

**Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Московский физико-технический институт  
(национальный исследовательский университет)»**

**УТВЕРЖДЕНО**

**Проректор по учебной работе и  
довузовской подготовке**

**А.А. Воронов**

	<b>Рабочая программа дисциплины (модуля)</b>
<b>по дисциплине:</b>	Квантовая механика
<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Биофизика и биоинформатика Физтех-школа Биологической и Медицинской Физики кафедра теоретической физики им. Л.Д. Ландау
<b>курс:</b>	3
<b>квалификация:</b>	бакалавр

Семестры, формы промежуточной аттестации:

5 (осенний) - Дифференцированный зачет

6 (весенний) - Экзамен

Аудиторных часов: 120 всего, в том числе:

лекции: 60 час.

семинары: 60 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 75 час.

Подготовка к экзамену: 30 час.

Всего часов: 225, всего зач. ед.: 5

Количество контрольных работ, заданий: 8

Программу составил: Л.П. Суханов, канд. физ.-мат. наук, доцент, доцент

Программа обсуждена на заседании кафедры теоретической физики им. Л.Д. Ландау 23.05.2020

## Аннотация

Целью курса является изучение основ квантовой механики, её математического аппарата, основных подходов к приближённому решению задач, а также ознакомление с многоэлектронной проблемой в вопросах строения и свойств атомно–молекулярных систем. Задачами данного курса являются приобретение базовых знаний об электронной структуре вещества и овладение навыками выполнения простейших квантово–механических расчётов в пунктах двух заданий каждого семестра.

Насыщенность программы годового курса квантовой механики, читаемого студентам МФТИ, обычно не позволяла уделить молекулярным системам достаточное внимание. Вместе с тем студенты физико-химических и биологических специализаций особенно нуждались в получении от квантовой механики информации, полезной для их будущих самостоятельных исследований. Предлагаемый курс, опираясь на строгость законов квантовой механики, ориентирован исключительно на интересы своих слушателей, которые уже после третьего года обучения проявятся на базовых кафедрах. При изложении демонстрируются последние достижения и открытия в области молекулярной квантовой механики и связанных с ней современных экспериментальных методов исследования биологически активных молекулярных соединений.

## 1. Цели и задачи

### Цель дисциплины

Дать студентам знания в области описания различных квантовых физических явлений и методы построения соответствующих математических моделей, показать соответствие и непротиворечивость системы постулатов, положенных в основу квантовой теории, существующим экспериментальным данным, что позволяет считать теорию достоверной. Дать навыки, позволяющие понять адекватность теоретической модели соответствующему физическому явлению.

### Задачи дисциплины

- Изучение свойств точно решаемых задач-моделей квантовомеханических систем;
- изучение приближенных методов решения задач квантовой механики;
- изучение методов описания сложных систем, в том числе систем тождественных частиц;
- овладение методами квантовой механики для описания свойств различных физических систем.

## 2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-1 Способен применять фундаментальные знания, полученные в области физико-математических и (или) естественных наук, и использовать их в профессиональной деятельности	ОПК-1.1 Способен анализировать поставленную задачу, намечать пути ее решения
	ОПК-1.3 Способен определять границы применимости полученных результатов
ПК-4 Способен критически оценивать применимость используемых методик и методов	ПК-4.1 Знает численные порядки величин, характерных для соответствующей профессиональной области
	ПК-4.2 Знает источники происхождения и умеет производить оценку погрешности измерений и достоверности экспериментальных результатов
	ПК-4.3 Способен обосновать причинно-следственные отношения используемых понятий и моделей

## 3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны знать:

- ☐ Постулаты и принципы квантовой механики, методы описания квантовых систем, связь состояний и операторов с наблюдаемыми и измеряемыми величинами;
- ☐ основные свойства точно решаемых моделей квантовых систем;
- ☐ основные приближенные методы решения задач квантовой механики: квазиклассическое приближение; стационарную и нестационарную теорию возмущений;
- ☐ методы описания сложных и незамкнутых квантовых систем;
- ☐ методы и способы описания систем тождественных частиц в квантовой теории;
- ☐ методы описания рассеяния частиц; описание взаимодействия электромагнитного излучения с квантовыми системами зарядов.

уметь:

- ☐ Определять энергетические спектры и волновые функции в одномерных случаях;
- ☐ определять средние значения (физические величины) квантовых систем, если известны их волновые функции;
- ☐ определять состояния и классифицировать энергетические спектры частицы в симметричных потенциалах, в частности, обладающих аксиальной и центральной симметрией;
- ☐ применять квазиклассическое приближение для оценки уровней энергии и вероятностей прохождения в одномерных потенциалах;
- ☐ применять стационарную теорию возмущений для нахождения поправок к уровням энергии и волновым функциям;
- ☐ применять нестационарную теорию возмущений для нахождения вероятностей переходов между состояниями;
- ☐ решать задачи о нахождении состояний и энергетического спектра систем многих, в том числе тождественных, частиц;
- ☐ вычислять дифференциальные сечения рассеяния частиц различными потенциалами;
- ☐ определять возможные оптические переходы между состояниями систем зарядов и оценивать времена жизни возбужденных состояний.

владеть:

- ☐ Основными методами решения задач о нахождении состояний и энергетических спектров различных квантовых систем;
- ☐ навыками теоретического анализа реальных задач, связанных со свойствами микроскопических и наносистем, обладающих как дискретным, так и непрерывным спектрами.

#### 4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

##### 4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

№	Тема (раздел) дисциплины	Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час.			
		Лекции	Семинары	Лаборат. работы	Самост. работа
1	Волновые свойства частиц	4	4		4
2	Операторы физических величин	4	4		4
3	Математический аппарат квантовой механики. Теория представлений	4	4		5
4	Операторные методы в квантовой механике	4	4		4
5	Угловой момент	4	4		5
6	Движение в центрально-симметричном поле. Атом водорода	5	5		4
7	Стационарная теория возмущений	5	5		4
8	Нестационарная теория возмущений	3	3		4
9	Сложение моментов	3	3		5
10	Системы тождественных частиц	3	3		4

11	Атом гелия	3	3		4
12	Сложный атом	3	3		5
13	Атом в магнитном поле	3	3		4
14	Основы теории излучения	3	3		5
15	Молекулярное уравнение Шрёдингера	3	3		4
16	Основное уравнение квантовой механики молекул	3	3		5
17	Метод Хартри-Фока	3	3		5
Итого часов		60	60		75
Подготовка к экзамену		30 час.			
Общая трудоёмкость		225 час., 5 зач.ед.			

#### 4.2. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

Семестр: 5 (Осенний)

##### 1. Волновые свойства частиц

Волна де Бройля. Волновой пакет. Фазовая и групповая скорости волн, соответствующих свободной частице. Уравнение Шрёдингера. Оператор Гамильтона. Общее решение уравнения Шрёдингера в случае, когда гамильтониан не зависит от времени. Стационарное уравнение Шрёдингера. Статистическая интерпретация волновой функции.

##### 2. Операторы физических величин

Условие нормировки для волн де Бройля. Средние значения координаты и импульса. Операторы координаты и импульса. Постановка задачи на собственные функции и собственные значения операторов. Стационарные состояния. Одномерное движение. Потенциальная яма. Дискретный и непрерывный энергетические спектры. Движение в периодическом поле.

##### 3. Математический аппарат квантовой механики. Теория представлений

Состояние и волновая функция. Принцип суперпозиции состояний. Дираковская формулировка квантовой механики. Вектор состояния. Наблюдаемые и операторы физических величин. Линейные и эрмитовы операторы. Условия ортогональности и полноты для собственных функций операторов физических величин. Условия одновременной измеримости физических величин. Коммутаторы. Соотношение неопределенностей. Оператор изменения во времени физической величины. Интегралы движения. Коммутаторы и скобки Пуассона. Производные по времени операторов координаты и импульса частицы в потенциальном поле. Матричные представления. Унитарные преобразования векторов состояний и операторов.

##### 4. Операторные методы в квантовой механике

Операторы  $\hat{a}$  и  $\hat{a}^+$  в теории линейного гармонического осциллятора. Энергетический спектр линейного гармонического осциллятора. Построение собственных функций осциллятора в координатном представлении с помощью операторов  $\hat{a}$  и  $\hat{a}^+$ . Связь  $n$ -го состояния осциллятора с основным. Когерентные состояния осциллятора.

##### 5. Угловой момент

Изотропность пространства и сохранение углового момента в квантовой механике. Повороты и оператор углового момента. Коммутационные соотношения для операторов углового момента. Система собственных векторов операторов  $\hat{j}^2$  и  $\hat{j}_z$ . Спин частицы. Матрицы Паули. Оператор орбитального момента частицы в координатном представлении (декартовы и сферические координаты). Сферические гармоники.

#### 6. Движение в центрально-симметричном поле. Атом водорода

Разделение переменных в квантово-механической задаче двух тел. Центральносимметричное поле. Гамильтониан частицы в сферических координатах. Разделение переменных в центрально-симметричном поле. Уравнение для радиальной функции. Атом водорода. Атомная система единиц. Энергетический спектр и радиальные волновые функции стационарных состояний атома водорода. Главное и радиальное квантовые числа. Кратность вырождения уровней. Кулоновское (случайное) вырождение.

#### 7. Стационарная теория возмущений

Стационарная теория возмущений в случае невырожденных уровней энергии. Первое приближение теории стационарных возмущений. Энергетическая поправка второго приближения теории стационарных возмущений. Критерий применимости стационарной теории возмущений. Стационарное возмущение вырожденных уровней дискретного спектра. Секулярное уравнение. Правильные волновые функции нулевого приближения. Квасивырождение, случай двух близких уровней энергии. Эффект Штарка. Линейный эффект Штарка в атоме водорода.

### Семестр: 6 (Весенний)

#### 8. Нестационарная теория возмущений

Постановка задачи нестационарной теории возмущений. Представление взаимодействия. Общее выражение для вероятности перехода, T-хр. Переходы под влиянием возмущения, действующего в течение конечного времени. Переходы под влиянием постоянного во времени возмущения. Переходы под действием периодического возмущения в дискретном и непрерывном спектрах, «золотое правило» Ферми. Переходы в двухуровневой системе. Физические основы магниторезонансных методов исследования вещества.

#### 9. Сложение моментов

Сложные квантовые системы. Сложение моментов. Коэффициенты Клебша–Гордана. Полный угловой момент.

#### 10. Системы тождественных частиц

Симметрии волновой функции системы тождественных частиц. Бозоны и фермионы. Представление многоэлектронной волновой функции в виде детерминанта Слэтера. Принцип Паули. Связь симметрии координатной части волновой функции системы с полным спином.

#### 11. Атом гелия

Атом гелия. Спиновые функции двух электронов. Пара- и ортосостояния. Обменное взаимодействие.

#### 12. Сложный атом

Вариационный принцип, вычисление энергии основного состояния. Приближение центрального самосогласованного поля (ССП). Электронные конфигурации. Интегралы движения в сложных атомах. Термы. Правила Хунда. LS-связь. Тонкая структура уровней. Правило интервалов Ланде.

### 13. Атом в магнитном поле

Гамильтониан сложного атома во внешнем магнитном поле. Гамильтониан Паули. Иерархия взаимодействий в атоме. Эффекты Зеемана и Пашена–Бака. Диамагнетизм атомов. Парамагнетизм Ван-Флека.

### 14. Основы теории излучения

Гамильтониан свободного электромагнитного поля, взаимодействие систем заряженных частиц со свободным электромагнитным полем. Электрическое дипольное излучение. Правила отбора для электрического дипольного излучения.

### 15. Молекулярное уравнение Шрёдингера

Уравнение Шрёдингера для молекулярной системы. Адиабатическая теория. Приближение Борна–Оппенгеймера. Понятие поверхности потенциальной энергии. Границы применимости адиабатической теории.

### 16. Основное уравнение квантовой механики молекул

Иерархия современных компьютерных методов решения многоэлектронной проблемы.

### 17. Метод Хартри-Фока

Вычисление матричных элементов между двумя детерминантами Слэтера. Вариационный метод приближённого решения многоэлектронной задачи. Уравнения Хартри-Фока в канонической форме. Занятые и виртуальные орбитали. Теорема Купмана.

## 5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

Стандартная учебная аудитория, желательно с мультимедийным оборудованием (проектор).

## 6. Перечень рекомендуемой литературы

### Основная литература

1. Теоретическая физика [Текст] : в 10 т. Т. 3 : Квантовая механика. Нерелятивистская теория : учеб. пособие для вузов / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц ; под ред. Л. П. Питаевского .— 5-е изд., стереотип. — М. : Физматлит, 2004, 2002 .— 808 с.
2. Задачи по квантовой механике [Текст] : в 2 ч. Ч.1 : учеб. пособие для вузов / В. М. Галицкий, Б. М. Карнаков, В. И. Коган .— 3-е изд., испр. и доп. — М. : Едиториал УРСС, 2001 .— 304 с.
3. Задачи по квантовой механике [Текст] : в 2 ч. Ч.2 : учеб. пособие для вузов / В. М. Галицкий, Б. М. Карнаков, В. И. Коган .— 3-е изд., испр. и доп. — М. : Едиториал УРСС, 2001 .— 304 с.
4. Задачи по теоретической физике [Текст] : учеб. пособие для вузов / Ю. М. Белоусов, С. Н. Бурмистров, А. И. Тернов .— Долгопрудный : Интеллект, 2013 .— 584 с.
5. Курс квантовой механики. Нерелятивистская теория [Текст] : учеб. пособие для вузов / Ю. М. Белоусов ; М-во образования Рос. Федерации, Моск. физ.-техн. ин-т (гос. ун-т) .— М. : Изд-во МФТИ, 2006 .— 408 с.

### Дополнительная литература

1. Квантовая механика [Текст] : учеб. пособие для вузов / А. С. Давыдов .— 2-е изд., испр. и перераб. — М. : Наука, 1963 .— 748 с.
2. Квантовая механика с задачами [Текст] : учеб. пособие для вузов / П. В. Елютин, В. Д. Кривченков ; под ред. Н. Н. Боголюбова .— 2-е изд., перераб. — М. : Физматлит : УНЦ довуз. образования МГУ, 2001 .— 301с.
3. Основы квантовой механики [Текст] : учеб. пособие для вузов / Д. И. Блохинцев .— 5 изд., перераб. — М. : Наука, 1976 .— 664 с.

4. Катехизис. Руководство по математике для начинающих изучать теоретическую физику  
[Текст] / Ю. М. Белоусов, В. П. Кузнецов, В. П. Смилга ; М-во образования и науки РФ, МФТИ -  
М.Изд-во МФТИ,2005

**7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)**

Не используются

**8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень необходимого программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)**

Ссылка страницы кафедры на официальном сайте университета  
[http://mipt.ru/education/chair/theoretical\\_physics//](http://mipt.ru/education/chair/theoretical_physics//)

**9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)**

Студенты, допущенные к экзамену отвечают на вопросы билета, имея возможность на подготовку не менее 1 часа. Ответы представляются в письменном виде, по которым проводится устное собеседование.

**ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)**

<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Биофизика и биоинформатика Физтех-школа Биологической и Медицинской Физики кафедра теоретической физики им. Л.Д. Ландау
<b>курс:</b>	3
<b>квалификация:</b>	бакалавр

Семестры, формы промежуточной аттестации:

- 5 (осенний) - Дифференцированный зачет
- 6 (весенний) - Экзамен

**Разработчик:** Л.П. Суханов, канд. физ.-мат. наук, доцент, доцент



## 1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-1 Способен применять фундаментальные знания, полученные в области физико-математических и (или) естественных наук, и использовать их в профессиональной деятельности	ОПК-1.1 Способен анализировать поставленную задачу, намечать пути ее решения
	ОПК-1.3 Способен определять границы применимости полученных результатов
ПК-4 Способен критически оценивать применимость используемых методик и методов	ПК-4.1 Знает численные порядки величин, характерных для соответствующей профессиональной области
	ПК-4.2 Знает источники происхождения и умеет производить оценку погрешности измерений и достоверности экспериментальных результатов
	ПК-4.3 Способен обосновать причинно-следственные отношения используемых понятий и моделей

## 2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Квантовая механика» обучающийся должен:

### знать:

- ☐ Постулаты и принципы квантовой механики, методы описания квантовых систем, связь состояний и операторов с наблюдаемыми и измеряемыми величинами;
- ☐ основные свойства точно решаемых моделей квантовых систем;
- ☐ основные приближенные методы решения задач квантовой механики: квазиклассическое приближение; стационарную и нестационарную теорию возмущений;
- ☐ методы описания сложных и незамкнутых квантовых систем;
- ☐ методы и способы описания систем тождественных частиц в квантовой теории;
- ☐ методы описания рассеяния частиц; описание взаимодействия электромагнитного излучения с квантовыми системами зарядов.

### уметь:

- ☐ Определять энергетические спектры и волновые функции в одномерных случаях;
- ☐ определять средние значения (физические величины) квантовых систем, если известны их волновые функции;
- ☐ определять состояния и классифицировать энергетические спектры частицы в симметричных потенциалах, в частности, обладающих аксиальной и центральной симметрией;
- ☐ применять квазиклассическое приближение для оценки уровней энергии и вероятностей прохождения в одномерных потенциалах;
- ☐ применять стационарную теорию возмущений для нахождения поправок к уровням энергии и волновым функциям;
- ☐ применять нестационарную теорию возмущений для нахождения вероятностей переходов между состояниями;
- ☐ решать задачи о нахождении состояний и энергетического спектра систем многих, в том числе тождественных, частиц;
- ☐ вычислять дифференциальные сечения рассеяния частиц различными потенциалами;
- ☐ определять возможные оптические переходы между состояниями систем зарядов и оценивать времена жизни возбужденных состояний.

### владеть:

- ☐ Основными методами решения задач о нахождении состояний и энергетических спектров различных квантовых систем;
- ☐ навыками теоретического анализа реальных задач, связанных со свойствами микроскопических и наносистем, обладающих как дискретным, так и непрерывным спектрами.

## 3. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю

### **3. Перечень типовых контрольных заданий, используемых для оценки знаний, умений, навыков**

Промежуточная аттестация по дисциплине «Квантовая механика» осуществляется в форме дифференцированного зачета после первого семестра изучения и итогового экзамена после второго семестра изучения.

Дифференцированный зачет проводится по итогам работы студента в семестре в случае успешного освоения дисциплины. В случае если студент не усвоил дисциплину и результаты его работы в семестре оказались неудовлетворительными, проводится дополнительный письменный опрос, а при необходимости и устный, на предмет выявления знаний. Дополнительный письменный опрос проводится в виде тестов, содержание которых полностью соответствует содержанию тестовых опросов студентов в течение семестра.

Оценка дифференцированного зачета складывается из оценок трех позиций: знаний, умений и навыков.

Знания студентов оцениваются в результате проведения регулярного опроса пройденного материала. Опрос проводится в письменной форме в виде тестовых вопросов. Пример тестовых вопросов приведен ниже.

Умения и навыки студентов определяются по итогам сдачи домашних заданий. Всего студентам предлагается два домашних задания в семестр. Задание содержит три типа задач и упражнений. Типовые задачи и упражнения разбираются на семинарских (практических) занятиях. Аналогичные задачи и упражнения студенты должны решить самостоятельно, используя рекомендованную литературу. Кроме того, студентам предлагаются специально помеченные задачи повышенной сложности. Решение таких задач требует от студента навыков и представляет собой оценку навыков решения задач повышенной сложности.

Навыки студентов проверяются в результате решения контрольных работ, которые проводятся во время аудиторных занятий. Задачи аналогичны типовым задачам, включенным в домашние задания, как рассмотренных на семинарских (практических) занятиях, так и предлагаемых для самостоятельного решения. Задания контрольных работ оценены в определенную сумму баллов, что позволяет оценить уровень умения и навыков студентов.

Вопросы, включенные в тестовые опросы, охватывают основные понятия, рассмотренные на предыдущих лекциях.

Пример вопросов тестового задания первого семестра обучения:

1. Как связаны между собой  $\langle \psi | \varphi \rangle$  и  $\langle \varphi | \psi \rangle$ ?
2. Для вектора  $|\psi\rangle = c_1 |\psi_1\rangle + c_2 |\psi_2\rangle$  записать  $\langle \psi |$ .
3. Для вектора в предыдущем пункте записать условие нормировки. Состояния суперпозиции не обязательно ортогональны.
4. Как определить наблюдаемую величину, которой соответствует оператор  $\hat{g}$ , в состоянии квантовой системы  $|\psi\rangle$ ?
5. Пусть  $\hat{f}$  – оператор физической величины. Как определяется значение физической величины  $\langle f \rangle$  в состоянии  $|\psi\rangle = c_1 |\psi_1\rangle + c_2 |\psi_2\rangle$ ?
6. Пусть  $|\varphi\rangle = \hat{f}|\psi\rangle$ , как определить  $\langle \varphi |$ ?
7. Запишите уравнение, которому подчиняется вектор состояния  $|\Psi\rangle$ .
8. Чему равна постоянная Планка  $\hbar$  =?
9. Как определяется эрмитовское сопряжение для некоторого оператора  $\hat{g}$ ?
10. Как связаны между собой два числа  $f_{21} = \langle \psi_2 | \hat{f} | \psi_1 \rangle$  и  $f_{12} = \langle \psi_1 | \hat{f}^\dagger | \psi_2 \rangle$ ?

Примеры контрольных заданий:

Частица массы  $m$  находится в одномерном потенциале, описываемом  $\delta$ -функцией:

$$U(x) = -\frac{\hbar^2 \kappa_0}{m} \delta(x)$$

1. Запишите граничные условия для нахождения связанных состояний. (2)
2. Определите нормированную волновую функцию и энергию связанного состояния. (7)

В момент времени  $t = 0$  внезапно (мгновенно) появляется барьер и потенциал становится равным

$$U(x) = \begin{cases} 0 & x < 0, \\ U_0 - \frac{\hbar^2 \kappa_0}{m} \delta(x) & x \geq 0. \end{cases}$$

1. Какой вид имеет волновая функция связанного состояния. (3)
2. Определите нормированную ВФ связанного состояния и значение энергии. (6)
3. При каких условия существует связанное состояние? (5)
4. Запишите граничные условия для нахождения состояний инфинитного движения. (2)
5. Какова кратность вырождения энергетического спектра инфинитного движения? (2)
6. Определите волновые функции состояний инфинитного движения для случая  $E < U_0$ . (10)
7. Запишите общий вид волновой функции частицы при  $t > 0$ . (3)
8. Пусть при  $t \leq 0$  частица находилась в связанном состоянии в исходном потенциале  $\delta$ -функции. Какова вероятность того, что частица останется в связанном состоянии? Ответ выразить через мнимые волновые векторы, встречающиеся в задаче:  $\kappa = \sqrt{2m|E|}/\hbar$  и  $\kappa_1 = \sqrt{2m(U_0 + |E|)}/\hbar$  (10)

Каждый вопрос задания оценен в определенную сумму баллов в зависимости от сложности и уровня (знания, умения и навыки). Полная сумма баллов примера контрольной работы равна 50.

Конкретные условия набора баллов за работу в семестре могут зависеть от лекционного потока и определяются лектором. Общим остается следующее правило.

В течение семестра студент набирает сумму баллов по результатам тестовых опросов (например, 50 баллов), по результатам сдачи двух заданий (например, 50 баллов) и по результатам двух контрольных (например, 100 баллов). Кроме того, за решение задач повышенной сложности домашнего задания студент может набрать премиальные (бонусные) баллы, которые учитываются при приёме заданий. Полный балл оценивается в данном случае суммой 200 баллов. По результатам итогового рейтинга студент может набрать некоторую сумму, которая оценивается по 10-балльной системе.

Итоговая оценка дифференцированного зачета выставляется в соответствии со схемой, приведенной в следующем разделе.

#### 4а. Критерии оценивания (дифференцированный зачет)

Количество очков по 10-балльной системе		Оценка по дифференцированному зачёту
10	$180 < P \leq 200^{*)}$	отлично
9	$160 < P \leq 180$	отлично
8	$140 < P \leq 160$	отлично
7	$120 < P \leq 140$	хорошо
6	$100 < P \leq 120$	хорошо
5	$80 < P \leq 100$	хорошо
4	$60 < P \leq 80$	удовлетворительно
3	$40 < P \leq 60$	удовлетворительно**)
2	$20 < P \leq 40$	неудовлетворительно
1	$0 \leq P \leq 20$	неудовлетворительно

$*) (P = 200 \text{ очков}) = (5 \text{ тестов} \times 5 \text{ очков} \times 2 = 50 \text{ очков}) + (\text{сданное 1-ое задание} = 25 \text{ очков}) + (\text{сданное 2-ое задание} = 25 \text{ очков}) + (1\text{-ая контрольная работа} = 50 \text{ очков}) + (2\text{-ая контрольная работа} = 50 \text{ очков}).$

**\*\*) Студент не получает дифференцированный зачёт пока не наберёт минимум  $P = 41$ . При этом сдача заданий строго обязательна.**

#### **46. Типовые экзаменационные билеты, используемые для оценки знаний, умений, навыков (итоговый семестр)**

Экзамен проводится в устной форме. Форма билета определяется лектором. Традиционная форма билета содержит два теоретических вопроса (по одному вопросу из каждой части годового курса) и одну типовую задачу. Пример традиционной формы билета:

1. Линейный гармонический осциллятор. Операторы рождения и уничтожения. Энергетический спектр.
2. Уравнения Хартри-Фока в канонической форме.
3. Используя второй порядок стационарной теории возмущений, определить, как зависит потенциальная энергия взаимодействия от расстояния  $R$  между атомом и ионом.

Ответ студента оценивается по 10-балльной шкале.

#### **4в. Критерии выставления итоговой экзаменационной оценки**

Итоговая экзаменационная оценка выставляется студенту с учетом оценки его работы во втором семестре. За работу в семестре выставляется оценка по тем же критериям, что при определении оценки дифференцированного зачета. Студенты, получившие за работу в семестре к началу экзаменационной сессии оценку «неудовлетворительно» (набравшие менее  $P = 41$  пункта), считаются не усвоившими материал и не выполнившими задания курса, поэтому к экзамену не допускаются.

Итоговая оценка выставляется в соответствии со схемой:

Оценка	Баллы	Критерии
Отлично	10	10 баллов за экзамен и оценка за работу в семестре не ниже 9. 9 баллов за экзамен и 10 баллов за работу в семестре
	9	9 баллов за экзамен и оценка за работу в семестре не ниже 8.
	8	8 баллов за экзамен и оценка за работу в семестре не ниже 7. 7 баллов за экзамен и более 8 баллов за работу в семестре
Хорошо	7	7 баллов за экзамен и оценка за работу в семестре не ниже 6. 6 баллов за экзамен и более 8 баллов за работу в семестре

	6	6 баллов за экзамен и оценка за работу в семестре не ниже 5. 5 баллов за экзамен и более 7 баллов за работу в семестре
	5	5 баллов за экзамен и оценка за работу в семестре не ниже 4.
Удовлетворительно	4	4 балла за экзамен и оценка за работу в семестре не ниже 3.
	3	3 балла за экзамен и оценка за работу в семестре 3.
Неудовлетворительно	2	2 балла за экзамен и оценка за работу в семестре 3.
	1	1 балл за экзамен и оценка за работу в семестре 3.

### **5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности**

Студенты, допущенные к экзамену, отвечают на вопросы билета, имея возможность на подготовку не менее 1 часа. Ответы представляются в письменном виде, по которым проводится устное собеседование.

Оценка за ответ на билет выставляется в соответствии со следующим критериями:

Студент, ответивший неправильно

на все 3 вопроса, получает оценку «неудовл» (1) или (2).

Студент, ответивший правильно

на 1 или 2 вопроса, получает оценку «удовл» (3) или (4), в зависимости от полноты правильных ответов и ответов на другие вопросы;

на 2 или 3 вопроса, получает оценку «хорошо» (5), (6) или (7), в зависимости от полноты правильных ответов и ответов на другие вопросы;

на все 3 вопроса полностью, получает оценку «отлично» (8), (9) или (10), в зависимости от ответов на другие дополнительные вопросы.

Во время проведения экзамена студенты могут пользоваться программой дисциплины и сборниками домашних заданий. Учебной, учебно-методической и справочной литературой пользоваться во время экзамена не допускается. Во время экзамена должны быть также выключены мобильные телефоны.

Перед началом экзаменационной сессии студенты получают перечень вопросов, ответы на которые необходимо знать для успешной сдачи экзамена. Формулировки вопросов в билетах студенты узнают во время консультаций.

Студенты, получившие итоговую оценку «отлично» (10) и решившие и защитившие задачи повышенной сложности домашнего задания, могут получить дополнительные зачетные единицы по курсу.