

Белорусский государственный университет

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе

Белорусского государственного университета

А.Л. Толстик

(подпись)

05.07.16

(Дата утверждения)

Регистрационный № УД- 2531 /уч.

КВАНТОВАЯ МЕХАНИКА

**Учебная программа учреждения высшего образования
по учебной дисциплине для специальностей:**

1-31 04 01 Физика (по направлениям),

направлениям специальности:

1-31 04 01-02 Физика (производственная деятельность);

1-31 04 01-03 Физика (научно-педагогическая деятельность);

1-31 04 01-04 Физика (управленческая деятельность)

Минск 2016 г.

Учебная программа составлена на основе «Типовой учебной программы по учебной дисциплине «Квантовая механика» для специальностей: 1-31 04 01 Физика (по направлениям), направлениям специальности: 1-31 04 01-02 Физика (производственная деятельность); 1-31 04 01-03 Физика (научно-педагогическая деятельность); 1-31 04 01-04 Физика (управленческая деятельность), утвержденной 17.03.2016, № ТД-G.554/тип.

СОСТАВИТЕЛИ:

А.К. Горбацевич – профессор кафедры теоретической физики Белорусского государственного университета, доктор физико-математических наук, профессор;

Г.С. Шуляковский – доцент кафедры теоретической физики Белорусского государственного университета, кандидат физико-математических наук, доцент.

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

Кафедра общей физики Учреждения образования «Белорусский государственный педагогический университет имени Максима Танка»;

В.И. Мурзов – доцент кафедры физики Учреждения образования "Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники"; кандидат физико-математических наук, доцент.

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой теоретической физики и астрофизики Белорусского государственного университета (протокол № 10 от 23.05.2016 г.);

Научно-методическим советом Белорусского государственного университета
(протокол № 6 от 31.05.2016 г.);

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Целью дисциплины «Квантовая механика» является изучение студентами основ квантовой механики, овладение ее понятийным и математическими аппаратами, получение представлений о физике микромира.

Задачи изучения дисциплины:

- изучение математического аппарата квантовой механики;
- рассмотрение процедуры измерения в квантовой механике, описания квантовомеханического состояния системы и физических величин (наблюдаемых);
- расчет простейших квантовомеханических систем;
- изучение различных приближенных методов, используемых в квантовой механике.

Дисциплина «Квантовая механика», читаемая после разделов «Теоретическая механика» и «Электродинамика» курса теоретической физики, представляет собой основу для последующих разделов этого курса. В ней вводятся основные понятия и методы квантовой теории, способы теоретического описания, количественного и качественного анализа квантовых процессов в системах, состоящих из одной или многих частиц, а также в системах с неопределенным или меняющимся числом частиц. Математической и методической базой курса являются все разделы курса математики и теоретической физики, изученные студентами прежде.

Изложение раздела «Квантовая механика» строится таким образом, чтобы у студентов сформировалось глубокое понимание закономерностей микромира. Они должны овладеть математическим аппаратом квантовой механики и уметь использовать его для решения конкретных физических задач. Излагая важнейшие приложения, особое внимание следует уделять разъяснению физической сущности рассматриваемого явления, современной интерпретации квантовых процессов и, в особенности, процедуре измерения. При изучении приближенных методов особое внимание следует обращать на условия применения данного приближения и вытекающие из него ограничения.

Учитывая, что основы квантовой механики и истории ее развития студентам уже известны, при изложении квантовой механики уже в начале курса вводятся понятия векторов и операторов в гильбертовом пространстве, для которых используются обозначения Дирака. Такой подход позволяет студентам активно овладеть аппаратом квантовой механики, широко используемым в современной научной литературе, и глубже понять основные закономерности квантовых систем. Однако с учетом специфики подготовки специалистов также возможно и изложение квантовой механики преимущественно в координатном представлении, с введением дираковских векторов при изучении теории представлений. В этом случае порядок рассмотрения отдельных тем может быть изменен.

В результате изучения учебной дисциплины студент должен:

знать:

- способы описания квантовой системы;
- операторы физических величин;
- уравнение Шредингера;
- принципы описания многочастичных систем;

уметь:

- находить собственные значения и собственные функции разных операторов физических величин для практически важных случаев;
- рассчитывать движение частиц в центральном поле.

владеть:

- приближенными методами описания квантово-механических систем;
- методами расчета вероятностей переходов в квазистационарных состояниях.

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Академические компетенции:

1. Уметь применять базовые научно-теоретические знания для решения теоретических и практических задач.
2. Владеть системным и сравнительным анализом.
3. Владеть исследовательскими навыками.
4. Уметь работать самостоятельно.
5. Иметь навыки, связанные с использованием технических устройств, управлением информацией и работой с компьютером.
6. Обладать навыками устной и письменной коммуникации.
7. Уметь учиться, повышать свою квалификацию в течение всей жизни.

Социально-личностные компетенции:

1. Быть способным к социальному взаимодействию.
2. Обладать способностью к межличностным коммуникациям.
3. Быть способным к критике и самокритике.
4. Уметь работать в команде.

Профессиональные компетенции:

1. Применять знания теоретических и экспериментальных основ физики, современных технологий и материалов, методы исследования физических объектов, методы измерения физических величин, методы автоматизации эксперимента.
2. Использовать новейшие открытия в естествознании, методы научного анализа, информационные образовательные технологии, физические основы современных технологических процессов, научное оборудование и аппаратуру.
3. Пользоваться глобальными информационными ресурсами, компьютерными методами сбора, хранения и обработки информации, системами автоматизированного программирования, научно-технической и патентной литературой.
4. Применять полученные знания фундаментальных положений физики, экспериментальных, теоретических и компьютерных методов

исследования, планирования, организации и ведения научно-исследовательской, научно-производственной и научно-педагогической работы.

Предлагаемая программа составлена с учетом того, что ряд вопросов, традиционно включаемых в раздел «Квантовая механика», более широко будет рассмотрен в курсах «Термодинамика и статистическая физика». При преподавании дисциплины рекомендуется применять активные методы обучения, основу которых составляют технологии проблемного и контекстного обучения, реализуемые на лекционных и практических занятиях, а также рейтинговая система оценки знаний. При чтении лекционного курса рекомендуется применять также мультимедийные средства обучения.

Эффективность работы студента и изучения программы дисциплины в целом проверяется в ходе текущего и итогового контроля знаний. Текущий контроль знаний рекомендуется проводить в форме коллоквиумов и контрольных работ. Рекомендуемые формы итогового контроля знаний — зачет и экзамен.

Учебная программа разработана для учреждений высшего образования в соответствии с требованиями образовательных стандартов по специальности: 1-31 04 01 Физика (по направлениям), направлениям специальности: 1-31 04 01-02 Физика (производственная деятельность), 1-31 04 01-03 Физика (научно-педагогическая деятельность), 1-31 04 01-04 Физика (управленческая деятельность).

Программа рассчитана на 146 часов; из них аудиторных - 68 (примерное распределение по видам занятий: лекции – 38 часов, практические занятия – 26 часов, УСП - 4). Занятия проходят в 6 семестре. Форма итогового контроля знаний – экзамен.

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

1. Пространство состояний

Бра- и кет-векторы. Скалярное произведение векторов и его свойства. Базисные векторы (дискретный и непрерывный базисы). Преобразование базисных векторов.

2. Линейные операторы и их свойства

Определение линейных операторов. Тензорное произведение векторов как линейный оператор. Разложение операторов (теория представлений). Матричные элементы линейных операторов. Уравнения на собственные значения линейных операторов в случае непрерывного и дискретного спектров. Самосопряженные операторы. Теоремы о собственных значениях и собственных векторах самосопряженных операторов.

3. Вектор состояния. Наблюдаемые

Измерение физических величин. Понятие идеального измерения. Редукция вектора состояния (дискретный и непрерывный спектры). Распределение вероятностей. Разложение вектора состояния по базисным векторам. Физический смысл коэффициентов разложения. Совместные наблюдаемые. Понятие о полном наборе совместных наблюдаемых. Соотношение неопределенностей. Чистые и смешанные состояния. Статистический оператор (матрица плотности).

4. Изменение вектора состояния и наблюдаемых со временем

Время в квантовой механике. Квантовомеханические уравнения движения. Понятие о картинах изменения состояния (картины Шредингера, Гейзенберга и Дирака). Уравнение Шредингера для амплитуд вероятностей. Стационарные состояния и их свойства. Теорема Эренфеста. Интегралы движения и их связь с симметрией системы. Соотношение неопределенности для энергии. Понятие о времени жизни состояния.

5. Простейшие приложения квантовой механики

Оператор импульса как генератор бесконечно малых трансляций. Перестановочные соотношения для операторов положения и импульса частицы. Координатное и импульсное представления. Уравнение Шредингера (координатное представление). Уравнение непрерывности. Граничные условия (непрерывные, разрывные и δ -образные потенциалы). Гармонический осциллятор. Представление чисел заполнения. Координатное представление.

6. Приближенные методы вычисления собственных значений и собственных векторов самосопряженных операторов

Шредингеровская (стационарная) теория возмущений (невыврожденный спектр). Теория возмущений при наличии вырождения. Квазивырождение. Вариационный метод.

7. Оператор момента импульса

Оператор момента импульса как генератор бесконечно малых поворотов. Перестановочные соотношения. Собственные векторы и собственные

значения операторов квадрата момента импульса и его проекции на одну из осей. Оператор орбитального момента импульса, его спектр и собственные векторы в координатном представлении. Оператор спина $1/2$. Матрицы Паули и их свойства. Сложение моментов. Полный момент импульса электрона. Коэффициенты Клебша — Гордана. Уравнение Паули.

8. Движение в центральном поле

Задача двух тел. Качественное исследование движения частицы в центрально-симметричном поле. Движение в кулоновском поле. Водородоподобный атом: спектр, волновые функции. Эффекты Штарка и Зеемана.

9. Элементы релятивистской квантовой механики

Уравнение Клейна—Гордона—Фока и его применимость к описанию частиц с нулевым спином. Уравнение Дирака. Свободное движение и движение в кулоновском поле дираковской частицы. Нерелятивистский и квазирелятивистский пределы уравнения Дирака. Тонкая структура энергетических уровней атома водорода. Сверхтонкая структура основного состояния атома водорода.

10. Квантовая теория систем тождественных частиц

Операторы перестановок, симметризатор и антисимметризатор. Принцип тождественности частиц. Бозоны и фермионы. Пространство антисимметричных (симметричных) состояний N частиц. Принцип запрета Паули. Пространство антисимметричных (симметричных) состояний с переменным числом частиц. Операторы рождения и уничтожения фермионов (бозонов). Перестановочные соотношения. Парное взаимодействие. Теория двухэлектронных атомов, пара- и орто-состояния. Многоэлектронные атомы. Метод Хартри—Фока. Вторичное квантование.

11. Полуклассическая теория излучения

Квантование свободного электромагнитного поля. Понятие о фотоне. Состояния с определенным числом фотонов и состояния Глаубера (когерентные состояния) и их свойства. Дираковская (нестационарная) теория возмущений. Излучение и поглощение фотонов. Дипольное приближение. Естественная ширина уровня, время жизни состояния. Правила отбора для поглощения и испускания фотонов.

12. Элементарная теория рассеяния

Постановка задачи рассеяния в квантовой механике. Амплитуда и сечение рассеяния. Борновское приближение и условия его применимости. Формула Резерфорда.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Количество часов УСР	Литература	Формы контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Иное			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Пространство состояний	1	2					[1], [3]	
2	Линейные операторы и их свойства	3	2					[1], [3]	
3	Вектор состояния. Наблюдаемые	3	2				1	[1], [4], [5]	Коллоквиум
4	Изменение вектора состояния и наблюдаемых со временем	4	2				1	[1], [4], [3], [5], [6]	Контрольная работа
5	Простейшие приложения квантовой механики	3	4					[1], [3], [4], [5]	
6	Приближенные методы вычисления собственных значений и собственных векторов самосопряженных операторов	3	2					[1], [3], [4], [5]	
7	Оператор момента импульса	4	2					[1], [2], [3], [4], [5]	
8	Движение в центральном поле	4	2					[2], [3], [4], [5]	
9	Элементы релятивистской квантовой механики	3	2				1	[2], [3]	Контрольная работа
10	Квантовая теория систем тождественных частиц	3	2					[2], [3]	
11	Полуклассическая теория излучения	5	2					[2], [3]	
12	Элементарная теория рассеяния	2	2				1	[2], [3], [4], [8]	Коллоквиум
									Экзамен
	Итого	38	26				4		

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Рекомендуемая литература

Основная

1. Борисоглебский, Л.А. Квантовая механика. / Л.А. Борисоглебский. – Минск: Университетское, 1988. – 614 с.
2. Блохинцев, Д.И. Основы квантовой механики. / Д.И. Блохинцев. – М: Высшая школа, 1961 – 615 с.
3. Давыдов, А.С. Квантовая механика. / А.С.Давыдов. – М.: Наука, 1978. – 748 с.
4. Галицкий, В.М. Задачи по квантовой механике. / В.М.Галицкий, Б.М. Карнаков, В.И. Коган. – М: Наука, 1981. – 648 с.
5. Флюге, З. Задачи по квантовой механике: В 2 т. / З. Флюге. – М.: Мир, 1974. Т. 1, 2. – 514, 485 с.

Дополнительная

6. Дирак, П.А.М. Принципы квантовой механики. / П.А.М. Дирак – М.: Наука. 1979. – 480 с.
7. Фок, В.А. Начала квантовой механики / В.А. Фок. – М.: Наука, 1976. – 376 с.
8. Мессиа, А. Квантовая механика. Т.1/ А. Мессиа. – М.: Наука, 1978. – 478 с.
9. Мессиа, А. Квантовая механика. Т.2 / А. Мессиа. – М.: Наука, 1979. – 583 с.

Перечень рекомендуемых средств диагностики знаний

1. Контрольные работы;
2. Коллоквиумы.

Рекомендуемые темы контрольных работ:

1. Понятие о гильбертовом пространстве. Бра– и кет–векторы. Линейные операторы и их свойства.
2. Понятие о состоянии. Изменение состояния во времени.
3. Связь квантовой механики с классической. Теория представлений.
4. Простейшие применения квантовой механики. Движение частицы в центральном поле. Спин электрона. Теория возмущений.

Рекомендуемые темы коллоквиумов:

1. Понятие о полном наборе совместных наблюдаемых. Соотношение неопределенностей.
2. Одномерное движение.

3. Оператор спина $1/2$. Матрицы Паули и их свойства. Сложение моментов. Полный момент импульса электрона. Коэффициенты Клебша — Гордана. Уравнение Паули.
4. Квазирелятивистское приближение уравнения Дирака.

Методические рекомендации по организации и выполнению самостоятельной работы студентов

Основой методики организации самостоятельной работы студентов является предоставление студентам необходимой для работы информации, а также обеспечение регулярных консультаций преподавателя и периодичной отчетности по различным видам учебной и самостоятельной деятельности.

В открытом доступе для студентов размещается следующая информация:

- программа курса с указанием основной и дополнительной литературы;
- учебно-методические материалы для практических занятий;
- график консультаций преподавателя;
- задания для проведения зачета по практическим занятиям;
- вопросы к экзамену;
- сроки проведения контрольных мероприятий по различным видам учебной деятельности:
 - коллоквиумов по изучаемому материалу;
 - контрольных работ на практических занятиях;
- для дополнительного развития творческих способностей одаренных студентов организуются:
 - студенческие научно-практические конференции, конкурсы;
 - студенческие олимпиады.

Рекомендации по текущему контролю качества усвоения знаний и проведению аттестации

Для текущего контроля качества усвоения знаний по дисциплине используются коллоквиумы и контрольные работы. Контрольные мероприятия проводятся в соответствии с учебно-методической картой дисциплины. В случае неявки на контрольное мероприятие по уважительной причине студент вправе по согласованию с преподавателем выполнить его в дополнительное время. Для студентов, получивших неудовлетворительные оценки за контрольные мероприятия, либо не явившихся по неуважительной причине, по согласованию с преподавателем и с разрешения заведующего кафедрой мероприятие может быть проведено повторно.

Контрольная работа и коллоквиум проводятся в письменной форме по 2 разу в семестр. Каждая из письменных работ включает в себя 2—4 задачи. По согласованию с преподавателем разрешается использовать справочные, научные и учебные печатные издания, любые электронные источники информации и конспект лекций (в любой форме). Каждая задача в

соответствии с ее сложностью оценивается от 2 до 5 баллов (максимальная сумма баллов за все задачи в контрольной (коллоквиуме) равна 10). Количество баллов за каждую решенную задачу выставляется в зависимости от правильности, полноты и оригинальности ее решения. Нерешенная или решенная полностью неправильно задача оценивается в 0 баллов. Оценка за контрольную (коллоквиум) рассчитывается как сумма баллов, полученных за каждую задачу.

Оценка текущей успеваемости рассчитывается как среднее оценок за каждый из письменных видов работ. При оценке текущей успеваемости 4 балла и более студенты допускаются к экзамену. При оценке ниже 4 баллов решением кафедры студенты не допускаются к экзамену, и им назначается срок выполнения контрольных работ и/или коллоквиумов.

Итоговая аттестация по учебной дисциплине проводится в форме экзамена. Экзаменационная оценка и оценка текущей успеваемости служат для определения рейтинговой оценки по дисциплине, которая рассчитывается как средневзвешенная оценка текущей успеваемости и экзаменационной оценки. Весовой коэффициент для оценки текущей успеваемости — 0,3; для экзаменационной оценки — 0,7. При всех расчетах округление производится по общепринятым правилам.

ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ УВО

Название дисциплины, с которой требуется согласование	Название кафедры	Предложения об изменениях в содержании учебной программы по изучаемой учебной дисциплине	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола)
Теоретическая механика	Кафедра теоретической физики и астрофизики	Оставить содержание учебной дисциплины без изменения	Рекомендовать к утверждению учебную программу в представленной варианте (протокол №10 от 23.05.2016)
Электродинамика	Кафедра теоретической физики и астрофизики	Оставить содержание учебной дисциплины без изменения	Рекомендовать к утверждению учебную программу в представленной варианте (протокол №10 от 23.05.2016)
Термодинамика и статистическая физика	Кафедра теоретической физики и астрофизики	Оставить содержание учебной дисциплины без изменения	Рекомендовать к утверждению учебную программу в представленной варианте (протокол №10 от 23.05.2016)

ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ К УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЕ УВО
на 2017/2018 учебный год

№№ пп	Дополнения и изменения	Основание

Учебная программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры теоретической физики и астрофизики

(протокол № ____ от _____ 2017 г.)

Заведующий кафедрой
д.ф.-м.н., профессор

_____ И.Д. Феранчук

УТВЕРЖДАЮ
Декан физического факультета
д.ф.-м.н., профессор

_____ В.М. Анищик