

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

УТВЕРЖДЕНО

**Директор физтех-школы физики
и исследований им. Ландау**

А.В. Рогачев

	Рабочая программа дисциплины (модуля)
по дисциплине:	Квантовая механика
по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Общая и прикладная физика Физтех-школа физики и исследований им. Ландау Физтех-кластер академической и научной карьеры
курс:	3
квалификация:	бакалавр

Семестры, формы промежуточной аттестации:

5 (осенний) - Экзамен

6 (весенний) - Экзамен

Аудиторных часов: 150 всего, в том числе:

лекции: 75 час.

семинары: 75 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 105 час.

Подготовка к экзамену: 60 час.

Всего часов: 315, всего зач. ед.: 7

Количество контрольных работ, заданий: 8

Программу составил: В.В. Киселев, д-р физ.-мат. наук, доцент, профессор

Программа обсуждена на заседании Физтех-кластера академической и научной карьеры 27.04.2021

Аннотация

Это расширенный курс по квантовой механике для студентов ЛФИ от Физтех-кластера академической и научной карьеры.

В первом семестре на курсе будет рассказано об основах квантовой механики:

- об экспериментальных предпосылках ее возникновения квантовой механики;
- о том, что такое волновая функция и уравнения Шредингера, а также об эрмитовых операторах и наблюдаемых;
- будет введен формализм Дирака, затем рассказано об одномерном движении в квантовой механике;
- о точном решении квантового линейного осциллятора;
- о симметриях и законах сохранения;
- о радиальном движении, орбитальном моменте и спине электрона;
- как найти точно спектр атома водорода из уравнения Шредингера.

Во втором семестре будет рассказано:

- о формулировке квантовой механики в форме интеграла Фейнмана по путям;
- о стационарной и нестационарной теории возмущений;
- о группах Пуанкаре и Лоренца;
- об уравнении Дирака и релятивистских электронах во внешних электромагнитных полях;
- о нерелятивистском уравнении Паули и движении в магнитном поле;
- о сложении моментов;
- об атоме гелия и сложном атоме;
- об атоме во внешнем поле;
- об излучении электронами электромагнитных полей;
- о теории рассеяния.

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
УК-1 Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	УК-1.1 Анализирует задачу, выделяя этапы ее решения, действия по решению задачи
	УК-1.4 Грамотно, логично, аргументированно формирует собственные суждения и оценки
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-1.2 Способен строить математические модели, производить количественные расчеты и оценки
	ОПК-1.3 Способен определять границы применимости полученных результатов

ПК-1 Способен планировать и проводить научные эксперименты (в избранной предметной области) и (или) теоретические (аналитические и имитационные) исследования	ПК-1.1 Владеет фундаментальными понятиями, законами и теориями современной физики
ПК-4 Способен критически оценивать применимость используемых методик и методов	ПК-4.1 Знает численные порядки величин, характерных для соответствующей профессиональной области

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	Физические основы квантовой механики.	2	2		5
2	Постулаты квантовой механики.	5	6		4

3	Математический аппарат квантовой механики.	2	2		4
4	Производная оператора по времени.	2	2		4
5	Свойства одномерного движения. Дискретный и непрерывный спектр.	4	2		4
6	Симметрии и законы сохранения.	2	2		4
7	Момент импульса	2	4		4
8	Спин.	2	2		4
9	Осциллятор.	5	4		4
10	Движение в центральном потенциале.	2	2		4
11	Атом водорода.	2	2		4
12	Квазиклассика.	4	4		5
13	Теория возмущений.	5	5		6
14	Стационарная теория возмущений.	4	4		6
15	Нестационарная теория возмущений, представление взаимодействия, квантовые переходы в первом порядке по возмущению, золотое правило Ферми.	4	4		6
16	Сложение моментов.	4	4		5
17	Атом в магнитном поле.	4	4		5
18	Сложный атом.	4	4		5
19	Атом гелия.	4	4		5
20	Спонтанное излучение.	4	4		6
21	Релятивистский электрон.	4	4		5
22	Рассеяние.	4	4		6
Итого часов		75	75		105
Подготовка к экзамену		60 час.			
Общая трудоёмкость		315 час., 7 зач.ед.			

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

Семестр: 5 (Осенний)

1. Физические основы квантовой механики.

Корпускулярно-волновой дуализм. Принцип суперпозиции, амплитуда вероятности.

Семинары

Уровни энергии в одномерных потенциальных ямах.

2. Постулаты квантовой механики.

Полный набор наблюдаемых. Базис состояний. Средние значения наблюдаемых.

Уравнение Шредингера. Гамильтониан и эволюция системы.

Волновой пакет. Одновременное точное измерение физических величин.

Коммутатор и соотношение неопределенностей. Импульсное представление.

Поток вероятности. Представление Гейзенберга.

3. Математический аппарат квантовой механики.

Вектор состояния. Наблюдаемые величины. Собственные вектора и собственные значения эрмитовых операторов.

Семинар. Упражнения на эрмитово сопряжение операторов и простейшие коммутаторы. Коэффициенты отражения и прохождения.

4. Производная оператора по времени.

Теоремы Эренфеста. Скобки Пуассона и коммутаторы.

Семинар.

Вращения спинора и собственные состояния проекции спина.

5. Свойства одномерного движения. Дискретный и непрерывный спектр.

Вид потенциала, двукратное вырождение в непрерывном спектре, невырожденность в случае ограниченного движения, связанные состояния частицы в потенциале, Дискретный спектр, осцилляторная теорема, задача рассеяния, Соотношения взаимности для коэффициентов прохождения и отражения, сохранение потока вероятности, бесконечно узкая яма

конечной площади и скачок производной, трансляции и квазиимпульс, функции Блоха, номер зоны.

6. Симметрии и законы сохранения.

Генераторы непрерывных симметрий. Дискретные симметрии.

Семинар.

Спин 1.

7. Момент импульса

Операторное квантование момента импульса. Сферические функции.

Семинар:

Уровни Ландау.

8. Спин.

Спин $\frac{1}{2}$. Матрицы Паули. Уравнение Паули.

Семинар.

Квант магнитного потока.

9. Осциллятор.

Вычисление коммутаторов и средних с моментом количества движения.

10. Движение в центральном потенциале.

Радиальное уравнение Шредингера. Центробежный потенциал.

Семинар.

Трехмерный осциллятор. Средние для атома водорода.

11. Атом водорода.

Квантование связанных состояний, атомные единицы, асимптотическое поведение, главное и радиальное квантовые числа, полиномы Лагерра, спектр связанных состояний, вырождение уровней энергии по орбитальному моменту и Р-четности.

Семестр: 6 (Весенний)

12. Квазиклассика.

Уравнение Шредингера для амплитуды и фазы волновой функции, стационарные состояния и разложение фазы в ряд по постоянной Планка в одномерной задаче. Критерий применимости квазиклассического приближения. Виртуальные частицы.

Условия сшивки квазиклассических решений возле точки поворота, правило квантования Бора-Зоммерфельда, нормировка волновой функции, плотность связанных состояний, коэффициент прохождения потенциального барьера Семинар.

Притяжение в системах ион-атом, атом-атом. Эффект Штарка на возбужденном состоянии атома водорода ($n=2$).

Двухуровневая система.

13. Теория возмущений.

Стационарная теория возмущений, невырожденный и вырожденный случаи, критерий применимости.

Сдвиг основного уровня атома водорода за счет конечного размера протона. Бета-распад иона трития и вероятности образования основного и первого возбужденного состояний иона гелия-3.

14. Стационарная теория возмущений.

Стационарная задача: ряд по малой константе связи возмущения, рекуррентные формулы для поправок энергии и к состояниям, критерий применимости теории возмущений, вырожденный случай и правильные волновые функции ведущего приближения, секулярное уравнение.

15. Нестационарная теория возмущений, представление взаимодействия, квантовые переходы в первом порядке по возмущению, золотое правило Ферми.

Поправки на ангармоничность осциллятора. Электрическая поляризуемость атома водорода.

16. Сложение моментов.

Преобразование составных величин при вращениях и задача о сложении моментов двух подсистем. Базис состояний суммарного момента. Матричные элементы неприводимых тензорных операторов и правила отбора.

Семинар.

Спин во вращающемся магнитном поле.

17. Атом в магнитном поле.

Слабые и сильные поля, эффект Зеемана, диамагнетизм и парамагнетизм атомов.

Семинары.

18. Сложный атом.

Самосогласованное поле, определитель Слетера, правила Хунда, термы.

Семинары.

Частицы в ящике. Распад ядра бериллия на две альфа-частицы. Вариационное вычисление энергии атома гелия.

19. Атом гелия.

Нерелятивистская задача для двух электронов и учет их тождественности, орто- и пара-гелий, обменное взаимодействие. Уравнения Хартри. Термы.

20. Спонтанное излучение.

Квантование электромагнитного поля, фоковское пространство состояний, дипольное излучение.

Семинар.

Борновское приближение для экранированного кулоновского потенциала. Рассеяние на отталкивающем потенциале, спадающем как квадрат расстояния.

21. Релятивистский электрон.

Принципы построения уравнения Дирака, алгебра матриц Дирака. Вывод уравнения Паули из уравнения Дирака.

Релятивистские поправки к энергии электрона в стационарном поле, спин-орбитальное взаимодействие, спектр атома водорода с учетом.

Семинары:

Квазиклассика: осциллятор, альфа-распад, поправка на возмущение.

Эффект Мёсбауэра. Сверхтонкое расщепление.

22. Рассеяние.

Рассеяние на короткодействующих потенциалах. Функция Грина и асимптотическое поведение волновой функции, амплитуда рассеяния. Борновское приближение и критерии его применимости для медленных и быстрых частиц. Кулоновское рассеяние протона на протоне и альфа-частицы на альфа-частице.

Фазовая теория рассеяния. Парциальные амплитуды рассеяния. Длина рассеяния медленных частиц.

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

а) Необходимое оборудование для лекций и практических занятий: учебная аудитория, доска, мел, тряпка. Желательно также применение мультимедийного оборудования (проектор), для лучшей организации лекции.

б) Необходимое программное обеспечение: не требуется

в) Обеспечение самостоятельной работы: наличие учебников и задачников по курсу теоретической физики вообще и квантовой механики в частности в библиотеке института, доступ в Интернет для получения вспомогательного учебного и консультативного материала на сайте кафедры теоретической физики.

6. Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

1. 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.
2. 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.
3. 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.
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. 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

2. Практическая математика. Руководство для начинающих изучать теоретическую физику [Текст] : [учеб. пособие для вузов] / Ю. М. Белоусов, В. П. Кузнецов, В. П. Смилга .— 2-е изд. — Долгопрудный : Интеллект, 2014 .— 176 с.
3. 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.
4. Принципы квантовой механики [Текст] : [учеб. пособие для вузов] / П. Дирак ; пер. с 4-го англ. изд. Ю. Н. Демкова, Г. Ф. Друкарева ; под ред. и с предисл. В. А. Фока ; 2-е изд. — 2-е изд. — М. : Наука, 1979 .— 480 с.

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

<https://sites.google.com/view/quanty-kiselev/>

Текущая информация по дисциплине, включая тесты, успеваемость, текст лекций, контактная информация

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

Консультации в формате Google Meet

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.

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.

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Общая и прикладная физика Физтех-школа физики и исследований им. Ландау Физтех-кластер академической и научной карьеры
курс:	3
квалификация:	бакалавр

Семестры, формы промежуточной аттестации:

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

Разработчик: В.В. Киселев, д-р физ.-мат. наук, доцент, профессор

1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	УК-1.1 Анализирует задачу, выделяя этапы ее решения, действия по решению задачи
	УК-1.4 Грамотно, логично, аргументированно формирует собственные суждения и оценки
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-1.2 Способен строить математические модели, производить количественные расчеты и оценки
	ОПК-1.3 Способен определять границы применимости полученных результатов
ПК-1 Способен планировать и проводить научные эксперименты (в избранной предметной области) и (или) теоретические (аналитические и имитационные) исследования	ПК-1.1 Владеет фундаментальными понятиями, законами и теориями современной физики
ПК-4 Способен критически оценивать применимость используемых методик и методов	ПК-4.1 Знает численные порядки величин, характерных для соответствующей профессиональной области

2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Квантовая механика (АНК)» 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

С целью контроля освоения обучающимися учебного материала проводится устный опрос в начале занятия или в конце занятия по пройденной теме.

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

Экзамен проводится по итогам работы студента в семестре в случае успешного освоения дисциплины. Оценка экзамена складывается из оценок трех позиций: знаний, умений и навыков.

Знания студентов оцениваются в результате проведения еженедельного 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 потоковых контрольных работ. 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. 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 предыдущей лекции.

Пример вопросов тестового задания первого семестра обучения:

Варианты тестовых заданий для осеннего семестра

Тест 1

- Как связана амплитуда вероятности с плотностью вероятности?
- Сформулируйте принцип соответствия динамики квантовой системы динамике классической системы.
- Запишите уравнение Шредингера для волновой функции частицы с гамильтонианом H .
- Запишите гамильтониан нерелятивистской частицы в потенциале V в операторном виде.
- Запишите условие полноты базиса в гильбертовом пространстве квантовых состояний с квантовым числом n и спектральным параметром k .
- Запишите условие нормировки состояний в дискретном и непрерывном спектре.

Варианты тестовых заданий для весеннего семестра

Тест 2

- Запишите формулу для поправки первого порядка к энергии в стационарной теории возмущений для невырожденного случая.

- Запишите критерий применимости стационарной теории возмущений в первом порядке в невырожденном случае.
- Запишите стационарное уравнение Шредингера для поправки первого порядка к исходному состоянию в невырожденном случае стационарной теории возмущений.
- Запишите формулу для поправки первого порядка к исходному квантовому состоянию в стационарной теории возмущений для невырожденного случая в виде разложения по исходному базису.
- Запишите секулярное уравнение в стационарной теории возмущений для поправки к энергии в первом порядке. Дайте определение матрица возмущений.
- Что определяют собственные векторы матрицы возмущений первого порядка в вырожденном случае?

Примеры контрольных заданий:

1. Частица находится на уровне $n=2$ в ящике размера a (стенки ящика в точках $x=0$ и $x=a$), размер ящика мгновенно увеличивается за счет перемещения правой стенки из точки a в точку $a'=2a$. Вычислить вероятность того, что частица окажется на уровне $n=1$ в новом ящике.

2. В теории возмущений вычислить релятивистскую поправку к энергии электрона в атоме водорода за счет дарвиновского вклада по волновым функциям стационарного состояния в нерелятивистской задаче

Каждый вопрос задания оценен в определенную сумму баллов в зависимости от сложности и уровня (знания, умения и навыки).

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, 65% баллов отвечают 1 баллу итоговую оценку за семестр), по результатам сдачи двух заданий (3 балла в итоговую оценку за семестр) и по результатам двух контрольных (например, отличная оценка отвечает 3 баллам в итоговую оценку за семестр). Кроме того, за решение задач повышенной сложности домашнего задания студент может набрать премиальные (бонусные) баллы по двум заданиям (например, не более 2 баллов).

Итоговая оценка за работу в семестре (максимум 10 баллов) усредняется с оценкой, полученной студентом при ответе на билет при сдаче экзамена.

36. Перечень типовых контрольных заданий, используемых для оценки знаний, умений, навыков (весенний семестр)

Итоговая экзаменационная оценка выставляется студенту с учетом оценки его работы в семестре.

Работа в семестре оценивается по тем же критериям, что и в предыдущем семестре.

Экзамен проводится в устной форме. Экзаменационные билеты могут содержать наряду с теоретическими вопросами, также и типовые задачи. Форма билета определяется лектором и зависит от лекционного потока.

Традиционная форма билета содержит 2 теоретических вопроса и одну типовую задачу. Пример традиционной формы билета.

Ответ студента оценивается по 10-балльной шкале.

Билеты также могут состоять из 3 – 5 относительно простых вопросов и вопроса (вопросов) повышенной сложности. Простые вопросы оценивают уровень знаний. Сложные вопросы оценивают уровень умений и навыков.

Пример билета с вопросами разного уровня:

46. Критерии оценивания

Студенты, получившие за работу в семестре к началу экзаменационной сессии оценку «неудовлетворительно» (менее 30% усвоения материала), считаются не усвоившими материал и не выполнившими задания курса, поэтому к экзамену не допускаются. на 5 вопросов, получает оценку «отлично» (8).

Итоговая оценка выставляется в соответствии со схемой:

Оценка	Баллы	Критерии
Отлично	10	10 баллов за экзамен и оценка за работу в семестре не ниже 8. 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 6. 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 5. 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 3.
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 правильно

на 1 вопрос, получает оценку «неудовл» (1);

на 2 на 1 вопрос, получает оценку «неудовл» (1);

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

на 4 вопроса, получает оценку «хорошо» (5), (6) или (7), в зависимости от полноты правильных ответов и ответов на другие вопросы;

Студент, ответивший на все 5 вопросов, получает 8 баллов и может выбрать для подготовки вопрос повышенной сложности для получения оценки «отлично» (9) или (10).

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.