|  |
| --- |
| МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИ И  Ф ЕД ЕР АЛ Ь НО Е Г ОС У Д АР С Т В ЕНН ОЕ АВ Т ОН ОМ Н ОЕ О БР АЗ ОВ А ТЕЛ Ь НО Е У Ч Р ЕЖ Д Е Н ИЕ В Ы С Ш ЕГ О ОБР АЗ О В АН ИЯ  « Н а ц и о н а л ь н ы й и с с л е д о в а т е л ь с к и й я д е р н ы й у н и в е р с и т е т « М И Ф И » |
| **Обнинский институт атомной энергетики –**  филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования  «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»  **(ИАТЭ НИЯУ МИФИ)** |

КАФЕДРА ОБЩЕЙ И СПЕЦИАЛЬНОЙ ФИЗИКИ

Одобрено на заседании

Ученого совета ИАТЭ НИЯУ МИФИ Протокол от 24.04.2023 № 23.4

# ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

|  |
| --- |
| Прикладная (медицинская и биологическая) физика |
| *название дисциплины* |
| для студентов направления подготовки |
| 04.03.02 Химия, физика и механика материалов |
| *код и название [специальности/направления подготовки]* |
| образовательная программа |
| Химические и фармакологические технологии |
| Форма обучения: очная |

г. Обнинск 2023 г.

# Область применения

Фонд оценочных средств (ФОС) *–* является неотъемлемой частью учебно-методического комплекса учебной дисциплины «Квантовая теория. Термодинамика. Статистическая физика» и предназначен для контроля и оценки образовательных достижений обучающихся, освоивших программу данной дисциплины.

# Цели и задачи фонда оценочных средств

Целью Фонда оценочных средств является установление соответствия уровня подготовки обучающихся требованиям федерального государственного образовательного стандарта.

Для достижения поставленной цели Фондом оценочных средств по дисциплине

«Квантовая теория. Термодинамика. Статистическая физика» решаются следующие задачи:

* контроль и управление процессом приобретения обучающимися знаний, умений и навыков, предусмотренных в рамках данного курса;
* контроль и оценка степени освоения компетенций, предусмотренных в рамках данного

курса;

* обеспечение соответствия результатов обучения задачам будущей профессиональной

деятельности через совершенствование традиционных и внедрение инновационных методов обучения в образовательный процесс в рамках данного курса.

# Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы

В результате освоения ООП специалитета обучающийся должен овладеть следующими результатами обучения по дисциплине:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Коды**  **компетенций** | **Результаты освоения ООП**  ***Содержание компетенций\**** | **Перечень планируемых результатов**  **обучения по дисциплине\*\*** |
| ОПК-1 | Способен применять базовые знания в области физико- математических и (или) естественных наук в сфере своей профессиональной деятельности | З-ОПК-1 знать фундаментальные основы, полученные в области естественных и математических наук.  У-ОПК-1 уметь использовать на практике базовые знания, полученные в области естественных и математических наук; применять для анализа и обработки результатов физических экспериментов.  В-ОПК-1 владеть навыками обобщения, синтеза и анализа базовых знаний, полученных в области естественных и математических наук, владеть научным мировоззрением |
| ОПК-3 | Способен понимать принципы работы современных информационных технологий и использовать их для решения задач профессиональной деятельности | З-ОПК-3 знать современные информационные технологии и программные средства при решении задач профессиональной деятельности, соблюдая требования информационной безопасности  У-ОПК-3 уметь выбирать и использовать современные информационные технологии и программные средства для решения задач профессиональной деятельности В-ОПК-3 владеть современными информационными технологиями и программными средствами при решении задач профессиональной деятельности, соблюдая требования  информационной безопасности |

## Этапы формирования компетенций в процессе освоения ОП специалитета

Компоненты компетенций, как правило, формируются при изучении нескольких дисциплин, а также в немалой степени в процессе прохождения практик, НИР и во время самостоятельной работы обучающегося. Выполнение и защита ВКР являются видом учебной деятельности, который завершает процесс формирования компетенций.

Этапы формирования компетенции в процессе освоения дисциплины:

* + - **начальный** этап – на этом этапе формируются знаниевые и инструментальные основы компетенции, осваиваются основные категории, формируются базовые умения. Студент воспроизводит термины, факты, методы, понятия, принципы и правила; решает учебные задачи по образцу;
    - **основной** этап – знания, умения, навыки, обеспечивающие формирование компетенции, значительно возрастают, но еще не достигают итоговых значений. На этом этапе студент осваивает аналитические действия с предметными знаниями по дисциплине, способен

самостоятельно решать учебные задачи, внося коррективы в алгоритм действий, осуществляя коррекцию в ходе работы, переносит знания и умения на новые условия;

* + - **завершающий** этап – на этом этапе студент достигает итоговых показателей по заявленной компетенции, то есть осваивает весь необходимый объем знаний, овладевает всеми умениями и навыками в сфере заявленной компетенции. Он способен использовать эти знания, умения, навыки при решении задач повышенной сложности и в нестандартных условиях.

Этапы формирования компетенций в ходе освоения дисциплины отражаются в тематическом плане (см. РПД).

# Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

Конечными результатами освоения программы дисциплины являются сформированные когнитивные дескрипторы «знать», «уметь»,

«владеть», расписанные по отдельным компетенциям, которые приведены в п.1.1. Формирование этих дескрипторов происходит в процессе изучения дисциплины по этапам в рамках различного вида учебных занятий и самостоятельной работы.

Выделяются три уровня сформированности компетенций на каждом этапе: пороговый, продвинутый и высокий.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Уровни** | **Содержательное описание уровня** | **Основные признаки выделения уровня** | **БРС,**  **%**  **освоения** | **ECTS/Пятибалльная шкала для оценки**  **экзамена/зачета** |
| **Высокий**  *Все виды компетенций сформированы на высоком уровне в соответствии с целями и задачами дисциплины* | Творческая деятельность | *Включает нижестоящий уровень.*  Студент демонстрирует свободное обладание компетенциями, способен применить их в нестандартных ситуациях: показывает умение самостоятельно принимать решение, решать проблему/задачу теоретического или  прикладного характера на основе изученных методов, приемов, технологий | 90-100 | A/ Отлично/ Зачтено |
| **Продвинутый**  *Все виды компетенций сформированы на продвинутом уровне в соответствии с целями и задачами дисциплины* | Применение знаний и умений в более широких контекстах учебной и профессиональной деятельности, нежели по образцу, большей долей самостоятельности и инициативы | *Включает нижестоящий уровень.*  Студент может доказать владение компетенциями: демонстрирует способность собирать, систематизировать, анализировать и грамотно использовать информацию из самостоятельно найденных теоретических источников и иллюстрировать ими теоретические положения или обосновывать практику применения. | 85-89 | B/ Очень хорошо/  Зачтено |
| 75-84 | С/ Хорошо/ Зачтено |
| **Пороговый**  *Все виды компетенций сформированы на пороговом уровне* | Репродуктивная деятельность | Студент демонстрирует владение компетенциями в стандартных ситуациях: излагает в пределах задач курса теоретически и практически контролируемый материал. | 65-74 | D/Удовлетворительно/ Зачтено |
| 60-64 | E/Посредственно  /Зачтено |
| **Ниже порогового** | Отсутствие признаков порогового уровня: компетенции не сформированы.  Студент не в состоянии продемонстрировать обладание компетенциями в стандартных ситуациях. | | 0-59 | Неудовлетворительно/ Зачтено |

Оценивание результатов обучения студентов по дисциплине осуществляется по регламенту текущего контроля и промежуточной аттестации.

Критерии оценивания компетенций на каждом этапе изучения дисциплины для каждого вида оценочного средства и приводятся в п. 4 ФОС. Итоговый уровень сформированности компетенции при изучении дисциплины определяется по таблице. При этом следует понимать, что граница между уровнями для конкретных результатов освоения образовательной программы может смещаться.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Уровень сформированности компетенции** | **Текущий контроль** | **Промежуточная аттестация** |
| высокий | **высокий** | **высокий** |
| *продвинутый* | *высокий* |
| *высокий* | *продвинутый* |
| продвинутый | *пороговый* | *высокий* |
| *высокий* | *пороговый* |
| **продвинутый** | **продвинутый** |
| *продвинутый* | *пороговый* |
| *пороговый* | *продвинутый* |
| пороговый | **пороговый** | **пороговый** |
| ниже порогового | **пороговый** | **ниже порогового** |
| **ниже порогового** | **-** |

# Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков или опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций.

Рейтинговая оценка знаний является интегральным показателем качества теоретических и практических знаний и навыков студентов по дисциплине и складывается из оценок, полученных в ходе текущего контроля и промежуточной аттестации.

Текущий контроль в семестре проводится с целью обеспечения своевременной обратной связи, для коррекции обучения, активизации самостоятельной работы студентов.

Промежуточная аттестация предназначена для объективного подтверждения и оценивания достигнутых результатов обучения после завершения изучения дисциплины.

Текущий контроль осуществляется два раза в семестр: контрольная точка № 1 (КТ № 1) и контрольная точка № 2 (КТ № 2).

Результаты текущего контроля и промежуточной аттестации подводятся по шкале балльно-рейтинговой системы.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Вид контроля** | **Этап рейтинговой системы Оценочное средство** | **Балл** | |
| Минимум | Максимум |
| **Текущий** | **Контрольная точка № 1** | 16 | 30 |
| Оценочное средство № 1.1 Контрольная работа 1, 2 | 7 | 10 |
| Оценочное средство № 1.2 Доклад | 1 | 3 |
| Оценочное средство № 1.3 Устный опрос | 1 | 2 |
| Оценочное средство № 1.4 Проблемный семинар | 1 | 3 |
| Оценочное средство № 1.5 Решение ситуационных задач | 1 | 3 |
| **Контрольная точка № 2** | 19 | 30 |
| Оценочное средство № 2.1 Контрольная работа 1, 2 | 13 | 10 |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | Оценочное средство № 2.2 Реферат | 4 | 6 |
| Оценочное средство № 2.3 Мультимедийное занятие | 1 | 2 |
| Оценочное средство № 2.4 Рефлексия | 1 | 2 |
| **Промежуточный** | **Зачет** | 20 | 40 |
|  | Оценочное средство – Устный зачет по вопросам | 20 | 40 |
| **ИТОГО по дисциплине** | | 60 | 100 |

Бонусы: поощрительные баллы студент получает к своему рейтингу в конце семестра за активную и регулярную работу на практических занятиях, за вовремя сданные индивидуальные задания.

По Положению бонус (премиальные баллы) не может превышать **5 баллов**.

Процедура оценивания знаний, умений, навыков по дисциплине включает учет успешности по всем видам оценочных средств. Оценка качества подготовки включает текущую и промежуточную аттестацию.

**Текущий контроль** представляет собой проверку усвоения учебного материала, регулярно осуществляемую на протяжении обучения на каждой лабораторной работе.

Текущий контроль осуществляется в форме устного опроса, отчета по лабораторной работе, теста, решения ситуационной задачи, докладов, рефератов и контрольных работ.

Формой **промежуточного контроля** является зачет, баллы за который выставляются по итогам устного опроса.

Оценка сформированности компетенций на зачете для тех обучающихся, которые пропускали занятия и не участвовали в проверке компетенций во время изучения дисциплины, проводится после индивидуального собеседования с преподавателем по пропущенным или не усвоенным обучающимся темам с последующей оценкой самостоятельно усвоенных знаний на зачете/экзамене.

# Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков

* 1. ***Паспорт фонда оценочных средств по дисциплине***

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **№ п/п** | **Контролируемые разделы (темы) дисциплины (результаты**  **по разделам)** | **Код контролируемой компетенции (или её части) /**  **и ее формулировка** | **Наименование**  **оценочного средства** |
| **Текущий контроль, 6 семестр** | | | |
| 1. | Основные постулаты квантовой  теории. Математический аппарат квантовой теории. | ОПК-1, ОПК-3 | Коллоквиум |
| 2. | Импульсное представление.  Момент импульса. | ОПК-1, ОПК-3 | Контрольная работа |
| 3. | Приближённые методы в  квантовой теории. | ОПК-1, ОПК-3 | Коллоквиум |
| 4. | Квантовая теория рассеяния | ОПК-1, ОПК-3 | Контрольная работа |
| 5. | Метод вторичного квантования | ОПК-1, ОПК-3 | Контрольная работа |
| **Промежуточный контроль, 6 семестр** | | | |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | зачет | ОПК-1, ОПК-3 |  |
| **Текущий контроль, 7 семестр** | | | |
| 6. | Математическое введение. | ОПК-1, ОПК-3 | ДЗ, вопросы к зачету |
| 7. | Основные понятия и исходные  положения термодинамики. | ОПК-1, ОПК-3 | ДЗ, вопросы к зачету |
| 8. | Общие законы термодинамики.  Первое начало. | ОПК-1, ОПК-3 | ДЗ, вопросы к зачету |
| 9. | Второе начало термодинамики | ОПК-1, ОПК-3 | ДЗ, вопросы к зачету |
| 10. | Третье начало термодинамики | ОПК-1, ОПК-3 | ДЗ, вопросы к зачету |
| 11. | Методы термодинамики | ОПК-1, ОПК-3 | ДЗ, вопросы к зачету |
| 12. | Условия равновесия и устойчи- вости термодинамических  систем | ОПК-1, ОПК-3 | ДЗ, вопросы к зачету |
| 13. | Системы с переменным числом  частиц | ОПК-1, ОПК-3 | ДЗ, вопросы к зачету |
| 14. | Фазовые переходы | ОПК-1, ОПК-3 | ДЗ, вопросы к зачету |
| 15. | Элементы теории вероятно- сти. | ОПК-1, ОПК-3 | ДЗ, вопросы к зачету |
| 16. | Средние значения. Флуктуации. | ОПК-1, ОПК-3 | ДЗ, вопросы к зачету |
| 17. | Фазовое пространство. Теорема  Лиувилля. | ОПК-1, ОПК-3 | ДЗ, вопросы к зачету |
| 18. | Число состояний и плотность  состояний. | ОПК-1, ОПК-3 | ДЗ, вопросы к зачету |
| 19. | Микроканоническое и канони-  ческое распределение. | ОПК-1, ОПК-3 | ДЗ, вопросы к зачету |
| 20. | Распределение Максвелла. | ОПК-1, ОПК-3 | ДЗ, вопросы к зачету |
| 21. | Нахождение доли молекул, обладающих определенными  свойствами. | ОПК-1, ОПК-3 | ДЗ, вопросы к зачету |
| 22. | Распределение Больцмана. | ОПК-1, ОПК-3 | ДЗ, вопросы к зачету |
| 23. | Квантовые функции распреде-  ления. | ОПК-1, ОПК-3 | ДЗ, вопросы к зачету |
| **Промежуточный контроль, 7 семестр** | | | |
|  | экзамен |  |  |
| Всего: | | | |

## Типовые контрольные задания или иные материалы

* + 1. ***а) Зачет, типовые вопросы - образец:***

1. Основные этапы развития статистической физики
2. Элементы теории вероятности функция распределения.
3. Закон сложения вероятностей
4. Закон умножения вероятностей.
5. Средние значения.
6. Основные понятия и принципы статистической физики.
7. Объект, предмет и методы статистической физики.
8. Микроскопическое состояние.
9. Фазовое пространство.
10. Микроскопическое описание состояния квантовой системы.
11. Состояние статистического равновесия.
12. Теорема Лиувилля.
13. Зависимость функции распределения от энергии системы.
14. Микроканоническое распределение.
15. Каноническое распределение.
16. Число квантовых состояний.
17. Статистический вес и энтропия.
18. Каноническое распределение Гиббса.
19. Большое каноническое распределение Гиббса.
20. Статистическая температура.
21. Энтропия.
22. Классическое каноническое распределение Гиббса.
23. Квазиклассический идеальный газ.
24. Распределение Максвелла-Больцмана.
25. Распределение Максвелла по импульсам.
26. Распределение Максвелла по скоростям.
27. Распределение Максвелла по энергиям.
28. Приемы преобразования термодинамических величин
29. Свойства полного дифференциала
30. Нахождение интегрирующего множителя
31. Якобиан преобразований и его свойства
32. Термодинамические коэффициенты.
33. Исходные положения и основы термодинамики
34. Основные понятия и законы термодинамики. Термодинамические системы.
35. Объект, предмет и методы термодинамики
36. Энтропия
37. Первое начало термодинамики
38. Термические и калорическое уравнения
39. Второе начало термодинамики
40. Теоремы Карно и КПД.
41. Границы применимости второго начала термодинамики
42. Тепловые машины
43. Расширение идеального газа в пустоту
44. Метод термодинамических потенциалов
45. Условия равновесного состояния изолированной системы
46. Условие равновесия гетерогенной системы
47. Правило фаз Гиббса
48. Условие устойчивости равновесия однофазной системы
49. Условие равновесия двухфазной однокомпонентной системы
50. Кривые равновесия фаз и фазовые переходы
51. Фазовые переходы первого рода
52. Уравнение Клапейрона-Клаузиуса
53. Фазовые переходы второго рода
54. Уравнение Эренфеста
55. Состояние термодинамического равновесия. Уравнения состояния.
56. Первое начало термодинамики. Внутренняя энергия. Количество теплоты и работа.
57. Энтропия и абсолютная температура.
58. Основное уравнение термодинамики для квазистатических процессов.
59. Закон возрастания энтропии. Неравенство Клаузиуса.
60. Третье начало термодинамики. Недостижимость абсолютного нуля температур.
61. Метод циклов.
62. Системы с переменным числом частиц.
63. Общие условия термодинамического равновесия и устойчивости.
64. Условия равновесия систем во внешнем поле.
65. Условия равновесия гетерогенной системы. Правило фаз Гиббса.
66. Фазовые переходы. Критическое состояние.

## а) Экзамен, типовые вопросы - образец:

1. Основные этапы развития статистической физики
2. Элементы теории вероятности функция распределения.
3. Закон сложения вероятностей
4. Закон умножения вероятностей.
5. Средние значения.
6. Основные понятия и принципы статистической физики.
7. Объект, предмет и методы статистической физики.
8. Микроскопическое состояние.
9. Фазовое пространство.
10. Микроскопическое описание состояния квантовой системы.
11. Состояние статистического равновесия.
12. Теорема Лиувилля.
13. Зависимость функции распределения от энергии системы.
14. Микроканоническое распределение.
15. Каноническое распределение.
16. Число квантовых состояний.
17. Статистический вес и энтропия.
18. Каноническое распределение Гиббса.
19. Большое каноническое распределение Гиббса.
20. Статистическая температура.
21. Энтропия.
22. Классическое каноническое распределение Гиббса.
23. Квазиклассический идеальный газ.
24. Распределение Максвелла-Больцмана.
25. Распределение Максвелла по импульсам.
26. Распределение Максвелла по скоростям.
27. Распределение Максвелла по энергиям.
28. Приемы преобразования термодинамических величин
29. Свойства полного дифференциала
30. Нахождение интегрирующего множителя
31. Якобиан преобразований и его свойства
32. Термодинамические коэффициенты.
33. Исходные положения и основы термодинамики
34. Основные понятия и законы термодинамики. Термодинамические системы.
35. Объект, предмет и методы термодинамики
36. Энтропия
37. Первое начало термодинамики
38. Термические и калорическое уравнения
39. Второе начало термодинамики
40. Теоремы Карно и КПД.
41. Границы применимости второго начала термодинамики
42. Тепловые машины
43. Расширение идеального газа в пустоту
44. Метод термодинамических потенциалов
45. Условия равновесного состояния изолированной системы
46. Условие равновесия гетерогенной системы
47. Правило фаз Гиббса
48. Условие устойчивости равновесия однофазной системы
49. Условие равновесия двухфазной однокомпонентной системы
50. Кривые равновесия фаз и фазовые переходы
51. Фазовые переходы первого рода
52. Уравнение Клапейрона-Клаузиуса
53. Фазовые переходы второго рода
54. Уравнение Эренфеста
55. Состояние термодинамического равновесия. Уравнения состояния.
56. Первое начало термодинамики. Внутренняя энергия. Количество теплоты и работа.
57. Энтропия и абсолютная температура.
58. Основное уравнение термодинамики для квазистатических процессов.
59. Закон возрастания энтропии. Неравенство Клаузиуса.
60. Третье начало термодинамики. Недостижимость абсолютного нуля температур.
61. Метод циклов.
62. Системы с переменным числом частиц.
63. Общие условия термодинамического равновесия и устойчивости.
64. Условия равновесия систем во внешнем поле.
65. Условия равновесия гетерогенной системы. Правило фаз Гиббса.
66. Фазовые переходы. Критическое состояние.

**б) Критерии оценивания компетенций (результатов):**

|  |  |
| --- | --- |
| Оценка | Критерии оценки |
| Отлично 36–40 | **Студент должен:**   * продемонстрировать глубокое и прочное усвоение знаний программного материала; * исчерпывающе, последовательно, грамотно и логически стройно изложить теоретический материал; * правильно формулировать определения; * продемонстрировать умения самостоятельной работы с литературой; * уметь сделать выводы по излагаемому материалу. |
| Хорошо 30–35 | **Студент должен:**   * продемонстрировать достаточно полное знание программного материала; * продемонстрировать знание основных теоретических понятий;   достаточно последовательно, грамотно и логически стройно излагать материал;   * продемонстрировать умение ориентироваться в литературе; * уметь сделать достаточно обоснованные выводы по излагаемому материалу. |
| Удовлетворительно 24–29 | **Студент должен:**   * продемонстрировать общее знание изучаемого материала; * показать общее владение понятийным аппаратом дисциплины; |

|  |  |
| --- | --- |
|  | * уметь строить ответ в соответствии со структурой излагаемого вопроса; * знать основную рекомендуемую программой учебную литературу. |
| Неудовлетворительно 23 и меньше | **Студент демонстрирует:**   * незнание значительной части программного материала; * не владение понятийным аппаратом дисциплины; * существенные ошибки при изложении учебного материала; * неумение строить ответ в соответствии со структурой излагаемого вопроса; * неумение делать выводы по излагаемому материалу. |

**в) Описание шкалы оценивания:**

|  |  |
| --- | --- |
| **Рейтинговый балл по**  **дисциплине за экзамен** | **Оценка по 5-балльной**  **системе** |
| 36 – 40 | Отлично |
| 30 – 35 | Хорошо |
| 24 – 29 | Удовлетворительно |
| <23 | Неудовлетворительно |

***6.2.2. а) Коллоквиум, типовые вопросы - образец:***

Билет

### БИЛЕТ № 1

Коллоквиум по квантовой теории для группы ФИЗ, 6-й семестр.

# 1. Уравнение Шредингера.

Оператор Гамильтона. Начальное и граничные условия. Оператор эволюции. Стандартные условия для волно-вой функции. Уравнение Шредингера для одной частицы во внешнем поле. Вывод уравнения непрерывности. Доказательство сохранения условия нормировки. Интегралы движения в квантовой механике. Условия сохра-нения физической величины.

**Задача 1.** Доказать, что если операторы 𝐴^ и 𝐵^ эрмитовы, то эрмитовы и операторы 𝐴^+𝐵^ и

𝐴^𝐵^ +𝐵^ 𝐴^.

**Задача 2**. Плоским ротатором называют называют систему из двух жестко связанных частиц, вращающуюся в плоскости вокруг своего центра инерции. Оператор энергии такого ротатора имеет вид H = (ħ2/2I)∂2/∂φ2 , где I - момент инерции системы. Полагая, что в начальный момент времени волновая функция ротатора имеет вид Ф(φ, 0) = Acos2φ , найти эту волновую функцию в момент времени t.

### БИЛЕТ № 2

Коллоквиум по квантовой теории для группы ФИЗ, 6-й семестр.

# 1. Основные постулаты квантовой теории.

Математический аппарат нерелятивистской квантовой теории, гильбертово пространство, линейные операторы. Постулат о состояниях физической системы и векторах гильбертового пространства. Постулат о физических величинах и операторах в гильбертовом пространстве. Результаты измерения физической величины и собственные значения эрмитовых операторов. Постулат о вычислении вероятности получения определенного значения физической величины. Уравнение для вектора состояния физической системы, оператор Гамильтона. Принцип соответствия в квантовой теории.

**Задача 1.** Найти оператор, эрмитово сопряженный к оператору x𝑝^x .

**Задача 2.** Частица находится в одномерной прямоугольной потенциальной яме шириной L с абсолютно непроницаемыми стенками. Найти волновую функцию частицы в момент времени t,если в начальный момент она имеет вид: Ψ(x,t=0) = 0 в области от 0 до L/4 и в области от 3L/4 до L, Ψ(x,t=0) =C в области от L/4 до 3L/4.

### БИЛЕТ № 3

Коллоквиум по квантовой теории для группы ФИЗ, 6-й семестр.

# 1. Собственные функции и собственные значения эрмитового оператора.

Определение эрмитового оператора. Доказательство вещественности собственных значений и ортогональности собственных функций эрмитового оператора. Полнота набора собственных функций эрмитового оператора. Теорема о коммутирующих операторах. Вычисление среднего значения физической величины. Непрерывный спектр собственных значений, нормировка состояний непрерывного спектра.

**Задача 1.** Найти оператор, эрмитово сопряженный к оператору i𝑝^x..

**Задача 2.** Доказать, что производная по времени от оператора проекции момента импульса равна оператору проекции момента импульса внешних сил, т.е.

(x) = x , где x =-(y - z).

### БИЛЕТ № 4

Коллоквиум по квантовой теории для группы ФИЗ, 6-й семестр.

# 1. Экспериментальные основы квантовой теории.

Проблемы в теоретическом описании теплового излучения. Предположение Планка. Фотозффект, эффект Комптона, теоретическое объяснение. Двойственная природа электромагнитных волн. Спектр излучения водорода, постулаты Бора. Опыты Франка и Герца. Опыты Девидсона и Джермера. Предположение де Бройля.

Проверка формулы де Бройля Девидсоном и Джермером. Эксперименты Томсона и Тарковского, Штерна.

**Задача 1.** Проверить следующее правило коммутации для гамильтониана Н в потенциаль-ном поле U(x): [𝐻^,x] = (-iħ/m)𝑝^x .

**Задача 2.** Используя, что собственные функции оператора волнового числа  (k=/ħ) есть ψk(x)

= (2π)-1/2exp(ikx), найти распределение вероятностей различных значений волнового числа k для частицы на n-том уровне в одномерной прямоугольной потенциальной яме шириной l с абсолютно непроницаемыми стенками.

### БИЛЕТ № 5

Коллоквиум по квантовой теории для группы ФИЗ, 6-й семестр.

# 1. Собственные функции и собственные значения эрмитового оператора.

Определение эрмитового оператора. Доказательство вещественности собственных значений и ортогональности собственных функций эрмитового оператора. Полнота набора собственных функций эрмитового оператора. Теорема о коммутирующих операторах. Вычисление среднего значения физической величины. Непрерывный спектр собственных значений, нормировка состояний непрерывного спектра.

**Задача 1.** Проверить следующее правило коммутации для гамильтониана Н в потенциаль-ном поле U(x): [𝐻^, 𝑝^ ] = iħ𝛛𝑈 .

x

𝛛𝑥

**Задача 2.** Определить возможные собственные значения оператора z и их вероятности для системы , находящейся в состоянии с волновой функцией ψ(φ) = Asin2φ.

### БИЛЕТ № 6

Коллоквиум по квантовой теории для группы ФИЗ, 6-й семестр.

# 1. Гильбертово пространство и линейные операторы.

Определение гильбертового пространства L2 . Скалярное произведение в гильбертовом прострастве. Полный и ортонормированный набор векторов. Необходимое и достаточное условие полноты набора векторов. Опреде-ление линейного оператора в L2 . Сумма операторов, произведение, коммутатор и антикоммутатор, функция от операторов. Виды операторов; обратный, эрмитово сопряженный, самосопряженный (эрмитов), унитарный.

**Задача 1.** Найти общую собственную функцию операторов: 𝑝^x и 𝑝^ 2.

x

**Задача 2.** Частица находится в одномерной прямоугольной потенциальной яме шириной с абсолютно непроницаемыми стенками. Найти волновую функцию частицы в момент времени t, если в начальный момент она имеет вид: Ψ(x,t=0) = Asin2(πx/l).

### БИЛЕТ № 7

Коллоквиум по квантовой теории для группы ФИЗ, 6-й семестр.

# 1. Стационарные и нестационарные состояния.

Определение стационарного состояния. Зависимость от времени для стационарного состояния. Вывод некото-рых свойств стационарных состояний; независимость от времени плотности вероятности, среднего значения физической величины, вероятности измерения любой физической величины. Вычисление волных функций стационарных состояний для свободного движения, нормировка таких состояний. Нестационарные состояния. Разложение волновой функции нестационарного состояния по стационарным волновым функциям. Вычисле-ние коэффициентов разложения для гамильтониана не зависящегося от времени. Запись общего решения уравнения Шредингера через функцию Грина. Явный вид функции Грина через стационарные состояния.

**Задача 1.** Найти среднюю кинетическую энергию частицы в одномерной прямоугольной потенциальной яме с абсолютно непроницаемыми стенками (0<x<l), если частица находится в состоянии: ψ(x)=A sin2(πx/l).

**Задача 2.** Доказать, что операторы скорости и ускорения частицы, движущейся в поле с потенциальной энергией V(r), могут быть представлены в виде 𝑣^(r)=/m, =-grad(V(r))/m, где m

- масса частицы, 𝑝^ - оператор импульса частицы.

### БИЛЕТ № 8

Коллоквиум по квантовой теории для группы ФИЗ, 6-й семестр.

# 1.Стационарные и нестационарные состояния.

Определение стационарного состояния. Зависимость от времени для стационарного состояния. Вывод некото-рых свойств стационарных состояний; независимость от времени плотности вероятности, среднего значения физической величины, вероятности измерения любой физической величины. Вычисление волных функций стационарных состояний для свободного движения, нормировка таких состояний. Нестационарные состояния. Разложение волновой функции нестационарного состояния по стационарным волновым функциям. Вычисле-ние коэффициентов разложения для гамильтониана не зависящегося от времени. Запись общего решения уравнения Шредингера через функцию Грина. Явный вид функции Грина через стационарные состояния.

**Задача 1.** Доказать эрмитовость оператора 𝑝^x .

**Задача 2.** В одномерной прямоугольной потенциальной яме шириной l с абсолютно непроницаемыми стенками находится частица в состоянии ψ(x) = Asin2(πx/l). Вычислить вероятность ее пребывания в состоянии с n=2.

### БИЛЕТ № 9

Коллоквиум по квантовой теории для группы ФИЗ, 6-й семестр.

# 1. Основные постулаты квантовой теории.

Математический аппарат нерелятивистской квантовой теории, гильбетово пространство, линейные операторы. Постулат о состояниях физической системы и векторах гильбертового пространства. Постулат о физических величинах и операторах в гильбертовом пространстве. Результаты измерения физической величины и собствен -ные значения эрмитовых операторов. Постулат о вычислении вероятности получения определенного значения физической величины. Уравнение для вектора состояния физической системы, оператор Гамильтона. Принцип соответствия в квантовой теории.

**Задача 1.** Доказать неэрмитовость оператора 𝑥𝑝^x .

**Задача 2.** Найти среднюю кинетическую энергию для гармонического осциллятора в основном

состоянии ψ(x)=Aexp(-kx2/(2ђω)), где k - коэффициент квазиупругой силы, ω - частота осциллятора, U(x)=kx2/2.

### БИЛЕТ № 10

Коллоквиум по квантовой теории для группы ФИЗ, 6-й семестр.

# 1. Собственные функции и собственные значения эрмитового оператора.

Определение эрмитового оператора. Доказательство вещественности собственных значений и ортогональности собственных функций эрмитового оператора. Полнота набора собственных функций эрмитового оператора. Теорема о коммутирующих операторах. Вычисление среднего значения физической величины. Непрерывный спектр собственных значений, нормировка состояний непрерывного спектра.

**Задача 1.** Найти оператор, сопряженный с оператором 𝑥𝑝^x .

**Задача 2.** Используя, что собственные функции оператора волнового числа 𝑘^ (k=𝑝^/ħ) есть ψk(x)

= (2π)-1exp(ikx), найти распределение вероятностей различных значений волнового числа k для

частицы на n-том уровне в одномерной прямоугольной потенциальной яме шириной l с абсолютно непроницаемыми стенками.

### БИЛЕТ № 11

Коллоквиум по квантовой теории для группы ФИЗ, 6-й семестр.

# 1. Уравнение Шредингера.

Оператор Гамильтона. Начальное и граничные условия. Оператор эволюции. Стандартные условия для волно-вой функции. Уравнение Шредингера для одной частицы во внешнем поле. Вывод уравнения непрерывности. Доказательство сохранения условия нормировки. Интегралы движения в квантовой механике. Условия сохра-нения физической величины.

**Задача 1.** Найти общую собственную функцию операторов: 𝑝^x и y.

**Задача 2.** Плоским ротатором называют называют систему из двух жестко связанных частиц, вращающуюся в плоскости вокруг своего центра инерции. Оператор энергии такого ротатора *имеет* вид H = (ħ2/2I)∂2/∂φ2 , где I - момент инерции системы. Полагая, что в начальный момент времени волновая функция ротатора имеет вид Ф(φ, 0) = Acosφ , найти эту волновую функцию в момент времени t.

### БИЛЕТ № 12

Коллоквиум по квантовой теории для группы ФИЗ, 6-й семестр.

# 1. Основные постулаты квантовой теории.

Математический аппарат нерелятивистской квантовой теории, гильбетово пространство, линейные операторы. Постулат о состояниях физической системы и векторах гильбертового пространства. Постулат о физических величинах и операторах в гильбертовом пространстве. Результаты измерения физической величины и собствен -ные значения эрмитовых операторов. Постулат о вычислении вероятности получения определенного значения физической величины. Уравнение для вектора состояния физической системы, оператор Гамильтона. Принцип соответствия в квантовой теории.

**Задача 1.** Доказать эрмитовость оператора 𝑝^ 2 .

x

**Задача 2.** Частица находится в одномерной прямоугольной потенциальной яме шириной l с абсолютно непроницаемыми стенками. Найти волновую функцию частицы в момент времени t,если в начальный момент она имеет вид: Ψ(x,t=0) = 0 в области от 0 до L/3 и в области от 2L/3 до L, Ψ(x,t=0) =C в области от L/3 до 2L/3.

### БИЛЕТ № 13

Коллоквиум по квантовой теории для группы ФИЗ, 6-й семестр.

# 1. Собственные функции и собственные значения эрмитового оператора.

Определение эрмитового оператора. Доказательство вещественности собственных значений и ортогональности собственных функций эрмитового оператора. Полнота набора собственных функций эрмитового оператора. Теорема о коммутирующих операторах. Вычисление среднего значения физической величины. Непрерывный спектр собственных значений, нормировка состояний непрерывного спектра.

**Задача 1.** Найти оператор, сопряженный с оператором i𝑝^x .

**Задача 2.** Доказать, что производная по времени от оператора проекции момента импульса равна оператору проекции момента импульса внешних сил, т.е.

(x) = x , где x =-(y - z).

### БИЛЕТ № 14

Коллоквиум по квантовой теории для группы ФИЗ, 6-й семестр.

# 1. Экспериментальные основы квантовой теории.

Проблемы в теоретическом описании теплового излучения. Предположение Планка. Фотозффект, эффект Комптона, теоретическое объяснение. Двойственная природа электромагнитных волн. Спектр излучения водорода, постулаты Бора. Опыты Франка и Герца. Опыты Девидсона и Джермера. Предположение де Бройля.

Проверка формулы де Бройля Девидсоном и Джермером. Эксперименты Томсона и Тарковского, Штерна.

**Задача 1.** Найти собственные значения и нормированные собственные функции оператора 𝐿^z.

**Задача 2**. Используя, что собственные функции оператора волнового числа  (k=/ħ) есть ψk(x)

= (2π)-1/2exp(ikx), найти распределение вероятностей различных значений волнового числа k для частицы на n-том уровне в одномерной прямоугольной потенциальной яме шириной l с абсолютно непроницаемыми стенками.

### БИЛЕТ № 15

Коллоквиум по квантовой теории для группы ФИЗ, 6-й семестр.

# 1. Собственные функции и собственные значения эрмитового оператора.

Определение эрмитового оператора. Доказательство вещественности собственных значений и ортогональности собственных функций эрмитового оператора. Полнота набора собственных функций эрмитового оператора. Теорема о коммутирующих операторах. Вычисление среднего значения физической величины. Непрерывный спектр собственных значений, нормировка состояний непрерывного спектра.

**Задача 1.** Доказать унитарность оператора 𝑒𝑖𝐴^, если 𝐴^ – эрмитовый (самосопряжённый) оператор.

**Задача 2.** Определить возможные собственные значения оператора z и их вероятности для системы , находящейся в состоянии с волновой функцией ψ(φ) = Asin(10φ).

### БИЛЕТ № 16

Коллоквиум по квантовой теории для группы ФИЗ, 6-й семестр.

# 1. Гильбертово пространство и линейные операторы.

Определение гильбертового пространства L2 . Скалярное произведение в гильбертовом прострастве. Полный и ортонормированный набор векторов. Необходимое и достаточное условие полноты набора векторов. Опреде-ление линейного оператора в L2 . Сумма операторов, произведение, коммутатор и антикоммутатор, функция от операторов. Виды операторов; обратный, эрмитово сопряженный, самосопряженный (эрмитов), унитарный.

**Задача 1.** Найти собственные значения и нормированные собственные функции оператора 𝐿^z2.

**Задача 2.** Частица находится в одномерной прямоугольной потенциальной яме шириной с абсолютно непроницаемыми стенками. Найти волновую функцию частицы в момент времени t, если в начальный момент она имеет вид: Ψ(x,t=0) = Asin2(πx/l).

### БИЛЕТ № 17

Коллоквиум по квантовой теории для группы ФИЗ, 6-й семестр.

# 1. Стационарные и нестационарные состояния.

Определение стационарного состояния. Зависимость от времени для стационарного состояния. Вывод некото-рых свойств стационарных состояний; независимость от времени плотности вероятности, среднего значения физической величины, вероятности измерения любой физической величины. Вычисление волных функций стационарных состояний для свободного движения, нормировка таких состояний. Нестационарные состояния. Разложение волновой функции нестационарного состояния по стационарным волновым функциям. Вычисле-ние коэффициентов разложения для гамильтониана не зависящегося от времени. Запись общего решения уравнения Шредингера через функцию Грина. Явный вид функции Грина через стационарные состояния.

**Задача 1.** В одномерной прямоугольной потенциальной яме шириной l с абсолютно непроницаемыми стенками находится частица в состоянии ψ(x) = Asin2(πx/l). Вычислить вероятность ее пребывания в основном состоянии.

**Задача 2.** Доказать, что операторы скорости и ускорения частицы, движущейся в поле с потенциальной энергией V(r), могут быть представлены в виде 𝑣^(r)=/m, =-grad(V(r))/m, где m

- масса частицы, 𝑝^ - оператор импульса частицы.

### БИЛЕТ № 18

Коллоквиум по квантовой теории для группы ФИЗ, 6-й семестр.

# Стационарные и нестационарные состояния.

Определение стационарного состояния. Зависимость от времени для стационарного состояния. Вывод некото-рых свойств стационарных состояний; независимость от времени плотности вероятности, среднего значения физической величины, вероятности измерения любой физической величины. Вычисление волных функций стационарных состояний для свободного движения, нормировка таких состояний. Нестационарные состояния. Разложение волновой функции нестационарного состояния по стационарным волновым функциям. Вычисле-ние коэффициентов разложения для гамильтониана не зависящегося от времени. Запись общего решения уравнения Шредингера через функцию Грина. Явный вид функции Грина через стационарные состояния.

**Задача 1.** Найти оператор, эрмитово сопряженный к оператору x𝑝^x .

**Задача 2.** Доказать справедливость следующих операторных соотношений;

* 1. d𝑥^/dt = 𝑝^x/m,
  2. d𝑝^x/dt = -∂U/∂x.

### БИЛЕТ № 19

Коллоквиум по квантовой теории для группы ФИЗ, 6-й семестр.

# 1. Основные постулаты квантовой теории.

Математический аппарат нерелятивистской квантовой теории, гильбетово пространство, линейные операторы. Постулат о состояниях физической системы и векторах гильбертового пространства. Постулат о физических величинах и операторах в гильбертовом пространстве. Результаты измерения физической величины и собствен -ные значения эрмитовых операторов. Постулат о вычислении вероятности получения определенного значения физической величины. Уравнение для вектора состояния физической системы, оператор Гамильтона. Принцип соответствия в квантовой теории.

**Задача 1.** Проверить следующее правило коммутации для гамильтониана Н в потенциаль-ном поле U(x): [𝐻^, 𝑝^ ] = iħ𝛛𝑈 .

x

𝛛𝑥

**Задача 2.** Доказать, что производная по времени от оператора равна оператору проекции момента импульса внешних сил, т.е.

𝑑 (𝐿^x) = 𝑀^x , где 𝑀^x =-(y𝛛𝑈 - z𝛛𝑈).

𝑑𝑡

𝛛𝑧

𝛛𝑦

### БИЛЕТ № 20

Коллоквиум по квантовой теории для группы ФИЗ, 6-й семестр.

# 1. Собственные функции и собственные значения эрмитового оператора.

Определение эрмитового оператора. Доказательство вещественности собственных значений и ортогональности собственных функций эрмитового оператора. Полнота набора собственных функций эрмитового оператора. Теорема о коммутирующих операторах. Вычисление среднего значения физической величины. Непрерывный спектр собственных значений, нормировка состояний непрерывного спектра.

**Задача 1.** Проверить следующее правило коммутации для гамильтониана Н в потенциаль-ном поле U(x): [𝐻^,x] = (-iħ/m)𝑝^x .

**Задача 2.** Используя, что собственные функции оператора волнового числа 𝑘^ (k=𝑝^/ħ) есть ψk(x)

= (2π)-1exp(ikx), найти распределение вероятностей различных значений волнового числа k для

частицы на n-том уровне в одномерной прямоугольной потенциальной яме шириной l с абсолютно непроницаемыми стенками.

**б) Критерии оценивания компетенций (результатов):**

* уровень освоения обучающимся материала, предусмотренного учебной программой;
* умение обучающегося использовать теоретические знания при выполнении заданий и задач;
* обоснованность, четкость, краткость изложения ответа.

**Описание шкалы оценивания**

**Отметка «отлично»** (в баллах от 27 до 30) ставится, если:

* изученный материал изложен полно, определения даны верно;
* ответ показывает понимание материала;
* обучающийся может обосновать свои суждения, применить знания на практике, привести необходимые примеры, не только по учебнику и конспекту, но и самостоятельно составленные.

**Отметка «хорошо»** (в баллах от 22 до 26) ставится, если:

* изученный материал изложен достаточно полно;
* при ответе допускаются ошибки, заминки, которые обучающийся в состоянии исправить самостоятельно при наводящих вопросах;
* обучающийся затрудняется с ответами на 1-2 дополнительных вопроса.

**Отметка «удовлетворительно»** (в баллах от 18 до 21) ставится, если:

* материал изложен неполно, с неточностями в определении понятий или формулировке определений;
* материал излагается непоследовательно;

–обучающийся не может достаточно глубоко и доказательно обосновать свои суждения и привести свои примеры;

* на 50% дополнительных вопросов даны неверные ответы.

**Отметка «неудовлетворительно»** (в баллах от 0 до 17) ставится, если:

* при ответе обнаруживается полное незнание и непонимание изучаемого материала;
* материал излагается неуверенно, беспорядочно;
* даны неверные ответы более чем на 50% дополнительных вопросов.

**в) Описание шкалы оценивания:**

|  |  |
| --- | --- |
| **Рейтинговый балл по дисциплине за**  **коллоквиум** | **Оценка по 5-балльной системе** |
| 27 – 30 | Отлично |
| 22 – 26 | Хорошо |
| 18 – 21 | Удовлетворительно |
| <17 | Неудовлетворительно |

* + 1. **а) Контрольные работы, типовые задания:**

Контрольная работа по квантовой теории для группы , 6-й семестр.

БИЛЕТ № 1

# Линейный гармонический осциллятор.

Гармонический осциллятор в классической физике. Гармонический осциллятор в квантовой физике. Переход к безразмерным переменным. Асимптотическое поведение волновой функции. Поиск решения в виде ряда, рекуррентные соотношения для коэффициентов ряда, анализ асимптотического поведения ряда. Выражение для возможных значений энергии осциллятора. Полиномы Эрмита, волновые функции осциллятора. Сравнительный анализ квантового и классического осцилляторов.

1. **Задача 1.** Частица массы m находится в одномерном потенциальном поле U(x), где U=∞ для x≤0, U=0 для 0<x<l, U(x)=U0 для x≥l. Получить уравнение, определяющее возможные значения энергии частицы в области E<U0, привести это уравнение к виду:

sin(𝑘𝑙) = ±𝑘𝑙√h2/(2𝑚𝑙2 𝑈0), где k=√2𝑚𝐸/ħ.

Показать с помощью графического решения этого уравнения, что возможные значения энергии

частицы образуют дискретный спектр. При каком условии появится только один уровень с минимальной энергией.

1. **Задача 2.** Сохраняются ли такие физические величины как энергия, импульс при движении в следующих полях: 1) в однородном потенциальном поле U(z)=cz, где c – константа. 2) в центрально симметричном поле U(r).

Контрольная работа по квантовой теории для группы, 6-й семестр.

БИЛЕТ № 2

# Эквивалентные представления. Понятие вектора состояния.

Преобразование волновых функций при переходе от одного представления к другому. Унитарность оператора преобразования. Сохранение скалярного произведения, преобразование операторов при смене представления. Доказательство независимости физических величин от выбора представления. Использование абстрактного гильбертового пространство для описания физической системы без использования определенного представления. Обозначения Дирака векторов состояния, идентификатор или индекс состояния. Запись волновой функции через вектора состояний, индекс представления. Оператор проектирования, выражение для произвольного оператора через операторы проектирования. Спектральное представление оператора.

1. **Задача 1.** Частица движется в сферически симметричном поле. Будут ли оператор импульса, оператор кинетической энергии, оператор момента импульса интегралами движения?
2. **Задача 2.** Частица находится в основном состоянии линейного гармонического осцилля-тора. Найти вероятность пребывания этой частицы в области, запрещенной для классичес-кого осциллятора

Контрольная работа по квантовой теории для группы, 6-й семестр.

### БИЛЕТ № 3

1. **Различные представления волновых функций и операторов в квантовой механике.** Волновая функция с определенным значением импульса частицы. Вычисление амплитуды вероятности расп-ределеиия импульса для произвольного состояния. Волновая функция в импульсном представлении. Преобразование операторов физических величин при переходе из

координатного в импульсное представление. Полу-чение явного вида операторов координаты и импульса. Определение понятия представления в общем случае.

1. **Задача 1.** Найти уравнения движения для операторов в представлении взаимодействия. Волновые функции в этом представлении получают из волновых функций в представлении Шредингера с помощью унитарного преобразования *взаимод* =exp(iH0t/ħ) *Шрединг* , где H0 - часть полного гамильтониана взаимодействия, H=H0+V, здесь V - оператор взаимодействия.
2. **Задача 2.** Частица массы m находится в некотором одномерном потенциальном поле U(x) в стационарном состоянии, для которого волновая функция имеет вид: Ψ(x)=Aexp(-bx2), где A и b -заданные постоянные. Учитывая, что U(x)=0 при x=0, найти U(x) и E энергию частицы.

Контрольная работа по квантовой теории для группы, 6-й семестр.

БИЛЕТ № 4

# Прямоугольная потенциальная яма конечной глубины.

Решение уравнения Шредингера для областей внутри и вне ямы для отрицательной энергии частицы. Классифи -кация на четные и нечетные состояния. Использование стандартных условий. Получение уравнений, определя -ющих возможные энергии, графическое решение уравнений. Число возможных состояний в яме конечной глубины. Решение уравнения Шредингера для положительной энергии частицы, анализ движения частицы.

1. **Задача 1.** Заряженная частица с зарядом q и массой m совершает гармонические колебания вдоль оси X с частотой ** . Найти стационарные состояния этой системы при наложении вне- шнего электростатического поля, имеющего напряженность E и направление вдоль оси X.
2. **Задача 2.** Построить в импульсном представлении гейзенберговский оператор координаты

𝑥^(t) для свободного движения частицы.

Контрольная работа по квантовой теории для группы, 6-й семестр.

### БИЛЕТ № 5

1. **Уравнения движения в квантовой механике в шредингеровской и гейзенберговской формах.** Основное уравнение квантовой теории в динамике Шредингера, оператор эволюции. Переход к динамике Гейзенберга, преобразование векторов состояния и операторов. Вывод уравнений движения для операторов физических величин, доказательство независимости от времени векторов состояний. Аналогия уравнений движения в динамике Гейзенберга с уравнениями движения в классической механике. Представ-ление взаимодействия, преобразование векторов состояния и операторов. Вывод уравнения для волновой функции.
2. **Задача 1.** Частица массы m находится в одномерном потенциальном поле U(x), показанном на рисунке, где U(0)=∞ и U(x)=U0. Получить уравнение, определяющее возможные значения энергии частицы в области E<U0, привести это уравнение к виду

sin(𝑘𝑙) = ±𝑘𝑙√h2/(2𝑚𝑙2 𝑈0), где k=√2𝑚𝐸/ħ. Показать с помощью графического решения этого уравнения, что возможные значения энергии частицы образуют дискретный спектр.

1. **Задача 2.** Найти уравнения движения для операторов в представлении взаимодействия. Волновые функции в этом представлении получают из волновых функций в представлении

Шредингера с помощью унитарного преобразования

*взаимод* =exp(iH0t/ħ) *Шрединг* , где H0 - часть

полного гамильтониана взаимодействия, H=H0+V, здесь V - оператор взаимодействия.

Контрольная работа по квантовой теории для группы , 6-й семестр.

### БИЛЕТ № 6

1. **Различные представления волновых функций и операторов в квантовой механике.** Волновая функция с определенным значением импульса частицы. Вычисление амплитуды вероятности расп-ределеиия импульса для произвольного состояния. Волновая функция в импульсном представлении. Преоб-разование операторов физических величин при переходе из координатного в импульсное представление. Полу-чение явного вида операторов координаты и импульса. Определение понятия представления в общем случае.
2. **Задача 1.** Сохраняются ли такие физические величины как энергия, импульс при движении в следующих полях: 1) в однородном потенциальном поле U(z)=cz, где c – константа. 2) в центрально симметричном поле U(r).
3. **Задача 2.** Частица находится в основном состоянии линейного гармонического осциллятора. Найти вероятность пребывания этой частицы в области, запрещенной для классического осциллятора

Контрольная работа по квантовой теории для группы, 6-й семестр.

БИЛЕТ № 7

# Прямоугольная потенциальная яма конечной глубины.

Решение уравнения Шредингера для областей внутри и вне ямы для отрицательной энергии частицы. Классифи -кация на четные и нечетные состояния. Использование стандартных условий. Получение уравнений, определя -ющих возможные энергии, графическое решение уравнений. Число возможных состояний в яме конечной глубины. Решение уравнения Шредингера для положительной энергии частицы, анализ движения частицы.

1. **Задача 1.** Сохраняются ли такие физические величины как энергия, импульс, проекция момента импульса на ось z при движении в следующих полях:
   1. в однородном потенциальном поле U(x)=cx, где c – константа.
   2. в однородном переменном поле U(x,t)=f(t)∙x.
2. **Задача 2.** Построить в импульсном представлении гейзенберговский оператор координаты

𝑥^(t) для свободного движения частицы.

Контрольная работа по квантовой теории для группы, 6-й семестр.

### БИЛЕТ № 8

1. **Уравнения движения в квантовой механике в шредингеровской и гейзенберговской формах.** Основное уравнение квантовой теории в динамике Шредингера, оператор эволюции. Переход к динамике Гейзенберга, преобразование векторов состояния и операторов. Вывод уравнений движения для операторов физических величин, доказательство независимости от времени векторов состояний. Аналогия уравнений движения в динамике Гейзенберга с уравнениями движения в классической механике. Представ-ление взаимодействия, преобразование векторов состояния и операторов. Вывод уравнения для волновой функции.
2. **Задача 1.** Заряженная частица с зарядом q и массой m совершает гармонические колеба-ния вдоль оси X с частотой ** . Найти стационарные состояния этой системы при наложении внешнего электростатического поля, имеющего напряженность E и направление вдоль оси X.
3. **Задача 2.** Сохраняются ли такие физические величины как энергия, импульс при движении в следующих полях: 1) в однородном потенциальном поле U(z)=cz, где c – константа. 2) в центрально симметричном поле U(r).

Контрольная работа по квантовой теории для группы, 6-й семестр.

БИЛЕТ № 9

# Эквивалентные представления. Понятие вектора состояния.

Преобразование волновых функций при переходе от одного представления к другому. Унитарность оператора преобразования. Сохранение скалярного произведения, преобразование операторов при смене представления. Доказательство независимости физических величин от выбора представления. Использование абстрактного гильбертового пространство для описания физической системы без использования определенного представ-ления. Обозначения Дирака векторов состояния, идентификатор или индекс состояния. Запись волновой функ-ции через вектора состояний, индекс представления. Оператор проектирования, выражение для произвольного оператора через операторы проектирования. Спектральное представление оператора.

1. **Задача 1.** Частица массы m находится в некотором одномерном потенциальном поле U(x) в стационарном состоянии, для которого волновая функция имеет вид: Ψ(x)=Aexp(-bx2), где A и b -заданные постоянные. Учитывая, что U(x)=0 при x=0, найти U(x) и E энергию частицы.
2. **Задача 2.** Найти распределение импульса частицы в основном состоянии линейного гармонического осциллятора.

Контрольная работа по квантовой теории для группы, 6-й семестр.

БИЛЕТ № 10

# Линейный гармонический осциллятор.

Гармонический осциллятор в классической физике. Гармонический осциллятор в квантовой физике. Переход к безразмерным переменным. Асимптотическое поведение волновой функции. Поиск решения в виде ряда, рекур -рентные соотношения для коэффициентов ряда, анализ асимптотического поведения ряда. Выражение для воз-можных значений энергии осциллятора. Полиномы Эрмита, волновые функции осциллятора. Сравнительный анализ квантового и классического осцилляторов.

1. **Задача 1.** Частица массы m находится в одномерном потенциальном поле U(x), где U=∞ для x≤0, U=0 для 0<x<l, U(x)=U0 для x≥l. Получить уравнение, определяющее возможные значения энергии частицы в области E<U0, привести это уравнение к виду:

sin(𝑘𝑙) = ±𝑘𝑙√h2/(2𝑚𝑙2 𝑈0), где k=√2𝑚𝐸/ħ.

Показать с помощью графического решения этого уравнения, что возможные значения энергии

частицы образуют дискретный спектр. При каком условии появится только один уровень с минимальной энергией.

1. **Задача 2.** Найти уравнения движения для операторов в представлении взаимодействия. Волновые функции в этом представлении получают из волновых функций в представлении

Шредингера с помощью унитарного преобразования

*взаимод* =exp(iH0t/ħ) *Шрединг* ,где H0 - часть

полного гамильтониана взаимодействия, H=H0+V, здесь V - оператор взаимодействия.

Контрольная работа по квантовой теории для группы, 6-й семестр.

БИЛЕТ № 11

# Эквивалентные представления. Понятие вектора состояния.

Преобразование волновых функций при переходе от одного представления к другому. Унитарность оператора преобразования. Сохранение скалярного произведения, преобразование операторов при смене представления. Доказательство независимости физических величин от выбора представления. Использование абстрактного гильбертового пространство для описания физической системы без использования определенного представ-ления. Обозначения Дирака векторов состояния, идентификатор или индекс состояния. Запись волновой функ-ции через вектора состояний, индекс представления. Оператор проектирования, выражение для произвольного оператора через операторы проектирования. Спектральное представление оператора.

1. **Задача 1.** Частица находится в основном состоянии линейного гармонического осциллятора. Найти вероятность пребывания этой частицы в области, запрещенной для классического осциллятора.
2. **Задача 2.** Построить в импульсном представлении гейзенберговский оператор координаты

𝑥^(t) для свободного движения частицы.

Контрольная работа по квантовой теории для группы, 6-й семестр.

БИЛЕТ № 12

# Линейный гармонический осциллятор.

Гармонический осциллятор в классической физике. Гармонический осциллятор в квантовой физике. Переход к безразмерным переменным. Асимптотическое поведение волновой функции. Поиск решения в виде ряда, рекур -рентные соотношения для коэффициентов ряда, анализ асимптотического поведения ряда. Выражение для воз-можных значений энергии осциллятора.

Полиномы Эрмита, волновые функции осциллятора. Сравнительный анализ квантового и классического осцилляторов.

1. **Задача 1.** Частица движется в цилиндрически симметричном поле. Будут ли оператор импульса, оператор кинетической энергии интегралами движения?
2. **Задача 2.** Записать гамильтониан линейного гармонического осциллятора в импульсном представлении.

Контрольная работа по квантовой теории для группы, 6-й семестр.

### БИЛЕТ № 13

1. **Уравнения движения в квантовой механике в шредингеровской и гейзенберговской формах.** Основное уравнение квантовой теории в динамике Шредингера, оператор эволюции. Переход к динамике Гейзенберга, преобразование векторов состояния и операторов. Вывод уравнений движения для операторов физических величин, доказательство независимости от времени векторов состояний. Аналогия уравнений движения в динамике Гейзенберга с уравнениями движения в классической механике. Представ-ление взаимодействия, преобразование векторов состояния и операторов. Вывод уравнения для волновой функции.
2. **Задача 1.** Частица массы m находится в одномерном потенциальном поле U(x), где U=∞ для x≤0, U=0 для 0<x<l, U(x)=U0 для x≥l. Получить уравнение, определяющее возможные значения энергии частицы в области E<U0, привести это уравнение к виду:

sin(𝑘𝑙) = ±𝑘𝑙√h2/(2𝑚𝑙2 𝑈0), где k=√2𝑚𝐸/ħ.

Показать с помощью графического решения этого уравнения, что возможные значения энергии

частицы образуют дискретный спектр. При каком условии появится только один уровень с минимальной энергией.

1. **Задача 2.** Частица находится в основном состоянии линейного гармонического осциллятора. Найти вероятность пребывания этой частицы в области, запрещенной для классического осциллятора

Контрольная работа по квантовой теории для группы, 6-й семестр.

БИЛЕТ № 14

# Эквивалентные представления. Понятие вектора состояния.

Преобразование волновых функций при переходе от одного представления к другому. Унитарность оператора преобразования. Сохранение скалярного произведения, преобразование операторов при смене представления. Доказательство независимости физических величин от выбора представления. Использование абстрактного гильбертового пространство для описания физической системы без использования определенного представ-ления. Обозначения Дирака векторов состояния, идентификатор или индекс состояния. Запись волновой функ-ции через вектора состояний, индекс представления. Оператор проектирования, выражение для произвольного оператора через операторы проектирования. Спектральное представление оператора.

1. **Задача 1.** Частица движется в сферически симметричном поле. Будут ли оператор импульса, оператор кинетической энергии, оператор момента импульса интегралами движения?
2. **Задача 2.** Найти уравнения движения для операторов в представлении взаимодействия. Волновые функции в этом представлении получают из волновых функций в представлении

Шредингера с помощью унитарного преобразования

*взаимод* =exp(iH0t/ħ) *Шрединг* ,где H0 - часть

полного гамильтониана взаимодействия, H=H0+V, здесь V - оператор взаимодействия.

Контрольная работа по квантовой теории для группы, 6-й семестр.

### БИЛЕТ № 15

1. **Различные представления волновых функций и операторов в квантовой механике.** Волновая функция с определенным значением импульса частицы. Вычисление амплитуды вероятности расп-ределеиия импульса для произвольного состояния. Волновая функция в импульсном представлении. Преоб-разование операторов физических величин при переходе из

координатного в импульсное представление. Полу-чение явного вида операторов координаты и импульса. Определение понятия представления в общем случае.

1. **Задача 1.** Построить в импульсном представлении гейзенберговский оператор координаты

𝑥^(t) для свободного движения частицы.

1. **Задача 2.** Частица массы m находится в некотором одномерном потенциальном поле U(x) в

стационарном состоянии, для которого волновая функция имеет вид: Ψ(x)=Aexp(-bx2), где A и b -заданные постоянные. Учитывая, что U(x)=0 при x=0, найти U(x) и E энергию частицы.

Контрольная работа по квантовой теории для группы, 6-й семестр.

БИЛЕТ № 16

# Прямоугольная потенциальная яма конечной глубины.

Решение уравнения Шредингера для областей внутри и вне ямы для отрицательной энергии частицы. Классифи -кация на четные и нечетные состояния. Использование стандартных условий. Получение уравнений, определя -ющих возможные энергии, графическое решение уравнений. Число возможных состояний в яме конечной глубины. Решение уравнения Шредингера для положительной энергии частицы, анализ движения частицы.

1. **Задача 1.** Заряженная частица с зарядом q и массой m совершает гармонические колебания вдоль оси X с частотой ** . Найти стационарные состояния этой системы при наложении вне- шнего электростатического поля, имеющего напряженность E и направление вдоль оси X.
2. **Задача 2.** Найти распределение импульса частицы в основном состоянии линейного гармонического осциллятора.

Контрольная работа по квантовой теории для группы, 6-й семестр.

БИЛЕТ № 17

# Эквивалентные представления. Понятие вектора состояния.

Преобразование волновых функций при переходе от одного представления к другому. Унитарность оператора преобразования. Сохранение скалярного произведения, преобразование операторов при смене представления. Доказательство независимости физических величин от выбора представления. Использование абстрактного гильбертового пространство для описания физической системы без использования определенного представ-ления. Обозначения Дирака векторов состояния, идентификатор или индекс состояния. Запись волновой функ-ции через вектора состояний, индекс представления. Оператор проектирования, выражение для произвольного оператора через операторы проектирования. Спектральное представление оператора.

1. **Задача 1.** Записать гамильтониан линейного гармонического осциллятора в импульсном представлении
2. **Задача 2.** Зная собственные функции и собственные значения энергии гармонического осциллятора, найти собственные значения энергии частицы с массой m, движущейся в одномерном потенциальном поле U(x)=kx2/2 при x>0 и U(x)=∞ при x<0.

Контрольная работа по квантовой теории для группы, 6-й семестр.

### БИЛЕТ № 18

1. **Различные представления волновых функций и операторов в квантовой механике.** Волновая функция с определенным значением импульса частицы. Вычисление амплитуды вероятности расп-ределеиия импульса для произвольного состояния. Волновая функция в импульсном представлении. Преоб-разование операторов физических величин при переходе из координатного в импульсное представление. Полу-чение явного вида операторов координаты и импульса. Определение понятия представления в общем случае.
2. **Задача 1.** Сохраняются ли такие физические величины как энергия, импульс при движении в следующих полях: 1) в однородном потенциальном поле U(z)=cz, где c – константа. 2) в центрально симметричном поле U(r).
3. **Задача 2.** Найти в координатном представлении операторы координаты и импульса в динамике Гейзенберга для свободного движения предполагая, что эти операторы известны в динамике Шредингера.

Контрольная работа по квантовой теории для группы, 6-й семестр.

### БИЛЕТ № 19

1. **Уравнения движения в квантовой механике в шредингеровской и гейзенберговской формах.** Основное уравнение квантовой теории в динамике Шредингера, оператор эволюции. Переход к динамике Гейзенберга, преобразование векторов состояния и операторов. Вывод уравнений движения для операторов физических величин, доказательство независимости от времени векторов состояний. Аналогия уравнений движения в динамике Гейзенберга с уравнениями движения в классической механике. Представ-ление взаимодействия, преобразование векторов состояния и операторов. Вывод уравнения для волновой функции.
2. **Задача 1.** Сохраняются ли такие физические величины как энергия, импульс, проекция момента импульса на ось z при движении в следующих полях:
   1. в однородном потенциальном поле U(x)=cx, где c – константа.
   2. в однородном переменном поле U(x,t)=f(t)∙x.
3. **Задача 2.** Записать гамильтониан линейного гармонического осциллятора в импульсном представлении

Контрольная работа по квантовой теории для группы, 6-й семестр.

БИЛЕТ № 20

# Прямоугольная потенциальная яма конечной глубины.

Решение уравнения Шредингера для областей внутри и вне ямы для отрицательной энергии частицы. Классифи -кация на четные и нечетные состояния. Использование стандартных условий. Получение уравнений, определя -ющих возможные энергии, графическое решение уравнений. Число возможных состояний в яме конечной глубины. Решение уравнения Шредингера для положительной энергии частицы, анализ движения частицы.

1. **Задача 1.** Заряженная частица с зарядом q и массой m совершает гармонические колебания вдоль оси X с частотой ** . Найти стационарные состояния этой системы при наложении вне- шнего электростатического поля, имеющего напряженность E и направление вдоль оси X.
2. **Задача 2.** Найти распределение импульса частицы в основном состоянии линейного гармонического осциллятора.

# б) Критерии оценивания компетенций (результатов):

**Критерии и шкала оценивания**

|  |  |
| --- | --- |
| Оценка | Критерии оценки |
| Отлично 36–40 | **Студент должен:**   * продемонстрировать глубокое и прочное усвоение знаний программного материала; * исчерпывающе, последовательно, грамотно и логически стройно изложить теоретический материал; * правильно формулировать определения; * продемонстрировать умения самостоятельной работы с литературой; * уметь сделать выводы по излагаемому материалу. |
| Хорошо 30–35 | **Студент должен:**   * продемонстрировать достаточно полное знание программного материала; * продемонстрировать знание основных теоретических понятий;   достаточно последовательно, грамотно и логически стройно излагать материал;   * продемонстрировать умение ориентироваться в литературе; * уметь сделать достаточно обоснованные выводы по излагаемому материалу. |
| Удовлетворительно | **Студент должен:** |

|  |  |
| --- | --- |
| 24–29 | * продемонстрировать общее знание изучаемого материала; * показать общее владение понятийным аппаратом дисциплины; * уметь строить ответ в соответствии со структурой излагаемого вопроса; * знать основную рекомендуемую программой учебную литературу. |
| Неудовлетворительно 23 и меньше | **Студент демонстрирует:**   * незнание значительной части программного материала; * не владение понятийным аппаратом дисциплины; * существенные ошибки при изложении учебного материала; * неумение строить ответ в соответствии со структурой излагаемого вопроса; * неумение делать выводы по излагаемому материалу. |

в) **Описание шкалы оценивания:**

|  |  |
| --- | --- |
| **Рейтинговый балл по дисциплине за контрольную** | **Оценка по 5-балльной системе** |
| 27 – 30 | Отлично |
| 22 – 26 | Хорошо |
| 18 – 21 | Удовлетворительно |
| <17 | Неудовлетворительно |

## 1.6 Самостоятельная работа студентов

Практические задания

## а) Вопросы для самоконтроля:

1. Дать определение чистого и смешанного состояния.
2. Как определяется матрица плотности для чистого состояния?
3. Как определяется матрица плотности для смешанного состояния?
4. Записать уравнение для матрицы плотности.
5. Что такое статистический оператор?
6. Записать основные свойства матрицы плотности.
7. Как записывается матрица плотности составной системы?
8. Какой вид имеет матрица плотности для системы в термостате?

## Типовые задания для самопроверки:

Билет N **1**

1. Доказать, что след матрицы плотности равен единице.
2. Найти матрицу плотности свободной частицы в термостате.

Билет N **2**

1. Доказать, что диагональные элементы матрицы плотности всегда положительны.
2. Найти матрицу плотности линейного гармонического осциллятора для произвольного момента времени, если в начальный момент его состояние является некогерентной смесью основного и первого возбуждённого состояния с весами P1 и P2. Использовать энергетическое представление.

Билет N **3**

1. Вывести уравнение движения для статистического оператора.
2. Найти матрицу плотности линейного гармонического осциллятора для произвольного момента времени, если в начальный момент его состояние является некогерентной смесью основного и первого возбуждённого состояния с весами P1 и P2. Использовать импульсное представление.

Билет N **4**

1. Вывести уравнение для матрицы плотности составной системы.
2. Найти матрицу плотности линейного гармонического осциллятора для произвольного момента времени, если в начальный момент его состояние является некогерентной смесью основного и первого возбуждённого состояния с весами P1 и P2. Использовать координатное представление.

# Методы исследования структуры электронной оболочки атомов.

Самосогласованное поля Хартри. Метод самосогласованного поля Хартри-Фока. Уравнения для волновых функций атома гелия. Методы решений уравнений Хартри – Фока. (§73 - §78 из [3], задачи 11.29 – 11.34 из [5]).

## Вопросы для самоконтроля:

1. Какое поле называется самосогласованным?
2. Как записываются уравнения Хартри для многоэлектронного атома?
3. Каким образом учитывается тождественность частиц в методе Хартри-Фока?
4. Как записываются уравнения Хартри-Фока для многоэлектронного атома?
5. Какие методы используются при решении уравнений Хартри-Фока?

## Типовые задания для самопроверки:

Билет N **1**

1. Вывести уравнения Хартри для атома гелия.
2. Вычислить обменную энергию для атома гелия, используя водородоподобные волновые функции.

Билет N **2**

1. Вывести уравнения Хартри-Фока для атома гелия.
2. Вычислить обменную энергию для молекулы водорода, используя водородоподобные волновые функции.

Билет N **3**

1. Вывести уравнения Хартри-Фока для молекулы водорода.
2. Вычислить полную энергию для атома гелия, используя водородоподобные волновые функции.

Билет N **4**

1. Решить уравнения Хартри-Фока для атома гелия методом последовательных приближений с точностью до второго порядка по межэлектронному взаимодействию используя в качестве нулевого приближения водородоподобные волновые функции.
2. Вычислить полную энергию для молекулы водорода, используя водородоподобные волновые функции.