

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова
Филиал Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова
в городе Сарове

«УТВЕРЖДАЮ»



Директор филиала МГУ в г.Сарове
Член-корреспондент РАН В.В. Воеводин

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Наименование дисциплины:

СПЕЦИАЛЬНЫЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ПРАКТИКУМ Ч.1

Уровень высшего образования:

Магистратура

Направление подготовки:

03.04.02 Физика

Направленность (профиль) ОПОП:

Общий профиль

Квалификация «Магистр»

Форма обучения: Очная

Саров 2021 г.

Рабочая программа дисциплины разработана в соответствии с самостоятельно установленным МГУ образовательным стандартом (ОС МГУ) для реализуемых основных профессиональных образовательных программ высшего образования по направлению подготовки 03.04.02 Физика в редакции приказа по МГУ от 30 декабря 2020 г. №1366.

Авторы–составители:

К.ф.-м.н., доцент Руденко Константин Валентинович, кафедра общей физики и волновых процессов физического факультета МГУ

Аннотация к рабочей программе дисциплины «Специальный физический практикум Ч.1»

В курсе рассматриваются проблемы, возникающие при регистрации сигналов и сборе экспериментальных данных в лазерных экспериментах. Предлагаются разные варианты их решения.

Слушатели знакомятся с особенностями измерения энергетических, спектральных, поляризационных и иных характеристик лазерного излучения. Описаны основные типы фотоприемников, физические принципы и режимы их работы, важнейшие характеристики. Рассматривается работа фотоприемников в составе современных цифровых автоматизированных системы регистрации сигналов, подробно разбирается работа АЦП и ЦАП.

Описываются основные источники шумов, соответствующие им распределения вероятности и спектры. Характеризуются систематические и случайные ошибки, рассматриваются методы повышения точности измерений, излагаются основы статистической обработки результатов эксперимента, методы увеличения отношения «сигнал/шум».

Особое внимание уделено различным приложениям преобразования Фурье, технические вопросы применения дискретного преобразования Фурье, методы периодограмм, коррелограмм, усреднение по спектру. Рассматриваются базовые примеры применения спектрального и корреляционного анализа. В заключении слушатели знакомятся с элементами цифровой фильтрации данных и обработки изображений.

1. Место дисциплины в структуре ОПОП ВО

Дисциплина «Специальный физический практикум Ч.1» реализуется на 1-ом курсе в 1-ом семестре и относится к вариативной части программы обучения.

В результате освоения дисциплины «Специальный физический практикум Ч.1» обучающийся кроме знаний предмета получает навыки применения ранее полученных знаний для решения новых научных и практических задач.

2. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия

Освоение дисциплин «Электромагнетизм», «Электродинамика», «Оптика», «Математический анализ», «Квантовая механика», «Дифференциальные уравнения», «Теория колебаний», «Теория волн».

3. Результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с формируемыми компетенциями

В результате освоения дисциплины у обучающихся должны быть сформированы:

| Формируемые компетенции (код компетенции) | Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю) |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none">Способность использовать знания современных проблем и новейших достижений в области экстремальных электромагнитных полей, релятивистской плазмы и аттосекундной физики в своей научно-исследовательской деятельности (СПК-1). | <p>ЗНАТЬ основные законы и направления современных научных исследований в области экстремальных электромагнитных полей, релятивистской плазмы и аттосекундной физики.</p> <p>УМЕТЬ на основе фундаментальных знаний в области экстремальных электромагнитных полей, релятивистской плазмы и аттосекундной физики, определять возможные направления научных исследований.</p> <p>ВЛАДЕТЬ необходимой информацией из современных отечественных и зарубежных источников по тематике избранного направления исследования области экстремальных электромагнитных полей, релятивистской плазмы и аттосекундной физики.</p> |
| <ul style="list-style-type: none">Способность организовать и планировать физические исследования, ставить конкретные задачи научных исследований в области экстремальных электромагнитных полей, релятивистской плазмы и аттосекундной физики и решать их с помощью современной аппаратуры, оборудования и информационных технологий (СПК-2). | <p>ЗНАТЬ базовые принципы организации научных исследований с использованием информационных технологий, основные методики работы на современном научном оборудовании в области экстремальных электромагнитных полей, релятивистской плазмы и аттосекундной физики.</p> <p>УМЕТЬ используя знания в области экстремальных электромагнитных полей, релятивистской плазмы и аттосекундной физики проводить научные исследования.</p> <p>ВЛАДЕТЬ навыками планирования научного исследования, анализа получаемых результатов, обобщения, оформления и публичного представления полученных результатов.</p> |
| <ul style="list-style-type: none">Способность определять основные направления внедрения научных результатов в области экстремальных электромагнитных полей, релятивистской плазмы и аттосекундной физики (СПК-3). | <p>ЗНАТЬ основные направления инновационного развития в области экстремальных электромагнитных полей, релятивистской плазмы и аттосекундной физики.</p> <p>УМЕТЬ проводить необходимый анализ современных тенденций научных инноваций в области экстремальных электромагнитных полей, релятивистской плазмы и аттосекундной физики для подготовки предложений по внедрению полученных научных результатов.</p> <p>ВЛАДЕТЬ методами обоснования возможного применения полученных научных</p> |

4. **Форма обучения:** очная

5. **Язык обучения:** русский

6. **Содержание дисциплины:**

Тема 1. Измерения и лазерная физика

Введение. Специфика регистрации оптических сигналов. Энергия, интенсивность, мощность. Непрямые измерения. Элементы физики полупроводников - зонная структура, легирование, фотоэлектрические явления в полупроводниках. Электровакуумные приборы. Элементы радиофизики — методы описания линейных цепей, переходная, импульсная, спектральная характеристики. Фотоприемник как комплекс из преобразователя, усилителя и системы регистрации. Величина и дисперсия полезного сигнала в нелинейной оптике.

Тема 2. Фотоприемники

Функциональное назначение фотоприемника. Измерение энергетических, спектральных, поляризационных и других характеристик лазерного излучения. Аппаратная функция фотоприемника и его «разрешающая способность»: «локальные» и «интегральные» измерения. Чувствительность, линейность. Основные типы фотоприемников, принципы их работы и характеристики: фотосопротивления, болометры, фотоэлементы, фотоэлектронные умножители (ФЭУ), микроканальные ФЭУ, электронно-оптические преобразователи (ЭОПы), фотодиоды, CCD (ПЗС) линейки и матрицы, CMOS сенсоры. Режимы работы.

Тема 3. Шумы и случайные процессы

Шумы и случайные процессы в радиофизике и лазерной физике. Статистика случайных переменных, генерирующие (образующие) функции и статистические моменты высокого порядка. Распределения Гаусса и Пуассона. Систематические и случайные ошибки при измерениях. Долговременная и кратковременная стабильность лазерных параметров. Модели, используемые для описания амплитудных и фазовых шумов. Центральная предельная теорема. Распределения вероятности для случайных функций. Статистика фотоотчетов. Основные источники шумов и их спектр. Отношение «сигнал/шум», вероятности «обнаружения» и «ложной тревоги» при детектировании слабого входного сигнала.

Тема 4 Статистическая обработка результатов эксперимента

Статистические свойства случайной выборки. Неравенство Чебышева и доверительный интервал. Статистическая обработка данных для уменьшения дисперсии. Распределение хи-квадрат и доверительный интервал. Принцип максимального правдоподобия, усреднение и сглаживание результатов измерений. Аппроксимация (интерполяция и экстраполяция) полученных данных. Аппроксимирующие функции и алгоритмы, метод наименьших квадратов. Использование стандартных программных продуктов.

Тема 5. Повышение точности измерений. Методы детектирования

Методы повышения точности измерений и снижения уровня шумов фотоприемников. Спектральная, пространственная и поляризационная фильтрация входного излучения, дискриминация уровня, дифференциальные схемы в лазерных измерениях. Фотодетекторы в режиме счета фотонов, счет фотонов с временным разрешением, стробирование.

Гомодинные, гетеродинные и корреляционные схемы измерений в лазерном эксперименте. Синхронное детектирование сигналов (синхронные усилители).

Тема 6. Цифровая информация, автоматизация эксперимента

Общая схема платы сбора данных: одновременный сбор данных и управление экспериментальной установкой. Мультиплексирование, усиление, АЦП/ЦАП. Процедура оцифровки аналогового сигнала. Теорема Котельникова-Шеннона. Основные параметры систем сбора данных: частота дискретизации, полоса пропускания, фильтры, битность, диапазоны входных значений и усиления. Буферизованный ввод/вывод данных. Ошибки и шумы АЦП. Основные виды АЦП (последовательные, параллельные, сигма-дельта) — их устройство, преимущества и недостатки, области применения. ЦАП как устройство управления внешними системами и генератор сигналов.

Тема 7. Преобразование Фурье

Интеграл Фурье. Свойства преобразования Фурье. Аналитический сигнал. Теорема о свертке. Анализ линейных систем. Временное окно, эффект «утечки» разрешение по спектру. Осцилляции Гибса. Теорема Парсевала. Спектральная плотность мощности. Ряды Фурье. Дискретное преобразование Фурье (ДПФ). Интерполяционная формула Котельникова-Шеннона во временной и частотной области. Единый подход к алгоритмам БПФ. Применение алгоритмов БПФ для анализа линейных систем. Вычисление реакции на сигнал конечной и произвольной длительности. Вычисление автокорреляции и взаимной корреляции.

Тема 8. Спектральный и корреляционный анализ

Вероятностные свойства оценок соответствующих выборочному спектру. Методы периодограмм и коррелограмм. Основные этапы методов. Временные и спектральные окна. Нормировка окон. Окна, используемые в методе коррелограмм и периодограмм. Характеристики спектральных окон. Примеры временных и спектральных окон. Спектральное разрешение и устойчивость. Определение и свойства корреляционной функции. Теорема Винера-Хинчина. Преобразование корреляционных функций и СПМ линейными системами. Выборочные корреляционные функции (КФ) и характеристики оценок КФ. Смещение оценки корреляционной функции. Дисперсия оценки корреляционной функции.

Тема 9. Цифровые фильтры. Обработка изображений.

Основные характеристики и типы цифровых фильтров (КИХ, БИХ). Методы расчета и свойства КИХ и БИХ фильтров. Сравнение фильтров. Двумерные цифровые фильтры. Двумерное преобразование Фурье. Двумерная теорема выборки. Дискретная обработка изображений. Косинусное преобразование и его современное применение. Дискретное косинусное преобразование.

Тема 10. Спектральный и корреляционный анализ

Изучаются спектральные и корреляционные методики получения оценок спектральной плотности мощности и корреляционной функции случайных сигналов. Исследуются состоятельность оценок, определяются их смещения и дисперсии, проводятся сравнения оценок, полученных разными методами. Рассматриваются алгоритмы выделения сигнала на фоне шума. Все упражнения выполняются на базе моделируемых сигналов и шумов с различными параметрами. Проводится оптимизация режимов в процессе выполнения работы.

Тема 11. Детектирование оптического излучения фотодиодом

Изучаются на основные характеристики системы регистрации оптического излучения, построенной на базе фотодиода. Рассматриваются шумовые и передаточные характеристики системы регистрации в различных режимах работы. Исследуются спектр шума 1/F. Применяются методы повышения отношения сигнал шум: спектральная фильтрация, стробирование, гетеродинирование, синхронное детектирование.

Тема 12. Лазерный доплеровский анемометр

В работе слушатели знакомятся с основными принципами лазерной доплеровской анемометрии на примере измерения скорости вращения светорассеивающего диска. Особое внимание уделяется необходимости наличия компьютерной автоматизированной системы регистрации и обработки экспериментальной информации для решения задачи. Этот пример дает возможность убедиться на практике в те возможности, которые представляют современные системы автоматизация научных исследований.

Тема 13. Фурье-оптика и методы цифровой обработки изображений

В работе изучаются основные принципы формирования изображений в линейных оптических системах. Рассматриваются Фурье преобразования изображения при дифракции Френеля и Фраунгофера, а также при использовании линзы. Слушатели знакомятся с кросскорреляционной обработкой изображений, эффектом Тальбо, а также получают Фурье спектры различных решеток и диафрагм.

Тема 14. ФЭУ, фотодиод, пироприемник

В рамках выполнения работы рассматриваются и сравниваются временные и спектральные характеристики различных фотодетекторов. Слушатели могут оценить линейность, предельные чувствительности и динамический диапазон фотоприемников, построенных на разных типах датчиков. В работе также уделяется внимание и необходимым параметрам систем, обеспечивающих работу фотодатчиков в нужных режимах, а также параметрам схем усиления и оцифровки сигналов с фотодатчиков.

7. Объем дисциплины

| НАЗВАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ | Трудоёмкость в зачетных единицах | объем учебной нагрузки в ак. часах | | | | | Самостоя тельная работа студентов |
|---|--|------------------------------------|--|-----------------------|----|----|--|
| | | Общая трудоёмко сть | в том числе ауд. занятий | | | | |
| | | | ауд. ито рна я наг руз. Лек ций | Се мин аро в | | | |
| Специальный физический практикум Ч.1 | 3 | 108 | 72 | 18 | 54 | 36 | |

8. Структурированное по темам (разделам) содержание дисциплины (модуля) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий

Изучение курса «Специальный физический практикум Ч.1» включает в себя лекции, на которых рассматривается теоретическое содержание курса, обсуждение вопросов, обозначенных в темах дисциплины; самостоятельную работу, заключающуюся в подготовке

к лекционным занятиям, выполнения домашних заданий. По вопросам, вызывающим затруднения, проводятся консультации.

| № темы | Наименование раздела дисциплины | Виды учебной нагрузки и их трудоемкость, часы | | | | | Форма текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации |
|---------------|--|---|-----------|-----------------------------|-----------|------------------------|---|
| | | Всего часов | Лекции | Научно-практические занятия | Семинары | Самостоятельная работа | |
| 1 | Измерения и лазерная физика | 4 | 2 | | - | 2 | Собеседование, опрос |
| 2 | Фотоприемники | 4 | 2 | - | - | 2 | |
| 3 | Шумы и случайные процессы | 4 | 2 | | - | 2 | |
| 4 | Статистическая обработка результатов эксперимента | 6 | 2 | - | 2 | 2 | |
| 5 | Повышение точности измерений. Методы детектирования | 6 | 2 | | 2 | 2 | |
| 6 | Цифровая информация, автоматизация эксперимента | 6 | 2 | | 2 | 3 | |
| 7 | Преобразование Фурье | 7 | 2 | | 2 | 3 | |
| 8 | Спектральный и корреляционный анализ | 7 | 2 | | 2 | 3 | |
| 9 | Цифровые фильтры. Обработка изображений | 6 | 2 | | 2 | 2 | |
| 10 | Спектральный и корреляционный анализ | 10 | | | 8 | 2 | Собеседование, опрос |
| 11 | Детектирование оптического излучения фотодиодом | 10 | | | 8 | 2 | |
| 12 | Лазерный доплеровский анемометр | 10 | | | 8 | 2 | |
| 13 | Фурье-оптика и методы цифровой обработки изображений | 10 | | | 8 | 2 | |
| 14 | ФЭУ, фотодиод, пироприемник | 10 | | | 8 | 2 | |
| | Промежуточная аттестация | 4 | | | | 4 | |
| ИТОГО: | | 108 | 18 | - | 54 | 36 | |

9. Текущий контроль и промежуточная аттестация.

Текущий контроль по дисциплине «Специальный физический практикум Ч.1» осуществляется на лекциях и заключается в оценке активности слушателей, качества ответов на вопросы лектора, аргументированности позиции студента, оценивается широта используемых им теоретических знаний. В семестре в конце некоторых лекций проводятся несколько коротких контрольных работ (10 – 15 минут).

Промежуточная аттестация по дисциплине «Специальный физический практикум Ч.1» проводится в форме зачета.

10. Фонд оценочных средств (ФОС) для оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю).

Требования к структуре и содержанию фонда оценочных средств текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине

Перечень оценочных средств, применяемых на каждом этапе проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине, представлены в таблице

| Наименование оценочного средства | Краткая характеристика оценочного средства | Представление оценочного средства в фонде |
|--|---|---|
| Оценочные средства текущего контроля | | |
| Тематический опрос (в форме ответов на вопросы) | Средство контроля, организованное как короткий письменный ответ на поставленный вопрос по тематике предыдущей или текущей лекции, рассчитанное на выяснение объема и качества знаний, усвоенных обучающимися по определенному разделу, теме, проблеме. | Перечень тем, изучаемых в рамках дисциплины |
| Собеседование (в форме беседы, дискуссии по теме) | Средство контроля, организованное как свободная беседа, дискуссия по тематике изучаемой дисциплины, рассчитанное на выяснение объема знаний обучающегося по всем изученным разделам, темам; свободного использования терминологии для аргументированного выражения собственной позиции. | Перечень тем, изучаемых в рамках дисциплины |
| Оценочные средства промежуточной аттестации | | |
| Короткая письменная работа | Средство, позволяющее оценить сформированность систематических представлений о методах научно-исследовательской деятельности. | Перечень вопросов к зачету |

11. Шкала оценивания.

| Планируемые результаты обучения | Критерии оценивания результатов обучения | | | |
|---------------------------------|--|----------------------|-----------------|---------------------------|
| | 2 | 3 | 4 | 5 |
| ЗНАТЬ: физические | Отсутствие знаний о физических | В целом успешные, но | В целом успешно | Успешные и систематически |

| | | | | |
|--|--|---|--|--|
| <p>принципы работы детекторов излучения, методы регистрации и обработки данных</p> <p>ОПК-3.Б 3-6</p> | <p>принципах работы детекторов излучения и методов регистрации и обработки данных</p> | <p>не систематически е знания физических принципов работы детекторов излучения и методов регистрации и обработки данных</p> | <p>е, но содержащее отдельные пробелы знания физических принципов работы детекторов излучения и методов регистрации и обработки данных</p> | <p>е знания физических принципов работы детекторов излучения и методов регистрации и обработки данных</p> |
| <p>УМЕТЬ: пользоваться современными программными и аппаратными средствами современных экспериментальных установок</p> <p>ОПК-3.Б У-6</p> | <p>Отсутствие умения пользоваться современными программными и аппаратными средствами современных экспериментальных установок</p> | <p>В целом успешное, но не систематическое умение пользоваться современными программными и аппаратными средствами современных экспериментальных установок</p> | <p>В целом успешно е, но содержащее отдельные пробелы умение пользоваться современными программными и аппаратными средствами современных экспериментальных установок</p> | <p>Успешное и систематическое умение пользоваться современными программными и аппаратными средствами современных экспериментальных установок</p> |
| <p>ВЛАДЕТЬ: методами управления экспериментальными установками для детектирования и обработки полезного сигнала</p> <p>ОПК-3.Б В-6</p> | <p>Отсутствие/фрагментарное владение методами управления экспериментальными установками для детектирования и обработки полезного сигнала</p> | <p>В целом успешное, но не систематическое владение методами управления экспериментальными установками для детектирования и обработки полезного сигнала</p> | <p>В целом успешно е, но содержащее отдельные пробелы методами управления экспериментальными установками для детектирования и обработки полезного сигнала</p> | <p>Успешное и систематическое владение методами управления экспериментальными установками для детектирования и обработки полезного сигнала</p> |

12. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения текущего контроля успеваемости.

Материалы текущего контроля успеваемости обучающихся:

Пример:

1. Перечислите известные вам типы фотоприемников. Укажите их временные и спектральные характеристики.
2. Как измерить аппаратную функцию фотоприемника. Связь АЧХ, ФЧХ и импульсного отклика.
3. Перечислите основные источники шумов и укажите их относительную спектральную плотность.
4. Неравенство Чебышева, доверительный интервал при неизвестной статистике данных.
5. Перечислите известные методы улучшения соотношения «сигнал/шум» при детектировании оптических сигналов.
6. Идея и реализация методов гетеродинирования и синхронного детектирования.
7. Устройство и принцип работы параллельного/последовательного АЦП.
8. Устройство и принцип работы сигма-дельта АЦП.
9. Перечислите свойства преобразования Фурье.
10. Расчитайте спектры прямоугольного импульса, последовательности прямоугольных импульсов.
11. Найдите спектр ограниченного во времени гармонического колебания непосредственными вычислениями, а также используя свойства преобразования Фурье.
12. Применение дискретного преобразования Фурье к реальным ситуациям оцифровки сигналов.
13. Зачем нужны временные окна? Перечислите преимущества и недостатки их использования. Приведите примеры временных окон.
14. Сформулируйте теоремы Парсеваля и Винера-Хинчина.
15. Перечислите известные вам типы фотоприемников. Укажите их временные и спектральные характеристики.
16. Как измерить аппаратную функцию фотоприемника. Связь АЧХ, ФЧХ и импульсного отклика.
17. Перечислите основные источники шумов и укажите их относительную спектральную плотность.
18. Перечислите известные методы улучшения соотношения «сигнал/шум» при детектировании оптических сигналов.
19. Принципы работы АЦП.
20. Зачем нужны временные окна при оцифровке сигнала? Перечислите преимущества и недостатки их использования. Приведите примеры временных окон.
21. Укажите вид автокорреляционной функции сигнала, который описывается гармонической функцией. Объясните смысл автокорреляционной функции.
22. Что такое узкополосный случайный процесс. Укажите вид его спектральной плотности мощности, автокорреляционной функции.

13. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения промежуточной аттестации.

Материалы промежуточного контроля успеваемости обучающихся в форме зачета:

1. Функциональное назначение фотоприемника, измерение энергетических, спектральных, поляризационных и иных характеристик лазерного излучения.
2. Амплитудно-частотная и фазо-частотная характеристики фотоприемника, аппаратная функция фотоприемника, «локальные» и «интегральные» измерения.
3. Основные типы фотоприемников, принципы их работы и характеристики (калориметр, фотосопротивление, болометр, фотоэлемент, ФЭУ, фотодиод и др.)
4. CCD (ПЗС) линейки и матрицы.
5. CMOS сенсоры.

6. Основные источники шумов в радиофизике и их спектральная плотность, шумы $1/f$.
7. Систематические и случайные ошибки при измерениях.
8. Распределения вероятности для случайных функций, распределения Гаусса и Пуассона, статистические моменты. Центральная предельная теорема
9. Методы повышения точности измерений и снижения уровня шумов фотоприемников. Спектральная, пространственная и поляризационная фильтрация входного излучения. Стробирование.
10. Гомодинные, гетеродинные и корреляционные схемы измерений. Синхронное детектирование сигналов (синхронные усилители).
11. Статистическая обработка результатов эксперимента, статистические свойства случайной выборки.
12. Неравенство Чебышева и доверительный интервал. Принцип максимального правдоподобия
13. Усреднение и сглаживание результатов измерений, аппроксимация (интерполяция и экстраполяция) полученных данных. Метод наименьших квадратов, критерий Чебышева
14. Процедура оцифровки аналогового сигнала. Основные параметры АЦП. Ошибки АЦП.
15. Основные типы АЦП (последовательные, параллельные, сигма-дельта)
16. Многоканальный аналоговый ввод данных, мультиплексоры, проблемы.
17. Связь между спектрами непрерывной и дискретной функции. Частота Найквиста. Эффект наложения частот.
18. Теорема о свертке, запаздывании, теорема Парсевала.
19. Теорема Котельникова-Шеннона во временной и частотной областях.
20. Временные и спектральные окна. Разрешение по спектру. Эффект утечки. Примеры окон в методе периодограмм и коррелограмм.
21. Определение СПМ для детерминированных и случайных процессов.
22. Использование алгоритмов БПФ для расчета: свертки, СПМ, корреляционной функции.
23. Смещение и дисперсия оценки корреляционной функции. Состоятельность оценки корреляционной функции.
24. Свойства корреляционной и взаимно-корреляционной функции периодических сигналов и случайных процессов.
25. Соотношение между эффективной шириной спектра и временем корреляции.
26. Теорема Винера-Хинчина.
27. Обнаружения сигнала на фоне шума с помощью корреляционной функции.
28. Линейные системы. Связь между входом и выходом линейной системы во временной и частотной областях.
29. Несостоятельность оценки выборочного спектра случайного процесса.
30. Цифровые фильтры. Типы фильтров (высоких, низких частот, полосовые, заграждающие).
31. Функциональное назначение фотоприемника, измерение энергетических, спектральных, поляризационных и иных характеристик лазерного излучения.
32. Амплитудно-частотная и фазо-частотная характеристики фотоприемника, аппаратная функция фотоприемника, «локальные» и «интегральные» измерения.
33. Основные типы фотоприемников, принципы их работы и характеристики (калориметр, фотосопротивление, болометр, фотоэлемент, ФЭУ, фотодиод и др.)
34. Основные источники шумов в радиофизике и их спектральная плотность, шумы $1/f$.
35. Систематические и случайные ошибки при измерениях.

36. Методы повышения точности измерений и снижения уровня шумов фотоприемников. Спектральная, пространственная и поляризация фильтрация входного излучения. Стробирование.
37. Гомодинные, гетеродинные и корреляционные схемы измерений. Синхронное детектирование сигналов (синхронные усилители).
38. Статистическая обработка результатов эксперимента, статистические свойства случайной выборки.
39. Неравенство Чебышева и доверительный интервал. Принцип максимального правдоподобия
40. Усреднение и сглаживание результатов измерений, аппроксимация (интерполяция и экстраполяция) полученных данных. Метод наименьших квадратов, критерий Чебышева
41. Процедура оцифровки аналогового сигнала. Основные параметры АЦП. Ошибки АЦП.
42. Связь между спектрами непрерывной и дискретной функции. Частота Найквиста. Эффект наложения частот.
43. Теорема Котельникова-Шеннона во временной и частотной областях.
44. Временные и спектральные окна. Разрешение по спектру. Эффект утечки. Примеры окон в методе периодограмм и коррелограмм.
45. Определение СПМ для детерминированных и случайных процессов.
46. Смещение и дисперсия оценки корреляционной функции. Состоятельность оценки корреляционной функции.
47. Соотношение между эффективной шириной спектра и временем корреляции.
48. Теорема Винера-Хинчина.
49. Обнаружения сигнала на фоне шума с помощью корреляционной функции.
50. Линейные системы. Связь между входом и выходом линейной системы во временной и частотной областях.
51. Несостоятельность оценки выборочного спектра случайного процесса.

14. Материально-техническая база, информационные технологии, программное обеспечение и информационные справочные системы

Основная литература.

1. Ахманов С.А., Дьяков Ю.Е., Чиркин А.С. Введение в статистическую радиофизику и оптику. - М.: Наука, 1981.
2. Кунце Х.-И. Методы физических измерений.- М.: Мир, 1989.
3. Макс Ж., Каре Жан-Клод, Пельтье Филипп. Методы и техника обработки сигналов при физических измерениях. В 2-х томах.- М.: Мир, 1983.
4. Хирд Г. Измерение лазерных параметров.- М.: Мир, 1970.
5. Ван дер Зил А. Шумы при измерениях.- М.: Мир, 1979.
6. Тейлор Дж. Введение в теорию ошибок.- М.: Мир, 1985.
7. Дженкинс Дж., Ваттс Г. Спектральный анализ и его приложения. М.: Мир, вып. 1,2, 1972
8. Бендат Дж., Пирсол А. Применение корреляционного и спектрального анализа. М.: Мир, 1983

Дополнительная литература.

1. Саврасов Ю.С. Оптимальные решения. Лекции по методам обработки измерений.- М.: Радио и связь, 2000.
2. А.-Й.К. Марцинкявичюс, Э.-А.К. Багданскис, Р.Л. Пошюнас и др.; Под ред. А.К. Марцинкявичюса, Э.-А.К.Багданскиса. Быстродействующие интегральные микросхемы ЦАП и АЦП и измерение их параметров. -М.: Радио и связь, 1988.
3. Рабинер Л., Гоулд Б. Теория и применение цифровой обработки данных. М.: Мир, 1978
4. 10. Макс Ж. Методы и техника обработки сигналов при физических измерениях: в 2-х томах. М.: Мир, 1983
5. Марпл С.Л. мл. Цифровой спектральный анализ и его приложения М.: Мир, 1990

Интернет-ресурсы.

- <http://cm.ilc.edu.ru>
- <https://www.ni.com>
- <https://www.hamamatsu.com>
- <https://www.thorlabs.com>

Материально-техническое обеспечение

В соответствии с требованиями п.5.3. образовательного стандарта МГУ по направлению подготовки «Физика».

Для лекционной части курса требуется аудитория, оборудованная мультимедийным проектором, интерактивной доской, и управляющим компьютером. Также необходимо наличие экрана и обычной учебной доски.