

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ			
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение			
высшего образования			
«Московский физико-технический институт (государственный университет)»			
МФТИ			
«УТВЕРЖДАЮ»			
Проректор по учебной и методической работе			
Зубцов Д.А.			
« » _____ 20 г.			
Рабочая программа дисциплины (модуля)			
по дисциплине:	Методы экспериментальной физики		
по направлению:	03.03.01 - Прикладные математика и физика (бакалавриат)		
профиль подготовки/ магистерская программа	Современные проблемы физики и энергетики		
факультет:	проблем физики и энергетики		
кафедра:	прикладной физики		
курс:	3		
квалификация:	бакалавр		
Программу составил:	Пергамент М. И., доктор физико-математических наук, профессор		
Программа обсуждена на заседании кафедры			
СОГЛАСОВАНО:			
Заведующий кафедрой		Леонов А.Г.	
Декан факультета проблем физики и энергетики		Леонов А.Г.	
Начальник учебного управления			

ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ

Целью дисциплины «Методы экспериментальной физики» является формирование базовых знаний по физическим основам методов экспериментальной физики.

СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Семестр: 5 (осенний)

1 Введение.

Основные понятия, используемый математический аппарат. Методы исследований в экспериментальной физике. Способы измерения и регистрации. Требования к достоверности экспериментальных данных и содержащейся в них информации. Косвенные данные, интерпретация, понятие модели. Случайная величина и случайная функция. Функции распределения и плотность вероятности. Экспериментальные методы оценок математического ожидания и дисперсии.

2 Основные свойства измерительно-регистрирующих систем. Воздействие и отклик в линейных системах. Аппаратная функция и связь входного и выходного сигналов.

Линейные измерительно-регистрирующие системы, их важнейшие свойства. Стандартные сигналы, используемые для исследования линейных систем, их математические аналоги. Границы применимости. Воздействие и отклик в линейных системах. Аппаратная функция и связь входного и выходного сигналов. Запись уравнения свертки для временных и пространственных сигналов.

3. Основные свойства измерительно-регистрирующих систем. Коэффициент передачи, амплитудно-частотная и фазово-частотная характеристики. Связь входного и выходного сигналов в фурье-пространстве.

Фурье-образ функции. Обратное преобразование Фурье (восстановление). Коэффициент передачи, амплитудно-частотная и фазово-частотная характеристики, методы их измерения. Связь входного и выходного сигналов в фурье-пространстве. Неустойчивость решения при восстановлении входного сигнала по выходному. Особенности решения уравнений этого типа. Аппаратная функция и коэффициент передачи. Условие $\Delta t \times \Delta f \approx 1$, границы применимости моделей аппаратной функции.

4. Основные свойства измерительно-регистрирующих систем. Особенности линейных систем с ограниченной полосой пропускания.

Линейные системы, не искажающие форму сигнала, "запаздывание". Особенности коэффициента передачи для четных вещественных функций. Коэффициент передачи в оптике. Функции ограниченные по частоте и во времени (пространстве). Теорема Котельникова. Дискретизация. Сумматорная форма записи Фурье преобразований.

5. Основные свойства измерительно-регистрирующих систем. Теория информации в методах экспериментальной физики.

Основные понятия теории информации. Сигналы и шумы, их статистические и спектральные свойства. Методы измерения статистических и спектральных характеристик шумов. Скорость передачи информации по радиотехническим и оптическим каналам. Коэффициент потери мощности по К. Шеннону. Пропускная способность канала передачи информации.

6. Основные свойства измерительно-регистрирующих систем. Методы измерения параметров измерительно-регистрирующих систем.

Методы измерения параметров измерительно-регистрирующих систем. Методы измерения переходных характеристик и коэффициентов передачи в радиотехнических

устройствах. Методы измерения аппаратной функции и частотно-контрастной характеристики в оптических приборах. Методы измерения статистических и спектральных характеристик шумов.

7. Исследование импульсных процессов. Методы измерения быстропротекающих процессов.

Методы измерения временных интервалов. Методы измерения формы и длительности импульсов фемтосекундного диапазона. Корреляционные методы измерения длительности импульсов в фемтосекундном временном диапазоне. Измерительная схема FROG. Измерительная схема SPIDER. Аналого-цифровые преобразователи, в т.ч. параллельные АЦП, последовательно-параллельные АЦП, АЦП последовательного счета, АЦП многотактного интегрирования. Цифро-аналоговые преобразователи (ЦАП), в т.ч. ЦАП с суммированием напряжений, ЦАП с суммированием весовых токов. Измерения импульсных токов, напряжений и потоков энергии, калориметры. Способы борьбы с наводками в импульсных системах.

8. Фотографические методы исследования и скоростная фоторегистрация.

Скоростные методы оптико-механической регистрации: фоторегистраторы и кадровые камеры. Электронно-оптические преобразователи. Фотокатоды электронно-оптических преобразователей - спектральная чувствительность, функция распределения фотоэлектронов по скоростям, точность амплитудных измерений. Разброс времени пролета и временное разрешение, формула Арцимовича.

Электронно-оптические камеры - пространственное разрешение, аппаратная функция, частотно-контрастная характеристика, плотность потока передаваемой информации. МОП-структура, ПЗС и КМОП матрицы, ПЗС и КМОП камеры: устройство и возможности. Пространственное разрешение, аппаратная функция, частотно-контрастная характеристика и информационная емкость ПЗС и КМОП камер.

Сенситометрические свойства фотослоев: почернение, характеристическая кривая, светочувствительность, спектральная чувствительность, невзаимозаменяемость. Зернистость фотослоя и оценка точности зарегистрированного изображения. Аппаратная функция, коэффициент передачи (частотно-контрастная функция) и информационная емкость фотослоя. Фотодиоды и фотоумножители, их конструкции, особенности применения. Регистраторы использующие электрооптические эффекты, реализующие кадровые режимы и режимы фоторегистрации. Методы измерений параметров фоторегистрирующих систем.

9. Методы Фурье-оптики и Фурье-спектроскопии. Основные принципы Фурье-оптики.

Предмет Фурье-оптики – основные принципы. Дифракция света на транспарантах, роль линзы в Фурье-оптике. Получение Фурье-спектров изображений. Фильтрация в Фурье-плоскости и оптическая обработка информации, опыт Аббе. Фильтры и оптические методы решения уравнения типа свертки. Частотный анализ оптических систем. Фурье-анализ и интерферометрия; вычисление спектров по интерферограммам. Фурье-спектрометры - основные соотношения, аппаратная реализация, области применения, преимущества и недостатки.

10. Интерферометрия и теневые методы.

Устройство интерферометров, основные уравнения, описывающие распределение интенсивности в интерференционной картине; неоднородность освещения, погрешности оптики. Интерферометрические исследования осесимметричных объектов. Уравнение Абеля. Конструкции интерферометров и методы их юстировки. Оптические схемы теневых методов и основные соотношения. Источники света для интерферометрических и теневых измерений и требования к ним.

11. Голографические методы измерения.

Фотослой в голографии. Оптическая голография, образование голограмм и восстановление волновых фронтов. Основные уравнения голографии. Схемы восстановления в голографии. Операции в схеме восстановления - получение голографических интерферограмм, фильтрация при восстановлении, метод двойных экспозиций. Соотношение сигнал/шум в голографической

интерферометрии - дифракционная эффективность, чувствительность и шумы. Применение голографии в физических исследованиях и для кодирования и хранения информации.

Семестр: 6(весенний)

12. Зондирование электромагнитными волнами.

Распространение электромагнитных волн в конденсированных средах, газах и плазме. Диэлектрическая постоянная, ее особенности, дисперсионное соотношение. Поляризация и двулучепреломление. Область использования оптической и микроволновой интерферометрии. Аппаратурная реализация.

Рассеяние света на флуктуациях плотности в конденсированных средах, газах и плазме. Полное сечение рассеяния. Томсоновское и релеевское рассеяние, резонансная флуоресценция. Бриллюэновское рассеяние, стоковые компоненты. Уравнения сохранения энергии и импульса при рассеянии.

Рассеяние света на движущихся электронах, уширение спектра рассеянного излучения при максвелловском распределении электронов по скоростям. Рамановское рассеяние, коллективные явления в плазме и комбинационные частоты. Использование явлений рассеяния в методах измерений. Требования к источникам света.

13. Рентгеновские измерения.

Спектральная область и характерные особенности излучения, линейчатый и непрерывный спектры. Источники рентгеновского излучения.

Детекторы: открытые ФЭУ, сцинтилляторы, газовые счетчики, каналовые детекторы, полупроводниковые детекторы, ЭОПы. Методы измерения спектрального состава рентгеновского излучения при детектировании. Фильтры и методы поглотителей.

Спектрометры и монохроматоры с решетками и кристаллами. Оптика рентгеновских изображений: камеры-обскуры и объективы с отражательной оптикой. Метод кодирующих апертур. Стандарты излучения и калибровка в рентгеновском диапазоне.

14. Корпускулярные методы измерения.

Масс-анализ в электрических и магнитных полях. Анализ заряженных и нейтральных частиц. Детекторы корпускулярного излучения, эффективность регистрации. Схемы анализаторов. Пролетный масс-спектрограф, основные соотношения, разрешение, чувствительность.

Многоканальные магнитные анализаторы. Масс-спектрограф Томсона, методы регистрации парабол. Активные корпускулярные методы: "просвечивание", рассеяние, комбинированные методы.

15. Методы обработки результатов измерений.

Понятие модели, класс модели. Интерпретация наблюдений. Методы сопоставления модели с экспериментальными данными. Косвенный характер экспериментальных данных и обратные задачи, восстановление исходных сигналов. Некорректно поставленные задачи, неустойчивость по Адомару и подход Тихонова. Регуляризация. Типы обратных задач.

Первичная обработка экспериментальных данных. Методы усреднения экспериментальных данных. Фильтрация: локальные фильтры, винеровская фильтрация. Погрешности усреднения, возникающие при винеровской фильтрации и использовании локальных фильтров. Решение обратных задач методом подбора, кусочно-полиномиальная аппроксимация исходных сигналов (аппроксимация сплайнами).

Погрешности восстановленных сигналов. Проблемы точности, верхняя и нижняя границы ошибок эксперимента. Учет априорных данных и информационных оценок при выборе коэффициента регуляризации и определении нижней границы возможной ошибки. Квазиреальные эксперименты – методы, цели, решаемые задачи.

Основная литература

Пергамент М. И. Методы исследований в экспериментальной физике, Москва, Интеллект, (2010).

Дополнительная литература

1. M. I. Pergament, Methods of Experimental Physics, CRC Press 2014.
2. Физика быстропротекающих процессов, "Мир", М, 1971.
3. А.А.Харькевич, Теоретические основы радиосвязи, Гостехтеориздат", М, 1957.
4. М.И.Пергамент, Методы исследования нестационарных потоков плазмы, в кн. Физика и применение плазменных ускорителей, "Наука и техника", Минск 1974.
5. С.Голдман, Теория информации, "ИЛ", М, 1957.
6. Г.С.Ландеберг, Оптика, "Наука", 1976.
7. М.Борн, Э.Вольф, Основы оптики, "Наука", 1970.
8. Р.Кольер, К.Беркхарт, Л.Линь, Оптическая голография, "Мир", М, 1973.
9. Дж.Гудмен, Введение в фурье-оптику, "Мир", М, 1970.
10. Р.Дж.Белл, Введение в фурье-спектроскопию, "Мир", М, 1975.
11. А.Н.Зайдель, Г.В.Островская, Ю.И.Островский, Техника и практика спектроскопии, "Наука", М, 1972.
12. Диагностика плазмы, "Мир", М, 1967.
13. Методы исследования плазмы, М, 1971.
14. Л.Н.Пятницкий, Лазерная диагностика плазмы, "Атомиздат", 1976.
15. Э.В.Шпольский, Атомная физика, "Физматиз", М, 1963.
15. Б.Л.Вен дер Варден, Математическая статистика, "ИЛ", М, 1967.
17. Ю.А.Розанов, Случайные процессы, "Наука", М, 1971.
18. А.Н.Тихонов, В.Я.Арсенин, Методы решения некорректных задач, "Наука", М, 1974.
19. М.И.Пергамент, Информационные аспекты получения и обработки оптической и спектральной информации, Энциклопедии низкотемпературной плазмы, т. II стр. 424-442 - Наука (2000).

ПЕРЕЧЕНЬ ТИПОВЫХ КОНТРОЛЬНЫХ ВОПРОСОВ

Аттестация по дисциплине «Методы экспериментальной физики» проводится в устной форме.

Перечень контрольных вопросов:

1. Воздействие и отклик в линейных системах. Аппаратная функция и связь входного и выходного сигналов.
2. Коэффициент передачи, амплитудно-частотная и фазово-частотная характеристики, методы их измерения.
3. Связь входного и выходного сигналов в фурье-пространстве. Неустойчивость решения при восстановлении входного сигнала по выходному.
4. Условие $\Delta t \times \Delta \omega \approx 2\pi$, границы применимости моделей аппаратной функции.
5. Особенности коэффициента передачи для четных вещественных аппаратных функций. Коэффициент передачи в оптике.
6. Теорема Котельникова. Дискретизация.
7. Коэффициент потери мощности по К. Шеннону.
8. Сигналы и шумы, их статистические и спектральные свойства.
9. Параллельные и последовательно-параллельные аналого-цифровые преобразователи.
10. Измерительная схема FROG.
11. Устройство электронно-оптических преобразователей.

12. Разброс времени пролета и временное разрешение электронно-оптических преобразователей; формула Арцимовича
13. ПЗС и КМОП-матрицы и камеры: устройство, сравнение КМОП и ПЗС-приборов.
14. Сенситометрические свойства фотослоев: почернение, характеристическая кривая, светочувствительность, спектральная чувствительность, невзаимозаменяемость.
15. Фурье-спектры изображений. Фильтрация в Фурье-плоскости, опыт Аббе.
16. Фурье-спектрометры – основные соотношения, аппаратная реализация.
17. Уравнения, описывающие распределение интенсивности в интерференционной картине.
18. Интерферометр Фабри-Перо – физические принципы, основные соотношения.
19. Образование голограмм и восстановление волновых фронтов.
20. Томсоновское и релеевское рассеяние, резонансная флуоресценция, сечения рассеяния.
21. Рассеяние света на движущихся электронах.
22. Физические процессы в газовых счетчиках – ионизационные камеры, пропорциональные счетчики, счетчики Гейгера.
23. Методы измерения спектрального состава рентгеновского излучения при детектировании.
24. Метод кодирующих апертур.
25. Магнитные анализаторы – основные соотношения, фокусировка, разрешение..
26. Пролетный масс-спектрограф, основные соотношения, разрешение, чувствительность.
27. Методы сопоставления модели с экспериментальными данными, критерии сопоставления.
28. Выбор класса модели при информационном подходе, оценка ошибки снизу.
29. Равенство Парсеваля и соотношение между случайной и систематической погрешностями.
30. Некорректно поставленные задачи, неустойчивость их решения по Адомару и подход Тихонова.
31. Принципы фильтрации: усреднение, локальные и винеровские фильтры.
32. Погрешности экспериментальных данных и их влияние на точность восстановления.
33. Информационные методы оценок ошибок восстановления исходных сигналов.
34. Квазиреальные эксперименты – методы, цели, решаемые задачи.