

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
Саровский физико-технический институт

УТВЕРЖДАЮ
Руководитель СарФТИ НИЯУ МИФИ
_____ А.Г. Сироткина
« ____ » _____ 2025 г.

СОГЛАСОВАНО
Заместитель руководителя по УР
СарФТИ НИЯУ МИФИ
_____ Т.Г. Соловьев
« » _____ 2025 г.

Программа вступительного испытания (в виде собеседования)
в магистратуру СарФТИ НИЯУ МИФИ

Прикладные математика и физика

(направление подготовки 03.04.01 «Прикладные математика и физика»)

Профиль подготовки	Квантовая оптика и лазерная физика
Форма обучения	Очная

г. Саров
2025 г.

I. Общие положения

Цель данной программы состоит в оценке полученных ранее теоретических знаний и практических навыков, которыми должен обладать претендент на поступление в магистратуру по направлению подготовки **03.04.01 «Прикладные математика и физика»**

Данная программа составлена в соответствии с ОС НИЯУ МИФИ по направлению подготовки **03.03.01 «Прикладные математика и физика»**, профилю подготовки «Квантовая оптика и лазерная физика» и включает 2 блока.

Вступительное испытание в магистратуру проводится в форме собеседования с обязательным оформлением ответов на вопросы билета в письменном виде.

II. Оценка испытания:

Оценка за собеседование выставляется по 100-бальной шкале. Оценивается средний балл по диплому бакалавра, мотивационная и профессиональная направленность претендента (40 баллов) и ответ по билету (60 баллов).

Минимальный балл, необходимый для успешного прохождения собеседования и дальнейшего участия в конкурсе, ежегодно устанавливается приемной комиссией НИЯУ МИФИ.

Минимальный балл – 60.

Критерии оценки:

100-95 баллов – высокий уровень предыдущего образования, высокий уровень профессиональной и научной мотивации; даны исчерпывающие и обоснованные ответы на вопросы, поставленные экзаменационной комиссией, претендент демонстрирует глубокие теоретические знания, умение сравнивать и оценивать различные научные подходы, пользоваться современной научной терминологией.

94-90 баллов – высокий уровень предыдущего образования, а также профессиональной и научной мотивации; даны полные, достаточно глубокие и обоснованные ответы на вопросы, поставленные экзаменационной комиссией, претендент демонстрирует хорошие знания, умения пользоваться современной научной терминологией.

89-85 баллов – средний уровень предыдущего образования, а также учебной и профессиональной мотивации; даны обоснованные ответы на

вопросы, поставленные экзаменационной комиссией, претендент демонстрирует хорошие знания.

84-60 баллов – средний уровень предыдущего образования, а также учебной и профессиональной мотивации; даны в целом правильные ответы на вопросы, поставленные экзаменационной комиссией, при этом претендент недостаточно аргументирует ответы.

59-0 баллов – низкий уровень предыдущего образования, а также учебной, профессиональной и научной мотивации; в ответе допущены значительные ошибки, претендент демонстрирует непонимание основного содержания теоретического материала, неумение высказываться, поверхностность и слабую аргументацию суждений.

Примечание: на собеседовании оценка выставляется за несколько вопросов в пределах каждого блока, а не за каждый отдельный вопрос. Сумма баллов, набранных в каждом блоке, является итоговой оценкой собеседования.

ПЕРВЫЙ БЛОК (образование и мотивационно-профессиональная направленность претендента):

Соответствие профиля и уровня полученного ранее образования, успеваемость в вузе, наличие диплома с отличием, наличие сертификатов об образовании, наличие научных публикаций.

Представления о сферах и направлениях профессиональной деятельности и будущей специальности, общая ориентация в профессиональной проблематике, наличие опыта работы по выбранному направлению, полученные знания и профессиональные навыки, планирование будущей карьеры.

Способность к обучению: восприимчивость к знаниям, скорость усвоения, степень активности при обучении, дисциплинированность, организованность, ответственность; умение организовать деятельность с использованием полученных знаний; уровень самостоятельности в принятии решений; ответственность за результаты учебы, ожидания от учебного процесса в вузе.

Общие критерии для определения оценки абитуриента по I блоку:

30 - 40 баллов – высокий уровень (высокий уровень и качество полученного образования: диплом с отличием, средний балл диплома выше 4,5 балла; высокий уровень профессиональной и научной мотивации: наличие сертификатов об образовании, научных публикаций; при собеседовании претендент проявил целенаправленность и осознанность выбора направления подготовки, высокий уровень ответственности за собственные результаты

учебной и профессиональной деятельности, знания и профессиональные навыки, имеет опыт работы по выбранному направлению);

10 - 29 баллов – средний уровень (средний балл диплома от 3,5 до 4,4 балла; высокий уровень учебной и профессиональной мотивации; при собеседовании претендент проявил неопределенность в выборе направления подготовки, недостаточный уровень ответственности за собственные результаты учебной и профессиональной деятельности, имеются недостатки в проявлении знаний и профессиональных навыков);

0 - 9 баллов – низкий уровень (образование не соответствует выбранному профилю, отсутствие научной деятельности, низкий уровень учебной, профессиональной и научной мотивации: отсутствие сертификатов об образовании, научных публикаций; при собеседовании претендент не проявил целенаправленность и осознанность выбора направления подготовки, низкий уровень ответственности за собственные результаты учебной и профессиональной деятельности, не продемонстрировал знания и профессиональные навыки).

ВТОРОЙ БЛОК (вопросы по профилю подготовки «Квантовая оптика и лазерная физика»):

Раздел I

1. Математический анализ

Непрерывные функции одной переменной и их свойства. Равномерная непрерывность семейства функций.

Функции многих переменных. Полный дифференциал и его геометрический смысл. Частные производные. Достаточные условия дифференцируемости. Производные от сложных функций. Производная по заданному направлению. Градиент.

Понятие первообразной функции и неопределенного интеграла. Интегрирование путем замены переменной. Интегрирование по частям.

Определенный интеграл и его свойства. Условие существования интеграла. Свойства интегрируемых функций. Основная формула интегрального исчисления (формула Ньютона-Лейбница). Интеграл и задача об определении площади.

Числовые ряды. Сходимость рядов. Критерий сходимости Коши. Достаточные признаки сходимости (Коши, Даламбера, интегральный, Лейбница).

Абсолютная и условная сходимость ряда. Свойства абсолютно сходящихся рядов. Перестановка членов ряда.

Ряды и последовательности функций. Равномерная сходимость. Признак Вейерштрасса. Свойства равномерно сходящихся рядов (непрерывность суммы, почленное интегрирование и дифференцирование).

Собственные и несобственные интегралы, зависящие от параметра. Равномерная сходимость по параметрам и её признаки.

Криволинейные интегралы 1-го и 2-го типа. Формула Грина.

Двойные интегралы. Условия существования двойного интеграла. Сведение двойного интеграла к повторному. Замена переменных в двойных интегралах. Выражение площади в криволинейных координатах.

Формула Гаусса–Остроградского. Выражение объема в криволинейных координатах.

2. Аналитическая геометрия

Понятие базиса. Декартовы, полярные, цилиндрические, сферические и аффинные координаты. Преобразование декартовых прямоугольных координат на плоскости и в пространстве.

Кривые 2-го порядка на плоскости (в прямоугольных и полярных координатах). Параметрическое представление.

Общее уравнение плоскости. Угол между двумя плоскостями. Условия параллельности и перпендикулярности плоскостей. Уравнение плоскости, проходящей через три точки, не лежащие на одной прямой. Расстояние от точки до плоскости.

3. Линейная алгебра

Определитель матрицы. Выражение определителя через его элементы. Свойства определителей. Обратная матрица.

Определение линейного пространства. Понятие линейной зависимости элементов линейного пространства. Размерность линейного пространства. Система линейных уравнений и ее решение. Условие совместности линейной системы.

Преобразование координат при преобразовании базиса n -мерного линейного пространства. Связь между преобразованием базисов и преобразованием соответствующих координат.

Определение вещественного евклидова пространства. Простейшие свойства произвольного евклидова пространства. Ортонормированный базис конечномерного евклидова пространства и условия его существования.

Понятие нормы векторов и матриц. Неравенство Коши — Буняковского.

4. Дифференциальные уравнения

ОДУ первого порядка. Теоремы существования и единственности решения задачи Коши. Общее решение.

Системы уравнений первого порядка. Теоремы существования и единственности решения задачи Коши. Общее решение.

Линейное однородное уравнение. Линейная независимость функций. Фундаментальная система решений. Определитель Вронского. Общее решение неоднородного уравнения.

Линейные обыкновенные дифференциальные уравнения с постоянными коэффициентами (однородные и неоднородные).

5. Уравнения математической физики

Классификация дифференциальных уравнений с частными производными.

Уравнения гиперболического типа. Задачи, приводящие к уравнениям гиперболического типа. Метод разделения переменных.

Уравнения параболического типа. Задачи, приводящие к уравнениям параболического типа. Метод разделения переменных.

Уравнения эллиптического типа. Задачи, приводящие к уравнению эллиптического типа.

6. Численные методы

Аппроксимация функций многочленами. Погрешность аппроксимации.

Численное дифференцирование. Погрешность численного дифференцирования. Простейшие формулы. Метод Рунге повышения точности.

Численное интегрирование. Формулы трапеций, Симпсона, средних. Погрешность квадратурных формул.

Задачи линейной алгебры. Решение систем линейных алгебраических уравнений. Метод исключения Гаусса. Вычисление определителей и обратных матриц. Плохо обусловленные системы.

Решение уравнений с одним неизвестным. Дихотомия, метод простой итерации, Ньютона, секущих.

Итерационные методы решения систем линейных алгебраических уравнений (методы простой итерации и Зейделя).

Алгебраическая проблема собственных значений матриц. Частичная проблема собственных значений. Метод линеаризации, степенной метод.

Методы Рунге-Кутты и Адамса решения задачи Коши для ОДУ.

Основные понятия теории разностных схем для линейных уравнений в частных производных: сходимость, устойчивость, аппроксимация. Методы построения аппроксимирующих схем. Приемы исследования устойчивости разностных схем. Основная теорема о сходимости.

Линейное уравнение переноса. Схемы бегущего счета. Монотонность схем. Диссипативные схемы.

Параболические уравнения. Явные и неявные схемы. Семейство неявных схем.

Гиперболические уравнения. Схема крест. Явные и неявные схемы. Инварианты.

Раздел II

1. Теория классических полей

Уравнения Максвелла. Потенциалы электромагнитного поля. Калибровочная инвариантность и сохранение заряда. Функция Лагранжа электромагнитного поля. Тензор энергии-импульса. Статическое поле системы зарядов на больших расстояниях.

Движение заряженных частиц во внешних электромагнитных полях.

Электромагнитные волны. Запаздывающие потенциалы.

Мультипольное излучение. Спектральные свойства излучения. Излучение при столкновениях. Магнитно-тормозное излучение. Излучение быстро движущегося заряда. Торможение излучением. Границы применимости классической электродинамики.

Рассеяние электромагнитных волн.

2. Квантовая механика

Эксперименты, лежащие в основе квантовой механики. (Излучение черного тела. Фотоэффект. Опыт Бете. Опыт Франка-Герца. Эффект Комптона. Закономерности атомных спектров. Опыт Резерфорда по рассеянию частиц. Опыт Штерна – Герлаха).

Основные принципы квантовой механики. Принцип суперпозиции. Эрмитовы и самосопряженные операторы. Коммутационные соотношения. Координатное и импульсное представления. Соотношение неопределенностей Гейзенберга. Границы применимости нерелятивистской квантовой механики.

Основные свойства уравнения Шредингера. Стационарные состояния. Расплывание волнового пакета. Гармоничный осциллятор. Прямоугольная «яма», прохождение через прямоугольный барьер.

Собственные значения и собственные функции оператора момента. Спин. Сложение моментов и коэффициенты Клебша-Гордана. Уравнение Паули. Движение в однородном магнитном поле, уровни Ландау.

Задача двух тел в квантовой механике и движение в центрально-симметричном поле. Спектр и волновые функции водородоподобного атома, случайное вырождение.

Стационарные возмущения при наличии вырождения дискретного спектра, секулярное уравнение. Возмущения, зависящие от времени, и вероятности переходов. Адиабатические и внезапные возмущения.

Атом во внешних полях, эффект Штарка.

Квазиклассическое приближение. Правила квантования Бор-Зоммерфельда. Прохождение через барьер.

Стационарная постановка задачи рассеяния. Амплитуда и сечение упругого рассеяния. Борновское приближение. Формула Резерфорда. Фазовая теория рассеяния. Рассеяние медленных частиц. Рассеяние быстрых частиц.

3. Статистическая физика

Функция распределения и матрица плотности. Статистическая независимость. Теорема Лиувилля. Вероятность и энтропия. Закон возрастания энтропии. Роль энергии. Микроканоническое распределение. Распределение Гиббса. Распределение Гиббса с переменным числом частиц.

Термодинамические величины и термодинамические потенциалы. Первый и второй законы термодинамики. Условия термодинамического равновесия. Теорема Нернста.

Распределения Больцмана, Ферми, Бозе.

Больцмановский идеальный газ. Распределение Максвелла.

Ферми- и бозе-газы элементарных частиц. Вырожденный идеальный ферми-газ. Теплоемкость и магнитная восприимчивость вырожденного электронного газа. Свойства вещества при больших плотностях.

Вырожденный бозе-газ. Конденсация Бозе – Эйнштейна.

4. Основы физики лазеров

Индукированное излучение по Эйнштейну. Соотношения между коэффициентами Эйнштейна. Сечение усиления. Связь сечения усиления с коэффициентом Эйнштейна A_{21} . Уравнения, описывающие усиление света в балансе приближении.

Принцип действия лазера. Роль инверсии. Пороговое условие. Распределение интенсивности излучения вправо-влево. Уширение линии излучения. Типы уширений. Однородное и неоднородное уширение. Механизм радиационного уширения. Профиль радиационно уширенной линии. Сечение усиления в центре радиационно уширенной линии. Механизм доплеровского уширения. Профиль доплеровски уширенной линии. Механизм столкновительного уширения. Профиль столкновительно уширенной линии. Сечение усиления в центре столкновительно уширенной линии.

Оптическая накачка. Трехуровневая схема накачки. Порог по интенсивности накачки. Четырехуровневая схема накачки, ее преимущества. Примеры трех- и четырех- уровневых систем.

Общие критерии для определения оценки абитуриента по II блоку:

50 - 60 баллов – высокий уровень (полный, грамотный, логически правильно построенный, обоснованный и аргументированный ответ на теоретические и практические вопросы по профилю подготовки);

15 - 49 баллов – средний уровень (имеются недочеты и ошибки при ответе);

0 - 14 баллов – низкий уровень (нет ответа, бессмысленность ответа, полная безграмотность, грубейшие ошибки)

III. Рекомендуемая литература для подготовки

1. Беклемишев Д.В. Курс аналитической геометрии и линейной алгебры. - М.: Высшая школа, 1988
2. Давыдов А.С., Квантовая механика. - М.: Наука, 1973.
3. Демидович В.П. Сборник задач и упражнений по математическому анализу. - М.: Наука, 1977.
4. Звелто О. Принципы лазеров.- М.: Мир, 1990.
5. Ильин В.А., Позняк Э.Г. Аналитическая геометрия. - М.: Физматгиз, 2002
6. Карлов Н.В. Лекции по квантовой электронике. - М.: Наука, 1983.
7. Кудрявцев Л.Д. Курс математического анализа, т.т. 1,2.- М.: Высшая школа, 1988
8. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Статистическая физика, Ч.1. - М.: Наука, 1995
9. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М., Квантовая механика. Нерелятивистская теория.- М.: Наука, 2001.
10. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М., Теория поля. - М.: Наука, 1988.
11. Лифшиц Е.М., Питаевский Л.П. Статистическая физика, Ч.2. - М.: Наука, 2000.
12. Садовничий В.А. и др. Математический анализ, т.т. 1, 2.- М.: Наука, 2001
13. Фейнман Р. Статистическая механика. - М.: Мир, 1975.
14. Фихтенгольц Г.М. Курс дифференциального и интегрального исчисления, т.т. 1-3. - М.: Наука, 1962.

Программу разработал:
председатель аттестационной комиссии
по программе «Квантовая оптика и лазерная физика»,
д.ф.-м.н. Ф.А. Стариков