

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Новосибирский национальный исследовательский государственный университет»
(Новосибирский государственный университет, НГУ)

**Физический факультет
Кафедра квантовой электроники**



УТВЕРЖДАЮ
Дека́н ФФ, д.ф.-м.н
В.Е.Блинов
2022 г.

**Рабочая программа дисциплины
СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОПТИКА 1**

Направление подготовки **03.03.02 Физика**
Направленность (профиль): **Общая и фундаментальная физика**

Форма обучения
Очная

Семестр	Общий объем	Виды учебных занятий (в часах)				Промежуточная аттестация (в часах)				
		Контактная работа обучающихся с преподавателем			Самостоятельная работа, не включая период сессии	Самостоятельная подготовка к промежуточной аттестации	Контактная работа обучающихся с преподавателем			
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия			Консультации	Зачет	Дифференцированный зачет	Экзамен
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
6	72	16	16		38			2		
Всего 72 часа / 2 зачётные единицы, из них: - контактная работа 34 часа										
Компетенции ПК-1										

Ответственный за образовательную программу
профессор, д.ф.-м.н.

С.В. Цыбуля

Новосибирск 2022

Содержание

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы.	3
2. Место дисциплины в структуре образовательной программы.....	4
3. Трудоёмкость дисциплины в зачётных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем ..	4
4. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведённого на них количества академических часов и видов учебных занятий.	4
5. Перечень учебной литературы.	7
6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся.	7
7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.....	7
8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.	7
9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине.....	7
10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.	8

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы.

Курс «Статистическая оптика 1» является базовой дисциплиной в образовательной бакалаврской программе по оптике

Целью курса является ознакомление с понятиями статистического описания оптических явлений; овладение методами статистической оптики; ведение в теорию случайных процессов; овладение навыками приложения методов статистической оптики к некоторым современным задачам оптики и лазерной физики.

Дисциплина нацелена на формирование у выпускника следующей профессиональной компетенции:

Результаты освоения образовательной программы (компетенции)	Индикаторы	Результаты обучения по дисциплине
<p>ПК-1 Способность использовать специализированные знания в области физики при построении теоретических моделей физических явлений и процессов в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования</p>	<p>ПК 1.1 Применяет специализированные знания в области физики при воспроизведении учебного материала с требуемой степенью научной точности и полноты.</p> <p>ПК 1.2 Использует специализированные знания при проведении научных изысканий в избранной области.</p> <p>ПК 1.3 Выбирает наиболее эффективные методы построения теоретических моделей физических явлений и процессов в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования</p>	<p>Знать основные понятия теории случайных переменных и процессов, основные теоремы статистической оптики и свойства гауссовских случайных процессов; понятие фазора, его свойства и приложения к оптическим задачам; основные виды функций плотности вероятностного распределения и примеры их физической реализации; свойства поляризованного, неполяризованного и частично поляризованного теплового излучения.</p> <p>Уметь выстраивать взаимосвязи между физическими науками; решать типичные задачи в области оптики и лазерной физики; рассчитывать моменты случайных переменных и процессов на основе воспроизведения стандартных алгоритмов решения; объяснять причинно-следственные связи физических процессов; формулировать выводы и приводить примеры; разбираться в используемых методах.</p> <p>Владеть навыками самостоятельной работы со специализированной литературой в области статистической оптики; статистическими методами описания оптических явлений; навыками построения статистических моделей для конкретных задач; навыками по измерению временной и пространственной когерентности оптического излучения и его состояний поляризации; методами расчета моментов случайных переменных и процессов.</p>

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Курс «Статистическая оптика 1» является базовой дисциплиной в образовательной бакалаврской программе по оптике; изложение материала опирается на знание студентами классической физической оптики (детерминистический подход), основ теории вероятностей, математической статистики и математического анализа.

3. Трудоёмкость дисциплины в зачётных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем

Семестр	Общий объем	Виды учебных занятий (в часах)				Промежуточная аттестация (в часах)				
		Контактная работа обучающихся с преподавателем			Самостоятельная работа, не включая период сессии	Самостоятельная подготовка к промежуточной аттестации	Контактная работа обучающихся с преподавателем			
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия			Консультации	Зачет	Дифференцированный зачет	Экзамен
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
6	72	16	16		38			2		
Всего 72 часа / 2 зачётные единицы, из них: - контактная работа 34 часа										
Компетенции ПК-1										

Реализация дисциплины предусматривает практическую подготовку при проведении следующих видов занятий, предусматривающих участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью: лекции, практические занятия, домашние задания, самостоятельная работа студента.

Программой дисциплины предусмотрены следующие виды контроля:

Текущий контроль успеваемости: выборочный опрос, домашние задания, работа обучающегося на практических занятиях.

Промежуточная аттестация: 6-й семестр – зачет.

Общая трудоёмкость рабочей программы дисциплины составляет 72 часа, 2 зачетных единицы:

- занятия лекционного типа – 16 часов;
- практические занятия – 16 часов;
- самостоятельная работа обучающегося в течение года, не включая период сессии – 38 часов.
- промежуточная аттестация (зачет) – 2 часа.

Объём контактной работы обучающегося с преподавателем (занятия лекционного типа, практические занятия, зачет) составляет 34 часа.

4. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведённого на них количества академических часов и видов учебных занятий.

№ п/п	Раздел дисциплины	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)				Промежуточная аттестация (в часах)
			Всего	Аудиторные часы		Сам. работа в течение семестра (не включая период сессии)	
				Лекции	Практические занятия		
1	Элементы теории вероятностей и теории случайных переменных. <i>Промежуточный контроль – тестирование в форме вопросов-ответов Домашнее задание</i>	1-4	12	4	4	4	
2	Дробовый эффект и распределение Пуассона. <i>Промежуточный контроль – тестирование в форме вопросов-ответов</i>	5	6	1	1	4	
3	Фазор.	6	4	1	1	2	
4	Случайные процессы. <i>Промежуточный контроль – тестирование в форме вопросов-ответов</i>	7-9	10	3	3	4	
5	Прохождение шумового сигнала через линейную систему <i>Промежуточный контроль – тестирование в форме вопросов-ответов</i>	10	6	1	1	4	
6	Статистические закономерности при распространении электромагнитных волн <i>Промежуточный контроль – тестирование в форме вопросов-ответов</i>	12-13	12	3	3	6	
7	Различные статистические модели описания работы лазера выше порога генерации. <i>Сдача домашнего задания</i>	14-16	20	3	3	14	
9	Зачет	17	2				2
Всего за семестр			72	16	16	38	2

Программа и основное содержание лекций (16 часов)

1. Статистическое и детерминистическое описание в оптике (4 часа).

Элементы теории вероятностей. Формула Байеса. Случайные переменные. Функция распределения. Моменты. Коэффициент корреляции. Характеристическая функция. Преобразование случайных переменных. Распределение Бернулли и примеры его применения. Распределение Лапласа. Сумма случайных переменных. Центральная предельная теорема.

Гауссовские случайные переменные (ГСП). Теорема о моментах для ГСП. Комплексные случайные переменные.

2. Распределение Пуассона (1 час).

Распределение Пуассона и его частные случаи (дробовые эффекты, статистика фотонов).

3. Фазоры (1 час).

Сумма случайных фазоров. Распределение Рэлея. Постоянный фазор и сумма случайных фазоров. Распределение Райса.

4. Случайные процессы (3 часа).

Марковские процессы. Стационарность и эргодичность случайных процессов. Корреляционная функция. Ковариационная функция. Спектр случайного процесса и теорема Винера-Хинчина. Гауссовский случайный процесс (ГСПр). Корреляционные функции высших порядков для ГСПр. Пуассоновский случайный процесс и его спектральная плотность. Комплексный ГСПр.

5. Прохождение шумового сигнала через линейную систему (1 час).

Преобразование шума линейной системой. Узкополосный фильтр. Измерение импульсной характеристики линейного фильтра с помощью шумового процесса.

6. Статистические закономерности при распространении электромагнитных волн (3 часа).

Распространение электромагнитных волн. Поляризованное и неполяризованное тепловое излучение. Распределения вероятности для мгновенной интенсивности излучения. Частично-поляризованное тепловое излучения. Матрица Джонса. Измерение элементов матрицы когерентности в эксперименте. Степень поляризации. Статистические характеристики первого порядка мгновенной интенсивности. Стандартное отклонение мгновенной интенсивности для частично-поляризованного света.

7. Различные статистические модели описания работы лазера выше порога генерации (3 часа).

Лазерное излучение. Одномодовое колебание с флуктуациями фазы и амплитуды. Точное решение Рискена и его различные приближения. Многомодовое лазерное излучение. Квазитепловое излучение, возникающее от движущегося рассеивателя.

Программа практических занятий (16 часов)

На практических занятиях студенты применяют полученные на лекциях теоретические знания для решения конкретных задач, требующих аналитических вычислений. Решение задач – важная составная часть курса.

1. Элементы теории вероятностей. Вычисление моментов случайных переменных. Преобразование случайных переменных и плотностей вероятностного распределения (4 часа).
2. Распределение Бернулли. Центральная предельная теорема и гауссовское распределение (2 часа).
3. Корреляционная функция. Спектр случайного процесса (2 часа).
4. Преобразование шума линейной системой. Ансамбль осцилляторов (2 часа).
5. Поляризация электромагнитного излучения. Матрица Джонса (2 часа).
6. Лазерное и квазитепловое излучение (4 часа).

Самостоятельная работа студентов (38 часов)

Перечень занятий на СРС	Объем, час
решение индивидуальных домашних заданий, подготовка к защитами индивидуальных домашних заданий	19
самостоятельное изучение материалов лекционных занятий, подготовке к практическим занятиям	19

5. Перечень учебной литературы.

5.1.Основная литература:

1. С.А. Ахманов и С.Ю. Никитин, Физическая оптика, М: Наука, 2004.

5.2.Дополнительная литература:

2. Гудмен, Джозеф У. Статистическая оптика / Джозеф У. Гудмен ; пер. с англ. А.А. Кокина / под ред. Г.В. Скродского М. : Мир, 1988 527 с. : ил. Библиогр.в конце глав. ISBN 5030011625 Гудмен, Джозеф У.оптика
3. М. Борн, Э. Вольф, «Основы оптики», М: «Наука», 1973.
4. Д.В. Сивухин, «Лекции по физической оптике», Новосибирск: НГУ, 1968-69.
3. Л.Д. Ландау и Е.М. Лифшиц, «Теория поля», М: «Наука», 1986. Дж. Гудмен, «Статистическая оптика», М: «Мир», 1988.
6. С.М. Рытов, «Введение в статистическую радиофизику», Ч. I и II, М: «Наука», 1978.

6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся.

Дополнительные учебно-методические материалы не требуются.

7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.

Для освоения дисциплины используются следующие ресурсы:

- электронная информационно-образовательная среда НГУ (ЭИОС);
- образовательные интернет-порталы;
- информационно-телекоммуникационная сеть Интернет.

7.1 Современные профессиональные базы данных

Не используются

7.2. Информационные справочные системы

Не используются.

8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.

Для обеспечения реализации дисциплины используется стандартный комплект программного обеспечения (ПО), включающий регулярно обновляемое лицензионное ПО Windows и MSOffice.

9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине.

Для реализации дисциплины «Статистическая оптика 1» используются специальные помещения:

1. Учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа, практических занятий, индивидуальных консультаций, текущего контроля, промежуточной аттестации.

2. Помещения для самостоятельной работы обучающихся.

Учебные аудитории укомплектованы специализированной мебелью и техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории.

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

Реализация дисциплины осуществляется с применением электронного обучения (платформа ZOOM, Skype), где обучение проводится на виртуальных аналогах, позволяющим достигать запланированных результатов по дисциплине.

Для проведения занятий лекционного типа предлагаются следующие наборы демонстрационного оборудования и учебно-наглядных пособий:

- комплект лекций-презентаций по темам дисциплины (используется PowerPoint);

Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине для обучающихся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья осуществляется согласно «Порядку организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья в Новосибирском государственном университете».

10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.

10.1 Порядок проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине

Текущий контроль

Оценочным средством для текущего контроля успеваемости в части самостоятельной работы является регулярная сдача-приемка задач по курсу.

Промежуточная аттестация

Освоение компетенций оценивается согласно шкале оценки уровня сформированности компетенции. Зачет по дисциплине выставляется в том случае, если заявленная компетенция ПК-1 сформирована не ниже порогового уровня в части, относящейся к формированию способности использовать специализированные знания в области статистической оптики в профессиональной деятельности.

Окончательная оценка работы студента в течение семестра происходит на зачете. Зачет проводится в конце семестра в устной форме.

Вывод об уровне сформированности компетенций принимается преподавателем. Положительная оценка «зачтено» ставится, когда все компетенции освоены не ниже порогового уровня и означает успешное прохождение промежуточной аттестации.

Соответствие индикаторов и результатов освоения дисциплины

Таблица 10.1

Индикатор	Результат обучения по дисциплине	Оценочные средства
ПК 1.1 Применяет специализированные знания в области физики при воспроизведении учебного материала с требуемой степенью научной точности и полноты.	Знать основные понятия теории случайных переменных и процессов, основные теоремы статистической оптики и свойства гауссовских случайных процессов; понятие фазора, его свойства и приложения к оптическим задачам; основные виды функций плотности вероятностного распределения и примеры их физической реализации; свойства поляризованного, неполяризованного и частично поляризованного теплового излучения.	Проведение контрольных работ, зачет.

<p>ПК 1.2 Использует специализированные знания при проведении научных изысканий в избранной области</p>	<p>Уметь выстраивать взаимосвязи между физическими науками; решать типичные задачи в области оптики и лазерной физики; рассчитывать моменты случайных переменных и процессов на основе воспроизведения стандартных алгоритмов решения; объяснять причинно-следственные связи физических процессов; формулировать выводы и приводить примеры; разбираться в используемых методах.</p>	<p>Проведение контрольных работ, зачет.</p>
<p>ПК 1.3 Выбирает наиболее эффективные методы построения теоретических моделей физических явлений и процессов в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования</p>	<p>Владеть навыками самостоятельной работы со специализированной литературой в области статистической оптики; статистическими методами описания оптических явлений; навыками построения статистических моделей для конкретных задач; навыками по измерению временной и пространственной когерентности оптического излучения и его состояний поляризации; методами расчета моментов случайных переменных и процессов.</p>	<p>Проведение контрольных работ, зачет.</p>

10.2 Описание критериев и шкал оценивания индикаторов достижения результатов обучения по дисциплине «Статистическая оптика 1».

Таблица 10.2

Критери и оценива ния результат ов обучени я	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Уровень освоения компетенции			
		Не сформирован (не зачтено)	Пороговый уровень (зачтено)	Базовый уровень (зачтено)	Продвинутый уровень (зачтено)
1	2	3	4	5	6
Полнота знаний	ПК 1.1	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имеют место грубые ошибки.	Демонстриру ет общие знания базовых понятий по темам/раздел ам дисциплины. Допускается значительное количество негрубых ошибок.	Уровень знаний соответствует программе подготовки по темам/разделам дисциплины. Допускается несколько негрубых/ несущественных ошибок. Не отвечает на дополнительные вопросы.	Уровень знаний соответствует программе подготовки по темам/разделам дисциплины. Свободно и аргументированн о отвечает на дополнительные вопросы.
Наличие умений	ПК 1.2	Отсутствие минимальных умений.	Продемонстр ированы частично основные	Продемонстриров аны все основные умения. Решены все основные	Продемонстриро ваны все основные умения. Решены

		Не умеет решать стандартные задачи. Имеют место грубые ошибки.	умения. Решены типовые задачи. Допущены негрубые ошибки.	задания с негрубыми ошибками или с недочетами.	все основные задания в полном объеме без недочетов и ошибок.
Наличие навыков (владение опытом)	ПК 1.3	Отсутствие владения материалом по темам/разделам дисциплины. Нет навыков в решении стандартных задач. Наличие грубых ошибок.	Имеется минимальный набор навыков при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.	Имеется базовый набор навыков при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.	Имеется базовый набор навыков при решении стандартных задач без ошибок и недочетов. Продемонстрированы знания по решению нестандартных задач.

10.3 Типовые контрольные задания и материалы, необходимые для оценки результатов обучения

Задачи по курсу

1. Покажите, что для любой гауссовской случайной переменной x справедливо соотношение:

$$\langle \exp(ix) \rangle = \exp\left(i\langle x \rangle - 1/2\langle (\delta x)^2 \rangle\right),$$

где флуктуация $\delta x = x - \langle x \rangle$.

2. Эргодический случайный процесс с автокорреляционной функцией $\Gamma(\tau) = N\delta(\tau)$ поступает на вход линейного инвариантного во времени фильтра с импульсной характеристикой $h(t)$. Выходной сигнал $y(t)$ умножается на запаздывающий вариант сигнала $x(t)$, образуя новый случайный процесс $z(t)$. Показать, что импульсная характеристика фильтра может быть найдена путём измерения зависимости $\langle z(t) \rangle_t$ от времени задержки Δ .
3. Доказать, что для центрального момента n -го порядка гауссовской случайной переменной справедлива формула:

$$\overline{(x - \bar{x})^n} = \begin{cases} 1 \cdot 3 \cdot 5 \dots (n-1) \sigma^n & \text{— при чётном } n \\ 0 & \text{— при нечётном } n \end{cases}$$

4. Для частично поляризованного излучения, описывающегося плотностью распределения:

$$\rho(I) = \frac{1}{\chi \bar{I}} \left[e^{-\frac{2I}{(1+\chi)\bar{I}}} - e^{-\frac{2I}{(1-\chi)\bar{I}}} \right],$$

выразить стандартное отклонение σ_I через среднюю интенсивность \bar{I} и степень поляризации χ .

5. Получить явный вид матрицы Джонса для поляризатора, ориентированного под углом α к оси x .
6. Задана случайная переменная x с однородным распределением в интервале $(-\pi/2, \pi/2)$. Найти плотность распределения $\rho(y)$, если известна зависимость: $y = 2\text{Sin}(x) - I$.
7. Записать совместную плотность распределения вероятности $\rho(x, y)$ в случае двух гауссовских случайных переменных x и y , если известных их средние значения $\bar{x} = \bar{y} = a$,

среднеквадратичные значения $\sqrt{x^2} = \sqrt{y^2} = \sqrt{2}a$ и коэффициент корреляции $\chi = C_{xy} / \sigma_x \sigma_y = -1/2$ (где C_{xy} – ковариация переменных x и y).

Контрольные вопросы по курсу

1. Определения стационарных и эргодичных случайных процессов. Автокорреляционная функция: усреднение по ансамблю, усреднение по времени. Теорема Винера-Хинчина с доказательством.
2. Распределение плотности вероятности при преобразовании случайных переменных (рассмотреть общий случай немонотонной функции, а также частный случай монотонной). Преобразование многомерных распределений вероятности. Распределение вероятности для случайной переменной z , которая есть сумма случайных переменных x и y .
3. Центральная предельная теорема. Гауссовские случайные переменные – определение и свойства, включая свойства их моментов. Круговые гауссовские случайные переменные.
4. Фазор – определение. Сумма большого числа случайных фазоров – общая постановка задачи, упрощающие предположения о фазорах. Распределение длины и фазы результирующего фазора, рэлеевское распределение.
5. Поляризованное и неполяризованное тепловое излучение: плотность распределения мгновенной интенсивности и статистические характеристики первого порядка.
6. Частично-поляризованное излучение и матрица когерентности. Матрица Джонса и её преобразование при прохождении частично-поляризованного света через линейные оптические элементы. Матрица Джонса для света, поляризованного линейно по оси x , и света с циркулярной левой поляризацией.

Оценочные материалы по промежуточной аттестации, предназначенные для проверки соответствия уровня подготовки по дисциплине требованиям СУОС, хранятся на кафедре-разработчике РПД в печатном и электронном виде.

