

# Избранные разделы квантовой механики

## Лекторы:

Никита Аверкиев  
Игорь Рожанский



## Язык:

Русский

## Трудоемкость:

3 з.е.

## Форма контроля:

Экзамен

## Образовательная программа:

Фотоника и спинтроника

3 семестр

## Пререквизиты:

Математический анализ

Общая физика: механика

Лекции (ак.час)*	Практические занятия (ак.час)	Лабораторные занятия (ак.час)
32		
*1 академический час = 45 минутам		

В курсе излагаются избранные темы квантовой механики. Изложение включает операторный и матричный методы квантовой механики, квантование физических систем, теорию углового момента и спина, теорию возмущений и квантовых переходов, задачу рассеяния, вторичное квантование, релятивистское описание, расчет зонной структуры твердых тел, некоторые понятия квантовой теории поля. В курс включены примеры и задачи из разных областей квантовой физики.

## Содержание курса

### 3 семестр

#### Избранные разделы квантовой механики

##### Структура курса

Разделы	Лекции (ак.ч.)
Операторы и наблюдаемые. Волновая функция Принцип неопределенности. Нестационарное уравнение Шредингера. Временная эволюция. Прецессия спина в магнитном поле. Задача об осцилляциях нейтрино.	2
Дискретный спектр. Квантовая яма с бесконечными стенками и конечной глубины. Реальные квантовые ямы в гетероструктурах. Гетероструктуры с инверсной зонной структурой. Задача о критической толщине квантовой ямы HgTe/CdTe. Аналогия между модами в диэлектрическом волноводе и волновой функции носителя в одномерной потенциальной яме.	2
Туннелирование через потенциальный барьер. Уравнение неразрывности и сохранение потока. Метод матриц переноса. Туннелирование частиц. Резонансное туннелирование БрейтаВигнера, вывод коэффициента прохождения.	2
Движение электрона в магнитном поле. Уровни Ландау. Преобразование волновой функции при изменении калибровки лекция векторного потенциала. Целочисленный квантовый эффект Холла. Волновая функция электрона в магнитном поле в двумерном случае. Магнитная длина. Квантование поперечной проводимости. Краевые состояния	2
Оператор углового момента как генератор вращений. Вывод основных свойств оператора углового момента из коммутационных соотношений поворотов. Орбитальный момент и спин.	2
Стационарная теория возмущений. Квантоворазмерный эффект Штарка в светодиодных гетероструктурах. Спин в магнитном поле. Эффект Зеемана линейный. Стационарная теория возмущений для вырожденного уровня Эффект Зеемана квадратичный	2
Теория рассеяния. Амплитуда и сечение рассеяния. Борновское приближение. Т-матрица. Фазовая теория рассеяния. Оптическая теорема. Рассеяние на твердой сфере	2
Нестационарная теория возмущений. Вероятность и скорость квантовых переходов для различных типов нестационарных возмущений. Золотое правило Ферми. Правила отбора для оптических переходов. Медленные возмущения, фаза Берри.	2
Тождественные частицы. Обменное взаимодействие. Потенциальный обмен в системе с центральным кулоновским потенциалом, правило Хунда (вывод). Молекула водорода. Эффективный гамильтониан Гейзенберга. Расщепление энергетических уровней по суммарному спиновому моменту. Энергия и волновые функции триплетного и синглетного состояний.	2
Минимальные модели метода сильной связи. Физические причины образования химической связи. Модель Хаббарда. Вычисление энергии и волновых функций низкоэнергетических состояний с помощью downfolding. Одночастичная функция Грина. Связь функции Грина с плотностью состояний. Косвенное обменное взаимодействие в системе с двумя узлами.	2
Вторичное квантование. Волновая функция в представлении вторичного квантования. Правила коммутации для операторов рождения и уничтожения. Выражение операторов физических наблюдаемых в представлении вторичного квантования. Гамильтониан приближения сильной связи в представлении вторичного квантования. Расчет энергетического спектра одномерной цепочки.	2
sp <sup>3</sup> -гибридизация. Вид волновой функции основного состояния. Графен. Гамильтониан в модели сильной связи в приближении несвязанных подрешеток. Гамильтониан графена в импульсном представлении. Вывод линейного энергетического спектра в окрестности К-точки. Псевдоспин в графене. Связь псевдоспина с квазиимпульсом. Псевдоспин в двухуровневой системе.	2
Уравнение Дирака в одномерном и трехмерном случае. Вывод уравнения Паули. Разложение по степеням v/c, релятивистские поправки. Спин-орбитальное взаимодействие. Клейновское туннелирование. Краевое состояние на границе материалов с разным знаком массы. Связь инверсии зонной структуры со спин-орбитальным взаимодействием. Связь спина с импульсом в краевом состоянии.	2
Теорема Блоха. k·p теория возмущений с учетом спин-орбитального взаимодействия. Расчет энергетического спектра и эффективной массы электронов, легких и тяжелых дырок. Расщепление энергетических подзон за счет внутризонных матричных элементов, линейные по k слагаемые. Спин-орбитальное взаимодействие Рашбы и Дрессельхауза. Связь среднего спина с квазиимпульсом.	2

Симметрия по отношению к инверсии времени. Свойства оператора инверсии времени. Теорема Крамерса. Симметрия по отношению к пространственной инверсии. Линейные по k слагаемые, обусловленные спин-орбитальным взаимодействием с точки зрения симметрий к инверсии времени и пространственной инверсии.	2
Представления Шредингера, Гейзенберга. представление взаимодействия. Полевые операторы. Выражение операторов физических наблюдаемых через полевые операторы. Функция Грина многочастичной системы. Связь наблюдаемых с функцией Грина.	2

### Рекомендуемые ресурсы

1. Квантовая механика. (2-е изд.) / Л. Шифф – М.: ИЛ \_\_\_\_ , 1959 – ISBN 978-0070856431.
2. Квантовая механика (нерелятивистская теория). — Издание 6-е, исправленное. / Ландау, Л. Д., Лифшиц, Е. М. — М.: Физматлит, 2004. — 800 с. — («Теоретическая физика», том III). — ISBN 5-9221-0530-2.
3. Задачи по квантовой механике / В.М. Галицкий, Б.М. Карнаков, В.И. Коган, М.:Наука, 2001 - 301 с.: ил. ISBN: 5-02-014365-0.
4. Квантовая механика (3-е изд.) / А.С. Давыдов - С.-Петербург.: БХВ-Петербург, 2011 - 704 с.: ил. ISBN: 978-5-9775-0548-2.
5. Quantum Mechanics /D. H. McIntyre - Pearson. 2014 - 815 с ил. ISBN 978-4-292-02083-
6. Modern quantum mechanics. - 2nd ed. / J.J. Sakurai, J. Napolitano, – Addison-Wesley, 2011. – 550 p. – ISBN: 978-0-8053-8291-4.
7. Quantum Mechanics. A New Introduction/ K.Konishi, G.Pafutti - Oxford University Press, 2009 - 778 с. ил. ISBN 978-0-19-956026-4
8. Квантовая механика : курс лекций / В. В. Киселев. - Москва : Издательство МЦНМО, 2009. - 560 с. : ил. ; ISBN 978-5-94057-497-2
9. Задачи по квантовой механике : [в 2 т.] / З. Флюгге ; Москва : URSS, Т. 1. - 2009. - 341 с. : ил. - ISBN 978-5-382-01090-8 :
10. Introduction to quantum mechanics / D. Griffiths (2nd Edition), Pearson, 2014 - 469 с. ил. - ISBN 978-0131118928

### Тип самостоятельных заданий

- 1) Определить критическую толщину квантовой ямы в гетероструктуре на основе HgTe/CdTe, отвечающую переходу из нормальной к инверсной зонной структуре.
- 2) Гамильтониан взаимодействия спинов двух электронов имеет вид  $H = J \mathbf{S}_1 \cdot \mathbf{S}_2$ . Найти уровни энергии и кратности вырождения собственных состояний данной системы.