

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования_
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет
им. Н.И. Лобачевского»**

Высшая школа общей и прикладной физики

УТВЕРЖДЕНО

решением Ученого совета ННГУ

протокол № 10 от 02.12.2024 г.

Рабочая программа дисциплины

Введение в метрологию и теорию измерений. Численные методы анализа
экспериментальных данных

Уровень высшего образования
Магистратура

Направление подготовки / специальность
03.04.02 - Физика

Направленность образовательной программы
Общая и прикладная физика

Форма обучения
очная

г. Нижний Новгород

2025 год начала подготовки

1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.ДВ.02.02.07 Введение в метрологию и теорию измерений. Численные методы анализа экспериментальных данных относится к части, формируемой участниками образовательных отношений образовательной программы.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства	
	Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине	Для текущего контроля успеваемости	Для промежуточной аттестации
ПК-1: Способен самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в области физики и решать их с помощью современной аппаратуры и информационных технологий с использованием новейшего российского и зарубежного опыта	ПК-1.1: Демонстрация способности самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в области физики и решать их с помощью современной аппаратуры и информационных технологий с использованием новейшего российского и зарубежного опыта	ПК-1.1: Знать основные понятия метрологии, математической статистики и статистической радиофизики Уметь применять аппарат математической статистики для обработки типичных экспериментальных данных Владеть основными методами обработки детерминированных и случайных сигналов, двумерных изображений	Задачи Расчетно-графическая работа	Зачёт с оценкой: Задачи Расчетно-графическая работа

3. Структура и содержание дисциплины

3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная
Общая трудоемкость, з.е.	2
Часов по учебному плану	72
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	
- занятия лекционного типа	16
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	16
- КСР	1
самостоятельная работа	39

Промежуточная аттестация	0 Зачёт с оценкой
--------------------------	----------------------

3.2. Содержание дисциплины

(структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий)

Наименование разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	в том числе			
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них			Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа (практические занятия/лабораторные работы), часы	Всего	
	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0
Тема 1. Основные понятия метрологии. Эталоны	8	2	2	4	4
Тема 2. Основные понятия математической статистики	9	2	2	4	5
Тема 3. Метод наименьших квадратов и принцип максимального правдоподобия	9	2	2	4	5
Тема 4. Проблема численного дифференцирования и поиска экстремумов при наличии шума. Интерполяция, аппроксимация и декомпозиция.	9	2	2	4	5
Тема 5. Основы спектрально-корреляционного анализа детерминированных сигналов	9	2	2	4	5
Тема 6. Основы спектрально-корреляционного анализа случайных сигналов. Введение в физику шумов.	9	2	2	4	5
Тема 7. Основные методы обработки двумерных изображений. Автоматическое распознавание образов и анализ объектов на поверхности	9	2	2	4	5
Тема 8. Статистический анализ периодических и непериодических двумерных структур	9	2	2	4	5
Аттестация	0				
КСР	1			1	
Итого	72	16	16	33	39

Содержание разделов и тем дисциплины

1. Основные понятия метрологии. Эталоны

Основные метрологические понятия: измерение, истинное и действительные значения, принцип и метод измерения, точность, сходимостъ и воспроизводимостъ измерений, неопределенностъ и погрешности измерений, случайные и систематические погрешности, поправки. Эталоны: исторический экскурс и современное состояние.

2. Основные понятия математической статистики

Основные понятия математической статистики: вероятность, интегральная и дифференциальная функция распределения, функция плотности вероятности, математическое ожидание, дисперсия, стандартное отклонение, нормальное распределение плотности вероятности, частотное распределение, гистограмма, доверительный интервал, среднее арифметическое значение, медиана, мода.

3. Метод наименьших квадратов и принцип максимального правдоподобия

Выборочное среднее и его статистические характеристики. Выборочная дисперсия и ее статистические характеристики. Метод наименьших квадратов. Оценка параметров линейной регрессии. Линейная и полиномиальная аппроксимация. Примеры и задачи.

4. Проблема численного дифференцирования и поиска экстремумов при наличии шума. Интерполяция, аппроксимация и декомпозиция.

Линейная и кубическая сплайн-интерполяция. Проблема численного дифференцирования экспериментальных данных при наличии шума. Сглаживающая сплайн-аппроксимация. Скользящая полиномиальная фильтрация (фильтр Савицкого-Голея). Скользящая гауссова фильтрация. Скользящая медианная фильтрация. Усреднение по ансамблю реализаций. Спрямяющие координаты. Проблема поиска экстремумов при наличии шума. Свёртка с функцией переменной ширины. Основные представления о вейвлет-анализе. Аппроксимация данных стандартными зависимостями. Полиномиальная аппроксимация. Пример разложения функции на сумму локализованных пиков. Корреляционный анализ. Ковариация. Коэффициенты корреляции Пирсона. Примеры и задачи.

5. Основы спектрально-корреляционного анализа детерминированных сигналов

Разложение по ортонормированному базису. Ряды Фурье (тригонометрическая и комплексная формы). Гармонический анализ периодических сигналов. Гармонический анализ непериодических сигналов. Преобразование Фурье: основные свойства. Соотношение неопределенности. Соотношение между спектрами одиночного импульса и периодической последовательностью импульсов. Дискретизация непрерывного сигнала. Теорема Котельникова - Найквиста – Шеннона об отсчетах. Дискретное преобразования Фурье. Быстрое преобразования Фурье. Aliasing. Быстрое преобразование Фурье сигналов ограниченной длительности. Проблема побочных лепестков и оконные функции. Выделение узкополосного сигнала на фоне помех. Дискретизация изображения и муар. Примеры и задачи.

6. Основы спектрально-корреляционного анализа случайных сигналов. Введение в физику шумов.

Случайные процессы: классификация. Статистическое усреднение по ансамблю. Спектральные характеристики случайных процессов. Спектральная плотность мощности шума и теорема Винера-Хинчина. Интенсивность шума и чувствительность измерительных приборов. Импульсные случайные процессы. Дробовой шум и формула Шоттки. Тепловые шумы и формула Найквиста. Фликкер-шум. Принцип синхронного детектирования.

7. Основные методы обработки двумерных изображений. Автоматическое распознавание образов и анализ объектов на поверхности

Основные формы представления функций двух переменных. Цветовое кодирование информации. Ручная оцифровка графиков. Устранение глобального наклона: вычитание прямой или плоскости. Выравнивание изображения по линиям. Устранение глобального наклона: поворот. Медианная и гауссова фильтрация зашумленных изображений. Искусственное повышение резкости с помощью оператора Лапласа. Difference-of-Gaussians. Поиск заданных объектов с помощью кросс-корреляционной функции. Определение фасеток и их ориентации. Определение границ террас. Перевод полутонового изображения в двоичный формат. Дилатация и эрозия. Автоматическое определение параметров «островков». Построение скелета изображения. Автоматическое определение винтовых дислокаций. Принципы дактилоскопического анализа. Примеры.

8. Статистический анализ периодических и непериодических двумерных структур

Быстрое преобразование Фурье: двумерный случай. Применение Фурье-анализа для выделения или устранения периодических шумов. Фурье-анализ двумерных периодических структур. Квазикристаллы и паркеты Пенроуза. Применение разбиений Делоне и Вороного для анализа упорядоченных и

неупорядоченных поверхностных структур. Определение координационных чисел. Исследование структурных и ориентационных переходов. Примеры и задачи.

4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа обучающихся включает в себя подготовку к контрольным вопросам и заданиям для текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведенным в п. 5.

Основная литература:

1. Фаддеев Михаил Андреевич (Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского). Математическая обработка результатов эксперимента : Учебное пособие / Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского. - Вологда : Инфра-Инженерия, 2024. - 100 с. - Профессиональное образование. - ISBN 978-5-9729-2135-5., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=932913&idb=0>.
2. Энатская Наталия Юрьевна. Математическая статистика и случайные процессы : учебник для вузов / Н. Ю. Энатская. - Москва : Юрайт, 2025. - 191 с. - (Высшее образование). - ISBN 978-5-9916-9808-5. - Текст : электронный // ЭБС "Юрайт"., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=921508&idb=0>.
3. Худсон Дерек. Статистика для физиков : лекции по теории вероятностей и элементарной статистике : пер. с англ. / [пер. В. Ф. Грушина ; под ред. и с предисл. Е. Лейкина]. - 2-е доп. изд. - М. : Мир, 1970. - 296 с. - 1.14., 3 экз.
4. Рытов Сергей Михайлович. Введение в статистическую радиофизику : учеб. для вузов. Ч. 1. Случайные процессы. - Изд. 2-е, перераб. и доп. - М. : Наука, 1976. - 494 с. : рис. - 1.25., 125 экз.
5. Ахманов Сергей Александрович. Статистическая радиофизика и оптика : Случайные колебания и волны в линейных системах. - Изд. 2-е, перераб. и доп. - М. : Физматлит, 2010. - 428 с. - ISBN 978-5-9221-1204-8 : 350.00., 1 экз.

Дополнительная литература:

1. Воронцов Юрий Иванович. Теория и методы макроскопических измерений / под ред. В. Б. Брагинского. - М. : Наука, 1989. - 277, [1] с. : ил. - 3.50., 1 экз.

5. Фонд оценочных средств для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)

5.1 Типовые задания, необходимые для оценки результатов обучения при проведении текущего контроля успеваемости с указанием критериев их оценивания:

5.1.1 Типовые задания (оценочное средство - Расчетно-графическая работа) для оценки сформированности компетенции ПК-1:

1. Дан набор однотипных N файлов (от 20 до 500), содержащих одномерный массив данных X и Y (первый и второй столбцы). Предполагая, что зависимость Y от X описывается линейной функцией $Y = kX + b + \text{шум}$, определить характер и интенсивность шума, ожидаемые значения и доверительный интервал для наклона (k) и смещения (b) для отдельных реализаций и для ансамбля реализаций.

Сравните оценки параметров, определяемые аналитическими формулами из лекции, и оценками с помощью встроенных функций в стандартных пакетах прикладных программ.

2. Дан набор однотипных N файлов (от 20 до 500), содержащих одномерный массив данных X и Y (первый и второй столбцы). Предполагая, что зависимость Y от X описывается полиномиальной функцией $Y = a_n X^n + a_{n-1} X^{n-1} + \dots + a_1 X + a_0$ + шум с неизвестной степенью многочлена n , определить характер и интенсивность шума, ожидаемые значения и доверительные интервалы для коэффициентов a_0, \dots, a_n для отдельных реализаций и для ансамбля реализаций.

3. Дан набор однотипных N файлов (от 20 до 500), содержащих одномерный массив данных X и Y (первый и второй столбцы). Для каждой реализации требуется устранить высокочастотные шумы различными способами (сплайн-сглаживание, скользящая полиномиальная, гауссова и медианная фильтрация) и затем вычислить производную dY/dX для каждой реализации. Для тех же массивов данных требуется усреднить данные по ансамблю реализаций (среднее арифметическое и среднее медианное) и для усредненных характеристик вычислить производную $d\bar{Y}/dX$ и найти экстремумы.

4. Дан набор однотипных N файлов (от 20 до 500), содержащих одномерный массив данных X и Y (первый столбец -- время в секундах, второй столбец -- сигнал в произвольных единицах). Предполагая, что зависимость Y от X может быть представлена в виде комбинации периодических сигналов и аддитивного шума, определить параметры периодического сигнала (частоту, амплитуду и относительную фазу) для каждой из реализаций и для ансамбля реализаций.

Критерии оценивания (оценочное средство - Расчетно-графическая работа)

Оценка	Критерии оценивания
превосходно	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки. Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов. Продемонстрирован творческий подход к решению нестандартных задач.
отлично	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок. Продемонстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме. Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов.
очень хорошо	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок. Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами. Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов.
хорошо	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок. Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами. Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.
удовлетворительно	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых

Оценка	Критерии оценивания
	ошибки. Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания но не в полном объеме. Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами.
неудовлетворительно	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки. При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки. При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки.
плохо	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа. Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа. Отсутствие владения материалом. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа.

5.2. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине при промежуточной аттестации

Шкала оценивания сформированности компетенций

Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
	не зачтено		зачтено				
<u>Знания</u>	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Ошибок нет.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.
<u>Умения</u>	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки	Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания в полном	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с отдельным и	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без

			задания, но не в полном объеме	все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	объеме, но некоторые с недочетами	несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме	недочетов
<u>Навыки</u>	Отсутствие базовых навыков. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторым и недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторым и недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов	Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов	Продемонстрирован творческий подход к решению нестандартных задач

Шкала оценивания при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
зачтено	превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне выше предусмотренного программой
	отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично».
	очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо»
	хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо».
	удовлетворительно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
не зачтено	неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно».
	плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

5.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения на промежуточной аттестации с указанием критериев их оценивания:

5.3.1 Типовые задания (оценочное средство - Расчетно-графическая работа) для оценки сформированности компетенции ПК-1

Выполните расчетно-графическую работу.

1. Дан набор однотипных N файлов (от 20 до 500), содержащих одномерный массив данных X и Y (первый и второй столбцы). Предполагая, что зависимость Y от X описывается линейной функцией $Y = kX + b$ + шум, определить характер и интенсивность шума, ожидаемые значения и доверительный интервал для наклона (k) и смещения (b) для отдельных реализаций и для ансамбля реализаций. Сравните оценки параметров, определяемые аналитическими формулами из лекции, и оценками с помощью встроенных функций в стандартных пакетах прикладных программ.
2. Дан набор однотипных N файлов (от 20 до 500), содержащих одномерный массив данных X и Y (первый и второй столбцы). Предполагая, что зависимость Y от X описывается полиномиальной функцией $Y = a_n X^n + a_{n-1} X^{n-1} + \dots + a_1 X + a_0$ + шум с неизвестной степенью многочлена n , определить характер и интенсивность шума, ожидаемые значения и доверительные интервалы для коэффициентов a_0, \dots, a_n для отдельных реализаций и для ансамбля реализаций.
3. Дан набор однотипных N файлов (от 20 до 500), содержащих одномерный массив данных X и Y (первый и второй столбцы). Для каждой реализации требуется устранить высокочастотные шумы различными способами (сплайн-сглаживание, скользящая полиномиальная, гауссова и медианная фильтрация) и затем вычислить производную dY/dX для каждой реализации. Для тех же массивов данных требуется усреднить данные по ансамблю реализаций (среднее арифметическое и среднее медианное) и для усредненных характеристик вычислить производную $d\bar{Y}/dX$ и найти экстремумы.
4. Дан набор однотипных N файлов (от 20 до 500), содержащих одномерный массив данных X и Y (первый столбец -- время в секундах, второй столбец -- сигнал в произвольных единицах). Предполагая, что зависимость Y от X может быть представлена в виде комбинации периодических сигналов и аддитивного шума, определить параметры периодического сигнала (частоту, амплитуду и относительную фазу) для каждой из реализаций и для ансамбля реализаций.

Критерии оценивания (оценочное средство - Расчетно-графическая работа)

Оценка	Критерии оценивания
превосходно	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки. Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов. Продемонстрирован творческий подход к решению нестандартных задач.
отлично	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок. Продемонстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме. Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов.
очень хорошо	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок. Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами. Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов.
хорошо	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок. Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все

Оценка	Критерии оценивания
	задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами. Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.
удовлетворительно	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибки. Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания но не в полном объеме. Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами.
неудовлетворительно	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки. При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки. При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки.
плохо	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа. Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа. Отсутствие владения материалом. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа.

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

Основная литература:

1. Фаддеев Михаил Андреевич (Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского). Математическая обработка результатов эксперимента : Учебное пособие / Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского. - Вологда : Инфра-Инженерия, 2024. - 100 с. - Профессиональное образование. - ISBN 978-5-9729-2135-5., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=932913&idb=0>.
2. Энатская Наталия Юрьевна. Математическая статистика и случайные процессы : учебник для вузов / Н. Ю. Энатская. - Москва : Юрайт, 2025. - 191 с. - (Высшее образование). - ISBN 978-5-9916-9808-5. - Текст : электронный // ЭБС "Юрайт"., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=921508&idb=0>.
3. Худсон Дерек. Статистика для физиков : лекции по теории вероятностей и элементарной статистике : пер. с англ. / [пер. В. Ф. Грушина ; под ред. и с предисл. Е. Лейкина]. - 2-е доп. изд. - М. : Мир, 1970. - 296 с. - 1.14., 3 экз.
4. Рытов Сергей Михайлович. Введение в статистическую радиофизику : учеб. для вузов. Ч. 1. Случайные процессы. - Изд. 2-е, перераб. и доп. - М. : Наука, 1976. - 494 с. : рис. - 1.25., 125 экз.
5. Ахманов Сергей Александрович. Статистическая радиофизика и оптика : Случайные колебания и волны в линейных системах. - Изд. 2-е, перераб. и доп. - М. : Физматлит, 2010. - 428 с. - ISBN 978-5-9221-1204-8 : 350.00., 1 экз.

Дополнительная литература:

1. Воронцов Юрий Иванович. Теория и методы макроскопических измерений / под ред. В. Б. Брагинского. - М. : Наука, 1989. - 277, [1] с. : ил. - 3.50., 1 экз.

Программное обеспечение и Интернет-ресурсы (в соответствии с содержанием дисциплины):

1) Учебно-образовательная физико-математическая библиотека EqWorld
<http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/mathematics/angeometry.htm>

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных образовательной программой, оснащены мультимедийным оборудованием (проектор, экран), техническими средствами обучения.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки/специальности 03.04.02 - Физика.

Автор(ы): Аладышкин Алексей Юрьевич, доктор физико-математических наук.

Заведующий кафедрой: Викторов Михаил Евгеньевич, кандидат физико-математических наук.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 31.01.2025, протокол № 2.