

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

УТВЕРЖДАЮ

Декан механико-математического
факультета, д.ф.-м.н., профессор,
член-корреспондент РАН,



/А.И. Шафаревич /

«30» сентября 2022г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Ударные волны в конденсированных средах

Shock waves in condensed matter

Уровень высшего образования:

Аспирантура

Рабочая программа рассмотрена и
одобрена на заседании кафедры
газовой и волновой динамики
(протокол № 7 21/22 от 30 мая 2022)

Москва 2022

Рабочая программа дисциплины разработана в соответствии с программой подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова

1. Краткая аннотация:

Название дисциплины - Ударные волны в конденсированных средах

Специальный курс для аспирантов 2 года обучения посвящен изучению ударных волн в различных средах. Более подробно разобраны некоторые примеры волновых взаимодействий. Интерпретация результатов регистрации волн сжатия и разрежения. Уравнения состояния. Взрывные генераторы динамических давлений. Баллистические установки для экспериментов с ударными волнами. Перспективные источники высоких динамических давлений. Генерация импульсов сжатия при воздействии мощных потоков излучения на вещество. Дискретные методы измерения волновых и массовых скоростей. Методы регистрации профилей давления. Методы регистрации профилей скорости движения вещества. Методы регистрации с пикосекундным временным разрешением. Основные соотношения и модели. Модули упругости и скорости звука в ударно-сжатых металлах. Динамический предел упругости. Структура пластических ударных волн. Температурные эффекты. Поведение керамических и геологических материалов при ударно-волновом нагружении. Особенности ударно-волнового деформирования стекла. Волна разрушения в стекле. Измерения температурно-скоростных зависимостей напряжения пластического течения. Приближение к идеальной сдвиговой прочности.

Цель изучения дисциплины

– освоение современных научных достижений и методов теоретического анализа и оценки в области математического моделирования динамических систем, а также подходов к решению исследовательских и прикладных задач, в том числе в междисциплинарных областях;

- умение физически корректно ставить задачи теоретической и прикладной механики, выбирать оптимальные методы их решения, представлять и интерпретировать полученные результаты, выявлять новые закономерности при изучении объектов математики и механики, давать качественные заключения о движении сложных механических систем;

- приобретение навыков создания и исследования новых математических моделей, востребованных в современной науке и технике.

2. Уровень высшего образования— аспирантура

3. Научная специальность: **1.1.8. Механика деформируемого твердого тела (по физико-математическим наукам)** Группа научных специальностей: 1.1. Математика и механика
Область науки: 1. Естественные науки

1.1.9. Механика жидкости газа и плазмы (по физико-математическим наукам) Группа научных специальностей: 1.1. Математика и механика Область науки: 1. Естественные науки

4. Место дисциплины (модуля) в структуре Программы аспирантуры: 2. Образовательная компонента, блок 2.1: «Дисциплины (модули), направленные на подготовку к сдаче кандидатских экзаменов». Является специальным полугодовым курсом по выбору для аспирантов 2-го года обучения по научным специальностям 1.1.8. «Механика деформируемого твердого тела» и 1.1.9. «Механика жидкости, газа и плазмы» или по смежной специальности.

5. Объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах с указанием количества академических или астрономических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся:

Объем дисциплины (модуля) составляет 2 зачетных единицы, всего 72 часа, из которых 42 часа составляет контактная работа студента с преподавателем (30 часов занятия лекционного типа, 12 часов мероприятия текущего контроля успеваемости и 3 промежуточной аттестации), 30 часов составляет самостоятельная работа учащегося.

6. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия.

Знать: основы математического и функционального анализа, высшей и линейной алгебры, дифференциальных уравнений и дифференциальной геометрии; фундаментальные понятия теоретической механики и механики сплошной среды, постановки классических и современных задач механики, базовые качественные и количественные методы исследования механических задач.

Уметь: формулировать и доказывать основные классические и современные результаты механики сплошной среды, а также применять их для решения стандартных задач.

Владеть: основными принципами, методами и навыками решения классических и современных задач механики.

На предыдущих уровнях высшего образования должны быть освоены общие курсы:

1. Математический анализ
2. Аналитическая геометрия
3. Линейная алгебра и геометрия
4. Классическая дифференциальная геометрия
5. Алгебра
6. Комплексный анализ
7. Функциональный анализ
8. Дифференциальные уравнения
9. Теоретическая механика
10. Механика сплошной среды

7. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам

Наименование и <u>краткое</u> содержание разделов и тем дисциплины (модуля), форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	Всего (часы)	В том числе								
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них					Самостоятельная работа обучающегося, часы из них			
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Групповые консультации	Индивидуальные консультации	Учебные занятия, направленные на проведение текущего контроля успеваемости коллоквиумы, практические контрольные занятия и др.	Всего	Выполнение домашних заданий	Подготовка рефератов и т.п.	Всего
Тема 1. Уравнения одномерного движения сжимаемых сред. Ударные волны. Некоторые примеры волновых взаимодействий.	4	2					2	2		2

Тема 2. Интерпретация результатов регистрации волн сжатия и разрежения. Уравнения состояния. Взрывные генераторы динамических давлений.	4	2					2	2		2
Тема 3. Баллистические установки для экспериментов с ударными волнами. Перспективные источники высоких динамических давлений. Генерация импульсов сжатия при воздействии мощных потоков излучения на вещество.	6	2				2	4	2		2
Тема 4. Дискретные методы измерения волновых и массовых скоростей. Методы регистрации профилей давления.	4	2					2	2		2
Тема 5. Методы регистрации профилей скорости движения вещества.	4	2					2	2		2
Тема 6. Методы регистрации с пикосекундным временным разрешением.	6	2				2	4	2		2
Тема 7. Основные соотношения и модели. Модули упругости и скорости звука в ударно-сжатых металлах.	4	2					2	2		2
Тема 8. Динамический предел упругости. Структура пластических ударных волн.	4	2					2	2		2

Тема 9. Температурные эффекты.	6	2				2	4	2		2
Тема 10. Особенности ударно-волнового деформирования стекла.	4	2					2	2		2
Тема 11. Волна разрушения в стекле.	4	2					2	2		2
Тема 12. Измерения температурно-скоростных зависимостей напряжения пластического течения.	6	2				2	4	2		2
Тема 13. Приближение к идеальной сдвиговой прочности.	4	2					2	2		2
Тема 14. Поведение керамических и геологических материалов при ударно-волновом нагружении.	4	2					2	2		2
Тема 15. Достижения последних лет.	6	2				2	4	2		2
Промежуточная аттестация: экзамен			2							
Итого	72	30				12	40	30		30

8. Образовательные технологии.

Проводятся лекции с использованием мультимедийной техники и лекции демонстрации.

9. Учебно-методические материалы для самостоятельной работы по дисциплине (модулю):

Аспирантам предоставляется программа курса, план занятий и задания для самостоятельной работы, презентации к лекционным занятиям.

10. Фонды оценочных средств.

- Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения, характеризующих этапы формирования компетенций:

1. Краткие сведения из механики сплошных сред.

- 1.1. Уравнения одномерного движения сжимаемых сред. Ударные волны.
- 1.2. Некоторые примеры волновых взаимодействий.
- 1.3. Интерпретация результатов регистрации волн сжатия и разрежения.
- 1.4. Уравнения состояния.

2. Экспериментальная техника в физике высоких динамических давлений.

- 2.1. Взрывные генераторы динамических давлений.
- 2.2. Баллистические установки для экспериментов с ударными волнами.
- 2.3. Перспективные источники высоких динамических давлений. Генерация импульсов сжатия при воздействии мощных потоков излучения на вещество.
- 2.4. Дискретные методы измерения волновых и массовых скоростей.
- 2.5. Методы регистрации профилей давления.
- 2.6. Методы регистрации профилей скорости движения вещества.
- 2.7. Достижения последних лет: Методы регистрации с пикосекундным временным разрешением.

3. Упругопластические свойства твердого тела при ударно-волновом нагружении.

- 3.1. Основные соотношения и модели.
- 3.2. Модули упругости и скорости звука в ударно-сжатых металлах.
- 3.3. Динамический предел упругости.
- 3.4. Структура пластических ударных волн.
- 3.5. Температурные эффекты
- 3.6. Поведение керамических и геологических материалов при ударно-волновом нагружении.
- 3.7. Особенности ударно-волнового деформирования стекла. Волна разрушения в стекле.

3.8. Измерения температурно-скоростных зависимостей напряжения пластического течения. Приближение к идеальной сдвиговой прочности.

4. Модели динамического деформирования твердых тел.

- 4.1. Феноменологические определяющие уравнения.
- 4.2. Дислокационные модели пластической деформации кристаллических тел.
- 4.3. Многоэлементная модель Мазинга.
- 4.4. Модели хрупких материалов.
- 4.5. Пористые материалы.

5. Явление откола при отражении импульса сжатия от поверхности тела.

- 5.1. Волновые взаимодействия при отколе.
- 5.2. Методы измерений откольной прочности.
- 5.3. Динамика области кавитации при отражении импульса сжатия от границы раздела двух сред.
- 5.4. Эволюция волны растяжения и растягивающих напряжений за плоскостью откола.
- 5.5. Влияние кинетики разрушения на формирование откольного импульса.
- 5.6. Результаты динамических измерений разрушающих напряжений. Влияние структуры материала, параметров ударно-волновой нагрузки и температуры испытаний. Приближение к идеальной прочности.
- 5.7. Критерии и модели. Работа откольного разрушения. Краевые эффекты откола.

6. Полиморфные превращения при ударном сжатии твердых тел

7. Детонационные явления в твердых взрывчатых веществах

- 7.1. Плоские стационарные детонационные волны.
- 7.2. Критический диаметр детонации.
- 7.3. Инициирование детонации ударной волной.
- 7.4. Чувствительность твердых взрывчатых веществ к ударно-волновым воздействиям.
- 7.5. Эволюция ударных волн при инициировании детонации твердых взрывчатых веществ.
- 7.6. Возникновение и развитие очагов реакции при ударно-волновом инициировании детонации.
- 7.7. Уравнения макрокинетики разложения твердых взрывчатых веществ в ударных волнах.
- 7.8. Уравнения состояния взрывчатых веществ.
- 7.9. Уравнения состояния продуктов взрыва.

Каждый вопрос соответствует экзаменационному билету, в билете 1 вопрос.

РЕЗУЛЬТАТ ОБУЧЕНИЯ по дисциплине (модулю)	КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТА ОБУЧЕНИЯ по дисциплине (модулю) и ШКАЛА оценивания					ПРОЦЕДУРЫ ОЦЕНИВАНИЯ
	1	2	3	4	5	
З1 (УК-1) Знать методы критического анализа и оценки современных научных достижений, а также методы генерирования новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях	Отсутствие знаний	Фрагментарные знания методов критического анализа и оценки современных научных достижений, а также методов генерирования новых идей при решении исследовательских и практических задач	Общие, но не структурированные знания методов критического анализа и оценки современных научных достижений, а также методов генерирования новых идей при решении исследовательских и практических задач	Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания основных методов критического анализа и оценки современных научных достижений, а также методов генерирования новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе междисциплинарных	Сформированные систематические знания методов критического анализа и оценки современных научных достижений, а также методов генерирования новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе междисциплинарных	Индивидуальное собеседование
У1 (УК-1) Уметь анализировать альтернативные варианты решения исследовательских и практических задач и оценивать потенциальные выигрыши/проигрыши реализации этих вариантов	Отсутствие умений	Частично освоенное умение анализировать альтернативные варианты решения исследовательских и практических задач и оценивать потенциальные выигрыши/проигрыши реализации этих вариантов	В целом успешно, но не систематически осуществляемые анализ альтернативных вариантов решения исследовательских и практических задач и оценка потенциальных выигрышей/проигрышей реализации этих вариантов	В целом успешно, но содержащие отдельные пробелы анализ альтернативных вариантов решения исследовательских задач и оценка потенциальных выигрышей/проигрышей реализации этих вариантов	Сформированное умение анализировать альтернативные варианты решения исследовательских и практических задач и оценивать потенциальные выигрыши/проигрыши реализации этих вариантов	Практические контрольные задания
З1 (ОПК1)	Отсутствие знаний	Фрагментарные представления о результатах, проблемах, методах научных исследований в области математики и смежных областях	Неполные представления о результатах, проблемах, методах научных исследований в области математики и смежных областях	Сформированные, но содержащие отдельные пробелы представления о результатах, проблемах, методах научных исследований в области математики и смежных областях	Сформированные систематические представления о результатах, проблемах, методах научных исследований в области математики и смежных областях	Индивидуальное собеседование

VI (ОПК1)	Отсутствие умений	Фрагментарное умение разработки и применения методов и алгоритмов научных исследований	В целом успешное, но не систематическое умение разработки и применения методов и алгоритмов научных исследований	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение разработки и применения методов и алгоритмов научных исследований	Сформированное умение разработки и применения методов и алгоритмов научных исследований	Практические контрольные задания
З (ПК-10)-1 Знать основные и специальные разделы механики деформируемого твердого тела и механики многофазных сред, и механики многофазных сред, качественные и количественные методы исследования механических систем, современные тенденции в разработке моделей механики	Отсутствие знаний	Фрагментарные представления об основных и специальных разделах механики деформируемого твердого тела и механики многофазных сред, методах исследования механических систем, современных тенденциях в механике	Неполные представления об основных и специальных разделах механики деформируемого твердого тела и механики многофазных сред, методах исследования механических систем, современных тенденциях в механике	Сформированные, но содержащие отдельные пробелы представления об основных и специальных разделах механики деформируемого твердого тела и механики многофазных сред, методах исследования механических систем, современных тенденциях в механике	Сформированные систематические представления об основных и специальных разделах механики деформируемого твердого тела и механики многофазных сред, методах исследования механических систем, современных тенденциях в разработке моделей механики	Индивидуальное собеседование
У (ПК-10)-1 Уметь физически корректно ставить задачи механики деформируемого твердого тела и механики многофазных сред, и механики многофазных сред, выбирать методы их анализа и решения, представлять и интерпретировать полученные результаты, давать качественные заключения о поведении сложных механических систем,	Отсутствие умений	Фрагментарное умение физически корректно ставить задачи механики деформируемого твердого тела и механики многофазных сред, выбирать методы их анализа и решения, представлять и интерпретировать полученные результаты, давать качественные заключения о поведении сложных механических систем,	В целом успешное, но не систематическое умение физически корректно ставить задачи механики деформируемого твердого тела и механики многофазных сред, выбирать методы их анализа и решения, представлять и интерпретировать полученные результаты, давать качественные заключения о поведении сложных механических систем, анализировать протекающие процессы	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение физически корректно ставить задачи механики деформируемого твердого тела и механики многофазных сред, и механики многофазных сред, выбирать методы их анализа и решения, представлять и интерпретировать полученные результаты, давать качественные заключения о поведении сложных механических систем,	Сформированное умение физически корректно ставить задачи механики деформируемого твердого тела и механики многофазных сред, выбирать методы их анализа и решения, представлять и интерпретировать полученные результаты, давать качественные заключения о поведении сложных механических систем,	Практические контрольные задания

поведении сложных механических систем, анализировать протекающие процессы		анализировать протекающие процессы		систем, анализировать протекающие процессы	анализировать протекающие процессы	
---	--	------------------------------------	--	--	------------------------------------	--

12. Ресурсное обеспечение:

- Перечень основной и дополнительной учебной литературы

- Конспект лекций

- Зельдович Я.Б., Райзер Ю.П. Физика ударных волн и высокотемпературных гидродинамических явлений. (М.: Наука, 1966, 686 с.).
- Г.И. Канель, С.В. Разоренов, А.В. Уткин, В.Е. Фортвов. Ударно-волновые явления в конденсированных средах. Москва, изд-во "Янус-К", 1996, 407 с.
- Г.И. Канель, В.Е. Фортвов С.В. Разоренов, Ударные волны в физике конденсированного состояния. Успехи физических наук, 2007, том 177, № 8, 809-830.
- Р.И. Нигматулин. Динамика многофазных сред. Том 1. Москва. Изд. Наука 1987
- Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»:
Электронная библиотека попечительского совета механико-математического факультета МГУ (lib.mexmat.ru)
- Перечень используемых информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса, включая программное обеспечение, информационные справочные системы (при необходимости):
Мультимедийные средства представления информации (мультимедиа-проектор)
- Описание материально-технической базы:
- Мультимедийные средства представления информации (персональный компьютер, мультимедиа-проектор)
- Традиционные средства представления информации (доска меловая; доска пластиковая)

13. Язык преподавания.

Русский

14. Преподаватель (преподаватели).

А.Б. Киселев, д.ф.-м.н., профессор

e-mail, тел.: - 