

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

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

---

Радиофизический факультет  
(факультет / институт / филиал)

УТВЕРЖДЕНО  
решением ученого совета ННГУ  
протокол от  
«31» мая 2023 г. № 6

**Рабочая программа дисциплины**

---

Физика волновых процессов  
(наименование дисциплины (модуля))

Уровень высшего образования  
бакалавриат  

---

(бакалавриат / магистратура / специалитет)

Направление подготовки / специальность  
03.03.03 Радиофизика  

---

(указывается код и наименование направления подготовки / специальности)

Направленность образовательной программы  
Фундаментальная радиофизика  

---

(указывается профиль / магистерская программа / специализация)

Форма обучения  
очная  

---

(очная / очно-заочная / заочная)

Нижегород

2023 год

## 1. Место дисциплины в структуре ООП

№ варианта	Место дисциплины в учебном плане образовательной программы	Стандартный текст для автоматического заполнения в конструкторе РПД
1	Блок 1. Дисциплины (модули) Обязательная часть	Дисциплина <i>Б1.О.27, физика волновых процессов</i> относится к обязательной части ООП направления подготовки <i>03.03.03 Радиофизика</i> .

## 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**	
ОПК-1. Способен применять базовые знания в области физики и радиофизики и использовать их в профессиональной деятельности, в том числе в сфере педагогической деятельности;	ОПК-1.1. Обладает фундаментальными знаниями в области физики и радиофизики.	<i>Знать</i> основные понятия и закономерности волновых процессов в различных областях физики (акустике, электродинамике, физике плазмы).	<i>Собеседование, задача</i>
	ОПК-1.2. Анализирует физические аспекты теории и возможности ее использования для решения научно-исследовательских задач.	<i>Уметь</i> использовать основные уравнения гидродинамики, теории упругости и электродинамики для решения конкретных задач.	
	ОПК-1.3. Решает научно-исследовательские задачи, в том числе в сфере педагогической деятельности.	<i>Владеть</i> методами решения задач линейной теории волн.	
ОПК-2. Способен проводить экспериментальные и теоретические научные исследования объектов, систем и процессов,	ОПК-2.1 Использует методы радиофизических измерений и методы обработки результатов.	<i>Знать</i> возможности современных образовательных и информационных технологий для приобретения знаний в области физики волновых процессов.	<i>Собеседование, задача</i>
	ОПК-2.2 Формулирует задачи экспериментального и теоретического		

обрабатывать и представлять экспериментальные данные;	исследования в области радиофизики, использует радиофизическое измерительное оборудование и применяет теоретические методы.		
	ОПК-3.3 Применяет практические навыки радиофизических исследований и представления результатов.		

### 3. Структура и содержание дисциплины

#### 3.1 Трудоемкость дисциплины

	<b>очная форма обучения</b>
<b>Общая трудоемкость</b>	<b>3 ЗЕТ</b>
<b>Часов по учебному плану</b>	<b>108</b>
<b>в том числе</b>	
<b>аудиторные занятия (контактная работа):</b>	
- занятия лекционного типа	22
- занятия семинарского типа	12
(практические занятия / лабораторные работы)	
<b>самостоятельная работа</b>	<b>36</b>
<b>КСР</b>	<b>2</b>
<b>Промежуточная аттестация – экзамен</b>	<b>36</b>

#### 3.2. Содержание дисциплины

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля), форма промежуточной аттестации по	Всего	В том числе	
		Контактная работа (работа во взаимодействии с	работа

дисциплине (модулю)		преподавателем), часы из них				
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Занятия лабораторного типа	Всего	
1. Введение	3	2			2	1
2. Методы решения задач линейной теории волновых процессов	10	2	3		5	5
3. Волны в жидкостях и газах	14	6	2		8	6
4. Волны в упругих твердых телах	6	2			2	4
5. Электромагнитные поля и уравнения Максвелла	10	2	2		4	6
6. Электромагнитные поля в однородной и изотропной плазме	14	4	3		7	7
7. Электромагнитные волны в холодной магнитоактивной плазме	13	4	2		6	7
В т. ч. текущий контроль	3		3		3	
<b>Промежуточная аттестация – экзамен</b>		<b>36</b>				

В соответствии с рабочей программой и тематическим планом изучение дисциплины проходит в виде аудиторной и самостоятельной работы студентов. Учебный процесс в аудитории осуществляется в форме лекционных занятий с возможностью применения технологий интерактивного обучения, а также практических занятий, нацеленных на выработку у студентов навыков решения задач физики волновых процессов.

Образовательные технологии, способствующие формированию компетенций **используемые на занятиях лекционного типа:**

- лекции-беседы с возможностью использования мультимедийных средств поддержки образовательного процесса;

- лекции с проблемным изложением учебного материала.

**используемые на занятиях практического типа:**

- регламентированная самостоятельная деятельность студентов;
- частично-поисковая деятельность при выполнении методических разработок частей занятия;
- решение проблемных ситуаций для реализации технологии коллективной мыслительной деятельности.

На лекциях раскрываются следующие основные темы изучаемого курса.

## **Раздел 1. Введение.**

Историческая справка о курсе «Физика волновых процессов». Нижегородская школа по радиофизике. Волны вокруг нас - звук, свет и радиоволны; низкочастотные волны в атмосфере и океане, сейсмические волны в Земле; магнитогидродинамические волны в космосе. Физические поля и волны. Перенос волнами энергии и информации (линии связи, пассивная и активная локация). Теория волновых процессов и уравнения математической физики (уравнения потенциала, теплопроводности, волновое уравнение и уравнение Клейна-Гордона). Монохроматические поля. Комплексная форма записи монохроматического поля. Уравнение Гельмгольца. Плоские, цилиндрические и сферические монохроматические волны. Фазовая скорость. Энергетические характеристики волн.

## **Раздел 2. Методы решения задач линейной теории волновых процессов.**

Принцип суперпозиции для линейных операторов. Постановка задач линейной теории волн. Задача об излучении заданных источников, расположенных в ограниченной области пространства. Условие излучения Зоммерфельда и принцип предельного поглощения. Применение преобразования Фурье для решения линейных уравнений математической физики. Многократные преобразования Фурье как разложение физических полей по плоским волнам. Дисперсионное уравнение. Начальная задача. Понятие о нормальных волнах в средах. Граничная задача. Функции Грина для основных уравнений математической физики и их связь с преобразованиями Фурье. Групповая скорость.

## **Раздел 3. Волны в жидкостях и газах.**

Гипотеза сплошной среды и физические поля в средах. Физические бесконечно малые объемы и интервалы времени. Усреднение по ансамблям, по координатам и по времени. Эргодическая гипотеза. Физико-химические свойства газов, жидкостей, твердых тел и плазмы. Полная замкнутая система уравнений механики для жидкостей и газов: уравнение непрерывности, уравнение Навье-Стокса для баланса импульсов, закон сохранения энергии в дифференциальной и интегральной форме. Проблема замыкания системы уравнений. Линеаризация уравнений механики жидкостей и газов для малых возмущений параметров среды. Уравнения линейной акустики и гидродинамики. Излучение звука осциллирующим поршнем и радиально пульсирующей упругой сферой. Интенсивность и мощность излучения. Акустический импеданс излучателя, присоединенная масса и упругость, сопротивление излучения. Поглощение звуковых

волн в вязкой теплопроводной среде. Скорость звука по Ньютону и по Лапласу. Волны на поверхности слоя тяжелой несжимаемой жидкости (зыбь, рябь, цунами и ветровые волны). Акустико-гравитационные и внутренние волны в стратифицированной атмосфере.

#### **Раздел 4. Волны в упругих твердых телах.**

Объемная и сдвиговая упругость твердых тел. Математическое описание деформации тела. Закон Гука и уравнения механики изотропных упругих тел. Два типа нормальных волн в упругом теле. Землетрясения и сейсмические волны. Взаимодействие и трансформация нормальных волн в неоднородных средах. Поверхностная волна Рэлея.

#### **Раздел 5. Электромагнитные поля и уравнения Максвелла.**

Электромагнитные поля  $\vec{E}, \vec{B}, \vec{H}$  и  $\vec{D}$ . Электрические токи свободных и связанных зарядов - токи проводимости, токи электрической поляризации атомов среды и токи намагничивания в среде. Уравнения Максвелла с полным током в среде и сторонними электрическими токами. Электромагнитные поля и волны в среде с постоянными  $\epsilon, \mu$  и  $\sigma$ . Скин-эффект. Комплексная диэлектрическая проницаемость. Абсолютный комплексный показатель преломления однородной среды.

#### **Раздел 6. Электромагнитные поля в однородной и изотропной плазме.**

Введение в физику плазмы. Способы получения плазмы. Квазинейтральность плазмы. Плазма в космическом пространстве, лабораторная плазма. Дебаевское экранирование электрических зарядов в плазме. Радиус Дебая. Определение плазмы. Квазигидродинамическое описание плазмы. Комплексная диэлектрическая проницаемость холодной, изотропной плазмы. Дисперсия волн. Плазменные колебания, ленгмюровская частота. Фазовая и групповая скорость. Затухание из-за соударений. Полное внутреннее отражение и глубина проникновения электромагнитного поля в плазму. Диагностика плазмы.

#### **Раздел 7. Электромагнитные волны в холодной магнитоактивной плазме.**

Роль магнитных полей в физике плазмы. Магнитные поля Земли и космических объектов. Тензор электропроводности и диэлектрической проницаемости плазмы. Анизотропия магнитоактивных сред. Обыкновенные и необыкновенные нормальные волны в холодной магнитоактивной плазме без соударений. Показатель преломления этих волн. Показатели преломления и поляризация нормальных волн при их распространении вдоль, поперек и под некоторым углом к направлению внешнего магнитного поля. Эффект Фарадея.

Формой итогового контроля знаний студентов по дисциплине является экзамен, в ходе которого оценивается уровень теоретических знаний и навыки решения практических задач.

Основной акцент воспитательной работы делается на добросовестном, профессиональном выполнении всех учебных заданий

Для закрепления пройденного материала для студентов, обучающихся по направлению Радиофизика, на 4 курсе предусмотрен лабораторный практикум, включающий следующие лабораторные работы по физике волновых процессов:

№ п/п	Наименование лабораторной работы
1.	Излучение вертикального электрического диполя вблизи плоской границы раздела двух сред
2.	Распространение декаметровых радиоволн в ионосфере

Предусмотрены в Радиофизическом практикуме.

#### **4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся**

Самостоятельная работа студентов направлена на самостоятельное изучение отдельных тем рабочей программы и решение домашних заданий по практике. Цель самостоятельной работы - подготовка современного компетентного специалиста и формирование способностей и навыков к непрерывному самообразованию и профессиональному совершенствованию.

Особое место отводится самостоятельной практической проработке студентами отдельных разделов и тем по изучаемой дисциплине, таких как применение преобразования Фурье для решения линейных уравнений теории волн, анализ дисперсионных соотношений, возникающих в задачах о распространении волн различной физической природы. Такой подход вырабатывает у студентов инициативу, стремление к увеличению объема знаний, выработке умений и навыков всестороннего овладения способами и приемами физики волновых процессов.

Изучение рекомендованной литературы следует начинать с учебников и учебных пособий, затем переходить к научным изданиям – монографиям и статьям в научных журналах, в том числе и электронным. Конспектирование – одна из основных форм самостоятельного труда, требующая от студента активно работать с учебной литературой и не ограничиваться конспектом лекций.

Контроль выступает формой обратной связи и предусматривает оценку успеваемости студентов. Итоговой формой контроля успеваемости студентов по учебной дисциплине «Физика волновых процессов» является экзамен. Бесспорным фактором успешной сдачи экзамена является кропотливая, систематическая работа студента в течение всего периода изучения дисциплины (семестра). В этом случае подготовка к экзамену будет являться концентрированной систематизацией всех полученных знаний по данной дисциплине.

Ресурсы Интернет являются одним из альтернативных источников быстрого поиска требуемой информации. Их использование возможно для получения основных и дополнительных сведений по изучаемым материалам.

Используются виды самостоятельной работы студента: в читальном зале библиотеки, в учебных кабинетах (лабораториях), компьютерных классах, с доступом к ресурсам Интернет и в домашних условиях. Порядок выполнения самостоятельной работы соответствует программе курса и контролируется в ходе экзамена по данной дисциплине. Самостоятельная

работа подкрепляется учебно-методическим и информационным обеспечением, включающим рекомендованные учебники и учебно-методические пособия, а также конспекты лекций.

Список контрольных вопросов для промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины:

1. Плоская монохроматическая волна.
2. Волновое уравнение.
3. Фазовая и групповая скорости.
4. Уравнение непрерывности и уравнение Эйлера.
5. Скорость звука. Вектор Умова. Плотность энергии в звуковой волне.
6. Закон Гука.
7. Уравнения Максвелла. Граничные условия.
8. Вектор Пойнтинга. Плотность энергии электромагнитного поля в вакууме.
9. Основные параметры плазмы (плазменная частота и дебаевский радиус).
10. Комплексная диэлектрическая проницаемость холодной изотропной плазмы.
11. Вектор плотности потока энергии.
12. Применение преобразования Фурье для решения линейных уравнений математической физики.
13. Нормальные волны в средах.
14. Тензор внутренних напряжений.
15. Уравнение Навье-Стокса.
16. Линеаризованная система уравнений механики жидкостей и газов. Основные свойства звуковых волн в жидкостях и газах.
17. Уравнение Ламе. Основные свойства упругих волн в твердых телах.
18. Описание электромагнитных полей в сплошных средах. Уравнения Максвелла-Лоренца.
19. Распространение электромагнитных волн в холодной изотропной плазме.
20. Распространение электромагнитных волн в холодной магнитоактивной плазме.

## 5. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине (модулю),

включающий:

### 5.1. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине

Индикаторы компетенции	Критерии оценивания (дескрипторы)						
	«плохо»	«неудовлетворительно»	«удовлетворительно»	«хорошо»	«очень хорошо»	«отлично»	«превосходно»
<b>Знания</b> <i>Знать</i> основные понятия и законы	отсутствие знаний материала	наличие грубых ошибок в основном	знание основного материала с рядом негрубых	знание основного материала с рядом заметных погрешно	знание основного материала с незначи	знание основного материала без ошибок	знание основного и дополнительного



рности волновых процессо в в различны х областях физики (акустике , электрод инамике, физике плазмы)		материа ле	ошибок	стей	тельным и погрешн остями	и погрешн остей	материа ла без ошибок и погреш ностей
<u>Умения</u>  <i>Уметь</i> использо вать основные уравнени я гидродин амики, теории упругост и и электрод инамики для решения конкретн ых задач	Полное отсутстви е умения использо вать основные уравнени я гидродин амики, теории упругости и электроди намики для решения конкретн ых задач.	Отсутст вие умения использо вать основны е уравнен ия гидроди намики, теории упругос ти и электрод инамики для решения конкрет ных задач	Умение использо вать основные уравнени я гидродин амики, теории упругости и электроди намики для решения конкретн ых задач с небольши ми ошибками	Умение использо вать основные уравнени я гидродин амики, теории упругости и электроди намики для решения конкретн ых задач при наличии незначите льных ошибок	Умение использо вать основны е уравнен ия гидроди намики, теории упругос ти и электрод инамики для решения конкрет ных задач	Умение использо вать основны е уравнен ия гидроди намики, теории упругос ти и электрод инамики , а также другие теоретич еские знания для решения задач физики волновы х процесс	Умение использо вать основны е уравнен ия гидроди намики, теории упругос ти и электро динамик и, а также другие теорети ческие знания для решени я нестанд артных задач

						ов	механик и сплошн ых сред
<u>Навыки</u>  <i>Владеть</i> методами решения задач линейной теории волн.	Полное отсутстви е навыков решения задач теории волн.	Отсутст вие навыков решения задач теории волн.	Наличие минималь ных навыков решения задач теории волн.	Посредст венное  владение навыками решения задач теории волн	Хороше е владени е навыкам и решения задач теории волн.	Отлично е владени е навыкам решения задач теории волн.	Всестор оннее владени е навыка ми решени я задач теории волн.
Шкала оценок по проценту правильн о выполнен ных контроль ных заданий	0 – 20 %	20 – 50 %	50 – 70 %	70-80 %	80 – 90 %	90 – 99 %	100%

### Шкала оценки при промежуточной аттестации

Оценка	Уровень подготовки
Превосходно	Высокий уровень подготовки, безупречное владение теоретическим материалом, студент демонстрирует творческий подход к решению нестандартных задач. Студент безупречно решил задачу, дал полный и развернутый ответ на теоретический вопрос билета, правильно ответил на дополнительные вопросы, а также решил одно из заданий повышенной сложности, продемонстрировав способность к самостоятельной выработке умений и навыков решения нестандартных задач.  100 %-ное выполнение контрольных экзаменационных заданий
Отлично	Высокий уровень подготовки Студент безупречно решил задачу, а также дал полный и развернутый ответ на

	<p>теоретический вопрос билета.</p> <p>Студент активно работал на практических занятиях.</p> <p>Выполнение контрольных экзаменационных заданий на 90% и выше</p>
Очень хорошо	<p>Хорошая подготовка. Студент решил задачу, дал полный и развернутый ответ на теоретический вопрос билета, но имеются неточности или шероховатости в ответах. Студент активно работал на практических занятиях. Выполнение контрольных экзаменационных заданий от 80 до 90%.</p>
Хорошо	<p>В целом хорошая подготовка с небольшими ошибками или недочетами. Студент решил задачу, дал ответ на теоретический вопрос билета, но имеются неточности или шероховатости в ответах. Допускаются ошибки при ответах на дополнительные и уточняющие вопросы экзаменатора. Студент работал на практических занятиях.</p> <p>Выполнение контрольных экзаменационных заданий от 70 до 80%.</p>
Удовлетворительно	<p>Минимально достаточный уровень подготовки. Студент показывает минимальный уровень теоретических знаний. Студент решил задачу, дал неполный ответ на теоретический вопрос билета, затруднялся с ответом на дополнительные вопросы. Студент посещал практические занятия.</p> <p>Выполнение контрольных экзаменационных заданий от 50 до 70%.</p>
Неудовлетворительно	<p>Подготовка недостаточная и требует дополнительного изучения материала. Студент не решил задачу или испытывал значительные трудности при ее решении. Студент дает ошибочные ответы, как на теоретические вопросы билета, так и на наводящие и дополнительные вопросы экзаменатора. Студент пропустил большую часть практических занятий.</p> <p>Выполнение контрольных экзаменационных заданий до 50%.</p>
Плохо	<p>Подготовка абсолютно недостаточная. Студент не отвечает на поставленные вопросы, не умеет решать задачи. Студент отсутствовал на большинстве лекций и практических занятий.</p> <p>Выполнение контрольных экзаменационных заданий менее 20 %.</p>

## 5.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения.

### 5.2.1 Контрольные вопросы

<i>вопросы</i>	<i>Код формируемой компетенции</i>
Плоская монохроматическая волна.	ОПК-1
Комплексная форма записи гармонического поля. Уравнение Гельмгольца.	ОПК-1
Цилиндрические и сферические монохроматические волны.	ОПК-1
Принцип суперпозиции при решении линейных уравнений математической физики.	ОПК-1
Постановка задачи об излучении заданных источников, расположенных в ограниченной области пространства. Условие излучения Зоммерфельда и принцип предельного поглощения.	ОПК-1
Применение преобразования Фурье для решения линейных уравнений математической физики.	ОПК-1
Начальная и граничная задача.	ОПК-1
Метод функций Грина.	ОПК-1
Дисперсионное уравнение. Фазовая и групповая скорости.	ОПК-1
Физические свойства тел. Потенциал Леннарда-Джонса. Гипотеза сплошной среды.	ОПК-1
Описание движения сплошной среды в переменных Эйлера и Лагранжа. Полная производная по времени.	ОПК-1
Уравнение непрерывности в механике жидкости и газа.	ОПК-1
Основное уравнение механики сплошной среды. Тензор внутренних напряжений.	ОПК-1
Тензор скоростей деформаций. Теорема Гельмгольца.	ОПК-1
Уравнение Навье-Стокса.	ОПК-1
Закон сохранения энергии в вязкой теплопроводящей среде.	ОПК-1
Полная система уравнений механики жидкостей и газов. Граничные условия.	ОПК-1
Система уравнений линейной акустики и газодинамики в отсутствие вязкости и теплопроводности. Волновое уравнение. Скорость звука по Лапласу.	ОПК-1
Поляризация и энергетические характеристики звуковых волн.	ОПК-1
Звуковые волны в вязкой теплопроводной среде. Изотермическая скорость звука Ньютона.	ОПК-1
Излучение звука плоским осциллирующим поршнем.	ОПК-1
Излучение звука радиально пульсирующей упругой сферой: постановка задачи и формулы для полей $p$ и $V_r$ .	ОПК-1
Интенсивность и мощность излучения акустического монополя. Сила реакции излучения звука. Присоединенная масса и сопротивление излучения.	ОПК-1
Объемная и сдвиговая упругость твердых тел. Модуль Юнга и коэффициент Пуассона.	ОПК-2
Математическое описание деформации тела. Вектор смещения и тензор деформации.	ОПК-2
Обобщенный закон Гука. Однородные деформации.	ОПК-2

Основные уравнения линейной теории упругости. Волны в изотропном упругом теле.	ОПК-2
Уравнения Максвелла-Лоренца. Поляризация и намагничивание. Полный ток в среде.	ОПК-2
Макроскопические электромагнитные поля и уравнения Максвелла. Граничные условия. Закон сохранения энергии для электромагнитных полей в вакууме.	ОПК-2
Электромагнитные поля в однородной изотропной среде с постоянными значениями $\epsilon$ , $\mu$ и $\sigma$ . Комплексная диэлектрическая проницаемость и показатель преломления.	ОПК-2
Поляризация плоских электромагнитных волн. Коэффициент поляризации, эллипс поляризации. Параметры Стокса и сфера Пуанкаре.	ОПК-2
Определение и основные свойства плазмы. Дебаевское экранирование.	ОПК-2
Квазигидродинамическое описание плазмы. Комплексная диэлектрическая проницаемость холодной изотропной плазмы. Плазменная частота.	ОПК-2
Электромагнитные поля в холодной изотропной плазме. Диагностика плазмы.	ОПК-2
Тензор диэлектрической проницаемости холодной магнитоактивной плазмы.	ОПК-2
Вывод формул для показателей преломления в магнитоактивной плазме. Два типа нормальных волн.	ОПК-2
Дисперсионные кривые при распространении волн в плазме вдоль внешнего магнитного поля.	ОПК-2
Дисперсионные кривые при распространении волн в плазме поперек внешнего магнитного поля.	ОПК-2
Дисперсионные кривые при распространении волн в плазме под углом к внешнему магнитному полю.	ОПК-2
Эффект Фарадея.	ОПК-2

## 5.2.2. Типовые задачи для оценки сформированности компетенции ОПК-1

### Задача 1

Получить общее решение одномерного волнового уравнения

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = 0.$$

### Задача 2

Записать решение  $u = u(x, y, z, t)$  волнового уравнения

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = 0 ,$$

### 5.2.3. Типовые задачи для оценки сформированности компетенции ОПК-2

#### Задача 27

Уравнение, описывающее распространение внутренних волн во вращающейся несжимаемой жидкости, имеет вид

$$\Delta \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} + 4\Omega^2 \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} = 0 ,$$

где  $\Omega$  - действительное число (угловая скорость вращения жидкости). Определить величину и направление фазовой и групповой скорости волн.

#### Задача 28

Показатель преломления для электромагнитных волн диапазона свистящих атмосфериков в магнитоактивной плазме имеет вид

$$n^2 = \frac{\omega_p^2}{\omega \omega_B \cos \vartheta} ,$$

где  $\cos \vartheta = k_z / k$  ,  $k = (k_x^2 + k_y^2 + k_z^2)^{1/2}$  . Найти фазовую и групповую скорости волн. Восстановить дифференциальное уравнение с частными производными, описывающее распространение данных волн.

## 6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) основная литература:

1. Виноградова М.Б., Руденко О.В., Сухоруков А.П. *Теория волн*. М. Наука, 1979, 1-е издание, 383 стр; М. Наука, 1979, 383 стр. – 145 экз.
2. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. *Гидродинамика*. М. Наука, 1986, 736 стр. – 135 экз.
3. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. *Теория упругости*. М. Наука, 1987, 246 стр. – 169 экз.
4. Гинзбург В.Л. *Распространение электромагнитных волн в плазме*. М. Наука, 1967, 683 стр. – 95 экз.

5. Гершман Б.Н., Ерухимов Л.М., Яшин Ю.Я. *Волновые явления в ионосфере и космической плазме*. М. Наука, 1984, 392 стр. – 27 экз.

б) дополнительная литература:

1. Вайнштейн Л.А. *Электромагнитные волны*. М. Радио и связь, 1988, 440стр. – 225 экз.

2. Мандельштам Л.И. *Лекции по теории колебаний*. М. Наука, 1972, 470 стр. – 115 экз.

3. Горелик Г.С. *Колебания и волны*. М. Физматгиз, 1959, 572 стр. – 144 экз.

5. Рабинович М.И., Трубецков Д.И. *Введение в теорию колебаний и волн*. М. Наука, 1984, 432 стр. – 161 экз.

### **7. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

Помещения представляют собой учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных программой, оснащенные оборудованием и 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 – бакалавриат по направлению подготовки 03.03.03 Радиофизика, утвержденного приказом Министерства науки и высшего образования РФ от 7 августа 2020 г. N 912.

Автор Петров Е.Ю.

Рецензент Калинин А.В.

Заведующий кафедрой Гавриленко В.Г.

Программа одобрена на заседании методической комиссии радиофизического факультета/института

от «25» мая 2023 года, протокол № 04/23.