

## **«УТВЕРЖДЕНО»**

Председатель экзаменационной комиссии  
по проведению вступительных испытаний  
в аспирантуру НИЦ «Курчатовский институт»  
в форме вступительного экзамена  
и собеседования по специальной дисциплине  
по научной специальности

2.2.2. Электронная компонентная база  
микро- и наноэлектроники, квантовых устройств

д-р физ.-мат. наук

\_\_\_\_\_ А.П. Свиридов

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2026 г.

### **Программа вступительного испытания по специальной дисциплине в аспирантуру НИЦ «Курчатовский институт» в форме вступительного экзамена по научной специальности 2.2.2. Электронная компонентная база микро- и наноэлектроники, квантовых устройств**

#### **1. Общие положения**

1.1. Данная программа предназначена для подготовки к вступительным испытаниям в аспирантуру по специальной дисциплине. Программа вступительных испытаний в аспирантуру подготовлена в соответствии с федеральными государственными образовательными стандартами высшего образования (уровень магистратуры или специалитета).

Экзамен проводится с целью выявления у поступающего объёма научных знаний, научно-исследовательских компетенций, навыков системного и критического мышления, необходимых для обучения в аспирантуре. Поступающий должен показать профессиональное владение теорией и практикой в предметной области, продемонстрировать умение вести научную дискуссию.

1.2. Программой устанавливается:

форма, структура, процедура сдачи вступительного испытания; шкала оценивания;

максимальное и минимальное количество баллов для успешного прохождения вступительного испытания;

критерии оценки ответов.

1.3. Вступительное испытание проводится на русском языке.

1.4. Организация и проведение вступительного испытания осуществляется в соответствии с Правилами приема, утвержденными приказом НИЦ «Курчатовский институт».

1.5. По результатам вступительного испытания, поступающий имеет право подать на апелляцию о нарушении, по мнению поступающего, установленного порядка проведения вступительного испытания и (или) о несогласии с полученной оценкой результатов вступительного испытания в порядке, установленном Правилами приема, действующими на текущий год поступления.

## **2. Форма, процедура проведения и шкала оценивания вступительного испытания**

2.1. Вступительное испытание проводится в форме экзамена на основе билетов. Экзамен проходит в устной форме. Подготовка к ответу составляет 1 астрономический час (60 минут) без перерыва с момента раздачи билетов. Ответ на билет оценивается от 0 до 10 баллов в зависимости от полноты и правильности ответов. Билет включает в себя два вопроса.

2.2. Программа содержит перечень вопросов по специальной дисциплине, соответствующей научной специальности 2.2.2. Электронная компонентная база микро- и наноэлектроники, квантовых устройств.

В случае проведения экзамена в дистанционном формате вступительное испытание проводится в режиме видеоконференцсвязи.

2.3. Экзамен по специальной дисциплине оценивается по 10-балльной шкале.

Минимальное количество баллов, подтверждающее успешное прохождение вступительного испытания по специальной дисциплине, устанавливается равным 4 баллам.

### Шкала оценивания

Оценка, баллы	Уровень подготовленности, характеризуемый оценкой
9-10	Поступающий уверенно владеет материалом, приводит точные формулировки теорем, процессов и явлений, и других утверждений, сопровождает их строгими и полными доказательствами, уверенно отвечает на дополнительные вопросы программы вступительного испытания.
6-8	Поступающий владеет материалом, приводит точные формулировки теорем, процессов и явлений, и других утверждений, сопровождает их доказательствами, в которых допускает отдельные неточности. Отвечает на большинство дополнительных вопросов по программе вступительного испытания.
4-5	Поступающий знаком с основным материалом программы, приводит формулировки теорем, процессов и явлений, и других утверждений, но допускает некоторые неточности, сопровождает их доказательствами, в которых допускает погрешности либо описывает основную схему доказательств без указания деталей. Отвечает на дополнительные вопросы по программе вступительного испытания, допуская отдельные неточности.
0-3	Поступающий не владеет основным материалом программы, не знаком с основными понятиями, не способен приводить формулировки теорем, процессов и явлений, и других утверждений, не умеет доказывать теоремы и другие утверждения, не знает даже схемы доказательств. Не отвечает на большинство дополнительных вопросов по программе вступительного испытания.

## **Содержание вступительного испытания**

### **1. Электричество и магнетизм**

1. Электрические заряды и электрическое поле. Поляризация диэлектриков. Свободные и связанные заряды. Вектор электрической индукции. Граничные условия на границе диэлектриков. Поляризуемость.

2. Магнитные поля. Сила Лоренца. Движение заряда в однородном электрическом и магнитном полях. Эффект Холла. Электромагнитная индукция в движущихся и неподвижных проводниках.

3. Уравнение Максвелла. Вектор Пойнтинга–Умова. Плотность электромагнитной энергии. Электромагнитные волны. Диэлектрическая проницаемость. Скин-эффект.

### **2. Оптика и атомная физика**

1. Волны в вакууме и диэлектриках. Поперечность волн. Поляризация, поляризационные приборы. Фазовая скорость.

2. Основы теории когерентности света. Пространственная и временная когерентность. Частичная когерентность.

3. Интерференция волн. Основные виды интерференционных картин. Влияние степени монохроматичности и размеров источников на интерференционную картину.

4. Законы отражения и преломления света. Формулы Френеля. Полное отражение. Поверхностные волны.

5. Геометрическая оптика. Принцип Ферми. Волновой фронт и лучевая картина. Геометрическая теория оптических приборов. Преломление на плоских и сферических поверхностях. Увеличение. Линзы, призмы, телескопы, микроскопы. Аберрация оптических систем.

6. Дифракция. Принцип Гюйгенса–Френеля (Кирхгофа). Дифракция Френеля и Фраунгофера. Дифракционная решетка, плоская и объемная; условия Вульфа-Брэгга.

7. Дифракционные явления в оптических приборах. Дифракционная разрешающая способность объективов и телескопов. Теория Аббе–Мандельштама–Рождественского разрешающей силы микроскопов. Влияние когерентности освещения.

8. Основы металлооптики. Отражение света от металлов. Оптические характеристики металлов и их определение.

9. Кристаллооптика. Оптические характеристики анизотропных сред. Поверхность лучевая и поверхность нормалей. Одноосные и двуосные кристаллы. Построение Гюйгенса для анизотропных сред. Интерференционные явления в кристаллических пластинках. Искусственная анизотропия, возникающая при деформациях и в электрическом и магнитном полях. Поляризационные приборы.

10. Спектральные приборы (дифракционные, интерференционные). Основные характеристики спектральных приборов (дисперсия, светосила, разрешающая сила). Интерферометры двухлучевые и многолучевые. Интерферометр Фабри–Перо и его разрешающая способность. Интерферометр Майкельсона. Фурье–спектрометр.

11. Корпускулярные свойства электромагнитного излучения. Фотоэффект, его объяснение. Энергия и импульс фотона. Эффект Комптона.

12. Волновые функции и их физический смысл. Принцип неопределенности Гейзенберга.

13. Уравнение Шредингера. Стационарные состояния, энергетические уровни. Вырождение и симметрия. Гармонический осциллятор. Нулевая энергия.

14. Атом водорода. Квантовые числа. Уровни и спектр излучения атома водорода.

15. Опыт Штерна и Герлаха. Спин электрона, принцип Паули. Тонкая и сверхтонкая структура уровней атома. Лэмбовский сдвиг. Несохранение четности. Магнитомеханические и механомагнитные явления.

16. Периодическая система элементов Менделеева и структура электронных оболочек. Валентность.

17. Излучение атомов. Правила отбора. Спонтанное и вынужденное испускание и поглощение. Коэффициенты Эйнштейна. Контуры спектральных линий.

18. Рентгеновские лучи, их получение и свойства. Характеристическое рентгеновское излучение. Синхронное излучение. Методы рентгеновской спектроскопии.

19. Тепловое излучение. Законы Кирхгофа, Стефана–Больцмана и Вина. Формула Рэлея–Джинса. Формула Планка.

### **3. Физические основы квантовой электроники**

1. Оптические и безызлучательные переходы в квантовых системах. Спонтанное и вынужденное излучения.

2. Энергетические состояния и квантовые переходы в атомных системах.

3. Ширина и форма спектральных линий. Механизмы однородного и неоднородного уширения линий в газах и твердых телах.

4. Инверсия населенностей энергетических состояний. Коэффициент усиления лазерной среды. Принципы создания инверсной населенности.

5. Насыщение, поглощение и усиление света.

### **4. Лазеры**

1. Газовые лазеры.

2. Лазеры на твердых активных средах.

3. Полупроводниковые инжекционные лазеры, лазеры на гетероструктурах, лазеры на квантово-размерных структурах.

### **5. Резонаторы**

1. Оптические резонаторы.

2. Основные типы открытых резонаторов.
3. Методы селекций продольных и поперечных типов колебаний.
4. Пространственные и угловые характеристики излучения лазеров.

## **6. Генерация коротких и сверхкоротких импульсов и методы управления параметрами излучения лазеров**

1. Модуляция добротности.
2. Модуляторы добротности.
3. Управление параметрами импульсов, схемы модуляции добротности.
4. Методы генерации сверхкоротких (фемтосекундных) импульсов света.

## **7. Основные нелинейные эффекты в различных средах и их применение**

1. Преобразование частоты лазерного излучения, генерация гармоник и комбинационных частот, параметрическое усиление и параметрическая генерация света.
2. Вынужденные рассеяния: Мандельштама-Бриллюена (ВРМБ), комбинационное (рамановское, ВКР), Рэлеевское.
3. Самофокусировка.
4. Оптический пробой в газах и твердых телах.

## **8. Основные лазерные параметры и методы их измерения**

1. Мощность (непрерывная, импульсная, средняя) лазерного излучения, энергия импульса излучения.
2. Распределение излучения в ближней и дальней зонах, угловая расходимость.
3. Когерентность (пространственная, временная).
4. Поляризация, спектр мод резонатора (продольные и поперечные моды).

5. Стабильность (кратковременная и долговременная, амплитудная и частотная).

6. Шумы излучения, параметры модуляции лазеров.

7. Методы измерения перечисленных параметров лазерного излучения.

### **9. Устройства для управления параметрами лазерного излучения**

1. Ячейки Керра, Погкельса, Фарадея, акустооптические.

2. Адаптивные зеркала.

### **Список рекомендуемой литературы**

1. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Т. III. «Электричество». М.: Физматлит, 2004. 654 с.

2. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Т. IV "Оптика". М.: Физматлит, 2004. 792 с.

3. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Т. V «Атомная и ядерная физика». М.: Физматлит, 2008. 782 с.

4. Савельев И.В. Курс общей физики. Т. II «Электричество и магнетизм. Волны. Оптика». М.: Кнорус, 2012. 570 с.

5. Савельев И.В. Курс общей физики. Т. III «Квантовая оптика. Атомная физика. Физика твердого тела. Физика атомного ядра и элементарных частиц». М.: Кнорус, 2012. 359 с.

6. Литвинов О.С., Горелик В.С. Электромагнитные волны и оптика. М.: Издательство МГТУ им. Н.З. Баумана, 2006. 449 с.

7. Тамм И.Е. Основы теории электричества. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. 615 с.

8. Калашников С.Г. Электричество. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. 624 с.

9. Ландсберг Г.С. Оптика. Изд. 6-е, М.: ФИЗМАТЛИТ, 2010. 848 с.

10. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Электродинамика сплошных сред. М.: Наука, 2001.

11. Звелто О. Принципы лазеров. М.: Мир, 1990.
12. Коротеев Н.И., Шумай И.Л. Физика мощного лазерного излучения. М.: Наука, 1991.
13. Херман Й., Вильгельм Б. Лазеры сверхкоротких световых импульсов. М.: Мир, 1986.
14. Ананьев Ю.А. Оптические резонаторы и лазерные пучки. М.: Наука, 1990.
15. Шен И.Р. Принципы нелинейной оптики. М.: Наука, 1989.
16. Дмитриев В.Г., Тарасов Л.В. Прикладная нелинейная оптика. М.: Радио и связь, 2004.
17. Пихтин А.Н. Оптическая и квантовая электроника. Учебник. М.: Высш. шк., 2001.
18. Ярив А. Введение в оптическую электронику. М.: Высш. шк., 1983.
19. Физика полупроводниковых лазеров / Под ред. Х. Тукумы. М.: Мир, 1989.