφέρονται επιγραμματικά τα κεφάλαια και οι ενότητες του μαθήματος της φυσικής της Γ' τάξης του Γενικού Λυκείου, που πρέπει να διδαχθούν. Τον Νοέμβριο του 2023 το Υπουργείο Παιδείας, Θρησκευμάτων και Αθλητισμού διαβίβασε αρχείο στις περιφερειακές διευθύνσεις Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης, που περιείχε αναλυτικές οδηγίες διδασκαλίας των πανελλαδικώς εξεταζόμενων μαθημάτων. Σε αυτό το επίσημο έγγραφο παρουσιάζονται πιο λεπτομερώς τα διδακτικά περιεχόμενα του μαθήματος της φυσικής, καταγράφονται αναλυτικά τα προσδοκώμενα μαθησιακά αποτελέσματα και προτείνεται στους εκπαιδευτικούς πρόσθετο διδακτικό υλικό πέρα από τα σχολικά εγχειρίδια όπως χρήσιμες ιστοσελίδες. Στην παρούσα εργασία μελετήθηκαν προσεκτικά οι συγκεκριμένες οδηγίες διδασκαλίας που συνιστούν το πρόγραμμα σπουδών του μαθήματος της φυσικής της Γ' τάξης του Γενικού Λυκείου, το οποίο εφαρμόστηκε κατά το σχολικό έτος 2023-2024. Η παρουσίαση της κβαντικής θεωρίας αποτελεί διδακτική ενότητα του μαθήματος με διάρκεια 23 διδακτικές ώρες.

Πρέπει να σημειωθεί ότι τον Νοέμβριο του έτους 2021 δημοσιεύθηκε στην εφημερίδα της Κυβερνήσεως υπουργική απόφαση που όριζε ένα νέο μεταβατικό πρόγραμμα σπουδών του μαθήματος φυσικής για τις τρεις τάξεις του Γενικού Λυκείου το οποίο, όμως, δεν έχει εφαρμοστεί ακόμη στα σχολεία. Σε αυτό το πρόγραμμα σπουδών περιλαμβάνεται διδακτική ενότητα παρουσίασης κβαντικής θεωρίας με διδακτικό περιεχόμενο που διαφέρει σε μεγάλο βαθμό από εκείνο που διδάχθηκε το τρέχον σχολικό έτος 2023-2024. Στην παρούσα εργασία μελετήθηκε διεξοδικά το πρόγραμμα σπουδών κβαντικής φυσικής που εφαρμόστηκε το σχολικό έτος 2023-2024. Επίσης, χρησιμοποιήθηκε και το σχολικό βιβλίο της Γ' τάξης Γενικού Λυκείου που περιέχει την ενότητα της κβαντικής φυσικής και αποτελεί το διδακτικό υλικό που χρησιμοποιεί ένας μαθητής για τη μελέτη και την προετοιμασία του για τις εξετάσεις.

Προτού περάσουμε στην αναλυτική επισκόπηση του διδακτικού περιεχομένου της κβαντικής φυσικής, πρέπει να αναφέρουμε ότι οι μαθητές της Γ' τάξης Λυκείου δε συναντούν για πρώτη φορά κβαντική θεωρία. Έχει προηγηθεί η διδασκαλία κβαντικών εννοιών στο μάθημα *Χημείας* της ίδιας τάξης, που επίσης παρακολουθούν οι μαθητές των ομάδων προσανατολισμού υγείας και θετικών σπουδών. Στη διδακτική ενότητα του μαθήματος της χημείας που περιέχει τον Περιοδικό Πίνακα των χημικών στοιχείων παρουσιάζονται το ατομικό πρότυπο του Bohr, η κβαντική θεωρία του Planck και η απαγορευτική αρχή του Pauli στα πλαίσια της ηλεκτρονιακής δόμησης των ατόμων σε τροχιακά. Στην εργασία μου, τα συγκεκριμένα θεματικά περιεχόμενα, δηλαδή το ατομικό πρότυπο του Bohr και η απαγορευτική αρχή του Pauli, θεώρησα ότι δεν αποτελούν τμήμα του προγράμματος σπουδών του μαθήματος της *Φυσικής* της Γ' τάξης Λυκείου, αφού διδάσκονται σε διαφορετικό μάθημα.

Η παρουσίαση της κβαντικής θεωρίας στο μάθημα της Φυσικής της Γ' τάξης Λυκείου ξεκινά με τη μελέτη της ακτινοβολίας του μέλανος σώματος. Οι διδασκόμενοι μαθαίνουν τον ορισμό του μέλανος σώματος καθώς και ποιά σώματα στην πράξη θεωρούνται μέλανα σώματα. Εκπαιδευτικός στόχος είναι οι μαθητές να μπορούν να εξηγούν τη φασματική κατανομή της ακτινοβολίας του μέλανος σώματος. Επίσης, μαθαίνουν να χρησιμοποιούν το νόμο μετατόπισης του Wien. Κατανοούν τη δυσκολία της κλασικής φυσικής να εξηγήσει τη μεταβολή της έντασης ανά μονάδα μήκους κύματος της ακτινοβολίας του μέλανος σώματος σύμφωνα με την κλασική υπόθεση ότι τα άτομα αποτελούν ταλαντούμενα ηλεκτρικά δίπολα. Διδάσκονται ότι η εξήγηση της ακτινοβολίας του μέλανος σώματος πραγματοποιήθηκε με τη θεωρία της κβάντωσης της ενέργειας του Max Planck. Μελετούν τις δύο υποθέσεις του Planck για την κβάντωση της ενέργειας των ατόμων καθώς και της ενέργειας υπό μορφή ακτινοβολίας που μπορεί να απορροφήσει ή να εκπέμψει το άτομο κατά τη διέγερση ή την αποδιέγερσή του αντίστοιχα. Ακόμη, εξασκούνται στην εφαρμογή της σχέσης  $E = h \times f$  που δίνει την ενέργεια φωτονίου.

Στη συνέχεια της διδακτικής ύλης περιλαμβάνεται η παρουσίαση του φωτοηλεκτρικού φαινομένου. Οι μαθητές χρησιμοποιώντας σχηματική αναπαράσταση διάταξης μελέτης φωτοηλεκτρικού φαινομένου αποκτούν γνώσεις πάνω σε βασικές έννοιες όπως τα φωτοηλεκτρόνια, η συχνότητα κατωφλίου, το έργο εξαγωγής και η τάση αποκοπής. Μελετούν τη φωτοηλεκτρική εξίσωση του Einstein, την οποία μαθαίνουν να χρησιμοποιούν σε ασκήσεις προσδιορισμού των εμπλεκόμενων μεγεθών όπως και στις γραφικές τους παραστάσεις. Επιπλέον, μαθαίνουν να αποδεικνύουν τη σχέση που συνδέει το μήκος κύματος De Broglie με την ορμή ενός φωτονίου χρησιμοποιώντας τους τύπους της σχετικιστικής ενέργειας του Einstein και της ενέργειας φωτονίου του Planck.

Η επόμενη διδακτική ενότητα της κβαντικής φυσικής περιέχει το φαινόμενο Compton. Πρωτίστως, παρουσιάζεται ο μηχανισμός παραγωγής ακτίνων X ως αντίστροφος του φωτοηλεκτρικού φαινομένου. Σημειώνεται, ακόμη, το σύνθετο φάσμα παραγωγής ακτίνων X, όπως προκύπτει από τους δύο διαφορετικούς τρόπους παραγωγής των ακτίνων. Στη συνέχεια, δίνεται λεπτομερής περιγραφή της σκέδασης Compton. Εκπαιδευτικός στόχος αποτελεί οι διδασκόμενοι να είναι σε θέση να εξηγούν την ύπαρξη σκέδασης Compton με την κβαντική θεωρία ότι ανάμεσα στα φωτόνια ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας στη περιοχή του φάσματος των ακτίνων X και στα πρακτικώς ακίνητα ηλεκτρόνια της υλικής επιφάνειας λαμβάνει χώρα κρούση, δηλαδή να κατανοούν την αντιμετώπιση του φωτός ως σωματίδιο. Επίσης, οι μαθητές εξασκούνται στον προσδιορισμό της διαφοράς μηκών κύματος μεταξύ προσπίπτουσας και σκεδαζόμενης ακτινοβολίας.

Ακολουθώς, στο διδακτικό περιεχόμενο του μαθήματος συναντάμε την αρχή αβεβαιότητας ή απροσδιοριστίας του Heisenberg. Διδάσκεται τόσο η σχέση μεταξύ αβεβαιότητας προσδιορισμού θέσης και ορμής όσο και η σχέση μεταξύ αβεβαιότητας προσδιορισμού στη μέτρηση ενέργειας και του χρόνου παραμονής σε κβαντική κατάσταση. Δε δίνεται έμφαση στο μαθηματικό φορμαλισμό των σχέσεων αλλά στη φυσική τους ερμηνεία.

Τέλος, αναφέρεται η εξίσωση του Schrödinger ως θεμελιώδης εξίσωση της κβαντικής θεωρίας χωρίς να ζητείται από τους εκπαιδευόμενους η μαθηματική της χρήση. Ιδιαίτερη σημασία δίνεται στη φύση της λύσης της εξίσωσης δηλαδή της κυματοσυνάρτησης. Τονίζεται ότι φυσική σημασία δεν έχει η ίδια η κυματοσυνάρτηση αλλά το τετράγωνό της που εκφράζει την πυκνότητα πιθανότητας να βρεθεί το σωματίδιο σε συγκεκριμένη περιοχή του χώρου δηλαδή την πιθανότητα θέσης ανά μονάδα όγκου. Τέλος, παρουσιάζεται η συνθήκη κανονικοποίησης της κυματοσυνάρτησης με απλά λόγια δηλαδή διδάσκεται ότι το κβαντικό σωματίδιο σίγουρα θα βρίσκεται κάθε χρονική στιγμή σε μία στοιχειώδη περιοχή του χώρου χωρίς να απαιτείται από τους μαθητές να μπορούν να την εφαρμόσουν σε ασκήσεις.

Στα επίσημα έγγραφα του Υπουργείου Παιδείας για το πρόγραμμα σπουδών του μαθήματος της φυσικής της Γ' τάξης Λυκείου, που εφαρμόστηκε το σχολικό έτος 2023-2024, δεν περιλαμβάνεται η μελέτη τεχνολογικών εφαρμογών της κβαντικής φυσικής. Επίσης, δε συναντούμε στους εκπαιδευτικούς στόχους φιλοσοφικές και επιστημολογικές συζητήσεις γύρω από την ερμηνεία κβαντικών φαινομένων. Να σημειώσουμε, ακόμη, ότι στο πρόγραμμα σπουδών δεν περιέχονται θεμελιώδεις κβαντικές αρχές όπως ατομικά πρότυπα, μαθηματική επίλυση της εξίσωσης Schrödinger, σωματίδιο σε πηγάδι δυναμικού απείρου ή πεπερασμένου βάθους, φαινόμενο σήραγγας, κβαντική διεμπλοκή, κβαντικοί αριθμοί και απαγορευτική αρχή του Pauli. Τα παραπάνω θεματικά περιεχόμενα περιλαμβάνονται στο μεταβατικό πρόγραμμα σπουδών που προτάθηκε από το Ινστιτούτο Εκπαιδευτικής Πολιτικής το έτος 2021 αλλά δεν έχει ακόμη προχωρήσει η εφαρμογή του στη σχολική κοινότητα. Η διδασκαλία αυτών των θεματικών περιεχομένων θα πρέπει να είναι στοχευμένη και να λαμβάνει υπόψιν το γνωσιακό υπόβαθρο των μαθητών.

### **3. Ανάλυση των Προγραμμάτων Σπουδών Φυσικής 13 Ευρωπαϊκών Χωρών για τη διδασκαλία της Κβαντικής Φυσικής**

Στην παρούσα εργασία συνέλεξα, μελέτησα προσεκτικά και ανέλυσα επίσημα έγγραφα προγραμμάτων σπουδών διαφόρων ευρωπαϊκών χωρών, που περιέχουν μαθήματα κβαντικής φυσικής στην ανώτερη δευτεροβάθμια εκπαίδευση. Όταν κάνω λόγο για επίσημα έγγραφα εννοώ ότι προέρχονται από κάποιον επίσημο κρατικό φορέα. Προσπάθησα να εντοπίσω και να αποκτήσω πρόσβαση στα πιο πρόσφατα επίσημα έγγραφα προγραμμάτων σπουδών. Τελικά στην εργασία μου αναλύονται προγράμματα σπουδών 13 ευρωπαϊκών χωρών. Εξάλλου η κατευθυντήρια γραμμή της εργασίας μου δεν είναι η πλήρης επισκόπηση των προγραμμάτων σπουδών όλων των ευρωπαϊκών χωρών. Ο σκοπός της εργασίας μου είναι να αναλύσω το θεματικό περιεχόμενο κβαντικής φυσικής που χρησιμοποιείται σε διάφορα εκπαιδευτικά συστήματα και να εντοπίσω ομοιότητες και διαφορές μεταξύ τους και φυσικά σε σχέση με το αντίστοιχο Ελληνικό. Για ευκολότερη πρόσβαση στα προγράμματα σπουδών των διαφόρων χωρών κατά τη διεξαγωγή της εργασίας μου, έφτιαξα μία λίστα των ιστοσελίδων από τις οποίες απέκτησα τα επίσημα έγγραφα που ανέλυσα. Η συγκεκριμένη λίστα 1-1 παρουσιάζεται με αλφαβητική σειρά των χωρών στην επόμενη σελίδα της εργασίας.

Στα προγράμματα σπουδών περιλαμβάνονται διδακτικό περιεχόμενο μαθημάτων, σχέδια διδασκαλίας, προσδοκώμενα μαθησιακά αποτελέσματα, προτεινόμενο διδακτικό υλικό, μέθοδοι διδασκαλίας και τρόποι αξιολόγησης. Κάποια προγράμματα είναι περισσότερο λεπτομερή από κάποια άλλα. Μερικά περιέχουν συνοπτικά κείμενα και άλλα αναλυτικούς πίνακες. Στα προγράμματα σπουδών που ήταν γραμμένα σε διαφορετική γλώσσα, από την ελληνική και την αγγλική, έγινε προσπάθεια μετάφρασης. Στη συνέχεια αναλύονται τα προγράμματα σπουδών κβαντικής φυσικής στην ανώτερη δευτεροβάθμια εκπαίδευση των 13 ευρωπαϊκών χωρών.

**Λίστα 1-1.** Λίστα ιστοσελίδων εύρεσης προγραμμάτων σπουδών των 13 Ευρωπαϊκών Χωρών, που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία.

### **1. Αυστρία**

Αυστριακό Ομοσπονδιακό Υπουργείο Παιδείας, Επιστημών και Έρευνας (2018). Συνολική νομοθεσία για τα προγράμματα σπουδών της Γενικής Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης, Φυσική Γυμνασίου. Ανακτήθηκε και μεταφράστηκε από <https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=10008568>

### **2. Βέλγιο**

Φλαμανδικός Οργανισμός Καθολικής Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης (2014). Πρόγραμμα Σπουδών Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης, 3<sup>η</sup> τάξη, ASO, Επιστήμες, Φυσική. Ανακτήθηκε και μεταφράστηκε από <http://ond.vvksoict.com/leerplannen/doc/Fysica-2014-015.pdf>

### **3. Γαλλία**

Γαλλικό Υπουργείο Εθνικής Παιδείας και Νεολαίας (2014). Σημεία αναφοράς για την εκπαίδευση στη φυσική και τη χημεία στον τελευταίο κύκλο σπουδών του επιστημονικού πεδίου. Ανακτήθηκε και μεταφράστηκε από [http://cache.media.eduscol.education.fr/file/PC/45/7/reperes\\_formation\\_filiere\\_S\\_380457.pdf](http://cache.media.eduscol.education.fr/file/PC/45/7/reperes_formation_filiere_S_380457.pdf)

### **4. Γερμανία**

**4.1** Διαρκής Διάσκεψη Υπουργών Παιδείας και Πολιτισμού των Ομόσπονδων Κρατιδίων της Ομοσπονδιακής Δημοκρατίας της Γερμανίας (2004). Ενιαίες απαιτήσεις για τις εξετάσεις *Abitur* στη φυσική. Ανακτήθηκε και μεταφράστηκε από [https://www.kmk.org/fileadmin/veroeffentlichungen\\_beschluesse/1989/1989\\_12\\_01-EPA-Physik.pdf](https://www.kmk.org/fileadmin/veroeffentlichungen_beschluesse/1989/1989_12_01-EPA-Physik.pdf)

**4.2** Βαυαρικό Κρατικό Ινστιτούτο Έρευνας για τη Σχολική Ποιότητα και την Έρευνα στην Εκπαίδευση (2009). Πρόγραμμα Σπουδών Γυμνασίου για το μάθημα της Φυσικής στις εκπαιδευτικές βαθμίδες 6 έως 12. Ανακτήθηκε και μεταφράστηκε από <https://www.gym8-lehrplan.bayern.de/contentserv/3.1.neu/g8.de/index.php?StoryID=27147>

### **5. Δανία**

**5.1** Υπουργείο Παιδείας της Δανίας (2013). Εκτελεστικό Διάταγμα για το Πρόγραμμα Εξετάσεων Λυκείου. Ανακτήθηκε και μεταφράστηκε από <https://www.retsinformation.dk/eli/lta/2013/776#Bil23>

5.2 Δανικό Ινστιτούτο Αξιολόγησης, EVA (2009). Το γνωστικό αντικείμενο της Φυσικής από διεθνή σκοπιά. Φυσική Α και Β στα προγράμματα σπουδών HTX και STX. Ανακτήθηκε και μεταφράστηκε από <https://eva.dk/udgivelser/2009/aug/the-subject-of-physics-from-an-international-perspective>

## 6. Ηνωμένο Βασίλειο(Αγγλία)

6.1 Γραφείο επαγγελματικών προσόντων και κανονισμού εξετάσεων, Ofqual (2017). Προϋποθέσεις και Απαιτήσεις για τις Φυσικές Επιστήμες (Βιολογία, Χημεία, Φυσική) Επιπέδου GCE και Απαιτήσεις για το Πιστοποιητικό *Certificate*. Ανακτήθηκε από [https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/600864/gce-subject-level-conditions-and-requirements-for-science.pdf](https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/600864/gce-subject-level-conditions-and-requirements-for-science.pdf)

6.2 Οργανισμός Εκπαίδευσης AQA (2017). Φυσική Α και AS Επιπέδων. Ανακτήθηκε από <https://filestore.aqa.org.uk/resources/physics/specifications/AQA-7407-7408-SP-2015.PDF>

## 7. Ισπανία

Ισπανικό Υπουργείο Παιδείας, Πολιτισμού και Αθλητισμού (2015). Βασιλικό Διάταγμα 1105/2014 για το βασικό πρόγραμμα σπουδών της υποχρεωτικής δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης και απολυτηρίου *Baccalaureate*. Ανακτήθηκε και μεταφράστηκε από <https://www.boe.es/boe/dias/2015/01/03/pdfs/BOE-A-2015-37.pdf>

## 8. Ιταλία

Ιταλικό Υπουργείο Εκπαίδευσης, Πανεπιστημίου και Έρευνας, MIUR (2015). Πλαίσιο Αναφοράς για τη δεύτερη γραπτή δοκιμασία των Κρατικών Εξετάσεων Φυσικής των Επιστημονικών Λυκείων. Ανακτήθηκε και μεταφράστηκε από <http://www.miur.gov.it/il-quadro-di-riferimento-della-seconda-prova-di-fisica-per-gli-esami-di-stato-dei-licei-scientifici>

## 9. Νορβηγία

Διεύθυνση Εκπαίδευσης, Udir (2021). Πρόγραμμα Σπουδών στη Φυσική (FYS01-02). Ανακτήθηκε και μεταφράστηκε από <https://www.udir.no/lk20/fys01-02>

## 10. Ολλανδία

Εθνική Επιτροπή Εξετάσεων, CvTE (2017). Πρόγραμμα σπουδών Φυσικής του συστήματος VWO για την κεντρική εξέταση του 2019. Ανακτήθηκε και μεταφράστηκε από [https://www.examenblad.nl/examenstof/syllabus-2019-natuurkunde-vwo/2019/vwo/f=/natuurkunde\\_2\\_versie\\_vwo\\_2019.pdf](https://www.examenblad.nl/examenstof/syllabus-2019-natuurkunde-vwo/2019/vwo/f=/natuurkunde_2_versie_vwo_2019.pdf)

## 11. Πορτογαλία

Υπουργείο Επιστημών και Εκπαίδευσης (2014). Εκπαιδευτικοί Στόχοι Προγράμματος Σπουδών Φυσικής 12<sup>ης</sup> Τάξης. Ανακτήθηκε και Μεταφράστηκε από [https://www.dge.mec.pt/sites/default/files/Secundario/Documentos/Documentos\\_Disciplinas\\_novo/Curso\\_Ciencias\\_Tecnologias/Fisica/metas\\_curriculares\\_fisica\\_12\\_ano.pdf](https://www.dge.mec.pt/sites/default/files/Secundario/Documentos/Documentos_Disciplinas_novo/Curso_Ciencias_Tecnologias/Fisica/metas_curriculares_fisica_12_ano.pdf)

## 12. Σουηδία

Σουηδική Εθνική Υπηρεσία Εκπαίδευσης (2013). Εκπαιδευτικοί στόχοι και μαθήματα, Πρόγραμμα Σπουδών Φυσικής Γυμνασίου. Ανακτήθηκε από <https://www.skolverket.se/download/18.189c87ae1623366ff374c3/1521539980000/Physics-swedish-school.pdf>

## 13. Φινλανδία

Φινλανδικό Συμβούλιο Εκπαίδευσης (2019). Βασικές Αρχές του Προγράμματος Σπουδών του Λυκείου 2019. Ανακτήθηκε και Μεταφράστηκε από [https://www.oph.fi/sites/default/files/documents/lukion\\_opetussuunnitelman\\_perusteet\\_2019.pdf](https://www.oph.fi/sites/default/files/documents/lukion_opetussuunnitelman_perusteet_2019.pdf)

Στη συνέχεια, παρουσιάζονται, σε ξεχωριστή ενότητα για κάθε κράτος, χρήσιμες πληροφορίες για τα προγράμματα σπουδών κβαντικής φυσικής των 13 Ευρωπαϊκών Χωρών.

## 3.1 Αυστρία

Στο εκπαιδευτικό σύστημα της Αυστρίας, οι μαθητές, μετά τα τέσσερα πρώτα χρόνια του δημοτικού σχολείου, μπορούν να συνεχίσουν τη βασική τους εκπαίδευση στο ακαδημαϊκό γενικό σχολείο δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης *Allgemeinbildende Höhere Schule (AHS)*. Η φοίτηση στο *AHS* διαρκεί συνολικά οκτώ έτη και χωρίζεται σε τέσσερα έτη κατώτερου επιπέδου (5<sup>η</sup> έως 8<sup>η</sup> τάξη) και τέσσερα έτη ανώτερου επιπέδου δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης (9<sup>η</sup> έως 12<sup>η</sup> τάξη). Στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση ανώτερου επιπέδου συναντάμε 3 τύπους εκπαιδευτικής κατάρτισης, το κλασικό σχολείο δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης *Gymnasium (BG)*, που επικεντρώνεται στην εκμάθηση γλωσσών, τα ειδικού τύπου σχολεία *Realgymnasium (BRG)*, με έμφαση στα μαθηματικά και τη φυσική και *Wirtschaftskundliches Realgymnasium (BRG)*, με έμφαση σε επιστήμες όπως οικονομικά, χημεία, ψυχολογία ή φιλοσοφία. Στην έβδομη κλάση του ανώτερου επιπέδου της Αυστριακής δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης (11<sup>η</sup> τάξη) οι μαθητές, ηλικίας 17-18 ετών, μπορούν να παρακολουθήσουν το μάθημα *Physik*, διάρκειας 2 διδακτικών ωρών εβδομαδιαίως.

Το μάθημα αυτό της φυσικής μπορούν να συνεχίσουν να το διδάσκονται και στην όγδοη κλάση (12<sup>η</sup> τάξη), με 2 διδακτικές ώρες εβδομαδιαίως στα δύο πρώτα σχολεία και 3 ώρες στο BRG. Η δευτεροβάθμια εκπαίδευση ενός μαθητή ολοκληρώνεται με την τελική εξέταση *Matura*, που του δίνει δικαίωμα εισαγωγής στην τριτοβάθμια εκπαίδευση. Οι μαθητές μπορούν να επιλέξουν γραπτές ή προφορικές εξετάσεις. Στα υποχρεωτικά εξεταζόμενα μαθήματα, που καθορίζονται από κεντρική επιτροπή του Αυστριακού Υπουργείου Παιδείας, δεν περιλαμβάνεται το μάθημα της Φυσικής. Θεωρείται ειδικό επαγγελματικό μάθημα, που εξετάζεται τοπικά σε κάθε σχολείο, με θέματα που ορίζονται από τους διδάσκοντες του μαθήματος. Το αναλυτικό πρόγραμμα σπουδών, που χρησιμοποιήθηκε για την παρούσα εργασία, άπτεται της αρμοδιότητας του Αυστριακού Ομοσπονδιακού Υπουργείου Παιδείας, Επιστήμης και Έρευνας και εφαρμόστηκε στο εκπαιδευτικό σύστημα της Αυστρίας το έτος 2014.

Στο πρόγραμμα σπουδών, για τη διδακτική της φυσικής στην έβδομη και όγδοη κλάση του ανώτερου επιπέδου της Αυστριακής δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης, περιλαμβάνονται οι διδακτικοί στόχοι, που αναμένεται να επιτευχθούν από τους μαθητές. Στα πλαίσια της διδακτικής ενότητας που αφορά την παρουσίαση της κβαντικής θεωρίας, οι μαθητές, καταρχάς, αναμένεται να κατανοήσουν το φως ως φορέα ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας. Επίσης, μελετούν τις θεμελιώδεις αρχές που καθορίζουν τη σύγχρονη κβαντική φυσική, όπως την αρχή απροσδιοριστίας του Heisenberg και τη στατιστική ερμηνεία της κυματοσυνάρτησης. Πιο αναλυτικά, στα μαθήματα κβαντικής φυσικής, αρχικά παρουσιάζεται ο σωματιδιακός χαρακτήρας του φωτός, σε αντίθεση με την άποψη του Hertz ότι πρόκειται για καθαρά κυματικό φαινόμενο. Διατυπώνονται στους μαθητές ερωτήματα από την καθημερινή ζωή, που δε μπορούσαν να εξηγηθούν με βάση τις κυματικές ιδιότητες του φωτός, όπως γιατί ορισμένα σώματα είναι διαφανή και άλλα όχι και γιατί το υπεριώδες φως προκαλεί βλάβες στο ανθρώπινο δέρμα.

Η παρουσίαση και μελέτη φαινομένων που σχετίζονται με την κβαντική ερμηνεία της αλληλεπίδρασης ύλης και ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, όπως το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο και το φαινόμενο Compton, είναι προαιρετική για τους διδάσκοντες. Εκτός από τις σωματιδιακές ιδιότητες του φωτός, στα μαθήματα κβαντικής φυσικής, περιλαμβάνονται και οι κυματικές ιδιότητες των ηλεκτρονίων, για την πειραματική επιβεβαίωση των οποίων οι μαθητές μελετούν το πείραμα της διπλής σχισμής του Thomas Young. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στη στατιστική ερμηνεία της κυματοσυνάρτησης, που παρουσιάζεται ως ο πυρήνας της σύγχρονης κβαντικής θεωρίας. Επιπλέον, οι διδασκόμενοι μαθαίνουν την αρχή απροσδιοριστίας του Heisenberg για τη σχέση ανάμεσα στην αβεβαιότητα προσδιορισμού θέσης και ορμής καθώς και ενέργειας με χρονική διάρκεια.



Στα πλαίσια της μελέτης της δομής των ατόμων, ο εκπαιδευτικός μπορεί να επιλέξει να παρουσιάσει το ατομικό μοντέλο του Bohr. Διδάσκεται υποχρεωτικά η υπόθεση Planck, δηλαδή η κβάντωση ενέργειας της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που απορροφάται ή εκπέμπεται κατά την διέγερση ή αποδιέγερση ενός ατόμου αντίστοιχα. Τέλος, οι μαθητές μαθαίνουν να χρησιμοποιούν τη σχέση De Broglie και το ρόλο της σταθεράς του Planck ως συνδετικό κρίκο μεταξύ κυματικών και σωματιδιακών χαρακτηριστικών. Μέσα από τη μελέτη των παραπάνω κβαντικών θεωριών, ο διδάσκων έχει τη δυνατότητα να συζητήσει με τους μαθητές σχετικά με τα νέα δεδομένα που εισάγει η κβαντική φυσική καθώς και τις τεχνολογικές εφαρμογές της.

### 3.2 Βέλγιο

Το Βέλγιο χωρίζεται σε τρεις διαφορετικές γλωσσικές κοινότητες, Φλαμανδική, Γαλλόφωνη και Γερμανόφωνη. Κάθε κοινότητα έχει τους δικούς της κανονισμούς για το εκπαιδευτικό σύστημα, εφαρμόζει τη δική της εκπαιδευτική πολιτική και διαθέτει αυτόνομο πρόγραμμα σπουδών. Πρόκειται, δηλαδή, για ένα εκπαιδευτικό σύστημα με πολύπλοκη δομή. Η μεγαλύτερη εκπαιδευτική κοινότητα της χώρας βρίσκεται στη Φλαμανδική περιοχή του Βελγικού κράτους, με πρωτεύουσα τις Βρυξέλλες και επίσημη γλώσσα τα Ολλανδικά. Η εκπαιδευτική πολιτική στην Φλαμανδική κοινότητα υπάγεται στην αρμοδιότητα του οργανισμού *Catholic Education Flanders*. Στο Φλαμανδικό εκπαιδευτικό σύστημα η δευτεροβάθμια εκπαίδευση είναι υποχρεωτική για μαθητές ηλικίας 12 έως 18 ετών και αποτελείται από 3 στάδια με διάφορα είδη εκπαίδευσης και κύκλους σπουδών. Το πρώτο στάδιο περιλαμβάνει δύο εκπαιδευτικά έτη με ενιαίο πρόγραμμα σπουδών για μαθητές ηλικίας 12 έως 13 ετών. Τα δύο επόμενα εκπαιδευτικά έτη αποτελούν το δεύτερο στάδιο δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης για μαθητές ηλικίας 14 έως 15 ετών. Στο στάδιο αυτό διακρίνονται 4 διαφορετικοί τύποι εκπαίδευσης, η γενική (*ASO*), η τεχνική (*TSO*), η καλλιτεχνική (*KSO*) και η επαγγελματική (*BSO*) δευτεροβάθμια εκπαίδευση. Το τρίτο και τελευταίο στάδιο της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης περιλαμβάνει δύο εκπαιδευτικά έτη για τους τρεις πρώτους τύπους εκπαίδευσης και τρία για την επαγγελματική εκπαίδευση *BSO*.

Ένας μαθητής σε περίπτωση που συμπληρώσει με επιτυχία τα τρία στάδια αποκτά το δίπλωμα δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης και έχει πρόσβαση στην τριτοβάθμια εκπαίδευση. Η αξιολόγηση των μαθητών είναι αρμοδιότητα της Επιτροπής Τάξης, που αποτελείται από τον διευθυντή του εκάστοτε σχολείου και τους καθηγητές που διδάσκουν τον ενδιαφερόμενο μαθητή. Η επιτροπή αποφασίζει κάθε έτος τη μέθοδο αξιολόγησης των μαθητών (προφορικές ή γραπτές εξετάσεις ή εργασίες ή συνδυασμός αυτών).

Βέβαια, η ποιότητα της αξιολόγησης ελέγχεται από κεντρική επιτροπή σε επιθεωρήσεις και σχολικούς ελέγχους. Η διεξαγωγή, λοιπόν, γραπτών ή προφορικών εξετάσεων για την αξιολόγηση των μαθητών στο μάθημα *Fysika* αναλαμβάνεται σε τοπικό επίπεδο από το εκάστοτε σχολείο.

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα σπουδών του οργανισμού *Catholic Education Flanders*, που εφαρμόστηκε το έτος 2015 και αφορά το μάθημα *Fysika*, το οποίο μπορούν να παρακολουθήσουν μαθητές ηλικίας 16-18 ετών στα δύο εκπαιδευτικά έτη του τρίτου σταδίου της γενικής δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης *ASO*. Στο μάθημα αυτό, εκτός από τις υποχρεωτικές ενότητες *Ηλεκτρισμός, Ηλεκτρομαγνητισμός, Πυρηνική Φυσική, Δυναμική-Κινηματική, Έργο- Ενέργεια, Ταλαντώσεις και Κύματα*, ο εκπαιδευτικός επιλέγει μία επιπλέον ενότητα, ανάμεσα σε 8 ενότητες, στο πέμπτο έτος και μία στο έκτο έτος της γενικής δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης. Μία ενότητα διαρκεί τουλάχιστον έξι διδακτικές ώρες. Οι διδακτικές ενότητες που μπορεί να επιλέξει ο εκπαιδευτικός είναι *Φυσική Στερεάς Κατάστασης, Φυσική Στοιχειωδών Σωματιδίων, Ηλεκτρομαγνητικά Κύματα, Ιατρική Φυσική, Κυκλώματα στο Εναλλασσόμενο Ρεύμα, Φυσική στο Σύμπαν, Ειδική Θεωρία Σχετικότητας και Κβαντομηχανική*. Η επιλογή της ενότητας που θα διδάξει ο καθηγητής εξαρτάται από διάφορους παράγοντες όπως τα ενδιαφέροντα των μαθητών και του ίδιου του εκπαιδευτικού, οι σύγχρονες εξελίξεις στην επιστήμη και η επίδραση στην κοινωνία.

Η κβαντική φυσική είναι, επομένως, μία ενότητα επιλογής που δεν είναι σίγουρο ότι θα διδαχθεί στη γενική δευτεροβάθμια εκπαίδευση. Στην περίπτωση που επιλεγεί η διδασκαλία της από τον εκπαιδευτικό, ο γενικός εκπαιδευτικός στόχος του μαθήματος είναι η μελέτη των βασικών αρχών της κβαντομηχανικής. Αρχικά, παρουσιάζεται η δυσκολία της κλασικής φυσικής να εξηγήσει ορισμένα φαινόμενα και γεγονότα όπως το λόγο που ένα ηλεκτρόνιο έχει μόνο δύο καταστάσεις spin. Στο πρόγραμμα σπουδών τονίζεται οι μαθητές να κατανοήσουν την κβάντωση και τη θεωρία πιθανοτήτων ως τις βασικές διαφορές μεταξύ κλασικής και κβαντικής φυσικής. Για την κατανόηση της έννοιας της κβάντωσης παρουσιάζεται το ατομικό μοντέλο του Bohr με τα διακριτά ενεργειακά ατομικά επίπεδα. Επιπλέον, οι διδασκόμενοι μελετούν τις σχέσεις αβεβαιότητας του Heisenberg μεταξύ θέσης-ορμής καθώς και ενέργειας-χρόνου. Ιδιαίτερη σημασία δίνεται στον κυματοσωματιδιακό δυϊσμό ως θεμελιώδη αρχή για το φως και την ύλη. Ο σωματιδιακός χαρακτήρας του φωτός ενσωματώνεται στη θεωρία των φωτονίων του Planck και διδάσκεται η μαθηματική σχέση  $E=hf$  για την ενέργεια του κβάντου φωτός. Οι μαθητές κατανοούν τη σχέση ανάμεσα στα κυματικά και σωματιδιακά χαρακτηριστικά μέσα από τη μαθηματική έκφραση του μήκους κύματος De Broglie.

Ακόμη, διδάσκονται η κβαντική υπέρθεση και η στατιστική ερμηνεία της κυματοσυνάρτησης του Max Born. Τέλος, στους εκπαιδευτικούς στόχους αναφέρεται οι μαθητές να είναι σε θέση να εξηγούν το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο. Στο πρόγραμμα σπουδών περιλαμβάνονται χρήσιμες οδηγίες και εκπαιδευτικές προτάσεις προς τους διδάσκοντες του μαθήματος. Συστήνεται στους εκπαιδευτικούς να συζητήσουν με τους μαθητές για σύγχρονες εφαρμογές της κβαντικής μηχανικής όπως είναι οι ηλιακές κυψέλες (solar cells), ο φωτισμός led και οι ημιαγωγοί. Επίσης, μπορούν να συζητήσουν νοητικά πειράματα κβαντικής φυσικής όπως το παράδοξο Einstein-Podolski-Rosen και η γάτα του Schrödinger, που εγείρουν το ενδιαφέρον των μαθητών.

### 3.3 Γαλλία

Στο κράτος της Γαλλίας η εκπαιδευτική πολιτική καθορίζεται και εφαρμόζεται σε κεντρικό επίπεδο από την εκτελεστική εξουσία. Η δευτεροβάθμια εκπαίδευση στην Γαλλία είναι υποχρεωτική για μαθητές ηλικίας 11 έως 18 ετών και έχει διάρκεια 7 ετών. Διαχωρίζεται σε δύο επίπεδα εκπαίδευσης, την κατώτερη δευτεροβάθμια εκπαίδευση διάρκειας 4 ετών, που παρέχεται από τα κολλέγια, και την ανώτερη δευτεροβάθμια εκπαίδευση διάρκειας 3 ετών, που παρέχεται από τα λύκεια της χώρας. Τόσο στην κατώτερη όσο και στην ανώτερη δευτεροβάθμια εκπαίδευση η εκπαιδευτική πολιτική και κατ' επέκταση ο καθορισμός των προγραμμάτων σπουδών εμπίπτουν στην αρμοδιότητα του υπουργείου Εθνικής Παιδείας και Νεολαίας. Στο τελευταίο έτος του κολλεγίου οι μαθητές επιλέγουν σε ποιόν από τους τρεις τύπους λυκείων του Γαλλικού εκπαιδευτικού συστήματος επιθυμούν να συνεχίσουν την δευτεροβάθμια εκπαίδευσή τους. Πρέπει να επιλέξουν ανάμεσα στο Γενικό, το Τεχνολογικό και το Επαγγελματικό Λύκειο. Στο δεύτερο έτος του Γενικού και Τεχνολογικού Λυκείου οι μαθητές δηλώνουν γενικό ή τεχνολογικό πεδίο σπουδών το οποίο θα παρακολουθήσουν.

Στη Γαλλική δευτεροβάθμια εκπαίδευση η αξιολόγηση των μαθητών πραγματοποιείται κάθε τρίμηνο αλλά και ετήσια. Κάθε χρόνο οι γονείς ενός μαθητή καταθέτουν αίτημα στο σχολείο με το οποίο ζητούν το παιδί τους να μεταβεί στην επόμενη τάξη ή να επαναλάβει την ίδια τάξη. Το αίτημα αξιολογείται και γίνεται δεκτό ή απορρίπτεται από το *συμβούλιο τάξης* κάθε μαθητή, που απαρτίζεται από τον διευθυντή του σχολείου και τους διδάσκοντες του μαθητή. Στην τελευταία τάξη του λυκείου διεξάγονται γραπτές εθνικές εξετάσεις, σε μαθήματα ανάλογα με το πεδίο σπουδών, στις οποίες αν επιτύχει ένας μαθητής αποκτά απολυτήριο *Baccalauréat* και δικαίωμα συνέχισης σπουδών στην τριτοβάθμια εκπαίδευση. Υπάρχει και η δυνατότητα προφορικής εξέτασης.

Γενικά, στη Γαλλική δευτεροβάθμια εκπαίδευση, η φυσική συνιστά ενιαίο μάθημα με τη χημεία. Στην περίπτωση που ένας μαθητής ακολουθήσει το τεχνολογικό πεδίο σπουδών, τότε στο τελευταίο έτος έχει τη δυνατότητα να επιλέξει μάθημα φυσικής-χημείας με δύο διδακτικές ώρες εβδομαδιαίως, για το οποίο δίνει γραπτές εθνικές εξετάσεις διάρκειας 3,5 ωρών. Έννοιες και θέματα κβαντικής φυσικής περιλαμβάνονται στην ύλη του συγκεκριμένου μαθήματος.

Στη συγκεκριμένη εργασία χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα σπουδών που αφορά το μάθημα φυσικής-χημείας του τελευταίου έτους του επιστημονικού πεδίου για μαθητές ηλικίας 17-18 ετών και το οποίο εφαρμόστηκε το 2012. Από τον Σεπτέμβριο του 2019 τη θέση του επιστημονικού πεδίου έλαβε το τεχνολογικό πεδίο σπουδών με το μάθημα φυσικής-χημείας να είναι ένα από τα ειδικά μαθήματα επιλογής του τελευταίου έτους σπουδών. Σκοπός του μαθήματος, όπως αναφέρεται στο πρόγραμμα σπουδών, είναι η προετοιμασία των μαθητών ώστε να συνεχίσουν επιστημονικές σπουδές στην τριτοβάθμια εκπαίδευση.

Στην ενότητα του μαθήματος όπου παρουσιάζεται η κβαντική θεωρία ως αναλύσουμε τα διδακτικά περιεχόμενα. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στη διττή φύση κυμάτων-σωματιδίων. Παρουσιάζεται ο διαφορετικός τρόπος με τον οποίο αντιμετωπίζονται τα σωματίδια και τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα στα πλαίσια της κβαντικής φυσικής, σε σχέση με τις αντίστοιχες κλασικές έννοιες. Στο πρόγραμμα σπουδών επισημαίνεται προς τους εκπαιδευτικούς ότι είναι λογικό οι μαθητές να συναντήσουν δυσκολία στην προσέγγιση της νέας γνώσης αφού έχουν μάθει σύμφωνα με την κλασική φυσική ότι τα σωματίδια και τα κύματα είναι δύο διαφορετικές φυσικές οντότητες αμοιβαία αποκλειόμενες. Γι' αυτό είναι σημαντικό να αντιληφθούν πως η κβαντική και η κλασική φυσική έχουν διαφορετικούς νόμους, στους οποίους υπακούουν σε κάθε περίπτωση τα σωματίδια και τα κύματα. Βοηθητικό θα ήταν για τους μαθητές να κατανοήσουν πως υπάρχουν διαφορετικά πειράματα όπου, ανάλογα με τη φύση του πειράματος, άλλοτε διαφαίνεται η κυματική και άλλοτε η σωματιδιακή φύση του φωτός. Με αυτόν τον τρόπο θα μπορέσουν και να αντιληφθούν το πρόβλημα της πρόβλεψης που συναντάται στην κβαντική φυσική και την πιθανοτική φύση της παρατήρησης ενός κβαντικού συστήματος. Ως τεχνική γνώση που πρέπει να αποκτήσουν οι μαθητές, αναφέρεται στο πρόγραμμα σπουδών, η αρχή λειτουργίας του laser. Να μελετήσουν βασικές ιδιότητες του laser, όπως μονοχρωματικότητα, και να είναι σε θέση να εξηγούν την ενίσχυση της έντασης ενός φωτεινού κύματος χρησιμοποιώντας την κβάντωση της ενέργειας που απορροφάται ή εκπέμπεται. Επιπλέον, πρέπει να μάθουν να χρησιμοποιούν και να συνδυάζουν τη θεμελιώδη εξίσωση της κυματικής  $c = \lambda \times f$ , τη σχέση  $E = h \times f$  για την ενέργεια ενός φωτονίου καθώς και τη σχέση που συνδυάζει το μήκος κύματος De Broglie με την ορμή σωματιδίου.

Στη διδακτική ενότητα που αφορά τα χρώματα, τις πηγές τους και τον τρόπο που τα αντιλαμβανόμαστε, περιλαμβάνεται η μελέτη της ακτινοβολίας του μέλανος σώματος και του νόμου μετατόπισης του Wien. Οι διδασκόμενοι μαθαίνουν να εξηγούν τη φασματική κατανομή της ακτινοβολίας του μέλανος σώματος. Να σημειωθεί ότι η ακτινοβολία μέλανος σώματος δεν ενσωματώνεται ως διδακτικό περιεχόμενο στην ενότητα που παρουσιάζεται η κβαντική θεωρία αλλά σε ξεχωριστή ενότητα.

### 3.4 Γερμανία

Η Γερμανία συγκροτείται από 16 ομόσπονδα κρατίδια που είναι υπεύθυνα για τη διαχείριση του εκπαιδευτικού συστήματος σύμφωνα με τις αρχές του συντάγματος. Σε γενικές γραμμές η εκπαίδευση στο Γερμανικό κράτος είναι παρόμοια. Ωστόσο, το εκπαιδευτικό σύστημα σε κάθε κρατίδιο έχει τα δικά του ιδιαίτερα χαρακτηριστικά όπως προγράμματα σπουδών και διαφορετικούς τύπους σχολείων. Η δευτεροβάθμια εκπαίδευση στη Γερμανία διαχωρίζεται γενικά σε δύο επίπεδα I και II κατώτερης και ανώτερης δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης αντίστοιχα ενώ συναντάμε διάφορους τύπους σχολείων που την παρέχουν. Το σχολείο κατώτερης δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης *Hauptschule* παρέχει βασική γενική εκπαίδευση έως την ένατη ή δέκατη τάξη και οι απόφοιτοί του μπορούν να συνεχίσουν την εκπαίδευσή τους σε σχολείο επαγγελματικής κατάρτισης ή σε περίπτωση που έχουν υψηλή βαθμολογία σε σχολείο ανώτερου επιπέδου δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης. Το σχολείο γενικής δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης *Realschule* έως τη δέκατη τάξη θεωρείται ως ο πιο σημαντικός τύπος σχολείου καθώς προσφέρει μία ευρύτερη εκπαίδευση και το απολυτήριο γενικής εκπαίδευσης *Mittlere Reife*. Το *Gymnasium*, δηλαδή Γυμνάσιο, καλύπτει τη φοίτηση έως τη 12<sup>η</sup> ή 13<sup>η</sup> τάξη και διακρίνεται σε δύο διαφορετικές μορφές. Το κανονικό *Gymnasium* και το ειδικού τύπου *Berufliche Gymnasium* το οποίο παρέχει επαγγελματική κατάρτιση και εξειδικεύεται σε τομείς όπως η διοίκηση επιχειρήσεων και οι κοινωνικές επιστήμες. Υπάρχει, ακόμη, το ενιαίο σχολείο *Gesamtschule* που συνδυάζει τα εκπαιδευτικά συστήματα των σχολείων *Hauptschule*, *Realschule* και *Gymnasium*.

Στη Γερμανία, μετά από την υποχρεωτική φοίτηση σε σχολείο διάρκειας τουλάχιστον 12 ετών, οι μαθητές αποκτούν είτε πιστοποιητικό επαγγελματικής κατάρτισης είτε δικαίωμα πρόσβασης στην τριτοβάθμια εκπαίδευση. Στο επίπεδο II ανώτερης δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης που παρέχεται από τα σχολεία *Gymnasium* και *Gesamtschule* οι διδασκόμενοι προετοιμάζονται για την εξέταση *Abitur* που τους επιτρέπει την εισαγωγή στην τριτοβάθμια εκπαίδευση. Η εξέταση *Abitur* περιλαμβάνει τουλάχιστον 3 γραπτώς εξεταζόμενα μαθήματα και ένα προφορικό.

Σε κάθε κρατίδιο για να καθιερωθεί ένα μάθημα ως εξεταζόμενο θα πρέπει να διαθέτει εγκεκριμένο πρόγραμμα σπουδών σύμφωνα με τις ενιαίες απαιτήσεις της Διαρκούς Διάσκεψης των Υπουργών Παιδείας και Πολιτισμού των Ομόσπονδων Κρατιδίων *Länder* της Ομοσπονδιακής Δημοκρατίας της Γερμανίας (Ε.Ο.Ε., χ.χ.).

Στις κεντρικές εξετάσεις *Abitur* προβλέπεται γραπτή ή προφορική εξέταση μαθήματος φυσικής, το οποίο μπορεί να είναι είτε βασικό είτε προχωρημένο μάθημα φυσικής. Ανάλογα με το εκπαιδευτικό σύστημα κάθε ομόσπονδου κρατιδίου, οι μαθητές ηλικίας 17 με 19 ετών μπορούν να επιλέξουν ένα από τα δύο μαθήματα φυσικής, το οποίο θα παρακολουθήσουν στις δύο τελευταίες τάξεις της ανώτερης δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης.

Σε κάθε μάθημα δίνεται ιδιαίτερη σημασία στη διδασκαλία της κβαντικής φυσικής. Τα δύο μαθήματα παρουσιάζουν διαφορές ως προς τον βαθμό γνώσης θεματικού περιεχομένου φυσικής, την επιστημονική γλώσσα, τον μαθηματικό φορμαλισμό, τις τεχνικές γνώσεις και την ικανότητα διεξαγωγής πειραμάτων που ζητούνται από τους διδασκόμενους. Στο βασικό μάθημα φυσικής *Grundkurs* απαιτείται θεμελιώδη γνώση του επιστημονικού θέματος και της σημασίας του. Στο προχωρημένο μάθημα φυσικής *Leistungskurs* απαιτείται περισσότερη εμβάθυνση στο επιστημονικό θεματικό περιεχόμενο με σκοπό οι μαθητές να αποκτήσουν εις βάθος γνώσεις και ικανότητα χρήσης τεχνικών μεθόδων ώστε να μπορέσουν να γίνουν οι μελλοντικοί επιστήμονες της χώρας που θα παραγάγουν τη γνώση.

Από το 1945 η διδασκαλία της κβαντικής φυσικής έχει καθιερωθεί στα προγράμματα σπουδών της ανώτερης δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης στη Γερμανία (Müller, 2006). Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται τα θέματα κβαντικής φυσικής του προχωρημένου μαθήματος φυσικής του εκπαιδευτικού συστήματος της Βαυαρίας. Επέλεξα να παρουσιάσω το πρόγραμμα σπουδών αυτού του κρατιδίου γιατί πρόκειται για το δεύτερο μεγαλύτερο σε πληθυσμό κρατίδιο της Γερμανίας και επιπλέον μελετώντας το πρόγραμμα σπουδών του παρατήρησα ενδιαφέροντα χαρακτηριστικά σημεία τα οποία και αναλύω στη συνέχεια.

Στο εκπαιδευτικό σύστημα της Βαυαρίας οι μαθητές έχουν αποκτήσει βασικές γνώσεις κβαντικής φυσικής ήδη από την κατώτερη δευτεροβάθμια εκπαίδευση και συγκεκριμένα από την δέκατη τάξη του σχολείου, γεγονός που το κάνει να ξεχωρίζει από τα εκπαιδευτικά συστήματα των υπολοίπων κρατιδίων. Συγκεκριμένα, στη δέκατη τάξη την οποία παρακολουθούν μαθητές ηλικίας περίπου 15-16 ετών διδάσκονται βασικές αρχές κβαντικής φυσικής. Οι διδασκόμενοι μαθαίνουν την αρχή της συμπληρωματικότητας δηλαδή τον κυματοσωματιδιακό δυϊσμό ύλης και φωτός, την στατιστική ερμηνεία της κυματοσυνάρτησης και το μήκος κύματος De Broglie.

Στη δωδέκατη τάξη της ανώτερης δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης οι μαθητές μπορούν να επιλέξουν μάθημα φυσικής το οποίο επίσης περιλαμβάνει διδακτική ενότητα κβαντικής θεωρίας με λίγο περισσότερο εξειδικευμένο θεματικό περιεχόμενο. Στην πρώτη ενότητα του προχωρημένου μαθήματος φυσικής, διάρκειας περίπου δώδεκα διδακτικών ωρών οι διδασκόμενοι εμβαθύνουν σε θεμελιώδεις κβαντικές έννοιες και ιδιότητες. Μελετούν και εξηγούν το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο χρησιμοποιώντας την ερμηνεία του Einstein. Μαθαίνουν να προσδιορίζουν την ενέργεια ενός φωτονίου με χρήση της σχέσης του Planck. Κατανοούν τον κυματικό χαρακτήρα των ηλεκτρονίων τόσο μελετώντας τη σχέση μεταξύ μήκους κύματος και ορμής σύμφωνα με τη θεωρία του De Broglie όσο και με τη βοήθεια προγραμμάτων προσομοίωσης για πειράματα όπως το πείραμα της διπλής σχισμής. Επίσης, αποκτούν γνώσεις πάνω σε τεχνικές εφαρμογές των κβαντικών ιδεών που συναντούν όπως συμβαίνει με την κυματική φύση του ηλεκτρονίου που αποτελεί τη βάση λειτουργίας του ηλεκτρονικού μικροσκοπίου. Στο πρόγραμμα σπουδών της Βαυαρίας, στην πρώτη ενότητα, τονίζεται, επίσης, οι μαθητές να μπορούν να αντιληφθούν ότι τα υποατομικά σωματίδια δεν είναι πλήρως εντοπισμένα σε μία περιοχή του χώρου αλλά, σε αντίθεση με την κλασική φυσική, στη κβαντική θεωρία περιγράφονται ως κύματα πιθανότητας. Περιλαμβάνεται, ακόμη, στην ύλη η μελέτη της ερμηνείας πιθανοτήτων του Max Born και συγκεκριμένα η φυσική σημασία του τετραγώνου του πλάτους του κύματος πιθανότητας. Η αρχή της αβεβαιότητας του Heisenberg για τον προσδιορισμό θέσης και ορμής διδάσκεται ως θεμελιώδης νόμος και δίνεται ιδιαίτερη σημασία στις συνέπειες που προκύπτουν.

Στη δεύτερη ενότητα Κβαντικής Φυσικής περιέχεται η περιγραφή του ηλεκτρονίου μέσα σε μονοδιάστατο απειρόβαθο πηγάδι δυναμικού με απείρως υψηλά τοιχώματα ώστε να εμποδίζεται η έξοδος από αυτό. Η εξίσωση Schrödinger παρουσιάζεται ως αξίωμα της κβαντικής μηχανικής και παίρνει τη μορφή χρονοανεξάρτητης γραμμικής εξίσωσης στην περίπτωση του παραπάνω πηγαδιού δυναμικού. Δεν απαιτείται η μαθηματική επίλυση της εξίσωσης από τους μαθητές αλλά οι λύσεις της μπορούν να υπολογιστούν με τη βοήθεια κατάλληλου υπολογιστικού προγράμματος. Ο εκπαιδευτικός στόχος είναι οι μαθητές να μπορούν να αντιληφθούν ότι χρησιμοποιώντας κατάλληλες συνοριακές συνθήκες για την πιθανότητα εύρεσης του ηλεκτρονίου οι λύσεις της εξίσωσης Schrödinger οδηγούν σε κβαντισμένες τιμές ενέργειας. Επιπλέον, στα διδακτικά περιεχόμενα συναντούμε το φαινόμενο σήραγγας και την απαγορευτική αρχή του Pauli.

### 3.5 Δανία

Στο εκπαιδευτικό σύστημα της Δανίας συναντάμε 3 διαφορετικά προγράμματα ανώτερης δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης. Πρόκειται για τα προγράμματα γενικής ανώτερης δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης *STX*, ανώτερης τεχνικής *HTX* και ανώτερης εμπορικής *HHX* δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης. Οι μαθητές που έχουν ολοκληρώσει τα 9 χρόνια πρωτοβάθμιας και κατώτερης δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης επιλέγουν ένα από αυτά τα προγράμματα *STX*, *HTX* και *HHX* για να συνεχίσουν την ανώτερη δευτεροβάθμια εκπαίδευσή τους. Το πρόγραμμα *HTX* προσφέρει μία περισσότερο τεχνολογική και πρακτική κατάρτιση στους εκπαιδευόμενους ενώ το πρόγραμμα *STX* παρέχει μία ευρύτερη εκπαίδευση. Βασικός στόχος και των δύο προγραμμάτων είναι η σωστή προετοιμασία των μαθητών ώστε να συνεχίσουν επιστημονικές σπουδές. Σε κάθε πρόγραμμα υπάρχει διαφορετικό φάσμα υποχρεωτικών μαθημάτων και μαθημάτων επιλογής, τα οποία ταξινομούνται σε σύστημα επιπέδων Α, Β και C, ανάλογα με το βαθμό εμβάθυνσης στο διδακτικό περιεχόμενο του κάθε μαθήματος. Στο *STX* περιλαμβάνονται το υποχρεωτικό μάθημα φυσικής επιπέδου C, το μάθημα επιλογής επιπέδου Β και το μάθημα επιλογής επιπέδου Α, το οποίο μπορούν να παρακολουθήσουν μόνο οι μαθητές που έχουν ολοκληρώσει επιτυχώς το μάθημα επιπέδου Β. Στο *HTX* περιλαμβάνονται το υποχρεωτικό μάθημα φυσικής επιπέδου Β και το μάθημα φυσικής επιπέδου Α.

Τον Αύγουστο του 2005 το Υπουργείο Παιδείας της Δανίας προχώρησε σε μία σαρωτική μεταρρύθμιση του συστήματος της ανώτερης δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης. Έγιναν διαρθρωτικές αλλαγές στα προγράμματα σπουδών ώστε να υπάρχει συνάφεια με τις διεθνείς εξελίξεις και τις τάσεις που παρατηρούνταν στα αντίστοιχα προγράμματα σπουδών των υπολοίπων χωρών. Το μάθημα της φυσικής έπρεπε να ενισχυθεί και να έχει κεντρική θέση στα προγράμματα σπουδών της ανώτερης δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης ώστε οι διδασκόμενοι να επιλέξουν να ακολουθήσουν επιστημονική σταδιοδρομία. Τα προγράμματα σπουδών που αφορούσαν τα μαθήματα φυσικής διαμορφώθηκαν με κύριους εκπαιδευτικούς στόχους η επιστήμη της φυσικής να φαίνεται ελκυστική στους μαθητές, να περιλαμβάνονται θέματα καθημερινής ζωής και σύγχρονων ερευνητικών πεδίων και να μη δίνεται έμφαση σε πολύπλοκες μαθηματικές μεθόδους.

Η κβαντική φυσική διδάσκεται στο μάθημα επιλογής φυσικής επιπέδου Α στο πρόγραμμα *STX*. Το νέο πρόγραμμα σπουδών του μαθήματος τέθηκε σε ισχύ το έτος 2008. Η αξιολόγηση του μαθήματος αποτελείται από γραπτές και προφορικές εξετάσεις. Η γραπτή εξέταση διαρκεί 5 ώρες και περιλαμβάνει θέματα που καθορίζονται από κεντρική εξεταστική επιτροπή του Υπουργείου Παιδείας. Η προφορική εξέταση απαρτίζεται από δύο μέρη. Το πρώτο μέρος διάρκειας δύο ωρών είναι πειραματικό.



Οι μαθητές χωρίζονται σε ομάδες, πραγματοποιούν πείραμα, που αναφέρεται σε κάποια διδαγμένη ενότητα της φυσικής, χρησιμοποιώντας κατάλληλο τεχνολογικό εξοπλισμό και εξάγουν πειραματικά αποτελέσματα. Στη συνέχεια, ο κάθε μαθητής μεμονωμένα εξετάζεται προφορικά κυρίως πάνω σε θεωρητικά θέματα φυσικής.

Στο επίσημο έγγραφο για το διδακτικό περιεχόμενο του μαθήματος *Fysik A* του προγράμματος *STX* δεν περιέχονται αναλυτικές οδηγίες. Αναφέρονται συνοπτικά οι βασικές έννοιες και θεωρίες που πρέπει να διδαχθούν. Στη διδακτική ενότητα παρουσίασης της κβαντικής φυσικής περιλαμβάνονται ο κυματοσωματιδιακός δυϊσμός ύλης και φωτός, η ενέργεια και η ορμή φωτονίων, η κβάντωση ενέργειας ακτινοβολίας που εκπέμπεται ή απορροφάται και τέλος τα γραμμικά φάσματα εκπομπής ατόμων. Κάθε χρόνο το Υπουργείο Παιδείας ανακοινώνει ένα θέμα που θα διδαχθεί επιπλέον και σχετίζεται, όπως καταγράφεται στο πρόγραμμα σπουδών, με τη φυσική του 21<sup>ου</sup> αιώνα. Το θέμα αυτό ενδέχεται να αφορά κάποια τεχνολογική εφαρμογή της κβαντικής φυσικής.

### 3.6 Ηνωμένο Βασίλειο(Αγγλία)

Στο εκπαιδευτικό σύστημα της Αγγλίας συναντάμε στα δύο τελευταία έτη της γενικής δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης μάθημα φυσικής με την ονομασία *Advanced level physics*. Το μάθημα αυτό δεν είναι υποχρεωτικό και περιλαμβάνει κβαντική θεωρία. Οι μαθητές που το επιλέγουν εξετάζονται γραπτώς στα πλαίσια των A-level εξετάσεων του Βρετανικού εκπαιδευτικού συστήματος, η επιτυχής ολοκλήρωση των οποίων οδηγεί στην απόκτηση απολυτηρίου που δίνεται από τους εκπαιδευτικούς φορείς. Οι εξετάσεις αυτές διεξάγονται από διαφορετικές και ανεξάρτητες μεταξύ τους εξεταστικές επιτροπές. Κάθε εξεταστική επιτροπή έχει το δικό της λεπτομερές πρόγραμμα εξετάσεων που περιλαμβάνει το διδακτικό περιεχόμενο του μαθήματος φυσικής με αναλυτικές οδηγίες προς τους εκπαιδευτικούς και την ακριβή μορφή των ερωτήσεων που θα ζητηθούν από τους μαθητές στις εξετάσεις. Οι διδάσκοντες του μαθήματος φυσικής έχουν, επίσης, πρόσβαση σε ηλεκτρονικές πηγές με τεστ προσομοίωσης και εκπαιδευτικό υλικό για τις A-level εξετάσεις. Στην εργασία μου χρησιμοποίησα το αναλυτικό πρόγραμμα εξετάσεων της επιτροπής AQA, της μεγαλύτερης από τις πέντε κύριες εξεταστικές επιτροπές των βρετανικών A-level εξετάσεων.

Η ενότητα της κβαντικής φυσικής ξεκινά με τη μελέτη του φωτοηλεκτρικού φαινομένου. Στις οδηγίες διδασκαλίας τονίζεται προς τους εκπαιδευτικούς να δοθεί ιδιαίτερη σημασία στον ρόλο που έπαιξε το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο στον καθορισμό της φύσης της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Οι μαθητές διδάσκονται τη φωτοηλεκτρική εξίσωση του Einstein, το έργο εξαγωγής και την τάση αποκοπής χωρίς να απαιτείται ο πειραματικός προσδιορισμός της.

Προτείνεται, επίσης, στους διδάσκοντες να κάνουν επίδειξη του φωτοηλεκτρικού φαινομένου χρησιμοποιώντας ηλεκτροσκόπιο ή φωτοκύτταρο. Το διδακτικό περιεχόμενο του μαθήματος συνεχίζει με την παρουσίαση των γραμμικών φασμάτων εκπομπής των ατόμων ως την απόδειξη ότι οι ενεργειακές μεταβάσεις των ηλεκτρονίων στα άτομα πραγματοποιούνται μεταξύ διακριτών ενεργειακών σταθμών. Η παρατήρηση αυτών των γραμμικών φασμάτων μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση φράγματος περίθλασης. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στη διδασκαλία του κυματοσωματιδιακού δυϊσμού ύλης και φωτός. Πρώτα από όλα, διδάσκεται στους μαθητές ότι με το πείραμα των δύο σχισμών του Young έγινε αποδεκτή η θεωρία του Huygens για το φως ως κύμα και διαπιστώθηκε ότι το φως έχει και σωματιδιακά χαρακτηριστικά. Η ερμηνεία του φωτοηλεκτρικού φαινομένου υποδηλώνει ότι τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα έχουν και σωματιδιακά χαρακτηριστικά. Η περίθλαση ηλεκτρονίων, που μπορεί να πραγματοποιηθεί πειραματικά με σωλήνα περίθλασης ηλεκτρονίων, φανερώνει ότι τα υποατομικά σωματίδια έχουν και κυματικές ιδιότητες. Τα κυματικά και σωματιδιακά χαρακτηριστικά δηλαδή το μήκος κύματος και η ορμή συνδέονται με τη σχέση De Broglie. Στη συγκεκριμένη διδακτική υποενότητα του μαθήματος προτείνεται να γίνει πειραματική επίδειξη στους μαθητές ώστε να μπορέσουν να κατανοήσουν την επίδραση της μεταβολής ταχύτητας στην εκτροπή που υφίστανται τα ηλεκτρόνια στο σωλήνα περίθλασης. Η περιγραφή της ακτινοβολίας του μέλανος σώματος περιλαμβάνεται στην ενότητα της αστροφυσικής, όπου οι διδασκόμενοι μαθαίνουν τον νόμο μετατόπισης του Wien. Το πρόβλημα, όμως, της υπεριώδους καταστροφής στην κλασική φυσική και η εξήγηση της φασματικής κατανομής της ακτινοβολίας του μέλανος σώματος παρουσιάζονται στην ενότητα της κβαντικής θεωρίας. Τονίζεται ότι η εξήγηση έγινε με την θεωρία της κβάντωσης της ενέργειας της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας του Planck. Επιπλέον, στο διδακτικό περιεχόμενο του μαθήματος υπάρχει ενότητα όπου μελετάται η αρχή λειτουργίας του ηλεκτρονικού μικροσκοπίου σάρωσης που αποτελεί τεχνολογική εφαρμογή κβαντικής θεωρίας. Τέλος, συστήνεται στους διδάσκοντες μέσα από την ιστορική εξέλιξη και καθιέρωση της κβαντικής φυσικής να συζητήσουν με τους μαθητές για τον τρόπο με τον οποίο μεταβάλλεται και εξελίσσεται με την πάροδο του χρόνου η κατανόηση και η γνώση της φύσης της ύλης.

### 3.7 Ισπανία

Στην Ισπανία οι μαθητές μόλις ολοκληρώσουν τα τέσσερα έτη της υποχρεωτικής δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης μπορούν να συνεχίσουν τη φοίτησή τους στο πρόγραμμα σπουδών *Bachillerato* διάρκειας δύο εκπαιδευτικών ετών. Το διετές αυτό πρόγραμμα σπουδών παρέχεται από τα δημόσια και ιδιωτικά λύκεια της χώρας ώστε να προετοιμαστούν οι μαθητές για την εισαγωγή τους στην τριτοβάθμια εκπαίδευση. Στην περίπτωση που ένας μαθητής παρακολουθεί το πρόγραμμα *Bachillerato* γενικού λυκείου με ειδίκευση στις φυσικές επιστήμες έχει τη δυνατότητα να επιλέξει στο τελευταίο έτος μάθημα φυσικής που περιλαμβάνει και διδασκαλία κβαντικής θεωρίας.

Στο εκπαιδευτικό σύστημα της Ισπανίας προκειμένου ένας μαθητής να εισαχθεί στην τριτοβάθμια εκπαίδευση θα πρέπει να συμμετάσχει στις εξετάσεις PAU (*Prueba de Acceso a la Universidad*). Η εξεταστέα ύλη καθορίζεται από τα δημόσια πανεπιστήμια της χώρας και δεν ταυτίζεται με το διδακτικό περιεχόμενο των μαθημάτων του προγράμματος *Bachillerato*. Μέχρι σήμερα η κβαντική φυσική δεν αποτελεί μέρος της εξεταστέας ύλης. Αυτό πολλές φορές έχει ως συνέπεια οι εκπαιδευτικοί να μην αφιερώνουν αρκετό χρόνο στη διδασκαλία της κβαντικής θεωρίας αλλά να επικεντρώνονται περισσότερο στις διδακτικές ενότητες που ζητούνται στις εξετάσεις PAU (Stadermann et al., 2019).

Στο μάθημα φυσικής του τελευταίου έτους του προγράμματος *Bachillerato* περιλαμβάνεται ενότητα με θεματικό περιεχόμενο τη φυσική του 20<sup>ου</sup> αιώνα. Στην ενότητα αυτή περιέχεται και κβαντική θεωρία. Κατ' αρχάς, παρουσιάζεται η αδυναμία της κλασικής φυσικής να εξηγήσει την ακτινοβολία του μέλανος σώματος, το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο και τα γραμμικά φάσματα εκπομπής των ατόμων. Διδάσκονται οι υποθέσεις του Planck για την κβάντωση της ενέργειας και η σχέση  $E = h \times f$  που δίνει την ενέργεια του φωτονίου. Οι διδασκόμενοι μαθαίνουν να συσχετίζουν το μήκος κύματος ή τη συχνότητα της ενέργειας ακτινοβολίας που απορροφάται ή εκπέμπεται από το άτομο, όταν διεγείρεται ή αποδιεγείρεται αντίστοιχα, με τη διαφορά των ενεργειών των ατομικών επιπέδων. Επίσης, μελετούν την πρόβλεψη της κλασικής φυσικής για το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο και την κβαντική ερμηνεία του Einstein. Εξασκούνται στη χρήση της φωτοηλεκτρικής εξίσωσης του Einstein κατανοώντας τη φυσική σημασία κάθε μεγέθους που υπεισέρχεται σε αυτήν. Προκειμένου να κατανοηθεί ο συσχετισμός ανάμεσα στη κβάντωση της ενέργειας και τα γραμμικά φάσματα εκπομπής των ατόμων μελετάται το ατομικό μοντέλο του Bohr για το άτομο του υδρογόνου. Στη συνέχεια, τονίζεται προς τους εκπαιδευτικούς να παρουσιαστεί ο κυματοσωματιδιακός δυϊσμός ύλης-φωτός ως ένα από τα μεγαλύτερα παράδοξα που προκύπτουν από τη κβαντική φυσική.

Εκπαιδευτικός στόχος είναι ακόμη οι μαθητές να μπορέσουν να καταλάβουν ότι ο κυματικός χαρακτήρας των σωματιδίων γίνεται αντιληπτός μόνο στον μικρόκοσμο χρησιμοποιώντας τη σχέση De Broglie για το μήκος κύματος κινούμενου σωματιδίου και παίρνοντας κατάλληλες τιμές. Επιπλέον, στο πρόγραμμα σπουδών αναφέρεται οι μαθητές να είναι σε θέση να αναγνωρίζουν την πιθανοτική φύση της κυματοσυνάρτησης που προκύπτει από την επίλυση της εξίσωσης του Schrödinger. Γενικά, να μπορέσουν να κατανοήσουν τον πιθανοτικό χαρακτήρα της κβαντικής μηχανικής σε αντίθεση με τον ντετερμινιστικό (αιτιοκρατικό) χαρακτήρα της κλασικής φυσικής. Ακόμη, δίνεται οδηγία προς τους διδάσκοντες του μαθήματος να διατυπώσουν με απλό τρόπο την αρχή αβεβαιότητας του Heisenberg και να την εφαρμόσουν σε ατομικό τροχιακό. Τέλος, στο διδακτικό περιεχόμενο του μαθήματος περιλαμβάνεται η αρχή λειτουργίας του laser. Περιγράφονται τα θεμελιώδη χαρακτηριστικά της ακτινοβολίας των laser και συγκρίνονται με εκείνα της θερμικής ακτινοβολίας σωμάτων. Συσχετίζεται η αρχή λειτουργίας του laser με την κβαντική θεωρία για τη φύση ύλης-φωτός και τονίζεται ο σπουδαίος ρόλος που έπαιξε η κβαντική φυσική στην ανάπτυξη σύγχρονων τεχνολογικών εφαρμογών που χρησιμοποιούμε στην καθημερινή μας ζωή.

### 3.8 Ιταλία

Στο εκπαιδευτικό σύστημα της Ιταλίας συναντούμε το επιστημονικό λύκειο με την ονομασία *Liceo Scientifico*, το οποίο προσφέρει στους μαθητές γνώσεις πάνω σε θετικές επιστήμες ώστε να συνεχίσουν πανεπιστημιακή εκπαίδευση. Στο πέμπτο και τελευταίο έτος σπουδών και πριν εισαχθούν στα ανώτατα πανεπιστημιακά ιδρύματα, οι μαθητές του συγκεκριμένου λυκείου παρακολουθούν το υποχρεωτικό μάθημα με την ονομασία *Fisica*, δηλαδή Φυσική στα Ιταλικά. Το μάθημα αυτό φυσικής που διδάσκεται στο επιστημονικό λύκειο είναι πιο εξειδικευμένο σε σχέση με παρόμοια μαθήματα φυσικής στα υπόλοιπα σχολεία ανώτερης δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης.

Στο πρόγραμμα σπουδών για το προπανεπιστημιακό έτος του επιστημονικού λυκείου, που εφαρμόστηκε το έτος 2010, παρέχονται αρκετά σαφείς οδηγίες για τη διδασκαλία των θεμάτων που αφορούν τη κβαντική φυσική. Οι μαθητές έχοντας αποκτήσει γνώσεις ατομικής θεωρίας μελετούν το μοντέλο του μέλανος σώματος μέσα από το πείραμα των Hallwacks και Lenard, μαθαίνουν να εξηγούν την καμπύλη φασματικής κατανομής της θερμικής ακτινοβολίας του μέλανος σώματος χρησιμοποιώντας την υπόθεση Planck και εφαρμόζουν τους νόμους των Stefan-Boltzmann και Wien. Ακόμη, στο πρόγραμμα σπουδών περιλαμβάνεται η παρουσίαση του φαινομένου Compton με τους μαθητές να εξασκούνται στην επεξήγησή του. Οι διδασκόμενοι μελετούν το ατομικό μοντέλο του Bohr δίνοντας έμφαση στην ερμηνεία των ατομικών φασμάτων και στην κατανόηση ότι η απορρόφηση ενέργειας σε ένα άτομο γίνεται με ασυνεχή τρόπο μέσα από το πείραμα των Franck – Hertz.

Επίσης, επιλύουν ασκήσεις εύρεσης συχνότητας ή μήκους κύματος φωτονίων που απορροφώνται ή εκπέμπονται λόγω της διέγερσης ή αποδιέγερσης ατόμων αντίστοιχα χρησιμοποιώντας τη σχέση του Planck και την ενεργειακή διαφορά ατομικών επιπέδων. Μαθαίνουν να βρίσκουν το μήκος κύματος σωματιδίου με τη σχέση του De Broglie. Τέλος, κατανοούν τον κυματοσωματιδιακό δυϊσμό ύλης-φωτός, αναλύουν την αρχή της απροσδιοριστίας του Heisenberg για την αβεβαιότητα θέσης και ορμής ενός σωματιδίου και μελετούν τη στατιστική ερμηνεία της κυματοσυνάρτησης. Μέσα από την μελέτη των κβαντικών φαινομένων προτείνεται στους εκπαιδευτικούς να συζητήσουν με τους μαθητές για τις φιλοσοφικές προεκτάσεις της κβαντικής θεωρίας.

Στο επιστημονικό λύκειο της Ιταλίας, οι τελικές εξετάσεις, που απευθύνονται σε υποψήφιους τελειόφοιτους μαθητές δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης, περιλαμβάνουν τρεις γραπτές εξετάσεις και μία προφορική. Από τις 3 γραπτές εξετάσεις, οι 2 είναι εθνικές εξετάσεις, που η μία αφορά την Ιταλική γλώσσα και η άλλη τα μαθηματικά ή τη φυσική. Το Υπουργείο Εκπαίδευσης της Ιταλίας κάθε χρόνο ανακοινώνει αν η δεύτερη εξέταση θα αφορά τη φυσική ή τα μαθηματικά. Η χρονική διάρκεια της εξέτασης του μαθήματος φυσικής είναι 4 με 6 ώρες. Οι υποψήφιοι επιλέγουν να λύσουν το ένα από δύο προτεινόμενα προβλήματα και απαντούν σε 4 ερωτήσεις που διαλέγουν ανάμεσα σε 8 προτεινόμενες επιλογές. Σύμφωνα με τις οδηγίες του Υπουργείου Εκπαίδευσης της Ιταλίας, η εθνική τελική εξέταση με αντικείμενο τη φυσική περιέχει θέματα που εξετάζουν τους μαθητές στην κατανόηση και την αφομοίωση της επιστημονικής μεθόδου, την ικανότητα επίλυσης φυσικών προβλημάτων χρησιμοποιώντας τους κατάλληλους φυσικούς νόμους και μαθηματικούς φορμαλισμούς καθώς και τη δυνατότητα κριτικής επεξεργασίας των αποτελεσμάτων. Τα θέματα ενδέχεται να περιλαμβάνουν σημαντικές ιστορικές στιγμές της επιστήμης της Φυσικής.

### 3.9 Νορβηγία

Στα πλαίσια της εκπαιδευτικής πολιτικής της Νορβηγίας, ένας μαθητής, ηλικίας περίπου 16 ετών, έχοντας ολοκληρώσει την κατώτερη δευτεροβάθμια εκπαίδευσή του, έχει δικαίωμα να συνεχίσει τρία χρόνια ακόμη ανώτερης δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης. Η Νορβηγική ανώτερη δευτεροβάθμια εκπαίδευση διακρίνεται σε δώδεκα προγράμματα σπουδών. Συγκεκριμένα, διαχωρίζεται σε τέσσερα προγράμματα γενικών σπουδών και οκτώ προγράμματα επαγγελματικής κατάρτισης. Με την ολοκλήρωση γενικού προγράμματος σπουδών δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης αποκτάται δικαίωμα πρόσβασης στην τριτοβάθμια εκπαίδευση της χώρας.

Στο δεύτερο έτος της ανώτερης δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης γενικών σπουδών οι μαθητές, ηλικίας περίπου 17-18 ετών, μπορούν να επιλέξουν να παρακολουθήσουν μάθημα φυσικής με την ονομασία *Fysikk 1*.

Σύμφωνα με το πρόγραμμα σπουδών του μαθήματος, που ορίστηκε από το Υπουργείο Παιδείας και Έρευνας και εφαρμόστηκε στη σχολική κοινότητα το έτος 2021, το μάθημα *Fysikk 1*, συνολικής ετήσιας διάρκειας 140 διδακτικών ωρών, περιλαμβάνει την παρουσίαση στοιχείων κβαντικής θεωρίας. Στο μάθημα αυτό, κατ' αρχάς, διδάσκεται το ατομικό μοντέλο του Bohr, όπου παρουσιάζονται οι κβαντισμένες επιτρεπτές τροχιές στις οποίες μπορούν να βρίσκονται τα ηλεκτρόνια. Επίσης, στη διδακτική ύλη της κβαντικής φυσικής περιέχονται η παρουσίαση της ακτινοβολίας του μέλανος σώματος, η εξήγηση της οποίας βασίζεται στους νόμους των Wien και Stefan- Boltzmann. Τέλος, οι μαθητές μελετούν τη κβάντωση της ενέργειας της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που εκπέμπεται ή απορροφάται, η οποία ερμηνεύει τις φασματικές γραμμές απορρόφησης και εκπομπής των ατόμων. Για την ολοκλήρωση της επιτυχούς παρακολούθησης του μαθήματος προβλέπεται προφορική-πρακτική εξέταση, η διεξαγωγή της οποίας υπάγεται στην αρμοδιότητα του εκάστοτε σχολείου, και περιλαμβάνει πειραματικό μέρος αξιολόγησης των διδασκόμενων.

Στο τελευταίο έτος της ανώτερης δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης γενικών σπουδών οι μαθητές, ηλικίας περίπου 18-19 ετών, που έχουν ολοκληρώσει επιτυχώς την παρακολούθηση του μαθήματος *Fysikk 1*, έχουν δικαίωμα να επιλέξουν και το μάθημα φυσικής *Fysikk 2*. Το συγκεκριμένο μάθημα, συνολικής ετήσιας σχολικής διάρκειας 140 διδακτικών ωρών, περιλαμβάνει πιο εξειδικευμένο διδακτικό περιεχόμενο κβαντικής φυσικής. Στο πρόγραμμα σπουδών του μαθήματος, αναφέρεται να διδαχθεί η εξήγηση του φωτοηλεκτρικού φαινομένου που έδωσε ο Einstein καθώς και να συζητηθούν ποιοτικά τα συμπεράσματα που προκύπτουν. Επιπλέον, διδάσκεται η σκέδαση Compton, που η ύπαρξη του συγκεκριμένου φαινομένου αποδεικνύεται με τη σωματιδιακή φύση του φωτός και με την αρχή διατήρησης της ενέργειας κατά την κρούση φωτονίων ακτίνων X με αρχικά ακίνητα ηλεκτρόνια. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στη διδασκαλία του κυματοσωματιδιακού δυϊσμού ύλης και φωτός. Στη διδακτική ύλη του μαθήματος περιλαμβάνονται ακόμη η αρχή αβεβαιότητας του Heisenberg και το φαινόμενο της κβαντικής διεμπλοκής των φωτονίων. Τέλος, περιέχεται ξεκάθαρα στο πρόγραμμα σπουδών συζήτηση πάνω σε τεχνολογικές εφαρμογές της κβαντικής φυσικής όπως η χρήση ακτίνων X στην ιατρική απεικόνιση, η κατασκευή και χρήση φωτοδιόδων, οι διαφορές μεταξύ αγωγών, ημιαγωγών και μονωτών σύμφωνα με θεωρία ατομικού μοντέλου κ.α.

Για την αξιολόγηση του μαθήματος προβλέπεται η διεξαγωγή τόσο γραπτών όσο και προφορικών εξετάσεων. Η διεξαγωγή της γραπτής εξέτασης υπάγεται στην αρμοδιότητα κεντρικής επιτροπής του Υπουργείου Παιδείας. Η οργάνωση, ο καθορισμός θεμάτων και η βαθμολόγηση της προφορικής-πρακτικής εξέτασης ανήκουν στο φάσμα καθηκόντων του εκάστοτε σχολείου και των εκπαιδευτικών που διδάσκουν το μάθημα.

### 3.10 Ολλανδία

Στο εκπαιδευτικό σύστημα της Ολλανδίας βρίσκουμε δύο διαφορετικά συστήματα δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης, την Ανώτερη Γενική Δευτεροβάθμια Εκπαίδευση HAVO διάρκειας 5 ετών και την Προπανεπιστημιακή Εκπαίδευση VWO διάρκειας 6 ετών. Στα 3 πρώτα χρόνια και των δύο συστημάτων, οι μαθητές παρακολουθούν κοινό πρόγραμμα σπουδών. Στα επόμενα εκπαιδευτικά έτη, επιλέγουν τομέα εξειδίκευσης. Στο σύστημα HAVO οι μαθητές μπορούν να επιλέξουν τον τομέα με την ονομασία “Natuur en techniek”, δηλαδή “Φύση και Τεχνολογία”, όπου το υποχρεωτικό μάθημα Φυσικής του τελευταίου έτους δεν περιλαμβάνει ειδική ενότητα παρουσίασης κβαντικής θεωρίας. Στον αντίστοιχο τομέα “Φύση και Τεχνολογία” του συστήματος VWO, οι μαθητές, στη διάρκεια του έκτου και τελευταίου έτους της εκπαίδευσής τους, παρακολουθούν το υποχρεωτικό μάθημα φυσικής με την ονομασία “Natuurkunde”, δηλαδή “Φυσική”, το οποίο περιλαμβάνει κβαντική θεωρία. Στο τέλος της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης λαμβάνουν χώρα γραπτές εθνικές εξετάσεις με το μάθημα της φυσικής να περιλαμβάνεται στα γραπτώς εξεταζόμενα μαθήματα για τους μαθητές των αντίστοιχων τομέων. Τα θέματα των εξετάσεων καθορίζονται από κεντρική επιτροπή εξετάσεων. Η βαθμολόγηση του γραπτού πραγματοποιείται από τον διδάσκοντα του μαθήματος σε κάθε σχολείο αλλά και από έναν ανεξάρτητο εκπαιδευτικό.

Στο μάθημα φυσικής του τελευταίου έτους σπουδών του συστήματος VWO της Ολλανδικής δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης και συγκεκριμένα στην υποενότητα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και ύλης έχουμε μία πρώτη εισαγωγή κβαντικής θεωρίας. Οι μαθητές μελετούν το ατομικό μοντέλο του Bohr, μαθαίνουν να προσδιορίζουν μήκη κύματος και αντίστοιχες συχνότητες φασματικών γραμμών από ενεργειακά διαγράμματα και να εξηγούν φάσματα εκπομπής και απορρόφησης. Στο πρόγραμμα σπουδών σημειώνεται ότι πρέπει να γνωρίζουν επιστημονικές έννοιες όπως φωτόνιο, θεμελιώδης και διεγερμένη κατάσταση ατόμου, ενέργεια ιοντισμού και να υπολογίζουν ενέργεια φωτονίων. Επίσης, μαθαίνουν να εφαρμόζουν τον νόμο των Stefan-Boltzmann και τον νόμο μετατόπισης του Wien κυρίως στα πλαίσια μελέτης εκπομπής ακτινοβολίας από άστρο, όπως ο Ήλιος. Στην ενότητα “Κβαντικός Κόσμος” οι μαθητές δίνουν ιδιαίτερη έμφαση και μελετούν τη διττή φύση κύματος-σωματιδίου. Χρησιμοποιώντας τη σχέση De Broglie υπολογίζουν μήκη κύματος σωματιδίων. Περιγράφουν και εξηγούν το πείραμα διπλής σχισμής. Μαθαίνουν την κβάντωση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας μέσα από το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο, την πιθανοτική φύση της κυματοσυνάρτησης και τη σχέση αβεβαιότητας του Heisenberg. Τέλος, στο πρόγραμμα σπουδών συναντούμε και λίγο περισσότερο εξειδικευμένο θεματικό περιεχόμενο κβαντικής θεωρίας όπως το πρόβλημα σωματιδίου σε μονοδιάστατο πηγάδι δυναμικού και το φαινόμενο σήραγγας που δεν περιλαμβάνονται στα περισσότερα προγράμματα σπουδών άλλων χωρών.

### 3.11 Πορτογαλία

Στην κατώτερη και μεσαία εκπαιδευτική βαθμίδα της Πορτογαλικής δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης, που απευθύνεται σε μαθητές ηλικίας 15 έως 17 ετών, η Φυσική και η Χημεία αντιμετωπίζονται ως ενιαίο μάθημα. Μόνο στην ανώτατη εκπαιδευτική βαθμίδα και συγκεκριμένα στο τελευταίο έτος της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης οι μαθητές ηλικίας 17-18 ετών μπορούν να επιλέξουν να παρακολουθήσουν ένα ξεχωριστό από τη Χημεία μάθημα Φυσικής. Το μάθημα αυτό έχει ως εκπαιδευτικό στόχο την παροχή περισσότερων εξειδικευμένων γνώσεων πάνω στη Φυσική ώστε οι μαθητές να αποκτήσουν τα κατάλληλα επιστημονικά εφόδια πριν συνεχίσουν την επιστημονική ή τεχνολογική πανεπιστημιακή τους εκπαίδευση. Στο ενιαίο μάθημα Φυσικής και Χημείας της κατώτερης δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης παρουσιάζονται θέματα κβαντικής φυσικής που συσχετίζονται με την ατομική θεωρία και τον περιοδικό πίνακα, όπως η απαγορευτική αρχή του Pauli.

Στο εξειδικευμένο μάθημα φυσικής του τελευταίου έτους σπουδών της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης και συγκεκριμένα στην ενότητα που αφορά την Μοντέρνα Φυσική περιλαμβάνονται εισαγωγικά θέματα κβαντικής θεωρίας. Στο πρόγραμμα σπουδών του μαθήματος, στην υποενότητα της Κβαντικής Φυσικής, περιέχονται οδηγίες προς τους διδάσκοντες και επισημαίνονται οι διδακτικοί στόχοι του μαθήματος. Πρώτα από όλα, οι μαθητές να μπορούν να αντιληφθούν το αδιέξοδο της κλασικής φυσικής να εξηγήσει την ακτινοβολία μέλανος σώματος και το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο. Σχετικά με το μοντέλο του μέλανος σώματος, να μάθουν να συσχετίζουν, μέσω του νόμου των Stefan-Boltzmann, τη συνολική ένταση της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας με την τέταρτη δύναμη της απόλυτης θερμοκρασίας του και να εξηγούν τη μετατόπιση του μήκους κύματος, που αντιστοιχεί στη μέγιστη εκπομπή ακτινοβολίας, αντιστρόφως ανάλογα με τη θερμοκρασία μέσω του νόμου μετατόπισης του Wien. Δίνεται σαφής οδηγία προς τους διδάσκοντες να αναφερθεί το περίφημο πρόβλημα «καταστροφής της υπεριώδους ακτινοβολίας», να επισημανθεί η ασυμφωνία μεταξύ της κλασικής ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας του Maxwell και των πειραματικών δεδομένων και πως η εξήγηση επιτεύχθηκε τελικά με την υπόθεση του Planck, σύμφωνα με την οποία η ακτινοβολία εκπέμπεται κατά διακριτές ποσότητες ενέργειας, τα επονομαζόμενα κβάντα. Επιπλέον, βρίσκουμε στους διδακτικούς στόχους του προγράμματος σπουδών οι μαθητές να μπορούν να περιγράψουν το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο, να κατανοούν ότι η κυματική θεωρία του φωτός της Κλασικής Φυσικής αδυνατούσε να το ερμηνεύσει, να αντιλαμβάνονται τη σχέση μεταξύ της θεωρίας του Einstein για τα φωτόνια και της σωματιδιακής φύσης του φωτός.



Στα διδακτικά περιεχόμενα του μαθήματος συναντούμε, ακόμη, το μήκος κύματος De Broglie και μία γενική συζήτηση πάνω σε τεχνολογικές εφαρμογές κβαντικής θεωρίας. Τέλος, αναφέρεται οι διδάσκοντες να τονίσουν στους μαθητές ότι η φύση του φωτός μπορεί να περιγραφεί μόνο με τη δυαδικότητα κύματος -σωματιδίου, βασική αρχή της Κβαντικής Θεωρίας, πρωτεργάτες της οποίας υπήρξαν ο Planck και ο Einstein.

### 3.12 Σουηδία

Στο κράτος της Σουηδίας η υποχρεωτική εκπαίδευση διαρκεί εννέα χρόνια. Παιδιά ηλικίας περίπου 7 έως 16 ετών φοιτούν υποχρεωτικά στο γενικό σχολείο *Grundskola*. Η ανώτερη δευτεροβάθμια εκπαίδευση δεν είναι υποχρεωτική. Οι μαθητές μόλις αποφοιτήσουν από το γενικό σχολείο αν θέλουν μπορούν να συνεχίσουν την εκπαίδευσή τους στο γυμνάσιο *Gymnasieskola*. Το σχολείο αυτό προσφέρει προγράμματα σπουδών με διαφορετικές εκπαιδευτικές κατευθύνσεις ώστε ο κάθε μαθητής να προετοιμαστεί κατάλληλα για την τριτοβάθμια εκπαίδευσή του στο Πανεπιστήμιο που τον ενδιαφέρει. Στα προγράμματα σπουδών φυσικών επιστημών και τεχνολογίας περιλαμβάνονται τα μαθήματα φυσικής *Fysik 1, 2 και 3*. Τα μαθήματα φυσικής 2 και 3 περιέχουν κβαντική θεωρία. Για την αξιολόγηση των μαθητών δεν προβλέπεται κάποια κεντρική εθνική εξέταση. Σε κάθε σχολείο οι εκπαιδευτικοί ακολουθούν το επίσημο πρόγραμμα σπουδών και εφαρμόζουν σύστημα βαθμολόγησης όπως ορίζεται από το πρόγραμμα.

Στο μάθημα φυσικής 2 οι μαθητές έρχονται για πρώτη φορά σε επαφή με βασικές κβαντικές ιδέες. Μελετούν το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο και την κβαντική εξήγησή του με την υπόθεση των φωτονίων. Διδάσκονται το πρόβλημα της κλασικής ερμηνείας για την ακτινοβολία του μέλανος σώματος και την κβαντική θεωρία του Planck. Μαθαίνουν να περιγράφουν το ατομικό μοντέλο του Bohr και τα κβαντισμένα ενεργειακά επίπεδα των ατόμων. Επίσης, αρχίζουν να αποκτούν γνώσεις πάνω στον κυματοσωματιδιακό δυϊσμό ύλης και φωτός και διδάσκονται το μήκος κύματος De Broglie. Τέλος, στο πρόγραμμα σπουδών του μαθήματος τονίζεται προς τους εκπαιδευτικούς να κάνουν μία πρώτη συζήτηση με τους μαθητές πάνω σε σύγχρονες τεχνολογικές εφαρμογές που βασίζονται σε αρχές κβαντικής θεωρίας.

Στα προγράμματα σπουδών φυσικών επιστημών και τεχνολογίας του τελευταίου έτους του γυμνασίου *Gymnasieskola* συναντάμε το μάθημα φυσικής 3 με περισσότερο εξειδικευμένο διδακτικό περιεχόμενο κβαντικής θεωρίας. Γίνεται μεγαλύτερη επεξεργασία της αρχής της συμπληρωματικότητας. Διδάσκονται το πρόβλημα σωματιδίου σε μονοδιάστατο πηγάδι δυναμικού και το φαινόμενο σήραγγας.

Επίσης, οι μαθητές μελετούν την αρχή αβεβαιότητας του Heisenberg και αποκτούν γνώσεις πάνω στην χρονοανεξάρτητη μονοδιάστατη εξίσωση του Schrödinger χωρίς να απαιτείται η μαθηματική της επίλυση. Στο διδακτικό περιεχόμενο του μαθήματος περιλαμβάνεται και η παρουσίαση της απαγορευτικής αρχής του Pauli καθώς και η εφαρμογή της σε ατομικά τροχιακά χρησιμοποιώντας κβαντικούς αριθμούς. Τέλος, οι μαθητές αποκτούν περισσότερες γνώσεις σε τεχνολογικές εφαρμογές κβαντικής θεωρίας όπως laser και ημιαγωγοί.

### 3.13 Φινλανδία

Στο Φινλανδικό εκπαιδευτικό σύστημα η βασική υποχρεωτική εκπαίδευση διαρκεί εννέα χρόνια και περιλαμβάνει τη πρωτοβάθμια και την κατώτερη δευτεροβάθμια εκπαίδευση. Η ανώτερη δευτεροβάθμια εκπαίδευση δεν είναι υποχρεωτική, αφορά μαθητές ηλικίας περίπου 17 έως 19 ετών και διακρίνεται στη γενική και την επαγγελματική ανώτερη δευτεροβάθμια εκπαίδευση. Οι μαθητές που αποκτούν απολυτήριο βασικής εκπαίδευσης μπορούν να συνεχίσουν τη φοίτησή τους στην ανώτερη γενική δευτεροβάθμια εκπαίδευση που παρέχεται από το λύκειο *Lukiokoulutus* ώστε να προετοιμαστούν για σπουδές τριτοβάθμιας εκπαίδευσης.

Στο υποχρεωτικό μάθημα φυσικής του τελευταίου έτους σπουδών της ανώτερης γενικής δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης περιέχεται ενότητα με την ονομασία *Υψηλή, Ακτινοβολία και Κβαντοποίηση* όπου είναι ενσωματωμένη η διδασκαλία της κβαντικής φυσικής. Στο πρόγραμμα σπουδών του μαθήματος, που ορίστηκε από το Συμβούλιο Εκπαίδευσης της Φινλανδίας και άρχισε να εφαρμόζεται το έτος 2019, αναφέρονται επιγραμματικά τα θεμελιώδη διδακτικά περιεχόμενα. Περιλαμβάνονται η δομή του ατόμου σύμφωνα με το μοντέλο του Bohr και τα κβαντισμένα ατομικά ενεργειακά επίπεδα. Επίσης, διδάσκεται η κβάντωση της ενέργειας της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας σύμφωνα με την υπόθεση των φωτονίων ως στοιχειωδών φορέων της, που διατυπώθηκε από τον Planck. Στα θεματικά περιεχόμενα αναφέρονται τα φαινόμενα αλληλεπίδρασης ακτινοβολίας-ύλης δηλαδή το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο και το φαινόμενο Compton καθώς και ο κυματοσωματιδιακός δυϊσμός ύλης-φωτός. Τέλος, στο πρόγραμμα σπουδών αναγράφεται ότι εκπαιδευτικός στόχος της συγκεκριμένης ενότητας είναι η εστίαση σε τεχνολογικές εφαρμογές που βασίζονται στην κβαντική θεωρία όπως η τεχνολογία των laser.

Μόλις οι μαθητές ολοκληρώσουν την ανώτερη δευτεροβάθμια εκπαίδευσή τους έχουν δικαίωμα συμμετοχής στις μη υποχρεωτικές εθνικές εξετάσεις *Ylioppilastutkinto* ώστε να διεκδικήσουν την εισαγωγή τους στην τριτοβάθμια εκπαίδευση της χώρας. Στις εισαγωγικές εξετάσεις δεν εξετάζονται όλοι οι μαθητές στα ίδια μαθήματα.

Οι διδασκόμενοι μπορούν να επιλέξουν να εξεταστούν στο μάθημα της φυσικής με την προϋπόθεση ότι έχουν ολοκληρώσει επιτυχώς την παρακολούθησή του στην ανώτερη δευτεροβάθμια εκπαίδευση. Οι εθνικές εξετάσεις λαμβάνουν χώρα στα σχολεία και περιλαμβάνουν θέματα με μορφή ερωτήσεων που καθορίζονται από κεντρική επιτροπή εξετάσεων. Η διάρκεια της εξέτασης κάθε μαθήματος είναι 6 ώρες. Η βαθμολόγηση πραγματοποιείται από τους διδάσκοντες του μαθήματος σε κάθε σχολείο αλλά οι βαθμολογημένες εργασίες αποστέλλονται για έγκριση στο εθνικό συμβούλιο εκπαίδευσης.

## 4. Σύγκριση-Συζήτηση Αποτελεσμάτων

Όπως φαίνεται από την ανάλυση των προγραμμάτων σπουδών των διαφόρων χωρών για τα μαθήματα φυσικής που περιέχουν κβαντική θεωρία εντοπίζουμε αρκετά κοινά στοιχεία αλλά και κάποιες διαφορές. Στο πρώτο μέρος της σύγκρισης θα ασχοληθούμε με βασικές πληροφορίες που αποκτήσαμε από τη μελέτη των προγραμμάτων σπουδών και αφορούν το μάθημα στο οποίο είναι ενσωματωμένη η διδακτική της κβαντικής θεωρίας, αν πρόκειται για μάθημα επιλογής ή υποχρεωτικό, την τάξη και την ηλικία των μαθητών που το παρακολουθούν καθώς και τον τρόπο αξιολόγησης του μαθήματος. Θεώρησα χρήσιμο να παρουσιάσω σε μορφή πίνακα τις βασικές πληροφορίες για την ονομασία του μαθήματος στο οποίο διδάσκεται η κβαντική φυσική, την ηλικιακή ομάδα των μαθητών που το παρακολουθούν, αν πρόκειται για μάθημα επιλογής ή όχι καθώς και για τη μορφή της τελικής εξέτασης. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται συνοπτικά με αλφαβητική σειρά χωρών στον πίνακα 1-1 που ακολουθεί. Στον πίνακα περιλαμβάνεται και το εκπαιδευτικό σύστημα της Ελλάδας.

**Πίνακας 1-1.** Χρήσιμες πληροφορίες για το μάθημα φυσικής όπου διδάσκεται η κβαντική θεωρία στις διάφορες χώρες.

Εκπαιδευτικό Σύστημα	Μάθημα στο οποίο διδάσκεται η κβαντική θεωρία	Τελική Εξέταση
1. Αυστρία	“Physik”, μάθημα επιλογής σε ειδικού τύπου σχολεία της ανώτερης δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης, για μαθητές ηλικίας 17-19 ετών.	Γραπτή ή προφορική με θέματα που καθορίζει ο διδάσκων καθηγητής του μαθήματος σε κάθε σχολείο. Η βαθμολόγηση επικυρώνεται από κεντρική επιτροπή.
2. Βέλγιο (Φλαμανδική Κοινότητα)	“Fysica”, μάθημα επιλογής στο τελευταίο στάδιο της γενικής δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης ASO για μαθητές ηλικίας 17-18 ετών. Η κβαντική φυσική είναι μία από 8 διδακτικές ενότητες που μπορεί να επιλέξει ο εκπαιδευτικός αν θα διδαχθεί ή όχι.	Η ύπαρξη ή όχι τελικής εξέτασης και η μέθοδος αξιολόγησης καθορίζονται από την Επιτροπή Τάξης σε κάθε σχολείο.

Εκπαιδευτικό Σύστημα	Μάθημα στο οποίο διδάσκεται η κβαντική θεωρία	Τελική Εξέταση
3.Γαλλία	“Physiqye-Chimie”, μάθημα επιλογής τεχνολογικού πεδίου σπουδών στο τελευταίο έτος της ανώτερης δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης για μαθητές ηλικίας 17-18 ετών.	Γραπτές εθνικές εξετάσεις για απόκτηση διπλώματος <i>Baccalauréat</i> τεχνολογικού πεδίου.
4.Γερμανία (Βαυαρία)	“Physik”, προχωρημένο μάθημα επιλογής φυσικής στη δωδέκατη τάξη της ανώτερης δευτ/μιας εκπαίδευσης για μαθητές ηλικίας 17-19 ετών. Βασικές αρχές κβαντικής θεωρίας διδάσκονται και σε μάθημα φυσικής στην τελευταία τάξη της κατώτερης δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης.	Γραπτές ή προφορικές εθνικές κεντρικές εξετάσεις <i>Abitur</i> .
5.Δανία	“Fysik A”, μάθημα επιλογής στο πρόγραμμα γενικής ανώτερης δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης για μαθητές ηλικίας 18-19 ετών.	Εθνικές εξετάσεις γραπτές, προφορικές και με πειραματικό μέρος, η διεξαγωγή των οποίων καθορίζεται από κεντρική επιτροπή εξετάσεων. Κάθε χρόνο η επιτροπή ανακοινώνει ένα θέμα φυσικής του 21 <sup>ου</sup> αιώνα που μπορεί να είναι τεχνολογική εφαρμογή κβαντικής φυσικής.
6.Ελλάδα	“Φυσική”, μάθημα για μαθητές ηλικίας 17-18 ετών των ομάδων προσανατολισμού θετικών σπουδών και σπουδών υγείας στο τελευταίο έτος της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης, πριν την εισαγωγή τους σε Πανεπιστήμιο.	Γραπτές εθνικές εξετάσεις <i>Πανελλήνιες</i> για την εισαγωγή στην τριτοβάθμια εκπαίδευση. Ενδοσχολικές τοπικές εξετάσεις για απόκτηση απολυτηρίου δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης.

Εκπαιδευτικό Σύστημα	Μάθημα στο οποίο διδάσκεται η κβαντική θεωρία	Τελική Εξέταση
7. Ηνωμένο Βασίλειο (Αγγλία)	“ Advanced Level Physics ”, μάθημα επιλογής για μαθητές ηλικίας 17-18 ετών στις ανώτερες τάξεις της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης.	Γραπτή εξέταση στα πλαίσια των A-level εξετάσεων που διεξάγονται από το Βρετανικό εκπαιδευτικό σύστημα.
8. Ισπανία	“ Fisica”, μάθημα επιλογής του μη υποχρεωτικού προγράμματος Bachillerato της ανώτερης δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης για μαθητές ηλικίας 17-18 ετών	Μόνο γραπτές εισαγωγικές μη υποχρεωτικές εξετάσεις PAU για εισαγωγή σε πανεπιστήμιο. Μέχρι σήμερα η κβαντική φυσική δεν αποτελεί εξεταστέα ύλη.
9. Ιταλία	“ Fisica”, υποχρεωτικό μάθημα στο 5 <sup>ο</sup> και τελευταίο έτος σπουδών του Επιστημονικού Λυκείου για μαθητές ηλικίας 18-19 ετών, πριν εισαχθούν σε Πανεπιστήμιο.	Το Υπουργείο Εκπαίδευσης ανακοινώνει κάθε χρόνο τη διεξαγωγή εθνικής εξέτασης με αντικείμενο τη φυσική ή τα μαθηματικά.
10. Νορβηγία	Διαδοχικά μαθήματα επιλογής στην ανώτερη δευτεροβάθμια εκπαίδευση γενικών σπουδών. “ Fysikk 1”, για μαθητές ηλικίας 17-18 ετών στο προτελευταίο έτος. “ Fysikk 2”, για μαθητές ηλικίας 18-19 ετών στο τελευταίο έτος.	Προφορική-πρακτική εξέταση που διεξάγεται από το εκάστοτε σχολείο για το μάθημα <i>Fysikk 1</i> . Γραπτές εθνικές εξετάσεις για το μάθημα <i>Fysikk 2</i> .
11. Ολλανδία	“ Natuurkunde”, υποχρεωτικό μάθημα για μαθητές ηλικίας 17-18 ετών που φοιτούν στον τομέα <i>Φύση και Τεχνολογία</i> της προπανεπιστημιακής εκπαίδευσης VWO.	Γραπτές εθνικές εξετάσεις με θέματα που καθορίζονται από κεντρική επιτροπή. Η βαθμολόγηση πραγματοποιείται από τον διδάσκοντα του μαθήματος και έναν ακόμη ανεξάρτητο εκπαιδευτικό.

<b>Εκπαιδευτικό Σύστημα</b>	<b>Μάθημα στο οποίο διδάσκεται η κβαντική θεωρία</b>	<b>Τελική Εξέταση</b>
12. Πορτογαλία	“Fisica”, μάθημα επιλογής για μαθητές ηλικίας 17-18 ετών στο τελευταίο έτος της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης, πριν την εισαγωγή τους σε Πανεπιστήμιο.	Υπάρχουν γραπτές και προφορικές εξετάσεις που διεξάγονται σε τοπικό επίπεδο δηλαδή στο εκάστοτε σχολείο.
13. Σουηδία	Μαθήματα επιλογής “Fysik 2” και “Fysik 3” στις 2 τελευταίες τάξεις της μη υποχρεωτικής ανώτερης δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης για μαθητές ηλικίας 17-19 ετών.	Οι διδάσκοντες εφαρμόζουν σύστημα βαθμολόγησης και γραπτές εξετάσεις.
14. Φινλανδία	“Fysiikka”, υποχρεωτικό μάθημα για μαθητές ηλικίας 17-19 ετών του τελευταίου έτους της μη υποχρεωτικής γενικής ανώτερης δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης.	Μη υποχρεωτικές γραπτές εθνικές εξετάσεις για την εισαγωγή σε πανεπιστήμιο, η διεξαγωγή των οποίων είναι αρμοδιότητα του εθνικού συμβουλίου εκπαίδευσης.

Παρατηρούμε ότι στις περισσότερες χώρες η διδασκαλία της κβαντικής φυσικής δε συνιστά τμήμα του υποχρεωτικού προγράμματος σπουδών δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης αλλά αποτελεί διδακτική ενότητα σε προχωρημένο μάθημα επιλογής φυσικής στην ανώτερη δευτεροβάθμια εκπαίδευση για μαθητές ηλικίας περίπου 17 έως 19 ετών. Ακόμη και στις περιπτώσεις των χωρών όπου αναγράφεται ότι είναι υποχρεωτικό μάθημα όπως συμβαίνει στην Ιταλία, την Ολλανδία, τη Φινλανδία και την Ελλάδα, αυτό αφορά μαθητές που έχουν επιλέξει να φοιτήσουν σε εξειδικευμένο τομέα σπουδών σχετιζόμενο με φυσικές επιστήμες. Γενικά, στα προγράμματα σπουδών γενικής παιδείας, που περιλαμβάνουν υποχρεωτικά μαθήματα και αφορούν το σύνολο των μαθητών, δε συναντάμε το μάθημα της φυσικής το οποίο αντιμετωπίζεται ως ένα από τα ειδικά μαθήματα επιλογής. Οι μαθητές που το επιλέγουν συνήθως είναι εκείνοι που σκέφτονται να συνεχίσουν επιστημονικές σπουδές και θέλουν να αποκτήσουν τις απαραίτητες γνώσεις για να μπορέσουν να εμβαθύνουν πάνω σε αυτές μόλις εισαχθούν σε πανεπιστήμιο.

Υπάρχει η τάση, όπως διαφαίνεται, το μάθημα της φυσικής να μην αφορά το σύνολο των μαθητών καθώς απαιτεί εξειδικευμένο διδακτικό περιεχόμενο και μαθηματικούς φορμαλισμούς που δεν θεωρούνται υποχρεωτικά εφόδια για τη μετέπειτα προσωπική εξέλιξη κάθε μαθητή. Να σημειώσουμε, ακόμη, ότι σε δύο χώρες η φυσική δεν αντιμετωπίζεται ως ξεχωριστό μάθημα από τη χημεία. Αυτό συμβαίνει στο εκπαιδευτικό σύστημα της Γαλλίας και στην κατώτερη δευτεροβάθμια εκπαίδευση της Πορτογαλίας.

Η κβαντική φυσική ως αναπόσπαστο τμήμα της σύγχρονης φυσικής έχει πλέον ενσωματωθεί και στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση. Η διδασκαλία της κβαντικής φυσικής υπαισέρχεται σχεδόν σε όλα τα μαθήματα φυσικής στο τελευταίο έτος της ανώτερης δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης. Εντόπισα μόνο σε έγγραφο προγράμματος σπουδών του ομόσπονδου κρατιδίου της Βαυαρίας στο Γερμανικό κράτος διδασκαλία στοιχείων κβαντικής θεωρίας σε γενικό μάθημα φυσικής της κατώτερης δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης, που απευθύνεται σε μαθητές ηλικίας περίπου 15-16 ετών. Επίσης, μόνο στη Φλαμανδική εκπαιδευτική κοινότητα του Βελγίου δεν είναι σίγουρο ότι κάθε χρόνο θα διδαχθεί η κβαντική θεωρία.

Το γεγονός ότι συναντάμε τη διδακτική της κβαντικής φυσικής μόνο στο τελευταίο έτος της ανώτερης δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης σχεδόν σε όλες τις χώρες οφείλεται στο εξειδικευμένο περιεχόμενό της και το γνωσιακό υπόβαθρο που απαιτεί. Η αποδοχή και αφομοίωση κβαντικών εννοιών προϋποθέτει την κατανόηση του αδιεξόδου της κλασικής φυσικής να εξηγήσει ορισμένα φαινόμενα. Ο μαθητής προτού έρθει για πρώτη φορά σε επαφή με τις κβαντικές ιδέες πρέπει πρώτα να έχει κατανοήσει κλασικές έννοιες όπως κύμα και σωματίδιο. Στη συνέχεια μελετώντας τα προβλήματα της κλασικής φυσικής θα μπορέσει να αποδεχθεί τη αρχή του κυματοσωματιδιακού δυϊσμού.

Όσον αφορά τον τρόπο αξιολόγησης του μαθήματος της φυσικής και κατ' επέκταση και της κβαντικής θεωρίας παρατηρούμε ποικιλομορφία στα διάφορα εκπαιδευτικά συστήματα. Ας μην ξεχνάμε ότι με την ολοκλήρωση του τελευταίου έτους σπουδών της ανώτερης δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης σε πολλές χώρες διεξάγονται μη υποχρεωτικές κεντρικές εθνικές εξετάσεις για την εισαγωγή των μαθητών στην τριτοβάθμια εκπαίδευση, όπως συμβαίνει στην Ελλάδα και τη Φινλανδία. Επειδή το μάθημα φυσικής που περιέχει κβαντική θεωρία διδάσκεται στο τελευταίο έτος της ανώτερης δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης και συνήθως οι μαθητές που το επιλέγουν έχουν σκοπό να συμμετάσχουν στις εθνικές εξετάσεις, εξετάζονται και στο συγκεκριμένο μάθημα. Σε κάποιες χώρες συναντάμε γραπτές ή προφορικές εξετάσεις που καθορίζονται από κρατική κεντρική εξεταστική επιτροπή. Σε άλλες χώρες, ωστόσο, η εξέταση του μαθήματος διοργανώνεται εξ' ολοκλήρου σε τοπικό επίπεδο από το εκάστοτε σχολείο. Πρέπει να σημειώσουμε ότι παρόλο που στα περισσότερα προγράμματα σπουδών τονίζεται η σπουδαιότητα της συσχέτισης ανάμεσα στη



θεωρία της φυσικής με την καθημερινή ζωή και την κατανόηση στην πράξη μέσω πειραματικών διατάξεων, στις εξετάσεις του μαθήματος της φυσικής γενικά δεν προβλέπεται πειραματικό μέρος αξιολόγησης μαθητών. Μόνο στην περίπτωση της Δανίας συναντάμε εξέταση που περιλαμβάνει διεξαγωγή πειράματος.

Μελετώντας προσεκτικά τα επίσημα έγγραφα με τα προγράμματα σπουδών των διαφόρων χωρών διαπίστωσα πως υπάρχουν αρκετές κοινές διδακτικές ενότητες κβαντικής θεωρίας. Δημιούργησα έναν κατάλογο με 15 θέματα, που παρατήρησα ότι περιλαμβάνονται σε περισσότερα από ένα προγράμματα σπουδών. Η σειρά με την οποία επέλεξα να απαριθμήσω τα θέματα με κωδικούς από K1 έως K15, προσπάθησα να ακολουθεί την τυπική σειρά διδασκαλίας σε πολλά προγράμματα σπουδών. Τα θέματα με κωδικούς από K11 έως K15 έχουν πιο εξειδικευμένο περιεχόμενο κβαντικής θεωρίας, που δεν περιλαμβάνονται σε αρκετά προγράμματα σπουδών. Ο τελικός κατάλογός μου με αυτά τα 15 θέματα παρουσιάζεται στον πίνακα 1-2. Στη συνέχεια, για τη συνοπτικότερη και πιο διαχειρίσιμη μελέτη των θεμάτων που υπεισέρχονται στα προγράμματα σπουδών της ανώτερης δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης, ομαδοποίησα στον πίνακα 1-3 εκείνα τα θέματα που μπορούν να θεωρηθούν ότι ανήκουν σε ένα σύνολο γενικότερου θεματικού περιεχομένου. Ορισμένα θέματα θεώρησα ότι μπορούν να ενταχθούν σε περισσότερα από ένα ενιαία θεματικά πεδία.

Κωδικός	Θεματικό Περιεχόμενο
K1	Ατομικό Μοντέλο του Bohr (ηλεκτρόνια σε καθορισμένες επιτρεπτές τροχιές στο άτομο του υδρογόνου)
K2	Ακτινοβολία Μέλανος Σώματος
K3	Κβάντωση ενέργειας ακτινοβολίας(υποθέσεις Planck), Γραμμικά φάσματα εκπομπής ατόμων
K4	Αλληλεπίδραση ακτινοβολίας-ύλης(φωτοηλεκτρικό φαινόμενο, σκέδαση Compton)
K5	Κυματοσωματιδιακός δυϊσμός ύλης και φωτός (Αρχή της Συμπληρωματικότητας)
K6	Μήκος κύματος De Broglie
K7	Αρχή της Αβεβαιότητας ή Απροσδιοριστίας του Heisenberg
K8	Στατιστική ερμηνεία της Κυματοσυνάρτησης
K9	Τεχνολογικές εφαρμογές της Κβαντικής Φυσικής
K10	Φιλοσοφικές και επιστημολογικές συζητήσεις μετά από την περιγραφή και ερμηνεία κβαντικών φαινομένων
K11	Σωματίδιο σε μονοδιάστατο πηγάδι δυναμικού
K12	Εξίσωση Schrodinger(χρονοανεξάρτητη και μονοδιάστατη)
K13	Φαινόμενο Σήραγγας
K14	Απαγορευτική αρχή Pauli, κβαντικοί αριθμοί
K15	Κβαντική Διεμπλοκή

Πίνακας 1-2 Κατάλογος θεμάτων Κβαντικής Θεωρίας για σύγκριση και ανάλυση των προγραμμάτων σπουδών των Ευρωπαϊκών Χωρών

**Πίνακας 1-3.** Ομαδοποίηση θεμάτων Κβαντικής Θεωρίας.

<b>Γενικό Θεματικό Περιεχόμενο</b>	<b>Κωδικός</b>	<b>Ειδικό Θεματικό Περιεχόμενο</b>
Βασικές Αρχές	K5	Κυματοσωματιδιακός δυϊσμός ύλης και φωτός
	K7	Αρχή Αβεβαιότητας Heisenberg
	K8	Στατιστική ερμηνεία της Κυματοσυνάρτησης
	K14	Απαγορευτική αρχή Pauli
	K15	Κβαντική Διεμπλοκή
Φαινόμενα και Εφαρμογές	K2	Ακτινοβολία Μέλανος Σώματος
	K3	Φασματικές γραμμές, Planck
	K4	Αλληλεπίδραση ακτινοβολίας-ύλης (φωτοηλεκτρικό φαινόμενο, φαινόμενο Compton)
	K6	Μήκος κύματος De Broglie
	K9	Τεχνολογικές εφαρμογές της Κβαντικής Φυσικής
Ατομική Θεωρία	K13	Φαινόμενο Σήραγγας
	K1	Ατομικό Μοντέλο Bohr
	K3	Φασματικές γραμμές
	K11	Σωματίδιο σε μονοδιάστατο πηγάδι δυναμικού
Μαθηματικά Μοντέλα	K14	Απαγορευτική Αρχή Pauli σε ατομικά τροχιακά
	K11	Σωματίδιο σε μονοδιάστατο πηγάδι δυναμικού
	K12	Εξίσωση Schrodinger
Φιλοσοφικές Προεκτάσεις	K14	Φαινόμενο Σήραγγας,
	K5	Κυματοσωματιδιακός δυϊσμός
	K10	Φιλοσοφικές και επιστημολογικές συζητήσεις
	K15	Κβαντική Διεμπλοκή

Τα θέματα που περιλαμβάνονται στις βασικές αρχές αναφέρονται σε έννοιες που τονίζουν τις διαφορές μεταξύ κλασικής και κβαντικής φυσικής. Τα φαινόμενα και οι εφαρμογές χρησιμεύουν στη διδασκαλία της κβαντικής φυσικής γιατί αποδεικνύουν ότι η κβαντική θεωρία δεν είναι μία επινόηση, μία θεωρητική κατασκευή αλλά μπορεί να εξηγήσει πραγματικά φυσικά φαινόμενα. Τα θέματα που ενσωματώνονται στην ατομική θεωρία σε ορισμένα προγράμματα σπουδών δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης διδάσκονται στα πλαίσια μαθήματος χημείας. Τα μαθηματικά μοντέλα εισάγουν κβαντικές μαθηματικές αναπαραστάσεις, η μελέτη των οποίων απαιτεί πολύπλοκους μαθηματικούς υπολογισμούς για τους οποίους οι μαθητές δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης δε διαθέτουν το κατάλληλο μαθηματικό υπόβαθρο.

Στον πίνακα 1-4 που ακολουθεί καταγράφεται η ύπαρξη ή όχι των θεμάτων κβαντικής θεωρίας στα προγράμματα σπουδών των διαφόρων χωρών, που μελετήθηκαν. Στην πρώτη κατακόρυφη γραμμή αναγράφονται με αλφαβητική σειρά οι χώρες όπως παρουσιάστηκαν στον πίνακα 1-1 χρησιμοποιώντας μόνο τα αρχικά γράμματα του ονόματος κάθε χώρας για σκοπούς εξοικονόμησης χώρου στον πίνακα.

Τη χώρα της Νορβηγίας την χώρισα σε δύο μέρη όπου το πρώτο μέρος 10.1 αφορά το μάθημα *Fysikk 1* που διδάσκεται στο προτελευταίο έτος και το δεύτερο μέρος 10.2 αφορά το μάθημα *Fysikk 2* που διδάσκεται στο τελευταίο έτος της ανώτερης δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης. Όμοια χώρισα τα μαθήματα *Fysik 2* και *Fysik 3* και για τη χώρα της Σουηδίας.

Η πρώτη οριζόντια γραμμή περιλαμβάνει τους κωδικούς των θεμάτων κβαντικής θεωρίας όπως αριθμήθηκαν και παρουσιάστηκαν στον πίνακα 1-2. Το σύμβολο Ο αναφέρεται στη λέξη *Όχι* και τοποθετείται όταν ο κωδικός θέματος δεν περιέχεται στο πρόγραμμα σπουδών. Το σύμβολο Ν αναφέρεται στη λέξη *Ναι* και τοποθετείται όταν ο κωδικός θέματος περιέχεται στο πρόγραμμα σπουδών. Τέλος, τα σύμβολα ΠΡ αναφέρονται στη λέξη *Προαιρετικά* και χρησιμοποιούνται όταν ο κωδικός θέματος στο πρόγραμμα σπουδών δε θεωρείται υποχρεωτικό να διδαχθεί αλλά αφήνεται στην προσωπική επιλογή του εκπαιδευτικού που διδάσκει το μάθημα.

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10	K11	K12	K13	K14	K15
1. Α	ΠΡ	Ο	Ν	ΠΡ	Ν	Ν	Ν	Ν	ΠΡ	ΠΡ	Ο	Ο	Ο	Ο	Ο
2. Β	ΠΡ	Ο	ΠΡ	ΠΡ	ΠΡ	ΠΡ	ΠΡ	ΠΡ	ΠΡ	ΠΡ	Ο	Ο	Ο	Ο	Ο
3. ΓΑ	Ο	Ο	Ν	Ο	Ν	Ν	Ο	Ν	Ν	Ο	Ο	Ο	Ο	Ο	Ο
4. ΓΕ	Ο	Ο	Ν	Ν	Ν	Ν	Ν	Ν	Ν	Ο	Ν	Ν	Ν	Ν	Ο
5. Δ	Ο	Ο	Ν	Ο	Ν	Ο	Ο	Ο	ΠΡ	Ο	Ο	Ο	Ο	Ο	Ο
6. Ε	Ο	Ν	Ν	Ν	Ν	Ν	Ν	Ν	Ο	Ο	Ο	Ο	Ο	Ο	Ο
7.Η ΑΓ	Ο	Ν	Ν	Ν	Ν	Ν	Ο	Ο	Ν	Ο	Ο	Ο	Ο	Ο	Ο
8. ΙΣ	Ν	Ν	Ν	Ν	Ν	Ν	Ν	Ν	Ν	Ο	Ο	Ο	Ο	Ο	Ο
9. ΙΤ	Ν	Ν	Ν	Ν	Ν	Ν	Ν	Ν	Ο	Ν	Ο	Ο	Ο	Ο	Ο
10.1 ΝΟ	Ν	Ν	Ν	Ο	Ο	Ο	Ο	Ο	Ο	Ο	Ο	Ο	Ο	Ο	Ο
10.2 ΝΟ	Ο	Ο	Ο	Ν	Ν	Ο	Ν	Ο	Ν	Ν	Ο	Ο	Ο	Ο	Ν
11. Ο	Ν	Ν	Ν	Ν	Ν	Ν	Ν	Ν	Ν	Ο	Ν	Ο	Ν	Ο	Ο
12. Π	Ο	Ν	Ν	Ν	Ν	Ν	Ο	Ο	Ν	Ο	Ο	Ο	Ο	Ο	Ο
13.1 Σ	Ν	Ν	Ν	Ν	Ν	Ν	Ο	Ο	Ο	Ο	Ο	Ο	Ο	Ο	Ο
13.2 Σ	Ο	Ο	Ο	Ο	Ο	Ο	Ν	Ο	Ν	Ο	Ν	Ν	Ν	Ν	Ο
14. Φ	Ν	Ν	Ν	Ν	Ν	Ο	Ο	Ο	Ο	Ο	Ο	Ο	Ο	Ο	Ο

**Πίνακας 1-4. Επισκόπηση των θεματικών περιεχομένων κβαντικής φυσικής στα προγράμματα σπουδών των διαφόρων χωρών**

Μελετώντας τον πίνακα 1-4 προκύπτουν ορισμένα ενδιαφέροντα συμπεράσματα τα οποία αναλύονται στη συνέχεια. Κατ' αρχάς παρατηρούμε ότι το ατομικό μοντέλο του Bohr δεν περιλαμβάνεται σε αρκετά προγράμματα σπουδών παρόλο που βοηθά στην κατανόηση των κβαντισμένων ατομικών ενεργειακών επιπέδων. Το γεγονός αυτό, ενδεχομένως, να οφείλεται στο ότι το ατομικό μοντέλο του Bohr διδάσκεται σε προηγούμενες τάξεις στα πλαίσια διαφόρων διδακτικών ενοτήτων τόσο Φυσικής όσο και Χημείας καθώς πρόκειται για το πιο απλό πρότυπο που περιγράφει δομή ατόμου. Επομένως, στην ανώτερη δευτεροβάθμια εκπαίδευση που διδάσκεται η κβαντική φυσική να είναι ήδη γνωστό στους μαθητές.

Η ακτινοβολία μέλανος σώματος, επίσης, δεν περιλαμβάνεται στο διδακτικό περιεχόμενο κβαντικής θεωρίας αρκετών προγραμμάτων σπουδών παρόλο που πρόκειται για ένα καθοριστικό φαινόμενο για την εδραίωση της Κβαντικής Φυσικής αφού δεν μπόρεσε να εξηγηθεί στα πλαίσια της Κλασικής Φυσικής. Για παράδειγμα, στην περίπτωση της Γαλλίας η παρουσίαση της ακτινοβολίας μέλανος σώματος ενσωματώνεται σε ενότητα του ενιαίου μαθήματος φυσικής και χημείας που αφορά τα χρώματα, τις πηγές τους και τον τρόπο που τα αντιλαμβανόμαστε χωρίς να αναφέρεται η κβαντική ερμηνεία του φαινομένου. Γι' αυτό εξάλλου δεν συμπεριλήφθηκε ως διδακτικό περιεχόμενο κβαντικής θεωρίας στην παρούσα εργασία. Στην περίπτωση, όμως, της Αγγλίας να μεν παρουσιάζεται πρώτα η ακτινοβολία του μέλανος σώματος στην ενότητα της αστροφυσικής αλλά στη συνέχεια εξηγείται η φασματική κατανομή και η λύση στο κλασικό πρόβλημα της υπερϊόδους «καταστροφής» με κβαντική θεωρία.

Οι θεμελιώδεις κβαντικές αρχές του κυματοσωματιδιακού δυϊσμού της ύλης και της κβάντωσης ενέργειας της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας σύμφωνα με τις υποθέσεις του Planck διαπιστώνουμε ότι περιέχονται σχεδόν σε όλα τα προγράμματα σπουδών των διαφόρων χωρών. Ας μην ξεχνάμε, άλλωστε, ότι πάνω σε αυτές τις αρχές αναπτύχθηκε όλη η κβαντική θεωρία και δεν μπορεί να διδαχθεί εισαγωγική παρουσίαση κβαντικής φυσικής χωρίς να τις περιλαμβάνει.

Σε μεγάλο ποσοστό των χωρών διδάσκονται τα φαινόμενα αλληλεπίδρασης της ακτινοβολίας με την ύλη δηλαδή το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο και το φαινόμενο Compton. Πρόκειται για πολύ σημαντικά φαινόμενα στον επιστημονικό κόσμο γιατί με την κβαντική τους εξήγηση εδραιώθηκε η διττή φύση του φωτός. Επίσης, με μία απλή σχηματική αναπαράσταση μπορούν να παρουσιαστούν σε μαθητές δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης. Βέβαια, να σημειώσουμε ότι στα περισσότερα προγράμματα σπουδών, όπως είδαμε στην αναλυτική παρουσίασή τους στην ενότητα 3 της παρούσας εργασίας, επιλέγεται να διδαχθεί κυρίως το φωτοηλεκτρικό και όχι τόσο το φαινόμενο Compton. Αυτό, πιθανότατα, να οφείλεται στο ότι για τη μελέτη του φαινομένου Compton συνήθως χρειάζεται και η μαθηματική σχέση για τη μεταβολή στο μήκος κύματος, μεταξύ προσπίπτουσας και σκεδαζόμενης ακτινοβολίας, και την οποία για να μπορέσουν να μελετήσουν οι μαθητές πρέπει να διαθέτουν γνώσεις τριγωνομετρίας. Από την άλλη πλευρά, η φωτοηλεκτρική εξίσωση του Einstein είναι πιο εύκολα διαχειρίσιμη από τους μαθητές.

Η αρχή αβεβαιότητας του Heisenberg όπως και η στατιστική ερμηνεία της κυματοσυνάρτησης παρόλο που είναι βασικές αρχές κβαντικής θεωρίας παρατηρούμε ότι σε αρκετά προγράμματα σπουδών δεν περιλαμβάνονται. Ενδεχομένως, το γεγονός αυτό να οφείλεται επίσης σε πολύπλοκους μαθηματικούς φορμαλισμούς που δεν είναι σε θέση να διαχειριστούν οι μαθητές δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης σε όλα τα εκπαιδευτικά συστήματα.

Η απαγορευτική αρχή του Pauli δεν αποτελεί τμήμα κβαντικής θεωρίας σχεδόν σε όλα τα προγράμματα σπουδών του μαθήματος φυσικής της ανώτερης δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης. Η απαγορευτική αρχή του Pauli συνήθως παρουσιάζεται στα πλαίσια της ηλεκτρονιακής δόμησης των ατόμων σε τροχιακά σε μάθημα χημείας, όπως συμβαίνει και στην περίπτωση του Ελληνικού εκπαιδευτικού συστήματος.

Επίσης, σε ελάχιστα προγράμματα σπουδών περιλαμβάνεται περισσότερο εξειδικευμένο διδακτικό περιεχόμενο όπως η κβαντική διεμπλοκή, το φαινόμενο σήραγγας, σωματίδιο σε μονοδιάστατο πηγάδι δυναμικού και η εξίσωση Schrödinger. Τα συγκεκριμένα θεματικά περιεχόμενα απαιτούν πολύπλοκους μαθηματικούς φορμαλισμούς και αναπτυγμένη κριτική ικανότητα του διδασκόμενου γι' αυτό διδάσκονται συνήθως για πρώτη φορά σε επιστημονική σχολή τριτοβάθμιας εκπαίδευσης.

Ένα χρήσιμο συμπέρασμα που προκύπτει από τη διεξαγωγή της παρούσας εργασίας αφορά τις τεχνολογικές εφαρμογές της κβαντικής θεωρίας. Παρόλο που σχεδόν σε όλα τα προγράμματα σπουδών αναφέρεται ότι κατά τη διδασκαλία της κβαντικής φυσικής να τονιστεί ο σπουδαίος ρόλος που έπαιξε στην ανάπτυξη σύγχρονων τεχνολογικών εφαρμογών, εντούτοις σε ορισμένα μόνο προγράμματα παρουσιάζεται η αρχή λειτουργίας κάποιας τεχνολογικής εφαρμογής και η συσχέτισή της με κβαντική θεωρία. Για παράδειγμα, αυτό συμβαίνει στο εκπαιδευτικό σύστημα της Ισπανίας όπου περιγράφεται και συνδέεται με κβαντική θεωρία η τεχνολογία του laser. Στα περισσότερα εκπαιδευτικά συστήματα απλά διεξάγονται γενικές συζητήσεις με ονομαστική αναφορά τεχνολογικών εφαρμογών κβαντικής φυσικής.

Φτάνοντας στο τέλος της παρούσας εργασίας, να σημειώσουμε ότι η διδασκαλία της Κβαντικής Φυσικής είναι πλέον δεδομένο ότι και στα επόμενα έτη θα περιλαμβάνεται στα προγράμματα σπουδών της ανώτερης δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης. Ο τρόπος με τον οποίο θα ενσωματωθεί αποτελεί ακόμη αντικείμενο μελέτης και έρευνας σε κάθε εκπαιδευτικό σύστημα. Η τάση, βέβαια, που φαίνεται μέχρι στιγμής να επικρατεί είναι μία εισαγωγική παρουσίαση βασικών κβαντικών εννοιών χωρίς να απαιτούνται πολύπλοκες μαθηματικές αναπαραστάσεις, εξειδικευμένο επιστημονικό περιεχόμενο και πειραματικές διατάξεις.

## Βιβλιογραφία

Ακολουθούν οι βιβλιογραφικές αναφορές (πηγές) της Εργασίας.

- Alonso, M.(2002). Emphasize applications in introductory quantum mechanics Courses. American Journal of Physics, 70(9), 887.  
<https://doi.org/10.1119/1.1492807>
- Baily, C., & Finkelstein, N. (2015). Teaching quantum interpretations: Revisiting the goals and practices of introductory quantum physics courses. Physical Review Special Topics-Physics Education Research, 11(2).  
<https://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.11.020124>
- Bonacci, E.(2020). On Teaching Quantum Physics at High School. Athens Journal of Education, 7(3), 313-330.
- Bungum, B., Henriksen, E.K., Angell, C., Tellefsen, C.W., & Vetlester Bøe, M. (2015). ReleQuant-Improving teaching and learning in quantum physics through educational design research. Nordic Studies in Science Education, 11(2), 153-168. <https://doi.org/10.5617/nordina.2043>
- Chalmers, A. (1994). Τι είναι αυτό που το λέμε επιστήμη. (Γ. Φουρτούνης, Μετ.). Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης. (έτος έκδοσης πρωτότυπου 1992).
- Dür, W., & Heusler, S. (2014). Visualization of the Invisible: The Qubit as Key to Quantum Physics. The Physics Teacher, 52(8), 489-492.  
<https://doi.org/10.1119/1.4942137>
- Εθνικός Οργανισμός Εξετάσεων Ε.Ο.Ε., Ανεξάρτητη Αρχή. (2021). Μελετώντας τον τρόπο εισαγωγής στην Τριτοβάθμια Εκπαίδευση των Ευρωπαϊκών Χωρών. Ανακτήθηκε 8 Δεκεμβρίου 2023 από  
<https://eoe.minedu.gov.gr/index.php/meletes-e-o-e/246-meletontas-ton-tropo-eisagogis-stin-tritovathmia-ekpaidefsi-ton-evropaikon-xoron-2>
- Επίσημος Ιστότοπος της Ευρωπαϊκής Ένωσης (χ.χ.). Οργάνωση του Εκπαιδευτικού Συστήματος και της Δομής του. Ανακτήθηκε 20 Μαΐου 2024 από  
<https://eurydice.eacea.ec.europa.eu/el/national-education-systems/greece/organosioy-ekpaideytikoy-systimatos-kai-tis-domis-toy>
- Hey, T., & Walters, P. (2003). The New Quantum Universe. Cambridge, Cambridge University Press.

- Hewitt, P.G.(2004). Οι έννοιες της φυσικής. (Ε. Σηφάκη, Γ. Παπαδόγγονας, Μετ.). Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης. (έτος έκδοσης πρωτότυπου 2002).
- Ιωάννου, Α., Ντάνος, Γ., Πήττας, Α., & Ράπτης, Σ. (1999). Φυσική, Ομάδας Προσανατολισμού θετικών σπουδών και σπουδών υγείας. Τεύχος Γ'. Γ' Τάξη Γενικού Λυκείου. Υπουργείο Παιδείας, Έρευνας και Θρησκευμάτων. Ινστιτούτο Εκπαιδευτικής Πολιτικής.
- Johnston, I.D., Crawford, K., & Fletcher, P.R. (1998). Student difficulties in learning quantum. *International Journal of Science Education*, 20(4), 427-446.  
<https://doi.org/10.1080/0950069980200404>
- Jones, A.T., & Kirk, C.M. (2007). Introducing technological applications into the physics classroom: help or hindrance for learning? *International Journal of Education*, 12(5), 481-490. <https://doi.org/10.1080/0950069900120502>
- Κεχαγιάς, Α., & Τσώνης, Σ.(2022). Εισαγωγή στη Κβαντομηχανική. Εκδόσεις Ροπή.
- Kohnle, A., Baily, C., Campbell, A., Korolkova, N., & Paetkau, M.J. (2015). Enhancing student learning of two-level quantum systems with interactive simulations. *American Journal of Physics*, 83(6), 560-566.  
<https://doi.org/10.1119/1.4913786>
- Kragh, H. (1992). A sense of history: History of science and the teaching of introductory quantum theory. *Science and Education*, Volume 1, pp.349-363.  
<https://doi.org/10.1007/BF00430962>
- Krijtenburg-Lewerissa, K., Pol. H.J., Brinkman, A., & Van Joolinger, W.R. (2017). Insights into teaching quantum mechanics in secondary and lower undergraduate education. *Physical Review Physics Education Research*, 13(1). <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.13.010109>
- Λιοδάκης, Σ., Γάκης, Δ., Θεοδωρόπουλος, Δ., Θεοδωρόπουλος, Π., & Κάλλης, Α. Χημεία, Τεύχος Β', Γ' Γενικού Λυκείου, Ομάδας Προσανατολισμού Θετικών Σπουδών και Σπουδών Υγείας. Υπουργείο Παιδείας, Έρευνας και Θρησκευμάτων. Ινστιτούτο Εκπαιδευτικής Πολιτικής.
- Müller, R. (2006). *Qualitative Quantenphysik Eine Handreichung für die Sekundarstufe I*, IPN, Kiel, Germany.



- Stadermann, H.K.E, Van Den Berg, E., & Goedhart, M.J. (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).  
<https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.15.010130>
- Stadermann, H.K.E, van den Berg, E., & Goedhart, M.J. (2021). How high schools teach quantum physics – a cross- national analysis of curricula in secondary education. *Journal of Physics: Conference Series*, 1929(1).  
10.1088/1742-6596/1929/1/012045
- Τζανάκης, Κ. (2001). Η αξιοποίηση της ιστορίας της Φυσικής στη διδασκαλία της. Σχόλια, επισημάνσεις και κατευθύνσεις. Στο Π. Κουμαράς, Φ. Σερόγλου και Κ. Σκορδούλης( Επιμ.), Πρακτικά συμποσίου: Η συμβολή της Ιστορίας και Φιλοσοφίας των Επιστημών στη Διδασκαλία των ΦΕ(σ.75-84), Θεσσαλονίκη, Εκδ. Χριστοδουλίδη.
- Τραχανάς, Σ.(2005). Κβαντομηχανική Ι, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης.
- Υπ. Απόφαση 82785/2023, Καθορισμός εξεταστέας ύλης για το έτος 2024 για τα μαθήματα που εξετάζονται πανελλαδικά για την εισαγωγή στην Τριτοβάθμια Εκπαίδευση αποφοίτων Γ' Τάξης Ημερήσιου Γενικού Λυκείου και Γ' Τάξης Εσπερινού Γενικού Λυκείου, Εφημερίς της Κυβερνήσεως της Ελληνικής Δημοκρατίας (ΦΕΚ Β 4768/27.07.23).
- Υπ. Απόφαση 144672/2021, Πρόγραμμα Σπουδών του μαθήματος της Φυσικής των Α', Β' και Γ' τάξεων Γενικού Λυκείου, Εφημερίς της Κυβερνήσεως της Ελληνικής Δημοκρατίας (ΦΕΚ Β 5381/ 19.10.21).
- Υπ. Απόφαση 63367/2023, Ωρολόγιο Πρόγραμμα των μαθημάτων των Α', Β' και Γ' τάξεων του Ημερήσιου Γενικού Λυκείου, Εφημερίς της Κυβερνήσεως της Ελληνικής Δημοκρατίας (ΦΕΚ Β 5617/22.09.23).
- Υπουργείο Παιδείας, Θρησκευμάτων και Αθλητισμού (χ.χ.). Οδηγίες για τη διδασκαλία του μαθήματος της Φυσικής του Ημερήσιου και του Εσπερινού Γενικού Λυκείου για το σχολικό έτος 2023-2024.  
Ανακτήθηκε 10 Νοεμβρίου 2023 από  
<https://drive.google.com/file/d/1hx1U0HNZm6oz0pp6fmuvHGVEEXwKCFHM/view>
- Verrucchi, P. (2023). About Teaching Quantum Mechanics in High Schools. In M. Streit-Bianchi, M. Michelini, W. Bonivento, & M. Tuveri (Ed.), *New Challenges and Opportunities in Physics Education* (pp.25-35), Springer.

Wuttiptom, S., Sharma, M.D., Johnston, I.D. Chitaree, R., & Soankwan, C.(2009).  
Development and Use of a Conceptual Survey in Introductory Quantum  
Physics. *International Journal of Science Education*, 31(5), 631-654.

<https://doi.org/10.1080/09500690701747226>

Yacoubian, H.A., (2018). Scientific literacy for democratic decision-making.  
*International Journal of Science Education*, 40(3), 308-327.

<https://doi.org/10.1080/09500693.2017.1420266>

Υπεύθυνη Δήλωση Συγγραφέα:

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

