

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова»

ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

УТВЕРЖДАЮ



И.о. декана физического факультета МГУ

/В.В. Белокуров/

«21» марта 2024 г.

**ПРОГРАММА-МИНИМУМ  
КАНДИДАТСКОГО ЭКЗАМЕНА ПО СПЕЦИАЛЬНОСТИ**

**1.3.7 Акустика**

Шифр и наименование области науки

**1. Естественные науки**

Наименование отраслей науки, по которым присуждаются ученые степени

**Физико-математические науки**

---

Москва 2024

## I. Описание программы

Программа-минимум кандидатского экзамена, разработана Физическим факультетом Московского государственного университета им. М.В.Ломоносова на основе паспорта научной специальности, утвержденного Высшей аттестационной комиссией при Министерстве науки и высшего образования Российской Федерации, и учебного плана программы подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре по специальности 1.3.7 Акустика, в отрасли физико-математических наук.

## II. Основные разделы и вопросы к экзамену

### Тема 1. Гидродинамика и теория упругости

Уравнения гидродинамики идеальной и вязкой теплопроводящей жидкости. Пределы применимости приближения сплошной среды, связь с кинетическим описанием.

Акустическая, температурная и вихревая моды теплопроводящей среды. адиабатическая и изотермическая скорости звука. Коэффициент затухания звука в среде с малыми вязкостью и теплопроводностью.

Сжимаемая и несжимаемая жидкость. Потенциальные и вихревые течения идеальной жидкости. Интегралы Бернулли и Коши-Лагранжа. Теорема Томпсона о циркуляции скорости жидкости.

Гравитационно-капиллярные волны на поверхности жидкости. Внутренние гравитационные волны в стратифицированной жидкости; частота Брента-Вяйсяля.

Течения вязкой жидкости (Пуазейля, Куэтта). Затопленная струя. Пограничный слой, уравнения Прандтля.

Ударные волны. Изменение параметров среды при переходе через разрыв. Ширина ударного фронта. Скорость распространения ударных волн по невозмущенной среде.

Гидродинамические неустойчивости. Число Рейнольдса. Переход к турбулентности. Развитая турбулентность. Фракталы, число Фейгенбаума.

Гидродинамика сверхтекучей жидкости. Второй звук.

Подходы Эйлера и Лагранжа к описанию сплошной среды, основания для использования различных подходов в гидродинамике и теории упругости.

Уравнения теории упругости. Закон Гука для изотропных и анизотропных тел. Линеаризация уравнений для малых возмущений. Продольные и сдвиговые волны в изотропном теле.

Волны в твердых средах в присутствии границ (Рэлея, Лэмба, Лява, клиновые волны).

Упругие волны в кристаллах. Волны в пьезо- и сегнетоэлектриках, магнетиках.

### Тема 2. Теория колебаний и волн

Линейные и нелинейные колебательные системы с одной степенью свободы. Явление резонанса. Импульсная переходная и частотная передаточная

характеристики линейной системы. Резонатор Гельмгольца. Сферически-симметричные колебания газового пузырька в жидкости, уравнение Рэлея.

Колебательные системы с двумя и многими степенями свободы. Нормальные колебания. Вынужденные колебания, теорема взаимности.

Колебания периодических цепочек (точечные массы с упругим взаимодействием ближайших соседей). Акустическая и оптическая моды.

Собственные и вынужденные колебания распределенных систем конечных размеров. Разложение вынужденных колебаний по собственным функциям системы (модам).

Колебания недеформируемых тел, погруженных в жидкость. Сила сопротивления колебаниям сферы в идеальной и вязкой среде.

Волновое уравнение (вывод из уравнений гидродинамики и теории упругости). Плоские однородные и неоднородные волны. Плотность и поток энергии.

Сферические и цилиндрические волны. Пространственно-временной спектр Фурье волнового поля; его представление в виде суммы гармонических плоских волн.

Отражение и преломление акустических волн на плоской границе раздела двух сред. Закон Снеллиуса. Формулы Френеля. Поле в среде при падении под углом, большем критического. Плотность и поток энергии. Акустический импеданс. Отражение от импедансной границы.

Распространение волнового пакета в диспергирующей среде. Фазовая и групповая скорости. Теория дисперсии Мандельштама-Леонтовича. Физические причины появления зависимости скорости звука от частоты.

Принцип Гюйгенса-Френеля. Формулы Грина и Кирхгофа. Дифракция Френеля и Фраунгофера. Дифракция на круглом и прямоугольном отверстии (экране), принцип Бабинне.

Излучение звука пульсирующей и колеблющейся сферами. Монопольное и дипольное излучение, сопротивление излучению и присоединенная масса. Поршневой излучатель в плоском экране. Ближнее и дальнее поле. Характеристика направленности.

Волны в средах с крупномасштабными неоднородностями. Приближение геометрической акустики. Уравнения эйконала, переноса, дифференциальное уравнение луча. Лучи и поле волны в слоисто-неоднородных средах. Ход лучей в подводном звуковом канале.

### **Тема 3. Физическая акустика**

Скорость распространения и механизмы затухания акустических волн в газах, жидкостях, твердых телах, полимерах и биотканях.

Способы возбуждения и приема акустических волн в различных средах и частотных диапазонах. Электроакустические преобразователи: электродинамические, пьезоэлектрические, магнитострикционные. Электромеханические аналогии.

Методы измерения характеристик акустических полей: колебательной скорости, акустического давления, скорости распространения, поглощения, интенсивности.

Волны в узких трубах переменного сечения, уравнение Вебстера. Акустические волноводы (плоский слой, волноводы с прямоугольным и круглым сечением). Нормальные волны.

Дифракция звука на телах канонической формы (сфера, цилиндр). Дифракция света на ультразвуке.

Рассеяние звука на малых препятствиях, пузырьках газа в жидкостях и неровностях границ.

Распространение звука в движущейся среде. Движущиеся источники. Эффект Доплера. Излучение при сверхзвуковом движении, переходное излучение.

Флуктуации амплитуды, фазы и угла прихода луча при распространении звука в случайно-неоднородной среде.

Аэродинамическая генерация звука. Уравнение Лайтхилла.

Радиационное давление и акустические течения.

Римановы (простые) волны. Акустическое число Маха. Искажение профилей бегущих волн, генерация гармоник. Взаимодействие плоских волн и пучков.

Пилообразные волны. Нелинейное затухание и эффект насыщения.

Учет вязкости. Уравнение Бюргерса. Акустическое число Рейнольдса.

#### **Тема 4. Техническая акустика**

Излучающие и приемные электроакустические преобразователи. Метод электромеханических аналогий. Активные материалы для пьезоэлектрических и магнитострикционных преобразователей. Коэффициент электромеханической связи. Частотные характеристики, коэффициент нелинейных искажений. Коэффициент полезного действия излучателей и помехоустойчивость приемников.

Преобразователи для воздушной среды. Диффузорные и рупорные громкоговорители. Микрофоны - приемники звукового давления и градиента давления. Газодинамические источники звука, свистки, сирены.

Гидродинамические излучатели и гидрофоны (приемники акустического давления и градиента давления). Гидроакустические антенны. Характеристики направленности. Методы электронного формирования характеристик направленности антенных решеток и управления ими.

Профиль скорости звука и структура звукового поля в океане. Подводный звуковой канал. Приповерхностный канал. Звук в мелком море.

Пассивная гидролокация. Шумы океана и корабля. Выделение сигнала из помех. Оптимальная фильтрация. Уравнение дальности, методы и точность пеленгования.

Активная гидролокация. Отражение звука корпусом и кильватерным следом корабля. Виды зондирующих сигналов, их оптимальная обработка в присутствии шумовой и реверберационной помех.

Параметрические излучающие и приемные антенны. Характеристики направленности.

Методы гидроакустической связи, навигации, рыболокации, съемки рельефа дна, определения глубины места и абсолютной скорости движения.

Механические, аэродинамические и гидродинамические источники шумов. Транспортные шумы.

Звукопоглощение и звукоизоляция. Звукопоглощающие материалы и конструкции для воздушной среды. Пористые материалы, резонансные поглотители. Активные методы подавления шума.

Статистическая и волновая теория акустики помещений. Оптимальное время реверберации. Акустика больших помещений (неравномерность поля, искажения нестационарных сигналов, явление эхо) и методы ее улучшения.

Музыкальные строи (пифагоров, равномерно темперированный). Основные акустические характеристики музыкальных звуков (тембр, атака, обертоны, форманты, шумовые призвуки). Классификация музыкальных инструментов по физическому механизму звукообразования.

Методы акустических измерений и калибровки преобразователей. Специальные помещения и установки для измерений в воздухе и в воде. Заглушенная камера, заглушенный гидробассейн.

Ультразвуковые технологии (осаждение аэрозолей, очистка поверхностей, дегазация жидкостей, эмульгирование, обработка материалов, сварка).

Ультразвуковая медицинская диагностика. Интенсивный ультразвук в терапии и хирургии.

Ультразвуковые методы измерений и неразрушающего контроля. Дефектоскопия промышленных изделий, строительных материалов и конструкций.

Взаимодействие волн пространственного заряда с акустическим полем, акустоэлектрический эффект. Принципы работы акустоэлектронных устройств (усилители ультразвука, линии задержки, фильтры, конвольверы, запоминающие устройства). Возбуждение и прием поверхностных акустических волн (ПАВ), устройства обработки сигналов на ПАВ.

Взаимодействия света со звуком. Дифракция Брэгга и Рамана-Ната. Принципы работы устройств акустооптики (модуляторы и дефлекторы света, преобразователи свет-сигнал, акустооптические фильтры), анализаторы спектра и корреляторы.

Примечание: При подготовке к кандидатскому экзамену по отрасли технических наук внимание соискателей акцентируется на разделе 4 данной программы.

### III. Критерии оценивания

<b>Критерии и показатели оценивания ответа на экзамене</b>			
<b>Неудовлетворительно</b>	<b>Удовлетворительно</b>	<b>Хорошо</b>	<b>Отлично</b>
Фрагментарные знания в области акустики	Неполные знания в области акустики	Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания в	Сформированные и систематические знания в области

		области акустики	акустики
--	--	------------------	----------

#### **IV. Рекомендуемая основная литература**

1. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Гидродинамика. М.: Наука, 1986; Теория упругости. М.: Наука, 1987.
2. Бреховских Л.М., Гончаров В.В. Введение в механику сплошных сред. М.: Наука, 1982.
3. Горелик Г.С. Колебания и волны. Введение в акустику, радиофизику и оптику. М., Л.: Гостехтеориздат, 1950.
4. Мигулин В.В., Медведев В.И., Мустель Е.Р., Парыгин В.Н. Основы теории колебаний. М.: Наука, 1988.
5. Виноградова М.Б., Руденко О.В., Сухоруков А.П. Теория волн. М.: URSS, 2019.
6. Исакович М.А. Общая акустика. М.: Наука, 1973.
7. Скучик Е. Основы акустики. Тома 1 и 2. М: Мир, 1976.
8. Красильников В.А., Крылов В.В. Введение в физическую акустику. М.: Наука, 1984.
9. Бреховских Л.М., Лысанов Ю.П. Теоретические основы акустики океана. М.: Наука, 2007.
10. Хаясака Т. Электроакустика. М.: Мир, 1982.
11. Акустика в задачах / Под ред. С.Н. Гурбатова и О.В. Руденко. М.: Физматлит, 2009.
12. Урик Р.Дж. Основы гидроакустики. Л.: Судостроение, 1980.
13. Ультразвук: Маленькая энциклопедия / Под ред. И.П. Голяминой. М.: Сов. энциклопедия, 1979.
14. Алдошина И.А., Приттс Р. Музыкальная акустика. СПб.: Композитор, 2014.

#### **V. Рекомендуемая дополнительная литература**

1. Блохинцев Д.И. Акустика неоднородной движущейся среды. М.: Наука, 1981.
2. Викторов И.А. Звуковые поверхностные волны в твердых телах. М.: Наука, 1981.
3. Руденко О.В., Солуян С.И. Теоретические основы нелинейной акустики. М.: Наука, 1975.
4. Лепендин Л.Ф. Акустика. М.: Высшая школа, 1978.
5. Кайно Г. Акустические волны. Устройства, визуализация и аналоговая обработка сигналов. М.: Мир, 1990.
6. Клещев А.А., Ключкин И.И. Основы гидроакустики. Л.: Судостроение, 1987.
7. Михайлов И.Г., Соловьев В.А., Сырников Ю.П. Основы молекулярной акустики. М.: Наука, 1964.
8. Балакший В.И., Парыгин В.Н., Чирков Л.Е. Физические основы акустооптики. М.: Радио и связь, 1985.
9. Справочник по технической акустике. Л.: Судостроение, 1980.
10. Щевьев Ю.П. Основы физической акустики. СПб.: Лань, 2017.

11. Ультразвук в медицине: физические основы применения / Под ред. К. Хилла, Дж. Бэмбера и Г. тер Хаар (пер. с англ). М.: Мир, 1989.
12. Бергман Л. Ультразвук и его применение в науке и технике. М.: ИЛ, 1957.
13. Физика и техника мощного ультразвука / Под ред Л.Д. Розенберга: Книга 1. Источники мощного ультразвука. М.: Наука, 1967. Книга 2. Мощные ультразвуковые поля. М.: Наука, 1968. Книга 3. Физические основы ультразвуковой технологии. М.: Наука, 1970.
14. Вахитов Ш.Я., Ковалгин Ю.А., Фадеев А.А., Щевьев Ю.П. Акустика / под ред. Ю.А.Ковалгина. М.: Горячая линия - Телеком, 2016.