

**Министерство науки и высшего образования РФ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»**

**Направление подготовки/специальность: 14.03.01 Ядерная энергетика и теплофизика**

**Наименование образовательной программы: Техника и физика низких температур**

**Уровень образования: высшее образование - бакалавриат**

**Форма обучения: Очная**

**Оценочные материалы  
по дисциплине  
Криофизика**

**Москва  
2023**

## ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:

Разработчик

|  |                                                    |                              |
|--|----------------------------------------------------|------------------------------|
|  | Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» |                              |
|  | Сведения о владельце ЦЭП МЭИ                       |                              |
|  | Владелец                                           | Крюков А.П.                  |
|  | Идентификатор                                      | R9b81f956-KryukovAP-8dacf4ed |

А.П. Крюков

## СОГЛАСОВАНО:

Руководитель  
образовательной  
программы

|  |                                                    |                              |
|--|----------------------------------------------------|------------------------------|
|  | Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» |                              |
|  | Сведения о владельце ЦЭП МЭИ                       |                              |
|  | Владелец                                           | Крюков А.П.                  |
|  | Идентификатор                                      | R9b81f956-KryukovAP-8dacf4ed |

А.П.  
Крюков

Заведующий  
выпускающей кафедрой

|  |                                                    |                           |
|--|----------------------------------------------------|---------------------------|
|  | Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» |                           |
|  | Сведения о владельце ЦЭП МЭИ                       |                           |
|  | Владелец                                           | Пузина Ю.Ю.               |
|  | Идентификатор                                      | Re86e9a56-Puzina-4d2acad1 |

Ю.Ю.  
Пузина

## ОБЩАЯ ЧАСТЬ

Оценочные материалы по дисциплине предназначены для оценки: достижения обучающимися запланированных результатов обучения по дисциплине, этапа формирования запланированных компетенций и уровня освоения дисциплины.

Оценочные материалы по дисциплине включают оценочные средства для проведения мероприятий текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации.

Формируемые у обучающегося компетенции:

1. ПК-2 Готов к расчетно-экспериментальному анализу особенностей низкотемпературных процессов

ИД-2 Владеет методами и подходами описания теплофизических процессов при низких температурах в установках специального назначения

и включает:

для текущего контроля успеваемости:

Форма реализации: Защита задания

1. Представление одного из методов получения низких температур с соответствующей расчетной оценкой его возможностей (Реферат)
2. Расчет параметров сверхпроводящих катушек (Расчетно-графическая работа)

Форма реализации: Письменная работа

1. Расчет коэффициентов отражения звука от границы раздела фаз: жидкость - пар (Контрольная работа)
2. Расчет моментов неравновесных функций распределения (Контрольная работа)
3. Расчет теплоемкости кристаллических тел (Контрольная работа)

Форма реализации: Устная форма

1. Описание конденсированных сред: параметры и концепции (Коллоквиум)
2. Основные положения кинетической теории газов. Уравнение Больцмана (Коллоквиум)
3. Принципы квантовой механики и квантовой статистики (Коллоквиум)

## БРС дисциплины

6 семестр

| Раздел дисциплины                                          | Веса контрольных мероприятий, % |      |      |      |      |
|------------------------------------------------------------|---------------------------------|------|------|------|------|
|                                                            | Индекс КМ:                      | КМ-1 | КМ-2 | КМ-3 | КМ-4 |
|                                                            | Срок КМ:                        | 4    | 8    | 12   | 15   |
| Основы квантовой механики и физики конденсированных систем |                                 |      |      |      |      |
| Основы квантовой механики и квантовой статистики           |                                 | +    |      |      |      |
| Принципы физики конденсированных систем                    |                                 |      | +    | +    | +    |
| Основы физики сверхпроводимости                            |                                 |      |      | +    | +    |
| Вес КМ:                                                    |                                 | 15   | 25   | 25   | 35   |

## 7 семестр

| Раздел дисциплины                                                                              | Веса контрольных мероприятий, % |      |      |      |      |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|------|------|------|------|
|                                                                                                | Индекс КМ:                      | КМ-3 | КМ-4 | КМ-5 | КМ-6 |
|                                                                                                | Срок КМ:                        | 4    | 8    | 12   | 15   |
| Элементы физической кинетики, процессы переноса, физические основы получения низких температур |                                 |      |      |      |      |
| Элементы физической кинетики                                                                   |                                 | +    | +    |      |      |
| Основы физики сверхтекучести и процессы переноса в He-II                                       |                                 |      |      | +    |      |
| Физические основы охлаждения и получения низких температур                                     |                                 |      |      |      | +    |
| Вес КМ:                                                                                        |                                 | 20   | 25   | 25   | 30   |

\$Общая часть/Для промежуточной аттестации\$

## БРС курсовой работы/проекта

## 6 семестр

| Раздел дисциплины                                                                                                                            | Веса контрольных мероприятий, % |      |      |      |      |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|------|------|------|------|
|                                                                                                                                              | Индекс КМ:                      | КМ-1 | КМ-2 | КМ-3 | КМ-4 |
|                                                                                                                                              | Срок КМ:                        | 3    | 6    | 8    | 12   |
| Ознакомление с заданием на проект, с методическими указаниями, алгоритмом проектирования и характеристикой исходных данных курсового проекта |                                 | +    |      |      |      |
| Расчет параметров сверхпроводящей катушки и криостата                                                                                        |                                 |      | +    |      |      |
| Оценка геометрических размеров криостата для сверхпроводящего магнита                                                                        |                                 |      |      | +    |      |
| Выполнение чертежа общего вида сверхпроводящего магнита в криостате                                                                          |                                 |      |      |      | +    |
| Вес КМ:                                                                                                                                      |                                 | 10   | 30   | 35   | 25   |

## СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ

### *I. Оценочные средства для оценки запланированных результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с индикаторами достижения компетенций*

| Индекс компетенции | Индикатор                                                                                                                             | Запланированные результаты обучения по дисциплине                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Контрольная точка                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|--------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ПК-2               | ИД-2ПК-2 Владеет методами и подходами описания теплофизических процессов при низких температурах в установках специального назначения | <p>Знать:</p> <p>принципы квантовой механики и квантовой статистики</p> <p>способы расчета процессов переноса в условиях существенной неравновесности</p> <p>основные методы описания конденсированных систем, в том числе квантовых жидкостей</p> <p>Уметь:</p> <p>использовать справочную литературу для сбора и анализа данных для проектирования</p> <p>выполнять расчеты тепломассопереноса в HeII</p> <p>осуществлять выбор метода получения низких температур</p> <p>определять интенсивность неравновесных процессов</p> | <p>Принципы квантовой механики и квантовой статистики (Коллоквиум)</p> <p>Описание конденсированных сред: параметры и концепции (Коллоквиум)</p> <p>Расчет теплоемкости кристаллических тел (Контрольная работа)</p> <p>Расчет параметров сверхпроводящих катушек (Расчетно-графическая работа)</p> <p>Основные положения кинетической теории газов. Уравнение Больцмана (Коллоквиум)</p> <p>Расчет моментов неравновесных функций распределения (Контрольная работа)</p> <p>Расчет коэффициентов отражения звука от границы раздела фаз: жидкость - пар (Контрольная работа)</p> <p>Представление одного из методов получения низких температур с соответствующей расчетной оценкой его возможностей (Реферат)</p> |

|  |  |                     |  |
|--|--|---------------------|--|
|  |  | тепло-массопереноса |  |
|--|--|---------------------|--|

## **II. Содержание оценочных средств. Шкала и критерии оценивания**

**6 семестр**

### **КМ-1. Принципы квантовой механики и квантовой статистики**

**Формы реализации:** Устная форма

**Тип контрольного мероприятия:** Коллоквиум

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 15

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Устный опрос по пройденному материалу

#### **Краткое содержание задания:**

Показать знание основных методов описания конденсированных систем, в том числе квантовых жидкостей

#### **Контрольные вопросы/задания:**

|                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|-----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Знать: принципы квантовой механики и квантовой статистики | <ol style="list-style-type: none"><li>1. Запишите уравнение Шредингера и дайте определение волновой функции</li><li>2. Как решается уравнение Шредингера в 1D-случае для прямоугольной потенциальной ямы?</li><li>3. Что такое энергетический спектр?</li><li>4. Что такое гармонический осциллятор?</li><li>5. Что такое туннельный эффект?</li><li>6. Что такое спин?</li><li>7. Статистика тождественных частиц</li><li>8. Классические и квантовые распределения</li><li>9. Целый спин и статистика Бозе-Эйнштейна</li><li>10. Что такое конденсация Бозе-Эйнштейна</li><li>11. Полуцелый спин и статистика Ферми-Дирака</li></ol> |
|-----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

#### **Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто, выбрано верное направление для решения задач

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено

*Оценка: 2*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "неудовлетворительно" выставляется если задание выполнено неверно или преимущественно не выполнено

## КМ-2. Описание конденсированных сред: параметры и концепции

**Формы реализации:** Устная форма

**Тип контрольного мероприятия:** Коллоквиум

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 25

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Устный опрос по пройденному материалу

### Краткое содержание задания:

Показать знание основных методов описания конденсированных систем, в том числе квантовых жидкостей

### Контрольные вопросы/задания:

|                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Знать: основные методы описания конденсированных систем, в том числе квантовых жидкостей | <ol style="list-style-type: none"><li>1. Дать классификацию конденсированных тел</li><li>2. Что описывает параметр взаимодействия?</li><li>3. Что характеризует параметр де Бройля?</li><li>4. Что такое температура Дебая?</li><li>5. В чем состоит физический смысл параметра де Бура?</li><li>6. Что такое квазичастицы?</li><li>7. Что такое энергетический спектр конденсированного тела?</li><li>8. Как происходит описание колебаний кристаллической решетки – один атом в ячейке?</li><li>9. Спектр колебаний и акустические моды</li><li>10. Описание колебаний кристаллической решетки – два атома в ячейке</li><li>11. Спектр колебаний: акустические и оптические моды</li><li>12. Что такое фононы?</li><li>13. Как строится вклад фононов в термодинамические свойства диэлектриков?</li><li>14. Что такое закон Дебая и какова теплоемкость диэлектриков при высоких температурах?</li><li>15. Что такое фононная теплопроводность?</li><li>16. Что такое вырожденный электронный газ?</li><li>17. Как определяется плотность электронных состояний?</li><li>18. Как строится термодинамика электронов, в частности вычисляется теплоемкость электронного газа?</li><li>19. В чем особенности электронов в кристаллической решетке?</li><li>20. В чем состоит теорема Блоха для электронов в кристалле?</li><li>21. Что такое энергетические зоны?</li><li>22. Что такое зонная картина твердых тел и классификация тел по зонной картине?</li><li>23. Как вычисляется теплопроводность электронов в металле?</li></ol> |
|------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

### Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5

Нижний порог выполнения задания в процентах: 70

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно

Оценка: 4

Нижний порог выполнения задания в процентах: 60

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто. выбрано верное направление для решения задач

Оценка: 3

Нижний порог выполнения задания в процентах: 50

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено

Оценка: 2

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "неудовлетворительно" выставляется если задание выполнено неверно или преимущественно не выполнено

### КМ-3. Расчет теплоемкости кристаллических тел

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 25

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Письменное решение задач

**Краткое содержание задания:**

Расчет теплоемкости кристаллических тел

**Контрольные вопросы/задания:**

|                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Уметь: использовать справочную литературу для сбора и анализа данных для проектирования | 1. Рассчитайте теплоемкость веществ при температуре, равной 0.01 температуры Дебая и теплоемкость при температуре равной 300 К.<br>Вещества для разных вариантов:<br>1) Свинец<br>2) Олово<br>3) Натрий<br>4) Литий<br>5) Бериллий<br>6) Алюминий<br>7) Медь<br>8) Кремний<br>9) Бор<br>10) Серебро |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

**Описание шкалы оценивания:**

Оценка: зачтено

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "зачтено" выставляется если задание выполнено правильно или с незначительными недочетами

Оценка: не зачтено

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "не зачтено" выставляется если задание не выполнено в отведенный срок или результат не соответствует заданию

#### КМ-4. Расчет параметров сверхпроводящих катушек

**Формы реализации:** Защита задания

**Тип контрольного мероприятия:** Расчетно-графическая работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 35

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Защита задания в форме устного доклада и ответов на вопросы

**Краткое содержание задания:**

Расчет параметров сверхпроводящих катушек

**Контрольные вопросы/задания:**

|                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Уметь: использовать справочную литературу для сбора и анализа данных для проектирования | 1. Сверхпроводящая катушка (соленоид) имеет высоту $2b$ , внутренний диаметр $a_1$ и внешний диаметр $a_2$ , число витков равно $N$ , на один виток в продольном (по оси) сечении катушки приходится единичная площадь $A$ . Обмотка выполнена из материала, указанного в таблице №1, и находится в криоагенте при температуре $T$ . По обмотке протекает ток величиной $I$ . Считая, что напряженность магнитного поля на внутренней стороне катушки в 1.4 раза (в реальных расчетах этот коэффициент определяется при помощи номограммы) больше напряженности по оси катушки, определите по заданным значениям параметров, взятым из табл. 1, предельное значение неизвестного параметра (обозначенного знаком «?»), при котором еще сохраняется сверхпроводящее состояние. Температура фазового перехода и критическая индукция магнитного поля для различных сверхпроводников для разных вариантов приведены в табл. 2. При выполнении задания студент получает раздаточные материалы: таблицу 1 и таблицу 2. |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто, выбрано верное направление для решения задач

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено

*Оценка: 2*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "неудовлетворительно" выставляется если задание выполнено неверно или преимущественно не выполнено

7 семестр

### КМ-3. Основные положения кинетической теории газов. Уравнение Больцмана

**Формы реализации:** Устная форма

**Тип контрольного мероприятия:** Коллоквиум

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 20

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Устный опрос по пройденному материалу

**Краткое содержание задания:**

Показать знание способов расчета процессов переноса в условиях существенной неравновесности

**Контрольные вопросы/задания:**

|                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|-----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Знать: способы расчета процессов переноса в условиях существенной неравновесности | <ol style="list-style-type: none"><li>1. Определение функции распределения молекул газа по скоростям</li><li>2. Какие молекулы называются максвелловскими ?</li><li>3. Потенциалы взаимодействия: твердые упругие шары, Леннард-Джонса Морзе, Сезерленда</li><li>4. Определение моментов функции распределения и интеграла столкновений</li><li>5. Зачем надо решать кинетическое уравнение Больцмана (КУБ)?</li><li>6. Основные этапы реализации метода прямого численного решения КУБ</li><li>7. Суть Н-теоремы. Связь энтропии и Н-функции</li><li>8. Решение линеаризованной одномерной стационарной задачи о переконденсации</li><li>9. Различие в постановке задач для кинетического уравнения Больцмана при описании переконденсации и теплопереноса через слой разреженного газа</li><li>10. Диффузный характер испарения. Определение параметров полумаксвеллиана, описывающего поток испарившихся молекул. Линия насыщения. Уравнение Клапейрона-Клаузиуса</li></ol> |
|-----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

**Описание шкалы оценивания:**

Оценка: 5

Нижний порог выполнения задания в процентах: 70

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно

Оценка: 4

Нижний порог выполнения задания в процентах: 60

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто. выбрано верное направление для решения задач

Оценка: 3

Нижний порог выполнения задания в процентах: 50

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено

Оценка: 2

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "неудовлетворительно" выставляется если задание выполнено неверно или преимущественно не выполнено

#### КМ-4. Расчет моментов неравновесных функций распределения

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 25

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Решение задач по пройденному материалу

**Краткое содержание задания:**

Показать умение использовать способы расчета процессов переноса в условиях существенной неравновесности

**Контрольные вопросы/задания:**

|                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Уметь: определять интенсивность неравновесных процессов тепло-массопереноса</p> | <p>1.Сформулируйте систему уравнений, позволяющую определить величину теплового потока в задаче о теплопереносе через плоский слой разреженного газа. Состояние этого газа описывается четырехмоментным двухсторонним максвеллианом с параметрами <math>n_1, T_1, n_2, T_2</math>. Задача стационарная. Известны: температуры поверхностей <math>T_2</math> и <math>T_x</math>, расстояние между ними <math>L</math>, плотность газа вблизи холодной поверхности <math>\rho_0 _{X=L}</math>. Считается, что на холодной поверхности осуществляется полная энергетическая аккомодация, а на горячей коэффициент аккомодации, рассчитываемый по <math>T_{над}</math> и <math>T_{отр}</math> равен 0,6.</p> <p>2.Сформулируйте систему уравнений, позволяющую определить величину теплового потока в задаче о теплопереносе через плоский слой разреженного газа. Состояние этого газа описывается четырехмоментным двухсторонним максвеллианом с параметрами <math>n_1, T_1, n_2, T_2</math>. Задача стационарная. Известны: температуры поверхностей <math>T_2</math> и <math>T_x</math>, расстояние между ними <math>L</math>, число Кнудсена <math>Kn</math>, определенное по характерным параметрам при <math>x=0</math>. Считается, что на «горячей» и «холодной» поверхностях осуществляется полная энергетическая аккомодация.</p> <p>3.Сформулируйте систему уравнений, позволяющую определить величину давления вблизи «горячей» поверхности для задачи о переконденсации. Состояние пара описывается четырехмоментным двухсторонним максвеллианом с параметрами <math>n_1, T_1, n_2, T_2</math>. Задача стационарная. Известны: температура «холодной» поверхности <math>T_x</math>, расстояние между «горячей» и «холодной» поверхностями <math>L</math>, удельный тепловой поток, подводимый к «горячей» границе раздела фаз, а также зависимость давления насыщения пара от температуры. Коэффициенты</p> |
|------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

|  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|--|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | <p>конденсации на обеих поверхностях равны единице. Предлагаемый алгоритм должен быть пригоден при любом значении числа Кнудсена.</p> <p>4.Сформулируйте систему уравнений, позволяющую определить величину температуры вблизи «холодной» поверхности для задачи о переконденсации. Состояние пара описывается четырехмоментным двухсторонним максвеллианом с параметрами <math>n_1, T_1, n_2, T_2</math>. Задача стационарная. Известны: температура «горячей» поверхности <math>T_2</math>, расстояние между «горячей» и «холодной» поверхностями <math>L</math>, удельный тепловой поток, отводимый от «холодной» границы раздела фаз, а также зависимость давления насыщения пара от температуры. Коэффициенты конденсации на обеих поверхностях равны единице. Предлагаемый алгоритм должен быть пригоден при любом значении числа Кнудсена.</p> <p>5.В одномерной задаче о переконденсации, описываемой четырехмоментным приближением в виде двухпоточного максвеллиана с параметрами <math>n_1, T_1, n_2, T_2</math>, необходимо определить температуру для некоторой точки <math>X</math>, где <math>n_1=3n_0, n_2=1,5n_0, T_1=9T_0, T_2=4T_0</math>.</p> <p>6.В одномерной задаче о переконденсации, описываемой четырехмоментным приближением в виде двухпоточного максвеллиана с параметрами <math>n_1, T_1, n_2, T_2</math>, необходимо определить тепловой поток для некоторой точки <math>X</math>, где <math>n_1=4n_0, n_2=2n_0, T_1=9T_0, T_2=4T_0</math>.</p> <p>7.В одномерной задаче о переконденсации, описываемой четырехмоментным приближением в виде двухпоточного максвеллиана с параметрами <math>n_1, T_1, n_2, T_2</math>, необходимо определить компоненты тензора давления <math>P_{yy}, P_{xx}</math> для некоторой точки <math>X</math>, где <math>n_1=5n_0, n_2=3n_0, T_1=4T_0, T_2=2T_0</math>.</p> <p>8.Получите выражение для температуры в задаче о теплопереносе через плоский слой разреженного газа, состояние которого описывается четырехмоментным двухсторонним максвеллианом с параметрами <math>n_1, T_1, n_2, T_2</math>.</p> <p>9.Получите выражение для удельного теплового потока, передаваемого от «горячей» поверхности к «холодной» в задаче о теплопереносе через плоский слой разреженного газа, состояние которого описывается четырехмоментным двухсторонним максвеллианом с параметрами <math>n_1, T_1, n_2, T_2</math>.</p> <p>10.Одномерный поток газа, описываемый эллипсоидальным распределением с известными параметрами натекает на непроницаемую поверхность твердого тела, имеющую температуру <math>T_s</math>. Отражение потока от этой поверхности</p> |
|--|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

|  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|--|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | <p>осуществляется по диффузной схеме. Считается, что налетающие молекулы непосредственно перед отражением приходят в состояние термодинамического равновесия с границей раздела фаз. Определите плотность потока энергии, получаемой твердым телом.</p> <p>11. Состояние газа вблизи межфазной поверхности описывается функцией распределения, представляющей собой комбинацию двух полумаксвеллианов с параметрами <math>n_0</math>, <math>T_0</math> и <math>n_1</math>, <math>T_1</math>, соответственно. Получите выражение для определения температуры газа через величины <math>n_0</math>, <math>T_0</math>, <math>n_1</math>, <math>T_1</math>.</p> <p>12. При диффузном отражении молекул газа от непроницаемой поверхности твердого тела функция распределения молекул по скоростям вблизи этой поверхности имеет вид полумаксвеллиана с параметрами <math>n_0</math> и <math>T_0</math> для положительных скоростей молекул. Предложите алгоритм определения параметров функции распределения отраженных молекул, если в процессе отражения энергия межфазной поверхности не передается. Значения <math>n_1</math>, <math>T_1</math> и <math>u_1</math> считаются известными.</p> |
|--|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

#### Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5

Нижний порог выполнения задания в процентах: 70

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно

Оценка: 4

Нижний порог выполнения задания в процентах: 60

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто, выбрано верное направление для решения задач

Оценка: 3

Нижний порог выполнения задания в процентах: 50

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено

Оценка: 2

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "неудовлетворительно" выставляется если задание выполнено неверно или преимущественно не выполнено

#### КМ-5. Расчет коэффициентов отражения звука от границы раздела фаз:

жидкость - пар

Формы реализации: Письменная работа

Тип контрольного мероприятия: Контрольная работа

Вес контрольного мероприятия в БРС: 25

Процедура проведения контрольного мероприятия: Решение задач по пройденному материалу

Краткое содержание задания:

Показать умение выполнять расчеты тепломассопереноса в HeII

**Контрольные вопросы/задания:**

|                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|----------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Уметь: выполнять расчеты тепломассопереноса в HeII | 1.Получите выражение для определения коэффициента прохождения звуковой волны, падающей на межфазную поверхность жидкий металл – пар из пара<br>2.Получите выражение для определения коэффициента прохождения звуковой волны, падающей на межфазную поверхность гелий II – пар из жидкости<br>3.Получите выражение для определения коэффициента прохождения звуковой волны, падающей на межфазную поверхность гелий II – пар из пара |
|----------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно*

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто. выбрано верное направление для решения задач*

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено*

*Оценка: 2*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "неудовлетворительно" выставляется если задание выполнено неверно или преимущественно не выполнено*

**КМ-6. Представление одного из методов получения низких температур с соответствующей расчетной оценкой его возможностей**

**Формы реализации:** Защита задания

**Тип контрольного мероприятия:** Реферат

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 30

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Проводится в форме краткого устного представления реферата.

**Краткое содержание задания:**

Представление одного из методов получения низких температур с соответствующей расчетной оценкой его возможностей. Сопоставление изоэнтального и эзоэнтального расширений как способа охлаждения. Диапазоны температур, получаемых с помощью криожидкостей.

**Контрольные вопросы/задания:**

|                                                   |                                                                       |
|---------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| Уметь: осуществлять выбор метода получения низких | 1.Термомеханические способы охлаждения:<br>1. Изоэнтальное расширение |
|---------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|

|            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| температур | 2. Адиабатное дросселирование (изоэнтальпное расширение)<br>3. Охлаждение с помощью откачки паров<br><b>2.Магнито- и электрокалорические способы:</b><br>1. Адиабатное размагничивание<br>2. Ядерное размагничивание<br>3. Адиабатное намагничивание сверхпроводников<br>4. Деполяризация диэлектриков<br><b>3.Термоквантовые способы:</b><br>1. Охлаждение по методу Померанчука<br>2. Охлаждение при растворении He3 и He4 |
|------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

#### **Описание шкалы оценивания:**

*Оценка:* зачтено

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "зачтено" выставляется если задание выполнено правильно или с незначительными недочетами

*Оценка:* не зачтено

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "не зачтено" выставляется если задание не выполнено в отведенный срок или результат не соответствует заданию

#### **Для курсового проекта/работы**

##### **6 семестр**

##### ***I. Описание КП/КР***

Курсовая работа предусматривает выполнение следующих этапов: 1. Ознакомление с заданием на проект, с методическими указаниями, алгоритмом проектирования и характеристикой исходных данных курсового проекта. 2. Расчет параметров сверхпроводящей катушки и криостата. 3. Оценка геометрических размеров криостата для сверхпроводящего магнита. 4. Выполнение чертежа общего вида сверхпроводящего магнита в криостате.

##### ***II. Примеры задания и темы работы***

Пример задания

Проектирование катушки сверхпроводящих магнитов и ответа на вопросы

##### **Тематика КП/КР:**

##### **КМ-1. Проверка выполнения задания**

##### **Описание шкалы оценивания**

*Оценка:* зачтено

*Описание характеристики выполнения знания:* Задание преимущественно выполнено или выполнено в полном объеме

*Оценка:* не зачтено

*Описание характеристики выполнения знания:* Задание не выполнено

##### **КМ-2. Проверка выполнения задания**

##### **Описание шкалы оценивания**

*Оценка:* зачтено

*Описание характеристики выполнения знания:* Задание преимущественно выполнено или выполнено в полном объеме

*Оценка:* не зачтено

*Описание характеристики выполнения знания:* Задание не выполнено

### **КМ-3. Проверка выполнения задания**

#### **Описание шкалы оценивания**

*Оценка:* зачтено

*Описание характеристики выполнения знания:* Задание преимущественно выполнено или выполнено в полном объеме

*Оценка:* не зачтено

*Описание характеристики выполнения знания:* Задание не выполнено

### **КМ-4. Проверка выполнения задания**

#### **Описание шкалы оценивания**

*Оценка:* зачтено

*Описание характеристики выполнения знания:* Задание преимущественно выполнено или выполнено в полном объеме

*Оценка:* не зачтено

*Описание характеристики выполнения знания:* Задание не выполнено

# СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

## 6 семестр

**Форма промежуточной аттестации:** Экзамен

### Пример билета

Билет 1

1. Основные принципы квантовой механики; соотношение неопределенностей, волновая функция, описание состояний
2. Резистивное состояние сверхпроводников II рода; структура и динамика вихрей Абрикосова

### Процедура проведения

Проводится в виде устного ответа на вопросы билета.

### *1. Перечень компетенций/индикаторов и контрольных вопросов проверки результатов освоения дисциплины*

**1. Компетенция/Индикатор:** ИД-2ПК-2 Владеет методами и подходами описания теплофизических процессов при низких температурах в установках специального назначения

### Вопросы, задания

1. Билет 1

1. Основные принципы квантовой механики; соотношение неопределенностей, волновая функция, описание состояний
2. Резистивное состояние сверхпроводников II рода; структура и динамика вихрей Абрикосова

2. Билет 2

1. Соотношение неопределенностей в квантовой механике
2. Явление пиннинга в сверхпроводниках II рода; описание динамического смешанного состояния

3. Билет 3

1. Волновая функция и уравнение Шредингера; описание состояний и их эволюции в квантовой механике
2. Феноменологические теории сверхпроводимости

4. Билет 4

1. Описание состояний в классической и квантовой механиках
2. Смешанное состояние сверхпроводников II рода

5. Билет 5

1. Квантовая частица в прямоугольной потенциальной яме; энергетический спектр
2. Вихри Абрикосова в сверхпроводниках II рода

6. Билет 6

1. Квантовая частица в параболической потенциальной яме; квантовый гармонический осциллятор; энергетический спектр
2. Эффект Мейснера и его объяснение

7. Билет 7

1. Спин, принцип Паули и виды квантовых статистик
2. Феноменологическая теория Гортнера – Казимира для сверхпроводников

8. Билет 8

1. Частицы с полуцелым спином и квантовая статистика Ферми-Дирака
  2. Высокотемпературная сверхпроводимость
- 9.Билет 9
1. Принципы физики конденсированных тел: квазичастицы и энергетический спектр
  2. Квантование магнитного потока и макроскопические квантовые явления
- 10.Билет 10
1. Акустические фононы в конденсированных телах
  2. Диамагнетизм Ланжевена и диамагнетизм Ландау
- 11.Билет 11
1. Частицы с целым спином и квантовая статистика Бозе-Эйнштейна
  2. Оптические фононы в конденсированных телах; особенности их энергетического спектра
- 12.Билет 12
1. Теплоемкость диэлектриков и закон Дебая
  2. Зонная картина конденсированного тела: металлы, диэлектрики, полупроводники
- 13.Билет 13
1. Параметры конденсированных тел; классическое и квантовое описания
  2. Статистика и термодинамика электронов
- 14.Билет 14
1. Теплоемкость электронного газа
  2. Микроскопическая модель сверхпроводимости Бардина-Купера-Шриффера
- 15.Билет 15
1. Электроны в кристаллической решетке, теорема Блоха
  2. Сверхпроводимость: основные опытные факты

### **Материалы для проверки остаточных знаний**

1. Что такое фермион?

Ответы:

- 1) Фермион – частица или квазичастица с целым значением спина, выраженного в единицах приведённой постоянной Планка
  - 2) Фермион – частица или квазичастица со значением спина, строго равным нулю
  - 3) Фермион – частица или квазичастица с полуцелым значением спина, выраженного в единицах приведённой постоянной Планка
- Верный ответ: Фермион – частица или квазичастица с полуцелым значением спина, выраженного в единицах приведённой постоянной Планка

2. Что такое эффект Мейснера?

Ответы:

- 1) Эффект частичного вытеснения магнитного поля из объема сверхпроводника I рода
- 2) Эффект Мейснера – полное вытеснение магнитного поля из объёма проводника при его переходе в сверхпроводящее состояние
- 3) Эффект частичного проникновения магнитного поля в виде отдельных нитей в объем сверхпроводника

Верный ответ: Эффект Мейснера – полное вытеснение магнитного поля из объёма проводника при его переходе в сверхпроводящее состояние

3. Что есть Куперовская пара?

Ответы:

- 1) Пара электронов, волновые функции которых перекрываются
- 2) Пара электронов, находящихся на расстоянии, равном лондоновской глубине проникновения
- 3) Куперовская пара – связанное состояние двух электронов, взаимодействующих через фонон

Верный ответ: Куперовская пара – связанное состояние двух электронов, взаимодействующих через фонон

4. Что такое вихрь Абрикосова?

Ответы:

1) Особая конфигурация силовых линий магнитного поля, охватывающего сверхпроводящие токи в сверхпроводниках I рода 2) Особая конфигурация силовых линий магнитного поля, охватывающего сверхпроводящие токи в сверхпроводниках II рода 3) Вихрь Абрикосова – вихрь сверхпроводящего тока, циркулирующий вокруг нормального ядра вихря, и индуцирующий магнитное поле с магнитным потоком равным кванту магнитного потока

Верный ответ: Вихрь Абрикосова – вихрь сверхпроводящего тока, циркулирующий вокруг нормального ядра вихря, и индуцирующий магнитное поле с магнитным потоком равным кванту магнитного потока

5. Что есть температура Дебая?

Ответы:

1) Температура Дебая – температура вырождения для ферми-газа 2) Температура Дебая – температура, при которой возбуждаются все моды колебаний в данном твёрдом теле 3) Температура Дебая – температура вырождения для бозе-газа

Верный ответ: Температура Дебая – температура, при которой возбуждаются все моды колебаний в данном твёрдом теле

6. Что такое вырожденный газ?

Ответы:

1) Вырожденный газ – газ, не являющийся идеальным 2) Вырожденный газ – газ, давление которого не равно нулю при нулевой температуре 3) Вырожденный газ – газ, на свойства которого существенно влияют квантовомеханические эффекты, возникающие вследствие тождественности его частиц

Верный ответ: Вырожденный газ – газ, на свойства которого существенно влияют квантовомеханические эффекты, возникающие вследствие тождественности его частиц

7. Что такое туннельный эффект?

Ответы:

1) Туннельный эффект – преодоление микрочастицей потенциального барьера в случае, когда её полная энергия изменяется при преодолении барьера 2) Туннельный эффект – преодоление микрочастицей потенциального барьера в случае, когда её полная энергия меньше высоты барьера 3) Туннельный эффект – преодоление микрочастицей потенциального барьера в случае, когда её полная энергия изменяется при преодолении барьера

Верный ответ: Туннельный эффект – преодоление микрочастицей потенциального барьера в случае, когда её полная энергия меньше высоты барьера

8. Что такое Бозе-конденсация?

Ответы:

1) Бозе-конденсация – конденсация бозонов, при температурах ниже некоторой критической температуры с образованием конденсированной фазы из бозе-газа 2) Бозе-конденсация – квантовое явление, состоящее в том, что в системе из большого числа бозонов, при температурах ниже некоторой критической температуры в состоянии с нулевым импульсом оказывается конечная доля всех частиц системы 3) Бозе-конденсация – конденсация бозонов, при температурах ниже некоторой критической температуры с образованием твердой фазы из бозе-жидкости

Верный ответ: Бозе-конденсация – квантовое явление, состоящее в том, что в системе из большого числа бозонов, при температурах ниже некоторой критической температуры в состоянии с нулевым импульсом оказывается конечная доля всех частиц системы

9. Ядро тяжелого изотопа гелия ( $\text{He-4}$ ) является фермионом или бозоном?

Ответы:

1) Бозоном 2) Фермионом 3) Ни тем, ни другим, а энионом

Верный ответ: Бозоном

10. Что такое бозон?

Ответы:

- 1) Бозон – частица или квазичастица с целым значением спина, выраженного в единицах приведённой постоянной Планка (прав.)
- 2) Бозон – частица или квазичастица с полуцелым значением спина, выраженного в единицах приведённой постоянной Планка
- 3) Бозон – частица или квазичастица со значением спина, строго равным нулю

Верный ответ: Бозон – частица или квазичастица со значением спина, строго равным нулю

11. Что такое спин?

Ответы:

- 1) Спин – момент импульса элементарных частиц, связанный с движением частицы
- 2) Спин – момент импульса элементарных частиц, не связанный с движением частицы как целого, имеющий квантовую природу
- 3) Спин – собственный момент импульса элементарных частиц, не связанный с движением частицы как целого, имеющий квантовую природу

Верный ответ: Спин – собственный момент импульса элементарных частиц, не связанный с движением частицы как целого, имеющий квантовую природу

12. Что такое гармонический осциллятор?

Ответы:

- 1) Гармонический осциллятор (в классической механике) – система, которая при выведении её из положения равновесия испытывает действие возвращающей силы, пропорциональной смещению
- 2) Система, которая при выведении её из положения равновесия испытывает действие возвращающей силы и при этом обязательно система с нелинейным затуханием
- 3) Система, которая при выведении её из положения равновесия испытывает действие возвращающей силы и при этом обязательно система с линейным затуханием

Верный ответ: Гармонический осциллятор (в классической механике) – система, которая при выведении её из положения равновесия испытывает действие возвращающей силы, пропорциональной смещению

13. Что такое энергетический спектр квантовой системы?

Ответы:

- 1) Распределение лучистой энергии, испускаемой системой, по длине волн
- 2) Набор возможных энергетических уровней квантовой системы
- 3) Набор значений энергий элементарных частиц системы

Верный ответ: Набор возможных энергетических уровней квантовой системы

14. Что такое фонон?

Ответы:

- 1) Фонон – квант колебательного движения атомов кристалла
- 2) Квазичастица, соответствующая элементарному возбуждению системы взаимодействующих спинов
- 3) Квазичастица, представляющая собой электронное возбуждение в диэлектрике, полупроводнике или металле

Верный ответ: Фонон – квант колебательного движения атомов кристалла

15. Электрон является фермионом или бозоном?

Ответы:

- 1) Бозоном
- 2) Фермионом
- 3) Ни тем, ни другим

Верный ответ: Фермионом

## **II. Описание шкалы оценивания**

Оценка: 5

Нижний порог выполнения задания в процентах: 70

*Описание характеристики выполнения знания:* Работа выполнена в рамках "продвинутого" уровня. Ответы даны верно, четко сформулированные особенности практических решений

*Оценка:* 4

*Нижний порог выполнения задания в процентах:* 60

*Описание характеристики выполнения знания:* Работа выполнена в рамках "базового" уровня. Большинство ответов даны верно. В части материала есть незначительные недостатки

*Оценка:* 3

*Нижний порог выполнения задания в процентах:* 50

*Описание характеристики выполнения знания:* Работа выполнена в рамках "порогового" уровня. Основная часть задания выполнена верно. на вопросы углубленного уровня

*Оценка:* 2

*Описание характеристики выполнения знания:* Работа не выполнена или выполнена преимущественно неправильно

### ***III. Правила выставления итоговой оценки по курсу***

Оценка определяется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ» на основании семестровой и аттестационной составляющих.

#### **7 семестр**

**Форма промежуточной аттестации:** Экзамен

#### **Пример билета**

Билет 1

1. Отражение звука от межфазной поверхности сверхтекучего гелия. Физическая постановка и математическое описание.
2. Сформулируйте систему уравнений, позволяющую определить величину теплового потока через плоский слой разреженного газа. Состояние этого газа описывается четырехмоментным двухсторонним максвеллианом с параметрами  $n_1$ ,  $T_1$ ,  $n_2$ ,  $T_2$ . Задача стационарная. Известны: температуры поверхностей  $T_2$  и  $T_x$ , расстояние между ними  $L$ , средняя плотность газа между поверхностями  $\rho$ . Считается, что на «горячей» и «холодной» поверхностях осуществляется полная энергетическая аккомодация.

#### **Процедура проведения**

Проводится в виде устного ответа на вопросы билета

### ***I. Перечень компетенций/индикаторов и контрольных вопросов проверки результатов освоения дисциплины***

**1. Компетенция/Индикатор:** ИД-2ПК-2 Владеет методами и подходами описания теплофизических процессов при низких температурах в установках специального назначения

#### **Вопросы, задания**

1. Билет 1

1. Отражение звука от межфазной поверхности сверхтекучего гелия. Физическая постановка и математическое описание.
2. Сформулируйте систему уравнений, позволяющую определить величину теплового потока через плоский слой разреженного газа. Состояние этого газа описывается

четырёхмоментным двухсторонним максвеллианом с параметрами  $n_1, T_1, n_2, T_2$ . Задача стационарная. Известны: температуры поверхностей  $T_2$  и  $T_x$ , расстояние между ними  $L$ , средняя плотность газа между поверхностями  $\bar{g}$ . Считается, что на «горячей» и «холодной» поверхностях осуществляется полная энергетическая аккомодация.

#### 2.Билет 2

1. Двухскоростная модель Л.Д.Ландау; допущения (предположения) и математическое описание.

2. Определите во сколько раз отличаются коэффициенты отражения звука  $R_r$  от поверхностей конденсатов для гелия II при температуре  $T = 2 \text{ K}$  и жидкого натрия при  $T = 477 \text{ K}$  для частоты звуковой волны  $f = 1000 \text{ Гц}$ , Теплопроводность жидкого натрия  $l' = 81,46 \text{ Вт/м} \cdot \text{К}$ , его температуропроводность  $\kappa' = 6,75 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$ , удельная теплота испарения  $r = 4,45 \cdot 10^6 \text{ Дж/кг}$ , плотность жидкости (натрия)  $\rho' = 902,65 \text{ кг/м}^3$ , плотность насыщенного пара при заданной температуре  $\rho'' = 1,35 \cdot 10^{-7} \text{ кг/м}^3$ , молярная масса натрия  $23 \text{ кг/кмоль}$ .

#### 3.Билет 3

1. Кинетическое уравнение Больцмана. Основные допущения при выводе. Постановка задач.

2. Состояние газа описывается полумаксвеллианом с параметрами  $T_0, n_0$  для положительных скоростей и полумаксвеллианом с параметрами  $T_1, n_1$  для отрицательных скоростей. Получите выражения для определения компонентов тензора давления (напряжений):  $P_{xx}$  и  $P_{yx}$ .

#### 4.Билет 4

1. Двухскоростная модель Л.Д.Ландау; допущения (предположения) и математическое описание.

1. 2. Определите при какой глубине погружения в гелий II плоского нагревателя на нем осуществляется стационарное бесшумовое кипение для величины удельного теплового потока, выделяемого нагревателем  $qW = 1,8 \cdot 10^4 \text{ Вт/м}^2$ . При этом значении  $qW$  обеспечивается постоянство толщины паровой пленки для искомой глубины погружения нагревателя. Температура внешней свободной межфазной поверхности гелий II - пар  $T_b$  равняется  $2 \text{ K}$ . Считается, что на поверхности нагревателя осуществляется полная энергетическая аккомодация.

#### 5.Билет 5

1. Сила взаимного трения Гортера - Меллинка. Физическая сущность. Качественный вывод выражения для силы. Расчет теплопереноса с учетом взаимного трения компонент He-II.

2. Определите во сколько раз отличаются коэффициенты отражения звуковой волны  $R_r$  от поверхности конденсатов для сверхтекучего гелия при температуре  $T = 2 \text{ K}$  и жидкого натрия при температуре  $T = 589 \text{ K}$  для частоты звуковой волны  $f = 1000 \text{ Гц}$ , если теплопроводность жидкого натрия  $l' = 75,76 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$ , температуропроводность  $\kappa' = 6,65 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$ , удельная теплота испарения  $r = 4,39 \cdot 10^6 \text{ Дж/кг}$ , плотность насыщенного пара натрия  $\rho'' = 1,57 \cdot 10^{-5} \text{ кг/м}^3$ , плотность жидкого натрия  $\rho' = 876,21 \text{ кг/м}^3$ , молярная масса натрия  $23 \text{ кг/кмоль}$ .

#### 6.Билет 6

1. Методы решения кинетического уравнения Больцмана.

2. Определите коэффициент отражения звуковой волны, падающей на межфазную поверхность сверхтекучего гелия из жидкости. Температура границы раздела  $T_s = 1,9 \text{ K}$ .

#### 7.Билет 7

1. Определение функции распределения молекул газа по скоростям. Моменты функции распределения. Связь микроскопического и макроскопического уровней описания.

2. Пользуясь моментным методом решения кинетического уравнения Больцмана, предложите алгоритм определения температуры в пленке пара вблизи поверхности плоского нагревателя в стационарном режиме кипения гелия II для известного значения

удельного теплового потока, выделяемого нагревателем  $qW$ , при котором обеспечивается постоянство толщины этой пленки. Заданы: глубина погружения нагревателя  $h$  в гелий II, температура верхней межфазной поверхности гелий II - пар (зеркала испарения)  $T_b$  и соответствующее давление во внешней области над этой поверхностью  $P_b$ . Считается, что на поверхности нагревателя осуществляется полная энергетическая аккомодация. Зависимость равновесного давления пара гелия по линии насыщения от температуры известна.

#### 8.Билет 9

1. Метод прямого численного решения кинетического уравнения Больцмана.
2. Выведите формулу для расчета теплового потока  $q$  при стационарном бесшумовом кипении на плоском нагревателе, погруженном в гелий II, если известны давление пара в пленке  $P$  и температура межфазной поверхности пар-жидкость вблизи нагревателя  $T_i$ , а следовательно и  $P_{\text{нас.}}(T_i)$ . Необходимо получить выражение для  $q$ , в которое должны входить  $P$ ,  $T_i$  и  $P_{\text{нас.}}(T_i)$ .

#### 9.Билет 10

1. Термомеханический и механотермический эффекты в He-II. Соотношение Лондона.
2. В одномерной стационарной задаче о перекоденсации состояние газа описывается четырехмоментным двухсторонним максвеллианом с параметрами  $n_1, T_1, n_2, T_2$ . Получите выражение для температуры пара. При каких условиях эту формулу можно использовать для нахождения температуры газа в задаче о теплопереносе через плоский слой разреженного газа? Чему равно значение этой температуры в некоторой точке  $X$ , где  $n_1=4n_6, n_2=2n_6, T_1=9T_6, T_2=4T_6$ . Как определяются  $n_6$  и  $T_6$  в этой задаче?

#### 10.Билет 11

1. Распространение звука в He-II. Система уравнений, описывающая это явление. Скорость 1-го и 2-го звука.
2. Определите размерные значения удельных потоков массы и энергии в одномерной стационарной задаче о перекоденсации азота. Заданы температуры горячей  $T_2 = 77,4 \text{ K}$  и холодной  $T_1 = 76,9 \text{ K}$  поверхностей, расстояние между ними  $L$ . Известно, что температуре  $77,4 \text{ K}$  по линии насыщения соответствует равновесная плотность пара  $\rho_g = 4,8 \text{ кг/м}^3$ , жидкости  $\rho' = 804 \text{ кг/м}^3$ , а теплота парообразования азота  $r = 2 \cdot 10^5 \text{ Дж/кг}$ . Получите решения для двух вариантов: 1)  $L=50 \text{ нм} = 0,5 \cdot 10^{-7} \text{ м}$  и 2)  $L=1 \text{ мкм} = 10^{-6} \text{ м}$ .

#### 11.Билет 12

1. Вывод уравнения, описывающего стационарный теплоперенос в He-II на основе уравнений двухскоростной гидродинамики.
2. Определите коэффициент прохождения звуковой волны, падающей на межфазную поверхность сверхтекучего гелия из жидкости. Температура границы раздела  $T_s = 2,0 \text{ K}$ .

### Материалы для проверки остаточных знаний

- 1.Определение функции распределения молекул газа по скоростям

Ответы:

1. Функция распределения есть ожидаемое число молекул, скорости которых находятся в интервале от  $u$  до  $u+du$  2. Функция распределения есть ожидаемое число молекул, координаты которых находятся в интервале от  $x$  до  $x+dx$  3. Функция распределения есть ожидаемое число молекул, координаты которых находятся в интервале от  $x$  до  $x+dx$ , а скорости от  $u$  до  $u+du$ .  $x$  - координаты молекулы в лабораторной системе координат,  $u$  - скорость в этой же системе координат

Верный ответ: Функция распределения есть ожидаемое число молекул, координаты которых находятся в интервале от  $x$  до  $x+dx$ , а скорости от  $u$  до  $u+du$ .  $x$  - координаты молекулы в лабораторной системе координат,  $u$  - скорость в этой же системе координат

- 2.Какие молекулы называются максвелловскими?

Ответы:

1. Максвелловские молекулы - это молекулы, которые отталкиваются друг от друга с силой, обратно пропорциональной второй степени расстояния 2. Максвелловские молекулы - это молекулы, которые отталкиваются друг от друга с силой, обратно пропорциональной третьей степени расстояния 3. Максвелловские молекулы - это молекулы, которые отталкиваются друг от друга с силой, обратно пропорциональной пятой степени расстояния

Верный ответ: Максвелловские молекулы - это молекулы, которые отталкиваются друг от друга с силой, обратно пропорциональной пятой степени расстояния

3. Зачем надо решать кинетическое уравнение Больцмана?

Ответы:

1. Кинетическое уравнение Больцмана нужно решать, если изучаемый процесс является неравновесным 2. Кинетическое уравнение Больцмана нужно решать, если длина свободного пробега в газе много больше 1 3. Кинетическое уравнение Больцмана нужно решать, если длина свободного пробега в газе много меньше 1

Верный ответ: Кинетическое уравнение Больцмана нужно решать, если изучаемый процесс является неравновесным

4. От какого количества параметров зависит потенциал Леннарда-Джонса?

Ответы:

1. 1 2. 2 3. 3

Верный ответ: 2

5. От количества параметров зависят потенциалы Морзе и Сесерленда?

Ответы:

1. 1 2. 2 3. 3

Верный ответ: 3

6. Что такое момент функции распределения?

Ответы:

1. Момент функции распределения представляет собой интеграл по пространству скоростей от этой функции, взятый с определенным весом 2. Момент функции распределения представляет собой интеграл от этой функции по пространству скоростей от минус бесконечности до плюс бесконечности 3. Момент функции распределения представляет собой производную от этой функции по скорости

Верный ответ: Момент функции распределения представляет собой интеграл по пространству скоростей от этой функции, взятый с определенным весом

7. Какой из методов решения кинетического уравнения Больцмана является аналитическим?

Ответы:

1. Прямое численное решение кинетического уравнения Больцмана 2. Моментный метод 3. Метод прямого статистического моделирования

Верный ответ: Моментный метод

8. Что такое H-функция?

Ответы:

1. Интеграл от  $\ln(f)$  по всему скоростному пространству 2. Интеграл от  $f \cdot \ln(f)$  по всему скоростному пространству 3. Интеграл от  $f^2 \cdot \ln(f)$  по всему скоростному пространству

Верный ответ: Интеграл от  $f \cdot \ln(f)$  по всему скоростному пространству

9. Какова взаимосвязь H-функции и энтропии?

Ответы:

1.  $H = -(S \cdot R_0)/k$ , S - энтропия,  $R_0$  - плотность, k - постоянная Больцмана 2.  $H = S \cdot R_0/k$ , S - энтропия,  $R_0$  - плотность, k - постоянная Больцмана 3.  $H = -S \cdot R_0 \cdot k$ , S - энтропия,  $R_0$  - плотность, k - постоянная Больцмана

Верный ответ:  $H = -(S \cdot R_0)/k$ , S - энтропия,  $R_0$  - плотность, k - постоянная Больцмана

10. В каком случае функция распределения молекул по скоростям называется максвелловской?

Ответы:

1. Состояние газа является сильно неравновесным
2. Молекулы газа взаимодействуют в соответствии с максвелловским потенциалом
3. Состояние газа является равновесным

Верный ответ: Состояние газа является равновесным

## ***II. Описание шкалы оценивания***

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*Описание характеристики выполнения знания:* Работа выполнена в рамках "продвинутого" уровня. Ответы даны верно, четко сформулированные особенности практических решений

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

*Описание характеристики выполнения знания:* Работа выполнена в рамках "базового" уровня. Большинство ответов даны верно. В части материала есть незначительные недостатки

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

*Описание характеристики выполнения знания:* Работа выполнена в рамках "порогового" уровня. Основная часть задания выполнена верно. на вопросы углубленного уровня

*Оценка: 2*

*Описание характеристики выполнения знания:* Работа не выполнена или выполнена преимущественно неправильно

## ***III. Правила выставления итоговой оценки по курсу***

Оценка определяется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ» на основании семестровой и аттестационной составляющих.

**Для курсового проекта/работы:**

**6 семестр**

**Форма проведения: Защита КП/КР**

### ***I. Процедура защиты КП/КР***

Проводится в форме устного представления работы

### ***II. Описание шкалы оценивания***

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*Описание характеристики выполнения знания:* Работа выполнена в рамках "продвинутого" уровня. Ответы даны верно, четко сформулированные особенности практических решений

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

*Описание характеристики выполнения знания:* Работа выполнена в рамках "базового" уровня. Большинство ответов даны верно. В части материала есть незначительные недостатки

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

*Описание характеристики выполнения знания:* Работа выполнена в рамках "порогового" уровня. Основная часть задания выполнена верно. на вопросы углубленного уровня

*Оценка: 2*

*Описание характеристики выполнения знания:* Работа не выполнена или выполнена преимущественно неправильно

### ***III. Правила выставления итоговой оценки по курсу***

Оценка определяется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ» на основании семестровой и аттестационной составляющих.