

01.04.01 "Приборы и методы экспериментальной физики"

по техническим и физико-математическим наукам (базовый уровень)

Введение

В основу данной программы положены следующие дисциплины: методы измерения основных физических величин, основы метрологии, методы анализа физических измерений, моделирование физических процессов, автоматизация эксперимента.

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. Стандарты частоты.

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

Методы измерения термодинамических величин.

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

Электромагнитные измерения (способы регистрации радиоизлучения, методы регистрации в оптическом диапазоне: фотодиоды, фотоумножители, черенковские детекторы).

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.

Дифференциальные, интерферометрические и другие методы измерений.

Нанотехнологии в измерительной технике.

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

2. Измерения

Системы единиц. Единая система единиц (СИ). Универсальные постоянные и естественные системы единиц. Производные единицы и стандарты.

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).

Методы измерений физических величин в исследуемой области физики*.

Основные принципы построения приборов для измерений физических величин в заданной области физики*.

Фундаментальные шумы в измерительных устройствах Тепловой шум. Формула Найквиста. Теорема Каллена-Вельтона. 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.

3. Критерии точности измерений

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

* Разделы, помеченные звездочкой (*), детализируются в соответствии с темой диссертации.

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

Многомерные распределения вероятностей. Корреляции случайных величин.

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

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

Определение средних значений измеряемых параметров и их погрешностей в прямых и косвенных измерениях.

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

4. Методы анализа физических измерений

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

Фурье-анализ. Дискретное преобразование Фурье. Быстрое преобразование Фурье. Вэйвлетный анализ.

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.

5. Моделирование физических процессов

Аналитическое описание физических процессов.

Планирование эксперимента, выбор метода и технических средств, методы оценки ожидаемых результатов и их погрешностей.

Метод статистических испытаний, методика его применения.

Использование моделей физических процессов*.

Учет влияния прибора на результаты измерений. Моделирование с учетом особенностей используемых детекторов.

6. Автоматизация эксперимента

Создание комплексных установок. Общие требования. Обработка информации "в линию" (on-line).

Способы преобразования измерений для передачи на значительные расстояния.

Контроль процессов измерений в реальном времени.

Способы вывода информации в реальном времени. Накопление экспериментальных данных, создание банков данных.

Литература

1. Большев Л.Н., Смирнов Н.В. Таблицы математической статистики. М.: 1983.
2. Кендал М., Стюарт А. Статистические выводы и связи / Пер. с англ. М.: Мир, 1976.
3. Боровков А.А. Математическая статистика. М.: 1984.
4. Бароне А., Патерио Д. Эффект Джозефсона: Физика и применения / Пер. с англ. М.: 1984.
5. Физическая энциклопедия. Т. 1-5. М.: Сов. энциклопедия, 1988-1998.
6. Брагинский В.Б. Физические эксперименты с пробными телами. М.: Наука, 1970.
7. Воронцов Ю.И. Теория и методы макроскопических измерений. М.: Наука, 1989.