



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»



УТВЕРЖДАЮ  
Директор ИЕиС  
Ю.В. Сомова

03.02.2025 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

***ВОЛНОВЫЕ ПРОЦЕССЫ В КОНДЕНСИРОВАННЫХ СРЕДАХ***

Направление подготовки (специальность)  
03.04.02 Физика

Направленность (профиль/специализация) программы  
Компьютерное моделирование физических процессов и структур, методы  
преподавания физики

Уровень высшего образования - магистратура

Форма обучения  
очная

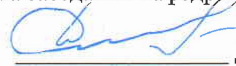
Институт/ факультет	Институт естествознания и стандартизации
Кафедра	Физики
Курс	1
Семестр	1

Магнитогорск  
2025 год

Рабочая программа составлена на основе ФГОС ВО - магистратура по направлению подготовки 03.04.02 Физика (приказ Минобрнауки России от 07.08.2020 г. № 914)

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры Физики  
28.01.2025, протокол № 4

Зав. кафедрой



Д.М. Долгушин

Рабочая программа одобрена методической комиссией ИЕиС  
03.02.2025 г. протокол № 3

Председатель



Ю.В. Сомова

Рабочая программа составлена:  
доцент кафедры Физики, канд. физ.-мат. наук



А.П. Давыдов

Рецензент:  
зав. кафедрой ВТиП, д-р техн. наук



О.С. Логунова

## Лист актуализации рабочей программы

---

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2026 - 2027 учебном году на заседании кафедры Физики

Протокол от \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_  
Зав. кафедрой \_\_\_\_\_ Д.М. Долгушин

---

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2027 - 2028 учебном году на заседании кафедры Физики

Протокол от \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_  
Зав. кафедрой \_\_\_\_\_ Д.М. Долгушин

## 1 Цели освоения дисциплины (модуля)

Целями освоения дисциплины «Волновые процессы в конденсированных средах» являются:

1) подготовка студентов по дисциплине в соответствии с требованиями Федерального Государственного образовательного стандарта высшего образования (ФГОС ВО) по направлению 03.04.02 – «Физика» (Компьютерное моделирование физических процессов и структур, методы преподавания физики);

2) приобретение студентами знаний и формирование профессиональных компетенций.

## 2 Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы

Дисциплина Волновые процессы в конденсированных средах входит в обязательную часть учебного плана образовательной программы.

Для изучения дисциплины необходимы знания (умения, владения), сформированные в результате изучения дисциплин/ практик:

Физическая акустика

Физика магнитных явлений

Спецсеминар по научным направлениям

Дополнительные главы общей физики

Теория твердого тела

Специальный физический практикум

Знания (умения, владения), полученные при изучении данной дисциплины будут необходимы для изучения дисциплин/практик:

Производственная - преддипломная практика

Электрические и магнитные свойства твердых тел

Теоретические основы спектроскопии

Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы

Подготовка к сдаче и сдача государственного экзамена

Производственная - практика по получению профессиональных умений и опыта профессиональной деятельности

Производственная - педагогическая практика

Физическая акустика

Спецсеминар по научным направлениям

Корпускулярно-волновые свойства частиц

## 3 Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины (модуля) и планируемые результаты обучения

В результате освоения дисциплины (модуля) «Волновые процессы в конденсированных средах» обучающийся должен обладать следующими компетенциями:

Код индикатора	Индикатор достижения компетенции
ОПК-1	Способен применять фундаментальные знания в области физики для решения научно-исследовательских задач, а также владеть основами педагогики, необходимыми для осуществления преподавательской деятельности;
ОПК-1.1	Использует знания физических законов и принципов, математический аппарат для описания, анализа, теоретического и экспериментального исследования и моделирования физических систем, явлений и процессов, решения научно-исследовательских задач и профессиональных задач

ОПК-1.2	Знает и использует законы и принципы, методы педагогики и применяет фундаментальные физические, математические и междисциплинарные знания для осуществления преподавательской деятельности по учебным дисциплинам «Физика», «Астрономия»
ОПК-4 Способен определять сферу внедрения результатов научных исследований в области своей профессиональной деятельности.	
ОПК-4.1	Оценивает достоинства и недостатки, результат своей деятельности, знает этапы внедрения результатов, презентует свое исследование, выбирает или предлагает возможные варианты и сферы внедрения результатов научно-исследовательской деятельности в своей профессиональной области, имеет представление о требованиях к сопровождающей документации

#### 4. Структура, объём и содержание дисциплины (модуля)

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных единиц 108 акад. часов, в том числе:

- контактная работа – 55,05 акад. часов;
- аудиторная – 54 акад. часов;
- внеаудиторная – 1,05 акад. часов;
- самостоятельная работа – 52,95 акад. часов;
- в форме практической подготовки – 0 акад. час;

Форма аттестации - зачет

Раздел/ тема дисциплины	Семестр	Аудиторная контактная работа (в акад. часах)			Самостоятельная работа студента	Вид самостоятельной работы	Форма текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации	Код компетенции
		Лек.	лаб. зан.	практ. зан.				
1. Упругие волны в конденсированных средах с учетом затухания								
1.1 Основные принципы построения физико-математической модели, описывающей распространение упругих волн	1	2		4	8	Проработка учебников, учебных пособий, конспектирование, подготовка к практическому занятию	Проверка конспектов, опрос, обсуждение	ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-4.1
1.2 Основные методы решения задач, связанных с процессами распространения упругих волн		2		6	12	Подготовка к практическому занятию, конспектирование учебников, учебных пособий, монографий, первоисточников	Проверка конспектов, опрос, обсуждение	ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-4.1
Итого по разделу		4		10	20			
2. Спиновые волны в конденсированных средах. Взаимодействие спиновых и упругих волн								
2.1 Основные принципы построения физико-математической модели, описывающей спиновые волны и их взаимодействие с упругими волнами	1	2		6	10	Подготовка к практическому занятию, конспектирование учебников, учебных пособий, монографий, первоисточников	Проверка конспектов, опрос, обсуждение	ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-4.1

						В		
2.2 Основные методы решения задач, связанных с процессами распространения и взаимодействия спиновых и упругих волн	1	2		8	8	Подготовка к практическому занятию, конспектирование учебников, учебных пособий, монографий, первоисточников	Проверка конспектов, опрос, обсуждение	ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-4.1
Итого по разделу		4		14	18			
3. Электромагнитные волны в конденсированных средах. Взаимодействие электромагнитных, спиновых и упругих волн								
3.1 Основные принципы построения физико-математической модели, описывающей распространение электромагнитных волн и их взаимодействие со спиновыми и упругими волнами	1	4		6	8	Подготовка к практическому занятию, конспектирование учебников, учебных пособий, монографий, первоисточников	Проверка конспектов, опрос, обсуждение	ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-4.1
3.2 Основные методы решения задач, связанных с процессами распространения и взаимодействия электромагнитных, спиновых и упругих волн		6		6	6,95	Подготовка к практическому занятию, конспектирование учебников, учебных пособий, монографий, первоисточников	Проверка конспектов, опрос, обсуждение, контрольная работа	ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-4.1
Итого по разделу		10		12	14,95			
Итого за семестр		18		36	52,95		зачёт	
Итого по дисциплине		18		36	52,95		зачет	

## **5 Образовательные технологии**

Результат освоения дисциплины «Волновые процессы в конденсированных средах» – формирование у студентов компетенций представляющих собой динамичную совокупность знаний, умений, владений, способностей и личностных качеств, которую студент может продемонстрировать после завершения обучения по магистерской образовательной программе. Для формирования этих компетенций и реализации предусмотренных видов учебной работы, в учебном процессе в качестве образовательных технологий используются традиционная и технология информационно-проектного обучения, позволяющая студенту в процессе обучения самому выбирать формируемые компетенции и личностные качества, тем самым проектируя для себя образовательный процесс.

Учебные занятия проводятся в виде лекций и лабораторных занятий

Лекции проводятся в виде:

- обзорных – для систематизации и закрепления знаний по дисциплине
- информационных – для ознакомления со стандартами и справочной информацией
- проблемных – для развития исследовательских навыков и изучения способов решения задач.

Лекции проводятся в поточных аудиториях с применением компьютерных презентаций. Концептуальную основу лекционно-семинарской технологии составляют принципы педагогики: научности, последовательности и систематичности, доступности, прочности, сознательности и активности, наглядности, связи теории с практикой, учета индивидуальных особенностей студентов.

На практических занятиях применяются как активные, так и интерактивные методы обучения, которые в отличие от активных методов, ориентированы на более широкое взаимодействие студентов не только с преподавателем, но и друг с другом и на доминирование активности студентов в процессе обучения.

Кроме того, на лабораторных занятиях используется технология педагогики сотрудничества преподавателя со студентами, в основе которой следующие целевые ориентации: переход от педагогики требований к педагогике отношений, гуманно-личностный подход к студенту, единство обучения и воспитания.

## **6 Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся**

Представлено в приложении 1.

## **7 Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации**

Представлены в приложении 2.

## **8 Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

### **а) Основная литература:**

1. Аксенова, Е. Н. Общая физика. Колебания и волны (главы курса) : учебное пособие / Е. Н. Аксенова. — 2-е изд., испр. — Санкт-Петербург : Лань, 2018. — 72 с. — ISBN 978-5-8114-2910-3. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/103055> (дата обращения: 11.04.2025). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

2. Зисман, Г. А. Курс общей физики : учебное пособие : в 3 томах / Г. А. Зисман, О. М. Тодес. — 8-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, [б. г.]. — Том 1 : Механика. Молекулярная физика. Колебания и волны — 2019. — 340 с. — ISBN 978-5-8114-4101-3. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/115200> (дата обращения: 11.04.2025). — Режим



доступа: для авториз. пользователей.

#### **б) Дополнительная литература:**

1. Оптика: учебное пособие / А.А. Маскевич. - М.: НИЦ Инфра-М; Мн.: Нов. знание, 2012. - 656 с.: ил. - (Высшее образование). - ISBN 978-5-16-005678-4 Режим доступа: <http://znanium.com/bookread.php?book=306513>
2. Никеров, В. А. Физика для вузов: Механика и молекулярная физика [Электронный ресурс] : Учебник / В. А. Никеров. - М. : Издательско-торговая корпорация «Дашков и К°», 2012. - 136 с. - ISBN 978-5-394-00691-3.
3. Оптика: учебное пособие / А.А. Маскевич. - М.: НИЦ Инфра-М; Мн.: Нов. знание, 2012. - 656 с.: ил. - (Высшее образование). - ISBN 978-5-16-005678-4
4. Электродинамика и распространение радиоволн: учебное пособие / А.А. Кураев, Т.Л. Попкова, А.К. Сеницын. - М.: НИЦ Инфра-М; Мн.: Нов. знание, 2013. - 424 с.: ил. - (Высшее образование: Бакалавриат). - ISBN 978-5-16-006211-2
5. Бехтерев, А. Н. Колебательные состояния в конденсированном углероде и нанотрубах [Текст] : монография / А. Н. Бехтерев. - Магнитогорск : [Изд-во МаГУ], 2007. - 211 с. - Библиогр.: с. 161-181. - ISBN 978-5-86781-542-4.
6. Кикоин, А. К. Молекулярная физика [Текст] : учеб. пособие для вузов / А. К. Кикоин, И. К. Кикоин. - 3-е изд., стер. - СПб. [и др.] : Лань, 2007. - 480 с. : ил. - (Классическая учебная литература по физике). - Доп. НМС. - ISBN 978-5-8114-0737-8.
7. Трофимова Т. И. Курс физики. Колебания и волны. Теория, задачи и решения [Текст] : Учеб. пособие для вузов / Т. И. Трофимова, А. В. Фирсов. - М. : Академия, 2003. - 254 с. : ил. - (Высшее образование). - ISBN 5-7695-1313-6.
8. Фриш, С. Э. Курс общей физики. В 3 т. Т. 1. Физические основы механики. Молекулярная физика. Колебания и волны [Текст] : учебник для вузов / С. Э. Фриш, А. В. Тиморева. - 12-е изд., стер. - СПб. [и др.] : Лань, 2007. - 470 с. : ил. - (Классическая учебная литература по физике). - ISBN 978-5-8114-0663-0.

#### **в) Методические указания:**

При выполнении домашнего задания рекомендуется следовать следующему общему алгоритму:

1. Проработать конспект лекции на предмет выявления непонятных моментов темы.
2. В случае наличия непонятных моментов сформулировать вопросы.
3. Найти и изучить дополнительный материал по теме, используя рекомендованную литературу и электронные ресурсы учебных пособий в сети Интернет.
4. Ответить на возникшие в ходе изучения темы вопросы.
5. Выписать трактовки основных понятий, законов, принципов и т.п. по теме лекции.
6. Из перечня вопросов к зачету выбрать те, которые отражают содержание лекции.
7. Найти ответы на эти вопросы в тексте лекций и дополнительном материале.
8. Оформить материал в письменном виде

#### **г) Программное обеспечение и Интернет-ресурсы:**

##### **Программное обеспечение**

Наименование ПО	№ договора	Срок действия лицензии
-----------------	------------	------------------------

MS Office 2007 Professional	№ 135 от 17.09.2007	бессрочно
7Zip	свободно распространяемое ПО	бессрочно
Браузер Mozilla Firefox	свободно распространяемое ПО	бессрочно
Браузер Yandex	свободно распространяемое ПО	бессрочно
Adobe Reader	свободно распространяемое ПО	бессрочно
Maple 14 Classroom License	К-113-11 от 11.04.2011	бессрочно

### **Профессиональные базы данных и информационные справочные системы**

Название курса	Ссылка
Национальная информационно-аналитическая система – Российский индекс научного цитирования (РИНЦ)	URL: <a href="https://elibrary.ru/project_risc.asp">https://elibrary.ru/project_risc.asp</a>
Электронная база периодических изданий East View Information Services, ООО «ИВИС»	<a href="https://dlib.eastview.com/">https://dlib.eastview.com/</a>
Информационная система - Банк данных угроз безопасности информации ФСТЭК России	<a href="https://bdu.fstec.ru/?ysclid=lujkqy7cnw630508962">https://bdu.fstec.ru/?ysclid=lujkqy7cnw630508962</a>

### **9 Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)**

Материально-техническое обеспечение дисциплины включает:

Учебные аудитории 1-385, 1-387 для проведения занятий лекционного типа.

Оснащение: доска, мультимедийный проектор, экран.

Учебные аудитории 1-385, 1-387 для проведения практических занятий, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации. Оснащение: доска, мультимедийный проектор, экран.

Учебные аудитории 1-385, 1-387, компьютерные классы 1-372, 1-394а для самостоятельной работы обучающихся. Оснащение: персональные компьютеры с пакетом MS Office, выходом в Интернет и доступом в электронную образовательную среду университета.

Помещение для хранения и профилактического обслуживания учебного оборудования. Оснащение: шкафы для хранения учебно-методической документации, учебного оборудования и учебно-наглядных пособий.

## **Приложение 1**

### **«Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся»**

#### ***Примерные аудиторные контрольные работы (АКР):***

***АКР №1 «Упругие волны в конденсированных средах с учетом затухания».***

1. Записать волновое уравнение для акустической волны в вязкой теплоизолированной среде.
2. Вывести формулу для коэффициента затухания звука, обусловленного вязкостью и теплопроводностью среды.
3. Найти связь между коэффициентом поглощения плоской волны и толщиной половинного поглощения.

***АКР №2 «Спиновые волны в конденсированных средах. Взаимодействие спиновых и упругих волн».***

1. Вывести закон дисперсии  $\omega = \omega(k)$  для спиновых волн в одномерном ферромагнетике, используя модель, в которой учитывается взаимодействие лишь ближайших соседей. Рассмотреть случай длинных волн  $ka \ll 1$ , где  $a$  – постоянная решетки.

2. Для одномерного изотропного ферромагнетика Гейзенберга найти уединенную спиновую волну и определить энергию, необходимую для ее возбуждения.

3. В рамках изотропной модели ферромагнетизма Гейзенберга найти спектр магнонов и сравнить полученный результат с законом дисперсии спиновых волн.

**АКР №3** «Электромагнитные волны в конденсированных средах. Взаимодействие электромагнитных, спиновых и упругих волн».

1. Оценить глубину скин-слоя для меди ( $\sigma = 5,8 \cdot 10^7 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$ ) для излучения с частотой  $\omega = 10^{11} \text{ с}^{-1}$ .

2. Определить длину волны излучения, при которой становятся прозрачными металлы, например (а) медь, (б) натрий.

3. Определить энергию фотонов, необходимую для образования экситона в CdS ( $\varepsilon = 16$ ;  $m^* = 0,2m$ ;  $E_g = 2,53 \text{ эВ}$ ).

### **Примерные индивидуальные домашние задания (ИДЗ):**

**ИДЗ №1** «Упругие волны в конденсированных средах с учетом затухания».

1. Вывести формулу для скорости звука в идеальном газе.

2. Рассчитать «звуковой барьер» самолета (когда скорость его равна скорости звука) на высоте 9 км, где температура  $-70^\circ \text{ С}$ , и сравнить его со звуковым барьером при  $0^\circ \text{ С}$  на уровне моря. Зависит ли барьер от атмосферного давления.

3. Исходя из линеаризованных уравнений гидродинамики идеальной среды, вывести формулы для объемной плотности энергии и вектора плотности потока энергии звуковой волны.

**ИДЗ №2** «Спиновые волны в конденсированных средах. Взаимодействие спиновых и упругих волн».

1. Для одномерного анизотропного ферромагнетика Гейзенберга (анизотропия типа легкой оси) найти уединенную спиновую волну и определить энергию, необходимую для ее возбуждения.

2. Найти спектр магнонов в модели Гейзенберга для одноосного ферромагнетика типа: (а) легкая плоскость, (б) легкая ось.

3. Найти спектр магнонов в модели Гейзенберга для изотропного антиферромагнетика.

**ИДЗ №3** «Электромагнитные волны в конденсированных средах. Взаимодействие электромагнитных, спиновых и упругих волн».

1. Показать, что диэлектрическая проницаемость газа свободных электронов в переменном электрическом поле равна  $\varepsilon(\omega) = 1 - \frac{\omega_L^2}{\omega^2}$ , где  $\omega_L$  – частота Ленгмюра. Что происходит с электромагнитными волнами при  $\varepsilon < 0$ ?

2. Найти амплитуду электрического поля удвоенной частоты, образуемого в кристалле с нелинейной поляризуемостью при прохождении через него световой волны, амплитуда которой  $E$ , а частота  $\omega$ . Ограничиться случаем, когда волны линейно поляризованы и распространяются в одном направлении. Нелинейность считать слабой и отражением на границе кристалла пренебречь.

3. Рассматривая процесс рассеяния света прозрачным кристаллическим телом как рассеяние фотонов на фононах, показать, что свет рассеянный под углом  $\theta$ , кроме несмещенной компоненты, содержит две смещенные линии с частотами

$\omega_{1,2} = \omega \left( 1 \pm 2 \frac{v}{c} \sin \frac{\theta}{2} \right)$ , где  $\omega$  – частота падающего света,  $v$  – скорость звука,  $c$  – скорость света в данном веществе. Полагать вектор обратной решетки равным нулю.

## Приложение 2

### «Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации»

#### а) Планируемые результаты обучения и оценочные средства для проведения промежуточной аттестации:

По данной дисциплине предусмотрены различные виды контроля результатов обучения: текущий контроль (проверка выполнения заданий), промежуточный контроль в виде тестирования по разделу и итоговый контроль в виде зачета.

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
<b>ОПК-1: Способен применять фундаментальные знания в области физики для решения научно-исследовательских задач, а также владеть основами педагогики, необходимыми для осуществления преподавательской деятельности</b>		
ОПК-1.1	Использует знания физических законов и принципов, математический аппарат для описания, анализа, теоретического и экспериментального исследования и моделирования физических и систем, явлений и процессов, решения научно-исследовательских задач и профессиональных задач	<p><b>Перечень теоретических вопросов к зачету (с оценкой):</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Волновое уравнение для упругих волн (вывод).</li> <li>2. Единицы измерения акустических параметров в различных системах единиц.</li> <li>3. Уравнение неразрывности.</li> <li>4. Уравнения движения Эйлера — Лагранжа невязкой жидкости. Граничные условия. Уравнения сохранения энергии и потока энергии.</li> <li>5. Общие свойства безвихревого движения жидкости. Безвихревое движение, вызванное диполем, присоединенная масса.</li> <li>6. Уравнения Навье — Стокса движения вязкой жидкости, отдельные точные решения.</li> <li>7. Диссипация энергии в несжимаемой вязкой жидкости.</li> <li>8. Дифференциальная и интегральная формы записи уравнений Максвелла.</li> <li>9. Материальные уравнения. Уравнения Максвелла в магнитостатическом приближении.</li> <li>10. Условия на границе раздела сред для акустических волн.</li> <li>11. Вывод волнового уравнения для электромагнитных волн из системы уравнений Максвелла.</li> <li>12. Условия на границе раздела сред для</li> </ol>

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
		<p>электромагнитных волн.</p> <p>13. Квантовая природа магнетизма. Спин и спиновый магнитный момент электрона. Магнетон Бора. Орбитальный механический и магнитный моменты электрона. Магнитомеханическое отношение и фактор Ланде.</p> <p>14. Обменное взаимодействие. Энергия обменного взаимодействия и критическая температура. Ферромагнетизм, антиферромагнетизм и ферримагнетизм.</p> <p>15. Спиновые волны. Уравнение Ландау-Лившица.</p> <p>16. Сущность явления магнитострикции. Общие соотношения для изотропной линейной магнитострикции. Магнитоупругие волны.</p> <p>17. Поверхностные волны. Поверхностные гравитационные волны в жидкости конечной глубины.</p> <p>18. Поверхностные гравитационные волны в бесконечно глубокой жидкости.</p> <p>19. Задача об установившихся волнах, условие излучения.</p> <p>20. Перенос вещества волнами.</p>
ОПК-1.2	<p>Знает и использует законы и принципы, методы педагогики и применяет фундаментальные физические, математические и междисциплинарные знания для осуществления преподавательской деятельности по учебным дисциплинам «Физика», «Астрономия»</p>	<p>1. Записать волновое уравнение для акустической волны в вязкой теплоизолированной среде.</p> <p>2. Атом водорода в основном состоянии находится в однородном магнитном поле <b>B</b>. Вычислить напряженность магнитного поля, обусловленную прецессией электронного облака в центре атома.</p> <p>3. Оценить глубину скин-слоя для меди (<math>\sigma = 5,8 \cdot 10^7 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}</math>) для излучения с частотой <math>\omega = 10^{11} \text{ с}^{-1}</math>.</p> <p>1. Вывести формулу для коэффициента затухания звука, обусловленного вязкостью и теплопроводностью среды.</p> <p>2. Для одномерного изотропного ферромагнетика Гейзенберга найти уединенную спиновую волну и определить энергию, необходимую для ее возбуждения.</p> <p>3. Определить длину волны излучения, при которой становятся прозрачными металлы, например (а) медь, (б) натрий.</p> <p>4. Найти связь между коэффициентом поглощения плоской волны и толщиной половинного поглощения.</p> <p>5. В рамках изотропной модели ферромагнетизма Гейзенберга найти спектр магнонов и сравнить полученный результат с законом дисперсии спиновых волн.</p> <p>6. Определить энергию фотонов, необходимую для образования экситона в CdS (<math>\varepsilon = 16; m^* = 0,2m; E_g = 2,53 \text{ эВ}</math>).</p>

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
<b>ОПК-4: Способен определять сферу внедрения результатов научных исследований в области своей профессиональной деятельности</b>		
ОПК-4.1	Оценивает достоинства и недостатки, результат своей деятельности, знает этапы внедрения результатов, презентует свое исследование, выбирает или предлагает возможные варианты и сферы внедрения результатов научно-исследовательской деятельности в своей профессиональной области, имеет представление о требованиях к сопровождающей документации	<p>1. Вывести формулу для скорости звука в идеальном газе.</p> <p>2. Для одномерного анизотропного ферромагнетика Гейзенберга (анизотропия типа легкой оси) найти уединенную спиновую волну и определить энергию, необходимую для ее возбуждения.</p> <p>Показать, что диэлектрическая проницаемость газа свободных электронов в переменном электрическом поле равна <math>\varepsilon(\omega) = 1 - \frac{\omega_L^2}{\omega^2}</math>, где <math>\omega_L</math> – частота Ленгмюра. Что происходит с электромагнитными волнами при <math>\varepsilon &lt; 0</math>?</p> <p>3. Рассчитать «звуковой барьер» самолета (когда скорость его равна скорости звука) на высоте 9 км, где температура <math>-70^\circ \text{C}</math>, и сравнить его со звуковым барьером при <math>0^\circ \text{C}</math> на уровне моря. Зависит ли барьер от атмосферного давления.</p> <p>4. Найти спектр магнонов в модели Гейзенберга для одноосного ферромагнетика типа: (а) легкая плоскость, (б) легкая ось.</p> <p>5. Найти амплитуду электрического поля удвоенной частоты, образуемого в кристалле с нелинейной поляризуемостью при прохождении через него световой волны, амплитуда которой <math>E</math>, а частота <math>\omega</math>. Ограничиться случаем, когда волны линейно поляризованы и распространяются в одном направлении. Нелинейность считать слабой и отражением на границе кристалла пренебречь.</p> <p>6. Исходя из линеаризованных уравнений гидродинамики идеальной среды, вывести формулы для объемной плотности энергии и вектора плотности потока энергии звуковой волны.</p> <p>7. Найти спектр магнонов в модели Гейзенберга для изотропного антиферромагнетика.</p> <p>8. Рассматривая процесс рассеяния света прозрачным кристаллическим телом как рассеяние фотонов на фонах, показать, что свет рассеянный под углом <math>\theta</math>, кроме несмещенной компоненты, содержит две смещенные линии с частотами <math>\omega_{1,2} = \omega \left( 1 \pm 2 \frac{v}{c} \sin \frac{\theta}{2} \right)</math>, где <math>\omega</math> – частота падающего света, <math>v</math> – скорость звука, <math>c</math> – скорость света в данном веществе. Полагать вектор обратной решетки равным нулю.</p>

**б) Порядок проведения промежуточной аттестации, показатели и критерии оценивания:**

Промежуточная аттестация по дисциплине «**Волновые процессы в конденсированных средах**» включает теоретические вопросы, позволяющие оценить уровень усвоения обучающимися знаний, и практические задания, выявляющие степень сформированности умений и владений, проводится в форме зачета.

Зачет по данной дисциплине проводится в устной форме по билетам, каждый из которых включает один теоретический вопрос и по результатам выполнения ИДЗ.

**Показатели и критерии получения зачета:**

- «**Зачтено**» – обучающийся демонстрирует пороговый уровень сформированности компетенций: в ходе контрольных мероприятий допускаются ошибки, проявляется отсутствие отдельных знаний, умений, навыков, обучающийся испытывает значительные затруднения при оперировании знаниями и умениями при их переносе на новые ситуации.
- «**Не зачтено**» – обучающийся демонстрирует знания не более 20% теоретического материала, допускает существенные ошибки, не может показать интеллектуальные навыки решения простых задач.