

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

Волны в случайно-неоднородных средах

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.01.01.03 Волны в случайно-неоднородных средах 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-3: Способен свободно владеть разделами физики, необходимыми для решения научно-инновационных задач, и применять результаты научных исследований в инновационной и проектной деятельности	ПК-3.1: Демонстрация способности свободно владеть разделами физики, необходимыми для решения научно-инновационных задач, и применять результаты научных исследований в инновационной и проектной деятельности	ПК-3.1: Знать основы теории когерентности и ее взаимосвязь с теорией переноса излучения, закономерности рассеяния волн на неоднородностях показателя преломления среды и ансамбле частиц. Уметь использовать полученные знания для решения конкретных задач теории распространения волн в случайно-неоднородных средах и их рассеяния на случайных объектах; уметь применять полученные знания для решения научно-инновационных задач. Владеть навыками решения задач, основанными на знаниях, полученных в ходе освоения дисциплины; владеть статистическими методами описания случайных волновых полей и использовать их при необходимости при проведении научных исследований в инновационной деятельности	Задачи	Экзамен: Задачи Контрольные вопросы

3. Структура и содержание дисциплины

3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная
Общая трудоемкость, з.е.	3
Часов по учебному плану	108
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	
- занятия лекционного типа	16
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	16
- КСР	2
самостоятельная работа	38
Промежуточная аттестация	36 Экзамен

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	
	о ф о	о ф о	о ф о	о ф о	о ф о
Тема 1. Функциональный метод описания случайных полей	11	2	2	4	7
Тема 2. Однократное рассеяние волн на флуктуациях показателя преломления среды и частицах вещества	15	4	4	8	7
Тема 3. Феноменологическая теория переноса излучения	16	4	4	8	8
Тема 4. Марковское приближение теории рассеяния волн в случайно неоднородной среде	14	4	2	6	8
Тема 5. Элементы общей теории многократного рассеяния волн	14	2	4	6	8
Аттестация	36				
КСР	2				2
Итого	108	16	16	34	38

Содержание разделов и тем дисциплины

Тема 1. Функциональный метод описания случайных полей

Тема 2. Однократное рассеяние волн на флуктуациях показателя преломления среды и частицах вещества

Тема 3. Феноменологическая теория переноса излучения

Тема 4. Марковское приближение теории рассеяния волн в случайно неоднородной среде

Тема 5. Элементы общей теории многократного рассеяния волн

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.

а) основная литература:

- 1) Рытов С. М., Кравцов Ю. А., Татарский В. И. - Введение в статистическую радиофизику: [учеб. пособие для физ. специальностей вузов]. Ч. 2. - М.: Наука, 1978. - 463 с. – 138 экз.
- 2) А. Исимару. Распространение и рассеяние волн в случайно-неоднородных средах. М.: Мир, 1981. Том 1 -280 с. -4 экз. Том 2 -4экз.
- 3) Апресян Л. А., Кравцов Ю. А - Теория переноса излучения: стат. и волновые аспекты. - М.: Наука, 1983. - 216 с. – 5 экз.

б) дополнительная литература:

- 1) Чернов Л. А. - Распространение волн в среде со случайными неоднородностями. - М.: Изд-во АН СССР, 1958. - 158 с. – 2 экз.
- 2) Соболев В. В. - Перенос лучистой энергии в атмосферах звезд и планет. - М.: Гостехиздат, 1956. - 391 с. -2 экз.
- 3) Кляцкин В. И. - Стохастические уравнения и волны в случайно неоднородных средах. - М.: Наука, 1980. - 336 с. – 19 экз.
- 4) В.С. Ремизович, А.И. Кузовлев. Аналитические методы расчета световых полей в неупорядоченных средах с крупномасштабными рассеивающими центрами Учебное пособие. М.: НИЯУ МИФИ, 2011. 368 с. (Деканат ВШОПФ) – 3 экз.

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

- 1) Научная литература. А. Исимару. Распространение и рассеяние волн в случайно-неоднородных средах. Т.1 <http://www.booksshare.net/index.php?id1=4&category=physics&author=isimaru-a&book=1981>
- 2) Научная литература. А.Исимару. Распространение и рассеяние волн в случайно-неоднородных средах. Т.2. <http://www.booksshare.net/index.php?id1=4&category=physics&author=isimaru-a&book=1981>
- 3) Т.Л. Ким. Рассеяние волн в случайно-неоднородных средах: модель скалярного поля. Учеб-ное пособие. <http://stat.phys.spbu.ru/Method/mm.pdf>.

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 - Задачи) для оценки сформированности компетенции ПК-3:

Решите задачу. Запишите решение и ответ.

Задача 1

Рассматривается однократное рассеяние в среде со статистически однородными флуктуациями диэлектрической проницаемости ε . Известны функция корреляции флуктуаций $\Psi_\varepsilon(\rho)$, где ρ – разность координат точек наблюдения, и спектральная плотность флуктуаций

$$Q_\varepsilon(\mathbf{q}) = \frac{1}{(2\pi)^3} \int d\rho \Psi_\varepsilon(\rho) e^{-i\mathbf{q}\rho}.$$

Найти приближенные выражения для полного сечения рассеяния единицы объема σ_0 при падении плоской волны в случае а) мелкомасштабных ($kl_\varepsilon \ll 1$) и б) крупномасштабных ($kl_\varepsilon \gg 1$) флуктуаций. Здесь k – волновое число падающей волны, l_ε – характерный масштаб флуктуаций.

Ответ:

Задача 2

Имеются $2N$ гауссовых случайных величин с нулевыми средними x_1, x_2, \dots, x_{2N} . Согласно известной теореме

$$\langle x_1 x_2 \dots x_{2N} \rangle = \sum \langle x_{i_1} x_{i_2} \rangle \dots \langle x_{i_{2N-1}} x_{i_{2N}} \rangle,$$

где в правой части суммируются слагаемые, каждое из которых представляет собой произведение одного из возможных разбиений случайных величин на пары. Найти общее количество слагаемых в правой части.

Ответ:

Задача 3

Найти функцию пространственной корреляции изотропного шума $p(\mathbf{r})$ на частоте f в однородной двумерной среде со скоростью звука c .

Ответ:

Задача 4

Вывести уравнение Фоккера-Планка для плотности вероятности $W(x, t)$ винеровского случайного процесса $x(t)$, заданного стохастическим уравнением $dx/dt = \varepsilon(t)$, где $\varepsilon(t)$ – гауссов белый шум с нулевым средним и функцией корреляции

$$\langle \varepsilon(t) \varepsilon(t') \rangle = \sigma_\varepsilon^2 \delta(t - t').$$

Найти решение этого уравнения с начальным условием $W(x, 0) = \delta(x - x_0)$.

Ответ:

Задача 5

Плоская волна $u = u_0 \exp(ikz)$ падает на случайно-неоднородное полупространство $z > 0$ с гауссовыми флуктуациями диэлектрической проницаемости $\varepsilon(\mathbf{r}) = 1 + \varepsilon(\mathbf{r})$. Среднее значение и функция корреляции флуктуирующей компоненты ε равны

$$\langle \varepsilon(\mathbf{r}) \rangle = 0, \quad \langle \varepsilon(\mathbf{r}_1) \varepsilon(\mathbf{r}_2) \rangle = \sigma_\varepsilon^2 \exp\left(-\frac{(\mathbf{r}_1 - \mathbf{r}_2)^2}{2l_\varepsilon^2}\right).$$

Предполагается, что флуктуации крупномасштабные ($l_\varepsilon \gg 2\pi/k$) и поле в области $z > 0$ можно описывать в приближении геометрической оптики, пренебрегая вариациями амплитуд лучей. В этом приближении найти выражение для функции когерентности $\langle u(\rho_1, z) u^*(\rho_2, z) \rangle$, где $\rho_1 = (x_1, y_1)$ и $\rho_2 = (x_2, y_2)$ – координаты точек наблюдения в поперечной плоскости (x, y) .

Ответ:

Критерии оценивания (оценочное средство - Задачи)

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 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	Продemonстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без 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 некоторыми недочетами	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов	Продemonстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов	Продemonстрирован 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 - Задачи) для оценки сформированности компетенции ПК-3

Решите задачу. Запишите решение и ответ.

Задача 1

Рассматривается однократное рассеяние в среде со статистически однородными флуктуациями диэлектрической проницаемости ε . Известны функция корреляции флуктуаций $\Psi_\varepsilon(\rho)$, где ρ – разность координат точек наблюдения, и спектральная плотность флуктуаций

$$Q_\varepsilon(\mathbf{q}) = \frac{1}{(2\pi)^3} \int d\rho \Psi_\varepsilon(\rho) e^{-i\mathbf{q}\rho}.$$

Найти приближенные выражения для полного сечения рассеяния единицы объема σ_0 при падении плоской волны в случае а) мелкомасштабных ($kl_\varepsilon \ll 1$) и б) крупномасштабных ($kl_\varepsilon \gg 1$) флуктуаций. Здесь k – волновое число падающей волны, l_ε – характерный масштаб флуктуаций.

Ответ:

Задача 2

Имеются $2N$ гауссовых случайных величин с нулевыми средними x_1, x_2, \dots, x_{2N} . Согласно известной теореме

$$\langle x_1 x_2 \dots x_{2N} \rangle = \sum \langle x_{i_1} x_{i_2} \rangle \dots \langle x_{i_{2N-1}} x_{i_{2N}} \rangle,$$

где в правой части суммируются слагаемые, каждое из которых представляет собой произведение одного из возможных разбиений случайных величин на пары. Найти общее количество слагаемых в правой части.

Ответ:

Задача 3

Найти функцию пространственной корреляции изотропного шума $p(\mathbf{r})$ на частоте f в однородной двумерной среде со скоростью звука c .

Ответ:

Задача 4

Вывести уравнение Фоккера-Планка для плотности вероятности $W(x, t)$ винеровского случайного процесса $x(t)$, заданного стохастическим уравнением $dx/dt = \varepsilon(t)$, где $\varepsilon(t)$ – гауссов белый шум с нулевым средним и функцией корреляции

$$\langle \varepsilon(t) \varepsilon(t') \rangle = \sigma_\varepsilon^2 \delta(t - t').$$

Найти решение этого уравнения с начальным условием $W(x, 0) = \delta(x - x_0)$.

Ответ:

Задача 5

Плоская волна $u = u_0 \exp(ikz)$ падает на случайно-неоднородное полупространство $z > 0$ с гауссовыми флуктуациями диэлектрической проницаемости $\varepsilon(\mathbf{r}) = 1 + \varepsilon(\mathbf{r})$. Среднее значение и функция корреляции флуктуирующей компоненты ε равны

$$\langle \varepsilon(\mathbf{r}) \rangle = 0, \quad \langle \varepsilon(\mathbf{r}_1) \varepsilon(\mathbf{r}_2) \rangle = \sigma_\varepsilon^2 \exp\left(-\frac{(\mathbf{r}_1 - \mathbf{r}_2)^2}{2l_\varepsilon^2}\right).$$

Предполагается, что флуктуации крупномасштабные ($l_\varepsilon \gg 2\pi/k$) и поле в области $z > 0$ можно описывать в приближении геометрической оптики, пренебрегая вариациями амплитуд лучей. В этом приближении найти выражение для функции когерентности $\langle u(\rho_1, z) u^*(\rho_2, z) \rangle$, где $\rho_1 = (x_1, y_1)$ и $\rho_2 = (x_2, y_2)$ – координаты точек наблюдения в поперечной плоскости (x, y) .

Ответ:

Критерии оценивания (оценочное средство - Задачи)

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

Оценка	Критерии оценивания
	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 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.

5.3.2 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ПК-3

- 1 Характеристический функционал. Формула Фуруцу–Новикова для гауссовых случайных полей. Принцип динамической причинности.
- 2 Однократное рассеяние волн на флуктуациях диэлектрической проницаемости среды. Дифференциальное сечение рассеяния. Функция когерентности однократно рассеянного поля. Границы применимости борновского приближения.
- 3 Сечение рассеяния и сечение поглощения одиночной частицы; их связь с амплитудой рассеяния. Оптическая теорема.
- 4 Интегральное представление амплитуды рассеяния (АР) одиночной частицы. Связь АР с Т-оператором рассеяния. Расчет АР в рэлеевском; борновском и эйкональном приближениях.
- 5 Среднее поле и средняя интенсивность в среде с дискретными рассеивателями в борновском приближении. Дифференциальное сечение рассеяния единицы объема дисперсной среды. Когерентные явления при рассеянии. Эффективная комплексная диэлектрическая проницаемость дискретной среды.
- 6 Вывод уравнения переноса для свободного излучения. Функция когерентности и ее связь с лучевой интенсивностью. Закон сохранения яркости в свободном пространстве.

- 7 Расчет функции когерентности поля в свободном полупространстве на основе закона сохранения яркости. Обобщенная яркость плоских источников. Теорема Ван-Циттерта-Цернике.
- 8 Дифференциальное уравнение переноса излучения (УПИ) для лучевой интенсивности и его основные свойства. Вероятностная интерпретация УПИ.
- 9 Уравнение переноса излучения в плоско-слоистой среде. Граничные условия. Интегральная форма УПИ. Коэффициенты яркости и альбеда среды.
- 10 Малоугловое уравнение переноса излучения и границы его применимости. Уточненное малоугловое приближение, учитывающее эффекты искажения сигналов при их прохождении через рассеивающую среду.
- 11 Диффузионное приближение теории переноса излучения.
- 12 Уравнение для среднего поля в приближении марковского случайного процесса и его общее решение.
- 13 Уравнение для функции когерентности поля в приближении марковского случайного процесса и его связь с уравнением переноса излучения в малоугловом приближении.
- 14 Уравнения Дайсона и Бете-Солпитера.
- 15 Система уравнений многократного рассеяния волн на ансамбле частиц. Вывод уравнения Фолди-Тверского для когерентного поля в дисперсной среде. Эффективное волновое число

Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольные вопросы)

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. Рытов Сергей Михайлович. Введение в статистическую радиофизику : [учеб. пособие для физ. специальностей вузов]. Ч. 2. Случайные поля / под общ. ред. С. М. Рытова. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Наука, 1978. - 463 с. : ил. - 1.30., 137 экз.
2. Исимару Акира. Распространение и рассеяние волн в случайно-неоднородных средах : [в 2 т.]. Т. 1. Однократное рассеяние и теория переноса / пер. с англ. Л. А. Апресяна. - М. : Мир, 1981. - 280 с. : ил. - 2.60., 4 экз.
3. Исимару Акира. Распространение и рассеяние волн в случайно-неоднородных средах : [в 2 т.]. Т. 2. Многократное рассеяние, турбулентность, шероховатые поверхности и дистанционное зондирование / пер. с англ. Л. А. Апресяна. - М. : Мир, 1981. - 317 с. : ил. - 2.70., 4 экз.
4. Апресян Лев Арсенович. Теория переноса излучения : стат. и волновые аспекты. - М. : Наука, 1983. - 216 с. : ил. - 2.80., 5 экз.

Дополнительная литература:

1. Чернов Л. А. Распространение волн в среде со случайными неоднородностями / АН СССР, Акуст. ин-т. - М. : Изд-во АН СССР, 1958. - 158 с. : черт. - 4.30., 1 экз.
2. Соболев В. В. Перенос лучистой энергии в атмосферах звезд и планет. - М. : Гостехиздат, 1956. - 391 с. - 11.20., 1 экз.
3. Кляцкин Валерий Исаакович. Стохастические уравнения и волны в случайно неоднородных

средах. - М. : Наука, 1980. - 336 с. : ил. - 3.80., 19 экз.

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

- 1) Научная литература. А. Исимару. Распространение и рассеяние волн в случайно-неоднородных средах. Т.1 <http://www.booksshare.net/index.php?id1=4&category=physics&author=isimaru-a&book=1981>
- 2) Научная литература. А. Исимару. Распространение и рассеяние волн в случайно-неоднородных средах. Т.2. <http://www.booksshare.net/index.php?id1=4&category=physics&author=isimaru-a&book=1981>
- 3) Т.Л. Ким. Рассеяние волн в случайно-неоднородных средах: модель скалярного поля. Учебное пособие. <http://stat.phys.spbu.ru/Metod/mm.pdf>.

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных образовательной программой, оснащены мультимедийным оборудованием (проектор, экран), техническими средствами обучения, компьютерами, специализированным оборудованием: Учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных образовательной программой, оснащены мультимедийным оборудованием (проектор, экран), техническими средствами обучения, компьютерами, специализированным оборудованием: для проведения лекций и практических занятий требуется типовое оборудование лекционной аудитории. Для подготовки самостоятельных контрольных работ и для их графического представления (если это необходимо), а также для расширения коммуникационных возможностей студенты имеют возможность работать в компьютерных классах с соответствующим лицензионным программным обеспечением и выходом в Интернет. Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети Интернет и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду.

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): Вировлянский Анатолий Львович, доктор физико-математических наук, доцент.

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

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