

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
профессионального образования
«Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова»
Факультет фундаментальной физико-химической инженерии

УТВЕРЖДЕН

на заседании Ученого совета

« 14 » июня 2013 г.

протокол № 4

Заместитель декана по учебной работе

_____ / Григорьева Л.Д. /

« 14 » июня 2013 г.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС

дисциплины «КВАНТОВАЯ МЕХАНИКА»

Специальность
010701 "Физика"

Квалификация
"Физик"

Форма обучения
очная

УМК соответствует учебному плану
подготовки,
утвержденному ректором Московского
государственного университета им.
М.В.Ломоносова академиком РАН В.А.
Садовничим 23.10.2009

Москва 2013

Название дисциплины: Квантовая механика.

1. Цели и задачи освоения дисциплины:

Цели: сформировать научный метод мышления, воспитать инженерную интуицию, подготовить студентов к изучению теоретических и специальных курсов физики.

Задачи: ознакомление учащихся с основными идеями и положениями, лежащими в основе квантовой механики, развитие представлений о математическом аппарате квантовой механики и формирование навыков его применения, освоение методов решения простейших задач квантовой механики и подходов к анализу их результатов.

2. Требования к результатам освоения содержания дисциплины:

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

Знать: основные законы и закономерности, определяющие направление и результат протекания процессов, способы аналитического представления этих закономерностей.

Уметь: формулировать конкретные задачи на основе законов и закономерностей, освоенных в курсе квантовой теории; получать данные, проводить их математическую обработку, обобщать полученные результаты.

Владеть: расчетными методами решения задач, навыками поиска данных в открытых источниках (в том числе, в информационных базах данных) и применять их при решении практических задач.

Приобрести опыт деятельности: в анализе, формулировке и решении конкретных задач, интересующих фундаментальную науку и практику.

3. Содержание и структура дисциплины

3.1. Содержание разделов дисциплины (К – коллоквиум, Т – проверочная самостоятельная работа (тест), РК - рубежная контрольная работа, ДЗ – домашнее задание, РГЗ – расчетно-графическое задание)

№ раздела	Наименование раздела	Содержание раздела	Форма текущего контроля
1	Математический аппарат и основные положения квантовой механики.	Пространство состояний (гильбертово пространство), его размерность. Векторы состояний. Базис. Операторы, их собственные векторы и собственные значения, дискретный и непрерывный спектры. Унитарные преобразования. Принципы физического описания (амплитуда, плотность и поток вероятности). Средние значения физических величин. Стационарные состояния. Дуализм явлений микромира, дискретные свойства волн, волновые свойства частиц. Соотношение неопределенности для некоммутирующих динамических переменных. Уравнения Гейзенберга для операторов. Принцип суперпозиции. Чистые и смешанные состояния. Эволюция состояний и физических величин.	РК, ДЗ

2	Уравнение Шредингера.	Уравнение Шредингера и его свойства. Требования к решениям. Ток и уравнение непрерывности. Стационарные состояния, дискретный и непрерывный спектр энергий. Интегралы движения и симметрии. Простые одномерные задачи. Теория представлений. Общие свойства одномерного движения гармонического осциллятора. Прямоугольная яма. Прохождение через барьер. Туннельный эффект. Дельта-функциональный потенциал. Общие свойства спектра (дискретность, непрерывность, наличие связанного состояния) для одномерного движения. Уравнение Шредингера в импульсном представлении. Линейный гармонический осциллятор. Решение дифференциального уравнения. Связь с классическим описанием для состояний с высокой энергией. Введение операторов рождения и уничтожения квантов и нахождение векторов состояний в формализме чисел заполнения.	РК, ДЗ
3.	Квазиклассическое приближение	Связь с классической механикой и квазиклассическое приближение. Уравнения Эренфеста. Вид волновой функции в квазиклассике, нарушение условий ее применимости вблизи точек поворота. Формулы шивки волновой функции. Фinitное движение и правило квантования Бора. Инфинитное движение и прохождение через потенциальный барьер.	РК, ДЗ
4	Момент импульса	Оператор момента. Коммутационные соотношения для компонент орбитального момента. Общие следствия коммутационных соотношений. Собственные векторы и собственные значения операторов момента. Орбитальный момент в координатном представлении. Сферические функции и их свойства. Сложение моментов, коэффициенты Клебша-Гордона. Спин электрона. Оператор спина. Матрицы Паули и их свойства. Спиновая волновая функция. Спиновая матрица плотности. Оператор магнитного момента электрона. Уравнение Шредингера во внешнем электромагнитном поле (уравнение Паули). Градиентная инвариантность. Движение электронов в однородном магнитном поле. Уровни Ландау. Спин в переменном магнитном поле. Атом. Периодическая система элементов Менделеева. Химическая связь, молекулы.	РК, ДЗ

5	Движение в центрально-симметричном поле.	Свободное движение. Разложение плоской волны по сферическим функциям. Разделение переменных в задаче двух тел. Радиальное уравнение, асимптотика и нули волновой функции. Сферическая прямоугольная потенциальная яма. Пространственно-изотропный осциллятор. Водородоподобный атом. Энергетический спектр, волновые функции, случайное вырождение. Зависимость результатов от величины заряда и масс. Позитроний, мезоатомы. Квантование электромагнитного поля. Общая теория переходов.	РК, ДЗ
6	Теория возмущений	Стационарная теория возмущений для невырожденного дискретного спектра. Случай вырождения. Теория возмущений для двух близких уровней. Нестационарная теория возмущений. Переходы в дискретном спектре под действием ограниченного по времени возмущения. Внезапные и адиабатические возмущения. Периодические по времени возмущения. Случай, близкий к резонансу. Переходы в непрерывный спектр.	РК, ДЗ
7	Теория рассеяния	Переходы в непрерывном спектре под действием постоянного возмущения. Сечение рассеяния. Функция Грина для одночастичного уравнения Шредингера, выбор полюсов для задачи рассеяния. Связь амплитуды рассеяния с точной волновой функцией. Амплитуда в борновском приближении, критерий применимости для медленных и быстрых частиц.	ДЗ
8	Системы тождественных частиц.	Вторичное квантование, системы с неопределенным числом частиц. Неразличимость одинаковых частиц в квантовой механике. Следствия для симметрии волновых функций. Статистика Бозе и Ферми. Принцип Паули. Волновые функции в представлении чисел заполнения. Операторы рождения и уничтожения. Их правила коммутации для Бозе и Ферми частиц. Роль спиновой части волновых функций.	ДЗ

3.2. Структура дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 124 часа, из них лекции – 36 часов, семинары – 36 часов, самостоятельная работа – 52 часа.

Вид работы	Семестр 7	Всего
Общая трудоемкость	124	124
Аудиторная работа:	72	72
Лекции (Л)	36	36
Практические занятия (ПЗ)	36	36
Лабораторные работы (ЛР)	0	0
Самостоятельная работа	52	52
Вид итогового контроля	Зачет, экзамен	

Разделы дисциплины по семестрам

№ раздела	Наименование раздела	Количество часов				
		Всего	Аудиторная работа			Внеаудиторная работа
			Л	ПЗ	ЛР	
1	Математический аппарат и основные положения квантовой механики	12	4	4		4
2	Стационарное уравнение Шредингера.	22	6	6		10
3	Квазиклассическое приближение	12	4	4		4
4	Момент импульса	22	6	6		10
5	Движение в центрально-симметричном поле.	14	4	4		6
6	Теория возмущений	16	4	6		6
7	Теория рассеяния	16	4	4		8
8	Системы тождественных частиц.	10	4	2		4
	Итого:	124	36	36		52

3.3. Практические занятия (семинары)

№ раздела	№ занятия	Тема	Кол-во часов
1	1	Эрмитовы и унитарные операторы и их свойства	2
	2	Средние значения и соотношения неопределенностей	2
2	3	Одномерное уравнение Шредингера для связанных состояний	2
	4	Одномерное уравнение Шредингера для задач рассеяния на потенциальном барьере	2
	5	Гармонический осциллятор в квантовой механике	2
3	6	Квазиклассическое приближение	4
4	7	Коммутационные соотношения для компонент орбитального момента и их следствия	2
	8	Сферические функции, сложение моментов, коэффициенты Клебша-Гордона	2
	9	Спин электрона. Уравнение Шредингера во внешнем электромагнитном поле (уравнение Паули).	2
5	10	Радиальное уравнение. Сферическая прямоугольная потенциальная яма.	2
	11	Водородоподобные атомы	2
6	12	Стационарная теория возмущений.	4
	13	Возмущения, зависящие от времени. Двухуровневая система.	2
7	14	Борновское приближение в теории рассеяния	2
	15	Переходы в непрерывном спектре под действием постоянного возмущения.	2
8	16	Волновые функции в представлении чисел заполнения	2

		ния. Операторы рождения и уничтожения	
--	--	---------------------------------------	--

3.4. Самостоятельное изучение разделов дисциплин

№ раздела	№ вопроса	Вопросы, выносимые на самостоятельное изучение	Кол-во часов
1	1	Ортогональные проекторы в унитарных пространствах	2
	2	Дискретный и непрерывный спектры операторов Уравнения Гейзенберга для операторов	2
2	4	Уравнение Шредингера в импульсном представлении.	4
	5	Ток и уравнение непрерывности	2
	6	Простые одномерные задачи с кусочно-постоянным потенциалом.	4
3	7	Правило квантования Бора-Зоммерфельда	4
4	8	Операторы орбитального момента в координатном представлении	4
	9	Градиентная инвариантность	2
	10	Уровни Ландау электрона в магнитном поле.	4
5	11	Разложение плоской волны по сферическим функциям.	4
	12	Разделение переменных в задаче двух тел в квантовой механике	2
6	13	Теория возмущений для вырожденного уровня	4
	14	Внезапные и адиабатические возмущения	2
7	15	Критерий применимости Борновского приближения для медленных и быстрых частиц	4
	16	Переходы в дискретном спектре под действием ограниченного по времени возмущения	4
8	17	Принцип Паули в строении атома.	4

4. Образовательные технологии

4.1. Интерактивные образовательные технологии, используемые в аудиторных занятиях

Семестр	Вид занятия	Интерактивные образовательные технологии	Кол-во часов
7	Лекции, семинары	мультимедийный проектор, презентация, интерактивная доска	72
Итого			72

5. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации

Вариант контрольной работы

1. Операторы \hat{L} и \hat{M} удовлетворяют соотношению $[\hat{L}, \hat{M}] = 1$. Найти $[\hat{L}, \hat{M}^2]$, $[\hat{L}, \hat{M}^3]$ и, вообще, $[\hat{L}, \hat{M}^n]$ для любых целых $n > 0$.
2. Найти общие собственные функции гамильтониана одномерного свободного движения и оператора инверсии \hat{I} ($(\hat{I}f)(x) = f(-x)$).
3. Найти оценку сверху для энергии основного состояния одномерного гармонического осциллятора, используя вариационную функцию $\varphi(x) \sim 1 - \alpha|x|$, $|x| < \alpha^{-1}$, $\varphi(x) = 0$, $|x| > \alpha^{-1}$.
4. В первом порядке теории возмущений найти поправку к энергии связанного состояния, локализованного на потенциальной яме $U(x) = -Q\delta(x)$, $Q > 0$, при наложении возмущения $V(x) = V_0 \exp(-\gamma|x|)$.

Вопросы для подготовки к экзамену:

1. Эксперименты, демонстрирующие корпускулярно-волновой дуализм: фотоэффект, эффект Комптона, дифракция электронов.
2. Математический аппарат квантовой механики. Пространство состояний. Базис. Операторы, их собственные векторы и собственные значения, дискретный и непрерывный спектры. Наблюдаемые в квантовой механике.
3. Принципы физического описания (амплитуда, плотность, поток вероятности). Средние значения физических величин. Стационарные состояния.
4. Соотношение неопределенности для некоммутирующих наблюдаемых.
5. Уравнения Гейзенберга для операторов.
6. Уравнение Шредингера и его свойства. Требования к решениям. Ток и уравнение непрерывности. Стационарные состояния, дискретный и непрерывный спектр энергий.
7. Интегралы движения и симметрии в квантовой механике.
8. Уровни энергии и волновые функции частицы в одномерной прямоугольной потенциальной яме конечной глубины. Наличие или отсутствие уровня в мелкой яме (зависимость от размерности пространства).
9. Уравнение Шредингера в импульсном представлении.
10. Частица в однородном поле, асимптотика волновой функции по обе стороны от точки поворота.
11. Линейный гармонический осциллятор. Решение дифференциального уравнения. Связь с классическим описанием для высоких состояний.
12. Операторы рождения и уничтожения квантов для линейного гармонического осциллятора и нахождение векторов состояний в формализме чисел заполнения.
13. Связь с классической механикой и квазиклассическое приближение. Уравнения Эренфеста. Вид волновой функции в квазиклассике, нарушение условий ее применимости вблизи точек поворота. Фinitное движение и правило квантования Бора.
14. Инфинитное движение и прохождение через потенциальный барьер.

15. Оператор момента импульса. Коммутационные соотношения для компонент орбитального момента. Общие следствия коммутационных соотношений. Собственные векторы и собственные значения операторов момента.
16. Орбитальный момент в координатном представлении. Сферические функции и их свойства. Сложение моментов, коэффициенты Клебша-Гордона.
17. Спин электрона. Оператор спина. Матрицы Паули и их свойства. Спиновая волновая функция.
18. Оператор магнитного момента электрона. Уравнение Шредингера во внешнем электромагнитном поле (уравнение Паули). Градиентная инвариантность. Движение электронов в однородном магнитном поле. Уровни Ландау.
19. Движение в центрально-симметричном поле. Разделение переменных в задаче двух тел. Радиальное уравнение, асимптотика и нули волновой функции.
20. Сферическая прямоугольная потенциальная яма. Случай одного мелкого уровня.
21. Пространственно-изотропный осциллятор.
22. Водородоподобный атом. Энергетический спектр, волновые функции, случайное вырождение. Зависимость результатов от величины заряда и масс.
23. Стационарная теория возмущений. Дискретный спектр. Случай вырождения. Эффект Штарка в водороде.
24. Нестационарная теория возмущений. Переходы в дискретном спектре под действием ограниченного по времени возмущения. Внезапные и адиабатические возмущения.
25. Нестационарная теория возмущений. Периодические по времени возмущения. Случай, близкий к резонансу. Переходы в непрерывный спектр.
26. Переходы в непрерывном спектре под действием постоянного возмущения. Сечение рассеяния. Функция Грина для одночастичного уравнения Шредингера, выбор полюсов для задачи рассеяния.
27. Фазовая теория потенциального рассеяния. Разложение плоской волны по сферическим функциям.
28. Связь амплитуды рассеяния с точной волновой функцией. Амплитуда рассеяния в Борновском приближении, критерий применимости для медленных и быстрых частиц.
29. Системы тождественных частиц. Неразличимость одинаковых частиц в квантовой механике. Следствия для симметрии волновых функций.
30. Статистика Бозе и Ферми. Принцип Паули. Волновые функции в представлении чисел заполнения. Операторы рождения и уничтожения. Их правила коммутации для Бозе и Ферми частиц. Роль спиновой части волновых функций.

6. Учебно-методическое обеспечение дисциплины

6.1. Основная литература (к семестру 6)

1. Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц. Квантовая механика. Москва, “Наука”, 1989.
2. А. С. Давыдов. Квантовая механика. Москва, “Наука”, 1973.
3. П. А. Дирак. Принципы квантовой механики. Москва, “Наука”, 1979.
4. Д. И. Блохинцев. Основы квантовой механики. Москва, “Наука”, 1976.
5. В. М. Галицкий, Б. М. Карнаков, В. И. Коган. Задачи по квантовой механике. 2-е издание, Москва, “Наука”, 1992.

6.2. Дополнительная литература (к семестру 6)

1. А. Мессиа. Квантовая механика. Москва, “Наука”, Том 1, 1978. Том 2. 1979.
2. Л. Шифф. Квантовая механика. Москва, ИЛ, 1957.
3. З. Флюгге. Задачи по квантовой механике. Москва, “Мир” Том 1, 1974. Том 2, 1975.

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Лекционные занятия проводятся в специально оборудованной аудитории с мультимедийным оборудованием. Вспомогательный материал в виде презентаций и электронных учебных материалов доступен студентам на сайте факультета.