

ПРОГРАММА ВСТУПИТЕЛЬНОГО ЭКЗАМЕНА  
для поступающих в аспирантуру по группе научных специальностей

**1.3 «ФИЗИЧЕСКИЕ НАУКИ»**

Программа вступительного экзамена включает в себя общие вопросы по группе научных специальностей 1.3 «Физические науки» (Блок 1) и вопросы по выбору по научным специальностям 1.3.6 «Оптика», 1.3.14 «Теплофизика и теоретическая теплотехника» (Блок 2).

**БЛОК 1. ВОПРОСЫ ПО ГРУППЕ НАУЧНЫХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ**

**1. Основы электромагнетизма.** Линии напряженности электрического поля и эквипотенциальные поверхности. Связь между напряженностью и потенциалом. Работа силы электрического поля. Потенциал. Электрический диполь в однородном и неоднородном поле (вращательный момент, энергия, сила). Дипольный электрический момент системы зарядов. Поле электрического диполя. Емкость. Конденсаторы. Емкость плоского конденсатора. Энергия заряженного конденсатора. Энергия электрического поля. Плотность энергии. Сила и плотность тока. Закон Ома и закон Джоуля-Ленца в интегральной и дифференциальной формах. Мощность тока. Удельная тепловая мощность тока. Магнитное поле равномерно движущегося заряда. Сила Лоренца. Сила, действующая на заряд, движущийся в магнитном поле. Закон Био-Савара-Лапласа. Теорема о циркуляции. Явление электромагнитной индукции. Уравнения Максвелла.

**2. Основы квантовой физики, строения вещества, атомной и ядерной физики.** Экспериментальные законы теплового излучения (Стефана-Больцмана, Вина). Формула Планка. Вывод закона Стефана-Больцмана из формулы Планка. Фотоэффект. Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта. Фотоны. Постулаты Бора. Опыт Франка и Герца. Гипотеза де-Бройля. Экспериментальные основания квантовой механики. Соотношение неопределенностей Гейзенберга. Оценка размеров и минимальной энергии водородоподобного атома. Уравнение Шредингера. Физический смысл и свойства пси-функции. Частица в одномерной бесконечно глубокой потенциальной яме. Результаты квантовой механики для одномерного гармонического осциллятора. Собственный механический и магнитный моменты электрона. Магнетон Бора. Принцип Паули. Электронные конфигурации. Комбинационное рассеяние света. Энергетические зоны в твердых телах. Металлы, диэлектрики и полупроводники. Собственные и примесные полупроводники. Электронная и дырочная проводимость.

**3. Физика конденсированного состояния.** Фазовое состояние вещества. Диаграммы состояния веществ. Кристаллические структуры. Кристаллическая решетка. Свойства симметрии кристаллических решеток. Элементарная ячейка. Обратная решетка. Теплоемкость кристаллической решетки. Модели Дебая и Эйнштейна. Энергетические состояния электронов в металле. Электронная структура металлов и металлическая связь. Распределение Ферми для электронов. Поверхность Ферми. Плотность состояний. Обменное взаимодействие. Спонтанная намагниченность. Ферромагнетизм и антиферромагнетизм. Явление сверхпроводимости. Квантование магнитного потока. Сверхпроводник в магнитном поле. Сверхпроводники первого и второго рода. Критические магнитные поля.

**4. Физика плазмы.** Понятие плазмы, ее образование. Дебаевский радиус. Плазменная частота. Движение заряженных частиц в магнитном поле. Процессы переноса в плазме. Торможение частиц в среде. Основные типы колебаний и волн в плазме Затухание Ландау.

**5. Лазерная физика.** Фазовое движение. Принцип автофазировки. Классический циклотрон, микротрон, электронные и ионные синхротроны. Линейные ускорители электронов на бегущей и стоячей волне. Спонтанные и индуцированные переходы. Принцип действия лазера. Пороговое условие для получения генерации в лазере. Свободная генерация. Стационарная генерация. Открытый оптический резонатор. Собственные типы колебаний. Добротность резонатора. Модуляция добротности, синхронизация мод. Газовые лазеры. Лазеры на атомах и ионах инертных газов. Молекулярные лазеры. Твердотельные лазеры.

**СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Савельев И.В. Курс общей физики: в 4 т. Москва: КНОРУС. Т.1: Механика. Молекулярная физика и термодинамика: учебное пособие для вузов. 2012. 522 с.

2. Савельев И.В. Курс общей физики: в 4 т. Москва: КНОРУС. Т.2: Электричество и магнетизм. Волны. Оптика. 2009. 570 с.
3. Савельев И.В. Курс общей физики: учебное пособие в 4 т. Москва: КНОРУС. Т.3: Квантовая оптика. Атомная физика. Физика твердого тела. Физика атомного ядра и элементарных частиц: учебное пособие для вузов. 2012. 360 с.
4. Иродов И.Е. Квантовая физика: основные законы. Москва: Бином. Лаборатория знаний. 2014. 256 с.
5. Иродов И.Е. Электромагнетизм. Основные законы: учебное пособие для вузов. Москва: Бином. Лаборатория знаний, 2014. 320 с.
6. Мухин К.Н. Экспериментальная ядерная физика: учебник. Санкт-Петербург: Лань. Т.1: Физика атомного ядра. 2009. 383 с.
7. Ч. Киттель. Введение в физику твердого тела. М. Физматлит: 2006
8. К. Шалимова. Физика полупроводников. М.: Лань, 2010.
9. Е.С. Боровик, В.В. Еременко, А.С. Мильнер Лекции по магнетизму. М.:Физматлит, 2005.
10. В.А. Боков Физика магнетиков. Санкт-Петербург. Невский диалект, 2002.
11. В.В. Шмидт, Введение в физику сверхпроводников, М.: Наука, 2000.
12. А.А. Абрикосов Основы теории металлов. М.: Физматлит, 2005.
13. А.И. Лебедев. Физика полупроводниковых приборов. М.: Физматлит, 2008.
14. Гуревич А.Л. Физика твердого тела. С.-Петербург, Невский диалект, 2004.
15. Д. Уайт. Квантовая теория магнетизма, М.: Мир, 1985.
16. М. Ашкрофт, Н. Мермин, Физика твердого тела, в 2-х томах, М., Мир, 1977
17. Дж. Займан. Принципы теории твердого тела. М.: Мир, 1974.
18. Морозов Д.Х. Введение в теорию горячей плазмы / Д. Х. Морозов. - 2-е изд., испр. и доп. - Москва : НИЯУ МИФИ. Ч.1., Ч.2, 2013.
19. Жданов С.К., Курнаев В.А., Романовский М.К, Цветков И.В. Основы физических процессов в плазме и плазменных установках
20. Готт Ю.В., Курнаев В.А, Вайсберг О.Л. Корпускулярная диагностика лабораторной и космической плазмы
21. Фортов В.Е. Лекции по физике экстремальных состояний вещества / В. Е. Фортов. - Москва: Издательский дом МЭИ, 2013. - 234 с. - (Высшая школа физики. Вып.1).
22. Генерация пучков заряженных частиц в диодах со взрывоэмиссионным катодом / А. И. Пушкарев [и др.]. - Москва : Физматлит, 2013.
23. Арцимович Л.А., Лукьянов С.Ю. Движение заряженных частиц в электрических и магнитных полях.
24. О. Звелто. Принципы лазеров. С.- Петербург, «Лань», 2011. 592с.
25. Ходгсон, Н., Вебер Х. Лазерные резонаторы и распространение пучков. Основы, современные понятия и прикладные аспекты / Ходгсон Н. , Вебер Х. - Москва : ДМК Пресс, 2017. - 744 с. - ISBN 978-5-97060-176-1.
26. Ельяшевич М.А. Атомная и молекулярная спектроскопия: Атомная спектроскопия. М.: URSS, 2007, 416 с.
27. Жуков А. Е., Основы физики и технологии полупроводниковых лазеров, Российская академия наук Санкт-Петербургский национальный исследовательский Академический университет (Академический университет), Том 4, стр. 364, 2016 год.
28. Г.М.Зверев, Ю.Д.Голяев. Лазеры на кристаллах и их применение. М., «Радио и Связь», 1994,- 312 с.

## **БЛОК 2. ВОПРОСЫ ПО ВЫБОРУ**

### **2.1 ВОПРОСЫ ПО НАУЧНОЙ СПЕЦИАЛЬНОСТИ 1.3.6 «ОПТИКА»**

#### **1. Введение в оптику**

1.1. Волны. Образование волны. Волновое уравнение. Монохроматические колебания и волны. Понятие о разложении Фурье. Энергия, переносимая электромагнитной волной. Классификация волн. Понятие о поляризации волн.

#### **2. Интерференция света**

2.1. Когерентность. Понятие о когерентности. Интерференция колебаний. Интерференция волн. Осуществление когерентных волн в оптике. Различные интерференционные схемы, их основные характеристики. Значение размеров источника света. Пространственная когерентность. Роль поляризации при интерференции поперечных волн. Оптическая длина пути. Таутохронизм оптических систем. Интерференция некогерентных световых пучков. Частично когерентный свет.

2.2. Локализация полос интерференции. Цвета тонких пластинок. Кольца Ньютона. Интерференция в плоскопараллельных пластинках. Полосы равного наклона.

#### **3. Дифракция света**

3.1 Принцип Гюйгенса и его применения. Принцип Гюйгенса-Френеля. Зонная пластинка. Графическое вычисление результирующей амплитуды. Простейшие дифракционные проблемы. Спираль Корню и применение ее для графического решения дифракционных задач.

3.2. Дифракция в параллельных лучах (дифракция Фраунгофера). Дифракция Фраунгофера от щели. Влияние ширины щели на дифракционную картину. Влияние размеров источника света. Дифракция от прямоугольного и круглого отверстий. Гауссовы пучки. Дифракция на двух щелях. Дифракционная решетка. Наклонное падение лучей на решетку. Характеристики спектральных аппаратов и сравнение их между собой.

#### **4. Геометрическая оптика**

4.1 Основные положения геометрической (лучевой) оптики. Основные определения. Закон преломления и отражения. Принцип взаимности. Преломление (и отражение) на сферической поверхности. Фокусы сферической поверхности. Изображение малых предметов при преломлении на сферической поверхности. Увеличение. Теорема Лагранжа-Гельмгольца. Центрированная оптическая система. Преломление в линзе. Общая формула линзы. Фокусные расстояния тонкой линзы. Изображение в тонкой линзе. Увеличение. Идеальные оптические системы.

4.2 Оптические инструменты. Роль диафрагм. Апертурная диафрагма, входной и выходной зрачки. Диафрагма поля зрения. Фотографический аппарат. Глаз как оптическая система. Оптические инструменты, вооружающие глаз. Проекционные устройства. Спектральные аппараты. Восприятие света.

4.3 Дифракционная теория оптических инструментов. Разрешающая сила объектива. Разрешающая сила микроскопа. Электронный микроскоп. Метод темного поля (ультрамикроскопия). Метод фазового контраста. Дифракционные явления в спектрографах (хроматическая разрешающая сила).

#### **5. Поляризация света**

5.1 Естественный и поляризованный свет. Поперечность световых волн. Распространение света через турмалин. Поляризация при отражении и преломлении света на границе двух диэлектриков. Ориентация электрического вектора в поляризованном свете. Закон Малюса. Естественный свет.

5.2 Поляризация при двойном лучепреломлении. Двойное лучепреломление и поляризация света при прохождении через кристалл исландского шпата. Поляризационные приспособления.

5.3 Интерференция поляризованных лучей. Опыты Френеля и Араго. Эллиптическая и круговая поляризация света. Внутренняя структура естественного света. Обнаружение и анализ эллиптически-циркулярно-поляризованного света.

#### **6. Распространение света через границу раздела двух сред**

6.1 Отражение и преломление света на границе двух диэлектриков. Формулы Френеля. Поляризация света при прохождении через границу двух диэлектриков. Закон Брюстера.

6.2 Полное внутреннее отражение. Явление полного внутреннего отражения. Исследование отраженной волны. Эллиптическая поляризация. Исследование преломленной волны.

6.3 Основы металлооптики. Характеристика оптических свойств металла. Оптические постоянные металлов и их определение.

## **7. Молекулярная оптика**

7.1 Дисперсия и абсорбция света. Дисперсия света. Методы наблюдения и результаты. Основы теории дисперсии. Поглощение (абсорбция) света. Закон Бугера. Ширина спектральных линий и затухание излучения.

7.2 Рассеяние света. Прохождение света через оптически неоднородную среду. Молекулярное рассеяние света. Спектры молекулярного рассеяния света. Комбинационное рассеяние света.

7.3 Явление Зеемана. Сущность явления Зеемана. Элементарная теория явления Зеемана. Аномальный (сложный) эффект Зеемана. Обратный эффект Зеемана. Его связь с явлением Фарадея. Явление Штарка.

## **8. Люминесценция**

8.1 Излучение атомов и молекул. Спектральные закономерности. Линейчатые спектры. Постулаты Бора. Атом водорода. Резонансное излучение. Длительность возбужденного состояния. Радиационные процессы в квантовой теории атома. Вывод формулы Планка по Эйнштейну. Возбуждение свечения нагреванием. Полосатые спектры молекул в видимой и ультрафиолетовой областях. Инфракрасные спектры молекул.

8.2 Фотолюминесценция. Флуоресценция молекул. Фотолюминесценция жидкостей и твердых тел. Спектральный состав люминесценции. Правило Стокса. Длительность фотолюминесценции. Определение люминесценции и критерий длительности. Излучение Вавилова-Черенкова. Кристаллические фосфоры. Люминесцентный анализ. Люминесцентные источники света.

## **9. Лазеры. Нелинейная оптика**

9.1 Лазеры. Излучение электромагнитных волн совокупностью когерентных источников. Поглощение и усиление излучения, распространяющегося в среде. Эффект насыщения. Принцип действия оптического квантового генератора. Описание устройства и работы рубинового лазера. Гелий-неоновый лазер непрерывного действия. Спектр излучения лазеров. Конфигурация поля, создаваемого лазерами. Генерация сверхкоротких импульсов света. Полупроводниковые лазеры.

9.2 Нелинейная оптика. Самофокусировка. Самодифракция. Распространение группы волн в нелинейной среде. Основы теории нелинейной дисперсии. Генерация кратных, суммарных и разностных гармоник. Отражение волн в нелинейной оптике. Параметрические нелинейные явления. Вынужденное комбинационное рассеяние света.

## **СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Борн М., Вольф Э. Основы оптики. М.: Наука, 1970.
2. Матвеев А.Н. Оптика. М.: Высшая школа, 1985.
3. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Оптика. М.: Наука, 1980.
4. Ахманов С.А., Никитин С.Ю. Физическая оптика. М.: Изд-во МГУ, 1998.
5. Мандель Л., Вольф Э. Оптическая когерентность и квантовая оптика. М.: Физ-матлит, 2000.
6. Ландсберг Оптика: учебное пособие, 6-е изд., М.: Физматлит, 2010.
7. Новотный Л., Хехт Б. Основы нанооптики, М.:Физматлит, 2011.
8. Скалли М.О., Зубайри М.С. Квантовая оптика, М.: Физматлит, 2003.
9. Шен И.Р. Принципы нелинейной оптики. М.: Наука, 1989.
10. Ельяшевич М.А. Атомная и молекулярная спектроскопия. М.: Эдиториал УРСС, 2001.
11. Васильев А.Н., Михайлин В.В. Введение в спектроскопию твердого тела. М.: Изд-во МГУ, 1987.
12. Лебедева В.В. Экспериментальная оптика. М.: Изд-во МГУ, 1994.
13. Левшин Л.В., Салецкий А.М. Оптические методы исследования молекулярных систем. Ч.1: Молекулярная спектроскопия. М.: Изд-во МГУ, 1994.
14. Карлов Н.В. Лекции по квантовой электронике. М., Наука, 1988.
15. Корниенко Л.С., Наний О.Е. Физика лазеров. Ч.1, 2. М.: Изд-во МГУ, 1996.
16. Ханин Я.И. Основы динамики лазеров. М., 1999.
17. Ахманов С.А., Выслоух В.А., Чиркин А.С. Оптика фемтосекундных лазерных импульсов. М.: Наука, 1990.
18. Парыгин В.Н., Балакший В.И. Оптическая обработка информации. М.: Изд-во МГУ, 1987.
19. Воронцов М.А., Шмальгаузен В.И. Принципы адаптивной оптики. М.: Наука, 1985.
20. Гудмен Дж. Статистическая оптика. М.: Мир, 1988.
21. Клышко Д.Н. Физические основы квантовой электроники. М.: Наука, 1986.
22. Гудмен Дж. Введение в фурье-оптику. М.: Мир, 1970.

23. Исимару А. Распространение и рассеяние волн в случайно-неоднородных средах. Т. 1, 2. М.: Мир, 1981.

## **2.2 ВОПРОСЫ ПО НАУЧНОЙ СПЕЦИАЛЬНОСТИ**

### **1.3.14 «ТЕПЛОФИЗИКА И ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ТЕПЛОТЕХНИКА»**

#### **1 Техническая и химическая термодинамика**

Основные понятия и законы. Термодинамическая система, термодинамическое состояние и его параметры. Термодинамическая поверхность, ее представление на диаграммах. Первый закон термодинамики. Обратимые и необратимые процессы. Второй закон термодинамики. Цикл Карно. Энтропия и ее статистическая интерпретация.

Характеристические функции. Свободная энергия. Термодинамические потенциалы. Химические потенциалы. Связь между потенциалами.

Дифференциальные уравнения термодинамики. Расчет калорических и термодинамических функций по термическому уравнению состояния.

Термодинамика идеальных систем. Идеальный газ, уравнение идеального газа. Калорические функции. Процессы изменения состояния идеального газа. Вырожденные идеальные газы. Теплоемкость металлов.

Термодинамика реальных чистых веществ. Уравнение состояния реальных веществ, вириальная форма уравнения. Методы термодинамического подобия и их молекулярное обоснование. Фазовые равновесия, общие условия равновесия. Фазовые переходы первого и высших порядков. Термодинамические свойства веществ на линии фазовых переходов и в критической точке. Термодинамические свойства вещества в метастабильном состоянии. Уравнения Клапейрона-Клаузиуса, Пойнтинга. Поверхностные явления. Эффект Джоуля-Томсона. Кривая инверсии. Понятие о методах расчета свойств реальных чистых веществ.

Основные термодинамические процессы. Изохорный процесс. Изобарный процесс. Изотермический процесс. Политропные процессы. Дросселирование, эффект Джоуля—Томпсона. Адиабатическое расширение реального газа в вакуум (процесс Джоуля). Процесс смешения. Процессы сжатия в компрессоре.

Термодинамика многокомпонентных и многофазных систем. Парциальные величины. Уравнение Гиббса-Дюгема. Идеальные и реальные смеси и растворы. Фазовые равновесия. Правило фаз. Летучесть. Законы Рауля и Генри. Активность. Фазовые переходы в растворах.

Процессы истечения газов и жидкостей. Параметры торможения. Сопло, диффузор. Полное и статическое давление. Уравнение Бернулли. Число Маха. Показатель адиабаты.

Циклы, их представление на диаграммах и анализ. Необратимые циклы. Циклы компрессоров, циклы энергетических установок и двигателей. Циклы холодильных и криогенных установок.

Элементы термодинамики необратимых процессов. Понятия об обобщенных силах и потоках. Неравновесные газы. Явления переноса. Термодиффузия, общее уравнение диффузии.

Химическая термодинамика. Тепловые эффекты реакций. Основные законы термохимии Константа равновесия. Закон действующих масс. Диссоциация. Ионизация. Теорема Нернста и расчеты констант равновесия.

#### **2 Молекулярная физика**

Микроскопическое и макроскопическое состояние системы. Статистический ансамбль системы.

Микроканонический ансамбль. Вычисление средних по ансамблю и средних по времени. Эргодическая гипотеза.

Канонический ансамбль. Распределение Гиббса. Нормировка распределения. Статистическая сумма.

Распределение Максвелла. Температура. Характерные скорости распределения Максвелла.

Распределение Больцмана. Связь распределений Максвелла и Больцмана.

Основное уравнение кинетической теории газов. Число степеней свободы. Распределение энергии по степеням свободы.

Силы межмолекулярного взаимодействия. Сила Ван-дер-Ваальса. Вариальная форма уравнения состояния.

Явление переноса в газах. Средняя длина свободного пробега. Частота столкновений. Сечение столкновений. Процессы переноса в газах: теплопроводность, диффузия, вязкость.

Сечения столкновения заряженных частиц и явления переноса в плазме.

### 3 Теплопередача

Методы теории подобия и размерности и их применение для анализа процессов теплообмена.

Теплопроводность. Уравнение теплопроводности. Начальные и граничные условия. Расчет стационарных температурных полей. Аналитические методы расчета нестационарных температурных полей.

Конвективный теплообмен в однофазной среде. Основные уравнения и граничные условия для процессов конвективного теплообмена. Теплообмен при свободном движении жидкости. Теплообмен при ламинарном течении жидкости в трубах. Полуэмпирическая теория турбулентности. Теплообмен при внешнем обтекании тел в случае ламинарного турбулентного пограничного слоя.

Пленочная и капельная конденсация. Теплообмен при пленочной конденсации на вертикальной поверхности: решение Нуссельта, анализ основных допущений. Конденсация на поверхности горизонтального цилиндра. Конденсация движущегося пара. Качественные закономерности капельной конденсации. Кипение жидкостей. Условия зарождения парового зародыша в объеме перегретой жидкости и на твердой поверхности нагрева. Основные закономерности роста и отрыва паровых пузырьков. «Кривая кипения». Теплообмен при пузырьковом кипении в большом объеме, теплообмен при пленочном кипении. Кризисы кипения в большом объеме.

Теплообмен излучением. Основные понятия и законы излучения. Природа излучения. Интегральная и спектральная плотности потока излучения. Поглощательная, отражательная и пропускательная способности тел. Абсолютно черное тело. Законы теплового излучения (Планка, Вина, Стефана—Больцмана, Кирхгофа, Ламберта). Излучение реальных тел. Радиационные свойства реальных материалов.

### СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Петров, А. И. Техническая термодинамика и теплопередача / А. И. Петров. — 3-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2024. — 428 с. — ISBN 978-5-507-47350-2.
2. Кириллин В.А. Техническая термодинамика: учеб. / В.А. Кириллин, В.В. Сычев, А.Е. Шейндлин. — 5-е изд. перераб. и доп.. — Москва: МЭИ, 2008 495 с.
3. Шпильрайн Э.Э Основы теории теплофизических свойств веществ / Э.Э. Шпильрайн, П.М. Кесельман. — М. Энергия, 1977. — 243 с.
4. Каляева, Н. А. Химическая термодинамика : учебное пособие для спо / Н. А. Каляева, О. В. Василюк. — Санкт-Петербург : Лань, 2024. — 156 с. — ISBN 978-5-507-49593-1.
5. Сычѳв В. В. Дифференциальные уравнения термодинамики / В. В. Сычѳв. - 3-е изд., перераб. - М.: Издательский дом МЭИ, 2010. - 252 с.
6. Краснов К.С. Физическая химия: учеб.: в 2-х кн. / К.С. Краснов, Н.К. Воробьев, И.Н. Годнев. — 3-е изд. перераб. и доп. — Москва, 2001. — кн.1: Строение вещества. Термодинамика. — 512 с.
7. Савельев И.В. Курс общей физики в 5 кн.: учеб. пособие / И.В. Савельев. — М.: АСТ, 2005. — кн. 3: Молекулярная физика и термодинамика. — 208 с.
8. Гиршфельдер Дж. Молекулярная теория газов и жидкостей / Дж. Гиршфельдер, Ч. Кертисс, Р. Берд. — М.: ИЛ, 1961. — 929 с.
9. Кикоин, А. К. Молекулярная физика : учебное пособие для вузов / А. К. Кикоин, И. К. Кикоин. — 5-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2025. — 480 с. — ISBN 978-5-507-52366-5.
10. Ерофеев В.Л. Теплотехника / В.Л. Ерофеев, П.Д. Семенов, А.С. Пряхин. — М.: Академкнига, 2008. — 408 с.
11. Барилевич В.А., Смирнов Ю.А. Основы технической термодинамики и теории тепло- и массообмена: Учебн. пособие.-СПб.: Изд-во Политехн. ун-та. 2014. 453с.
12. Дьяконов, В. Г. Основы теплопередачи : учебное пособие / В. Г. Дьяконов, О. А. Лонцаков ; М-во образования и науки России, Федеральное гос. бюджетное образовательное учреждение высш. проф. образования "Казанский нац. исслед. технологический ун-т". — Казань : КНИТУ, 2011. — 230 с.
13. Цветков Ф.Ф., Григорьев Б.А. Тепломассообмен: учебник для вузов по направлению подготовки "Теплоэнергетика". — М.: МЭИ, 2011. — 558 с.