

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«ФЕДЕРАЛЬНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
«КРИСТАЛЛОГРАФИЯ И ФОТОНИКА»
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК»
(ФНИЦ «КРИСТАЛЛОГРАФИЯ И ФОТОНИКА» РАН)

Принято на Ученом совете
ИПЛИТ РАН – филиала
ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН
Протокол № 4/2020 от 24 сентября 2020 г.

УТВЕРЖДАЮ

Директор
ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН

 О.А. Алексеева

« 24 » сентября 2020 г.



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
учебной дисциплины
«ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ МОЩНОГО ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ
С ВЕЩЕСТВОМ»

направление подготовки **11.06.01** Электроника, радиотехника и системы связи
направленность **Квантовая электроника (05.27.03)**

Квалификация
Исследователь. Преподаватель-исследователь

 

Шатура
2020

1. Цели и задачи дисциплины

Целью освоения дисциплины «Взаимодействие мощного лазерного излучения с веществом» является овладение современными профессиональными знаниями в области квантовой электроники, связанной с исследованием физических процессов в материалах под действием излучения мощных лазеров для разработки и оптимизации промышленных лазерных технологий.

Задачи дисциплины:

- формирование представления об основах лазерных микро- и макротехнологий;
- изучение физики процессов поглощения лазерного излучения (ЛИ) металлами и полупроводниками;
- изучение основных свойств поверхностных электромагнитных волн оптического диапазона;
- изучение общих характеристик лазерного нагрева материалов и рассмотрение особенностей термических эффектов, сопровождающих процесс нагрева;
- рассмотрение механизма формирования лазерно-индуцированных гидродинамических неустойчивостей на поверхности металлов и полупроводников;
- приобретение практических навыков расчета основных параметров лазерного излучения;
- изучение и практическое использование методов и приборов диагностики процессов теплового воздействия лазерного излучения на материалы.

2. Место дисциплины в структуре основной образовательной программы аспирантуры

Дисциплина «Математическое моделирование лазерных процессов» (индекс Б1.В.ДВ.1.1) относится к вариативной части программы подготовки аспирантов по направлению подготовки 11.06.01 Электроника, радиотехника и системы связи (направленность 05.27.03 Квантовая электроника).

Дисциплина после выбора должна быть освоена аспирантом обязательно (но не обязательно в период обучения, отмеченный в базовом учебном плане).

3. Компетенции, формируемые в результате освоения дисциплины

Освоение дисциплины «Взаимодействие мощного лазерного излучения с веществом» направлено на формирование следующих универсальных (УК), общепрофессиональных (ОПК) и профессиональных (ПК) компетенций аспиранта:

УК-1 (способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях);

ОПК-1 (владение методологией теоретических и экспериментальных исследований в области профессиональной деятельности);

ОПК-2 (владение культурой научного исследования, в том числе с использованием новейших информационно-коммуникационных технологий);

ПК-1 (способность проводить научные исследования и технические разработки лазеров, приборов, систем и комплексов с использованием лазерного излучения, материалов, элементно-узловой базы, технологий и специального оборудования с целью развития лазерной техники и лазерных информационных и фотонных технологий и их применения в различных отраслях науки, технике, медицине).

4. Требования к результатам освоения содержания дисциплины

В результате освоения дисциплины «Взаимодействие мощного лазерного излучения с веществом» аспирант должен

знать:

- общие понятия и определения, используемые при описании процессов взаимодействия ЛИ с веществами; основные свойства и параметры ЛИ;
- перспективные направления исследований в области применения ЛИ в науке и технологиях;
- основные механизмы поглощения лазерного излучения в металлах и полупроводниках (скин-эффект, поверхностное поглощение, межзонное поглощение, внутризонное поглощение, примесное, экситонное);
- основные характеристики лазерного нагрева материалов и тепловые эффекты (плавление, испарение, кристаллизация, термохимические реакции, термомодеформирование, термоупрочнение) сопровождающие процесс нагрева;
- механизмы тепловых неустойчивостей при лазерном нагреве металлов и полупроводников; механизмы положительных обратных связей между оптическими и фотофизическими процессами;
- основные виды и механизмы различных гидродинамических неустойчивостей (испарительно-капиллярной, термокапиллярной, концентрационно-капиллярных) на поверхности металлов и полупроводников,

уметь:

- оценить результаты влияния ЛИ заданной интенсивности и частоты на различные материалы;
- пояснить и теоретически описать механизмы поглощения и диссипации энергии ЛИ;
- пояснить и теоретически описать механизмы возникновения различных лазерно-индуцированных поверхностных неустойчивостей и периодических структур в металлах и полупроводниках;
- пользоваться своими знаниями для решения фундаментальных и прикладных задач лазерной обработки материалов;
- планировать оптимальное проведение физического эксперимента,

владеть:

- методами расчета коэффициентов поглощения излучения в металлах и полупроводниках;
- навыками расчета и измерения параметров нагрева, плавления, испарения и пробы различных сред;
- методами нахождения дисперсионных уравнений тепловых неустойчивостей при лазерном нагреве металлов и полупроводников и их критических волн и инкрементов нарастания;
- методами определения дисперсионных соотношений лазерно-индуцированных гидродинамических неустойчивостей (испарительно-капиллярной, термокапиллярной, концентрационно-капиллярных) и критических условий их возникновения (пороговая интенсивность излучения, максимальная скорость роста, критическая длина);
- навыками постановки физических задач в области физики взаимодействия лазерного излучения с различными материалами.

5. Планируемые результаты обучения по дисциплине

(заполняется в соответствии с картами компетенций)

Формируемые компетенции (код компетенции, уровень освоения)	Планируемые результаты обучения по дисциплине
УК-1	З1 (УК-1) Знать методы критического анализа и оценки современных достижений в выбранной области квантовой электроники, а также методы генерирования новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных обла-

	<p>стях.</p> <p>У1 (УК-1) Уметь анализировать альтернативные варианты решения исследовательских и практических задач и оценивать потенциальные выигрыши/проигрыши реализации этих вариантов.</p> <p>В1 (УК-1) Владеть навыками анализа методологических проблем, возникающих при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях</p>
ОПК-1	<p>З1 (ОПК-1) Знать методики анализа современных проблем, способы и методы решения теоретических и экспериментальных задач в выбранной области квантовой электроники.</p> <p>У1 (ОПК-1) Уметь обоснованно выбирать и применять расчетно-теоретические методы для разработки физических и математических моделей исследуемых процессов, явлений и объектов в выбранной области квантовой электроники.</p> <p>У2 (ОПК-1) Уметь обоснованно выбирать и применять экспериментальные методы исследования для решения научных задач в выбранной области квантовой электроники.</p> <p>В1 (ОПК-1) Владеть современными методами теоретических и экспериментальных исследований для решения задач в выбранной области профессиональной деятельности.</p>
ОПК-2	<p>З1 (ОПК-2) Знать современные информационные технологии, программные продукты и ресурсы сети Интернет для решения задач профессиональной деятельности.</p> <p>У1 (ОПК-2) Уметь использовать профессионально-профилированные знания в области современных информационных технологий, программных продуктов и ресурсов Интернет для решения задач профессиональной деятельности.</p> <p>В1 (ОПК-2) Владеть навыками поиска (в том числе с использованием новейших информационных систем и баз данных) и критического анализа научной и технической информации по тематике проводимых исследований.</p> <p>В2 (ОПК-2) Владеть навыками использования знаний в области информационных технологий, программных продуктов и ресурсов Интернет для решения задач профессиональной деятельности.</p>
ПК-1	<p>З1 (ПК-1) Знать современное состояние науки в области квантовой электроники, тенденции развития фундаментальных исследований и прикладных разработок лазеров и лазерных информационных и фотонных технологий, цели и задачи научных исследований в выбранной области, базовые принципы и методы их организации.</p> <p>З2 (ПК-1) Знать физические и конструкционные особенности лазеров разных типов, современные материалы, компоненты, лазерное диагностическое и технологическое оборудование, технологические процессы производства.</p> <p>У1 (ПК-1) Уметь проводить теоретические и экспериментальные исследования, включающие математическое и компьютерное моделирование, проектирование, конструирование, использование и эксплуатацию материалов, компонентов, приборов, устройств, установок квантовой электроники различного функционального назначения, лазерного технологического и диагностического оборудования.</p> <p>В2 (ПК-1) Владеть навыками исследования, моделирования, проектирования, конструирования и практического применения материалов, компонентов, приборов, устройств, установок квантовой электроники различного функционального назначения, лазерного технологического и диагностического оборудования.</p>

6. Структура и содержание дисциплины

6.1. Структура дисциплины

Вид работы	Семестр			Всего
	3-4			
Общая трудоёмкость, акад. часов	108			108
Аудиторная работа:	24			24
Лекции, акад. часов	12			12
Практические занятия, акад. часов	12			12
Лабораторные работы, акад. часов	-			-
Самостоятельная работа, акад. часов	80			80
Индивидуальные занятия, акад. часов	-			-
Вид итогового контроля (зачёт, зачёт с оценкой, экзамен) - ЗАЧЕТ	4			4

6.2. Разделы дисциплины

№ раздела	Наименование раздела	Аудиторная работа, трудоёмкость (акад. часов)	Самостоятельная работа, трудоёмкость (акад. часов)
1	Физические основы технологий с использованием мощного лазерного излучения	10	20
2	Лазерный нагрев материалов	10	30
3	Лазерно-индуцированные гидродинамические неустойчивости на поверхности материалов	4	20
	Итоговая аттестация (зачет)	4	10
	<i>Общая трудоёмкость дисциплины</i>	28	80

6.3. Лекции

№ раздела	№ лекции	Тематика	Трудоёмкость (акад. часов)
1	1	<i>Современные лазеры и лазерные технологии.</i> Основные тенденции развития. Физические основы лазерных микро – и макротехнологий. <i>Введение в классическую электродинамику.</i> Уравнения Максвелла. Свойства электромагнитной волны. Связь оптических постоянных с микрохарактеристиками металла. Дисперсионные соотношения.	2
1	2	<i>Поглощение излучения металлами и полупроводниками.</i> Частотная зависимость поглощательной способности металла. Скин-эффект и его свойства. Вклад аномальности скин-эффекта в поверхностное поглощение. Основные механизмы поглощения в полупроводниках. Межзонное поглощение. Понятие о насыщении межзонного поглощения. Внутризонное поглощение излучения и зависимость поглощательной способности полупроводника от концентрации неравновесных носителей. Экситонное поглощение све-	2

		та	
1	3	Поверхностные электромагнитные волны (ПЭВ) оптического диапазона. Основные свойства ПЭВ, структура и распределение полей, условия существования, дисперсионное соотношение. Методы возбуждения ПЭВ. Эффективность возбуждения ПЭВ на решетке и шероховатой поверхности. Вклад генерации и диссипации ПЭВ в поглощение излучения на поверхности металлов.	2
2	4	Общая характеристика лазерного нагрева материалов и сопровождающие термические эффекты. Особенности температурной кинетики при лазерном воздействии. Термические эффекты, сопровождающие лазерный нагрев. Термомеханические эффекты; твердофазные превращения; диффузионно-химические явления; эмиссионные процессы. Основные особенности лазерной активации процессов аррениусовского типа. Лазерное плавление поверхности. Особенности нагрева и охлаждения материалов при действии сверхкоротких лазерных импульсов.	2
2	5	Нелинейные режимы лазерного нагрева; тепловые неустойчивости. Нелинейные режимы лазерного нагрева металлов и полупроводников. Обратные связи между оптическими и фотофизическими процессами. Температурные зависимости поглотительной способности и коэффициентов объемного поглощения. Тепловая неустойчивость и стабилизация. Инерционные механизмы обратных связей. Особенности нелинейных режимов нагрева и тепловой неустойчивости при лазерной активации процессов аррениусовского типа.	2
3	6	Лазерно-индуцированные гидродинамические неустойчивости на поверхности металлов и полупроводников. Механизмы положительных обратных связей. Испарительно-капиллярная неустойчивость. Дисперсионные уравнения. Роль концентрационно-капиллярных и термокапиллярных эффектов. Самоорганизация упорядоченных микро-и наноструктур рельефа поверхности. Периодические структуры при лазерно-стимулированной кристаллизации и их практическое применение.	2
Общая трудоемкость лекций:			12

6.4. Практические занятия

№ раздела	№ практического занятия	Тематика	Трудоемкость (акад. часов)
1	1	Расчет параметров лазерного излучения: расходимости, плотности мощности, диаметра сфокусированного пятна, напряженности электрического поля в пятне, распределения интенсивности в пятне и в центре пятна, а также глубины проникновения тепла в тело.	2
2	2	Нагрев материала лазерным излучением. Уравнение теплопроводности; начальное и граничные условия. Расчет нагрева полупространства экспоненциально спадающим с глубиной тепловым источником. Особенности нагревания материала световым пятном конечного размера.	2
2	3	Лазерное плавление и испарение поверхности. Определение квази-	2

		стационарных параметров. Зависимость температуры и скорости лазерного разрушения от плотности интенсивности светового потока.	
1	4	Лазерная сварка материалов с глубоким проплавлением. Устойчивость каверны. Роль гидродинамических эффектов. Расчет полей деформации и напряжений. Лазерная резка. Параметры лазерной резки, резка непрерывным и импульсно-периодическим излучением.	2
3	5	Сравнительный анализ механизмов возникновения различных лазерно-индуцированных гидродинамических неустойчивостей на поверхности металлов и полупроводников	2
2	6	Методы и приборы диагностики процессов теплового воздействия лазерного излучения на материал, включая пирометрические. Системы стабилизации технологических параметров, включая емкостные, индуктивные и оптические способы контроля и управления.	2
Общая трудоемкость практических занятий:			12

6.5. Самостоятельные занятия

№ раз-дела	Вид самостоятельной работы	Трудоемкость (акад. часов)
1	Работа с лекционным материалом. Решение задач по заданию преподавателя. Решение задач на тему: Лазерная микрообработка материалов. Самостоятельный расчет значений плотности мощности ЛИ, необходимых для получения отверстия глубиной 0.1 см (длительность импульса 0.001 сек). Самостоятельное изучение темы: Лазерное сверление микроотверстий. Самостоятельное изучение зависимости поглощенной мощности ЛИ от глубины отверстия. Самостоятельное ознакомление с программами для расчета кинетики роста лунки при лазерном сверлении отверстий.	20
2	Работа с лекционным материалом. Решение задач по заданию преподавателя. Решение задач на тему: Лазерное термоупрочнение и сварка. Самостоятельный расчет: а) скорости нагрева и охлаждения при лазерной импульсной закалке стали; б) глубины закаленного слоя. Самостоятельное изучение темы: Лазерное легирование поверхности и лазерная сварка. Самостоятельное изучение зависимости геометрических характеристик сварного шва (глубина, ширина, профиль) от режимов проведения процесса. Самостоятельное ознакомление с программами для расчета температурных полей при лазерном упрочнении поверхностей.	30
3	Работа с лекционным материалом. Решение задач по заданию преподавателя. Решение задач на тему: Лазерно-индуцированные гидродинамические неустойчивости на поверхности материалов. Самостоятельное изучение темы: температурные и концентрационные зависимости поверхностных натяжений материалов. Самостоятельное изучение зависимости пространственных масштабов периодических структур от характеристик ЛИ (поляризация, длина вол-	20

	ны, интенсивность, длительности импульса). Самостоятельное ознакомление с программами для расчета дисперсионных соотношений неустойчивостей.	
	Подготовка к итоговой аттестации (зачету)	10
	Общая трудоемкость самостоятельной работы:	80

Руководитель дисциплины оставляет за собой право уточнять тематику и форму проведения аудиторных занятий.

Основная часть работы аспиранта является самостоятельной и включает изучение рекомендованной руководителем дисциплины литературы, работу с источниками, написание текстов, составление и защиту презентаций, подготовку к итоговому собеседованию и т.п.

По согласованию с руководителем дисциплины возможно проведение индивидуальных консультаций и собеседования с руководителем дисциплины.

В случае отсутствия аудиторных занятий или невозможности их посещать руководитель дисциплины предлагает аспиранту соответствующую отработку с тем же объемом оценки проделанной работы.

7. Аттестационные критерии

От аспиранта требуется посещение занятий, выполнение заданий руководителя дисциплины, знакомство с рекомендованной литературой, по согласованию с научным руководителем возможна подготовка зачетной письменной работы (реферата, аналитической записки, обзора источников или литературы и т.п.). При аттестации аспиранта оценивается качество работы на занятиях (умение вести научную дискуссию, способность четко и ёмко формулировать свои мысли), уровень подготовки к самостоятельной научно-исследовательской деятельности в избранной области, качество выполнения заданий (презентаций, докладов, аналитических записок и др.).

8. Требования к итоговой аттестации по дисциплине

Итоговая аттестация для дисциплины проводится в форме зачета.

Условия аттестации, а также вопросы для повторения (контрольные вопросы) и задания руководителя дисциплины определяются в начале курса. Обучающийся должен показать владение предметом, знание рекомендованных статей и монографий, материалов конференций и т.п., умение выполнять устные и письменные задания руководителя дисциплины.

9. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы

9.1. Перечень и карта компетенций дисциплины «Взаимодействие мощного лазерного излучения с веществом»

Универсальные компетенции						Общепрофессиональные компетенции					Профессиональные компетенции	
УК-1	УК-2	УК-3	УК-4	УК-5	УК-6	ОПК-1	ОПК-2	ОПК-3	ОПК-4	ОПК-5	ПК-1	ПК-2
+						+	+				+	

Критерии оценивания компетенций приведены в основной образовательной программе высшего образования – программе подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре по направлению подготовки 11.06.01 Электроника, радиотехника и системы связи, направленность 05.27.03 Квантовая электроника.

9.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения

9.2.1. Контрольные вопросы для сдачи зачета

1. Какой вид взаимодействия лазерного излучения определяет оптические свойства металла в ИК и видимой области спектра: а) со свободными электронами, б) со связанными электронами, в) с ионами решетки, г) с примесями?
2. Почему поглощательная способность металлов резко возрастает, когда частота падающего излучения превышает частоту плазменных колебаний электронов?
3. Поглощательная способность металлов практически не зависит от частоты падающего лазерного излучения в случае: а) низкочастотного нормального скин-эффекта; б) высокочастотного нормального скин-эффекта.
4. Чем в первую очередь определяется механизм поглощения света в полупроводниках: а) эффективной массой электронов; б) соотношением между шириной запрещенной зоны (E_g) и величиной кванта ($h\omega$) падающего излучения?
5. Зависит ли коэффициент поглощения в полупроводниках от интенсивности падающего лазерного излучения?
6. Чем обусловлен эффект насыщения межзонного поглощения в полупроводниках?
7. Максимальный коэффициент поглощения в полупроводниках соответствует: а) внутрizonному поглощению свободными носителями; б) плазменному поглощению; в) собственному или фундаментальному поглощению; г) экситонному поглощению?
8. Чем обусловлен эффект усиления поля при возбуждении светом ПЭВ?
9. От чего зависит период интерференционного поля, создаваемого падающим лазерным излучением и генерируемой ПЭВ?
10. В чем суть термокапиллярного и испарительно-капиллярного механизмов образования поверхностных периодических структур?
11. В чем состоит критерий самоорганизации периодических структур?
12. От чего зависит пространственный масштаб упорядоченных поверхностных структур?

10. Учебно-методическое обеспечение дисциплины

Обязательная литература

1. Ахманов С.А., Никитин С.Ю. Физическая оптика. М.: Наука, 2004. 654 с.
2. Делоне Н.Б. Взаимодействие лазерного излучения с веществом. М.: Наука, 1989.
3. Борн М., Вольф Э. Основы оптики. М.: Наука, 1973. 719 с.
4. Поверхностные поляритоны. / Под ред. В.М. Аграновича, Д.Л. Миллса. М.: Наука, 1985. 525 с.
5. Вейко В.П., Либенсон М.Н., Червяков Г.Г., Яковлев Е.Б. Взаимодействие лазерного излучения с веществом (силовая оптика) / Под ред. В.И. Конова. М.: Физматлит, 2008. 312 с.
6. Прохоров А.М., Конов В.И., Урсу И., Михайлеску Й. Взаимодействие лазерного излучения с металлами. М.: Наука, 1988.
7. Анисимов С.И., Имас Я.А., Романов Г.С., Ходыко Ю.В. Действие излучения большой мощности на металлы. М.: Наука, 1970. 272 с.
8. Введенев А.А., Гладуш Г. Г. Физические процессы при лазерной обработке материалов. М.: Энергоатомиздат, 1985.

Дополнительная литература

1. Лазеры в технологии. / Под ред. М.Ф. Стельмаха. М.: Энергия, 1975.

2. Арутюнян Р.В., Баранов В.Ю., Большов Л.А. и др. Воздействие лазерного излучения на материалы. М.: Наука, 1989.
3. Лазерные технологии обработки материалов: современные проблемы фундаментальных исследований и прикладных разработок / Под ред. В.Я. Панченко. М.: Физматлит, 2009. 664 с.
4. Мирзаде Ф. Х., Панченко В. Я. Шелепин Л. А. Лазерное управление процессами в твердом теле // Успехи физических наук, 1996. Т. 165, №1. С. 3-33.

Периодические издания, электронные ресурсы, включая доступ к базам данных и т.п.:

РИНЦ	https://elibrary.ru/orgs.asp
Web of Science	http://apps.webofknowledge.com/WOS_GeneralSearch_input.do?product=WOS&search_mode=General-Search&SID=F2LiEv3BvmxwoCqmOmV&preferencesSaved=
Scopus	https://www.scopus.com/home.uri
Google Scholar citations	https://scholar.google.ru/citations?user=NbJEoV8A-AAAJ&hl=ru
IOP Institute of Physics материалы компании IOP Publishing Limited, а именно, база данных IOP Journal	http://www.iop.org/
AIP материалы компании American Institute of Physics	https://www.aip.org/
CASC материалы издательства EBSCO Publishing, а именно база данных CASC	https://www.ebsco.com/e/ru-ru/products-and-services/research-databases
APS Журналы Американского физического общества база данных APS Online Journals	https://www.aps.org/
IEEE материалы компании The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc, а именно, база данных IEEE/IEL	http://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp
RSC материалы Royal Society of Chemistry	http://pubs.rsc.org/
Wiley материалы компании John Wiley & Sons Ltd., а именно база данных Wiley Journals	http://onlinelibrary.wiley.com/
Inspec материалы издательства EBSCO Publishing, а именно база данных INSPEC	https://www.ebsco.com/e/ru-ru/products-and-services/research-databases/inspec
ProQuest материалы компании и	https://www.proquest.com/products-services/pqdtglobal.html

PROQUEST LLC, а именно база данных Proquest Dissertations and Theses Global	
SpringerNature Зарубежные электронные ресурсы издательства, а именно: Springer Journals Springer Protocols Springer Materials Springer Reference zbMATH Nature Journals Nano Database	http://link.springer.com/ http://www.springerprotocols.com/ http://materials.springer.com/ http://link.springer.com/search?facet-content-type=%22ReferenceWork%22 http://zbmath.org/ http://npg.com/ https://nano.nature.com
Elsevier B.V. Science Direct Complete Freedom Collection зарубежные электронные ресурсы издательства Elsevier «Freedom Collection» и коллекция электронных книг «Freedom Collection eBook collection», размещенных на платформе Science Direct	https://www.elsevier.com/
CCDC - Cambridge Crystallographic Data Centre Зарубежные электронные ресурсы Кембриджского центра структурных данных	https://www.ccdc.cam.ac.uk/
Scifinder База данных	https://scifinder.cas.org

11. Образовательные технологии

Курс имеет электронную версию для презентации. Лекции читаются с использованием современных мультимедийных возможностей и проекционного оборудования.

12. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Необходимое оборудование для лекций и практических занятий: компьютер и мультимедийное оборудование (проектор), доступ к сети Интернет, учебная доска.

При проведении расчетов может быть использовано специальное оборудование:

- Суперкомпьютерный кластер на базе АПК-1 и АПК-1М2 (ВНИИЭФ, Саров) с производительностью до 5ТФлопс;
- Программное обеспечение собственной разработки для численного моделирования на базе открытого пакета вычислительной гидродинамики OpenFoam;
- Академическая лицензия на коммерческий пакет вычислительной гидродинамики Ansys Fluent.

Программу составил:

д.ф.-м.н. Ф.Х. Мирзаде