

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования "Пермский  
государственный национальный исследовательский  
университет"**

**Кафедра теоретической физики**

Авторы-составители: **Демин Виталий Анатольевич**

Рабочая программа дисциплины

**ФИЗИКА АКУСТИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ И УДАРНЫЕ ВОЛНЫ**

Код УМК 86594

Утверждено  
Протокол №6  
от «08» июня 2020 г.

Пермь, 2020

## **1. Наименование дисциплины**

Физика акустических явлений и ударные волны

## **2. Место дисциплины в структуре образовательной программы**

Дисциплина входит в Блок « Блок1.А.00 » образовательной программы по направлениям подготовки (специальностям):

Направление: **01.06.01** Математика и механика  
направленность Вычислительная гидродинамика

### **3. Планируемые результаты обучения по дисциплине**

В результате освоения дисциплины **Физика акустических явлений и ударные волны** у обучающегося должны быть сформированы следующие компетенции:

**01.06.01** Математика и механика (направленность : Вычислительная гидродинамика)

**ПК.1.1** Владеет фундаментальными знаниями в области физической гидродинамики в объеме, достаточном для решения научно-исследовательских задач

#### 4. Объем и содержание дисциплины

<b>Направления подготовки</b>	01.06.01 Математика и механика (направленность: Вычислительная гидродинамика)
<b>форма обучения</b>	очная
<b>№№ триместров, выделенных для изучения дисциплины</b>	7
<b>Объем дисциплины (з.е.)</b>	4
<b>Объем дисциплины (ак.час.)</b>	144
<b>Контактная работа с преподавателем (ак.час.), в том числе:</b>	48
<b>Проведение лекционных занятий</b>	24
<b>Проведение практических занятий, семинаров</b>	24
<b>Самостоятельная работа (ак.час.)</b>	96
<b>Формы промежуточной аттестации</b>	Экзамен (7 триместр)

## 5. Аннотированное описание содержания разделов и тем дисциплины

### Физика акустических явлений и ударные волны [аспирантура]. Первый триместр.

#### Звуковые волны в газах

##### Уравнение плоской звуковой волны. Скорость звука в газах

Исходные уравнения для сжимаемой сплошной среды, волновое уравнение, факторизация волнового уравнения.

Решение в виде плоских волн, фазовая скорость. Вычисление скорости звука по Ньютону и Лапласу. Оценка скорости звука.

##### Энергия и импульс звуковых волн

Перенос энергии звуковой волной. Вектор плотности потока энергии звуковой волны. Перенос импульса звуковой волной. Вектор плотности потока импульса звуковой волны.

##### Отражение и преломление звуковых волн

Перенос энергии звуковой волной. Вектор плотности потока энергии звуковой волны. Перенос импульса звуковой волной. Вектор плотности потока импульса звуковой волны.

##### Распространение звука в движущейся среде

Разные системы отсчета. Эффект Доплера для звуковых волн.

##### Геометрическая акустика. Групповая скорость

Распространение звука в неоднородной среде. Лучи. Эйконал. Аналогия с классической механикой (эйконал как аналог действия). Уравнение лучей. Искривление лучей в неоднородной среде. Сравнение фазовой и групповой скоростей. Волновой цуг (пакет).

##### Сферические волны. Цилиндрические волны

Сферическая симметрия. Точечный источник звука. Сферические волны. Стоячая сферическая волна. Цилиндрическая симметрия. Аксиальный источник звука. Цилиндрические волны. Стоячая цилиндрическая волна.

##### Боковая волна. Рассеяние волн

Принцип Ферма. Прямая, отраженная и преломленная волны. Зеркальное изображение источника. Законы отражения и преломления звуковых волн. Явление полного отражения. Боковая звуковая волна.

##### Поглощение звука. Акустические течения

Физические механизмы поглощения звука. Формула Кирхгофа. Зависимость коэффициента затухания от частоты. Уравнение для бегущей звуковой волны с учетом диссипации энергии. Акустические течения.

#### Газодинамика. Ударные волны

##### Распространение возмущений в потоке сжимаемого газа

Предмет газодинамики. Безразмерные критерии: числа Рейнольдса и Маха. До- и сверхзвуковые скорости. Характеристическая поверхность. Условие изэнтропичности для потоков газа.

##### Стационарный поток сжимаемого газа

Внутренняя энергия и энтальпия идеального газа. Истечение идеального газа в вакуум. Зависимость термодинамических характеристик газа от скорости его течения. Критическая точка. Значения термодинамических величин в критической точке.

### **Поверхности разрыва**

Поверхности разрыва. Граничные условия. Тангенциальные разрывы. Разрывы типа ударных волн.

### **Ударная адиабата**

Поверхности разрыва типа ударных волн. Скачок термодинамических величин на поверхности разрыва. Ударная адиабата.

### **Ударные волны слабой интенсивности. Направление изменения величин в ударной волне**

Поверхности разрыва. Приближение ударных волн слабой интенсивности. Скачки энтальпии и энтропии. Физическая интерпретация скачка энтропии.

### **Ударные волны в идеальном газе**

Распространение ударных волн в идеальном газе. Ударные волны в политропном газе.

### **Характеристики ударной волны большой интенсивности**

Адиабата Гюгонио. Приближение ударной волны большой интенсивности. “Сильные” разрывы.

### **Косая ударная волна. Ширина ударных волн**

Условия преломления линий тока при прохождении газа через поверхность разрыва. Граничные условия. Законы сохранения. Семейство решений для компонент скорости. Теплопроводность и вязкость как механизмы диссипации в ударных волнах. Приближение ударных волн слабой интенсивности.

### **Уравнение Бюргерса. Стационарная ударная волна**

Нелинейные процессы. Метод медленно меняющегося профиля. Адиабатическое приближение. Дисперсионное соотношение. Уравнение Бюргерса. Стационарная ударная волна.

### **Условия возникновения ударной волны. Сопло Лавалья**

Течение газа по трубе постоянного сечения. Эффективный учет диссипации на стенках. Уравнение Бернулли. До- и сверхзвуковые режимы течения. Аэродинамическая труба переменного сечения. Суживающееся сопло. Сопло Лавалья.

### **Разрывы в магнитной гидродинамике**

Уравнение ударной адиабаты в задачах магнитной гидродинамики. Влияние магнитного поля.

## **6. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины**

Освоение дисциплины требует систематического изучения всех тем в той последовательности, в какой они указаны в рабочей программе.

Основными видами учебной работы являются аудиторские занятия. Их цель - расширить базовые знания обучающихся по осваиваемой дисциплине и систему теоретических ориентиров для последующего более глубокого освоения программного материала в ходе самостоятельной работы. Обучающемуся важно помнить, что контактная работа с преподавателем эффективно помогает ему овладеть программным материалом благодаря расстановке необходимых акцентов и удержанию внимания интонационными модуляциями голоса, а также подключением аудио-визуального механизма восприятия информации.

Самостоятельная работа преследует следующие цели:

- закрепление и совершенствование теоретических знаний, полученных на лекционных занятиях;
- формирование навыков подготовки текстовой составляющей информации учебного и научного назначения для размещения в различных информационных системах;
- совершенствование навыков поиска научных публикаций и образовательных ресурсов, размещенных в сети Интернет;
- самоконтроль освоения программного материала.

Обучающемуся необходимо помнить, что результаты самостоятельной работы контролируются преподавателем во время проведения мероприятий текущего контроля и учитываются при промежуточной аттестации.

Обучающимся с ОВЗ и инвалидов предоставляется возможность выбора форм проведения мероприятий текущего контроля, альтернативных формам, предусмотренным рабочей программой дисциплины. Предусматривается возможность увеличения в пределах 1 академического часа времени, отводимого на выполнение контрольных мероприятий.

Процедура оценивания результатов обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья по дисциплине предусматривает предоставление информации в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации.

При проведении текущего контроля применяются оценочные средства, обеспечивающие передачу информации, от обучающегося к преподавателю, с учетом психофизиологических особенностей здоровья обучающихся.

## **7. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине**

При самостоятельной работе обучающимся следует использовать:

- конспекты лекций;
- литературу из перечня основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля);
- текст лекций на электронных носителях;
- ресурсы информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимые для освоения дисциплины;
- лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение из перечня информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине;
- методические указания для обучающихся по освоению дисциплины.

## 8. Перечень основной и дополнительной учебной литературы

### Основная:

1. Райзер Ю. П. Введение в гидрогазодинамику и теорию ударных волн для физиков: учебное пособие / Ю. П. Райзер. - Долгопрудный: Интеллект, 2011, ISBN 978-5-91559-084-6. - 432. - Библиогр.: с. 430-431
2. Трунин, Р. Ф. Исследования экстремальных состояний конденсированных веществ методом ударных волн. Уравнения Гюгонио : монография / Р. Ф. Трунин. — Саров : Российский федеральный ядерный центр – ВНИИЭФ, 2006. — 286 с. — ISBN 5-9515-0075-3. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. <http://www.iprbookshop.ru/18436>

### Дополнительная:

1. Демин В. А. Ударные волны: учебно-методическое пособие для вузов / В. А. Демин. - Пермь, 2007, ISBN 5-7944-0955-x. - 36. - Библиогр.: с. 35
2. Сумбатян М. А., Скалия А. Основы теории дифракции с приложениями в механике и акустике / М. А. Сумбатян. - Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2013, ISBN 978-5-9221-1534-6. - 328. - Библиогр.: с. 321-327
3. Горелик Г. С. Колебания и волны. Введение в акустику, радиофизику и оптику: учебное пособие для студентов высших учебных заведений по направлению подготовки "Прикладная математика и физика" / Г. С. Горелик. - Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2008, ISBN 978-5-9221-0776-1. - 656. - Библиогр.: с. 649
4. Полуниин, В.М. Акустические свойства нанодисперсных магнитных жидкостей : монография / В.М. Полуниин. — Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2012. — 384 с. — ISBN 978-5-9221-1376-. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. <https://elis.psu.ru/node/619683>



## **9. Перечень ресурсов сети Интернет, необходимых для освоения дисциплины**

<http://library.psu.ru/node/738> Ресурсы Научной библиотеки ПГНИУ:

## **10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине**

Образовательный процесс по дисциплине **Физика акустических явлений и ударные волны** предполагает использование следующего программного обеспечения и информационных справочных систем:

Электронные мультимедийные учебники и учебные пособия, в том числе предоставляемые цифровой библиотекой ПГНИУ «ELiS». Свободный программный пакет LibreOffice, свободный пакет аналитических вычислений Maxima.

Дополнительный перечень используемых информационных технологий и программного обеспечения определяется читающими курс преподавателями, руководителем кандидатской диссертации.

При освоении материала и выполнении заданий по дисциплине рекомендуется использование материалов, размещенных в Личных кабинетах обучающихся ЕТИС ПГНИУ (**student.psu.ru**).

При организации дистанционной работы и проведении занятий в режиме онлайн могут использоваться:

система видеоконференцсвязи на основе платформы BigBlueButton (<https://bigbluebutton.org/>).

система LMS Moodle (<http://e-learn.psu.ru/>), которая поддерживает возможность использования текстовых материалов и презентаций, аудио- и видеоконтент, а так же тесты, проверяемые задания, задания для совместной работы.

система тестирования Indigo (<https://indigotech.ru/>).

## **11. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине**

Для проведения лекционных занятий требуются аудитории, оснащенные презентационным оборудованием.

Для проведения практических занятий требуются аудитории, оснащенные презентационным оборудованием.

Для самостоятельной работы требуется аудитории, оснащенные персональными компьютерами с доступом к локальной сети ПГНИУ и глобальной сети Интернет.

Для проведения текущего контроля, промежуточной аттестации требуются аудитории, оснащенные презентационным оборудованием.

Для проведения групповых и индивидуальных консультаций требуются аудитории, оснащенные персональными компьютерами с доступом к локальной сети ПГНИУ и глобальной сети Интернет.

Помещения научной библиотеки ПГНИУ для обеспечения самостоятельной работы обучающихся:

1. Научно-библиографический отдел, корп.1, ауд. 142. Оборудован 3 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

2. Читальный зал гуманитарной литературы, корп. 2, ауд. 418. Оборудован 7 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

3. Читальный зал естественной литературы, корп.6, ауд. 107а. Оборудован 5 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

4. Отдел иностранной литературы, корп.2 ауд. 207. Оборудован 1 персональным компьютером с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

5. Библиотека юридического факультета, корп.9, ауд. 4. Оборудована 11 персональными

компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

6. Читальный зал географического факультета, корп.8, ауд. 419. Оборудован 6 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

Все компьютеры, установленные в помещениях научной библиотеки, оснащены следующим программным обеспечением:

Операционная система ALT Linux;

Офисный пакет Libreoffice.

Справочно-правовая система «КонсультантПлюс»

**Фонды оценочных средств для аттестации по дисциплине  
Физика акустических явлений и ударные волны**

**Планируемые результаты обучения по дисциплине для формирования компетенции и  
критерии их оценивания**

Компетенция	Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения
<p><b>ПК.1.1</b> Владеет фундаментальными знаниями в области физической гидродинамики в объеме, достаточном для решения научно-исследовательских задач</p>	<p>Знать: - основные закономерности, отражающие природу звуковых и ударных волн.</p> <p>Уметь: - исследовать явления, которые имеют место при распространении, излучении и поглощении звуковых и ударных волн; - решать прикладные задачи на излучение, отражение, преломление и рассеяние звуковых и ударных волн;</p> <p>Владеть: - различными методами, позволяющими изучать различные явления линейной и нелинейной акустики.</p>	<p align="center"><b>Неудовлетворител</b> представления о предмете минимальны, ограничиваются уровнем предшествующих дисциплин; не способен применять методы и подходы, на изучение которых направлена дисциплина.</p> <p align="center"><b>Удовлетворительн</b> владеет недостаточно; способен применять приобретенные знания и навыки в пределах стандартных теоретических выводов и практических заданий в рамках курса.</p> <p align="center"><b>Хорошо</b> владеет достаточно; способен применять приобретенные знания и навыки для осуществления теоретических выводов и решения практических заданий в рамках курса в пределах содержания учебной и методической литературы.</p> <p align="center"><b>Отлично</b> владеет в полной мере; способен успешно применять на практике приобретенные знания и навыки на высоком уровне, за пределами учебной и методической литературы, в том числе при проведении научно-исследовательской работы.</p>

**Оценочные средства**

Схема доставки : Базовая

**Вид мероприятия промежуточной аттестации : Экзамен**

**Способ проведения мероприятия промежуточной аттестации : Устное собеседование по вопросам**

**Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации :  
время отводимое на подготовку 2**

**Показатели оценивания**

не соответствует перечисленным критериям; содержатся грубые ошибки в математических преобразованиях и исходных физических приближениях;	<b>Неудовлетворител</b>
---	-------------------------

отсутствуют действия, направленные на решение задач и получение теоретических результатов.	<b>Неудовлетворител</b>
проведены действия, направленные на решение поставленных задач и получение теоретических выводов, решение не доведено до конца; преобразования, исходные физические приближения содержат некоторые незначительные ошибки.	<b>Удовлетворительн</b>
получено незавершённое решение задачи; физические процессы, используемые приближения и математические преобразования описаны недостаточно подробно или содержат отдельные неточности.	<b>Хорошо</b>
получено корректное и завершённое решение задачи, представлены полные теоретические результаты, возможно с недостаточно подробным описанием физических процессов, используемых приближений и математических преобразований.	<b>Отлично</b>

### **Перечень вопросов для проведения промежуточной аттестации**

1. Распространение звуковых возмущений в сжимаемой среде.
2. Монохроматические волны. Энергия и импульс.
3. Отражение и преломление звуковых волн на границе раздела.
4. Приближение геометрической акустики, эйконал.
5. Волны в слоистых средах; волновые эффекты.
6. Распространение звуковых волн в движущейся среде.
7. Цилиндрические волны.
8. Сферические волны.
9. Генерация звука; шаровой источник.
10. Рассеяние звука.
11. Поглощение звука; формула Кирхгофа.
12. Акустические течения.
13. Релаксационные эффекты.
14. Феноменологическая теория Мандельштама - Леонтовича.
15. Дисперсия объемной вязкости.
16. Характеристические поверхности.
17. Стационарная газодинамика.
18. Локальная звуковая скорость. Критическая точка.
19. Идеальный газ. Вытекание газа в вакуум.
20. Поверхности разрыва. Условия для скачков. Тангенциальные разрывы. Ударные волны.
21. Адиабата Гюгонио.
22. Волны слабой интенсивности. Скачок энтропии.
23. Термодинамические условия существования ударной волны.
24. Косая ударная волна. Уравнение ударной поляры.
25. Политропный газ. Волны в канале.
26. Ударные волны большой интенсивности.
27. Диссипативные эффекты. Структура и ширина ударной волны.
28. Уравнение Бюргерса.