

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «МЭИ»

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной работе



Драгунов В.К.

« 16 » июня 2015 г.

Программа аспирантуры

Направление 13.06.01 Электро- и теплотехника

Направленность (специальность) 05.04.03 Машины и аппараты, процессы холодильной и криогенной техники, систем кондиционирования и жизнеобеспечения

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
дисциплины по выбору

«Криофизика»

Индекс дисциплины по учебному плану: Б1.В.ДВ.2.2

Всего: 108 часов

Семестр 3, в том числе

6 часов – контактная работа,
84 часов – самостоятельная работа,
18 часов – контроль

Программа составлена на основе
федерального государственного
образовательного стандарта высшего
образования (уровень подготовки кадров
высшей квалификации) по направлению
подготовки 13.06.01 Электро- и теплотехника,
утвержденного приказом министерства
образования и науки РФ от 30 июля 2014 №
878, и паспорта специальности 05.04.03
Машины и аппараты, процессы холодильной и
криогенной техники, систем
кондиционирования и жизнеобеспечения,
номенклатуры специальностей научных
работников, утвержденной приказом
Минобрнауки России от 25 февраля 2009 г.
№ 59.

ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью освоения дисциплины является изучение методов описания конденсированных систем, в том числе квантовой жидкости, а также неравновесных процессов тепломассопереноса.

Задачи дисциплины

- изучение основ физики конденсированных систем, сверхпроводимости, методов получения низких температур;
- ознакомление со спецификой описания и применения сверхтекучего гелия в аппаратах криогенных систем охлаждения теплонапряженного оборудования;
- изучение методов молекулярно-кинетической теории применительно к расчету задач энерго-массопереноса.

В процессе освоения дисциплины **формируются следующие компетенции:**

- готовность использовать современные методы и технологии научной коммуникации на государственном и иностранном языках (УК-4);
- способность следовать этическим нормам в профессиональной деятельности (УК-5);
- владение методологией теоретических и экспериментальных исследований в области профессиональной деятельности (ОПК-1);
- готовность к преподавательской деятельности по основным образовательным программам высшего образования (ОПК-5)
- владение научно обоснованной методологией теоретических и экспериментальных исследований в области физики низких температур и неравновесных явлений (ПК-1);

- способность использовать знания фундаментальных разделов математики, физики, и других дисциплин для освоения основ принципов построения и создания новейших типов низкотемпературных установок и решения соответствующих конструкторских технико-экономических проблем (ПК-3, ПК-4).

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБРАЗОВАНИЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

В результате освоения учебной дисциплины обучающийся должен демонстрировать **следующие результаты образования:**

Знать:

- источники научно-технической информации на государственном и иностранных языках по методам описания конденсированных систем и процессов на поверхности раздела фаз (УК-4, УК-5);
- экспериментальные и теоретические подходы к исследованию квантовой жидкости (гелия-II) (ОПК-1);
- основные методы описания конденсированных систем, в том числе квантовых жидкостей, а также способы расчета процессов переноса в условиях существенной неравновесности (ПК-4);
- методы получения низких температур, их особенности (ПК-1).

Уметь:

- осуществлять поиск и анализировать научно-техническую информацию на государственном и иностранном языках (УК-4, УК-5);
- определять оптимальный способ получения низких температур, (ОПК-1).
- представлять результаты экспериментальных и теоретических исследований процессов тепломассопереноса в условиях существенной неравновесности, знать особенности и границы применимости разработанных моделей (ОПК-5).
- решать неравновесные задачи тепломассопереноса (ПК-4);

Владеть:

- современным математическим аппаратом для описания конденсированных сред (УК-4);
- подходами к решению кинетического уравнения Больцмана в приложении к задачам энергомассопереноса (ОПК-1);
- терминологией в области методов описания конденсированных систем и процессов переноса в условиях существенной неравновесности (ПК-1);
- навыками применения полученной информации при расчете процессов в низкотемпературных установках. (ПК-3).

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАЗДЕЛОВ ДИСЦИПЛИНЫ

Основы квантовой механики и квантовой статистики

Принципы квантовой механики. Соотношение неопределенностей. Волновая функция и уравнение Шредингера. Простейшие задачи квантовой механики: 1) частица в одномерном потенциале (прямоугольная и параболическая потенциальная ямы); 2) квантовый гармонический осциллятор; 3) квантовый туннельный эффект. Понятие спина и принцип Паули. Принципы квантовой статистики. Квантовые и классические функции распределения: Квантовая статистика Бозе-Эйнштейна. Бозе-конденсация. Квантовая статистика Ферми-Дирака. Вырожденный ферми газ.

Принципы физики конденсированных систем

Параметры конденсированного тела. Параметр взаимодействия. Параметр де Бройля. Концепция элементарных возбуждений. Энергетический спектр конденсированного тела. Кристаллическая решетка. Коллективные колебания кристаллической решетки. Фононы. Акустические и оптические фононы. Теплоемкость кристаллической решетки. Модель Дебая. Плавление конденсированного тела. Критерий Линдемана. Теплопроводность кристаллической решетки (диэлектрики). Электроны в конденсированном теле: Электроны как квазичастицы. Теорема Блоха. Статистика и термодинамика электронов в конденсированном теле. Теплоемкость электронов. Зонная структура конденсированных тел.

Основы физики сверхпроводимости

Основные опытные факты. Тепловые свойства сверхпроводников. Феноменологические теории сверхпроводимости: Термодинамическая теория Гортера-Казимира. Двухжидкостная модель Лондонов. Теория Гинзбурга-Ландау. Два типа сверхпроводников. Сверхпроводники I рода в магнитном поле. Промежуточное состояние. Сверхпроводники II рода в магнитном поле: смешанное состояние, квантование магнитного потока и вихри Абрикосова. Резистивное состояние сверхпроводников и пиннинг. Жесткие сверхпроводники. Эффекты Джозефсона. Высокотемпературная сверхпроводимость.

Элементы физической кинетики

Основные понятия и определения: потенциалы взаимодействия, функция распределения молекул газа по скоростям, моменты функции распределения. Связь микроскопического и макроскопического уровней описания. Кинетическое уравнение Больцмана. Основные допущения при выводе. Моменты интеграла столкновений. H-функция и H-теорема. Постановка задачи для уравнения Больцмана. Методы решения кинетического уравнения Больцмана. Решение линеаризованной одномерной стационарной задачи о переконденсации. Получение выражения для

плотности потока массы j . Его асимптотики. Решение одномерной стационарной линеаризованной задачи о теплопереносе через слой разреженного газа. Выражение для теплового потока q . Его асимптотики. Кинетическое описание задач интенсивного испарения и конденсации.

Основы физики сверхтекучести и процессы переноса в He-II

Гелий – квантовая жидкость. Опытные факты и наблюдения. Термомеханический и механотермический эффекты в He-II. Соотношение Лондона. Двухскоростная модель Л.Д.Ландау: допущения (предположения) и математическое описание. Распространение звука в He-II. Система уравнений, описывающая это явление. Скорость первого и второго звука. Изменение давления и температуры в монохроматической волне 1-го и 2-го звука. Третий и четвертый звуки. Отражение звука от межфазной поверхности сверхтекучего гелия. Физическая постановка и математическое описание. Коэффициент отражения звука от межфазной поверхности сверхтекучего гелия. Предельные значения. Зависимость от коэффициента конденсации. Коэффициент проницаемости границы раздела фаз.

Постановка задачи о расчете теплообмена в He-II. Режим сопротивления П.Л.Капицы. Описание стационарного теплопереноса в He-II при ламинарном движении нормальной компоненты. Вывод уравнения, описывающего стационарный теплоперенос в He-II на основе уравнений двухскоростной гидродинамики. Критические скорости в He-II. Сила взаимного трения Гортера-Меллинка. Физическая сущность. Качественный вывод выражения для силы. Расчет теплопереноса с учетом взаимного трения компонент сверхтекучего гелия. Расчет “восстановительного” теплового потока в He-II. Физическая постановка. Математическое описание. Результаты для цилиндрических нагревателей малого и большого диаметров.

Сверхтекучесть и бозе-конденсация. Расчет температуры начала бозе-конденсации.

Физические основы охлаждения и получения низких температур

Термомеханические эффекты. Изознтропное расширение. Дросселирование сжатого газа. Эффект Джоуля-Томпсона. Расширение из постоянного объема. Десорбционное охлаждение. Охлаждение с помощью откачки паров.

Магнитное охлаждение. Механокалорический эффект. Свойства парамагнитных солей. Адиабатное размагничивание. Ядерное размагничивание. Магнито- и электрокалорические методы охлаждения. Намагничивание сверхпроводников.

ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБРАЗОВАНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины: 3 семестр
– дифференцированный зачет.

Вопросы для самоконтроля и для проведения зачета

1. Соотношение неопределенностей Гейзенберга.
2. Принципы квантовой статистики. Вырожденный ферми газ. Бозе-конденсация.
3. Параметр де Бройля. Концепция элементарных возбуждений.
4. Акустические и оптические фононы.
5. Чем модель определения теплоемкости твердого тела Дебая отличается от модели Эйнштейна?
6. Какие процессы взаимодействия фононов называются «процессами переброса»?
7. Что такое прямая и обратная кристаллические решетки?
8. Сверхпроводники I и II рода.
9. Физическая сущность эффекта Джозефсона.
10. Принципы реализации высокотемпературной сверхпроводимости.
11. Перечислите известные Вам потенциалы взаимодействия атомов.
12. В чем смысл введения потенциала максвелловских молекул.
13. Определение функции распределения молекул по скоростям.
14. Моменты функции распределения и интеграла столкновений.
15. Сформулируйте цель решения кинетического уравнения Больцмана.
15. Методы решения кинетического уравнения Больцмана.
16. Для чего осуществляется линеаризации при решении задачи о переконденсации методами молекулярно-кинетической теории?
17. Отличия постановки задач переконденсации и теплопереноса через слой разреженного газа.
18. Что такое эффект фонтанирования сверхтекучего гелия.
18. Основные положения, лежащие в основе двухскоростной модели Ландау Л.Д.
19. Определение величины коэффициента отражения звука от межфазной поверхности сверхтекучего гелия.
20. Критические скорости в гелии II.
22. Суть полуэмпирической теории взаимного трения Гортера-Меллинка.
23. Почему в гелии II не реализуется пузырьковый режим кипения?
24. Определение восстановительного теплового потока при кипении гелия II.
25. Перечислите известные Вам методы получения низких температур.

Критерии оценки за освоение дисциплины определены в Инструктивном письме И-23 от 14 мая 2012 г.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Основная литература:

1. Ландау Л.Д, Лифшиц Е.М. Теоретическая физика: Учебное пособие для вузов. В 10 т. Т. VI. Гидродинамика. –М.: Физматлит, 2014. 731с.
2. Крюков А.П. Элементы гидродинамики и теплопереноса в He-II. Учебное пособие. М.: Изд-во МЭИ, 2004. 80с.
3. Дмитриев А.С. Основы криофизики конденсированных систем. Учебное пособие. М.: Изд-во МЭИ, 2006. 134с.

Дополнительная литература:

4. Численное решение кинетического уравнения Больцмана в инженерной практике. Учебное пособие /Крюков А.П., Левашов В.Ю., Шишкова И.Н., Ястребов А.К. М.: Изд-во МЭИ, 2005.
5. Крюков А.П., Шишкова И.Н. Введение в изучение явлений на поверхности конденсированных сред. Учебное пособие. М.: Издательский дом МЭИ, 2009.
6. Королев П.В., Крюков А.П. Методы описания конденсированных систем. М.: Издательский дом МЭИ, 2010.
7. Крюков А.П. Процессы переноса в существенно неравновесных системах. М.: МЭИ, 2013.