

## MAS\_4715 Εφαρμοσμένη Κβαντομηχανική

### 1. ΓΕΝΙΚΑ

<b>ΣΧΟΛΗ</b>	ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ		
<b>ΤΜΗΜΑ</b>	ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ		
<b>ΕΠΙΠΕΔΟ ΣΠΟΥΔΩΝ</b>	ΠΡΟΠΤΥΧΙΑΚΟ		
<b>ΚΩΔΙΚΟΣ ΜΑΘΗΜΑΤΟΣ</b>	MAS_4715	<b>ΕΞΑΜΗΝΟ ΣΠΟΥΔΩΝ</b>	7 <sup>ο</sup>
<b>ΤΙΤΛΟΣ ΜΑΘΗΜΑΤΟΣ</b>	Εφαρμοσμένη Κβαντομηχανική		
<b>ΑΥΤΟΤΕΛΕΙΣ ΔΙΔΑΚΤΙΚΕΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ</b> σε περίπτωση που οι πιστωτικές μονάδες απονέμονται σε διακριτά μέρη του μαθήματος π.χ. Διαλέξεις, Εργαστηριακές Ασκήσεις κ.λπ. Αν οι πιστωτικές μονάδες απονέμονται ενιαία για το σύνολο του μαθήματος αναγράψτε τις εβδομαδιαίες ώρες διδασκαλίας και το σύνολο των πιστωτικών μονάδων	<b>ΕΒΔΟΜΑΔΙΑΙΕΣ ΩΡΕΣ ΔΙΔΑΣΚΑΛΙΑΣ</b>	<b>ΠΙΣΤΩΤΙΚΕΣ ΜΟΝΑΔΕΣ</b>	
	3	5	
<i>Προσθέστε σειρές αν χρειαστεί. Η οργάνωση διδασκαλίας και οι διδακτικές μέθοδοι που χρησιμοποιούνται περιγράφονται αναλυτικά στο 4.</i>			
<b>ΤΥΠΟΣ ΜΑΘΗΜΑΤΟΣ</b> <i>Υποβάθρου, Γενικών Γνώσεων, Επιστημονικής Περιοχής, Ανάπτυξης Δεξιοτήτων</i>	Επιστημονικής Περιοχής		
<b>ΠΡΟΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΑ ΜΑΘΗΜΑΤΑ:</b>	Εισαγωγή στην Κβαντομηχανική		
<b>ΓΛΩΣΣΑ ΔΙΔΑΣΚΑΛΙΑΣ και ΕΞΕΤΑΣΕΩΝ:</b>	Ελληνικά		
<b>ΤΟ ΜΑΘΗΜΑ ΠΡΟΣΦΕΡΕΤΑΙ ΣΕ ΦΟΙΤΗΤΕΣ ERASMUS</b>	Όχι		
<b>ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ ΣΕΛΙΔΑ ΜΑΘΗΜΑΤΟΣ (URL)</b>	<a href="http://www.matersci.upatras.gr/el/studies/undergraduate/curriculum/courses">http://www.matersci.upatras.gr/el/studies/undergraduate/curriculum/courses</a>		

### 2. ΜΑΘΗΣΙΑΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

#### Μαθησιακά Αποτελέσματα

Περιγράφονται τα μαθησιακά αποτελέσματα του μαθήματος οι συγκεκριμένες γνώσεις, δεξιότητες και ικανότητες καταλλήλου επιπέδου που θα αποκτήσουν οι φοιτητές μετά την επιτυχή ολοκλήρωση του μαθήματος.

Συμβουλευτείτε το Παράρτημα Α (ξεχωριστό αρχείο στο e-mail)

- Περιγραφή του Επιπέδου των Μαθησιακών Αποτελεσμάτων για κάθε ένα κύκλο σπουδών σύμφωνα με Πλαίσιο Προσόντων του Ευρωπαϊκού Χώρου Ανώτατης Εκπαίδευσης
- Περιγραφικοί Δείκτες Επιπέδων 6, 7 & 8 του Ευρωπαϊκού Πλαισίου Προσόντων Διά Βίου Μάθησης

και Παράρτημα Β

- Περιληπτικός Οδηγός συγγραφής Μαθησιακών Αποτελεσμάτων

Μαθησιακά Αποτέλεσμα :

Σκοπός του μαθήματος είναι να εισαγάγει τον μαθητή σε θέματα κβαντομηχανικής που δεν καλύπτονται στο εισαγωγικό μάθημα Κβαντομηχανικής και στη συνέχεια να τα εφαρμοσει σε θέματα μικροηλεκτρονικής και νανοηλεκτρονικής, μεσοσκοπικών συστημάτων, ημιαγωγίων νανοδομών, εξιτονίων, φωνονίων, υλικών όπως το γραφένιο, αλλά ακόμα και τοπολογικών μοντέλων για υλικά. Παραδείγματα θεμάτων που θα καλυφθούν είναι λύσεις της εξίσωσης του Schrödinger πέρα από τα συνήθη δυναμικά που καλύφθηκαν στο εισαγωγικό μάθημα που βρίσκουν εφαρμογές σε νανοδομές, αλγεβρική θεωρία του αρμονικού ταλαντωτή και εφαρμογές της, φαινόμενο σήραγγας σε πολύπλοκα πηγάδια, ανάδειξη των καταστάσεων Landau και σύνδεση με το κβαντικό φαινόμενο Hall και εφαρμογή του μοντέλου ισχυρής δέσμευσης σε γραφένιο και στο τοπολογικό μοντέλο SSH.

Το μάθημα σύμφωνα με το Ευρωπαϊκό Πλαίσιο Προσόντων Διά Βίου Μάθησης είναι επιπέδου 6 ως μάθημα πρώτου κύκλου σπουδών.

### Γενικές Ικανότητες

*Λαμβάνοντας υπόψη τις γενικές ικανότητες που πρέπει να έχει αποκτήσει ο πτυχιούχος (όπως αυτές αναγράφονται στο Παράρτημα Διπλώματος και παρατίθενται ακολούθως) σε ποια / ποιες από αυτές αποσκοπεί το μάθημα:*

*Αναζήτηση, ανάλυση και σύνθεση δεδομένων και πληροφοριών, με τη χρήση και των απαραίτητων τεχνολογιών*

*Προσαρμογή σε νέες καταστάσεις*

*Λήψη αποφάσεων*

*Αυτόνομη εργασία*

*Ομαδική εργασία*

*Εργασία σε διεθνές περιβάλλον*

*Εργασία σε διεπιστημονικό περιβάλλον*

*Παράγωγή νέων ερευνητικών ιδεών*

*Σχεδιασμός και διαχείριση έργων*

*Σεβασμός στη διαφορετικότητα και στην πολυπολιτισμικότητα*

*Σεβασμός στο φυσικό περιβάλλον*

*Επίδειξη κοινωνικής, επαγγελματικής και ηθικής υπευθυνότητας και ευαισθησίας σε θέματα φύλου*

*Άσκηση κριτικής και αυτοκριτικής*

*Προαγωγή της ελεύθερης, δημιουργικής και επαγωγικής σκέψης*

*Αναζήτηση, ανάλυση και σύνθεση δεδομένων και πληροφοριών, με τη χρήση και των απαραίτητων τεχνολογιών*

*Προσαρμογή σε νέες καταστάσεις*

*Αυτόνομη εργασία*

*Ομαδική εργασία*

*Παράγωγή νέων ερευνητικών ιδεών*

*Προαγωγή της ελεύθερης, δημιουργικής και επαγωγικής σκέψης*

### 3. ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟ ΜΑΘΗΜΑΤΟΣ

Σύνοψη βασικών αρχών κβαντομηχανικής. Τελεστές, μέσες τιμές, θεώρημα του Ehrenfest. Χρονικά εξαρτημένη εξίσωση του Schrödinger, πλάτος πιθανότητας και ρεύμα πυκνότητας πιθανότητας. Υπερθέσεις καταστάσεων. Από την χρονικά εξαρτημένη στην χρονικά ανεξάρτητη εξίσωση Schrödinger. Το ελεύθερο σωματίο και η προσέγγιση ενεργούς μάζας σε ημιαγωγούς. Συμμετρία αναστροφής του δυναμικού και συμμετρία κυματοσυναρτήρησης. Φορμαλισμός Dirac και φορμαλισμός μητρώων.

Εφαρμογές σε μονοδιάστατα πηγάδια δυναμικού. Το απειρόβαθο πηγάδι με συμμετρικά όρια και η περιοδική του περίπτωση. Συνδυασμός απειρόβαθου και πεπερασμένου πηγαδιού. Το τριγωνικό πηγάδι δυναμικού και εφαρμογή σε MOSFET. Το συμμετρικό πεπερασμένο πηγάδι δυναμικού και σύνδεση με ημιαγωγία κβαντικά πηγάδια. Το διπλό κβαντικό πηγάδι με άπειρα άκρα. Μέθοδος πεπερασμένων διαφορών για αριθμητική επίλυση της χρονικά ανεξάρτητης εξίσωσης Schrödinger και εφαρμογές της. Μέθοδος ανάπτυξης σε περιορισμένη βάση κυματοσυναρτήσεων για αριθμητική επίλυση της χρονικά ανεξάρτητης εξίσωσης Schrödinger και εφαρμογές της.

Δισδιάστατο και τρισδιάστατο πηγάδι δυναμικού. Εκφυλισμός. Σύνδεση με ημιαγωγία κβαντικά νήματα και ημιαγωγίες κβαντικές τελείες. Πυκνότητα καταστάσεων σε μια, δύο και τρεις διαστάσεις. Υποζώνες σε κβαντικά πηγάδια.

Μονοδιάστατα προβλήματα σκέδασης και φαινομένου σήραγγας με τη μέθοδο του πίνακα διάδοσης. Απλό ορθογώνιο σκαλοπάτι και ασύμμετρο σκαλοπάτι. Διπλό τετραγωνικό σκαλοπάτι, πρόβλημα συντονιστικού φαινομένου σήραγγας και σύνδεση με τη δίοδο συντονισμού σήραγγας. Η μέθοδος WKB για προσεγγιστικό υπολογισμό του συντελεστή διέλευσης και παραδείγματα σχετικά με ημιαγωγίες διατάξεις.

Αρμονικός ταλαντωτής και εφαρμογές του. Η αλγεβρική λύση του αρμονικού ταλαντωτή. Τελεστές δημιουργίας και καταστροφής. Αλγεβρική κατασκευή των κυματοσυναρτήσεων. Τεχνικές υπολογισμού μέσω τιμών και στοιχείων μήτρας. Κβάντωση του κυκλώματος LC. Κβάντωση της ταλάντωσης του πλέγματος – φωνόνια. Κίνηση ελεύθερου ηλεκτρονίου σε μαγνητικό πεδίο, καταστάσεις Landau, σύνδεση με ημικλασική τροχιά και προσθήκη εγκάρσιου περιορισμού. Σύνδεση καταστάσεων Landau με κβαντικό φαινόμενο Hall.

Ηλεκτρόνιο σε κεντρικό δυναμικό και εφαρμογή σε σφαιρικό «σκλήρο» δυναμικό και σε πεπερασμένο σφαιρικό δυναμικό. Υπενθύμιση λύσης για υδρογονοειδή συστήματα και εφαρμογές σε υδρογονικές ατέλειες σε ημιαγωγούς και εξιτόνια σε ημιαγωγούς.

Προσεγγιστικές μέθοδοι. Η χρονικά ανεξάρτητη θεωρία διαταραχών μη-εκφυλισμένης στάθμης και εφαρμογές της πέρα από την πρώτη τάξη στην ενέργεια. Παραδείγματα: φαινόμενο Stark σε κβαντικό πηγάδι και ο μετατοπισμένος αρμονικός ταλαντωτής. Η χρονικά ανεξάρτητη θεωρία διαταραχών εκφυλισμένης στάθμης και εφαρμογές της. Χρονικά ανεξάρτητη θεωρία διαταραχών σχεδόν εκφυλισμένης στάθμης. Η προσέγγιση WKB για δέσμιες καταστάσεις και εφαρμογές σχετικές με χαμηλοδιάστατα συστήματα. Η ξαφνική προσέγγιση.

Περιοδικά δυναμικά και πλέγματα. Περιοδικά δυναμικά και το θεώρημα του Bloch. Το σχεδόν ελεύθερο ηλεκτρόνιο και η εξαγωγή της ενεργούς μάζας. Ηλεκτρόνιο σε ασθενές περιοδικό δυναμικό και υπερπλέγματα. Μονοδιάστατο υπερπλέγμα κβαντικών τελειών. Η μέθοδος της ισχυρής δέσμησης, εφαρμογή της σε μια απλό μονοδιάστατο πλέγμα και δομή ζώνης. Η μέθοδος της ισχυρής δέσμησης στο γραφένιο. Ο κώνος Dirac. Εφαρμογή της μεθόδου ισχυρής δέσμησης στο τοπολογικό μοντέλο Su-Schrieffer-Heeger (SSH).

Στο μάθημα θα υπάρξουν και υπολογιστικά εργαστήρια που θα παρουσιαστούν διάφορες αριθμητικά αποτελέσματα, είτε με ελεύθερα διαθέσιμα υπολογιστικά προγράμματα είτε με προγράμματα που έχει φτιάξει ο διδάσκων.

#### 4. ΔΙΔΑΚΤΙΚΕΣ και ΜΑΘΗΣΙΑΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ - ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ

<p><b>ΤΡΟΠΟΣ ΠΑΡΑΔΟΣΗΣ</b>  <i>Πρόσωπο με πρόσωπο, Εξ αποστάσεως εκπαίδευση κ.λπ.</i></p>	<p>Πρόσωπο με πρόσωπο</p>																									
<p><b>ΧΡΗΣΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΚΑΙ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ</b>  <i>Χρήση Τ.Π.Ε. στη Διδασκαλία, στην Εργαστηριακή Εκπαίδευση, στην Επικοινωνία με τους φοιτητές</i></p>	<p>Η διδασκαλία του μαθήματος γίνεται τόσο με την χρήση πίνακα όπου αναλύεται διεξοδικά η θεωρία, όσο και με χρήση ΗΥ και σχετικού πίνακα προβολής όπου γίνονται υπολογιστικά εργαστήρια επίδειξης και χρησιμοποιούνται είτε ελεύθερα διαθέσιμα υπολογιστικά προγράμματα, είτε υπολογιστικά προγράμματα που έχει φτιάξει ο διδάσκοντας, για την επίλυση των σχετικών εξισώσεων και την οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων σε σχήματα. Τα προγράμματα αυτά θα εξηγούνται στους φοιτητές και θα είναι διαθέσιμα στους φοιτητές για τη χρήση τους.</p>																									
<p><b>ΟΡΓΑΝΩΣΗ ΔΙΔΑΣΚΑΛΙΑΣ</b>  <i>Περιγράφονται αναλυτικά ο τρόπος και μέθοδοι διδασκαλίας.          Διαλέξεις, Σεμινάρια, Εργαστηριακή Άσκηση, Άσκηση Πεδίου, Μελέτη &amp; ανάλυση βιβλιογραφίας, Φροντιστήριο, Πρακτική (Τοποθέτηση), Κλινική Άσκηση, Καλλιτεχνικό Εργαστήριο, Διαδραστική διδασκαλία, Εκπαιδευτικές επισκέψεις, Εκπόνηση μελέτης (project), Συγγραφή εργασίας / εργασιών, Καλλιτεχνική δημιουργία, κ.λπ.</i></p> <p><i>Αναγράφονται οι ώρες μελέτης του φοιτητή για κάθε μαθησιακή δραστηριότητα καθώς και οι ώρες μη καθοδηγούμενης μελέτης ώστε ο συνολικός φόρτος εργασίας σε επίπεδο εξαμήνου να αντιστοιχεί στα standards του ECTS</i></p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th data-bbox="643 965 1171 1032"><i>Δραστηριότητα</i></th> <th data-bbox="1171 965 1522 1032"><i>Φόρτος Εργασίας Εξαμήνου</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="643 1032 1171 1066">Διαλέξεις</td> <td data-bbox="1171 1032 1522 1066">26</td> </tr> <tr> <td data-bbox="643 1066 1171 1133">Εργαστηριακή άσκηση (υπολογιστική) και επίλυση ασκήσεων από το διδάσκοντα</td> <td data-bbox="1171 1066 1522 1133">13</td> </tr> <tr> <td data-bbox="643 1133 1171 1167">Μελέτη και ανάλυση βιβλιογραφίας</td> <td data-bbox="1171 1133 1522 1167">111</td> </tr> <tr> <td data-bbox="643 1167 1171 1200"></td> <td data-bbox="1171 1167 1522 1200"></td> </tr> <tr> <td data-bbox="643 1200 1171 1234"></td> <td data-bbox="1171 1200 1522 1234"></td> </tr> <tr> <td data-bbox="643 1234 1171 1267"></td> <td data-bbox="1171 1234 1522 1267"></td> </tr> <tr> <td data-bbox="643 1267 1171 1301"></td> <td data-bbox="1171 1267 1522 1301"></td> </tr> <tr> <td data-bbox="643 1301 1171 1335"></td> <td data-bbox="1171 1301 1522 1335"></td> </tr> <tr> <td data-bbox="643 1335 1171 1368"></td> <td data-bbox="1171 1335 1522 1368"></td> </tr> <tr> <td data-bbox="643 1368 1171 1402"></td> <td data-bbox="1171 1368 1522 1402"></td> </tr> <tr> <td data-bbox="643 1402 1171 1469"><b>Σύνολο Μαθήματος</b></td> <td data-bbox="1171 1402 1522 1469"><b>150</b></td> </tr> </tbody> </table>		<i>Δραστηριότητα</i>	<i>Φόρτος Εργασίας Εξαμήνου</i>	Διαλέξεις	26	Εργαστηριακή άσκηση (υπολογιστική) και επίλυση ασκήσεων από το διδάσκοντα	13	Μελέτη και ανάλυση βιβλιογραφίας	111															<b>Σύνολο Μαθήματος</b>	<b>150</b>
<i>Δραστηριότητα</i>	<i>Φόρτος Εργασίας Εξαμήνου</i>																									
Διαλέξεις	26																									
Εργαστηριακή άσκηση (υπολογιστική) και επίλυση ασκήσεων από το διδάσκοντα	13																									
Μελέτη και ανάλυση βιβλιογραφίας	111																									
<b>Σύνολο Μαθήματος</b>	<b>150</b>																									
<p><b>ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΦΟΙΤΗΤΩΝ</b>  <i>Περιγραφή της διαδικασίας αξιολόγησης</i></p> <p><i>Γλώσσα Αξιολόγησης, Μέθοδοι αξιολόγησης, Διαμορφωτική ή Συμπερασματική, Δοκιμασία Πολλαπλής Επιλογής, Ερωτήσεις Σύντομης Απάντησης, Ερωτήσεις Ανάπτυξης Δοκιμίων, Επίλυση Προβλημάτων, Γραπτή Εργασία, Έκθεση / Αναφορά, Προφορική</i></p>	<p>Η αξιολόγηση των φοιτητών θα γίνεται με συνδυασμό των παρακάτω. Ασκήσεις κατά τη διάρκεια του έτους και παράδοση τους σε τακτά χρονικά διαστήματα και μελέτη επιστημονικών άρθρων στο θέμα του μαθήματος και κατάθεση σχετικής γραπτής εργασίας. Αν κριθεί απαραίτητο από το διδάσκοντα θα γίνει και τελική γραπτή εξέταση με ασκήσεις και ερωτήσεις κρίσεως. Εναλλακτικά, μπορεί να επιλεγεί μόνο τελική εξέταση με ασκήσεις και ερωτήσεις κρίσεως.</p>																									

*Εξέταση, Δημόσια Παρουσίαση,  
Εργαστηριακή Εργασία, Κλινική  
Εξέταση Ασθενούς, Καλλιτεχνική  
Ερμηνεία, Άλλη / Άλλες*

*Αναφέρονται ρητά προσδιορισμένα  
κριτήρια αξιολόγησης και εάν και που  
είναι προσβάσιμα από τους φοιτητές;*

## **5. ΣΥΝΙΣΤΩΜΕΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

**-Προτεινόμενη Βιβλιογραφία :**

**-Συναφή επιστημονικά περιοδικά:**

- Quantum Mechanics: An introduction for device physicists and electrical engineers, D. K. Ferry, 3<sup>rd</sup> edition, CRC Press
- Applied Quantum Mechanics, 2<sup>nd</sup> edition, A. F. J. Levi, Cambridge University Press
- Quantum Mechanics: Fundamentals and applications to technology, J. Singh, Wiley
- Introductory Applied Quantum and Statistical Mechanics, P. L. Hagelstein et al., Wiley
- Quantum Mechanics for Nanostructures, V. V. Mitin et al., Cambridge University Press
- Introductory Quantum Mechanics for Applied Nanotechnology, D. M. Kim, Wiley
- Quantum Mechanics with Applications to Nanotechnology and Information Science, Y. Band and Y. Avishai, Elsevier
- Practical Quantum Mechanics: Modern tools and applications, E. Manousakis, Oxford University Press
- The Physics of Low-Dimensional Semiconductors, J. H. Davies, Cambridge University Press
- Αρχές Νανοηλεκτρονικής, G. W. Hanson, Εκδόσεις Τζιόλα