

«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

«_____» _____ 2025 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.