Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Смирнов Сергей Николаевич
Должность: врио ректора
Дата подписания: 17.07.2025 14:15:01
Уникальный программный ключ:
69e375c64f7e975d4e8830e7b4fcc2ad1bf35f08

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФГБОУ ВО «ТВЕРСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

УТВЕРЖДАЮ
Руководитель ООП
Орлов Ю.Д.
4 марта 2025 г.

Рабочая программа дисциплины

Основы теоретической физики

Закреплена за кафедрой:	**Общей физики**
Направление подготовки:	**44.03.01 Педагогическое образование**
Направленность (профиль):	**Физика в системе основного, среднего общего и среднего профессионального образования**
Квалификация:	**бакалавр**
Форма обучения:	**заочная**
Семестр:	**3,4**

Программу составил(и):

канд. физ.-мат. наук, доц., Зубков Виктор Викторович

Тверь, 2025

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

Цели освоения дисциплины (модуля):

формирование у студентов основных представлений о представлениях и методах, лежащих в основе теоретической физики

Задачи :

• изучение основных теоретических моделей, используемых при описании физических процессов в рамках теоретической физики;

• установление связи между различными физическими явлениями, вывод основных законов в виде математических уравнений.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП

Цикл (раздел) ОП: Б1.О

Требования к предварительной подготовке обучающегося:

Дисциплины (модули) и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее:

3. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость	6 ЗЕТ
Часов по учебному плану	216
в том числе:	
самостоятельная работа	181
часов на контроль	13

4. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫЕ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

ОПК-8.1: Применяет базовые знания в области физико-математических наук в образовательной деятельности

ОПК-8.3: Решает теоретические задачи и проводит моделирование физических объектов, систем и процессов в рамках научного исследования

УК-1.1: Анализирует задачу, выделяя ее базовые составляющие

УК-1.2: Определяет, интерпретирует и ранжирует информацию, требуемую для решения поставленной задачи

5. ВИДЫ КОНТРОЛЯ

Виды контроля на курсах:	
экзамены	4
зачеты	3

6. ЯЗЫК ПРЕПОДАВАНИЯ

Язык преподавания: русский.

7. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

№	Наименование разделов и тем	Вид занятия	Сем.	Часов	Примечание
	Раздел 1. Раздел1. Аналитическая механика				
1.1	Кинематика частицы в классической механике Динамика системы частиц. Принцип Даламбера Лагранжева механика Вариационные принципы в классической механике Гамильтонова механика Некоторые задачи классической механики	Лек	3	2	
1.2	Кинематика частицы в классической механике Динамика системы частиц. Принцип Даламбера Лагранжева механика Гамильтонова механика Некоторые задачи классической механики	Пр	3	2	
1.3	Динамика системы частиц. Принцип Даламбера	Ср	3	4	
1.4	Лагранжева механика	Ср	3	8	
1.5	Вариационные принципы в классической механике	Ср	3	4	
1.6	Гамильтонова механика	Ср	3	8	
1.7	Некоторые задачи классической механики	Ср	3	12	
	Раздел 2. Раздел 2. Специальная теория относительности				
2.1	Кинематика специальной теории относительности. Мир Минковского. Динамика СТО	Лек	3	2	
2.2	Динамика СТО	Пр	3	2	
2.3	Кинематика специальной теории относительности. Мир Минковского.	Ср	3	10	
2.4	Динамика СТО	Ср	3	14	
	Раздел 3. Контроль (1)				
3.1	Зачет	Зачёт	3	4	
	Раздел 4. Раздел 3. Электродинамика и электродинамика сплошных сред				

4.1	Основные законы электричества и магнетизма. Уравнения Максвелла Формулировка классической электродинамики в рамках СТО Электростатическое поле в вакууме Стационарное магнитное поле в вакууме Электромагнитные волны Законы электромагнетизма в веществе	Лек	4	2	
4.2	Формулировка классической механики в рамках СТО Электростатическое поле в вакууме Стационарное магнитное поле в вакууме Электромагнитные волны Законы электромагнетизма в веществе	Пр	4	3	
4.3	Основные законы электричества и магнетизма. Уравнения Максвелла	Ср	4	4	
4.4	Формулировка классической механики в рамках СТО	Ср	4	4	
4.5	Электростатическое поле в вакууме	Ср	4	4	
4.6	Стационарное магнитное поле в вакууме	Ср	4	4	
4.7	Электромагнитные волны	Ср	4	4	
4.8	Законы электромагнетизма в веществе	Ср	4	10	
	Раздел 5. Раздел 4. Квантовая механика				
5.1	Основные принципы квантовой механики. Уравнение Гайзенберга. Понятие состояния в квантовой механике. Динамика состояний в квантовой механике. Постулаты квантовой механики. Динамика в одномерном случае. Задача двух тел. Приближенные методы квантовой механики. Теория возмущений. Квазиклассика. Спин. Системы тождественных частиц. Атом гелия. Многоэлектронные атомы. Теория излучения. Задача рассеяния в квантовой механике	Лек	4	2	
5.2	Динамика состояний в квантовой механике. Постулаты квантовой механики. Динамика в одномерном случае. Задача двух тел. Приближенные методы квантовой механики. Теория возмущений. Квазиклассика. Атом гелия. Многоэлектронные атомы.	Пр	4	3	

5.3	Основные принципы квантовой механики. Уравнение Гайзенберга. Понятие состояния в квантовой механике.	Ср	4	4	
5.4	Динамика состояний в квантовой механике. Постулаты квантовой механики.	Ср	4	4	
5.5	Динамика в одномерном случае.	Ср	4	4	
5.6	Задача двух тел.	Ср	4	8	
5.7	Приближенные методы квантовой механики. Теория возмущений. Квазиклассика.	Ср	4	8	
5.8	Спин. Системы тождественных частиц.	Ср	4	4	
5.9	Атом гелия. Многоэлектронные атомы.	Ср	4	6	
5.10	Теория излучения.	Ср	4	4	
5.11	Задача рассеяния в квантовой механике	Ср	4	8	
	Раздел 6. Раздел 5. Термодинамика и статистическая физика				
6.1	Начала термодинамики. Микроскопическое обоснование термодинамики. Распределения Гиббса. Статистическая механика классических систем. Идеальные системы в статистической механике. Распределения Бозе и Ферми. Элементы статистической механики неидеальных систем. Основы теории флуктуаций. Кинетические уравнения в статистической физике.	Лек	4	2	
6.2	Начала термодинамики. Микроскопическое обоснование термодинамики. Распределения Гиббса. Статистическая механика классических систем. Идеальные системы в статистической механике. Распределения Бозе и Ферми. Элементы статистической механики неидеальных систем. Основы теории флуктуаций. Кинетические уравнения в статистической физике.	Пр	4	2	
6.3	Микроскопическое обоснование термодинамики. Распределения Гиббса.	Ср	4	4	
6.4	Статистическая механика классических систем.	Ср	4	6	
6.5	Идеальные системы в статистической механике. Распределения Бозе и Ферми.	Ср	4	4	
6.6	Элементы статистической механики неидеальных систем.	Ср	4	8	

6.7	Основы теории флуктуаций.	Ср	4	8	
6.8	Кинетические уравнения в статистической физике.	Ср	4	4	
6.9	Начала термодинамики.	Ср	4	7	
	Раздел 7. Контроль 2				
7.1	Экзамен	Экзамен	4	9	

Список образовательных технологий

1	Информационные (цифровые) технологии
2	Активное слушание
3	Дискуссионные технологии (форум, симпозиум, дебаты, аквариумная дискуссия, панельная дискуссия, круглый стол, фасилитированная и т.д.)

8. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕЙ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

8.1. Оценочные материалы для проведения текущей аттестации

Раздел 1. Аналитическая механика

1. Скорость и ускорение материальной точки в различных системах координат (коэффициенты Ламе).
2. Естественная форма задания движения.
3. Сложение скоростей и ускорений (Теорема Кориолиса).
4. Угловая скорость и угловое ускорение.
5. кинематика АТТ.
6. Законы Ньютона. Основные задачи и методы ТМ.
7. Принцип относительности Галилея.
8. Импульс. Закон изменения и сохранения импульса (интегралы движения).
9. Момент импульса. Закон изменения и сохранения момента импульса (интегралы движения).
10. Закон изменения и сохранения полной механической энергии (интегралы движения).
11. Теорема вириала.
12. Движение относительно неинерциальных систем отсчета. Силы инерции.
13. Движение тел с переменной массой (уравнение Мещерского).
14. Интегрирование уравнений движения в одномерном случае.
15. Уравнение Даламбера.
16. Уравнения Лагранжа первого рода.
17. Уравнения Лагранжа второго рода.
18. Вариационные принципы классической механики. принцип Гамильтона-Остроградского.
19. Уравнения Гамильтона. Скобки Пуассона.
20. Канонические преобразования.
21. Уравнение Гамильтона – Якоби.
22. Движение в центрально симметричном поле. Задача Кеплера.
23. Рассеяние частиц. Формула Резерфорда.
24. Динамика АТТ. Кинетическая энергия и момент импульса абсолютно твердого тела.

25. Уравнения Лагранжа в теории малых колебаний.

Раздел 2. Специальная теория относительности

1. Основные положения СТО.

2. Преобразования Лоренца и их следствия.

3. Мир Минковского. Четырехвекторы. Геометрическая интерпретация следствий преобразований Лоренца.

4. Релятивистская динамика. Уравнения Пуанкаре. Энергия и масса в СТО.

Раздел 3. Электродинамика и электродинамика сплошных сред

1. Физическое обоснование уравнений Максвелла. Закон сохранения электрического заряда. Уравнение непрерывности. Закон Кулона. Закон Био-Савара-Лапласа. Закон Фарадея. Уравнения Максвелла.

2. Закон сохранения энергии в классической электродинамике. Объемная плотность энергии электромагнитного поля. Вектор Пойнтинга.

3. Потенциалы электромагнитного поля и уравнения для них. Калибровочные преобразования.

4. Движение заряженной частицы в электромагнитном поле. Сила Лоренца.

5. Электростатика. Уравнение Пуассона.

6. Мультипольное разложение в классической электродинамике.

7. Система зарядов в электрическом поле. Сила и момент силы, действующий со стороны электрического поля на заряды. Энергия электростатического поля.

8. Электромагнитные волны. Волновое уравнение. Его решения. Плоская монохроматическая волна. Поляризация света.

9. Потенциалы Лиенара-Вихерта.

10. Уравнения электродинамики в четырехмерном виде.

11. Тензор электромагнитного поля. Инварианты поля.

12. Действие для электромагнитного поля.

13. Четырехмерный вектор тока. Уравнение непрерывности.

14. Тензор энергии-импульса. Тензор энергии-импульса электромагнитного поля.

15. Усреднение уравнений Максвелла по физически бесконечно малым объему и промежутку времени.

16. Векторы поляризации и намагниченности вещества.

17. Материальные уравнения.

18. Уравнения макроскопической электродинамики в интегральной и дифференциальной формах.

19. Граничные условия для векторов электромагнитного поля.

20. Закон сохранения энергии в макроскопической электродинамике.

21. Силы, действующие на диэлектрик во внешнем электростатическом поле.

22. Основные уравнения и соотношения магнитостатики.

23. Поле линейных проводников с током.

Раздел 4. Квантовая механика

1. Уравнение Гайзенберга. Формальное решение уравнения Гайзенберга в случае не зависящего от времени гамильтониана.

2. Основное коммутационное соотношение Гайзенберга.

3. Оператор эрмитово сопряженный, эрмитовый, унитарный.

4. Закон преобразования эрмитовых операторов при унитарном преобразовании базиса.

5. Суметь показать, что 1) матричные элементы эрмитового оператора действительны; 2) собственные значения эрмитового оператора действительны; 3) собственные векторы эрмитова оператора, принадлежащие разным собственным значениям, ортогональны.

6. Матрица плотности, физический смысл элементов матрицы плотности.

7. Определение среднего значения наблюдаемой. Записать выражение для вероятности того, что наблюдаемая принимает значение в состоянии, определяемом оператором матрицы плотности .

8. Понятие чистого состояния. Вид матрицы плотности в чистом состоянии.

9. Среднее значение наблюдаемой в чистом состоянии .

10. Представления Гайзенберга и Шредингера.

11. Уравнение Шредингера в общем виде. Уравнение для матрицы плотности в представлении Шредингера.

12. Постулаты квантовой механики (для чистого состояния).

13. Уравнение Гайзенберга для одномерного гармонического осциллятора. Его решение. Операторы рождения и уничтожения: определение и их физический смысл.

14. Уравнение Шредингера для одномерного гармонического осциллятора. Его решение (вектор состояния и волновые функции в координатном представлении). Энергетический спектр осциллятора.

15. Уравнение непрерывности.

16. Возможные состояния в одномерном случае. Осцилляторная теорема.

17. Прохождение частиц через барьеры. коэффициенты прохождения о отражения. Эффект Рамзауэра-Таунсенда.

18. Какой вид имеет гамильтониан в задаче двух тел?

19. Проделать разделение переменных в задаче двух тел в квантовой механике.

20. Какой вид имеет гамильтониан системы двух взаимодействующих частиц в переменных системы центра масс и относительного движения?

21. В каком виде может быть представлена волновая функция в задаче двух тел?

22. Разделение радиальных и угловых переменных в центральном поле. Как можно представить волновую функцию частицы в центральном поле в общем виде?

23. Записать радиальное уравнение Шредингера.

24. Как разделяются переменные в угловой части уравнения Шредингера?

25. Записать полный набор физических величин, определяющих состояние частицы в центральном поле.

26. Как определяется оператор момента импульса?

27. Каким коммутационным соотношениям удовлетворяют операторы проекций момента импульса?

28. Записать систему уравнений и квантовые числа, определяющие состояния частицы с определенным моментом.

29. Записать систему коммутационных соотношений для оператора момента импульса.

30. Как определяются повышающий и понижающий операторы ?

31. Какие значение может принимать собственное значение оператора проекции момента?

32. Какой смысл имеет квантовое число, определяющее собственное значение оператора квадрата момента?

33. Как построить произвольное состояние системы с моментом , если известно состояние с максимальной (минимальной) проекцией?

34. Как построить состояния системы с моментом , если известно какое-либо произвольное состояние с проекцией ?

35. Записать гамильтониан атома водорода.

36. Как можно свести радиальное уравнение к одномерному?

37. Какой вид имеет асимптотическое поведение волновой функции связанного состояния при ?

38. Записать асимптотическое выражение волновой функции связанного состояния при .

39. Какой вид имеет радиальная функция произвольного связанного состояния?

40. Как определяется радиальное квантовое число и каков его смысл?

41. Записать энергетический спектр атома водорода.

42. Чему равен полный набор квантовых чисел, определяющих состояние атома водорода (без учета спинов)?

43. Какие значения могут принимать квантовые числа, определяющие состояние атома водорода?

44. Чему равна кратность вырождения -го уровня энергии атома водорода?

45. Объяснить причину вырождения энергетического спектра атома водорода.

46. Что такое кулоновское (случайное) вырождение?

47. Как классифицируются уровни энергии атома водорода?

48. Сколько состояний и какие соответствуют 2p-уровню атома водорода?

49. В каком виде можно представить волновую функцию квазиклассического приближения?

50. Записать уравнение непрерывности и уравнение Гамильтона-Якоби для классического действия.

51. Записать критерии применимости квазиклассического приближения.

52. Как определяется квазиклассический импульс?

53. Что такое точки поворота?

54. Записать первый порядок квазиклассического приближения в одномерном случае.

55. Какой вид имеет волновая функция квазиклассического приближения в классически разрешенной области?

56. Записать правило квантования Бора-Зоммерфельда для определения уровней энергии связанных состояний.

57. Как проводят нормировку волновой функции квазиклассического приближения в дискретном спектре?

58. Запишите выражение для фазового объема, приходящегося на одно состояние в квазиклассическом приближении.

59. Чему равна вероятность проникновения частицы через барьер в квазиклассическом приближении?

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

61. Запишите формулу для поправки второго порядка к энергии в стационарной теории возмущений для невырожденного случая.

62. Запишите критерий применимости стационарной теории возмущений в первом порядке в невырожденном случае.

63. Запишите секулярное уравнение в теории возмущений для поправки к энергии в первом порядке.

64. Что определяют собственные векторы матрицы возмущений первого порядка в вырожденном случае?

65. Запишите решение для оператора эволюции в представлении взаимодействия в первом порядке теории возмущений.

66. Запишите амплитуду перехода между начальным и конечным квантовыми состояниями в первом порядке нестационарной теории возмущений.

67. Запишите «золотое правило Ферми» для дифференциальной вероятности перехода в единицу времени между начальным и конечным квантовыми состояниями в непрерывном спектре в первом порядке нестационарной теории возмущений.

68. Запишите критерий применимости нестационарной теории возмущений в первом порядке.

69. Запишите критерий применимости приближения мгновенного включения взаимодействия.

70. Какие частицы называются тождественными?

71. Сформулируйте принцип неразличимости тождественных частиц.

72. Каким свойством обладают волновые функции относительно перестановки двух тождественных частиц?

73. Что такое ферми и бозе-частицы? Примеры.

74. Записать в общем виде волновые функции ферми-частиц и бозе-частиц. Определитель Слетора и перманент.

75. Сложение моментов в квантовой механике. Коэффициенты Клебша-Гордона.

76. Запишите возможные векторы спиновых состояний двух электронов с определенным полным спином?

77. Запишите уравнение Паули.

78. Приведите примеры обменных эффектов в квантовой механике.

79. Запишите [illegible]

взаимодействий.

80. Как определяется выбор нулевого приближения для классификации состояний сложного атома?

81. Что такое конфигурация в теории атома?

82. Что понимается под эквивалентными электронами в сложном атоме?

83. Как определяются правильные функции (состояния) нулевого приближения сложного атома?

84. Чему равна кратность вырождения уровней энергии сложного атома в нулевом приближении?

85. Как определяется кратность вырождения уровней энергии сложного атома с учетом первого приближения теории возмущений?

86. Определить понятие терма. Как определяется основной терма в первом порядке теории возмущений с помощью первого правила Хунда?

87. Какое взаимодействие учитывается во втором порядке теории возмущений?

88. Как определяются правильные векторы состояний во втором порядке теории возмущений?

89. Как происходит расщепление уровней энергии с учетом спин-орбитального взаимодействия?

90. Чему равна кратность вырождения энергетического спектра атома с учетом спин-орбитального взаимодействия?

91. Сформулировать второе правило Хунда. Как определяется с его помощью основной терм атома?

92. Сформулировать задачу двух тел в теории рассеяния.

93. Какой вид имеет волновая функция относительного движения?

94. Записать разложение волновой функции относительного движения по парциальным волнам.

95. Какой вид имеет асимптотическое поведение решения радиального уравнения частицы, рассеивающейся центральным полем?

96. Записать выражение амплитуды рассеяния через фазы асимптотического поведения решения радиального уравнения.

97. Как определяются парциальные амплитуды?

98. Какими особенностями характеризуется рассеяние медленных частиц?

99. Когда можно ввести понятие длины рассеяния?

100. Как ставится задача при изучении неупругого рассеяния?

101. Что такое каналы рассеяния?

102. Как определяются амплитуды переходов в борновском приближении?

103. Как определяется сечение неупругого рассеяния?

Раздел 5. Термодинамика и статистическая физика

1. Понятие термодинамической системы.

2. Начала термодинамики.

3. Термическое и калорическое уравнение состояния термодинамической системы.

4. Вывод системы уравнений для расчета удельной внутренней энергии термодинамической системы по заданным уравнениям состояния и ее решение для газа Ван-дер-Ваальса.

5. Химический потенциал термодинамической системы и его расчет с помощью уравнений состояния.

6. Свободная энергия как термодинамический потенциал и ее экстремальные свойства. Выражение уравнения состояния и внутренней энергии термодинамической системы через ее свободную энергию.

7. Термодинамический потенциал Гиббса и его экстремальные свойства. Выражение калорического уравнения состояния и химического потенциала термодинамической системы через потенциал Гиббса.

8. Связь внутренней энергии, потенциала Гиббса и энтальпии термодинамической системы с ее свободной энергией (формулы Гиббса–Гельмгольца).

9. Термодинамический потенциал Ω и его экстремальные свойства. Как получить

уравнение состояния $p(\theta, V, N)$ по известному выражению для $\Omega(\theta, V, \mu)$?

10. Энтропия как термодинамический потенциал и ее экстремальные свойства.

11. Вывод системы уравнений для расчета удельной свободной энергии по заданным термическому и калорическому уравнениям состояния термодинамической системы.

12. Термодинамические свойства равновесного электромагнитного излучения. Вывод закона Стефана–Больцмана и вычисление химического потенциала равновесного электромагнитного излучения.

13. Условие устойчивости равновесной термодинамической системы под поршнем по отношению к механическим воздействиям.

14. Условия устойчивости термодинамической системы по отношению к тепловым воздействиям.

15. Условия термодинамического равновесия системы во внешнем статическом поле.

16. Общие условия термодинамического равновесия двухфазной системы и получение правила фаз Гиббса для многокомпонентных систем.

17. Фазовые переходы I рода. Вывод уравнения Клапейрона–Клаузиуса.

18. Фазовые переходы II рода. Вывод системы уравнений Эренфеста.

19. Микроканоническое распределение Гиббса, статистический вес и его связь с термодинамическими характеристиками системы.

20. Каноническое распределение Гиббса, статистическая сумма и ее связь со свободной энергией термодинамической системы.

21. Большое каноническое распределение Гиббса, большая статистическая сумма и ее связь с термодинамическим потенциалом Ω.

22. Принцип тождественности в квантовой и классической теориях. Каноническая и большая каноническая суммы в квазиклассическом приближении. Критерий применимости квазиклассического приближения и температура вырождения.

23. Распределение Максвелла, его связь с каноническим распределением Гиббса и условия его применимости. Вывод распределения для компоненты скорости, абсолютного значения скорости и кинетической энергии частицы газа.

24. Вычисление статистического интеграла для идеального классического газа.

25. Представление чисел заполнения, каноническая и большая каноническая суммы для идеальных квантовых газов.

26. Квантовый идеальный одноатомный газ в больцмановском приближении. Квазиклассические поправки к уравнению состояния и теплоемкости идеального газа.

27. Статистика Ферми и Бозе. Вырожденный газ.

28. Статистика электромагнитного поля. Формула Планка для спектральной плотности энергии равновесного электромагнитного излучения. Вывод закона Стефана–Больцмана и закона смещения Вина.

29. Вывод выражения для теплоемкости твердого тела в высокотемпературном пределе и при низких температурах в рамках теорий Эйнштейна и Дебая.

30. Статистическая сумма неидеального классического одноатомного газа. Конфигурационный интеграл.

31. Функции распределения. Выражение внутренней энергии равновесной классической системы с парным взаимодействием через двухчастичную корреляционную функцию.

32. Выражение свободной энергии равновесной классической системы с парным взаимодействием через двухчастичную корреляционную функцию.

33. Иерархия ББГКИ. Вывод первого уравнения цепочки Боголюбова для равновесных корреляционных функций.

34. Пользуясь микроканоническим распределением, получить выражение для вероятности крупномасштабной флуктуации в равновесной изолированной системе.

35. Вывести общую формулу для вероятности заданной малой термодинамической флуктуации в равновесной неизолированной системе из формулы Эйнштейна, связывающей вероятность малой термодинамичесой флуктуации с изменением энтропии.

36. Получить выражение для вероятности крупномасштабных флуктуационных отклонений в равновесной системе, выделенной нежесткими теплопроводящими стенками из термостата (N = const, остальные параметры флуктуируют), и установить его связь с условиями устойчивости этой системы.

37. Записать уравнение Ланжевена для импульса брауновской частицы, охарактеризовать корреляционную функцию случайного силового воздействия на частицу.

38. Получить уравнение Смолуховского для общего марковского процесса.

39. Из уравнений Гамильтона для эволюции микроскопического состояния классической системы многих частиц вывести уравнение Лиувилля для плотности вероятности в фазовом пространстве.

40. Кинетические функции распределения. Одночастичная функция распределения и связанные с ней физические характеристики классической неравновесной системы.

41. Что такое интеграл столкновений и каким общим требованиям он должен удовлетворять?

42. Сформулировать концепцию самосогласованного поля в системах с дальнодействием. Запишите уравнение Власова.

43. Записать кинетическое уравнение Больцмана в пространственно однородном приближении.

44. Иерархия времен в неравновесной статистической физике согласно Н.Н. Боголюбову.

45. Выразить дисперсию числа частиц в макроскопическом объеме через парную корреляционную функцию.

46. Запишите уравнение Смолуховского.

47. Вывести одномерное уравнение Фоккера–Планка для марковского процесса диффузионного типа из уравнения Смолуховского.

48. Вывести цепочку уравнений Боголюбова для кинетических функций распределения из уравнения Лиувилля.

49. Доказать лемму Больцмана и получить из нее Н-теорему Больцмана. Какова причина появления необратимости во времени полученного результата?

8.2. Оценочные материалы для проведения промежуточной аттестации

Вопросы к зачету

1. Скорость и ускорение материальной точки в различных системах координат (коэффициенты Ламе).
2. Естественная форма задания движения.
3. Сложение скоростей и ускорений (Теорема Кориолиса).
4. Угловая скорость и угловое ускорение.
5. кинематика АТТ.
6. Законы Ньютона. Основные задачи и методы ТМ.
7. Принцип относительности Галилея.
8. Импульс. Закон изменения и сохранения импульса (интегралы движения).
9. Момент импульса. Закон изменения и сохранения момента импульса (интегралы движения).
10. Закон изменения и сохранения полной механической энергии (интегралы движения).
11. Теорема вириала.
12. Движение относительно неинерциальных систем отсчета. Силы инерции.
13. Движение тел с переменной массой (уравнение Мещерского).
14. Интегрирование уравнений движения в одномерном случае.
15. Уравнение Даламбера.
16. Уравнения Лагранжа первого рода.
17. Уравнения Лагранжа второго рода.
18. Вариационные принципы классической механики. принцип Гамильтона-Остроградского.

19. Уравнения Гамильтона. Скобки Пуассона.

20. Канонические преобразования.

21. Уравнение Гамильтона – Якоби.

22. Движение в центрально симметричном поле. Задача Кеплера.

23. Рассеяние частиц. Формула Резерфорда.

24. Динамика АТТ. Кинетическая энергия и момент импульса абсолютно твердого тела.

25. Уравнения Лагранжа в теории малых колебаний.

26. Основные положения СТО.

27. Преобразования Лоренца и их следствия.

28. Мир Минковского. Четырехвекторы. Геометрическая интерпретация следствий преобразований Лоренца.

29. Релятивистская динамика. Уравнения Пуанкаре. Энергия и масса в СТО.

Вопросы к экзамену.

1. Скорость и ускорение материальной точки в различных системах координат (коэффициенты Ламе).

2. Естественная форма задания движения.

3. Сложение скоростей и ускорений (Теорема Кориолиса).

4. Угловая скорость и угловое ускорение.

5. кинематика АТТ.

6. Законы Ньютона. Основные задачи и методы ТМ.

7. Принцип относительности Галилея.

8. Импульс. Закон изменения и сохранения импульса (интегралы движения).

9. Момент импульса. Закон изменения и сохранения момента импульса (интегралы движения).

10. Закон изменения и сохранения полной механической энергии (интегралы движения).

11. Теорема вириала.

12. Движение относительно неинерциальных систем отсчета. Силы инерции.

13. Движение тел с переменной массой (уравнение Мещерского).

14. Интегрирование уравнений движения в одномерном случае.

15. Уравнение Даламбера.

16. Уравнения Лагранжа первого рода.

17. Уравнения Лагранжа второго рода.

18. Вариационные принципы классической механики. принцип Гамильтона-Остроградского.

19. Уравнения Гамильтона. Скобки Пуассона.

20. Канонические преобразования.

21. Уравнение Гамильтона – Якоби.

22. Движение в центрально симметричном поле. Задача Кеплера.

23. Рассеяние частиц. Формула Резерфорда.

24. Динамика АТТ. Кинетическая энергия и момент импульса абсолютно твердого тела.

25. Уравнения Лагранжа в теории малых колебаний.

26. Основные положения СТО.

27. Преобразования Лоренца и их следствия.

28. Мир Минковского. Четырехвекторы. Геометрическая интерпретация следствий преобразований Лоренца.

29. Релятивистская динамика. Уравнения Пуанкаре. Энергия и масса в СТО.

30. Физическое обоснование уравнений Максвелла. Закон сохранения электрического заряда. Уравнение непрерывности. Закон Кулона. Закон Био-Савара-Лапласа. Закон Фарадея. Уравнения Максвелла.

31. Закон сохранения энергии в классической электродинамике. Объемная плотность энергии электромагнитного поля. Вектор Пойнтинга.

32. Потенциалы электромагнитного поля и уравнения для них. Калибровочные преобразования.

33. Движение заряженной частицы в электромагнитном поле. Сила Лоренца.

34. Электростатика. Уравнение Пуассона.

35. Мультипольное разложение в классической электродинамике.

36. Система зарядов в электрическом поле. Сила и момент силы, действующий со стороны электрического поля на заряды. Энергия электростатического поля.

37. Электромагнитные волны. Волновое уравнение. Его решения. Плоская монохроматическая волна. Поляризация света.

38. Потенциалы Лиенара-Вихерта.

39. Уравнения электродинамики в четырехмерном виде.

40. Тензор электромагнитного поля. Инварианты поля.

41. Действие для электромагнитного поля.

42. Четырехмерный вектор тока. Уравнение непрерывности.

43. Тензор энергии-импульса. Тензор энергии-импульса электромагнитного поля.

44. Усреднение уравнений Максвелла по физически бесконечно малым объему и промежутку времени.

45. Векторы поляризации и намагниченности вещества.

46. Материальные уравнения.

47. Уравнения макроскопической электродинамики в интегральной и дифференциальной формах.

48. Граничные условия для векторов электромагнитного поля.

49. Закон сохранения энергии в макроскопической электродинамике.

50. Силы, действующие на диэлектрик во внешнем электростатическом поле.

51. Основные уравнения и соотношения магнитостатики.

52. Поле линейных проводников с током.

53. Уравнение Гайзенберга. Формальное решение уравнения Гайзенберга в случае не зависящего от времени гамильтониана.

54. Основное коммутационное соотношение Гайзенберга.

55. Оператор эрмитово сопряженный, эрмитовый, унитарный.

56. Закон преобразования эрмитовых операторов при унитарном преобразовании базиса.

57. Суметь показать, что 1) матричные элементы эрмитового оператора действительны; 2) собственные значения эрмитового оператора действительны; 3) собственные векторы эрмитова оператора, принадлежащие разным собственным значениям, ортогональны.

58. Матрица плотности, физический смысл элементов матрицы плотности.

59. Определение среднего значения наблюдаемой. Записать выражение для вероятности того, что наблюдаемая принимает значение в состоянии, определяемом оператором матрицы плотности .

60. Понятие чистого состояния. Вид матрицы плотности в чистом состоянии.

61. Среднее значение наблюдаемой в чистом состоянии .

62. Представления Гайзенберга и Шредингера.

63. Уравнение Шредингера в общем виде. Уравнение для матрицы плотности в представлении Шредингера.

64. Постулаты квантовой механики (для чистого состояния).

65. Уравнение Гайзенберга для одномерного гармонического осциллятора. Его решение. Операторы рождения и уничтожения: определение и их физический смысл.

66. Уравнение Шредингера для одномерного гармонического осциллятора. Его решение (вектор состояния и волновые функции в координатном представлении). Энергетический спектр осциллятора.

67. Уравнение непрерывности.

68. Возможные состояния в одномерном случае. Осцилляторная теорема.

69. Прохождение частиц через барьеры. коэффициенты прохождения о отражения. Эффект Рамзауэра-Таунсенда.

70. Какой вид имеет гамильтониан в задаче двух тел?

71. Проделать разделение переменных в задаче двух тел в квантовой механике.

72. Какой вид имеет гамильтониан системы двух взаимодействующих частиц в

переменных системы центра масс и относительного движения?

73. В каком виде может быть представлена волновая функция в задаче двух тел?

74. Разделение радиальных и угловых переменных в центральном поле. Как можно представить волновую функцию частицы в центральном поле в общем виде?

75. Записать радиальное уравнение Шредингера.

76. Как разделяются переменные в угловой части уравнения Шредингера?

77. Записать полный набор физических величин, определяющих состояние частицы в центральном поле.

78. Как определяется оператор момента импульса?

79. Каким коммутационным соотношениям удовлетворяют операторы проекций момента импульса?

80. Записать систему уравнений и квантовые числа, определяющие состояния частицы с определенным моментом.

81. Записать систему коммутационных соотношений для оператора момента импульса.

82. Как определяются повышающий и понижающий операторы ?

83. Какие значение может принимать собственное значение оператора проекции момента?

84. Какой смысл имеет квантовое число, определяющее собственное значение оператора квадрата момента?

85. Как построить произвольное состояние системы с моментом , если известно состояние с максимальной (минимальной) проекцией?

86. Как построить состояния системы с моментом , если известно какое-либо произвольное состояние с проекцией ?

87. Записать гамильтониан атома водорода.

88. Как можно свести радиальное уравнение к одномерному?

89. Какой вид имеет асимптотическое поведение волновой функции связанного состояния при ?

90. Записать асимптотическое выражение волновой функции связанного состояния при .

91. Какой вид имеет радиальная функция произвольного связанного состояния?

92. Как определяется радиальное квантовое число и каков его смысл?

93. Записать энергетический спектр атома водорода.

94. Чему равен полный набор квантовых чисел, определяющих состояние атома водорода (без учета спинов)?

95. Какие значения могут принимать квантовые числа, определяющие состояние атома водорода?

96. Чему равна кратность вырождения -го уровня энергии атома водорода?

97. Объяснить причину вырождения энергетического спектра атома водорода.

98. Что такое кулоновское (случайное) вырождение?

99. Как классифицируются уровни энергии атома водорода?

100. Сколько состояний и какие соответствуют 2p-уровню атома водорода?

101. В каком виде можно представить волновую функцию квазиклассического приближения?

102. Записать уравнение непрерывности и уравнение Гамильтона-Якоби для классического действия.

103. Записать критерии применимости квазиклассического приближения.

104. Как определяется квазиклассический импульс?

105. Что такое точки поворота?

106. Записать первый порядок квазиклассического приближения в одномерном случае.

107. Какой вид имеет волновая функция квазиклассического приближения в классически разрешенной области?

108. Записать правило квантования Бора-Зоммерфельда для определения уровней энергии связанных состояний.

109. Как проводят нормировку волновой функции квазиклассического

приближения в дискретном спектре?

110. Запишите выражение для фазового объема, приходящегося на одно состояние в квазиклассическом приближении.

111. Чему равна вероятность проникновения частицы через барьер в квазиклассическом приближении?

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

113. Запишите формулу для поправки второго порядка к энергии в стационарной теории возмущений для невырожденного случая.

114. Запишите критерий применимости стационарной теории возмущений в первом порядке в невырожденном случае.

115. Запишите секулярное уравнение в теории возмущений для поправки к энергии в первом порядке.

116. Что определяют собственные векторы матрицы возмущений первого порядка в вырожденном случае?

117. Запишите решение для оператора эволюции в представлении взаимодействия в первом порядке теории возмущений.

118. Запишите амплитуду перехода между начальным и конечным квантовыми состояниями в первом порядке нестационарной теории возмущений.

119. Запишите «золотое правило Ферми» для дифференциальной вероятности перехода в единицу времени между начальным и конечным квантовыми состояниями в непрерывном спектре в первом порядке нестационарной теории возмущений.

120. Запишите критерий применимости нестационарной теории возмущений в первом порядке.

121. Запишите критерий применимости приближения мгновенного включения взаимодействия.

122. Какие частицы называются тождественными?

123. Сформулируйте принцип неразличимости тождественных частиц.

124. Каким свойством обладают волновые функции относительно перестановки двух тождественных частиц?

125. Что такое ферми и бозе-частицы? Примеры.

126. Записать в общем виде волновые функции ферми-частиц и бозе-частиц. Определитель Слетора и перманент.

127. Сложение моментов в квантовой механике. Коэффициенты Клебша-Гордона.

128. Запишите возможные векторы спиновых состояний двух электронов с определенным полным спином?

129. Запишите уравнение Паули.

130. Приведите примеры обменных эффектов в квантовой механике.

131. Записать гамильтониан сложного атома без учета релятивистских взаимодействий.

132. Как определяется выбор нулевого приближения для классификации состояний сложного атома?

133. Что такое конфигурация в теории атома?

134. Что понимается под эквивалентными электронами в сложном атоме?

135. Как определяются правильные функции (состояния) нулевого приближения сложного атома?

136. Чему равна кратность вырождения уровней энергии сложного атома в нулевом приближении?

137. Как определяется кратность вырождения уровней энергии сложного атома с учетом первого приближения теории возмущений?

138. Определить понятие терма. Как определяется основной терма в первом порядке теории возмущений с помощью первого правила Хунда?

139. Какое взаимодействие учитывается во втором порядке теории возмущений?

140. Как определяются правильные векторы состояний во втором порядке теории возмущений?

взаимодействия?

142. Чему равна кратность вырождения энергетического спектра атома с учетом спин-орбитального взаимодействия?

143. Сформулировать второе правило Хунда. Как определяется с его помощью основной терм атома?

144. Сформулировать задачу двух тел в теории рассеяния.

145. Какой вид имеет волновая функция относительного движения?

146. Записать разложение волновой функции относительного движения по парциальным волнам.

147. Какой вид имеет асимптотическое поведение решения радиального уравнения частицы, рассеивающейся центральным полем?

148. Записать выражение амплитуды рассеяния через фазы асимптотического поведения решения радиального уравнения.

149. Как определяются парциальные амплитуды?

150. Какими особенностями характеризуется рассеяние медленных частиц?

151. Когда можно ввести понятие длины рассеяния?

152. Как ставится задача при изучении неупругого рассеяния?

153. Что такое каналы рассеяния?

154. Как определяются амплитуды переходов в борновском приближении?

155. Как определяется сечение неупругого рассеяния?

156. Понятие термодинамической системы.

157. Начала термодинамики.

158. Термическое и калорическое уравнение состояния термодинамической системы.

159. Вывод системы уравнений для расчета удельной внутренней энергии термодинамической системы по заданным уравнениям состояния и ее решение для газа Ван-дер-Ваальса.

160. Химический потенциал термодинамической системы и его расчет с помощью уравнений состояния.

161. Свободная энергия как термодинамический потенциал и ее экстремальные свойства. Выражение уравнения состояния и внутренней энергии термодинамической системы через ее свободную энергию.

162. Термодинамический потенциал Гиббса и его экстремальные свойства. Выражение калорического уравнения состояния и химического потенциала термодинамической системы через потенциал Гиббса.

163. Связь внутренней энергии, потенциала Гиббса и энтальпии термодинамической системы с ее свободной энергией (формулы Гиббса–Гельмгольца).

164. Термодинамический потенциал Ω и его экстремальные свойства. Как получить уравнение состояния $p(\theta, V, N)$ по известному выражению для $\Omega(\theta, V, \mu)$?

165. Энтропия как термодинамический потенциал и ее экстремальные свойства.

166. Вывод системы уравнений для расчета удельной свободной энергии по заданным термическому и калорическому уравнениям состояния термодинамической системы.

167. Термодинамические свойства равновесного электромагнитного излучения. Вывод закона Стефана–Больцмана и вычисление химического потенциала равновесного электромагнитного излучения.

168. Условие устойчивости равновесной термодинамической системы под поршнем по отношению к механическим воздействиям.

169. Условия устойчивости термодинамической системы по отношению к тепловым воздействиям.

170. Условия термодинамического равновесия системы во внешнем статическом поле.

171. Общие условия термодинамического равновесия двухфазной системы и получение правила фаз Гиббса для многокомпонентных систем.

172. Фазовые переходы I рода. Вывод уравнения Клапейрона–Клаузиуса.

173. Фазовые переходы II рода. Вывод системы уравнений Эренфеста.

174. Микроканоническое распределение Гиббса, статистический вес и его связь с термодинамическими характеристиками системы.

175. Каноническое распределение Гиббса, статистическая сумма и ее связь со свободной энергией термодинамической системы.

176. Большое каноническое распределение Гиббса, большая статистическая сумма и ее связь с термодинамическим потенциалом Ω.

177. Принцип тождественности в квантовой и классической теориях. Каноническая и большая каноническая суммы в квазиклассическом приближении. Критерий применимости квазиклассического приближения и температура вырождения.

178. Распределение Максвелла, его связь с каноническим распределением Гиббса и условия его применимости. Вывод распределения для компоненты скорости, абсолютного значения скорости и кинетической энергии частицы газа.

179. Вычисление статистического интеграла для идеального классического газа.

180. Представление чисел заполнения, каноническая и большая каноническая суммы для идеальных квантовых газов.

181. Квантовый идеальный одноатомный газ в больцмановском приближении. Квазиклассические поправки к уравнению состояния и теплоемкости идеального газа.

182. Статистика Ферми и Бозе. Вырожденный газ.

183. Статистика электромагнитного поля. Формула Планка для спектральной плотности энергии равновесного электромагнитного излучения. Вывод закона Стефана–Больцмана и закона смещения Вина.

184. Вывод выражения для теплоемкости твердого тела в высокотемпературном пределе и при низких температурах в рамках теорий Эйнштейна и Дебая.

185. Статистическая сумма неидеального классического одноатомного газа. Конфигурационный интеграл.

186. Функции распределения. Выражение внутренней энергии равновесной классической системы с парным взаимодействием через двухчастичную корреляционную функцию.

187. Выражение свободной энергии равновесной классической системы с парным взаимодействием через двухчастичную корреляционную функцию.

188. Иерархия ББГКИ. Вывод первого уравнения цепочки Боголюбова для равновесных корреляционных функций.

189. Пользуясь микроканоническим распределением, получить выражение для вероятности крупномасштабной флуктуации в равновесной изолированной системе.

190. Вывести общую формулу для вероятности заданной малой термодинамической флуктуации в равновесной неизолированной системе из формулы Эйнштейна, связывающей вероятность малой термодинамичесой флуктуации с изменением энтропии.

191. Получить выражение для вероятности крупномасштабных флуктуационных отклонений в равновесной системе, выделенной нежесткими теплопроводящими стенками из термостата ($N = \text{const}$, остальные параметры флуктуируют), и установить его связь с условиями устойчивости этой системы.

192. Записать уравнение Ланжевена для импульса брауновской частицы, охарактеризовать корреляционную функцию случайного силового воздействия на частицу.

193. Получить уравнение Смолуховского для общего марковского процесса.

194. Из уравнений Гамильтона для эволюции микроскопического состояния классической системы многих частиц вывести уравнение Лиувилля для плотности вероятности в фазовом пространстве.

195. Кинетические функции распределения. Одночастичная функция распределения и связанные с ней физические характеристики классической неравновесной системы.

196. Что такое интеграл столкновений и каким общим требованиям он должен удовлетворять?

197. Сформулировать концепцию самосогласованного поля в системах с дальнодействием. Запишите уравнение Власова.

198. Записать кинетическое уравнение Больцмана в пространственно однородном

приближении.

199. Иерархия времен в неравновесной статистической физике согласно Н.Н. Боголюбову.

200. Выразить дисперсию числа частиц в макроскопическом объеме через парную корреляционную функцию.

201. Запишите уравнение Смолуховского.

202. Вывести одномерное уравнение Фоккера–Планка для марковского процесса диффузионного типа из уравнения Смолуховского.

203. Вывести цепочку уравнений Боголюбова для кинетических функций распределения из уравнения Лиувилля.

204. Доказать лемму Больцмана и получить из нее Н-теорему Больцмана. Какова причина появления необратимости во времени полученного результата?

8.3. Требования к рейтинг-контролю

Студенты, освоившие программу курса, могут получить оценку по итогам семестровой и полусеместровой рейтинговой аттестации согласно «Положению о рейтинговой системе обучения ТвГУ» (протокол №8 от 30 апреля 2020 г.). Если условия «Положения о рейтинговой системе …» не выполнены, то экзамен сдается согласно «Положению о промежуточной аттестации (экзаменах и зачетах) обучающихся по программам высшего образования ТвГУ» (протокол №11 от 28 апреля 2021 г.)

Распределение баллов в каждом семестре одинаковое

Модуль 1 - 30 баллов

Выполнение модульной контрольной работы - 20 баллов

Работа в аудитории, выполнение домашних заданий с последующим представлением результатов с пояснениями - 10 баллов.

Модуль 2 - 30 баллов

Выполнение модульной контрольной работы - 20 баллов

Работа в аудитории, выполнение домашних заданий с последующим представлением результатов с пояснениями - 10 баллов.

Экзамен - 40 баллов

Теоретический вопрос 1 - 15 баллов

Теоретический вопрос 2 - 15 баллов

Решение задачи - 10 баллов

9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Рекомендуемая литература

Основная

Шифр	Литература
Л.1.1	Гантмахер Ф. Р., Лекции по аналитической механике, Москва: Физматлит, 2001, ISBN: 978-5-9221-0067-0, URL: https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=68408
Л.1.2	Журавлев В. Ф., Основы теоретической механики, Москва: Физматлит, 2008, ISBN: 978-5-9221-0907-9, URL: https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=68411
Л.1.3	Ханефт А. В., Теоретическая механика, Кемерово: Кемеровский государственный университет, 2012, ISBN: 978-5-8353-1514-7, URL: https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=232320
Л.1.4	Медведев Б. В., Начала теоретической физики: механика, теория поля, элементы квантовой механики, Москва: Физматлит, 2007, ISBN: 978-5-9221-0770-9, URL: https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=69239

Л.1.5	Пейсахович Ю. Г., Классическая электродинамика, Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2013, ISBN: 978-5-7782-2211-3, URL: https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=436255
Л.1.6	Соболев С. В., Основы нерелятивистской квантовой механики, Москва: Физматлит, 2017, ISBN: 978-5-9221-1710-4, URL: https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=485503

Перечень программного обеспечения

1	Adobe Acrobat Reader
2	Google Chrome
3	OpenOffice

Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы

1	Репозитарий ТвГУ
2	ЭБС BOOK.ru
3	ЭБС «Лань»
4	ЭБС «Университетская библиотека онлайн»
5	ЭБС IPRbooks

10. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Аудит-я	Оборудование
3-218	комплект учебной мебели, переносной ноутбук, проектор, экран
3-227	комплект учебной мебели, переносной ноутбук, проектор, экран

11. МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

Самостоятельная работа начинается до прихода студента на лекцию. Целесообразно использование «системы опережающего чтения», т.е. предварительного прочитывания лекционного материала, содержащегося в учебниках и учебных пособиях, закладывающего базу для более глубокого восприятия лекции. Работа над лекционным материалом включает два основных этапа: конспектирование лекций и последующую работу над лекционным материалом. Под конспектированием подразумевают составление конспекта, т.е. краткого письменного изложения содержания чего-либо (устного выступления – речи, лекции, доклада и т.п. или письменного источника – документа, статьи, книги и т.п.).

Методика работы при конспектировании устных выступлений значительно отличается от методики работы при конспектировании письменных источников. Конспектируя письменные источники, студент имеет возможность неоднократно прочитать нужный отрывок текста, поразмыслить над ним, выделить основные мысли автора, кратко сформулировать их, а затем записать. При необходимости он может отметить и свое отношение к этой точке зрения. Слушая же лекцию, студент большую часть комплекса указанных выше работ должен откладывать на другое время, стремясь использовать каждую минуту на запись лекции, а не на ее осмысление – для этого уже не остается времени. Поэтому при конспектировании лекции рекомендуется на каждой странице отделять поля для последующих записей в дополнение к конспекту.

Записав лекцию или составив ее конспект, не следует оставлять работу над

лекционным материалом до начала подготовки к зачету. Нужно проделать как можно раньше ту работу, которая сопровождает конспектирование письменных источников и которую не удалось сделать во время записи лекции: прочесть свои записи, расшифровав отдельные сокращения, проанализировать текст, установить логические связи между его элементами, выделить главные мысли, отметить вопросы, требующие дополнительной обработки, в частности, консультации преподавателя.

В процессе организации самостоятельной работы большое значение имеют консультации с преподавателем, в ходе которых можно решить многие проблемы изучаемого курса, уяснить сложные вопросы. Беседа студента и преподавателя может дать многое - это простой прием получения знаний. Самостоятельная работа носит сугубо индивидуальный характер, однако вполне возможно и коллективное осмысление проблем.

Приложение 1.

Задачи

Раздел 1. Аналитическая механика (5 семестр)

1. Уравнения движения точки M в цилиндрической СК имеют вид:
$$r = a,\ \ \varphi = kt,\ \ z = \nu t$$
Найти проекции скорости точки M на оси цилиндрической СК, уравнение движения точки M_1, описывающей годограф скорости и проекции скорости точки M_1.

2. Точка описывает плоскую траекторию. Известно, что секторная скорость этой точки пропорциональна модулю её радиус-вектора, а радиальная скорость постоянна, т.е.
$$\sigma = \frac{1}{2} ar,\ v_r = b,\ a, b > 0$$
и $\varphi(0) = 0,\ r(0) = r_0$. Найти траекторию точки и уравнение движения

3. Написать функцию Лагранжа материальной точки массы m, движущейся в потенциальном поле
$$U = \frac{a}{r} + \frac{\mathbf{br}}{r^3},$$
где $\mathbf{a}$ и $\mathbf{b}$ – постоянные векторы, $r = |\mathbf{r}|$ – расстояние до начала координат. Использовать сферические координаты.

4. Написать функцию Лагранжа материальной точки массы m, движущейся в аксиально-симметричном потенциальном поле $U = U(|\mathbf{r}|)$, где $r = |\mathbf{r}|$ – расстояние до его оси симметрии. Использовать цилиндрические координаты.
5. Написать функцию Лагранжа материальной точки массы m, движущейся по кривой линии, описываемой уравнением $\mathbf{r} = x(s)\mathbf{i} + y(s)\mathbf{j} + z(s)\mathbf{k}$, где s принимает произвольные значения, а ось Oz антипараллельна силе тяжести.
6. Написать функцию Лагранжа материальной точки массы m, движущейся по спирали $r = f(\psi)$ в потенциальном поле $U = U(r, \psi)$, где r и ψ – полярные координаты, выбранные в плоскости XOY.
7. Написать функцию Лагранжа материальной точки массы m, движущейся по поверхности вращения $z = F(x^2 + y^2)$, если ось Oz антипараллельна силе тяжести.

8. Написать функцию Лагранжа плоского маятника, у которого масса m постоянна, а длина меняется по заданному закону $l = l(t)$.
9. Найти функцию Лагранжа плоского математического маятника массы m и длины l, точка подвеса которого с координатами x' и y' движется в вертикальной плоскости XOY по кривой, описываемой уравнениями $x' = x'(t)$, $y' = y'(t)$. Ось Ox параллельна силе тяжести.
10. Стержень массы m и длины l скользит по сторонам прямого угла без трения. Написать функцию Лагранжа и найти закон движения в квадратурах.
11. Функция Лагранжа свободной релятивистской частицы с массой m имеет вид $L = -mc^2\sqrt{1-(\dot{x}^2+\dot{y}^2+\dot{z}^2)/c^2}$, где c – скорость света. Составить уравнения движения частицы и найти их решение.
12. Частица движется в поле тяжести вдоль прямой, равномерно вращающейся в вертикальной плоскости. Составить уравнения движения частицы и найти момент силы реакции.
13. Влияние связей и трения на движение системы можно описать, вводя в уравнения движения обобщенные силы реакции связей и трения: $\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i}\right) - \frac{\partial L}{\partial q_i} = R_i$. Как изменяется со временем энергия системы?
14. Выразить ускорение через обобщенные координаты и скорости в тех случаях, когда функция Лагранжа в безразмерном обозначении имеет вид $L = \dot{q}^2 cht + q^4$.
15. Выразить ускорение через обобщенные координаты и скорости в тех случаях, когда функция Лагранжа в безразмерном обозначении имеет вид $L = (\dot{q}^2 + q + t)q^2$.
16. Выразить ускорение через обобщенные координаты и скорости в тех случаях, когда функция Лагранжа в безразмерном обозначении имеет вид $L = \dot{q}^2 + t^2 q^2 \dot{q}$.
17. Выразить ускорение через обобщенные координаты и скорости в тех случаях, когда функция Лагранжа в безразмерном обозначении имеет вид $L = \dot{q}_1^2 + \dot{q}_2^2 + \dot{q}_1\dot{q}_2 + q_1 q_2$.

18. Движение частицы массы m в декартовых координатах описывается функцией Лагранжа $L=\frac{1}{2}m\dot{x}^2-F_0t\dot{x}-\frac{1}{2}\alpha x^2$, где F_0 и α – постоянные. Определить силу $\vec{F}$, приложенную к частице.
19. Материальная точка массы m движется в поле тяжести по поверхности конуса с углом 2θ при вершине. Конус расположен вертикально вершиной вниз по направлению силы тяжести. Составить уравнения Лагранжа, описывающие движение материальной точки в сферических координатах.
20. Как известно, для частицы в поле $U=-\frac{a}{r}$ существует интеграл движения $\mathbf{A}=\mathbf{v}\times\mathbf{M}-\frac{a\mathbf{r}}{r}$. Вычислить скобки Пуассона $\left(A_\alpha,A_\beta\right)$, $\left(M_\alpha,A_\beta\right)$, $\left(H,A_\alpha\right)$, $\left(A_\alpha,p_\beta\right)$, $\left(A_\alpha,x_\beta\right)$
21. Частица массы m движется по неподвижной наклонной плоскости. Составить уравнение Гамильтона-Якоби и решить его.
22. Частица массы m движется в сферически-симметричном потенциальном поле притяжения $U=\frac{1}{2}ar^2$.В начальный момент времени $t_0=0$ на имела координаты $\mathbf{r}_0=(0,0,0)$ и скорость $\mathbf{v}_0=(v_1,v_2,0)$. Используя метод Гамильтона - Якоби, найти закон движения частицы в декартовых координатах.
23. Частица массы m совершает периодическое движение в одномерном потенциальном поле $U=U(x)$. Найти как изменяется энергия системы при медленном изменении параметров потенциала поля, если потенциал имеет вид

$U(x)=U_0tg^2ax$

$U(x)=U_0\left(e^{ax}-1\right)^2$

$U(x)=-\frac{U_0}{ch^2ax}$

$U(x)=U_0\left(e^{-2ax}-2e^{-ax}\right)$

24. Две материальные точки движутся по цилиндрическим поверхностям $y_1^2+z_1^2=a_1^2$ и $y_2^2+z_2^2=a_2^2$ соответственно в силовом поле с потенциальной

энергией $U(\mathbf{r}_1,\mathbf{r}_2)=m_1gz_1+m_2gz_2+\frac{k}{2}(\mathbf{r}_1-\mathbf{r}_2)^2$, где m_1,m_2 – массы точек, g – ускорение силы тяжести, k – жесткость пружины, соединяющей точки. Найти первый интеграл движения.

25. Представить обобщенные координаты в виде суммы нормальных колебаний, если механическая система описывается следующей функцией Лагранжа $\mathcal{L}=\frac{1}{2}\left(3\dot{q}_1^2+2\dot{q}_2\dot{q}_1+3\dot{q}_2^2\right)-\frac{1}{2}\left(7q_1^2+10q_1q_2+7q_2^2\right)$

26. Определить возможные частоты малых колебаний частицы, движущейся по кривой $y=y(x)$ в вертикальной плоскости *OXY*. Ось *Y* декартовой системы координат антипараллельна силе тяжести, а заданная кривая описывается уравнением $y=a\left(b^3x^3-3bx+3\right)$.

27. Определить возможные частоты малых колебаний частицы, движущейся по кривой $y=y(x)$ в вертикальной плоскости *OXY*. Ось *Y* декартовой системы координат антипараллельна силе тяжести, а заданная кривая описывается уравнением $y=ach\left(b^2x^2-4bx+3\right)$.

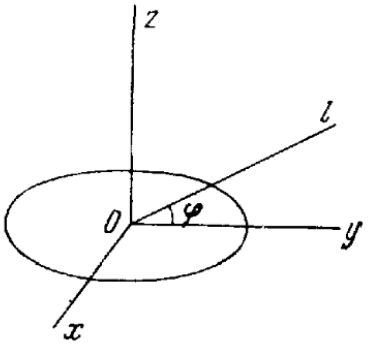
28. Определить возможные частоты малых колебаний частицы, движущейся по кривой $y=y(x)$ в вертикальной плоскости *OXY*. Ось *Y* декартовой системы координат антипараллельна силе тяжести, а заданная кривая описывается уравнением $y=a\sin^2 bx$.

29. Две пружины одинаковой длины l, но с разными коэффициентами жесткости k_1 и k_2, расположены на одной прямой. Одним концом они прикреплены к общей материальной точке с массой m_2, а их противоположные концы – к материальным точкам с массами m_1 и m_3. Под действием пружин материальные точки могут двигаться только вдоль прямой, на которой расположены пружины. Полагая $m_1=m_2=m$, $m_3=2m$ и $k_2=2k_1=2m\omega_0^2$, представить движение материальных точек в виде суммы нормальных колебаний.

30. Невесомая пружина имеет коэффициент жесткости $k/2$. Один конец пружины закреплен, а в ее середине и на противоположном конце находятся материальные точки одинаковой массы m. Пружина все время занимает

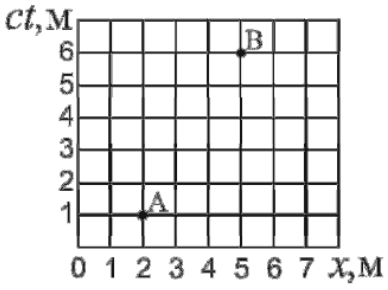
вертикальное положение в поле тяжести. Определить малые колебания системы, если в начальный момент времени $t = 0$ пружина была не растянута, а материальные точки покоились.

31. Вычислить скобки Пуассона $\{(\mathbf{rp}), \mathbf{L}\}$, где $(\mathbf{rp})$ – скалярное произведение радиуса-вектора и вектора импульса, а $\mathbf{L}$ – вектор момента импульса частицы.
32. Частица массы m движется в центральном поле $U(r)$. С помощью уравнений Гамильтона-Якоби в сферических координатах найти ее траекторию и закон движения (в квадратурах).
33. Определить момент инерции однородного круглого тонкого диска относительно оси l, проходящей через центр диска и составляющий угол φ с плоскостью диска



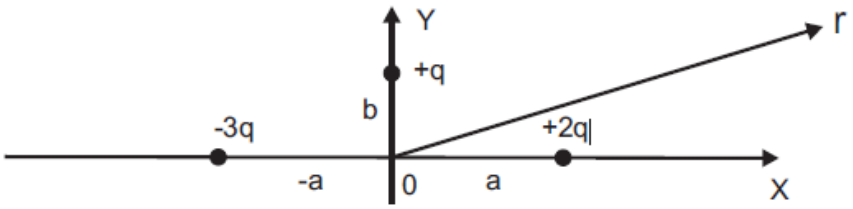
Раздел 2. Специальная теория относительности (5 семестр)

1. Длина ускорителя равна 3.2 км. Найти длину ускорителя в системе отсчета, связанной с электронами, если кинетические энергии электронов $E_k = 50$ ГэВ.
2. Астронавт, движущийся со скоростью $u = 0.4c$, наблюдает объект, обгоняющий его со скоростью $v = 0.5c$ относительно корабля. Чему равна скорость объекта относительно неподвижной системы отсчёта?
3. Неподвижная частица массы M распалась на две одинаковые частицы массой $m = 0.3M$ каждая. Чему равны скорости частиц?
4. На диаграмме Минковского показаны координаты событий A и B. Найти промежуток времени между этими событиями в СО, в которой эти события произошли в одной точке.



Раздел 3. Электродинамика и электродинамика сплошных сред (5 семестр)

1. Заряд q равномерно распределен по тонкому кольцу радиуса R. Записать выражение для линейной и объемной плотности заряда.
2. Найти потенциал ϕ(r) сферически симметрического распределения зарядов ρ(r).
3. Найти потенциал системы зарядов, изображенный на рисунке, на больших расстояниях $r \gg a \gg b$ от системы с точностью до квадрупольного приближения, включительно. 4/4



4. Найти энергию взаимодействия диполя **p** и точечного заряда q. Найти силу и момент сил, действующие на диполь.
5. Используя формулы для потенциалов Лиенара-Вихерта, найти скалярный и векторный потенциалы равномерно и прямолинейно движущегося заряда q.
6. Найти закон преобразования длины волны при переходе в систему координат, движущуюся под углом θ к направлению волнового вектора.
7. Опираясь на законы сохранения энергии и импульса, показать, что невозможны ни испускание, ни поглощение фотона свободным электроном.
8. Точечный заряд q расположен внутри прямого угла, образованного двумя бесконечными полуплоскостями, разграничивающими проводник и вакуум (в первом квадранте). Найти потенциал и плотность поверхностных зарядов.
9. Точечный заряд q расположен на расстоянии a от центра изолированного проводящего шара радиуса R, на который нанесен заряд e. Найти потенциал, плотность поверхностных зарядов, энергию и силу взаимодействия.
10. Незаряженный проводящий цилиндр радиуса R помещен во внешнее однородное электрическое поле напряженности $\mathbf{E}_0$, перпендикулярное оси цилиндра. Найти потенциал результирующего поля.
11. Найти высоту поднятия жидкости с плотностью массы τ и диэлектрической проницаемостью ε между пластинами плоского конденсатора, опущенными в жидкость, если между ними поддерживается постоянная разность потенциалов U, а расстояние между пластинами равно d.

Раздел 4. Квантовая механика (6 семестр).

1. Найти $\left[\hat{B},\hat{C}\right]$, если $\left[\hat{A},\hat{B}\right]=\hat{C}$ и $\left[\hat{C},\hat{A}\right]=\lambda\hat{A}$.
2. Показать, что произведение двух эрмитовых операторов $\hat{A}$ и $\hat{B}$ всегда можно представить в виде $\hat{A}\hat{B}=\hat{C}+\hat{D}$, где $\hat{C}$ – эрмитов оператор, а $\hat{D}$ удовлетворяет соотношению $\hat{D}^{\dagger}=-\hat{D}$. Найти $\hat{C}$ и $\hat{D}$.

3. Найти коммутатор квадрата оператора координаты и оператора проекции импульса $\left[\hat{x}^2, \hat{p}_x\right]$.
4. Для любых двух векторов $|f\rangle$ и $|g\rangle$ гильбертова пространства и некоторого оператора $\hat{M}$, действующего в этом пространстве, выполнено условие $\langle f \mid g\rangle = \left\langle \hat{M}^+ f \mid \hat{M} g\right\rangle$. Какое свойство оператора $\hat{M}$ обязательно имеет место?

   А. он нелинейный,

   Б. он эрмитов,

   В. он унитарный,

   Г. он совпадает со своим обратным.
5. Для некоторого состояния матрица плотности имеет вид:

$$\hat{\rho} = \begin{pmatrix} \frac{3}{4} & \frac{1}{4} \\ \frac{1}{4} & \frac{1}{4} \end{pmatrix}.$$

Найти компоненты вектора поляризации. Чистому или смешанному состоянию отвечает данная матрица плотности?

6. Пусть система находится в состоянии

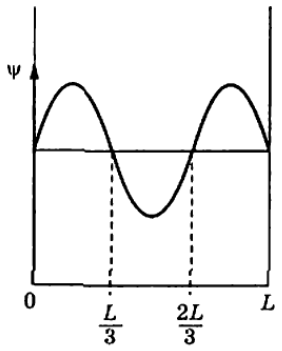
$$|\psi\rangle = \frac{1}{6}\begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 4 \end{pmatrix}.$$

Даны две наблюдаемые

$$\hat{A} = \frac{1}{\sqrt{2}}\begin{pmatrix} 2 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & i \\ 0 & -i & 1 \end{pmatrix}, \quad \hat{B} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -i \\ 0 & i & 0 \end{pmatrix}.$$

   a. Проводим измерения. Сначала измеряем наблюдаемую $\hat{A}$, затем тут же наблюдаемую $\hat{B}$. Найти вероятность получить значение 0 для наблюдаемой $\hat{A}$ и значение 1 для наблюдаемой $\hat{B}$.
   b. Привели систему в исходное состояние. Теперь сначала измеряем наблюдаемую $\hat{B}$, затем тут же наблюдаемую $\hat{A}$. Найти вероятность получить значение 1 для наблюдаемой $\hat{B}$ и значение 0 для наблюдаемой $\hat{A}$.
   c. Объясните получившиеся результаты пунктов a. и b.

7. Частица с зарядом e находится в постоянном однородном электрическом поле напряженностью $\mathscr{E}$. Решить операторные уравнения движения Гайзенберга и установить коммутационные соотношения между операторами координаты и импульса, взятыми в различные моменты времени.



8. Гамильтониан двухуровневой системы в матричном представлении имеет вид:

$$H = \hbar \begin{pmatrix} \omega_1 & \omega_2 \\ \omega_2 & \omega_1 \end{pmatrix}.$$

Пусть базисные векторы есть

$$|0\rangle = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix}, \quad |1\rangle = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}.$$

В начальный момент $|\psi(0)\rangle = |0\rangle$. Найти:

а) собственные значения и собственные векторы гамильтониана, записав последние в виде разложения по базисным векторам;

б) эволюцию состояния, используя оператор эволюции.

в) эволюцию состояния, решив уравнение Шредингера.

9. Найти уровни энергии и собственные функции оператора Гамильтона для частицы в одномерной бесконечно глубокой потенциальной яме шириной a

$$U(x) = \begin{cases} 0, & 0 < x < a, \\ \infty, & x \le 0, x \ge a. \end{cases}$$

Найти также

1) $\langle x \rangle$, 2) $D(x)$, 3) волновую функцию в импульсном представлении, 4) $D(p_x)$.

10. Волновая функция частицы, находящейся в бесконечно глубокой потенциальной яме шириной L с непроницаемыми стенками представлена на рисунке. Какова вероятность обнаружить частицу в области $L/6 < x < 5L/6$?

11. Пусть частица в бесконечно глубокой потенциальной яме шириной a в начальном состоянии находится в суперпозиции двух стационарных состояний

$$\psi(x,0) = A\left(\psi_1(x) + \psi_2(x)\right).$$

a. Проведите нормировку функции $\psi(x,0)$,

b. Найти $\psi(x,t)$,

c. Рассчитайте $\langle x \rangle$, $\langle p_x \rangle$ и $\langle H \rangle$.

12. Найти четные и нечетные состояния и их возможные значения энергии для частицы в одномерной бесконечно глубокой потенциальной яме шириной $2a$

$$U(x) = \begin{cases} 0, & -a < x < a, \\ \infty, & x \le -a, x \ge a. \end{cases}$$

Ответ: Четные состояния: $E_n = \frac{\pi^2\hbar^2}{8ma^2}(n+1)^2$, $\psi_{n,чет}(x) = \frac{1}{\sqrt{a}}\cos\left[\frac{\pi}{2a}(n+1)x\right]$;

нечетные состояния: $E_n = \frac{\pi^2\hbar^2}{8ma^2}(n+1)^2$, $\psi_{n,нечет}(x) = \frac{1}{\sqrt{a}}\sin\left[\frac{\pi}{2a}(n+1)x\right]$,

$n = 0,1,2,...$

13. Пусть в начальный момент времени волновая функция частицы, находящейся в бесконечно глубокой потенциальной яме шириной a вид $\psi(x,0) = A\sin^3\frac{\pi x}{a}$. Найти волновую функцию в произвольный момент времени. Найти среднее значение энергии частицы и вероятность ее обнаружения в первом возбужденном состоянии. Является ли состояние частицы стационарным?

14. Волновая функция частицы в бесконечно глубокой потенциальной яме в некоторый момент времени имеет вид $A\left(\sin\frac{\pi x}{a} + \frac{1}{2}\sin\frac{2\pi x}{a}\right)$, где a - ширина ямы, A – постоянная. Чему равна средняя энергия частицы в этом состоянии?

15. Для стационарных состояний *непрерывной части спектра* частицы, находящейся в поле

$$V(x) = \begin{cases} -V_0 & ,|x| < a \\ 0, & |x| > a, \end{cases}$$

найти волновые функции. Найти также коэффициент прохождения T частицы, совершающей одномерное движение над симметричной потенциальной ямой $V(x)$. На примере решения обосновать *эффект Рамзауэра-Таунсенда*.

16. Частица массы m находится в поле

$$V(x)=\begin{cases}-V_0 & ,|x|<a,\\ 0, & |x|>a.\end{cases}$$

Найти число связанных состояний и их энергии, если а) $2ma^2V_0=\hbar^2$, b) $2ma^2V_0=3\hbar^2$.

17. Найти коэффициенты прохождения T и отражения R при одномерном движении частицы над потенциальным барьером $E>V_0$:

$$V(x)=\begin{cases}0, & x<0,\\ V_0, & 0<x<a,\\ 0, & x>a.\end{cases}$$

18. Найти коэффициенты прохождения T и отражения R при одномерном движении частицы с энергией $E<V_0$:

$$V(x)=\begin{cases}0, & x<0,\\ V_0, & 0<x<a,\\ 0, & x>a.\end{cases}$$

19. Частица массы m находится в яме:

$$V(x)=\begin{cases}\infty, & x\le 0,\\ -V_0, & 0<x\le a,\\ 0, & x>a.\end{cases}$$

1. Найти волновую функцию связанных состояний этой частицы.
2. Найти графическим методом уровни энергии этих состояний.
3. При каком минимальном значении V_0 существует два связанных состояния?

20. Найти уровни энергии и собственные функции связанных состояний частицы в поле двух δ-ям:

$$U(x)=-\gamma\delta(x+a)-\gamma\delta(x-a).$$

21. Получить общие соотношения для волновых функций и энергетического спектра в случае периодического потенциала. *Теорема Блоха, энергетические зоны, модель Кронига-Пенни, Дираковская потенциальная гребенка.*

Указание: Флюгге З. Задачи по квантовой механике. Том 1.М.: Мир, 1974. Задача 28 и 29.

Указание: Галицкий В.М., Б.М. Карнаков, В.И. Коган Задачи по квантовой механике. Часть 1.М.: Едиториал УРСС, 2001. Задачи 2.52-2.55

Смотри также учебники по квантовой механике.

22. *Уровни Ландау.* Найти уровни энергии и нормированные волновые функции стационарных состояний заряженной бесспиновой частицы в однородном магнитном поле напряженностью $\mathbf{H} = H\mathbf{e}_z$. Провести расчеты в калибровке $A_x = 0, \quad A_y = Hx, \quad A_z = 0$.

Указание: Галицкий В.М., Б.М. Карнаков, В.И. Коган Задачи по квантовой механике. Часть 1.М.: Едиториал УРСС, 2001. Задача 7.1

23. Линейный гармонический осциллятор находится в состоянии $|\psi(0)\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|0\rangle + |1\rangle)$. Найти $\langle x(t)\rangle$.

24. Матрица плотности одномерного гармонического осциллятора имеет вид: $\hat{\rho} = \frac{1}{3}|0\rangle\langle 0| + \frac{2}{3}|1\rangle\langle 1| + \frac{i}{6}|0\rangle\langle 1| - \frac{i}{6}|1\rangle\langle 0|$. Найти средние значения и дисперсии энергии и импульса в этом состоянии.

25. Пусть потенциальная энергия частицы отлична от нуля в некоторой конечной области. Волновая функция при $x \to +\infty$ имеет вид $4ie^{ikx}$, где k – некоторое положительное число. Может ли волновая функция при $x \to -\infty$ иметь вид $5e^{ikx} + 3e^{-ikx}$?

А. да

Б. нет

В. зависит от энергии частицы

Г. зависит от поведения поля в указанной области

26. Пусть потенциальная энергия частицы $U(x)$ отлична от нуля в некоторой конечной области. Пусть также волновая функция стационарного состояния частицы имеет следующую асимптотику при $x \to -\infty$ имеет

вид $\frac{1}{2}e^{-ikx} - \frac{i\sqrt{3}}{2}e^{ikx}$. Измеряют поток частиц в этом состоянии в области действия потенциала при $x = 0$. Какое значение будет получено?

А. $-\frac{\hbar k}{2m}$

Б. $\frac{\hbar k}{2m}$

В. $-\frac{\hbar k}{4m}$

Г. Значение зависит от значения потенциала в точке $x = 0$.

27. Частица находится в состоянии с определенной проекцией орбитального момента импульса на ось x: $\hat{L}_x = 2\hbar$. Измеряют квадрат орбитального момента. Какое из перечисленных значений могло быть при этом получено?

А. $10\hbar^2$

Б. $12\hbar^2$

В. $8\hbar^2$

Г. $24\hbar^2$

28. Пространственный ротатор приведен в состояние с волновой функцией $\psi(\varphi,\theta) = A\cos^2\theta$. Найти вероятности различных значений энергий, момента и его проекции на ось Oz, а также средние значения и флуктуации этих величин.

29. Система находится в состоянии $\psi(\theta,\varphi) = A\sin\theta\cos\varphi$.

- Запишите волновую функцию в терминах сферических гармоник. Ответ: $\psi = \frac{A}{2}\sqrt{\frac{8\pi}{3}}\left(-Y_{11} + Y_{1,-1}\right)$.
- Найдите константу A. Ответ: $A = \sqrt{\frac{3}{4\pi}}$.
- Чему равно среднее значение квадрата оператора орбитального момента в этом состоянии?
- Найти возможные наблюдаемые значения L_z и вероятности их обнаружения.

30. Атом водорода находится в основном состоянии $\psi_{100}(r,\theta,\varphi)$. Найти

- Волновую функцию $\psi_{100}(r,\theta,\varphi)$.
- Наиболее вероятное расстояние между ядром и электроном в этом состоянии.
- Среднее значение $\langle r^n \rangle$ квадрата расстояния между ядром и электроном в этом состоянии.
- Среднюю кинетическую и потенциальную энергии электрона.
- Распределение по импульсам в этом состоянии.

31. Какое из нижеперечисленных утверждений справедливо?

А. Любая собственная функция оператора $\mathbf{L}^2$ будет собственной функцией оператора $\hat{L}_z$

Б. Любая собственная функция оператора $\hat{L}_z$ будет собственной функцией оператора $\mathbf{L}^2$

В. Никакая собственная функция оператора $\mathbf{L}^2$ не является собственной функцией оператора $\hat{L}_z$

Г. Все перечисленное неверно

32. Найдите в квазиклассическом приближении энергетический спектр для гармонического осциллятора и для связанных состояний частицы в поле $V(x) = -\dfrac{V_0}{ch^2 \dfrac{x}{a}}$.

33. Найти в квазиклассическом приближении коэффициент прохождения через потенциальный барьер

$$V(x) = \begin{cases} -V_0 & , x \le R, \\ \dfrac{2Ze^2}{x}, & x > R. \end{cases}$$

На основе решения объяснить теорию альфа-распада и получить закон *Гейгера-Неттола*.

34. Поправки к энергии состояния в первом и во втором порядках стационарной теории возмущений.

35. На частицу, находящуюся в одномерной бесконечно глубокой потенциальной яме шириной a

$$U(x)=\begin{cases} 0, & 0<x<a, \\ \infty, & x\le 0, x\ge a, \end{cases}$$

наложили малое возмущение $V(x)=V_0\cos(\pi x/a)$. Чему равна поправка второго порядка к энергии основного состояния? Ответ: $-\frac{V_0^2 ma^2}{6\pi^2\hbar^2}$.

36. Найти расщепление первого возбужденного уровня плоского гармонического осциллятора под действием возмущения αxy ($\alpha>0$). Запишите также правильные функции нулевого приближения.
37. Для заряженной частицы, находящейся в одномерной симметричной бесконечно глубокой потенциальной яме методом теории возмущений найти сдвиг энергетических уровней в однородном электрическом поле. Найдите также поляризуемость основного состояния.
38. *Эффект Штарка*. Найти расщепление в однородном электрическом поле уровня энергии атома водорода с $n=2$.
39. Найти вероятность того, что при β-распаде трития ион $^3He^+$ окажется: а) в 1s-состоянии; б) в 2s-состоянии; в) в 2p-состоянии, если атом трития находился в 1s-состоянии.
40. Показать, что для комбинаций типа $\boldsymbol{a}\hat{\boldsymbol{\sigma}}=a_i\hat{\sigma}_i$ справедливо соотношение

$$(\boldsymbol{a}\hat{\boldsymbol{\sigma}})(\boldsymbol{b}\hat{\boldsymbol{\sigma}})=(\boldsymbol{ab})\hat{I}+i(\hat{\boldsymbol{\sigma}}[\boldsymbol{a}\times\boldsymbol{b}]),$$

если компоненты векторов $\boldsymbol{a}$ и $\boldsymbol{b}$ являются либо числами, либо операторами, коммутирующими со всеми матрицами Паули.
41. Пусть $\mathbf{e}$ – вектор единичной длины. Доказать, что

$$\exp(i\alpha\mathbf{e}\hat{\boldsymbol{\sigma}})=\hat{I}\cos\alpha+i\mathbf{e}\hat{\boldsymbol{\sigma}}\sin\alpha\ .$$

42. Найти дисперсию проекции спина на ось ординат в состоянии $|\psi\rangle_{S_x=\frac{1}{2}}$.
43. Показать, что спин $s=\frac{1}{2}$ во внешнем магнитном поле H прецессирует с частотой $\Omega=\frac{e}{mc}\mathrm{H}$.
44. Частицы со спином $s=\frac{1}{2}$ в падающем пучке поляризованы так, что их спины лежат в плоскости $z=0$ и образуют угол α с осью Ox. Запишите спиновую матрицу плотности для этого пучка.
45. В спиновом базисе

$$\left|\frac{1}{2},\frac{1}{2}\right\rangle \equiv \begin{pmatrix}1\\0\end{pmatrix}, \quad \left|\frac{1}{2},-\frac{1}{2}\right\rangle \equiv \begin{pmatrix}0\\1\end{pmatrix}$$

операторы наблюдаемых имеют вид:

$$\hat{A} = \begin{pmatrix}3 & 0\\0 & -1\end{pmatrix}, \ \hat{B} = \begin{pmatrix}1 & 1\\1 & -1\end{pmatrix}, \ \hat{C} = \begin{pmatrix}0 & -2i\\2i & 0\end{pmatrix},$$

а их средние для некоторого состояния $\hat{\rho}$ равны

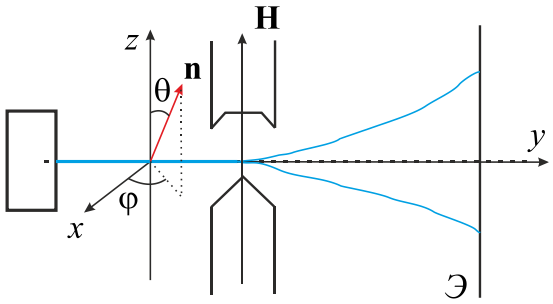
$$\left\langle \hat{A} \right\rangle_\rho = 2, \ \left\langle \hat{B} \right\rangle_\rho = \frac{1}{2}, \ \left\langle \hat{C} \right\rangle_\rho = 0.$$

Найдите вектор поляризации и матрицу плотности для этого состояния. Чистым или смешанным является это состояние?

46. Пусть частицы в пучке поляризованы вдоль направления $\mathbf{n}$, т.е. спинор имеет вид

$$\chi_{\mathbf{n}} = \begin{pmatrix}\cos\frac{\theta}{2}\\ \sin\frac{\theta}{2}e^{i\varphi}\end{pmatrix}$$

Вектор напряженности магнитного поля в приборе Штерна направлен вдоль оси Oz. Найти отношение интенсивностей в двух точках на экране (интенсивность в верхней к интенсивности в нижней) после прохождения прибора Штерна, считая, что интенсивности пропорциональны вероятностям обнаружить в одной точке спин $-\frac{1}{2}$, а в другой $+\frac{1}{2}$.



47. Спиновая матрица плотности в падающем пучке имеет вид $\hat{\rho} = \begin{pmatrix}\frac{1}{4} & \frac{i}{8}\\ -\frac{i}{8} & \frac{3}{4}\end{pmatrix}$.

Найти отношение интенсивностей в двух точках на экране (интенсивность в верхней к интенсивности в нижней) после прохождения прибора Штерна, вектор напряженности магнитного поля в котором направлен вдоль оси аппликат.

48. В момент времени $t=0$ частица со спином $1/2$ находится в состоянии, в котором проекция спина на ось z рана $+1/2$. Гамильтониан частицы в магнитном поле имеет вид $H = A\sqrt{2}\left(\sigma_x + \sigma_y\right)$. Здесь A – постоянная, σ_x, σ_y – матрицы Паули. Найдите, через какое время проекция спина будет равна $-1/2$. Ответ: $t = \frac{\pi\hbar}{2A}$.

49. Дана система из двух частиц со спинами $s_1 = 1$, $s_2 = 1$. Сколько возможно состояний такой составной системы? Найти векторы состояния.

50. Пусть операторы $\hat{A}, \hat{B}, \hat{C}$ – это операторы с чисто дискретным спектром. Пусть также $\left[\hat{B}, \hat{C}\right] \neq 0$, но при этом $\left[\hat{A}, \hat{B}\right] = 0$ и $\left[\hat{A}, \hat{C}\right] = 0$. Показать, что в этом случае спектр оператора $\hat{A}$ вырожден. Примеры из физики: атом водорода.

51. Имеют ли оператор кинетической энергии и оператор четности общую систему собственных функций? Если да, постройте эти функции.

52. Вычислить:

a. $\left\langle n\left|\hat{x}\right|n\right\rangle$ b. $\left\langle n\left|\hat{p}\right|n\right\rangle$ c. $\left\langle m\left|\hat{x}\hat{p}\right|n\right\rangle$ d. $\left\langle n\left|\hat{x}^2\right|n\right\rangle$ e. $\left\langle n\left|\hat{p}^2\right|n\right\rangle$

53. Покажите, что для неопределенностей координаты и импульса в n-том состоянии гармонического осциллятора имеет место соотношение $\Delta x \Delta p = \hbar\left(n + \frac{1}{2}\right)$.

54. Пусть состояние системы описывается волновой функцией в координатном представлении

$$\psi(x) = \frac{1}{\sqrt{a\sqrt{\pi}}} \exp\left(\frac{i}{\hbar} p_0 x - \frac{1}{2}\left(\frac{x}{a}\right)^2\right) .$$

Найти для данного состояния волновую функцию в импульсном представлении.

55. Пусть волновая функция для свободной частицы в начальный момент времени имеет вид: $\psi(x) = \frac{1}{\sqrt{a\sqrt{\pi}}} \exp\left(-\frac{\left(x - x_0\right)^2}{2a^2}\right) \exp\left(\frac{i}{\hbar} p_0 x\right)$. Найти зависимость от времени средних значений и дисперсий координаты и импульса, используя а) представление Шредингера, б) представление Гайзенберга. Запишите волновую функцию спустя время t.

56. Найти волновые функции стационарных состояний свободного плоского ротатора, решив уравнение Шредингера.

57. Найти волновые функции стационарных состояний частицы внутри непроницаемой сферической полости радиуса a, свободной от полей:

$$U(r)=\begin{cases}-U_0, r<a\\ 0, r>0\end{cases}$$

58. В плоскости $z=0$ находится плоский ротатор с моментом инерции I_z и дипольным моментом $\boldsymbol{d}$, перпендикулярным оси вращения *Oz*. Включают однородное электрическом поле $\mathbf{E}=\mathrm{E}\mathbf{e}_x$. Для основного невырожденного состояния найти связанные с включением поля поправки к энергии первого и второго порядков и к волновой функции первого порядка.

59. Найдите вероятность того, что частица массы *m,* находящаяся в бесконечно глубокой потенциальной яме шириной *a* в состоянии $\psi(x)=Ax(a-x)$, имеет энергию $E=\frac{9\pi^2}{2}\frac{\hbar^2}{ma^2}$.

60. Частица в прямоугольной симметричной потенциальной яме шириной $2a$ с непроницаемыми стенками находится в состоянии $\psi(x)=A\left(a^2-x^2\right)$. Найти вероятность обнаружения частицы на уровне *n*.

61. Волновая функция гармонического осциллятора в некоторый момент времени имеет вид $\psi(x)=\left(1-10\left(\frac{x}{x_0}\right)^2\right)\exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{x}{x_0}\right)^2\right)$. Здесь $x_0=\sqrt{\hbar/(m\omega)}$. Какие значения энергии осциллятора могут быть обнаружены при измерениях?

62. Для частицы массы m с электрическим зарядом q, находящейся в основном состоянии в бесконечной прямоугольной потенциальной яме шириной a, найти в первых двух порядках теории возмущений сдвиг энергетического уровня, вызванный однородным электрическим полем E.

63. Вычислить коммутатор $\left[\hat{p}_\alpha,\hat{\mathbf{L}}^2\right]$

64. Пусть $F=F(\hat{p})$, а $G=G(\hat{q})$. Доказать тождества

1) $\left[\hat{q},F(\hat{p})\right]=i\hbar\frac{dF(\hat{p})}{d\hat{p}}$,

2) $\left[G(\hat{q}),\hat{p}\right]=i\hbar\frac{dG(\hat{q})}{d\hat{q}}$.

65. Найти связанные состояния в яме с потенциалом

$$U(x)=\begin{cases}\infty, & x\le 0,\\ 0, & 0<x<a,\\ U_0, & x\ge a.\end{cases}$$

66. Найти энергию связанного состояния и соответствующую волновую функцию для частицы в δ -образной потенциальной яме $U(x)=-\gamma\delta(x)$.

67. Для связанного состояния частицы в поле δ -ямы найти волновую функцию в импульсном представлении. Ответ: $\langle p|\psi\rangle=\sqrt{\frac{2}{\pi}}\frac{(k\hbar)^{3/2}}{(k\hbar)^2+p^2}$, где $k=\frac{m\gamma}{\hbar^2}$.

Раздел 5. Термодинамика и статистическая физика (6 семестр)

1. Система состоит из двух спинов $S_1 = 2$ и $S_2 = 1/2$. Найти энтропию системы и вероятность нахождения в состоянии с суммарным спином $S_z = 3/2$.
2. С молем идеального газа совершается процесс, в котором энтропия изменяется по закону

$$S(T) = \alpha T^2 + c_V \ln T,$$

где c_v – теплоемкость при постоянном объеме, α – постоянная. Найти теплоемкость газа в этом процессе. Какое количество тепла было подведено к системе, если начальная температура T_0, а конечная $2T_0$?

3. Потенциальная энергия молекулы в некотором центральном поле зависит от расстояния r до центра как

$$U(r) = \beta r,$$

где β – положительная постоянная. Найти среднюю потенциальную энергию молекулы в этом поле.

4. Один моль одноатомного идеального газа с температурой T находится в цилиндре объемом V_0, закрытом поршнем. Поршень удерживается на месте за счет силы трения. Газ начинают медленно подогревать. При температуре газа, равной T_1, поршень приходит в движение и движется до тех пор, пока объем не удвоится. Найти подведенное к системе тепло. Считать, что в процессе движения поршня сила трения постоянная.

5. Вычислить электрический дипольный момент идеального газа, состоящего из линейных молекул с постоянным дипольным моментом **d** , при помещении его в однородное электрическое поле напряженностью **E**.
6. Вычислить классическую и квантовую статистические суммы системы из N одинаковых одномерных невзаимодействующих осцилляторов с собственной частотой ω. Найти внутреннюю энергию и теплоемкость такой системы.
7. Определить среднее число столкновений молекул одноатомного максвелловского газа с единичной площадью поверхности сосуда, в котором он находится, в единицу времени.