

Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»  
Программа вступительного экзамена по научной специальности «Теоретическая физика»

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования «Национальный исследовательский университет  
«Высшая школа экономики»

УТВЕРЖДАЮ

Проректор

\_\_\_\_\_ С.Ю. Роцин

**Программа вступительного испытания по дисциплине «Теоретическая физика» для поступающих на программы подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре**

**Направление 03.06.01 «Физика и астрономия»**

Направленность 01.04.02 «Теоретическая физика»

## 1. Область применения и нормативные ссылки

Программа вступительного испытания сформирована на основе федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования по программам специалитета или магистратуры.

## 2. Структура вступительного экзамена

### **Форма проведения испытания:**

Контрольная работа с последующим изложением результата решения предложенных задач и ответом на дополнительные теоретические вопросы экзаменационной комиссии

### **Структура вступительного экзамена:**

Экзамен состоит из контрольной работы и последующего устного ответа.

Условие контрольной работы включает в себя 4 задачи:

1. Задача по математике
2. Задача по квантовой механике
3. Задача по теории поля
4. Задача по статистической физике

Контрольная работа длится 3 часа.

Затем происходит изложение полученных поступающим решений экзаменационной комиссии. В ходе обсуждения поступающему могут быть заданы теоретические вопросы и предложены задачи из всего курса дисциплин “квантовая механика”, “теория поля” и “статистическая физика”.

### Оценка уровня знаний (баллы):

Каждый вопрос оценивается по десятибалльной шкале. Итоговая оценка выставляется по 5-балльной шкале по следующему принципу пересчета:

"Отлично" - 8-10 баллов (по 10-балльной шкале);

"Хорошо" - 6-7 баллов (по 10-балльной шкале);

"Удовлетворительно" - 4-5 баллов (по 10-балльной шкале);

"Неудовлетворительно" - 0-3 балла (по 10-балльной шкале).

### Критерии оценивания

	Баллы
Ответ полный без замечаний, продемонстрированы знания по дисциплине	10-8
Ответ полный, с незначительными замечаниями	6-7
Ответ не полный, существенные замечания	4-5
Ответ на поставленный вопрос не дан.	0-3

Невыполнение одного из заданий (или отказ от его выполнения) является, как правило, основанием для выставления неудовлетворительной оценки за вступительный экзамен в целом.

## 3. Содержание

### Раздел 1. Квантовая механика.

#### Основные вопросы.

1. Основные положения квантовой механики. Принцип неопределенности. Принцип суперпозиции. Операторы. Дискретный и непрерывный спектры. Гамильтониан.

Стационарные состояния. Гейзенберговское представление. Соотношения неопределенности.

2. Уравнение Шредингера. Основные свойства уравнения Шредингера. Одномерное движение. Одномерный осциллятор. Плотность потока. Квазиклассическая волновая функция. Прохождение через барьер.
3. Момент количества движения. Собственные функции и собственные значения момента количества движения. Четность. Сложение моментов. Разложение Клебша-Гордана.
4. Движение в центральном поле. Сферические волны. Разложение плоской волны. Радиальное уравнение Шредингера. Атом водорода.
5. Теория возмущений. Возмущения, не зависящие от времени. Периодические возмущения. Квазиклассическая теория возмущений.
6. Спин. Оператор спина. Тонкая структура атомных уровней.
7. Тожественность частиц. Симметрия при перестановке частиц. Вторичное квантование для бозонов и фермионов. Обменное взаимодействие.
8. Атом. Состояние электронов атома. Уровни энергии. Самосогласованное поле. Уравнение Томаса-Ферми. Тонкая структура тонких уровней. Периодическая система Менделеева.
9. Движение в магнитном поле. Уравнение Шредингера для движения в магнитном поле. Плотность потока в магнитном поле.
10. Столкновения частиц. Общая теория. Формула Бора. Резонансное рассеяние. Столкновение тождественных частиц. Упругое рассеяние при наличии неупругих процессов. Матрица рассеяния. Формула Брейта-Вигнера.

### **Рекомендуемая литература**

1. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Квантовая механика. Нерелятивистская теория. М., ФМЛ, 2001.
2. Галицкий В.М., Карнаков Б.М., Коган В.И., Задачи по квантовой механике. М., Наука, 1992.

## **Раздел 2. Теория поля.**

### **Основные вопросы.**

1. Заряд в электромагнитном поле. Четырехмерный потенциал поля. Уравнения движения заряда в поле, калибровочная (градиентная) инвариантность. Тензор электромагнитного поля. Преобразование Лоренца для поля. Инварианты поля.
2. Действие для электромагнитного поля. Уравнения электромагнитного поля. Четырехмерный вектор тока. Уравнение непрерывности. Плотность и поток энергии. Тензор энергии-импульса. Тензор энергии-импульса электромагнитного поля.
3. Постоянное электромагнитное поле. Закон Кулона. Электростатическая энергия зарядов. Дипольный момент. Мультипольные моменты. Система зарядов во внешнем поле. Постоянное магнитное поле. Магнитный момент. Теорема Лармора. Движение заряженных частиц в слабо неоднородном магнитном поле.
4. Электромагнитные волны. Волновое уравнение. Плоские волны. Монохроматическая плоская волна. Спектральное разложение. Поляризационные характеристики излучения. Разложение электростатического поля.
5. Поле движущихся зарядов. Запаздывающие потенциалы. Потенциалы Лиенара-Вихерта. Излучение электромагнитных волн. Поле системы зарядов на далеких расстояниях. Мультипольное излучение. Излучение быстродвижущегося заряда. Рассеяние свободными зарядами.

### **Рекомендуемая литература**

1. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теория поля. М., Наука, 2003.
2. Топтыгин, И. Н. (2002). Современная электродинамика, часть 1. Микроскопическая теория. Москва-Ижевск: РХД

## **Раздел 3. Статистическая физика.**

### **Основные вопросы.**

1. Основные принципы статистики. Функция распределения и матрица плотности. Статистическая независимость. Теорема Лиувилля. Роль энергии. Закон

возрастания энтропии. Микроканоническое распределение. Распределение Гиббса. Распределение Гиббса с переменным числом частиц.

2. Термодинамические величины. Температура. Работа и количество тепла. Термодинамические потенциалы. Термодинамические неравенства. Принцип Ле Шателье. Теорема Нернста. Системы с переменным числом частиц. Свободная энергия в распределении Гиббса. Вывод термодинамических соотношений.
3. Термодинамика идеальных газов. Распределение Больцмана. Столкновение молекул. Неравновесный идеальный газ. Закон равнораспределения. Одноатомный идеальный газ.
4. Распределение Ферми и Бозе. Вырожденный идеальный ферми-газ. Свойства вещества при больших плотностях. Вырожденный бозе-газ. Конденсация Бозе-Эйнштейна. Равновесное тепловое излучение. Формула Планка. Светимость абсолютно черного тела.
5. Неидеальные газы и конденсированные среды. Фононные спектры и термодинамические свойства газа. Термодинамические свойства неидеального классического газа.
6. Равновесие фаз. Формула Клапейрона-Клаузиуса. Критическая точка.
7. Системы с различными частицами. Правило фаз. Слабые растворы. Смесь идеальных газов. Смесь изотопов. Химические реакции. Условие химического равновесия. Закон действующих масс. Теплота реакции. Ионизационное равновесие.
8. Слабонеидеальный бозе-газ. Модель Боголюбова. Спектр возбуждений. Сверхтекучесть. Квантовые вихри.
9. Твердые тела. Кристаллические структуры. Поверхность Ферми. Зонная структура. Квазичастицы.
10. Колебания решетки. Теория упругости. Звук в твердых телах. Процессы распада и слияния фононов. Рассеяние фононов на примесях. Кинетическое уравнение для фононов. Теплопроводность.
11. Сверхпроводимость. Куперовское спаривание. Теория Бардина-Купера-Шриффера (БКШ). Теория Лондонов. Теория Гинзбурга-Ландау. Ток, калибровочная инвариантность, квантование потока. Сверхпроводники первого и второго рода. Эффект Джозефсона.

12. Флуктуации. Распределение Гиббса. Флуктуации основных термодинамических величин. Формула Пуассона. Временные флуктуации. Симметрии кинетических коэффициентов. Флуктуационно-диссипативная теорема.
13. Фазовые переходы второго рода. Теория Ландау. Критические индексы. Масштабная инвариантность. Флуктуации в окрестности критической точки.

#### **Рекомендуемая литература**

1. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Статистическая физика. Ч.1. М.: ФМЛ, 2001.
2. Кубо Р. (1967). Статистическая механика. Мир.

#### **Раздел 4. Математические методы физики.**

##### **Основные вопросы.**

1. Теория функций комплексного переменного.
2. Вычисление интегралов вычетами.
3. Решение уравнений с помощью контурных интегралов (метод Лапласа).
4. Вычисление асимптотик интегралов.
5. Специальные функции (Лежандра, Бесселя, эллиптические, гипергеометрические, гамма-функции).

#### **Рекомендуемая литература**

1. Лаврентьев М. А., Шабат Б. В., Методы теории функций комплексного переменного, Лань, СП, 2002.
2. Смирнов В. И., Курс высшей математики, Лань, СП. 2008.
3. Бейтмен Г., Эрдейи А., Высшие трансцендентные функции, Лань, СП, 2001.

#### **ПРИМЕР ЭКЗАМЕНАЦИОННОГО БИЛЕТА (ЗАДАНИЙ ПИСЬМЕННОГО ЭКЗАМЕНА)**

**Задача 1.** Найдите электрическую поляризуемость атома водорода, находящегося в основном состоянии.

**Задача 2.** Магнитный диполь  $\vec{\mu}$  и электрический диполь  $\vec{d}$  прикреплены к точечному объекту и колеблются с частотой  $\omega$ ,  $\vec{\mu} = \vec{\mu}_0 \cos(\omega t)$ ,  $\vec{d} = d_0 \cos(\omega t)$ , а их направления ортогональны,  $\vec{\mu}_0 \perp \vec{d}_0$ . Чему равна сила (её среднее по времени значение), необходимая для удержания в покое этого объекта, если полная мощность излучения равна 1ГВт (мощность генерации одного атомного реактора)?

**Задача 3.** Вычислить константу равновесия  $K_p = P_N^2 / P_{N_2}$  ( $P$  – давление) реакции диссоциации  $N_2 \rightleftharpoons 2N$  молекул азота при  $5000^\circ \text{K}$  в следующих предположениях: квант колебаний молекулы  $N_2$  равен в кельвинах равен  $\Theta_v = 3.35 \cdot 10^3 \text{K}$ , а минимальный квант вращательной энергии составляет  $2.84^\circ \text{K}$ . Энергия диссоциации  $D_0 = 169.3 \text{ ккал/моль}$  (с учётом поправки на энергию нулевых колебаний). Основное электронное состояние молекулы  $N_2$  не вырождено, но основное состояние атома азота имеет четырехкратное вырождение, обусловленное электронным спином.

**Задача 4.** Построить ортонормированный базис для оператора Шредингера

$$H = \frac{-1}{2} \partial_x^2 + \exp(x), \text{ определённого на прямой } x \in \mathbb{R}.$$