

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Объединенный институт высоких температур Российской академии наук
(ОИВТ РАН)

Принято на Ученом совете
ОИВТ РАН
Протокол № от 21.06.2022

«Утверждаю»

Директор ОИВТ РАН

Петров О.Ф.



2022 год

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

дисциплины «Введение в термодинамику газоплазменного состояния»

направление подготовки: **03.06.01 Физика и астрономия**
(специальность – 1.3.14 Теплофизика и теоретическая теплотехника)

Квалификация
Исследователь. Преподаватель- исследователь

Москва- 2022

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью дисциплины «Введение в термодинамику газоплазменного состояния» является:

- формирование базовых знаний по термодинамике газоплазменного состояния вещества для дальнейшего использования в других областях знания и дисциплинах естественнонаучного содержания;

- формирование математической культуры, исследовательских навыков и способности применять знания на практике.

Задачами учебной дисциплины «Введение в термодинамику газоплазменного состояния» являются:

– формирование у обучающихся базовых знаний по термодинамике газоплазменного состояния;

– формирование общефизической культуры: умение мыслить в категориях термодинамики и статистической физики, проводить вывод основных формул;

– формирование умений и навыков применять полученные знания для понимания и описания термодинамических свойств газовых и плазменных сред, самостоятельного анализа полученных результатов.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП АСПИРАНТУРЫ

Дисциплина «**Введение в термодинамику газоплазменного состояния**» базируется на дисциплинах: молекулярная физика, общая термодинамика, введение в физику плазмы и в статистическую физику. Также указанная дисциплина существенно опирается на навыки математического анализа и линейной алгебры, дифференциальной геометрии, аппарата уравнений математической физики.

Дисциплина «**Введение в термодинамику газоплазменного состояния**» предполагает знакомство с разделом статистической физики.

3. УРОВЕНЬ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

Подготовка научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре.

4. ГОД И СЕМЕСТР ОБУЧЕНИЯ

Второй год, четвертый семестр обучения.

5. ОБЪЁМ УЧЕБНОЙ НАГРУЗКИ И ВИДЫ ОТЧЁТНОСТИ.

Вариативная часть, в т.ч. :	<u>4</u> зач. ед.
лекции	<u>28</u> часа
практические занятия	<u>44</u> часов
лабораторные работы	<u>нет</u> часов
индивидуальные занятия с преподавателем	<u>нет</u> часов
самостоятельные занятия	<u>72</u> часов
Итоговая аттестация	диф. зачет 2 курс.
ВСЕГО	4 зач. ед., 144 часа

6. КОНКРЕТНЫЕ ЗНАНИЯ, УМЕНИЯ И НАВЫКИ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

В результате освоения дисциплины «Введение в термодинамику газоплазменного состояния» обучающийся должен:

1. Знать:

– основные понятия термодинамики и физики плазмы;
 – термодинамические функции, производящие термодинамический потенциалы, классификацию типов термодинамического равновесия, особенностей термического и калорического уравнений состояния, взаимосвязи аномалий термодинамических и гидродинамических процессов, специфику термодинамического описания адиабатических процессов и течений газоплазменных сред, виды фазовых состояний и опорных объектов на фазовых диаграммах вещества, типы фазовых превращений в газоплазменных средах.

2. Уметь:

– решать простейшие задачи термодинамики и физики плазмы методом уравнений состояния и канонических преобразований наборов термодинамических неравенств;
 – использовать язык фазовых диаграмм для решения задач;
 – использовать различные виды и определять тип кривых и поверхностей уравнений состояния вещества;
 – уметь исследовать свойства устойчивости термодинамических сред по заданному уравнению состояний;

3. Владеть:

– математическим аппаратом термодинамики и физики плазмы, аналитическими методами исследования уравнения состояний и фазовых переходов.

7. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Структура дисциплины

Перечень разделов дисциплины и распределение времени по темам:

№ темы и название	Количество часов
1. Основные понятия термодинамики вещества с высокой концентрацией энергии	20
2. Неидеальная плазма в земных и космических приложениях.	20
3. Общие сведения о фазовой диаграмме вещества с высокой концентрацией энергии	20
4. Связь термодинамики с приближением сплошной среды.	20
5. Общие сведения о механизмах неидеальности и их влиянии на термодинамику вещества с высокой концентрацией энергии	34
6. Особенности кулоновской неидеальности в плотной плазме.	30
ВСЕГО (часов)	144

Вид занятий

Лекции:

№ п.п.	Темы	Трудоёмкость в зач. ед. (количество часов)
1	Основные понятия термодинамики вещества с высокой концентрацией энергии	4
2	Неидеальная плазма в земных и космических приложениях.	4
3	Общие сведения о фазовой диаграмме вещества с высокой концентрацией энергии	4
4	Связь термодинамики с приближением сплошной среды.	6
5	Общие сведения о механизмах неидеальности и их влиянии на термодинамику вещества с высокой концентрацией энергии	6
6	Особенности кулоновской неидеальности в плотной плазме.	4
ВСЕГО (часов)		28 часов

Лабораторные занятия: нет

Практические занятия (семинары)

№ п.п.	Темы	Трудоёмкость в зач. ед. (количество часов)
1	Основные понятия термодинамики вещества с высокой концентрацией энергии	6
2	Неидеальная плазма в земных и космических приложениях.	8
3	Общие сведения о фазовой диаграмме вещества с высокой концентрацией энергии	8
4	Связь термодинамики с приближением сплошной среды.	8
5	Общие сведения о механизмах неидеальности и их влиянии на термодинамику вещества с высокой концентрацией энергии	6
6	Особенности кулоновской неидеальности в плотной плазме.	8
ВСЕГО (часов)		44 часа

Самостоятельная работа:

№ п.п.	Темы	Трудоёмкость (количество часов)
1	- изучение теоретического курса – выполняется самостоятельно каждым студентом по итогам каждой из лекций, результаты контролируются преподавателем на лекционных занятиях, используются конспект (электронный) лекций, учебники, рекомендуемые данной	20 часа

	программой, методические пособия.	
2	- решение задач по заданию преподавателя– решаются задачи, выданные преподавателем по итогам лекционных занятий и сдаются в конце семестра, используются конспект (электронный) лекций, учебники, рекомендуемые данной программой, а также сборники задач, включая электронные, учебно-методические пособия.	36 часов
3	-подготовка к дифференцированному зачету	16 часа
ВСЕГО (часов)		72 часов

Содержание дисциплины

№ п/п	Название модулей	Разделы и темы лекционных занятий	Содержание	Объем	
				Аудиторная работа (зачетные единицы/часы)	Самостоятельная работа (зачетные единицы/часы)
1	Основные понятия термодинамики вещества с высокой концентрацией энергии	Состояние термодинамического равновесия. Термодинамические величины. Уравнения состояния (УРС). Термодинамические процессы. Понятие о термодинамическом подобии.	Состояние термодинамического равновесия. Равновесие полное и частичное. Двухтемпературная плазма, "замороженные" степени свободы. Особенности термодинамического равновесия в кулоновских системах. Электрохимический и локальный химический потенциалы. Термодинамические величины. Общая структура. Иерархичность. Стандарт обозначений. Термодинамические ("Производящие")	10	10

			<p>потенциалы, их естественные переменные. Сопряженные переменные. Исключительность свободной энергии $F(N, V, T)$ и термодинамического потенциал $\Omega(\mu, V, T)$ в теории неидеальной плазмы. Безразмерные комплексы: PV/RT, U/RT, U/PV и др. Дифференциальные характеристики: теплоемкости, сжимаемость, коэффициент термического расширения, скорость звука, показатели изотермы и изоэнтропы, параметр Грюнайзена. Уравнения состояния (УРС): Термическое и калорическое УРС. Неполнота калорического УРС $U(P, V)$. Особенности термодинамического описания в сопряженных переменных. Термодинамичес кие процессы. Обратимые и необратимые. Адиабатические процессы. Смысл их графического изображения. Ударное и изоэнтропическое сжатие и расширение</p>		
--	--	--	---	--	--

			<p>(адиабаты Пуассона и Гюгонио). Исключительная роль калорического УРС $U(P, V)$ для описания гидродинамики адиабатических течений и для экспериментального изучения неидеальной плазмы (ударные волны, взрывающиеся проволочки, изознтропические разгрузка и сжатие). Связь параметров адиабатических процессов с калорическим УРС. Понятие о термодинамическом подобии.</p>		
2	Неидеальная плазма в земных и космических приложениях	<p>Традиционные объекты. Высокоэнергетическое воздействие на вещество. Неидеальная плазма в астрофизических приложениях.</p>	<p>Традиционные объекты. Разряды. Продукты сгорания и взрыва. Плазма в современных и перспективных энергоустройствах. Инерциальный термоядерный синтез. Ядерная энергетика. Проблемы безопасности и техногенных катастроф. Высокоэнергетическое воздействие на вещество. Лазерный нагрев. Электронные и ионные пучки. Микро-электровзрыв. Неидеальная плазма в астрофизических приложениях. Характерные</p>	12	11

			<p>параметры плазмы астрофизических объектов (Солнца, планет-гигантов, белых и коричневых карликов, нейтронных звезд). Примеры нетрадиционных систем с сильным кулоновским взаимодействием. Электрон-дырочная плазма полупроводников. Плоские слои зарядов. Ионы в магнитных ловушках.</p>		
3	<p>Общие сведения о фазовой диаграмме вещества с высокой концентрации энергии</p>	<p>Области конденсированного, плазменного и идеально-газового состояния. Опорные размерные величины вещества. Понятие полос ионизации (ПИ). Полуэмпирические закономерности для границы перехода газ-жидкость. • Понятие о гипотетических "плазменных фазовых переходах" (ПФП). Неконгруэнтные фазовые переходы (НФП) в плазме смесей и химических соединений (компаундов).</p>	<p>Области конденсированного, плазменного и идеально-газового состояния. Зона электронного вырождения. Границы фазовых переходов испарения и плавления перехода газ-жидкость в термическом и калорическом УРС. Общий вид фазовой диаграммы вещества в стандартных представлениях: $P-N$, $P-V$, $T-V$ и $H-T$. Сосуществование фаз. Уравнение Клапейрона - Клаузиуса. Двухфазные области. Бинодаль, спинодаль, тройная и критическая точки. Метастабильные состояния. Опорные размерные величины вещества:</p>	12	11

			<p>нормальная плотность, теплота плавления, кипения и сублимации, энергии ионизации, диссоциации и др. Критические параметры.</p> <p>Взаимосвязь с параметрами межчастичного взаимодействия.</p> <p>Понятие полос ионизации (ПИ). Укрупненные (оболочечные) полосы. Полосы молекулярных превращений.</p> <p>Взаиморасположение. Предельные свойства. Связь с термодинамическими параметрами.</p> <p>Полуэмпирические закономерности для границы перехода газ-жидкость. Правило прямолинейного диаметра.</p> <p>Линейность логарифма давления насыщения как функции от обратной температуры.</p> <p>Степенной характер убывания теплоты испарения с температурой.</p> <p>Понятие о гипотетических "плазменных фазовых переходах" (ПФП). История и современные поиски в плотной плазме водорода, благородных газах и металлах.</p> <p>Результаты</p>		
--	--	--	--	--	--

			<p>экспериментальных поисков ПФП.</p> <p>Неконгруэнтные фазовые переходы (НФП) в плазме смесей и химических соединений (компаундов). Особенности фазовых диаграмм НФП. Фазовые переходы в уран-содержащих топливах современных и перспективных ядерных реакторов и связь с проблемой безопасности ядерной энергетики.</p>		
4	<p>Связь термодинамики с приближением сплошной среды.</p>	<p>Связь электростатики и термодинамики в задачах термоэлектростатики. Течения. Адиабатические течения: изоэнтропическое, дросселирование, расширение в пустоту, ударное сжатие.</p>	<p>Связь электростатики и термодинамики в задачах термоэлектростатики. "Самосогласованное" приближение ("среднего поля"). Бескорреляционные приближения Пуассона-Больцмана и Томаса-Ферми. Простейший учет корреляций. Приближения Томаса-Ферми-Дирака и Пуассона-Больцмана-Дебая. Примеры: электроны в атомной ячейке, заряды вокруг мелкодисперсной конденсированной частицы, структура двойного электрического слоя на границе проводника, профиль заряда в Z-пинче, ионы в</p>	14	12

			<p>магнитных накопителях.</p> <p>Течения.</p> <p>Адиабатические течения: изоэнтропическое, дросселирование, расширение в пустоту, ударное сжатие.</p> <p>Эффективный показатель изоэнтропы.</p> <p>Приближение локального термодинамического равновесия (ЛТР). Полное и неполное ЛТР. Замороженные течения. Роль калорического уравнения состояния $U(PV)$ в адиабатических течениях. Связь показателя изоэнтропы и формы ударной адиабаты с УРС $U(PV)$. Неполнота термодинамического описания, содержащаяся в калорическом УРС. Пример трех идеальных газов и системы частиц с взаимодействием $\sim 1/r^2$.</p>		
5	<p>Общие сведения о механизмах неидеальности и их влиянии на термодинамику вещества с высокой концентрацией энергии</p>	<p>Понятие о механизмах неидеальности по разным типам межчастичного взаимодействия и их влиянии на термодинамику газоплазменных систем. Два эффекта межчастичного притяжения –</p>	<p>Понятие о механизмах неидеальности по разным типам межчастичного взаимодействия и их влиянии на термодинамику газоплазменных систем.</p> <p>Терминология. Поправки на</p>	12	16

		<p>образование ассоциаций и потеря термодинамической устойчивости (фазовый переход).</p>	<p>неидеальность. Идеализация бинарно-аддитивного межчастичного взаимодействия. Два эффекта межчастичного притяжения – образование ассоциаций и потеря термодинамической устойчивости (фазовый переход). Основные эффекты и определяющие безразмерные параметры. Ионизация давлением. Термин и содержание. Строение $N-T$ диаграммы для водорода и плазмы металлов. Взаимодействие заряд-нейтрал и нейтрал-нейтрал. Параметры неидеальности.</p>		
6	<p>Особенности кулоновской неидеальности в плотной плазме.</p>	<p>Дебаевское приближение для поправок на неидеальность. Неидеальная плазма в идеализированных кулоновских моделях.</p>	<p>Дебаевское приближение для поправок на неидеальность. Проблема разделения степеней свободы на внутренние и поступательные. Общие представления об аппарате строгой теории неидеальных систем. Разложения, диаграммы, Понятия о диаграммном пересуммировании. Неидеальная плазма в идеализированных кулоновских моделях. Общие</p>	12	12

			сведения о семействе кулоновских моделей и структуре их фазовых диаграмм. Однокомпонентная классическая плазма (ОКП). Электронный газ (модель "желе"). Модель классической ионной смеси. Заряженные твердые сферы. Двухкомпонентные модели. Фазовые свойства кулоновских моделей.		
			Итого	72	72

8. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения

Перечень контрольных вопросов для сдачи зачета:

1. Термодинамические параметры и функции. Терминология. Классификация. Экстенсивные и интенсивные, удельные, сопряженные. Термодинамические ("производящие") потенциалы и их собственные переменные. Термодинамические потенциалы, преимущественно используемые в теории неидеальных систем. Основные безразмерные комплексы термодинамических величин (PV/RT , U/RT , U/PV , C_p/R , C_v/R и др.). Их предельные значения для идеального газа.
2. Уравнения Состояния (УРС). Термическое и калорическое. "Усеченное" калорическое УРС. Связь показателя энтропии и уравнения ударной адиабаты с усеченным калорическим УРС (вывод). Общий случай и частный: $U(P,V) = U(PV) = A + B*PV$.
3. Адиабатические и неадиабатические термодинамические процессы. Примеры. Что необходимо задать из термодинамики для расчета газодинамики адиабатических процессов.
4. Полное и частичное термодинамическое равновесие. Локальное термодинамическое равновесие (ЛТР). Двухтемпературная плазма.
5. Понятие о термодинамическом пределе. Размерность термодинамических функций в термодинамическом пределе. Особенность в случае плазмы. Иерархичность полного набора термодинамических функций и независимых переменных. Особенности термодинамического предела в плазме.
6. Идеальный газ. Смысл термина. Разновидности. Совершенный газ. Квазиидеальный газ. Идеальная смесь. Примеры. Различие системы без взаимодействия и системы без корреляций. Идеальный газ со статистикой Больцмана, Ферми, Бозе. УРС идеального ферми-газа при $T = 0$ и при $T > 0$.
7. Структура фазовой диаграммы идеальной частично ионизованной невырожденной

плазмы (включая области плавления и испарения): "Полосы" ионизации (ПИ) и диссоциации (ПД). Границы, форма и расположение полос в ПИ и ПМ в координатах ρ - T , U - T и P - T .

8. Ход термодинамических зависимостей при пересечении полос ионизации и диссоциации. Поведение безразмерных комплексов PV/RT и $U-3/2PV$ на изолиниях. Искажения изоэнтропы и ударной адиабаты, пересекающих ПИ. Понятие об "оболочечных" осцилляциях.

9. Виды межчастичных взаимодействий. Смысл терминов - короткодействие и дальноедействие. Условия "малости" взаимодействия. Взаимодействия парные и непарные, аддитивные и не..., насыщаемые и бинарно-аддитивные. Термодинамические проявления межчастичного притяжения и отталкивания. Образование ассоциатов, фазовые переходы, жесткость УРС вещества в конденсированном состоянии, "холодная кривая".

10. Примеры простейших моделей неидеальных систем с короткодействием и дальноедействием. Выражение для параметра неидеальности.

11. Диаграмма и параметры неидеальности классической и квантовой однокомпонентной плазмы. Структура асимптотических разложений электронного газа в двух пределах слабой неидеальности.

9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Учебная аудитория, оснащенная мультимедиапроектором и экраном.

10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Основная литература

1. Иосилевский И.Л., Красников Ю.Г., Сон Э.Е., Фортов В.Е. "Термодинамика и транспорт в неидеальной плазме", Изд-во. МФТИ, Москва, 2000, ISBN 5-89155-017-2 // http://en.edu.ru/shared/files/old/4307_iksf.pdf
2. Фортов В.Е. Физика экстремальных состояний на земле и в космосе (М.: Физматлит, 2007)
3. Фортов В.Е., Якубов И.Т., Храпак А.Г. - Физика Неидеальной Плазмы, ИХФ Черноголовка, 1984. Энергоатомиздат, 1994.// Фортов В.Е., Экстремальные состояния вещества на Земле и в космосе; М.: Физматлит, РР. 263 (2008)
4. Фортов В.Е. Экстремальные состояния вещества; М.: Физматлит, РР. 303 (2009)
5. Фортов В.Е. Физика высоких плотностей энергии, М.: Физматлит, РР. 505 (2013)
6. Иосилевский И.Л., Неконгруэнтные фазовые переходы в плазме земных и космических приложений, Доклад на Ученом Совете ОИВТ РАН, 21/09/2011 // http://jiht.ru/science/science_council/presentations/ioselevskiy/DEMO_IVTAN_SOVET_2011_Iosilevskiy_f.ppt.pdf
7. Эбелинг В., Фёрстер А., Фортов В., Грязнов В., Полищук А., Теплофизические свойства горячей плотной плазмы // Ижевск, НИЦ "Регулярная и хаотическая динамика" 2007, 405с.
8. Фортов В.Е., Филинов В.С., Ларкин А.С., Эбелинг В. Статистическая физика плотных газов и неидеальной плазмы. М.: ФИЗМАТЛИТ. 2020.
9. Мочалов М.А., Илькаев Р.И., Фортов В.Е., Михайлов А.Л., Аринин В.А., Бликов А.О., Комраков В.А., Максимкин И.П., Огородников В.А., Рыжков А.В. Квазиизэнтропическая сжимаемость дейтерия в области давлений 12 ТПа // Письма в ЖЭТФ. 2018. Т.107. С.173-179.
10. Martynova I.A., Iosilevskiy I.L. The macroion effective charge in asymmetric complex plasmas // Contrib. Plasma Phys. 2022. V. 62. P. e202100151.
11. L.G. Dyachkov, T.S. Ramazanov, O.F. Petrov, M.M. Vasiliev, M.I. Myasnikov, V.E. Fortov, K.N. Dzhumagulova, M.T. Gabdullin, M.K. Dosbolayev, Y.A. Ussenov, Zh.A. Moldabekov, S.F.

Savin, T.A. Musabaev, Zh.Sh. Zhantayev, A.A. Aimbetov. Structure of a Coulomb cluster in the cusp magnetic trap under microgravity conditions // *Contrib. Plasma Phys.* 2018. V.58. P. 940-945.

Дополнительная литература

1. Иосилевский И.Л. Общая характеристика термодинамического описания низкотемпературной плазмы, *Энциклопедия Низкотемпературной Плазмы*, т.1 (Ред. В.Е.Фортов) М.: Наука, 2000 / с.275.
2. Иосилевский И.Л. Старостин А.Н. Проблема термодинамической устойчивости в низкотемпературной плазме, "Энциклопедия Низкотемпературной Плазмы", т.1 (Под ред. В.Е.Фортова) (М.: Наука, 2000) с.327.
3. Иосилевский И.Л. Эффекты неидеальности в низкотемпературной плазме, *Энциклопедия низкотемпературной плазмы*, Том приложений III-1 / М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004, сс.349-428.
4. Эбелинг В., Крефт В., Кремп Д. - Теория связанных состояний и ионизационного равновесия в плазме, МИР, Москва, 1979.
5. Статистическая физика - учебники: Ландау и Лифшиц // Квасников, МГУ, 1991// Р.Кубо // Р.Фейнман // Уленбек и Форд // Т.Хилл, К.Хуанг (1966) //А.Исихара (1973)
6. Термодинамика - учебники: Базаров И.П. (1976) // Кубо Р. (1970)
7. Зельдович Я.Б., Райзер Ю.П. - Физика ударных волн, Наука, М.1966 // ФИИЗМАТЛИТ 2008.
8. Грязнов В.К., Иосилевский И.Л., Фортов В.Е., Термодинамика ударно-сжатой плазмы в квазихимическом представлении, Том III-1 приложений к Энциклопедии по физике низкотемпературной плазмы, «Термодинамические свойства низкотемпературной плазмы» М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. сс.111-139
9. Крефт В, Кремп Д, Эбелинг В, Репке Г. Квантовая статистика систем заряженных частиц (М.: Мир, 1988) (*Электронная библиотека МФТИ: [http://lib.mipt.ru/book/4515/?q=%D0%9A%D1%80%D0%B5%D1%84%D1%82+](http://lib.mipt.ru/book/4515/?q=%D0%9A%D1%80%D0%B5%D1%84%D1%82)*)
10. Зеленер Б.В., Норман Г.Э., Филинов В.С. Теория возмущений и псевдопотенциал в статистической термодинамике (М.: Наука, 1981)
11. Martynova I., Iosilevskiy I. Self-similarity in nonlinear screening in asymmetric complex plasmas // *Contrib. Plasma Phys.* 2021. V.61. P. e202000142.
12. Иосилевский И.Л., Чигвинцев А.Ю., Ногинова Л.Ю., Зорина И.Г. Аномалии профиля пространственного заряда и фазовые переходы в модифицированных моделях однокомпонентной плазмы // *Теплофизика высоких температур.* 2021. Т.59. С. 836-841.
13. Faik S., Tauschwitz An., Iosilevskiy I. The equation of state package FEOS for high energy density matter // *Comput. Phys. Commun.* 2018. V.227. С.117-125.

Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля) Электронные ресурсы, включая доступ к базам данных:

Стандартные пакеты MS Office.

<http://www.ihed.ras.ru/rusbank/>/<http://www.nist.gov/pml/data/index.cfm>

1. <http://lib.mipt.ru/catalogue/1604/?t=492> – электронная библиотека Физтеха

2. <http://www.exponenta.ru> – образовательный физический сайт.

3. <http://www.edu.ru> – федеральный портал «Российское образование».

5. <http://benran.ru> –библиотека по естественным наукам Российской академии наук.

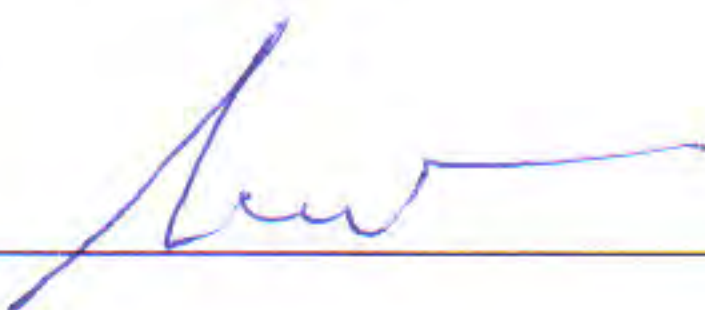
6. <http://www.i-exam.ru> – единый портал Интернет-тестирования в сфере образования.

Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

На лекционных занятиях используются мультимедийные технологии, включая демонстрацию презентаций. Для контроля и коррекции знаний обучающиеся могут использовать компьютерное тестирование, в том числе на портале www.i-exam.ru. В процессе самостоятельной работы обучающихся возможно использование таких программных средств, как Mathcad, Scilab и др.

11. Язык преподавания - русский.

Программу составил



д.ф.-м.н., с.н.с. Иосилевский И.Л.

«14» июня 2022 г.