

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова»
Физический факультет

УТВЕРЖДАЮ

И.о. декана физического факультета МГУ,
профессор, д.ф.-м.н.



В.В. Белокуров /

« 21 » марта 2024 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Теоретическая физика

Theoretical physics

Программа (программы) подготовки
научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре
Теоретическая физика
(103-01-00-133)

Москва 2024

Рабочая программа дисциплины разработана в соответствии с Приказом по МГУ от 24 ноября 2021 года № 1216 «Об утверждении Требований к основным программам подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре, самостоятельно устанавливаемых Московским государственным университетом имени М.В.Ломоносова».

1. Краткая аннотация:

Название дисциплины: Теоретическая физика.

Цель изучения дисциплины – расширение и углубление знаний о современном состоянии и тенденциях развития в области теоретической физики.

2. Уровень высшего образования – подготовка кадров высшей квалификации.

3. Научная специальность: 1.3.3 Теоретическая физика; область науки: естественные науки.

4. Место дисциплины (модуля) в структуре Программы аспирантуры: дисциплины (модули), направленные на подготовку к кандидатским экзаменам - Дисциплина, совпадающая с наименованием научной специальности.

5. Объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах с указанием количества академических или астрономических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся:

Объем дисциплины (модуля) составляет 3 зачетных единицы, всего 108 часов, из которых 54 часа составляет контактная работа аспиранта с преподавателем (36 часов занятия лекционного типа, 18 часов мероприятия текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации), 54 часа составляет самостоятельная работа учащегося.

6. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия.

Необходимы знания высшей математики и общей физики в объеме курсов, преподаваемых на физических специальностях классических университетов, полученных на предыдущих уровнях высшего образования.

7. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам

| Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля), форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю) | Всего (часы) | В том числе | | | | | | | | |
|---|--------------|---|---------------------------|------------------------|-----------------------------|--|---|-----------------------------|---------------------------|-------|
| | | Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них | | | | | Самостоятельная работа обучающегося, часы из них | | | |
| | | Занятия лекционного типа | Занятия семинарского типа | Групповые консультации | Индивидуальные консультации | Учебные занятия, направленные на проведение текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации | Всего | Выполнение домашних заданий | Подготовка к коллоквиумам | Всего |
| Тема 1. Механика (Уравнения движения. Обобщенные координаты, принцип стационарного действия, уравнения Лагранжа. Симметрии. Теорема Нётер. Законы сохранения энергии, импульса, момента импульса. Уравнения Гамильтона, скобки Пуассона. Уравнение Гамильтона–Якоби, разделение переменных. Принцип относительности. Скорость распространения взаимодействий. Интервал. Собственное время. Преобразование Лоренца. Преобразование скорости. | 17 | 6 | | | | 3 | 9 | 8 | | 8 |

| | | | | | | | | | | |
|--|----|---|--|--|--|---|---|---|--|---|
| <p>Четырехмерные векторы. Четырехмерные скорость и ускорение. Релятивистская механика. Релятивистский принцип стационарного действия. Энергия и импульс релятивистской частицы.)</p> | | | | | | | | | | |
| <p>Тема 2. Теория поля (Заряд в электромагнитном поле. Четырехмерный потенциал поля. Уравнения движения заряда в поле, калибровочная инвариантность. Тензор электромагнитного поля. Преобразование Лоренца для поля. Инварианты поля. Действие для электромагнитного поля. Уравнения Максвелла. Четырехмерный вектор тока. Уравнение непрерывности. Плотность и поток энергии. Тензор энергии-импульса. Тензор энергии-импульса электромагнитного поля. Потенциалы Лиенара–Вихерта. Излучение электромагнитных волн. Излучение быстро движущегося заряда.)</p> | 17 | 6 | | | | 3 | 9 | 8 | | 8 |
| <p>Тема 3. Электродинамика сплошных сред (Уравнения Максвелла для электромагнитного поля в среде в отсутствие дисперсии.)</p> | 17 | 6 | | | | 2 | 8 | 9 | | 9 |

| | | | | | | | | | |
|--|----|---|--|--|--|---|---|----|----|
| <p>Граничные условия. Уравнения связи. Восприимчивости и проницаемости сред. Энергия и поток энергии электромагнитного поля в среде. Дисперсия диэлектрической проницаемости. Соотношения Крамерса–Кронига. Распространение электромагнитных волн. Электромагнитные волны в анизотропных средах. Пространственная дисперсия. Излучение Черенкова. Рассеяние электромагнитных волн в средах.)</p> | | | | | | | | | |
| <p>Тема 4. Механика сплошных сред и физическая кинетика (Идеальная жидкость. Уравнение непрерывности. Уравнение Эйлера. Уравнения движения вязкой жидкости. Кинетическая теория газов. Кинетическое уравнение Больцмана. Н-теорема. Бесстолкновительная плазма. Уравнение Власова.)</p> | 17 | 6 | | | | 2 | 8 | 9 | 9 |
| <p>Тема 5. Квантовая механика (Основные положения квантовой механики. Принцип суперпозиции. Наблюдаемые и операторы. Уравнение Шрёдингера. Основные свойства уравнения Шрёдингера. Соотношение неопределенностей.</p> | 18 | 6 | | | | 2 | 8 | 10 | 10 |

| | | | | | | | | | | |
|---|------------|-----------|--|--|--|-----------|-----------|----|--|-----------|
| <p>Одномерный осциллятор. Квазиклассическая волновая функция. Прохождение через барьер. Атом водорода. Спин. Оператор спина. Тонкая структура атомных уровней. Тождественность частиц. Фермионы и бозоны. Уравнение Паули, движение электрона в магнитном поле. Уравнение Дирака для электрона во внешнем электромагнитном поле.)</p> | | | | | | | | | | |
| <p>Тема 6. Статистическая физика (Основные принципы статистики. Функция распределения и матрица плотности. Микроканоническое распределение. Распределение Гиббса. Распределение Гиббса с переменным числом частиц. Распределения Ферми и Бозе. Вырожденный идеальный ферми-газ. Вырожденный идеальный бозе-газ. Конденсация Бозе–Эйнштейна. Равновесное тепловое излучение. Формула Планка.)</p> | 18 | 6 | | | | 2 | 8 | 10 | | 10 |
| <p>Промежуточная аттестация: допуск к кандидатскому экзамену</p> | 4 | | | | | 4 | | | | |
| <p>Итого</p> | 108 | 36 | | | | 18 | 54 | | | 54 |

8. Образовательные технологии

Используемые формы и методы обучения: лекции и семинарские занятия, самостоятельная работа аспирантов.

В процессе преподавания дисциплины преподаватель использует как классические формы и методы обучения (лекции и семинарские занятия), так и активные методы обучения.

При проведении лекционных занятий преподаватель использует при необходимости аудиовизуальные, компьютерные и мультимедийные средства обучения, а также демонстрационные и наглядно-иллюстрационные (в том числе раздаточные) материалы.

9. Учебно-методические материалы для самостоятельной работы по дисциплине (модулю): аспирантам предоставляется программа курса, план занятий и задания для самостоятельной работы, презентации к лекционным занятиям.

10. Ресурсное обеспечение:

Основная литература:

1. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Механика. 5-е изд. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004.
2. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Теория поля. 8-е изд. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003.
3. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Квантовая механика. Нерелятивистская теория. 6-е изд. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004.
4. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Электродинамика сплошных сред. 4-е изд. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005.
5. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Статистическая физика. Ч.1. 5-е изд. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2002.
6. Лифшиц Е. М., Питаевский Л. П. Статистическая физика. Ч.2. 3-е изд. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004.
7. Лифшиц Е. М., Питаевский Л. П. Физическая кинетика. 2-е изд. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2002.
8. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Гидродинамика. 5-е изд. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2001.
9. Квасников И. А. Термодинамика и статистическая физика. Т. 1. Теория равновесных систем: Термодинамика. М.: URSS, 2021.
10. Квасников И. А. Термодинамика и статистическая физика. Т. 2. Теория равновесных систем: Статистическая физика. М.: URSS, 2021.
11. Квасников И. А. Термодинамика и статистическая физика. Т. 3. Теория неравновесных систем. М.: URSS, 2022.
12. Квасников И. А. Термодинамика и статистическая физика. Т. 4. Квантовая статистика. М.: URSS, 2022.

Дополнительная литература:

1. Хуанг К. Статистическая механика. М.: Мир, 1966.
2. Кубо Р. Статистическая механика. М.: Мир, 1967.
3. Петкевич В. В. Теоретическая механика. М.: Наука, 1981.
4. Соколов А. А., Тернов И. М., Жуковский В. Ч. Квантовая механика. М.: Наука, 1979.
5. Соколов А. А., Тернов И. М., Жуковский В. Ч., Борисов А. В. Квантовая электродинамика. М.: Изд-во МГУ, 1983.

11. Язык преподавания – русский.

12. Преподаватели:

Д.ф.-м.н., профессор А.В. Борисов, e-mail: borisov@phys.msu.ru, тел.: 8-903-292-71-69.

Фонды оценочных средств, необходимые для оценки результатов обучения

Образцы домашних заданий:

1. Найти закон движения и уравнение траектории релятивистской заряженной частицы в постоянном однородном магнитном поле тремя методами: Лагранжа, Гамильтона и Гамильтона–Якоби.
2. Вывести преобразования Лоренца для напряженностей электромагнитного поля. Найти электромагнитное поле равномерно движущейся заряженной частицы, используя преобразование Лоренца из системы покоя частицы.
3. Найти мощность излучения заряженной релятивистской частицы, движущейся в постоянном однородном магнитном поле; качественно исследовать характер спектра излучения.
4. Найти закон преобразования скорости распространения света в среде (групповой скорости) при преобразовании инерциальной системы отсчета.
5. Шар движется в несжимаемой идеальной жидкости. Определить потенциальное течение жидкости вокруг шара.
6. Сформулировать систему уравнений Власова для плазмы, указать условия их применимости.
7. В основном состоянии атома водорода найти плотность вероятности различных значений импульса
8. электрона, средние значения его кинетической и потенциальной энергии, среднее расстояние от ядра.
9. Используя уравнение Дирака, найти спектр энергии электрона в постоянном однородном магнитном поле.
10. Квантовая струна эквивалентна системе бесконечного числа независимых осцилляторов с частотами
11. $\omega, 2\omega, 3\omega, \dots$. Найти теплоемкость струны как функцию температуры T .
12. Показать, что в двумерном идеальном бозе-газе отсутствует явление конденсации Бозе–Эйнштейна.

Вопросы для промежуточной аттестации – зачета:

1. Сформулировать теорему Нётер в механике.
2. Записать лагранжиан заряженной частицы в поле магнитного монополя. Используя теорему Нётер, найти интегралы движения.
3. Записать уравнение Гамильтона–Якоби для гармонического осциллятора и найти его закон движения.
4. Вычислить скобку Пуассона для компонент момента импульса частицы.
5. Сформулировать условия каноничности преобразований обобщенных координат и импульсов в методе Гамильтона.
6. Показать, что 4-ускорение релятивистской частицы является пространственноподобным 4-вектором.
7. Релятивистская частица движется по прямой с ускорением, которое постоянно в собственной системе отсчета. Найти скорость и координату частицы как функции времени в лабораторной системе отсчета.

8. Записать лагранжиан релятивистской заряженной частицы, движущейся во внешнем электромагнитном поле.
9. Найти электромагнитное поле равномерно движущейся заряженной частицы, интегрируя уравнения Максвелла.
10. Используя калибровочные преобразования, показать, что 4-потенциал электромагнитного поля без источников имеет только две независимые компоненты, а уравнения Максвелла без источников имеют решения в виде плоских электромагнитных волн.
11. Сформулировать основные свойства синхротронного излучения (излучения релятивистской частицы, движущейся по окружности в постоянном магнитном поле).
12. Сформулировать граничные условия для системы уравнений Максвелла в среде.
13. Записать энергию и поток энергии электромагнитного поля в однородной и изотропной среде.
14. Записать уравнение Эйлера для идеальной жидкости.
15. Записать кинетическое уравнение Больцмана и указать условия его применимости.
16. Записать уравнение Шрёдингера для частицы во внешнем электромагнитном поле и вывести закон преобразования волновой функции при калибровочных преобразованиях потенциалов.
17. Записать уравнение Дирака для свободной частицы и показать, что проекция ее спина на направление импульса (спиральность) является интегралом движения.
18. Сформулировать распределение Гиббса с переменным числом частиц и вывести с его использованием уравнение состояния классического идеального газа.
19. Найти давление идеального ферми-газа при нулевой температуре.
20. Показать, что химический потенциал фотонного газа равен нулю.

**Методические материалы
для проведения процедур оценивания результатов обучения**

Зачет проходит по билетам, включающим 4 вопроса. Уровень знаний аспиранта по каждому вопросу на «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно». В случае если на все вопросы был дан ответ, оцененный не ниже чем «удовлетворительно», аспирант получает общую оценку «зачтено».

Шкала оценивания знаний, умений и навыков

| Результат освоения дисциплины | Критерии оценивания знаний, умений и навыков | | | |
|-------------------------------|--|--|--|---|
| | 2/ не зачтено | 3/ зачтено | 4/ зачтено | 5/ зачтено |
| Знания | Отсутствие знаний основных законов теоретической физики | В целом успешные, но не систематические знания основных законов теоретической физики | В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы знания основных законов теоретической физики | Успешные и систематические знания основных законов теоретической физики |
| Умения | Отсутствие умения применять знания основных законов теоретической физики для решения научных задач | В целом успешное, но не систематическое умение применять знания основных | В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение применять знания основных | Успешное и систематическое умение применять знания основных законов |

| | | | | |
|--------|---|--|--|---|
| | | законов теоретической физики для решения научных задач | законов теоретической физики для решения научных задач | теоретической физики для решения научных задач |
| Навыки | Отсутствие/фрагментарное владение навыками решения научных задач в области теоретической физики | В целом успешное, но не систематическое владение навыками решения научных задач в области теоретической физики | В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы владение навыками решения научных задач в области теоретической физики | Успешное и систематическое владение навыками решения научных задач в области теоретической физики |