Министерство образования и науки РФ

ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный технический университет»

Кафедры физики

УТВЕРЖДАЮ

Ректор ФГБОУ ВО «ДГТУ»

д.т.н., профессор

_____ Т.А. Исмаилов

11. 09. 2017г.

ПРОГРАММА

вступительного испытания

по направлению 03.06.01 «Физика и астрономия»

Одобрена на заседании кафедры физики (протокол № 1 от 07.09.2017г.)

Заведующий кафедрой физики

д.т.н., доцент _____ Ахмедов Г.Я.

Махачкала 2017

«Физика конденсированного состояния»

Раздел 1. Механика.

Пространство и время. Кинематика материальной точки. Преобразования Галилея. Динамика материальной точки. Законы сохранения. Основы специальной теории относительности. Неинерциальные системы отсчета. Кинематика абсолютно твердого тела. Динамика абсолютно твердого тела. Колебательное движение. Деформации и напряжения в твердых телах. Механика жидкостей и газов. Волны в сплошной среде и элементы акустики.

Раздел 2. Молекулярная физика.

Идеальный газ. Понятие температуры. Распределение молекул газа по скоростям. Идеальный газ во внешнем потенциальном поле. Броуновское движение. Термодинамический подход к описанию молекулярных явлений. Первое начало термодинамики. Циклические процессы. Второе начало термодинамики. Понятие энтропии термодинамической системы. Реальные газы и жидкости. Поверхностные явления в жидкостях. Твердые тела. Фазовые переходы первого и второго рода.

Раздел 3. Электричество и магнетизм.

Электростатика. Проводники в электростатическом поле. Диэлектрики в электростатическом поле. Постоянный электрический ток. Механизмы электропроводности.

Контактные явления. Магнетики. Объяснение диамагнетизма. Объяснение парамагнетизма по Ланжевену. Ферромагнетики и их основные свойства. Электромагнитная индукция. Энергия магнитного поля. Электромагнитные колебания. Переменный ток. Технические применения переменного тока. Уравнения Максвелла в интегральной и дифференциальной форме. Излучение электромагнитных волн.

Раздел 4. Оптика.

Основы электромагнитной теории света. Модулированные волны. Явление интерференции. Когерентность волн. Многолучевая интерференция. Явление дифракции. Понятие о теории дифракции Кирхгофа. Дифракция и спектральный анализ. Дифракция волновых пучков. Дифракция на многомерных структурах. Поляризация света. Отражение и преломление света на границе раздела изотропных диэлектриков. Световые волны в анизотропных средах. Интерференция поляризованных волн. Индуцированная анизотропия оптических свойств. Дисперсия света. Основы оптики металлов. Рассеяние света в мелкодисперсных и мутных средах. Нелинейные оптические явления. Классические модели излучения разреженных сред. Тепловое излучение конденсированных сред. Основные представления о квантовой теории излучения света атомами и молекулами. Усиление и генерация света.

Раздел 5. Дислокации.

Краевые дислокации. Винтовые дислокации. Общие свойства дислокаций. Энергия дислокаций. Движение дислокаций: переползание и скольжение. Пластическая деформация. Подвижность и размножение дислокаций. Взаимодействие дислокаций.

Раздел 6. Физика атомов и атомных явлений.

Микромир. Волны и кванты. Частицы и волны. Основные экспериментальные данные о строении атома. Основы квантово-механических представлений о строении атома. Одноэлектронный атом. Многоэлектронные атомы. Электромагнитные переходы в атомах. Рентгеновские спектры. Атом в поле внешних сил. Молекула. Макроскопические квантовые явления. Статистические распределения Ферми — Дирака и Бозе-Эйнштейна. Энергия Ферми. Сверхпроводимость и сверхтекучесть и их квантовая природа.

Раздел 7. Физика атомного ядра и частиц.

Свойства атомных ядер. Радиоактивность. Нуклон-нуклонное взаимодействие и свойства ядерных сил. Модели атомных ядер. Ядерные реакции. Взаимодействие ядерного излучения с веществом. Частицы и взаимодействия. Эксперименты в физике высоких энергий. Электромагнитные взаимодействия. Сильные взаимодействия. Слабые взаимодействия. Дискретные симметрии. Объединение взаимодействий. Спин электрона. Момент количества движения. Принцип запрета Паули. Энергетические уровни атома лития. Периодическая система элементов.

Раздел 8. Физические свойства полупроводников.

Зонная структура кремния и германия. Примесные электронные состояния в полупроводниках. Энергия Ферми в полупроводниках. Уровень Ферми в примесных полупроводниках. Потенциальные барьеры. Условия равновесия контактирующих тел. Термоэлектронная работа выхода. Контактная разность потенциалов. Распределение концентрации электронов и потенциала в слое объемного заряда. Длина экранирования.

Электронно-дырочные переходы. Статистическая вольтамперная характеристика p-n-перехода. Туннельный эффект в p-n-переходах, туннельные диоды. Биполярный транзистор.

Влияние поверхностного потенциала на электропроводность. Эффект поля. Поверхностные состояния. Фиксация уровня Ферми поверхностными состояниями.

Раздел 9. Низкоразмерные квантовые структуры.

Полупроводниковые гетеропереходы и гетероструктуры. Размерное квантование. Квантовые ямы, квантовые нити и квантовые точки. Сверхрешетки. Двумерный электронный газ. Резонансное туннелирование.

Квантовый эффект Холла. Квантовый размерный эффект. Квантовый размерный эффект электронов и дырок. Полупроводниковые материалы для квантовых ям и сверхрешеток. Классификация многократно повторяющихся квантовых ям и сверхрешеток. Квантование энергетических уровней электронов и дырок. Квантование электронов в квантовых ямах. Квантование дырок в квантовых ямах.

Электроны и дырки в сверхрешетках. Электрический транспорт. Резонансное туннелирование через квантовую яму с двойным барьером.

Вольт-амперные характеристики приборов с резонансным туннелированием.

Раздел 10. Упорядоченные состояния твердого тела.

Симметрия кристаллов и упорядоченные состояния. Пироэлектричество и сегнетоэлектричество. Механизмы поляризации твердых тел. Поляризационная "катастрофа". Типы сегнетоэлетриков.

Ферро- и антиферромагнетизм. Магнитные моменты и их взаимодействие в твердых тела. Диэлектрическая и магнитная проницаемости вблизи температуры фазового перехода (закон Кюри-Вейсса). Домены в сегнетоэлектриках и ферромагнетиках.

Сверхпроводимость. Эффект Мейсснера. Квантование потока. Эффект Джозефсона.

Раздел 11. Технология получения и свойства диэлектриков в статических полях.

Получение и модификации структуры оксидных и неоксидных

оксидных керамических материалов. Наведенная поляризация. Ионная поляризация. Ориентационная поляризация. Смешанная поляризация. Диэлектрическая восприимчивость жидкостей и твердых тел. Эффективное поле и наведенная поляризация. Поляризация ионных кристаллов. Ориентация диполей. Электрострикция и пьезоэлектричество. Сегнетоэлектричество.

Пленочные керамические наноструктурированные электролюминесцентные материалы для источников света повышенной яркости.

Раздел 12. Электрические свойства полимеров.

Электронная проводимость полимеров: Теории электронной проводимости. Измерение электрических свойств: Мостовые методы. Резонансные методы. Анализаторы частотных характеристик. Волноводные методы. Методы временной области. Измерение удельного сопротивления. Электрический пробой: Электронный пробой. Электромеханический пробой. Тепловой пробой. Пробой вследствие газового разряда.

Длительная электрическая прочность. Конструкция высоковольтных изделий. Ионная проводимость. Дисперсные и молекулярные композиты. Молекулярные композиты.

Полимеры с собственной проводимостью: Сопряженные полимеры. Теории электронных свойств. Физические и химические свойства.

"Физика полупроводников"

Раздел 1. Структура кристаллов.

Симметрия кристаллов. Решетки Бравэ. Базис. Индексы Миллера. Дифракция рентгеновских лучей на кристалле. Обратная решетка. Зоны Бриллюэна. Дефекты кристаллической решетки.

Раздел 2. Энергетический спектр кристаллов.

Уравнение Шредингера дня электрона в кристалле. Адиабатическое,

валентное и одноэлектронное приближение. Свойства волновой функции электрона в кристалле. Теорема Блоха. Заполнение зон. Классификация твердых тел на металлы, полупроводники и диэлектрики с точки зрения зонной теории.

Эффективная масса. Электроны и дырки как квазичастицы в кристаллах.

Свойства волнового вектора электрона в кристалле. Квазиимпульс. Зоны Бриллюэна. Примесные состояния электронов в кристалле. Водородоподобная

модель. Простые и сложные (многовалентные) доноры и акцепторы.Энергетический спектр полупроводников IV группы и соединений A3B5,sp^3-гибридизация.

Раздел 3. Статистика носителей заряда.

Концентрация носителей заряда в вырожденном и невырожденном полупроводниках. Уравнение электронейтральности. Функция заполнения примесного центра. Кратность вырождения примесного уровня. Зависимость уровня Ферми от температуры в донорном, акцепторном и компенсированном полупроводниках. Многозарядные примесные центры.

Раздел 4. Колебания решетки и фононы.

Гармонические колебания кристаллической решетки. Нормальные координаты. Оптические и акустические ветви колебаний. Фононы. Теплоемкость решетки при низких температурах. Ангармонические эффекты. Теплопроводность и тепловое расширение.

Раздел 5. Неравновесные носители заряда, процессы переноса и оптические свойства полупроводников.

Кинетическое уравнение. Причина необратимости во времени. Структура интегралов столкновений носителей заряда с примесями и фононами. Дрейфовый ток. Зависимость времени релаксации по импульсу от энергии и зависимость подвижности от температуры. Причины отклонения от закона $T^{-3/2}$. Диффузионный ток. Соотношение Эйнштейна. Уравнение непрерывности, связь с кинетическим уравнением. Амбиполярные кинетические коэффициенты. Время максвелловской релаксации. Рекомбинация. Время жизни. Квазиуровни Ферми. Модель рекомбинации Шокли-Рида-Холла.

Фотопроводимость собственная и примесная. Вероятность межзонных оптических переходов. Разрешенные запрещенные, прямые и непрямые переходы. Коэффициент поглощения. Поглощение и отражение свободными носителями заряда. Электрооптика. Модуляционная спектроскопия.

Раздел 6. Контактные и поверхностные явления в полупроводниках.

Потенциальные барьеры. Условия равновесия контактирующих тел. Термоэлектронная работа выхода. Контактная разность потенциалов. Распределение концентрации электронов и потенциала в слое объемного заряда. Длина экранирования.

Электронно-дырочные переходы. Статистическая вольтамперная характеристика p-n-перехода. Туннельный эффект в p-n-переходах, туннельные диоды. Биполярный транзистор.

Влияние поверхностного потенциала на электропроводность. Эффект поля. Поверхностные состояния. Фиксация уровня Ферми поверхностными состояниями. Полевой транзистор.

Раздел 7. Упорядоченные состояния твердого тела.

Симметрия кристаллов и упорядоченные состояния. Пироэлектричество и сегнетоэлектричество. Механизмы поляризации твердых тел. Поляризационная "катастрофа". Типы сегнетоэлетриков. Ферро- и антиферромагнетизм. Магнитные моменты и их взаимодействие в твердых тела.Диэлектрическая и магнитная проницаемости вблизи температуры фазового перехода (закон Кюри-Вейсса). Домены в сегнетоэлектриках и ферромагнетиках.

Сверхпроводимость. Эффект Мейсснера. Квантование потока. Эффект Джозефсона.

Раздел 8. Низкоразмерные квантовые структуры.

Полупроводниковые гетеропереходы и гетероструктуры. Размерное квантование. Квантовые ямы, квантовые нити и квантовые точки. Сверхрешетки. Двумерный электронный газ. Резонансное туннелирование. Квантовый эффект Холла. Квантовый размерный эффект. Квантовый размерный эффект электронов и дырок. Полупроводниковые материалы для квантовых ям и сверхрешеток. Классификация многократно повторяющихся квантовых ям и сверхрешеток. Квантование энергетических уровней электронов и дырок. Квантование электронов в квантовых ямах. Квантование дырок в квантовых ямах. Электроны и дырки в сверхрешетках. Электрический транспорт. Резонансное туннелирование через квантовую яму с двойным барьером. Вольт-амперные характеристики приборов с резонансным туннелированием.

«Теплофизика и теоретическая теплотехника»

I. ТЕРМОДИНАМИКА

Термодинамический метод изучения состояния макроскопических систем. Феноменологический характер термодинамики. Параметры состояния, равновесные и неравновесные термодинамические процессы. Законы идеального газа. Первый закон термодинамики. Работа и теплота как функции процесса. Энтальпия, понятие о теплоемкости. Калорические и термические свойства вещества. Процесс Джоуля - Томсона. Циклы (прямые и обратные), тепловые машины. Цикл Карно. коэффициент полезного действия тепловой машины. Формулировки второго закона термодинамики. Термодинамическая шкала температур. Обратимые и необратимые процессы. Энтропия. Понятие о вероятности термодинамического состояния и связь вероятности состояния с энтропией. Характеристические термодинамические функции: внутренняя энергия, энтальпия, свободная энергия, свободная энтальпия. Характеристические функции как термодинамические потенциалы. Соотношения Максвелла. Дифференциальные соотношения для теплоемкостей. Связь между изобарной и изохорной теплоемкостями, их выражение через производные от энергии и энтальпии по температуре. Зависимость теплоемкости идеальных газов от температуры. Уравнения состояния термодинамических систем. Термические и калорические уравнения состояния. Термические коэффициенты: изотермической сжимаемости, термической упругости, термического расширения. Уравнения Клапейрона - Менделеева и Ван-дер-Ваальса. Системы с переменным количеством вещества. Химический потенциал. Термодинамическое равновесие. Принцип минимальности термодинамических функций. Условия термохимического равновесия в многофазных многокомпонентных системах. Фазовые переходы первого рода. Фазовые диаграммы. Тройная и критическая точки. Уравнение Клапейрона-Клаузиуса. Правило фаз Гиббса. Фазовые переходы второго рода. Термические и калорические свойства чистых веществ. Критическая точка. Уравнение Ван-дер-Ваальса. Метастабильные состояния. Качественное отличие свойств реальных газов от идеальных газов. Температура и точка Бойля. Понятие об общей форме уравнения состояния реальных газов

Майера-Боголюбова. Термодинамические свойства веществ на линии фазовых переходов. Термодинамические свойства влажного пара и перегретого пара. Термодинамические диаграммы состояния вещества. Влажный воздух. Характеристики состояния влажного воздуха. Влагосодержание, абсолютная и относительная влажность. Диаграмма состояний влажного воздуха. Элементы химической термодинамики. Применение первого закона термодинамики к химическим процессам. Закон Гесса. Химическое равновесие, закон действующих масс, константа равновесия. Понятие о влиянии кинетики химических реакций на термодинамические и переносные свойства химически реагирующих систем.

II. ТЕПЛО - И МАССОПЕРЕНОС.

Основы теории подобия и метода размерностей. Безразмерные критерии и числа подобия. П - теорема. Критериальные уравнения тепло-и массопереноса.

Теплопроводность. Дифференциальное уравнение теплопроводности (диффузии). Законы Фурье, Фика, коэффициенты теплопроводности, температуропроводности, диффузии. Формулировка краевых задач теплопроводности при граничных условиях I, II и III рода, методы их решения. Основные методы измерения теплофизических характеристик и тепловых потоков. Понятие об обратных задачах теплопроводности.

Конвективный теплообмен. Дифференциальные уравнения конвективного теплопереноса и массопереноса. Закон Ньютона для теплообмена. Коэффициенты теплообмена, теплопередачи. Теплообмен при вынужденном ламинарном течении жидкости. Температурный и диффузионный пограничные слои. Аналогия Рейнольдса. Теплообмен при свободной конвекции. Теплообмен в свободном конвективном пограничном слое у вертикальной пластины (задача Польгаузена). Переход свободного конвективного течения из ламинарного в турбулентное, критическое число Релея. Теплопередача при свободном конвективном турбулентном движении.

Теплообмен при вынужденном турбулентном течении жидкости. Переход ламинарного течения в турбулентное течение. Критические значения критерия Рейнольдса для трубы и пограничного слоя на пластине. Полуэмпирические теории турбулентности. Турбулентная вязкость, путь перемешивания Прандтля. Логарифмический профиль скоростей. Турбулентный перенос теплоты. Расчет теплообмена при турбулентном течении жидкости в трубе. Теплопередача в турбулентном пограничном слое. Критериальные уравнения для теплообмена при турбулентных течениях. Аналогия Рейнольдса для ламинарного и турбулентного течений. Влияние шероховатости на теплоотдачу. Теплоотдача при поперечном омывании труб и пучков труб.

Тепло - и массоперенос при фазовых превращениях. Теплообмен при конденсации пара. Пленочная и капельная конденсация. Теплообмен при пленочной конденсации неподвижного пара на вертикальной стенке. Теплообмен при пленочной конденсации движущегося пара внутри трубы, на горизонтальных трубах и пучках труб. Теплообмен при капельной конденсации.

Теплообмен при кипении однокомпонентных жидкостей. Режимы кипения жидкости. Механизмы теплопереноса при пузырьковом кипении. Зависимость теплового потока от температурного напора. Отрывной диаметр пузыря, скорость роста и частота отрыва пузырей. Структура двухфазного потока и теплообмен при кипении жидкости внутри труб. Кризисы кипения. Механизм теплообмена при

пленочном кипении жидкости. Теплообмен при ламинарном движении паровой пленки. Теплообмен при турбулентном движении паровой пленки. Теплообмен излучением. Основные законы теплового излучения. Закон Планка, закон Стефана-Больцмана. Закон Кирхгофа, закон Ламберта. Поглощение, испускание и рассеяние излучения. Индикатриса рассеяния. Угловые коэффициенты излучения.

Интегро-дифференциальное уравнение переноса излучения, двухпотоковое приближение. Оптическая толщина среды, приближения оптически тонкого и оптически толстого слоя. Коэффициент лучистой теплопроводности. Совместный перенос теплоты теплопроводностью и излучением.

Гидрогазодинамика

Уравнения движения идеальной жидкости: уравнения неразрывности, Эйлера, энергии. Уравнение Бернулли. Потенциальное движение. Дозвуковое и сверхзвуковое течения газа. Число Маха. Предельная скорость стационарного истечения газа в пустоту. Поверхности разрыва. Тангенциальные разрывы и ударные волны. Изменение термодинамических параметров газа при прохождении его через ударную волну. Ударная адиабата. Гидродинамика горения: медленное горение и детонация. Стационарное течение газа в канале переменного сечения. Расчетные и нерасчетные режимы течения. Сопло Лаваля. Нестационарное одномерное течение идеального газа. Распространение возмущений конечной интенсивности (возникновение в трубе ударных волн). Волны разрежения. Элементарная теория ударной трубы. Динамика вязкой жидкости. Связь между тензором напряжений и тензором скоростей деформаций. Реологический закон Ньютона. Ньютоновские вязкие жидкости. Основные реологические законы неньютоновских вязких жидкостей. Уравнения Навье-Стокса. Ламинарное течение жидкости в трубе. Закон Гагена-Пуазейля. Движения вязкой жидкости при больших значениях критерия Рейнольдса. Вывод уравнений Прандтля для ламинарного пограничного слоя. Толщина вытеснения. Пограничный слой на пластине, автомодельное решение Блазиуса. Метод Кармана-Польгаузена.

III. ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ЦИКЛЫ И ТЕПЛООБМЕННЫЕ АППАРАТЫ.

Паросиловые циклы: цикл Ренкина, цикл с промежуточным перегревом пара. Понятие о паровых котлах, паровых турбинах осевых и радиальных. Понятие о теплофикационном цикле.

Циклы поршневых двигателей внутреннего сгорания. Циклы газотурбинных двигателей и понятие о газотурбинных и парогазовых установках, зависимость коэффициента полезного действия установок от термодинамических параметров циклов.

Холодильные (обратные) циклы. Холодильные установки: воздушные, парокомпрессионные, абсорбционные. Принцип работы теплового насоса. Понятие о методах получения сжиженных газов.

Термодинамический анализ работы компрессоров. Варианты процесса сжатия в компрессоре. Поршневые и ротационные компрессоры. Многоступенчатые компрессоры. Изображение рабочих процессов компрессора в энтропийных диаграммах. Понятие о работе центробежных и осевых компрессоров.

Физические основы тепловых труб. Устройство и принцип работы тепловых труб. Виды тепловых труб. Особенности процессов тепло - и массопереноса в тепловых трубах.

Классификация и принцип работы теплообменников. Рекуперативные и регенеративные теплообменники. Основные конструкции прямо - и противоточных теплообменников-рекуператоров. Расчет средней разности температур при прямотоке и противотоке. Различные схемы расположения поверхностей теплообмена при перекрестном токе. Теплопередача при перекрестном токе. Принцип действия и конструкции регенераторов. Уравнения теплового баланса в регенераторах.

Коэффициенты полезного действия и методы сравнения циклов теплосиловых установок. Методы интенсификации теплообмена. Развитые поверхности теплообмена рекуперативных теплообменных аппаратов.

ЛИТЕРАТУРА

«Физика конденсированного состояния»

1. Киттель, Ч. Введение в физику твердого тела / Ч. Киттель // М.: Наука.- 1978.- 220 с.

2. Ашкрофт, Н. Физика твердого тела / Н. Ашкрофт, Н. Мермин // Т. I, II.- М.: Мир.- 1979.- 232 с.

3. Василевский, А.С. Физика твердого тела. Уч. Пособие для вузов / А.С. Василевский.- М.: Дрофа.- 2010.- 210 с.

4. Блайт, Э.Р. Электрические свойства полимеров. Пер. с англ. / Э.Р. Блайт, Д. Блур.- М.: ФИЗМАТЛИТ.- 2008. - 376 с.

5. Займан, Дж. Принципы теории твердого тела// Дж. Займан / М.: Мир.- 1974.- 265 с.

6. Павлов, П.В. Физика твердого тела / П.В. Павлов, А.Ф. Хохлов // М.: Высш. шк.- 2000.- 210 с.

7. Боков, В.А. Физика магнетиков: Учебное пособие для вузов/ В.А. Боков //ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН.- СПб.: Невский диалект; БХВ-Петербург.- 2002.-272 с.

8. Вонсовский, С.В. Магнетизм С.В. Вонсовски // М.: Наука.- 1971.-280 с.

9. Бонч-Бруевич, В.Л. Физика полупроводников / Бонч-Бруевич В.Л., Калашников С.Г. //М.: Наука.- 1979.- 222 с.

10. Шмидт, В.В. Введение в физику сверхпроводимости /Шмидт В.В. // М.: МЦНМО.- 2000.- 212 с.

11. Вудраф. Д. Современные методы исследования поверхности / Д.Вудраф, Т. Делчар. М., Мир, 1989.

12. Ржанов, Н.В. Электронные процессы на поверхности полупроводников / Н.В. Ржанов. // М.: Наука.- 1971.-175 с.

13. Фелдман, Л. Основы анализа поверхности и тонких пленок / Л. Фелдман, Д. Майер // М.: Мир.- 1989.- 192 с.

14. Моррисон, С. Химическая физика поверхности твердого тела/ С. Моррисон // М.: Наука.- 1980.- 488 с.

15. Зигбан, К. Электронная спектроскопия / К. Зигбан, К. Нордлинг // М: Мир.- 1971. -225 с.

16. Немошкаленко, В.В. Электронная спектроскопия кристаллов / В.В.

Немошкаленко, В.Г. Алешин // Киев: Наукова Думка.- 1976. – 365 с.

17. Кулешов, В.Ф. Спектроскопия и дифракция электронов при исследовании поверхности твердых тел / В.Ф. Кулешов, Ю.А. Куренко, С.А. Фридрихов// М.:Наука.- 1985.- 290 с.

«Физика полупроводников»

1.Бонч-Бруевич В.Л., Калашников С.Г. Физика полупроводников. М., Наука, 1990.

2.Ансельм А.И. Введение в теорию полупроводников. М., Наука, 1990.

3.Ридли Б. Квантовые процессы в полупроводниках. М., Мир, 1986.

4.Питер Ю., М. Кордона. Основы физики полупроводников. – М.: Физматлит, 2002.

5.Драгунов В.П., Неизвестный И.Г., Гридчин В.А. Основы наноэлектроники. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2004.

6.Демиховский В.Я., Вугальтер Г.Л. Физика квантовых низкоразмерных структур. М., Логос, 2000.

«Теплофизика и теоретическая теплотехника»

1. Кириллин В.А., Сычев В.В., Шейндлин А.Е. Техническая термодинамика.-М.: Издательский дом МЭИ, 2008

2. Новиков И.И. Термодинамика.- М: Машиностроение, 1984

3. Нащокин В.В. Техническая термодинамика и теплотехника. Изд. 4, испр.и доп., М.: Высшая школа,2009.

4. Лыков А.В. Теория теплопроводности.- М.: Высшая школа,1967

5. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача.- М: Энергия, 1981

6. Цветков Ф.Ф., Григорьев Б.А. Тепломассообмен. М.: Издательство МЭИ.2001

7. Зигель Р., Хауэлл Д. Теплообмен излучением. - М.: Мир,1975

8. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. - М.: Наука,1970

9. Лыков А.В. Теория сушки. - М.: Энергия, 1972

10. Гухман А.А.Введение в теорию подобия. - М.: Высшая школа,1963

11. Кутателадзе С.С. Основы теории теплообмена. - М.: Атомиздат,1979

12. Хаузен Х. Теплопередача при противотоке, прямотоке и перекрестном токе.- М: Энергоиздат – 1981