

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова»
Физический факультет

УТВЕРЖДАЮ

И.о. декана физического факультета МГУ,
профессор, д.ф.-м.н.



В.В. Белокуров /
«21» *сентября* 2024 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Приборы и методы экспериментальной физики

Instruments and methods of experimental physics

Программа (программы) подготовки
научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре
Приборы и методы экспериментальной физики
(103-01-00-132-фмн)

Москва 2024

I. Описание программы

Программа-минимум кандидатского экзамена, разработана Физическим факультетом Московского государственного университета им. М.В.Ломоносова на основе паспорта научной специальности, утвержденного Высшей аттестационной комиссией при Министерстве науки и высшего образования Российской Федерации, и учебного плана программы подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре по специальности 1.3.2 Приборы и методы экспериментальной физики, в отрасли физико-математических наук.

II. Основные разделы и вопросы к экзамену

Тема 1. Методы измерения основных физических величин

Методы измерения времени, погрешности измерений, эталоны. Учет эффектов общей теории относительности (зависимость хода часов от ускорения и гравитации)

Измерение частот в радиодиапазоне. Атомные стандарты частоты.

Методы и погрешности измерений координат, углов, длин. Мировые стандарты и эталоны.

Методы измерения термодинамических величин. Методы измерения температуры контактными и бесконтактными методами.

Радиоспектроскопия (эффект Зеемана, ядерный магнитный резонанс, томография).

Электромагнитные измерения. Емкостные и индуктивные датчики. Способы регистрации радиоизлучения.

Оптические измерения. Оптоволоконные сенсоры. Интерферометры Майкельсона и Фабри-Перо.

Основные принципы детектирования непрерывного и импульсного электромагнитного излучения в инфракрасном и терагерцовом диапазоне. Типы и принципы работы тепловизоров. Приборная реализация абсолютно черного тела.

Электронные устройства терагерцового излучения. Лазеры на свободных электронах, синхротронные ускорители: принципы работы и сравнительные параметры.

Регистрация частиц и радиоактивных излучений (ионизационные камеры, газоразрядные счетчики, пропорциональные счетчики, стримерные и искровые камеры, полупроводниковые детекторы, сцинтилляционные счетчики, пузырьковые камеры, черенковские счетчики, ядерные фотоэмульсии).

Шумы и помехи при измерении электрических, акустических и оптических величин. Фундаментальные пределы чувствительности.

Разрешающая способность оптических приборов. Критерий Релея. Высокоскоростная регистрация быстропротекающих процессов. ССD камеры.

Дозиметрические измерения и дозиметрические единицы; коэффициенты, учитывающие влияние радиации на живые организмы, эквивалентная доза.

Принцип действия электронного микроскопа, предельное разрешение. Понятие об электронно-лучевой томографии.

Тунельный и атомно-силовой микроскопы. Принцип действия, пространственное разрешение.

Магнито-оптические ловушки для ионов и нейтральных атомов. Методы лазерного охлаждения.

Счетчики единичных фотонов. Фотоумножители, лавинные фотодетекторы. Принцип действия.

Интерферометр Маха-Цандера. Интерференция световых пучков и единичных фотонов.

Методы получения низких температур. Криостат растворения. Магнитное охлаждение.

Методы получения высокого вакуума.

Тема 2. Измерения

Международная система единиц СИ. Определение основных единиц через фиксированные значения фундаментальных физических постоянных. Практическая реализация основных единиц системы СИ.

Прямые, косвенные, статистические и динамические измерения. Оценки погрешностей косвенных измерений. Условные измерения. Проблема корреляций и уравнивание условных измерений. Принципиальные ограничения на точность измерений (физические пределы).

Фундаментальные шумы в измерительных устройствах. Тепловой шум. Формула Найквиста. Флуктуационно-диссипативная теорема. Дробовой шум в электронных и оптических приборах. Шумы $1/f$.

Квантовые эффекты в физических измерениях. Условия, когда классический подход становится неприменим.

Соотношения неопределенности. Роль обратного флуктуационного влияния прибора. Стандартные квантовые пределы. Квантовые невозмущающие измерения.

Квантовые эталоны единиц физических величин (примеры). Эффект Джозефсона и сверхпроводящие квантовые интерферометры. Квантовый эффект Холла.

Квантовые перепутанные состояния. Генерация и свойства фотонных пар.

Тема 3. Критерии точности измерений

Случайные события. Понятие вероятности. Условные вероятности. Распределение вероятности. Плотность вероятности. Моменты.

Нормальное распределение и центральная предельная теорема. Специальные распределения вероятностей и их использование в физике. Биномиальное распределение, распределение Пуассона (дробовой шум).

Многомерные распределения вероятностей. Корреляции случайных величин.

Оценка параметров случайных величин. Выборочные средние и дисперсии. Выборочные распределения. t -распределение Стьюдента, χ^2 -распределение

Техника оценки параметров при разных распределениях погрешностей измерений. Средние и вероятные значения переменных. Суммирование результатов различных измерений. Параметрические и непараметрические оценки

Случайные процессы. Корреляционная функция случайного процесса. Стационарные случайные процессы. Эргодичность. Спектральная плотность. Теорема Винера-Хинчина.

Тема 4. Методы анализа физических измерений

Цифровая обработка сигнала. Цифровые фильтры.

Аналитическая аппроксимация результатов измерений. Интерполяция (линейная, квадратичная и т. п.).

Фурье-анализ. Дискретное преобразование Фурье. Быстрое преобразование Фурье. Анализ сигналов на основе вейвлет-преобразования, оконное преобразование Фурье-Габора.

Анализ изображений при панорамной регистрации физических полей.

Статистическая проверка гипотез. Критерии согласия и методы их использования. Критерий χ^2 , Смирнова-Колмогорова, Колмогорова.

Прямые и обратные задачи. Некорректные задачи. Обратные задачи при анализе результатов измерений и методы их решения.

Метод максимального правдоподобия и его применение. Метод наименьших квадратов.

Методы численного моделирования физических процессов. Метод конечных элементов.

Тема 5. Автоматизация эксперимента

Типовая структура автоматизированной системы экспериментальных исследований. Общие требования.

Преобразование аналоговых сигналов в цифровые и обратно.

Контроль процессов измерений в реальном времени. Физические ограничения быстродействия.

Программно-аппаратные среды для комплексного управления и обработки результатов физического эксперимента на примере LabView, MatLab или ПЛИС (по выбору).

III. Критерии оценивания

Критерии и показатели оценивания ответа на экзамене			
Неудовлетвори-тельно	Удовлетвори-тельно	Хорошо	Отлично
Фрагментарные знания в области приборов и методов экспериментально й физики	Неполные знания в области приборов и методов экспериментально й физики	Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания в области приборов и методов экспериментально й физики	Сформированные и систематические знания в области приборов и методов экспериментально й физики

IV. Рекомендуемая основная литература

1. Кунце Х.-И. Методы физических измерений.- Москва; Издательство «Мир» 1989.
2. Нефедов В. И., Сигов А.С., Битюков В. К., Хахин В. И. Метрология и радиоизмерения, Москва: Издательство "Высшая школа", 2006.
3. Худсон Д. Статистика для физиков.- Москва; Издательство «Мир» 1967
4. Боровков А.А. Математическая статистика. М.: 1984.
5. Бароне А., Патерио Д. Эффект Джозефсона: Физика и применения / Пер. с англ. М.: 1984.
6. Брагинский В. Б., Манукин А. Б. Измерение малых сил в физических экспериментах. — М.: Наука, 1974.
7. Воронцов Ю.И. Теория и методы макроскопических измерений. М.: Наука, 1989.
8. Вавилов В.П. Инфракрасная термография и тепловой контроль. ИД Спектр, Москва. 2009. 544 стр.
9. Госсорг Ж. Инфракрасная термография. Основы, техника, применение. Москва «Мир». 1988. 400 стр.
10. Пергамент М.И. Методы исследований в экспериментальной физике. Учебное пособие. ИД Интеллект. 2010. 304 стр.
11. Чжан Си-Чен, Шю Джингджю, Терагерцовая фотоника, перевод с английского под редакцией С.В.Гарнова и А.П.Шкуринова. Москва, Ижевск, 2016, 334 стр.

V. Рекомендуемая дополнительная литература

1. Риле Ф. Стандарты частоты. Принципы и приложения / Пер. с англ. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. – 512 с.
2. Клаассен К.Б. Основы измерений. Электронные методы и приборы в измерительной технике. – М.: Постмаркет, 2002. -352 с.
3. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов: учеб. Пособие. – 3-е изд. – СПб.:БХВ-Петербург, 2011. – 768 с.
4. Харт Х. Введение в измерительную технику. М. Мир, 1999.