

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ВЫСОКИХ ДАВЛЕНИЙ ИМ. Л.Ф. ВЕРЕЩАГИНА
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК (ИФВД РАН)**

ПРИНЯТО

На Ученом совете ИФВД РАН
Протокол № 6 от 30.11.2020



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

«Теория упругости»
наименование

Направление подготовки	03.06.01 Физика и астрономия
Направленность (профиль)	«Физика конденсированного состояния» (01.04.07)
ООП	
Квалификация	«Исследователь. Преподаватель-исследователь»
Форма обучения	очная
Год приема	2020

Программа дисциплины «Теория упругости» разработана на основании следующих нормативных документов:

- Федеральный государственный образовательный стандарт высшего образования, утвержденный приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от «30» июля 2014 г № 876. по направлению подготовки 03.06.01 «Физика и астрономия», с изменениями и дополнениями от 30 апреля 2015 г;

- Программа кандидатского минимума и паспорт научной специальности 01.04.07 — Физика конденсированного состояния, разработанный экспертным советом Высшей аттестационной комиссии Министерства в связи с утверждением приказа Министерства образования и науки Российской Федерации от «23» октября 2017 г. № 1027 «Об утверждении Номенклатуры научных специальностей, по которым присуждаются ученые степени».

Составитель: д.ф.-м.н. Михеенков А.В.

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1. Целью освоения аспирантами дисциплины «Теория упругости» является дать аспирантам углубленные знания и методы решения задач, возникающих при изучении деформирования твердых тел при достаточно малых нагрузках. Особое внимание уделено описанию базовых понятий, которые будут использоваться в последующих курсах, а также вариационных принципов и методов решения плоской задачи.

1.2. Задачи освоения дисциплины:

- ознакомить аспирантов с важнейшими разделами теории упругости и ее применением для решения практических задач;
- рассмотреть основные фундаментальные теоремы теории упругости, характеризующие присущие только этой теории особенности;
- продемонстрировать вытекающие из основных теорем методы и алгоритмы решения задач.

Для достижения задач, поставленных при изучении дисциплины, используется набор методических средств: учебная, учебно-методическая литература, информационные ресурсы библиотеки, электронные курсы и др.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП АСПИРАНТУРЫ

2.1. Учебная дисциплина «Теория упругости» входит в Блок (Обязательные дисциплины) и относится к вариативной части ООП по направлению подготовки 03.06.01 - Физика и астрономия, направленность «Физика конденсированного состояния» (01.04.07). Индекс дисциплины по учебному плану — Б1.В.ОД.4. Дисциплина изучается на 1 курсе.

2.2. Актуальность курса обусловлена большой практической значимостью физических явлений в конденсированных средах и необходимостью создания различного рода устройств и приборов, основанных на использовании явлений в твердых телах, гетерогенных структурах и кристаллах. Изучение данной дисциплины базируется на следующих дисциплинах подготовки бакалавров, специалистов или магистров: «Физика», «Химия», «Кристаллография», «Физика твердого тела», «Информатика», «Программирование».

В результате освоения дисциплины «Теория упругости» обучающийся должен:

Знать:

- корректную постановку физической задачи теории упругости (основные уравнения и граничные условия);
- свойства и модели упругого тела.

Уметь:

- использовать полученные теоретические знания при решении практических задач, относящихся к области механики деформируемого твердого тела.

Владеть:

- современными методами и подходами в исследовании упругого деформирования;
- современными методами и подходами в исследовании упругого деформирования;
- навыками работы с литературой по применению математических методов решения различных задач теории упругости;
- -навыками самостоятельной работы в лаборатории, в библиотеке и Интернете;
- практикой исследования и решения теоретических и прикладных задач.

2.3. Основные положения дисциплины могут быть использованы в дальнейшем при прохождении научно-исследовательской практики и государственной итоговой аттестации.

3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Процесс изучения дисциплины «Теория упругости» направлен на формирование элементов следующих компетенций в соответствии с ФГОС ВО и ООП ВО по данному направлению подготовки:

- а) универсальных (УК-1, УК-3);
- б) общепрофессиональных (ОПК-1);
- в) профессиональных (ПК-1, ПК-2, ПК-3).

Таблица 1.
Декомпозиция результатов обучения

Код компетенции	Планируемые результаты освоения дисциплины		
	Знать (1)	Уметь (2)	Владеть (3)
УК-1	ИУК-1.1.1 о современных научных достижениях, генерировании новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях	ИУК-1.2.1 проявлять способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях	ИУК-1.3.1 способностью к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях
УК-3	ИУК-3.1.1 об участии в работе российских и международных исследовательских коллективов по решению научных и научно-образовательных задач	ИУК-3.2.1 принимать участие в работе российских и международных исследовательских коллективов по решению научных и научно-образовательных задач	ИУК-3.3.1 готовностью участвовать в работе российских и международных исследовательских коллективов по решению научных и научно-образовательных задач
ОПК-1	ИОПК-1.1.1 о способности самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием	ИОПК-1.2.1 самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных	ИОПК-1.3.1 способностью самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием

	современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий	методов исследования и информационно-коммуникационных технологий	современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий
ПК-1	ИПК-1.1.1 о применении современных и перспективных методов исследования и решении профессиональных задач с учетом мировых тенденций развития области науки в соответствии с направленностью программы	ИПК-1.2.1 самостоятельно проводить научно-исследовательскую работу с применением современных и перспективных методов исследования и решать профессиональные задачи с учетом мировых тенденций развития области науки в соответствии с направленностью программы	ИПК-1.3.1 способностью к самостоятельному проведению научно-исследовательской работы с применением современных и перспективных методов исследования и решению профессиональных задач с учетом мировых тенденций развития области науки в соответствии с направленностью программы
ПК-2	ИПК-2.1.1 о способности анализировать результаты научных исследований и представлять их в виде докладов, статей, готовности применять на практике навыки составления и оформления научных отчетов и научно-технической документации	ИПК-2.2.1 анализировать результаты научных исследований и представлять их в виде докладов, статей, применять на практике навыки составления и оформления научных отчетов и научно-технической документации	ИПК-2.3.1 способностью анализировать результаты научных исследований и представлять их в виде докладов, статей, готовностью применять на практике навыки составления и оформления научных отчетов и научно-технической документации
ПК-3	ИПК-3.1.1 о способности использовать профессионально-профилированные навыки и знания в области информационных технологий, программного обеспечения и ресурсов сети Интернет для обработки и анализа полученных научных результатов	ИПК-3.2.1 использовать профессионально-профилированные навыки и знания в области информационных технологий, программного обеспечения и ресурсов сети Интернет для обработки и анализа полученных научных результатов	ИПК-3.3.1 способностью использовать профессионально-профилированные навыки и знания в области информационных технологий, программного обеспечения и ресурсов сети Интернет для обработки и анализа полученных научных результатов

Профессиональные компетенции выпускника программы аспирантуры по направлению подготовки «Физика и астрономия», направленность «Физика конденсированного состояния» 01.04.07 осваиваются в течение всего периода обучения в рамках дисциплин вариативной части и научно-исследовательской практики независимо от формирования других компетенций, и

обеспечивают реализацию обобщенной трудовой функции «Проводить научные исследования и реализовывать проекты». Для того чтобы формирование профессиональных компетенций было возможно, обучающийся, приступивший к освоению программы аспирантуры, должен:

ЗНАТЬ: возможные сферы и направления профессиональной самореализации; основные современные тенденции развития науки в области теории упругости; основные понятия теории упругости.

УМЕТЬ: вырабатывать на основе рационального анализа экспериментальных результатов свою точку зрения в вопросах описания деформирования твердых тел и отстаивать ее во время дискуссии со специалистами и неспециалистами; читать и реферировать научную литературу в области теории упругости; оценивать свои возможности, реалистичность и адекватность намеченных способов и путей достижения планируемых целей; отбор материала, характеризующего достижения в программном обеспечении и теории с учетом специфики направления подготовки.

ВЛАДЕТЬ: основными методами решения краевых задач, иметь представление об основных понятиях коммерческих программных продуктов.

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Объем дисциплины составляет 3 зачетные единицы, в том числе 32 часа, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (из них 16 часов – лекции, 16 часов – практические, семинарские занятия), 72 часа – на самостоятельную работу обучающихся и 4 часа – на контроль.

Таблица 2.
Структура и содержание дисциплины

№ п/п	Наименование раздела, темы	Семестр	Неделя семестра	Контактная работа (в часах)			Самостоят. работа	Контроль	Формы текущего контроля успеваемости (по темам) Форма промежуточной аттестации (по семестрам)
				Л	ПЗ	ЛР			
1	Теория деформаций.	1	6-8	2			8		участие аспирантов в научных семинарах
2	Теория напряжений.	1	9-11	2	2		8		представление докладов на научные конференции
3	Уравнения линейной теории упругости.	1	12-14	2	2		8		подготовка научных статей
4	Общие теоремы и вариационные принципы.	1	15-17	2	2		8		подготовка презентаций по литературе и по теме исследований
5	Задача Сан-Венана.	2	20-23	2	2		8		освоение новых средств автоматизации и компьютеризации выполняемых научных исследований
6	Динамические задачи.	2	24-27	2	2		8		участие аспирантов в научных семинарах
7	Плоская задача. Общие формулы.	2	28-31	2	2		8		представление докладов на научные конференции

8	Методы решения плоской задачи.	2	32-35	2	2		8		подготовка научных статей
9	Трехмерные статические задачи.	2	36-39		2		8		подготовка презентаций по литературе и по теме исследований
10	Зачет.	2	40					4	проведение зачета
ИТОГО				16	16		72	4	ЗАЧЕТ

Условные обозначения:

Л – занятия лекционного типа; ПЗ – практические занятия, ЛР – лабораторные работы;

СР – самостоятельная работа по отдельным темам

Таблица 3.

Матрица соотнесения разделов, тем учебной дисциплины и формируемых в них компетенций

Темы, разделы дисциплины	Кол-во часов	Компетенции						Общее количество компетенций
		УК-1	УК-3	ОПК-1	ПК-1	ПК-2	ПК-3	
<i>Тема 1</i>	<i>10</i>	+	+	+	+	+	+	<i>6</i>
<i>Тема 2</i>	<i>12</i>	+	+	+	+	+	+	<i>6</i>
<i>Тема 3</i>	<i>12</i>	+	+	+	+	+	+	<i>6</i>
<i>Тема 4</i>	<i>12</i>	+	+	+	+	+	+	<i>6</i>
<i>Тема 5</i>	<i>12</i>	+	+	+	+	+	+	<i>6</i>
<i>Тема 6</i>	<i>12</i>	+	+	+	+	+	+	<i>6</i>
<i>Тема 7</i>	<i>12</i>	+	+	+	+	+	+	<i>6</i>
<i>Тема 8</i>	<i>12</i>	+	+	+	+	+	+	<i>6</i>
<i>Тема 9</i>	<i>10</i>	+	+	+	+	+	+	<i>6</i>
<i>Тема 10</i>	<i>4</i>	+	+	+	+	+	+	<i>6</i>
Итого	108							

Содержание тематических разделов

Тема 1. ТЕОРИЯ ДЕФОРМАЦИЙ

Материальные и пространственные системы координат. Определение тензора. Нелинейный тензор деформаций, изменение длины и направления материального волокна, относительные удлинения и сдвиги. Определение векторов поворота и перемещения по заданным деформациям. Тождества Сен-Венана.

Тема 2. ТЕОРИЯ НАПРЯЖЕНИЙ

Формула Коши, условия парности касательных напряжений. Тензор напряжений. Преобразование напряжений при повороте системы координат. Главные направления и инварианты тензоров напряжений и деформаций. Диаграмма Мора. Максимальные значения касательных напряжений и сдвигов. Коэффициент Люде-Надаи. Уравнения равновесия элемента среды, выделенного из деформированного тела. Переход к линейным уравнениям равновесия.

Тема 3. УРАВНЕНИЯ ЛИНЕЙНОЙ ТЕОРИИ УПРУГОСТИ

Упругость твёрдых тел, модуль Юнга, коэффициент Пуассона. Закон Гука для однородного изотопного тела, различные формы его записи. Модули сдвига и объёмного сжатия, упругие постоянные Ламе. Закон термоупругости Дюамеля-Неймана. Замкнутая система уравнений теории упругости. Различные формы ее записи, уравнения Ламе, уравнения Бельтрами-Митчелла. Постановка основных краевых задач.

Тема 4. ОБЩИЕ ТЕОРЕМЫ И ВАРИАЦИОННЫЕ ПРИНЦИПЫ

Теорема единственности решения основных краевых задач (статистика). Закон сохранения энергии. Упругий потенциал для изотермического и адиабатического процессов. Теорема единственности (динамика). Анизотропные упругие среды, обобщенный закон Гука. Формула и теорема взаимности Бетти. Принцип минимума полной энергии. Дополнительная работа, принцип Кастильяно. Принцип Гамильтона.

Тема 5. ЗАДАЧА СЕН-ВЕНАНА

Принцип Сен-Венана. Полуобратный метод Сен-Венана решения краевых задач. Постановка задачи Сен-Венана. Растяжение стержня продольной силой, изгиб моментом. Общая теория кручения стержней. Функция Прандтля. Результирующее касательное напряжение и его свойства. Аналогия Прандтля.

Тема 6. ДИНАМИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ

Распространение волн в динамичной упругой среде. Продольные и поперечные волны, скорости их распространения. Поверхностные волны Рэлея.

Тема 7. ПЛОСКАЯ ЗАДАЧА. ОБЩИЕ ФОРМУЛЫ

Плоская деформация, обобщенное плоское напряженное состояние. Основные уравнения плоской задачи, приведение к случаю отсутствия объемных сил. Функция напряжений. Комплексное представление бигармонической функции. Формулы Колосова-Мусхелишвили. Степень определенности введенных функций. Общие формулы для конечной многосвязной области. Некоторые свойства, вытекающие из аналитического характера решения плоской задачи; об аналитическом продолжении через контур. Приведение основных задач упругости к задачам теории функций комплексного переменного. О зависимости напряженного состояния от упругих постоянных.

Тема 8. МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ПЛОСКОЙ ЗАДАЧИ

Ряды Фурье. Применение конформного отображения. Преобразование основных формул, граничные условия в преобразованной области. Интегралы типа Коши, формулы для их вычисления. Приведение основных краевых задач плоской теории упругости к функциональным уравнениям.

Тема 9. ТРЕХМЕРНЫЕ СТАТИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ

Построение частных решений. Сосредоточенная сила в безграничной упругой среде. Применение теоремы Бетти в общей теории интегрирования уравнений теории упругости.

5. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ

5.1. Указания по организации и проведению лекционных, практических (семинарских) и лабораторных занятий с перечнем учебно-методического обеспечения.

Основные формы занятий по дисциплине - лекции и практические занятия.

Лекция представляет собой систематичное, последовательное устное изложение преподавателем определенного раздела учебной дисциплины. Слушание лекции предполагает активную мыслительную деятельность аспиранта, главная задача которых - понять сущность рассматриваемой темы, уловить логику рассуждений лектора; размышляя вместе с ним, оценить его аргументацию, составить собственное мнение об изучаемых проблемах и соотнести услышанное с тем, что уже изучено. И при этом аспирант должен еще успевать делать записи изложенного в лекции материала.

Ведение конспектов является творческим процессом и требует определенных умений и навыков. Целесообразно следовать некоторым практическим советам: формулировать мысли кратко и своими словами, записывая только самое существенное; учиться на слух отделять главное от второстепенного; оставлять в тетради поля, которые можно использовать в дальнейшем для уточняющих записей, комментариев, дополнений; постараться выработать свою собственную систему сокращений часто встречающихся слов (это дает возможность меньше писать, больше слушать и думать).

Сразу после лекции полезно просмотреть записи и по свежим следам восстановить пропущенное, дописать недописанное. Важно уяснить, что лекция - это не весь материал по изучаемой теме, который дается аспирантам для его «зубрежки». Прежде всего, это – «путеводитель» аспирантам в их дальнейшей самостоятельной учебной и научной работе. Практическое занятие - это особая форма учебно-теоретических занятий, которая, как правило, служит дополнением к лекционному курсу. Его отличительной особенностью является активное участие самих аспирантов в объяснении вынесенных на рассмотрение проблем, вопросов. Преподаватель дает возможность аспирантам свободно высказаться по обсуждаемому вопросу и только помогает им правильно построить обсуждение.

Аспиранты заблаговременно знакомятся с планом семинарского занятия и литературой, рекомендуемой для изучения данной темы, чтобы иметь возможность подготовиться к семинару. При подготовке к занятию необходимо: проанализировать его тему, подумать о цели и основных проблемах, вынесенных на обсуждение; внимательно прочитать конспект лекции по этой теме; изучить рекомендованную литературу, делая при этом конспект прочитанного или выписки, которые понадобятся при обсуждении на семинаре; постараться сформулировать свое мнение по каждому вопросу и аргументированно его обосновать.

Практическое занятие помогает аспирантам глубоко овладеть предметом, способствует развитию умения самостоятельно работать с учебной литературой и документами, освоению аспирантами методов научной работы и приобретению навыков научной аргументации, научного мышления. Преподавателю же работа аспиранта на семинаре позволяет судить о том, насколько успешно они осваивают материал курса.

Перечень учебно-методического обеспечения.

1. Л.Д. Ландау, А.И. Ахиезер, Е.М. Лифшиц. Курс общей физики. Механика и молекулярная физика. Добросвет. Издательство «КДУ». Москва, 2017.
2. Наука и жизнь: моя конвергенция. Избранные научные труды. М.В. Ковальчук. 2018 г. Москва, ИКЦ «Академкнига». Том 2. <https://www.phenix-online.org>
3. Теоретическая физика. В 10-и томах. Том 5. Статистическая физика. В 2-х частях. Часть 1. Учебное пособие. Гриф МО РФ. Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц 2019 г. Издательство Физматлит, 293 с. <https://www.ntmdt-si.com/>

4. Теоретическая физика. Учебное пособие. В 10-и томах. Том [X: Статистическая физика, Часть 2: Теория конденсированного состояния. Гриф МО РФ Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц 2016 г. Издательство Физматлит, 44 с.

5.2. Указания для обучающихся по освоению дисциплины

Самостоятельная работа аспирантов является одним из основных видов учебной деятельности и предполагает изучение вопросов, не вошедших в основной план занятий.

Внеаудиторная самостоятельная работа аспирантов в вузе не менее важна, чем обязательные учебные занятия. Ее успешность во многом определяется тем, насколько умело, рационально сам учащийся сможет организовать свои индивидуальные занятия, насколько регулярными и своевременными они будут.

Задания и методические указания для различных видов самостоятельной работы разрабатываются с учетом её специфики, особенностей изучаемых тем, наличия учебной и методической литературы.

Систематическое освоение аспирантами необходимого учебного материала, своевременное выполнение предусмотренных учебных заданий, регулярное посещение лекционных и практических занятий позволяют подготовиться к успешному прохождению промежуточной аттестации по данной дисциплине.

В ходе самостоятельной работы аспиранты должны осуществлять:

- подготовку к занятиям, включая изучение лекций и литературы по теме занятия (используются лекции и источники, представленные в перечне основной и дополнительной литературы, а также электронные ресурсы);
- выполнение индивидуальных домашних заданий по теме прошедшего занятия;
- подготовку реферата (индивидуальные задания по слабо усвоенным темам), в том числе самостоятельное изучение части теоретического материала по темам, которые заявлены в теме реферата (используются источники, представленные в перечне основной и дополнительной литературы, а также электронные ресурсы).

К самостоятельной работе аспирантов также относятся: чтение основной и дополнительной литературы – самостоятельное изучение материала по рекомендуемым литературным источникам; работа с библиотечным каталогом, самостоятельный подбор необходимой литературы; работа со словарем, справочником; поиск необходимой информации в сети Интернет; конспектирование источников; реферирование источников; составление аннотаций к прочитанным литературным источникам; составление рецензий и отзывов на прочитанный материал; составление обзора публикаций по теме; составление и разработка терминологического словаря; составление библиографии (библиографической картотеки); подготовка к различным формам текущей и промежуточной аттестации (к тестированию, контрольной работе, зачету, экзамену); выполнение домашних контрольных работ; самостоятельное выполнение практических заданий репродуктивного типа (ответы на вопросы, задачи, тесты; выполнение творческих заданий).

Таблица 4.
Содержание самостоятельной работы обучающихся

Номер раздела (темы)	Темы/вопросы, выносимые на самостоятельное изучение	Кол-во часов	Формы работы
1	Теория деформаций	8	Реферат
2	Теория напряжений	8	Эссе
3	Уравнения линейной теории упругости	8	Конспектирование
4	Общие теоремы и вариационные принципы	8	Контрольная работа

5	Задача Сан-Венана	8	Реферат
6	Динамические задачи	8	Эссе
7	Плоская задача. Общие формулы	8	Конспектирование
8	Методы решения плоской задачи	8	Контрольная работа
9	Трехмерные статические задачи	8	Реферат

5.3. Виды и формы письменных работ, предусмотренных при освоении дисциплины, выполняемые обучающимися самостоятельно

Реферат – продукт самостоятельной работы аспиранта, представляющий собой краткое изложение в письменном виде полученных результатов теоретического анализа определенной научной (учебно-исследовательской) темы, где автор раскрывает суть исследуемой проблемы, приводит различные точки зрения, а также собственные взгляды на нее.

Порядок работы над рефератом.

1. Выбор темы.
2. Подбор и изучение литературы.
4. Составление плана реферата.
5. Изложение основного содержания по плану реферата.
6. Оформление и научно-справочный аппарат.

Общий объем работы – 15-30 страниц печатного текста (с учётом титульного листа, содержания и списка литературы) на бумаге формата А4. В тексте должны композиционно выделяться структурные части работы, отражающие суть исследования: введение, основная часть и заключение, а также заголовки и подзаголовки. Реферат должен быть выполнен на одной стороне листа белой бумаги формата А4. Интервал межстрочный – полуторный (1,5). Цвет шрифта – черный. Гарнитура шрифта основного текста – Times New Roman. Кегль (размер шрифта) – 14. Размеры полей страницы (не менее): правое – 30 мм, верхнее, нижнее и левое – 20 мм. Формат абзаца: полное выравнивание (по ширине). Отступ красной строки одинаковый по всему тексту, рекомендуется 1,25 см. Страницы должны быть пронумерованы с учётом титульного листа, который не обозначается цифрой. В работах могут использоваться цитаты, статистические материалы. Эти данные оформляются в виде сносок (ссылок и примечаний). Все сноски и подстрочные примечания располагаются на той же странице, к которой они относятся, нумерация сносок устанавливается заново на каждой странице. Размер шрифта для названия главы – 16 (полужирный), подзаголовка — 14 (полужирный). Точка в конце заголовка, располагаемого посередине листа, не ставится. Заголовки не подчёркиваются. Оглавление (содержание) должно быть помещено в начале работы, а список литературы в конце реферата.

Эссе – это средство, позволяющее оценить умение обучающегося письменно излагать суть поставленной проблемы, самостоятельно проводить анализ этой проблемы с использованием концепций и аналитического инструментария соответствующей дисциплины, делать выводы, обобщающие авторскую позицию по поставленной проблеме. При написании эссе аспирантам предстоит работать с высказываниями историков и современников о событиях и деятелях отечественной истории. Нужно выбрать одно, которое станет темой эссе. Задача – сформулировать собственное отношение к данному утверждению и обосновать его аргументами. При выборе темы эссе аспирант должен исходить из того, что:

- ясно понимаете смысл высказывания (не обязательно полностью или даже частично быть согласным с автором, но необходимо понимать, что именно он утверждает);
 - можете выразить свое отношение к высказыванию (аргументированно согласиться с автором либо полностью или частично опровергнуть его высказывание);
 - располагаете конкретными знаниями (факты, статистические данные, примеры) по данной теме;
 - владеете терминами, необходимыми для грамотного изложения своей точки зрения.
- При написании работы аспиранту следует руководствоваться следующими критериями:

- обоснованность выбора темы (объяснение выбора темы и задач, которые ставит перед собой в своей работе участник) – 1 балл;
- творческий характер восприятия темы, ее осмысления – 1 балл;
- грамотность использования исторических фактов и терминов – 1 балл;
- четкость и доказательность основных положений работы – 1 балл;
- знание различных точек зрения по избранному вопросу – 1 балл.

Конспектирование. Конспект – это систематизированное, логичное изложение материала источника. Различаются четыре типа конспектов:

План-конспект – это развернутый детализированный план, в котором достаточно подробные записи приводятся по тем пунктам плана, которые нуждаются в пояснении.

Текстуальный конспект – это воспроизведение наиболее важных положений и фактов источника.

Свободный конспект – это четко и кратко сформулированные (изложенные) основные положения в результате глубокого осмысливания материала. В нем могут присутствовать выписки, цитаты, тезисы; часть материала может быть представлена планом.

Тематический конспект – составляется на основе изучения ряда источников и дает более или менее исчерпывающий ответ по какой-то схеме (вопросу). Данный тип конспектирования рекомендуется при подготовке к вопросам семинарского занятия.

Контрольная работа является одной из форм самостоятельного изучения аспирантами программного материала по всем предметам. Её выполнение способствует расширению и углублению знаний, приобретению опыта работы со специальной литературой.

Контрольные работы обычно включают практические задания, тесты, задачи и т.п. Для выполнения контрольной работы аспиранту предлагается один из вариантов заданий, также он получает указания или рекомендации к выполнению контрольной работы в устном (консультация) или печатном (методическое пособие) виде. Сдача контрольной работы происходит в установленные преподавателем сроки.

6. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

6.1. Образовательные технологии

Интерактивная лекция, проблемное изложение, технология «Дебаты».

6.2. Информационные технологии

Информационные технологии, используемые при реализации различных видов учебной и внеучебной работы:

- использование Интернета в учебном процессе (использование информационного сайта преподавателя (рассылка заданий, предоставление выполненных работ на проверку, ответы на вопросы, ознакомление учащихся с оценками и т.д.);
- использование электронных учебников и различных сайтов (например, электронные библиотеки, журналы и т.д.) как источников информации;
- использование электронной почты преподавателя;
- использование средств представления учебной информации (электронных учебных пособий и практикумов, применение новых технологий для проведения очных (традиционных) лекций и семинаров с использованием презентаций и т.д.);
- использование интегрированных образовательных сред, где главной составляющей являются не только применяемые технологии, но и содержательная часть, т.е. информационные ресурсы (доступ к мировым информационным ресурсам, на базе которых строится учебный процесс).

6.3. Перечень программного обеспечения и информационных справочных систем

- Программное обеспечение

Наименование программного обеспечения	Официальный сайт
LAMMPS	http://lammps.sandia.gov/
QUANTUM ESPRESSO	https://www.quantum-espresso.org/
XDS	http://xds.mpimf-heidelberg.mpg.de
Autodock Vina	http://vina.scripps.edu
Pymol	https://pymol.org
Nova PX	https://www.ntmdt-si.com/
АнНа (Анализатор Наночастиц)	https://crys.ras.ru/strukturainstituta/nauchnye-podrazdeleniyawotdelelektronnoj-kristallografii/laboratoriyaelektronografii

- Современные профессиональные базы данных, информационные справочные системы

РИНЦ	https://elibrgru.ru/orgs.asp
Web of Science	http://apps.webofknowledge.com
Scopus	https://www.scopus.com/home.uri
Google Scholar citations	https://scholar.google.ru
IOP Institute of Physics	https://www.io.or
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 PROQUEST LLC, а именно база данных Proquest Dissertations and Theses Global	https://www.proquest.com/productsservices/pqdtglobal.html
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-gontenttype=%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

7. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

7.1. Паспорт фонда оценочных средств

При проведении текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине «Теория упругости» проверяется сформированность у обучающихся компетенций, указанных в разделе 3 настоящей программы. Этапность формирования данных компетенций в процессе освоения образовательной программы определяется последовательным освоением дисциплин и прохождением практик, а в процессе освоения дисциплины — последовательным достижением результатов освоения содержательно связанных между собой тем.

Таблица 5.
Соответствие разделов, тем дисциплины, результатов обучения по дисциплине и оценочных средств

№ п/п	Контролируемые темы дисциплины	Код контролируемой компетенции	Наименование оценочного средства
-------	--------------------------------	--------------------------------	----------------------------------

1	Теория деформаций.	УК-1, УК-3, ОПК-1, ПК-1, ПК-2, ПК-3	Контрольная работа №1, эссе, реферат.
2	Теория напряжений.	УК-1, УК-3, ОПК-1, ПК-1, ПК-2, ПК-3	Тест №1, эссе, реферат.
3	Уравнения линейной теории упругости.	УК-1, УК-3, ОПК-1, ПК-1, ПК-2, ПК-3	Контрольная работа №2, эссе, реферат.
4	Общие теоремы и вариационные принципы.	УК-1, УК-3, ОПК-1, ПК-1, ПК-2, ПК-3	Тест №2, эссе, реферат.
5	Задача Сан-Венана.	УК-1, УК-3, ОПК-1, ПК-1, ПК-2, ПК-3	Контрольная работа №3 эссе, реферат.
6	Динамические задачи.	УК-1, УК-3, ОПК-1, ПК-1, ПК-2, ПК-3	Тест №3, эссе, реферат.
7	Плоская задача. Общие формулы.	УК-1, УК-3, ОПК-1, ПК-1, ПК-2, ПК-3	«Круглый стол» по теме, эссе, реферат.
8	Методы решения плоской задачи.	УК-1, УК-3, ОПК-1, ПК-1, ПК-2, ПК-3	Контрольная работа №4 эссе, реферат.
9	Трехмерные статические задачи.	УК-1, УК-3, ОПК-1, ПК-1, ПК-2, ПК-3	Тест №4, эссе, реферат.

7.2. Описание показателей и критериев оценивания компетенций, описание шкал оценивания

Таблица 6.
Показатели оценивания результатов обучения в виде знаний

Шкала оценивания	Критерии оценивания
5 «отлично»	демонстрирует глубокое знание теоретического материала, умение обоснованно излагать свои мысли по обсуждаемым вопросам, способность полно, правильно и аргументированно отвечать на вопросы, приводить примеры
4 «хорошо»	демонстрирует знание теоретического материала, его последовательное изложение, способность приводить примеры, допускает единичные ошибки, исправляемые после замечания преподавателя
3 «удовлетворительно»	демонстрирует неполное, фрагментарное знание теоретического материала, требующее наводящих вопросов преподавателя, допускает существенные ошибки в его изложении, затрудняется в приведении примеров и формулировке выводов
2 «неудовлетворительно»	демонстрирует существенные пробелы в знании теоретического материала, не способен его изложить и ответить на наводящие вопросы преподавателя, не может привести примеры

Таблица 7.
Показатели оценивания результатов обучения в виде умений и владений

Шкала оценивания	Критерии оценивания
-------------------------	----------------------------

5 «отлично»	демонстрирует способность применять знание теоретического материала при выполнении заданий, последовательно и правильно выполняет задания, умеет обоснованно излагать свои мысли и делать необходимые выводы
4 «хорошо»	демонстрирует способность применять знание теоретического материала при выполнении заданий, последовательно и правильно выполняет задания, умеет обоснованно излагать свои мысли и делать необходимые выводы, допускает единичные ошибки, исправляемые после замечания преподавателя
3 «удовлетворительно»	демонстрирует отдельные, несистематизированные навыки, не способен применить знание теоретического материала при выполнении заданий, испытывает затруднения и допускает ошибки при выполнении заданий, выполняет задание при подсказке преподавателя, затрудняется в формулировке выводов
2 «неудовлетворительно»	не способен правильно выполнить задание

7.3. Контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

Основные вопросы для проведения зачета по итогам освоения дисциплины:

1. Введение. Задача о растяжении стержня.
2. Нелинейный тензор деформаций.
3. Относительные удлинения и сдвиги.
4. Тензор напряжений.
5. Главные направления и инварианты тензора напряжений.
6. Диаграмма Мора.
7. Уравнения равновесия и движения.
8. Тождества Сен-Венана.
9. Закон Гука.
10. Закон термоупругости.
11. Замкнутая система уравнений статики.
12. Уравнения Ламе.
13. Уравнения Бельтрами-Митчела.
14. Теорема единственности. Статика.
15. Упругий потенциал.
16. Основные вариационные принципы теории упругости.
17. Плоская деформация и плоское напряжённое состояние.
18. Функция Эра.
19. Бигармоническое уравнение. Переход в комплексную плоскость.
20. Формула Гурса.
21. Формула Колосова-Мусхелишвили для перемещений.
22. Случаи односвязной, многосвязной и бесконечной областей.
23. Метод конформных отображений.
24. Метод рядов.
25. Применение интегралов типа Коши.
26. Теорема Леви-Митчелла, её применение.
27. Принцип Сен-Венана.
28. Задача Сен-Венана.
29. Продольные волны.
30. Поперечные волны.

31. Волны Релея.
32. Волны Лява.
33. В чем состоит метод Буссинеска построения частных решений упругих уравнений?
34. Решения в форме Папковича.
35. Задача о сосредоточенной силе в упругой среде? Вид особенности в точке приложения силы.
36. Применение теории Бетти в общей теории интегрирования упругих уравнений.

7.4. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

В ИФВД РАН действует балльно-рейтинговая система оценки учебных достижений аспирантов (БАРС). Успешность изучения каждого учебного курса в течение семестра оценивается, исходя из 100 максимальных возможных баллов. По дисциплине, итоговой формой отчетности для которой является экзамен, балльная оценка распределяется на две составляющие: семестровую (текущий контроль по учебной дисциплине в течение семестра) – 50 баллов, и экзаменационную – 50 баллов. В итоге суммарный рейтинговый балл освоения учебного курса за семестр на экзамене переводится в 4-балльную оценку, которая считается итоговой по учебному курсу в течение семестра и заносится в зачетную книжку аспиранта.

Шкала перевода рейтинговых баллов в итоговую оценку за семестр по учебному курсу

Сумма баллов по дисциплине	Оценка по 4- балльной шкале
90-100	5 (отлично), (зачтено)
85- 89	4 (хорошо), (зачтено)
75- 84	
70-74	
65-69	3 (удовлетворительно), (зачтено)
60-64	
Ниже 60 баллов	2 (неудовлетворительно), (не зачтено)

Преподаватель, реализующий дисциплину, в зависимости от уровня подготовленности обучающихся может использовать иные формы, методы контроля и оценочные средства, исходя из конкретной ситуации.

8. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

а) Основная литература:

1. Павлов П. В., Хохлов А. Ф. «Физика твердого тела»: Учебник. Изд. 4-е. — М.: ЛЕНАНД, 2016. — 496 с.
2. Проблемы кристаллологии. Издательство Московского Университета. 2018 г.
3. Зуев Л.Б. Автоволновая пластичность локализации и коллективные моды. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2018. – 208 с.
4. Кристаллография. Лабораторный практикум. Под редакцией Е.В. Чупрунова. Москва. Физматлит, 2018.
3. Ландау Л.Д., Ахиезер А.И., Лифшиц Е.М. Курс общей физики. Механика и молекулярная физика. Добросвет. Издательство «КДУ». Москва, 2017.

4. Наука и жизнь: моя конвергенция. Избранные научные труды. М.В. Ковальчук. Москва, ИКЦ «Академкнига». Том 2. 2018 г.
5. Теоретическая физика. В 10-и томах. Том 5. Статистическая физика. В 2-х частях. Часть 1. Учебное пособие. Гриф МО РФ. Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. Издательство Физматлит, 2019. — 293 с.
6. Теоретическая физика. Учебное пособие. В 10-и томах. Том X: Статистическая физика, Часть 2: Теория конденсированного состояния. Гриф МО РФ Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. Издательство Физматлит, 2016 — 44 с.
7. Дифракционный структурный анализ. А.С. Илюшин, А.П. Орешко. 2017 г. М.: физический факультет МГУ, Издательский дом «Крепостновъ». 616 с.
8. Фокусировка фононов и фононный транспорт в монокристаллических наноструктурах / И. Г. Кулеев, И. И. Кулеев, С. М. Бахарев, В. В. Устинов. - Екатеринбург: ИФМ УрО РАН, 2018. - 254 с.
9. Физика конденсированного состояния, Учебное пособие. Байков Ю.А., Кузнецов В.М. Издательство Бином. Лаборатория знаний, 2019. — 293 с.
10. Хельтье Х.-Д. Молекулярное моделирование: теория и практика / Х.-Д. Хельтье, В. Зиппль, Д. Роньян, Г. Фолькерс. — М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2019. — 318 с.

б) Дополнительная литература:

1. Безуглов Н. Н. Проявления "динамического хаоса" в реакциях с участием ридберговских состояний. Изд-во Санкт-Петербургского ун-та, сор, 2017. - 111 с.
2. Блинов Л. М. Жидкие кристаллы Структура и свойства Издательство Либроком, 2016. - 484 с.
3. Вайнштейн Б. К. Кристаллография и жизнь. Москва: Физматлит. 2017 г.
4. Стишов С. М. Фазовые переходы для начинающих. Институт физики высоких давлений РАН. - Изд. 2-е. - Троицк: Троянт, 2017. - 105, [1] с
5. Кристаллология. Основные представления о кристаллах, кристаллических веществах и методах их изучения. Задачи по геометрической кристаллографии и анализ их решений. Завьялов Е.Н. Издательство Книжный дом «Университет» (КДУ), 2016. - 314 с.
6. Маневич Леонид Исакович. Аналитически разрешимые модели механики твердого тела / Маневич Л.И., Гендельман О.В. — М.; Ижевск: Ин-т компьютер. исслед., 2016. — 343 с.
7. Ремпель А. А. Нестехиометрия в твердом теле. - Москва: Физматлит, 2018. - 636 с.
8. Структурные исследования кристаллов. Наука Физматлит. 2016 г.
9. Третьякова Татьяна Викторовна. Пространственно-временная неоднородность процессов неупругого деформирования металлов / Третьякова Т.В., Вильдеман В.Э. — М.: Физматлит, 2016. — 118 с.
10. Фейнман Ричард Ф., Лейтон Роберт Б., Сэндс Мэтью Фейнмановские лекции по физике: Вып. 1, 2: Современная наука о природе. Законы механики. Пространство. Время. Движение: Учебное пособие. Пер. с англ./Под ред. Я.А. Смородинского. изд. 11-е. - М.: УРСС: книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2018. – 448 с.
11. Фейнман Ричард Ф., Лейтон Роберт Б., Сэндс Мэтью Фейнмановские лекции по физике: Вып.3: Излучение. Волны. Кванты: Учебное пособие. Пер. с англ./Под ред. Я.А. Смородинского. Изд. 10-е. — М.: УРСС: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2019. — 256 с.

12. Фейнман Ричард Ф., Лейтон Роберт Б., Сэндс Мэтью Фейнмановские лекции по физике: Задачи и упражнения с ответами и решениями к вып. 14: Учебное пособие. Пер. с англ./Под ред. и с предисл. А.П. Леванюка. Изд. 9-е. — М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2019. — 280 с.; Задачи и упражнения с ответами и решениями к вып. 5-9: Учебное пособие. Пер. с англ. Под ред. А.П. Леванюка. Изд. 9-е. — М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2020. — 272 с.

в) Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимый для освоения дисциплины

LAMMPS	http://lammps.sandia.gov/
QUANTUM ESPRESSO	https://www.quantum-espresso.org/
XDS	http://xds.mpimf-heidelberg.mpg.de
Autodock Vina	http://vina.scripps.edu
Pymol	https://pymol.org
Nova PX	https://www.ntmdt-si.com/
АнНа (Анализатор Наночастиц)	https://crys.ras.ru/strukturainstituta/nauchnye-podrazdeleniyawotdelelektronnoj-kristallografii/laboratoriyaelektronografii

9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Необходимое оборудование для лекций и практических занятий:

При выполнении лабораторных работ используются компьютеры с характеристиками не ниже Pentium 4 - 3Гц/512Мб/80ГБ с 17-дюймовыми мониторами, объединенные в локальную сеть, подключенную через сеть ИФВД РАН к Интернету. Для получения необходимой информации используются Web-ресурсы сети Интернет и локальная библиотека электронных материалов.

Залы, оснащенные компьютером с проектором, обычной доской - для проведения семинаров, лекционных и практических занятий.

Перечень оборудования:

1. Гидравлические прессы усилием 5000 и 10000 тонн с камерами «Тороид-10», «Тороид-15», «Тороид-35» для синтеза при высоких температурах и давлениях
2. Установка для высокотемпературной газовой экстракции при высоком газовом давлении до 0.5 ГПа
3. Установка для измерения микро-рамановских и микро-фотолюминесцентных спектров со сверхвысоким разрешением
4. Специализированный спектрометр VUKAP
5. Спектрометр высокоточный с эффективными четырьмя сцинтилляционными детекторами с кристаллом LaBr₃(Ce) с фотоэлектронными умножителями Hamamatsu R13089
6. Измерительная система физических свойств (PPMS), которая позволяет проводить измерения электросопротивления и теплоемкости веществ в области температур от 2 до 400 К
7. Инфракрасный спектрометр «BRUKER»
8. Сканирующий электронный микроскоп JEOL JSM-6390LV с энергодисперсионной приставкой для микроанализа INCA 250 (Oxford Instruments)

9. Рентгеновские дифрактометры DRON-2.0
10. Рентгеновская Гинье камера (Imaging Plate Guinier Camera G670, Huber, Germany)
11. Рентгеновский дифрактометр на базе Imaging Plate MAR345
12. 96-ядерный вычислительный кластер "Азбука"
13. Муфельная печь для спекания деталей ячеек высокого давления при температурах до 1800 °С
14. Шаровая мельница
15. Аналитические весы GR-200
16. Аналитические весы AL 304-IC
17. Функциональный генератор Tektronix AFG 3251
18. Осциллограф Agilent Technologies