

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)

Физический факультет

УТВЕРЖДАЮ:
Декан физического факультета
С.Н. Филимонов

Оценочные материалы по дисциплине

Квантовая механика

по направлению подготовки

03.03.02 Физика

Направленность (профиль) подготовки:
«Фундаментальная и прикладная физика»

Форма обучения
Очная

Квалификация
Бакалавр

Год приема
2025

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ОП
С.Н. Филимонов

Председатель УМК
О.М. Сюсина

1. Компетенции и индикаторы их достижения, проверяемые данными оценочными материалами

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

ОПК-1 Способен применять базовые знания в области физико-математических и (или) естественных наук в сфере своей профессиональной деятельности.

ОПК-2 Способен проводить научные исследования физических объектов, систем и процессов, обрабатывать и представлять экспериментальные данные.

ПК-1 Способен проводить научные исследования в выбранной области с использованием современных экспериментальных и теоретических методов, а также информационных технологий.

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

ИОПК 1.1 Знает основные законы, модели и методы исследования физических процессов и явлений

ИОПК 2.1 Выбирает адекватные методы решения научно-исследовательских задач в выбранной области, планирует проведение научных исследований

ИПК 1.1 Собирает и анализирует научно-техническую информацию по теме исследования, обобщает научные данные в соответствии с задачами исследования.

2. Оценочные материалы текущего контроля и критерии оценивания

Элементы текущего контроля: контрольная работа (ИОПК 1.1, ИОПК 2.1).

По дисциплине «Квантовая механика» предусмотрено две контрольные работы. Каждая контрольная работа состоит из пяти задач и проводится в форме индивидуального собеседования.

Примеры задач для контрольных работ:

1. Найти нормированные стационарные состояния в импульсном представлении для частицы в поле постоянной силы.
2. Найти нормированные волновые функции стационарных состояний гармонического осциллятора в импульсном представлении.
3. Найти нормированные волновые функции и спектр энергий стационарных состояний трехмерного изотропного осциллятора с нулевым значением квадрата углового момента.
4. Вычислить разность потенциалов ионизации атомов водорода и «тяжелого водорода».
5. Найдите функцию Грина и оператор эволюции для заряженной частицы, движущейся в однородном электрическом поле.

Критерии оценивания: результаты каждой контрольной работы определяются оценками «зачтено» и «не зачтено». Оценка «зачтено» выставляется, если студент предъявляет правильные письменные решения не менее трех из пяти задач, то есть для каждой задачи способен обосновать метод решения, понимает используемые термины и формулы и получил правильный ответ. При невыполнении указанных критериев оценки «зачтено» выставляется оценка «не зачтено».

3. Оценочные материалы итогового контроля (промежуточной аттестации) и критерии оценивания

Зачет в 5 семестре проводится в устной форме по экзаменационным билетам.

Билет содержит теоретический вопрос, проверяющий компетенцию ОПК-2 в соответствии с индикатором достижения ИОПК 2.1 и одну задачу, при решении которой студент демонстрирует освоение компетенций ОПК-2 и ПК-1 в соответствии с индикаторами достижения ИОПК-1.1 и ИПК-1.1. После ответа на билет студент отвечает на уточняющие и дополнительные вопросы из открытого перечня вопросов экзаменационных билетов, открытого банка задач (п. 2), направленные на проверку достижения ИОПК-1.1, ИОПК 2.1 и ИПК 1.1.

Перечень теоретических вопросов выносимых на зачет:

1. Дискретные и непрерывные физические величины. Пространства бра- и кет-векторов. Скалярное произведение и норма векторов. Обобщенные функции и векторы.
2. Линейные операторы. Интегральное ядро линейного оператора. Разложение единицы.
3. Алгебра линейных операторов.
4. Эрмитовы, унитарные, положительно определенные и проекционные операторы.
5. Физические величины в квантовой механике. Наблюдаемые значения физических величин. Правила сопоставления фон-Неймана.
6. Принцип соответствия. Постулаты канонического квантования. Канонические коммутационные соотношения.
7. Операторы канонических координат и импульсов в координатном и импульсном представлениях.
8. Статистический оператор и его свойства.
9. Чистые и смешанные состояния. Вектор состояния.
10. Статистический характер квантовой теории. Одновременная измеримость.
11. Вероятность результата измерения физической величины.
12. Соотношение неопределенностей.
13. Спектр энергий гармонического осциллятора.
14. Квантовый ротатор.
15. Оператор эволюции и уравнение Шредингера.
16. Картина Гейзенберга. Теорема Эренфеста.
17. Представление взаимодействия.
18. Вероятности квантовых переходов и фейнмановские интегралы по траекториям.
19. Движение в центральном поле. Радиальное уравнение Шредингера. Структура энергетического спектра.
20. Атом водорода.
21. Природа кулонова вырождения.

Если по результатам текущего контроля студент имеет оценки за контрольные работы «зачтено», то студент отвечает только на теоретический вопрос билета и дополнительные вопросы. Отметка «Зачтено» ставится студенту при правильном ответе не менее чем на 60% вопросов билета и дополнительных вопросов.

Экзамен в 6 семестре проводится в устной форме по экзаменационным билетам.

Билет содержит два теоретических вопроса, проверяющих компетенции ОПК-2 в соответствии с индикатором достижения ИОПК-2.1, ИОПК-1.1 и одну задачу, при решении которых студент демонстрирует освоение компетенций ПК-1 в соответствии с индикатором достижения ИПК 1.1. После ответа на билет студент отвечает на уточняющие и дополнительные вопросы из открытого перечня вопросов экзаменационных билетов, направленные на проверку достижения ИОПК 1.1, ИОПК-2.1 и ИПК 1.1.

Перечень теоретических вопросов, выносимых на экзамен:

1. Вероятность перехода под действием внешних сил в первом порядке теории возмущений.
2. Правила отбора по орбитальному и магнитному квантовому числу для дипольного взаимодействия.
3. Общие свойства одномерного движения.
4. Частица в бесконечно глубокой потенциальной яме.
5. Движение в полубесконечной яме.
6. Прохождение через потенциальный барьер. Туннельный эффект.
7. Холодная эмиссия электронов из металла.
8. Радиоактивный альфа-распад.
9. Движение в периодическом потенциале. Зонная структура спектра.
10. Стационарная теория возмущений для невырожденных собственных значений.
11. Стационарная теория возмущений для вырожденных собственных значений.
12. Квазиклассическое приближение.
13. Вариационный метод Ритца.
14. Эффект Штарка.
15. Движение в однородном магнитном поле.
16. Атом в магнитном поле. Эффект Зеемана.
17. Спин электрона. Гамильтониан Паули.
18. Прецессия спина в однородном магнитном поле.
19. Движение в неоднородном магнитном поле. Опыт Штерна-Герлаха.
20. Принцип неразличимости тождественных частиц. Связь спина и статистики. Принцип запрета Паули.
21. Атом гелия.
22. Молекула водорода.
23. Силы Ван-дер-Ваальса.
24. Симметрии и законы сохранения в квантовой механике.
25. Симметрия и вырождение энергетических уровней.
26. Теория групп и правила отбора.

Если по результатам текущего контроля студент имеет оценки за контрольные работы «зачтено», то студент отвечает только на теоретические вопросы билета и дополнительные вопросы.

Результаты экзамена определяются оценками «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

Оценка «отлично» ставится при правильном ответе не менее чем на 90% вопросов билета и дополнительных вопросов. Оценка «хорошо» ставится при правильном ответе не менее чем на 75% вопросов билета и дополнительных вопросов. Оценка «удовлетворительно» ставится при правильном ответе не менее чем на 60% вопросов билета и дополнительных вопросов. Оценка «неудовлетворительно» ставится при правильном ответе менее чем на 60% вопросов билета и дополнительных вопросов.

4. Оценочные материалы для проверки остаточных знаний (сформированности компетенций)

Тесты (ИОПК-1.1, ИОПК-2.1, ИПК-1.1):

1. Физические величины в квантовой механике описываются:
а) функциями на фазовом пространстве;

- б) эрмитовыми операторами;
- в) статистическими операторами,
- г) унитарными операторами.

Ключи: б).

2. Состояния квантовомеханической системы описываются:

- а) точками фазового пространства системы,
- б) статистическими операторами,
- в) векторами гильбертового пространства,
- г) волновыми функциями,
- д) унитарными операторам.

Ключи: б), в), г).

3. Спектр энергий одномерного гармонического осциллятора является

- а) дискретным,
- б) непрерывным,
- в) смешанным,
- г) вырожденным.

Ключи: а).

4. Эффект Штарка связан с

- а) расщеплением уровней энергии в магнитном поле;
- б) расщеплением уровней энергии в электрическом поле;
- в) пространственным квантованием спина в неоднородном магнитном поле.

Ключи: б)

5. Частицы одного сорта называются бозонами если

- а) их многочастичные волновые функции симметричны,
- б) они имеют полуцелый спин,
- в) не могут одновременно находиться в одном состоянии.

Ключи: а).

Проверка знаний основных формул и положений (ИОПК-2.1, ИПК-1.1):

1. Чем описываются физические величины в квантовой механике?
2. Чем описываются состояния в квантовой механике?
3. Запишите канонические коммутационные соотношения Гейзенберга.
4. В чем выражается соотношение неопределенности Гейзенберга?
5. Как устроен спектр энергий одномерного гармонического осциллятора?
6. В чем состоит разница между бозонами и фермионами?
7. Как устроен спектр энергий квантового ротатора?
8. С чем связано вырождение спектра энергий атома водорода?
9. Сформулируйте принцип запрета Паули.
10. Запишите уравнение Шредингера для атома водорода.
11. В чем состоит эффект Зеемана?
12. В чем состоит эффект Штарка?
13. Опишите схему эксперимента Штерна-Герлаха.
14. Что такое туннельный эффект?
15. Напишите формулу для среднего значения физической величины.

Ответ на каждый вопрос должен содержать запись необходимых формул (уравнений), пояснение используемых обозначений и (при необходимости) используемой системы единиц, объяснение физического смысла написанных формул (уравнений) или (если явно указано в вопросе) объяснение сущности описываемых ими физических эффектов.

Информация о разработчиках

Шарапов Алексей Анатольевич, доктор физико-математических наук, профессор кафедры квантовой теории поля физического факультета ТГУ.