

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

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

Физический факультет

УТВЕРЖДЕНО
решением Ученого совета ННГУ
протокол № 10 от 02.12.2024 г.

Рабочая программа дисциплины

Механика сплошных сред и физическая акустика

Уровень высшего образования
Бакалавриат

Направление подготовки / специальность
03.03.02 - Физика

Направленность образовательной программы
Медицинская физика

Форма обучения
очная

г. Нижний Новгород

2025 год начала подготовки

1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.1.ДВ.02.02 Механика сплошных сред и физическая акустика 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-1: Способен использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин	ИД ПК-1: Демонстрация способности использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин	ИД ПК-1: Знать основы механики сплошных сред. Уметь использовать основные уравнения гидродинамики идеальной или вязкой несжимаемой жидкости для решения конкретных задач. Владеть методами решения гидродинамических задач.	Задания	Экзамен: Контрольные вопросы Задачи

3. Структура и содержание дисциплины

3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная
Общая трудоемкость, з.е.	4
Часов по учебному плану	144
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	
- занятия лекционного типа	32
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	32
- КСР	2
самостоятельная работа	42
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/ лабора- торные работы), часы	Всего	
	Ф Ф Ф	Ф Ф Ф	Ф Ф Ф	Ф Ф Ф	Ф Ф Ф
Тема 1 Структура и задачи курса МСС	2	2	0	2	0
Тема 2 Основные законы гидродинамики идеальной жидкости	34	1	13	14	20
Тема 3 Движение вязкой несжимаемой жидкости	15	4	7	11	4
Тема 4 Элементы теории турбулентности	9	2	3	5	4
Тема 5 Движение сжимаемой жидкости (газа)	6	4	0	4	2
Тема 6 Обзор современных направлений в механике сплошных сред	4	2	0	2	2
Тема 7 Основные акустические понятия и величины	10	3	3	6	4
Тема 8 Поглощение и дисперсия звука	8	4	2	6	2
Тема 9 Отражение и преломление звука в жидких средах	10	6	2	8	2
Тема 10 Звуковые волны в движущейся и неоднородной среде. Геометрическая акустика	8	4	2	6	2
Аттестация	36				
КСР	2				2
Итого	144	32	32	66	42

Содержание разделов и тем дисциплины

Введение в методы магнитного резонанса.

История открытия. Виды магнитных резонансов. Области применения.

Явление магнитного резонанса.

Электронный и ядерный магнитные моменты. Прецессия спина в магнитном поле. Классическое рассмотрение магнитного резонанса, парамагнитный резонанс. Уравнения Блоха. Квантовомеханическое описание явления магнитного резонанса.

Спиновый гамильтониан.

Тонкая структура спектров. Природа анизотропии спектров. Начальное расщепление и тонкая структура.

Сверхтонкая структура спектра.

Природа сверхтонких и суперсверхтонких взаимодействий. Сверхтонкая структура спектра. Двойной электронно-ядерный резонанс.

Спин-решеточная релаксация.

Спин-фононные взаимодействия. Процессы спин-решеточной релаксации. Механизмы Валлера, Ван-Флека, Орбаха, Блюма-Орбаха. Эффекты узкого фононного горла. Спин-спиновая релаксация.

Спин-спиновые взаимодействия и их влияние на спектр ЭПР. Процессы спин-спиновой релаксации.

Механизм обменного сужения линий ЭПР.

Особенности спектроскопии ферромагнитного резонанса.

Описание спинового упорядочения в ферромагнетиках на основе гейзенберговского обменного гамильтониана

Спиновые волны в ферромагнетике

Суть и особенности ферромагнитного резонанса

Влияние кристаллической магнитной анизотропии на резонансную частоту ФМР в ферромагнетиках или ферримагнитный резонанс

Антиферромагнитный резонанс.

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.

Акустика в задачах : учеб. рук. для вузов / под ред. С. Н. Гурбатова, О. В. Руденко. - М. : Наука, 1996. - 336 с. - 12000.00.

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 - Задания) для оценки сформированности компетенции ПК-1:

1. Понятие "сплошности" среды. Эйлеров и Лагранжев способ описания движения жидкости. Понятие субстанциальной и локальной производной.
2. Уравнение неразрывности для сжимаемой и несжимаемой жидкости.
3. Уравнение движения идеальной жидкости (уравнение Эйлера). Его представление в векторной форме и в проекциях в декартовой системе координат
4. Закон сохранения энергии. Поток энергии.
5. Закон сохранения импульса. Тензор плотности потока импульса и его представление в декартовой системе координат.
6. Уравнение гидростатики. Условие гидродинамического равновесия. Частота Брента- Вайсяля.
7. Теорема Бернулли для стационарного и нестационарного случая.
8. Потенциальные и вихревые движения жидкости.
9. Потенциальное обтекание шара.
10. Парадокс Даламбера-Эйлера.
11. Сила сопротивления при неравномерном движении. Понятие присоединенной массы. Присоединенная масса сферы и единицы длины бесконечного кругового цилиндра.
12. Функция тока и комплексный потенциал. Примеры плоских потенциальных течений
13. Потенциальное обтекание кругового бесконечного цилиндра с циркуляцией. Формула Жуковского для подъемной силы.
14. Стационарные вихревые движения жидкости идеальной несжимаемой жидкости. Примеры.
15. Теорема Томсона о циркуляции. Теоремы Гельмгольца о вихрях.

16. Элементарные вихревые движения и их взаимодействия.
17. Поверхностные гравитационные волны (длинные, короткие, гравитационно-капиллярные) и их основные свойства (траектории движения частиц, дисперсионные уравнения, фазовые и групповые скорости).
18. Уравнение движения вязкой несжимаемой жидкости (уравнение Навье-Стокса). Его представление в векторной форме и в проекциях в декартовой системе координат.
19. Тензор вязких напряжений. Его физический смысл и представление в декартовой системе координат.
20. Граничные условия на поверхности тела, обтекаемого потоком идеальной или вязкой жидкости.
21. Течения Куэтта и Пуазейля с плоской и круговой симметрией. Формула Пуазейля для расхода жидкости.
22. Колебательные движения вязкой несжимаемой жидкости. Вязкие волны. Понятие скин-слоя.
23. Принцип подобия и его использование в гидродинамических задачах. Числа Рейнольдса, Фруда, Струхала и их физический смысл.
24. Движение тел в вязкой среде при малых числах Рейнольдса. Формула Стокса.
25. Пограничный слой. Обтекание полубесконечной пластины. Уравнение Прандтля.
26. Неустойчивость сдвигового течения. Турбулентность.
27. Основные уравнения гидродинамики сжимаемой жидкости в линейном приближении. Звуковые волны. Волновое уравнение. Связь между скоростью, давлением и плотностью в плоской акустической волне.

Критерии оценивания (оценочное средство - Задания)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	успешное выполнение практических заданий, выданных преподавателем, владение программным материалом, понимание сущности рассматриваемых процессов и явлений, умение самостоятельно обозначить точки активного роста нового знания.
не зачтено	невыполнение практических заданий, выданных преподавателем, полное непонимание смысла проблем, не достаточно полное владение терминологией, неумение самостоятельно обозначить проблемные ситуации.

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	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место	Минимально допустимый уровень знаний.	Уровень знаний в объеме, соответствующем	Уровень знаний в объеме, соответствующем	Уровень знаний в объеме, соответствующем	Уровень знаний в объеме, превышающем программу

	оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	грубые ошибки	Допущено много негрубых ошибок	программе подготовки . Допущено несколько негрубых ошибок	программе подготовки . Допущено несколько несущественных ошибок	программе подготовки и. Ошибок нет.	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	Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами .	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с отдельными и несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме	Продемонстрированы 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 некоторым и недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторым и недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов	Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов	Продемонстрирован 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 - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ПК-1

1. Уравнение неразрывности для сжимаемой и несжимаемой жидкости.
2. Уравнение движения идеальной жидкости (уравнение Эйлера).
3. Закон сохранения энергии. Поток энергии.
4. Закон сохранения импульса. Тензор плотности потока импульса.
5. Уравнение гидростатики.
6. Теорема Бернулли для стационарного и нестационарного случая.
7. Теорема Бернулли для сжимаемой и несжимаемой жидкости.
8. Парадокс Даламбера-Эйлера.
9. Потенциальное движение идеальной несжимаемой жидкости. Функция потенциала скорости.
10. Сила сопротивления при неравномерном движении. Понятие присоединенной массы.
11. Функция тока и комплексный потенциал.
12. Примеры плоских потенциальных течений.
13. Формула Жуковского для подъемной силы.
14. Теорема Томсона о циркуляции.
15. Теоремы Гельмгольца о вихрях.
16. Элементарные вихревые движения и их взаимодействия.
17. Уравнение движения вязкой несжимаемой жидкости (уравнение Навье-Стокса).
18. Тензор вязких напряжений.
19. Граничные условия на поверхности тела, обтекаемого потоком идеальной или вязкой жидкости.
20. Течения Куэтта и Пуазейля с плоской и круговой симметрией.
21. Вязкие волны. Понятие скин-слоя.
22. Числа Рейнольдса, Фруда, Струхала и их физический смысл.
23. Движение тел в вязкой среде при малых числах Рейнольдса. Формула Стокса
24. Основные уравнения гидродинамики сжимаемой жидкости в линейном приближении.
25. Уравнения гидродинамики идеальной жидкости.
26. Уравнения линейной акустики идеальной среды.
27. Линейные уравнения акустики вязкой и теплопроводящей среды.
28. Граничные условия на границе двух жидких сред.
29. Отражение и преломление плоских волн на плоской границе двух жидких и непоглощающих сред.

30. Полное внутреннее отражение на плоской границе двух сред.
31. Отражение звука от поглощающей среды. 8. Прохождение плоской волны через плоский жидкий слой.
32. Уравнения акустики движущихся сред.
33. Волновое уравнение в плавно неоднородной среде.
34. Геометрическая акустика. Уравнение эйконала. Уравнение луча.
35. Обобщенный закон Декарта-Снеллиуса.
36. Приближение ВКБ.
37. Сферически симметричные решения волнового уравнения. Объемная скорость. Импеданс сферической волны.
38. Акустический диполь.

Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольные вопросы)

Оценка	Критерии оценивания
превосходно	превосходное владение программным материалом, понимание сущности рассматриваемых процессов и явлений, знание основных положений дисциплины, умение применять концептуальный аппарат при анализе актуальных проблем. Логически последовательные, содержательные, конкретные ответы на все вопросы экзаменационного билета и на дополнительные вопросы, свободное владение источниками. Практическая часть курса успешно выполнена
отлично	исчерпывающее владение программным материалом, понимание сущности рассматриваемых процессов и явлений, твердое знание основных положений дисциплины, умение применять концептуальный аппарат при анализе актуальных проблем. Логически последовательные, содержательные, конкретные ответы на все вопросы экзаменационного билета и на дополнительные вопросы, свободное владение источниками. Практическая часть курса успешно выполнена.
очень хорошо	полные знания программного материала, правильное понимание сути вопросов, знание определений, умение формулировать тезисы и аргументы. Ответы последовательные и в целом правильные, хотя допускаются неточности, знакомство с отдельными теориями и фактами. Практическая часть курса успешно выполнена.
хорошо	достаточно полные знания программного материала, правильное понимание сути вопросов, знание определений, умение формулировать тезисы и аргументы. Ответы последовательные и в целом правильные, хотя допускаются неточности, поверхностное знакомство с отдельными теориями и фактами, достаточно формальное отношение к рекомендованным для подготовки материалам. Практическая часть курса успешно выполнена.
удовлетворительно	фрагментарные знания, расплывчатые представления о предмете. Ответ содержит как правильные утверждения, так и ошибки, возможно, грубые. Испытуемый плохо ориентируется в учебном материале, не может устранить неточности в своем ответе даже после наводящих вопросов.

Оценка	Критерии оценивания
	Практическая часть курса успешно выполнена
неудовлетворительно	отсутствие ответа хотя бы на один из основных вопросов, либо грубые ошибки в ответах, полное непонимание смысла проблем, не достаточно полное владение терминологией. Практическая часть курса не выполнена или выполнена не в полном объеме.
плохо	отсутствие ответа на оба основных вопроса, либо грубые ошибки в ответах, полное непонимание смысла проблем, не владение терминологией. Практическая часть курса не выполнена или выполнена не в полном объеме.

5.3.2 Типовые задания (оценочное средство - Задачи) для оценки сформированности компетенции ПК-1

1. Слой вязкой несжимаемой жидкости толщины H соприкасается с неограниченной плоской поверхностью, совершающей в своей плоскости гармонические колебания с амплитудой V_0 и частотой. Найти скорость движения жидкости $V(r, t)$ и силу вязкого трения, действующую на единицу площади колеблющейся плоскости, если другая поверхность слоя жидкости соприкасается с неподвижной стенкой. Плотность жидкости, коэффициент вязкости.
2. Найти распределение давления внутри земного шара $P(r)$, считая его состоящим из однородной несжимаемой жидкости плотности и пренебрегая вращением Земли. Радиус Земли R , ускорение свободного падения на поверхности g_0 , атмосферное давление P_0 , гравитационная постоянная $Q - iG$.

Критерии оценивания (оценочное средство - Задачи)

Оценка	Критерии оценивания
превосходно	превосходное владение программным материалом, понимание сущности рассматриваемых процессов и явлений, знание основных положений дисциплины, умение применять концептуальный аппарат при анализе актуальных проблем. Логически последовательные, содержательные, конкретные ответы на все вопросы экзаменационного билета и на дополнительные вопросы, свободное владение источниками. Практическая часть курса успешно выполнен
отлично	исчерпывающее владение программным материалом, понимание сущности рассматриваемых процессов и явлений, твердое знание основных положений дисциплины, умение применять концептуальный аппарат при анализе актуальных проблем. Логически последовательные, содержательные, конкретные ответы на все вопросы экзаменационного билета и на дополнительные вопросы, свободное владение источниками. Практическая часть курса успешно выполнена.
очень хорошо	полные знания программного материала, правильное понимание сути

Оценка	Критерии оценивания
	вопросов, знание определений, умение формулировать тезисы и аргументы. Ответы последовательные и в целом правильные, хотя допускаются неточности, знакомство с отдельными теориями и фактами. Практическая часть курса успешно выполнена.
хорошо	достаточно полные знания программного материала, правильное понимание сути вопросов, знание определений, умение формулировать тезисы и аргументы. Ответы последовательные и в целом правильные, хотя допускаются неточности, поверхностное знакомство с отдельными теориями и фактами, достаточно формальное отношение к рекомендованным для подготовки материалам. Практическая часть курса успешно выполнена.
удовлетворительно	фрагментарные знания, расплывчатые представления о предмете. Ответ содержит как правильные утверждения, так и ошибки, возможно, грубые. Испытуемый плохо ориентируется в учебном материале, не может устранить неточности в своем ответе даже после наводящих вопросов. Практическая часть курса успешно выполнена.
неудовлетворительно	отсутствие ответа хотя бы на один из основных вопросов, либо грубые ошибки в ответах, полное непонимание смысла проблем, не достаточно полное владение терминологией. Практическая часть курса не выполнена или выполнена не в полном объеме.
плохо	отсутствие ответа на оба основных вопроса, либо грубые ошибки в ответах, полное непонимание смысла проблем, не владение терминологией. Практическая часть курса не выполнена или выполнена не в полном объеме.

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

Основная литература:

1. Ландау Лев Давидович. Теоретическая физика : [учеб. пособие для физ. специальностей ун-тов : в 10 т.]. Т. 6. Гидродинамика. - 3-е изд., перераб. - М. : Наука, 1986. - 736 с. : ил. - Содержание данного тома входило в книгу "Механика сплошных сред". - 1.80., 135 экз.
2. Сборник задач по механике сплошных сред: гидромеханика и акустика : учеб. пособие / ННГУ. - Н. Новгород : Изд-во Нижегород. гос. ун-та, 2006. - 93 с. - В надзаг.: Национальный проект "Образование". Инновационная программа Нижегородского университета: Образовательно-научный центр "Информационно-телекоммуникационные системы: физические основы и математическое обеспечение". - ISBN 5-85746-918-X : 15.00., 193 экз.
3. Гурбатов Сергей Николаевич. Лекции по механике сплошных сред : учеб. пособие / С. Н. Гурбатов ; ННГУ им. Н. И. Лобачевского, Радиофиз. фак. - Нижний Новгород : Изд-во ННГУ, 2023. - 137 с. : рис. - ISBN 978-5-91326-797-9., 51 экз.

Дополнительная литература:

1. Акустика в задачах : учеб. рук. для вузов / под ред. С. Н. Гурбатова, О. В. Руденко. - М. : Наука, 1996. - 336 с. - 12000.00., 43 экз.

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

1. Гурбатов С.Н., Грязнова И.Ю., Демин И.Ю., Курин В.В., Прончатов-Рубцов Н.В. Электронный задачник «Основы механики сплошных сред: гидромеханика и акустика» / Фонд образовательных электронных ресурсов ННГУ, 2012. – 95 с.
http://www.unn.ru/books/met_files/Zadachnic_MSS.doc
2. Грязнова И.Ю., Мартянов А.И. "Экспериментальные исследования закономерностей обтекания цилиндра и крыла воздушным потоком на аэростенде ТМЖ-1М". Электронное учебно-методическое пособие. / Фонд образовательных электронных ресурсов ННГУ, 2012. – 60 с.
<http://www.unn.ru/books/resources.html>
3. Курин В.В., Грязнова И.Ю., Клемина А.В., Мартянов А.И. УМК "Основы механики сплошных сред"/ Фонд образовательных электронных ресурсов ННГУ, 2011. – 88 с.
<http://www.unn.ru/books/resources.html>

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных образовательной программой, оснащены мультимедийным оборудованием (проектор, экран), 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 по направлению подготовки/специальности 03.03.02 - Физика.

Автор(ы): Хомицкий Денис Владимирович, кандидат физико-математических наук, доцент.

Заведующий кафедрой: Бурдов Владимир Анатольевич, доктор физико-математических наук.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 30.11.2024, протокол № б/н.