

МИНИСТЕРСТВО ПРОСВЕЩЕНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
им. А. И. ГЕРЦЕНА

**Программа вступительного испытания**  
по специальной дисциплине  
**«Теоретическая физика»**

**для поступления на программу подготовки научных и  
научно-педагогических кадров в аспирантуре**

по научной специальности  
1.3.3 Теоретическая физика

Санкт-Петербург  
2023

# СТРУКТУРА ВСТУПИТЕЛЬНОГО ИСПЫТАНИЯ

## Пояснительная записка

### Цели и задачи вступительного испытания

*Цель:* выявить степень готовности абитуриента для обучения в аспирантуре по научной специальности "Теоретическая физика".

*Задачи:*

1. выявить уровень знаний абитуриента по основам теоретической физики;
2. выявить уровень понимания абитуриентом основных математических методов, применяемых в области теоретической физики, и установить умение пользоваться этими методами;
3. выявить понимание абитуриентом связей различных областей физики, единства современной физической картины мира;
4. выявить уровень мотивации и заинтересованности абитуриента в продолжении научной и методической работы в области теоретической физики.

### Форма и порядок проведения вступительного испытания

Вступительное испытание проводится в форме устного экзамена, принимаемого комиссией, состоящей из членов профессорско-преподавательского состава кафедры теоретической физики и астрономии. Экзаменационный билет содержит два теоретических вопроса из перечня вопросов (см. ниже). Абитуриент получает билет в день экзамена, на подготовку к ответу отводится 45 минут, на ответ отводится 30 минут. После ответа комиссия в отсутствие абитуриента обсуждает его выступление и выставляет оценку в соответствии со шкалой критериев оценивания.

### Основные требования к уровню подготовки абитуриента

Абитуриент

*должен знать:*

1. основные понятия и идеи общей физики, математические методы общей физики;
2. основные понятия и идеи основных направлений теоретической физики: классической механики, электродинамики и специальной теории относительности, квантовой механики, статистической физики, **основ** теории нелинейных процессов, основных положений физики элементарных частиц, общей теории относительности и космологии.
3. основные математические подходы и методы, применяемые в теоретической физике: дифференциальное и интегральное исчисление, вариационное и тензорное исчисление, основы теории функций комплексной переменной, основные методы решения дифференциальных уравнений;

*иметь представление:*

1. об актуальных проблемах современной физики;
2. о приоритетных областях исследований;
3. об актуальных экспериментальных результатах, важных для построения современной физической картины мира;

*владеть навыками:*

4. математического описания физических моделей;
5. численного моделирования физических моделей;
6. самостоятельного обучения и научного поиска.

### Программа вступительного испытания (основное содержание)

#### I. Теоретическая механика

1. Условия связи, число степеней свободы, обобщённые координаты. Функция Лагранжа замкнутой системы и системы во внешнем потенциальном силовом поле. Принцип

наименьшего действия. Уравнения Лагранжа (II рода).

2. Принцип относительности и преобразования Галилея.
3. Законы сохранения. Интегралы движения и свойства симметрии. Законы сохранения и изменения энергии.
4. Импульс. Закон сохранения импульса. Центр инерции.
5. Момент импульса (угловой момент) и момент силы; законы изменения и сохранения момента импульса.
6. Малые колебания. Свободные одномерные колебания. Вынужденные колебания. Явление резонанса.
7. Обобщённые импульсы. Функция и уравнения Гамильтона (канонические уравнения). Фазовое пространство.

## **II. Электродинамика**

Часть 1. Электродинамика и основы специальной теории относительности

1. Скорость распространения взаимодействий. Интервал. Преобразования Лоренца. Четыре-вектор. Собственное время и преобразование скорости.
2. Основные положения релятивистской механики. Принцип наименьшего действия. Энергия и импульс частицы и системы частиц. Упругие столкновения частиц.
  1. Электрический заряд и ток. Электромагнитное поле, сила Лоренца. Система уравнений Максвелла. Четыре-вектор тока. Плотность энергии и плотность потока энергии электромагнитного поля. Уравнение непрерывности.
  2. Четырёхмерный потенциал электромагнитного поля. Калибровочная инвариантность.
  3. Преобразования компонент и инварианты поля относительно преобразований Лоренца.
  4. Движение заряда в постоянных и однородных электрическом и магнитном полях.
  5. Поле равномерно движущегося заряда. Дипольный момент, магнитный момент.
  6. Волновые уравнения (для векторов поля и потенциалов). Поле системы зарядов в ближних зонах и на больших расстояниях. Дипольное излучение.

Часть 2. Основы макроскопической электродинамики

1. Поляризация и намагничённость среды в электромагнитном поле, средняя плотность тока и средняя плотность заряда в среде. Система уравнений и основные граничные условия для электромагнитного поля в среде.
2. Диэлектрики и проводники во внешнем электростатическом поле; проводящий шар во внешнем поле. Типы диэлектриков (квазиупругие и жесткие диполи) и их поляризованность.
3. Закон Ома, линейный проводник с постоянным током, постоянный ток в проводящей среде.
4. Магнитное поле постоянных токов, закон Био-Савара, линейные проводники, превращение энергии в проводниках с постоянным током.
5. Механизмы намагничивания магнетиков, диамагнетизм, парамагнетизм, преобразование энергии при намагничении, энергия магнитного поля в среде.
6. Ферромагнетизм - спонтанное намагничение и гистерезис. Сверхпроводимость (основные факты).
7. Квазистационарные электромагнитные поля. Условия квазистационарности, закон индукции при движении проводников, уравнения Максвелла для квазистационарных полей и их интегрирование для случая линейных проводников.
8. Энергия магнитного поля системы квазистационарных токов, коэффициенты самоиндукции и взаимной индукции для объёмных проводников, случай линейных токов.
9. Квазистационарный ток в линейном проводнике. Емкость в цепи квазистационарного тока, свободные и вынужденные колебания, комплексное сопротивление. Скин-эффект.

## **III. Квантовая механика и квантовая теория атомов и молекул**

1. Принцип неопределённости. Принцип суперпозиции состояний. Волновой пакет. Волновая функция как основная характеристика состояния частицы или системы частиц. Предельный переход от квантовой механики к классической.

2. Волновое уравнение Шрёдингера. Стационарные состояния. Операторы физических величин. Средние значения физических величин.
3. Одномерный гармонический осциллятор.
4. Спин (собственный угловой момент микрочастицы). Бозоны и фермионы.
5. Движение частицы в центральном статическом силовом поле (общие результаты).
6. Движение в кулоновском поле. Уровни энергии и классификация волновых функций стационарных состояний атома водорода и водородоподобных ионов.
7. Принцип неразличимости тождественных частиц и перестановочная симметрия волновых функций системы частиц (для бозонов и фермионов). Состояния электронов в атоме.
8. Самосогласованное поле. Периодическая система элементов Д.И. Менделеева.
9. Влияние внешних статических полей, электрического и магнитного, на состояния атомов и молекул – эффекты Штарка и Зеемана (основные результаты).
10. Основы квантовой теории упругого рассеяния. Матрица рассеяния. Условие унитарности в теории рассеяния. Формула Борна. Формула Резерфорда.
11. Подход Борна-Оппенгеймера в теории молекул и в теории упругих и неупругих столкновений составных частиц (атомов и молекул). Каналы рассеяния. Поверхности адиабатических потенциалов. Двухуровневая модель Ландау-Зинера.

#### **IV. Термодинамика и статистическая физика**

1. Основные понятия и принципы статистической физики. Микро- и макро-состояния. Статистическое распределение, статистическая независимость, роль энергии. Микроканоническое распределение в классической статистической механике.
2. Матрица плотности в квантовой механике и квантовой статистической физике. Микроканоническое распределение.
3. Энтропия, её общее определение в статистической физике. Обратимые и необратимые процессы. Закон возрастания энтропии при необратимых процессах в изолированных системах.
4. Термодинамические потенциалы, тепловая функция, свободная энергия, термодинамический потенциал. Первое и второе начала термодинамики. Теорема Нернста, третье начало термодинамики.
5. Распределение Гиббса (каноническое распределение) при термодинамическом равновесии системы в термостате (в квантовой и классической теориях).
6. Системы с неопределённым числом микрочастиц; большой канонический ансамбль, химические потенциалы.
7. Идеальный газ. Распределения Ферми-Дирака и Бозе-Эйнштейна. Условия приближенного перехода к статистике Больцмана.

#### **V. Физика фундаментальных взаимодействий**

1. Этапы развития физики фундаментальных взаимодействий. Современное состояние экспериментальных исследований. Ускорители. Детекторы. Космическое излучение.
2. Частицы и взаимодействие. Иерархия частиц. Классификация частиц. Физический вакуум. Рождение и уничтожение частиц. Силы и поля. Переносчики взаимодействия. Диаграммы Фейнмана.
3. Симметрия и инварианты. Симметрия пространства-времени. Группы Лоренца и Пуанкаре. Внутренняя симметрия частиц. Понятие внутренней четности. СРТ-теорема.
4. Лептоны и кварки. Правила отбора в слабых взаимодействиях и лептонный заряд. Нейтрино. Масса нейтрино. Проблема солнечных нейтрино. Таблица лептонов. Кварковая структура адронов. Таблица кварков.
5. Калибровочный принцип. Калибровочная инвариантность в классической электродинамике.
6. Спонтанное нарушение симметрии. Комплексное скалярное поле. Глобальная симметрия. Масса частиц и механизм Хиггса. Механизм Хиггса для стандартной модели. Массы фермионов. Энергия вакуума.

## Примеры билетов

Билет № ...

1. Функция Гамильтона, канонические уравнения Гамильтона.
2. Подход Борна-Оппенгеймера для исследований столкновений.

Билет № ...

1. Идеальный газ. Распределения Ферми и Бозе.
2. Частицы и взаимодействия. Иерархия микрочастиц.

## Рекомендуемая литература

*Основная литература:*

1. Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц “Механика”, М.: Наука, 2008.
2. Л.Д. Ландау, Е.М.Лифшиц “Теория поля”, М.: Наука, 2011.
3. Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц, “Квантовая механика”, М.: Наука, 2009.
4. Л.Д. Ландау, Е.М.Лифшиц “Статистическая физика”, ч.1, М.: Наука, 2004.
5. Л.Д. Ландау, Е.М.Лифшиц “Электродинамика сплошных сред”, М.: Наука, 1982.
6. Л.Д. Ландау, Е.М.Лифшиц “Статистическая физика”, ч.2, М.: Наука, 2000.
7. Гордон Кейн «Современная физика элементарных частиц», М., «Мир», 2013.

*Дополнительная литература:*

8. В.Г. Левич «Курс теоретической физики», т. 1,2, М.: Наука, 2009.
9. А.С. Давыдов "Квантовая механика". М.: Наука, 2003.
10. Л.Б. Окунь. «Физика элементарных частиц», М., «Наука», 1988.
11. Ф. Хелзен, Мартин А. «Кварки и лептоны» М., «Мир», 1987

## Критерии оценивания ответа

Ответ абитуриента оценивается по 10-балльной шкале, где 10 – максимальный балл, 3 – минимальный проходной балл.

10 баллов	абитуриент должен продемонстрировать глубокое и прочное знание материала; исчерпывающе, последовательно, грамотно и логически стройно изложить теоретический материал; правильно формулировать определения; уметь делать выводы по излагаемому материалу. В ходе ответа абитуриент должен на высоком уровне продемонстрировать владение математическим аппаратом дисциплины и ответить на все дополнительные вопросы.
9 баллов	абитуриент должен продемонстрировать глубокое и прочное знание материала; исчерпывающе, последовательно, грамотно и логически стройно изложить теоретический материал; правильно формулировать определения; уметь делать выводы по излагаемому материалу. В ходе ответа абитуриент должен на высоком уровне продемонстрировать владение математическим аппаратом дисциплины и ответить на большую часть дополнительных вопросов.
8 баллов	абитуриент должен продемонстрировать достаточно глубокое и прочное знание материала; последовательно, грамотно и логически стройно изложить теоретический материал; правильно формулировать определения; уметь делать выводы по излагаемому материалу. В ходе ответа абитуриент должен на хорошем уровне продемонстрировать владение математическим аппаратом дисциплины и ответить на большую часть дополнительных вопросов.
7 баллов	абитуриент должен продемонстрировать достаточно глубокое и прочное знание материала; последовательно, грамотно и логически стройно изложить теоретический материал; правильно формулировать определения; уметь делать выводы по излагаемому материалу. В ходе ответа абитуриент должен продемонстрировать владение математическим аппаратом дисциплины и ответить на большую часть дополнительных вопросов.
6 баллов	абитуриент должен продемонстрировать достаточно полное знание материала;

	последовательно, грамотно и логически стройно изложить теоретический материал; правильно формулировать определения; уметь делать достаточно обоснованные выводы по излагаемому материалу. В ходе ответа абитуриент должен продемонстрировать владение математическим аппаратом дисциплины и ответить на часть дополнительных вопросов.
5 баллов	абитуриент должен продемонстрировать достаточно полное знание материала; последовательно, грамотно и логически стройно изложить теоретический материал; правильно формулировать определения; уметь делать достаточно обоснованные выводы по излагаемому материалу. В ходе ответа абитуриент должен продемонстрировать владение математическим аппаратом дисциплины и ответить хотя бы на один дополнительных вопросов.
4 балла	абитуриент должен продемонстрировать общее знание теоретического материала; знать основные положения изучаемой дисциплины; уметь строить ответ в соответствии со структурой излагаемого вопроса; показать общее владение понятийным аппаратом дисциплины; знать основные определения и термины. В ходе ответа абитуриент должен продемонстрировать владение математическим аппаратом дисциплины.
3 балла	абитуриент должен продемонстрировать общее знание теоретического материала; знать основные положения изучаемой дисциплины; уметь строить ответ в соответствии со структурой излагаемого вопроса; показать общее владение понятийным аппаратом дисциплины; знать основные определения и термины.
2 балла	абитуриент не знает значительную часть материала дисциплины; слабо владеет понятийным аппаратом дисциплины; допускает ошибки при изложении учебного материала; неграмотно строит ответ в соответствии со структурой излагаемого вопроса.
1 балл	абитуриент не знает значительную часть материала дисциплины; не владеет понятийным аппаратом дисциплины; допускает существенные ошибки при изложении учебного материала; не умеет строить ответ в соответствии со структурой излагаемого вопроса.
0 баллов	абитуриент не смог изложить теоретический материал дисциплины.

**Разработчики:**

Заведующий кафедрой теоретической физики и астрономии, д.ф.-м.н., проф. Беляев А.К.

Профессор кафедры теоретической физики и астрономии, д.ф.-м.н., проф. Трошин А.С.

**Утверждено на заседании кафедры теоретической физики и астрономии**

**от 16 мая 2023 г. № 8-22/23**