

**ГОУ ВПО «ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**  
**ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ**  
Кафедра теоретической физики и нанотехнологий

**УТВЕРЖДАЮ:**

Проректор по научно-методической  
и учебной работе

\_\_\_\_\_ Е.И. Скафа  
« 21 \_\_\_\_\_ декабря \_\_\_\_\_ 2016 г.



**Рабочая программа учебной дисциплины**  
**«ФИЗИКА КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ. ТЕРМОДИНАМИКА**  
**И СТАТИСТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА. ФИЗИЧЕСКАЯ КИНЕТИКА»**  
(наименование дисциплины в соответствии с учебным планом)

Направление подготовки:

Профиль подготовки:

Образовательный уровень выпускника:

Форма обучения:

44.03.05 Педагогическое образование  
(с двумя профилями подготовки).

Физика и информатика

бакалавр

очная, заочная, ускоренная

Донецк 2016



УТВЕРЖДАЮ:

Декан физико-технического факультета

Малюк Н.Г.

« 16 » №2 декабря 2016 г.

М.П.

Программа учебной дисциплины «ФИЗИКА КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ. ТЕРМОДИНАМИКА И СТАТИСТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА. ФИЗИЧЕСКАЯ КИНЕТИКА» составлена на основе ГОС ВПО по направлению подготовки 44.03.05 Педагогическое образование (с двумя профилями подготовки), утверждённого приказом Министерства образования и науки ДНР «20» апреля 2016 г. №422 и «Положения об организации учебного процесса в образовательных организациях высшего профессионального образования Донецкой Народной Республики», утверждённого приказом Министерства образования и науки ДНР «30» октября 2015 г. №750.

Разработчик:

*Доцент кафедры теоретической физики  
и нанотехнологий, к.ф.-м.н.*

Финохин В.И.

**Программа учебной дисциплины утверждена на заседании  
кафедры теоретической физики и нанотехнологий**

Протокол № 8 от «12» декабря 2016 г.

*Зав. кафедрой теоретической физики и нанотехнологий*

Варюхин В.Н.

**Программа учебной дисциплины одобрена учебно-методической комиссией  
физико-технического факультета**

Протокол № 4 от «14» декабря 2016 г.

Председатель учебно-методической  
комиссии факультета

Котенко В.Н.

**1. Область применения и место дисциплины в учебном процессе:**

Программа учебной дисциплины «Физика конденсированного состояния. Термодинамика и статистическая физика. Физическая кинетика» является частью основной образовательной программы в соответствии с ГОС по направлению подготовки 44.03.05 Педагогическое образование (с двумя профилями подготовки).

Учебная дисциплина «Физика конденсированного состояния. Термодинамика и статистическая физика. Физическая кинетика» принадлежит к базовой части профессионального блока учебного плана.

**2. Нормативные ссылки (при необходимости)****3. Структура дисциплины (модуля)**

Характеристика учебной дисциплины	очная форма обучения на базе		*заочная форма обучения на базе		
	ОСО	СПО (ускор.)	ОСО	СПО (ускор.)	ВПО (ускор.)
Уровень высшего профессионального образования	Бакалавриат				
Образовательно-квалификационный уровень:	Академический бакалавр				
Направление подготовки	<b>(44.03.05) педагогическое образование</b> (с двумя профилями подготовки)				
Профиль	<b>учитель физики и информатики</b>				
Количество содержательных модулей (тем)	2 (6)				
Дисциплина базовой / вариативной части образовательной программы <sup>1</sup>	<b>Профессиональный блок, Базовая часть</b>				
Формы контроля	модульный контроль, экзамен, курсовая работа				
Показатели	очная форма обучения на базе		*заочная форма обучения на базе		
	ОСО	*СПО (ускор.)	ОСО	СПО (ускор.)	ВПО (ускор.)
Количество зачетных единиц (кредитов)	3				
Количество часов	108				
Год подготовки	5				
Семестр	9,10				
Количество часов					
- лекционных	34				
- практических, семинарских	24				
- лабораторных					
- самостоятельной работы	50				
в т.ч. индивидуальное задание					
Недельное количество часов, т.ч.	2, 3				
аудиторных	2, 3				

ОСО – общее среднее образование

СПО – среднее профессиональное образование

ВПО – высшее профессиональное образование

1- в соответствии с ООП (основной образовательной программой)

#### 4. Описание дисциплины

##### Цели и задачи

**Цель и задачи** преподавания учебной дисциплины «Физика конденсированного состояния. Термодинамика и статистическая физика. Физическая кинетика» - формирование у студентов статистических представлений о свойствах макроскопических систем; изучение основных методов неравновесной термодинамики, теории флуктуаций, кинетики неравновесных систем; изложение основных положений статистической механики, принципов и методов их применения к описанию макроскопических систем.

**Требования к результатам освоения дисциплины:** Процесс изучения дисциплины направлен на формирование элементов следующих компетенций в соответствии с ГОС ВПО по данному направлению подготовки (профилю):

**а) общекультурных (ОК):**

способностью использовать основы философских и социогуманитарных знаний для формирования научного мировоззрения (ОК-1);

способностью использовать естественнонаучные и математические знания для ориентирования в современном информационном пространстве (ОК-3);

способностью к самоорганизации и самообразованию (ОК-6);

**б) общепрофессиональных (ОПК):**

готовностью сознавать социальную значимость своей будущей профессии, обладать мотивацией к осуществлению профессиональной деятельности (ОПК-1);

готовностью к психолого-педагогическому сопровождению учебно-воспитательного процесса (ОПК-3);

готовностью к профессиональной деятельности в соответствии с нормативно-правовыми документами сферы образования (ОПК-4);

**в) профессиональных (ПК):**

**научно-исследовательская деятельность:**

готовностью использовать систематизированные теоретические и практические знания для постановки и решения исследовательских задач в области образования и науки (ПК-11);

способностью руководить учебно-исследовательской деятельностью обучающихся (ПК-12);

**В результате изучения учебной дисциплины студент должен:**

**знать** – основы статистического подхода к исследованию свойств классических макроскопических систем; основы термодинамического подхода к исследованию свойств макроскопических систем; основы квантово-статистического подхода к исследованию свойств макроскопических систем с применением матрицы плотности; микроканоничный распределение, распределение Гиббса; статистические методы исследования макроскопических систем тождественных частиц, распределения Бозе, Ферми; теоретические основы кинетического подхода для исследования термодинамики неравновесных систем;

**уметь** – применять методы феноменологической термодинамики, свободно пользоваться ими при расчетах характеристик макросистем; применять методы исследования статистических свойств макроскопических систем с применением распределения Гиббса; применять методы исследования свойств систем тождественных частиц с использованием распределений Ферми и Бозе; формулировать и доказывать основные результаты физической кинетики

**владеть**

– навыками: применения методов феноменологической термодинамики для расчетов характеристик макросистем; применения методов исследования статистических свойств

макроскопических систем с использованием распределения Гиббса; применения методов исследования свойств систем тождественных частиц с использованием распределений Ферми и Бозе;

– представлениями кинетического подхода для исследования термодинамики неравновесных систем.

## 5. Содержание дисциплины и формы организации учебного процесса

Порядковый номер и тема	Краткое содержание темы
	<i>Содержательный модуль 1.</i>
<b>Тема 1.</b> Основные принципы статистики.	Краткие исторические сведения о развитии термодинамики и молекулярно-кинетической теории. Предмет статистической физики. Статистическое распределение. Статистическая независимость. Среднеквадратичная флуктуация аддитивных величин. Фазовое пространство. Теорема Лиувилля для функции распределения. Микроканоническое распределение. Роль аддитивных интегралов движения. Статистическая матрица. Статистическое распределение в квантовой статистике. Статистический вес. Энтропия. Закон возрастания энтропии.
<b>Тема 2.</b> Термодинамические величины.	Термодинамические величины. Температура. Макроскопическое движение в состоянии термодинамического равновесия. Адиабатические процессы. Внутренняя энергия. Давление. Работа и количество тепла. Теплоемкость. Термодинамические потенциалы. Тепловая функция. Свободная энергия и термодинамический потенциал (свободная энергия Гиббса). Соотношение между производными термодинамических величин. Термодинамическая шкала температуры. Процесс Джоуля-Томсона. Максимальная работа. Цикл Карно. Максимальная работа, производимая телом, находится во внешней среде. Неравенство Клаузиуса. Термодинамические неравенства. Принцип Ле-Шателье. Теорема Нернста.
<b>Тема 3.</b> Распределение Гиббса. Идеальные макроскопические системы.	Зависимость термодинамических величин от числа частиц. Химический потенциал. Равновесие тела во внешнем поле. Вращение тела. Распределение Гиббса. Распределение Максвелла. Распределение вероятностей для осциллятора. Функция Вигнера. Свободная энергия в распределении Гиббса. Распределение Гиббса с переменным числом частиц. Получение термодинамических соотношений по распределению Гиббса. Идеальный газ. Распределение Больцмана. Распределение Больцмана в классической статистике. Барометрическая формула. Свободная энергия больцмановского идеального газа. Уравнение состояния идеального газа. Идеальный газ с постоянной теплоемкостью. Теорема о равнораспределении. Одноатомный идеальный газ. Двухатомный газ. Вращения молекул. Влияние колебания атомов
<b>Тема 4.</b> Распределения Ферми и Бозе.	Тождественные частицы. Распределение Ферми. Распределение Бозе. Ферми-и бозе-газы элементарных частиц. Вырожденный электронный газ. Теплоемкость вырожденного электронного газа. Вырожденный бозе-газ. Черное излучение.

	<b>Содержательный модуль 2</b>
<b>Тема 1.</b> Термодинамика твёрдого тела.	Твёрдые тела при низких температурах. Твёрдые тела при высоких температурах. Интерполяционная формула Дебая. Тепловое расширение твёрдых тел. Колебания кристаллической решетки. Плотность числа колебаний. Фононы. Операторы рождения и уничтожения фононов.
<b>Тема 2</b> Теория флуктуаций	Мера флуктуаций. Формула Эйнштейна для вероятности флуктуаций. Гауссово распределение вероятности малых флуктуаций. Флуктуации системы, помещенной в термостат. Рассеяние света флуктуациями. Формула Рэлея. Корреляция флуктуаций во времени. Теорема Винера - Хинчина. Принцип симметрии кинетических коэффициентов (соотношения Онзагера). Элементы термодинамики необратимых процессов. Теорема Онзагера. Производство энтропии
<b>Тема 3.</b> Кинетика классических систем	Кинетическое уравнение для классических систем. Кинетическое уравнение Больцмана. Уравнения Власова для бесстолкновительной плазмы. Теория броуновского движения. Основное кинетическое уравнение (уравнение баланса). Н - теорема Больцмана. Случайные марковские процессы. Уравнение Смолуховского. Уравнение Фоккера - Планка.
<b>Тема 4.</b> Кинетика квантовых систем	Квазиравновесное распределение. Граничные условия и уравнение Лиувилля для неравновесного статистического оператора. Интегральные уравнения и теория возмущений для неравновесного статистического оператора. Обобщенные кинетические уравнения

	Содержательный модуль 1																					
Названия содержательных модулей и тем	Количество часов																					
	Очная форма						Заочная форма															
							на базе общего среднего образования					на базе среднего профессионального образования					на базе высшего профессионального образования					
	всего	в т.ч.					всего	в т.ч.					всего	в т.ч.					всего	в т.ч.		
лекции		практические	лабораторные	работасамостоятельная	работаиндивидуальная	лекции		практические	лабораторные	работасамостоятельная	работаиндивидуальная	лекции		практические	лабораторные	работасамостоятельная	работаиндивидуальная	лекции		практические	работасамостоятельная	работаиндивидуальная
Тема 1. Основные принципы статистики.	13	4	3		6																	
Тема 2. Термодинамические величины.	13	4	3		6																	
Тема 3. Распределение Гиббса. Идеальные макроскопические системы.	13	4	3		6																	
Тема 4. Распределения Ферми и Бозе.	15	5	3		7																	
Итого по содержательному модулю 1	54	17	12		25																	

Тематический план

[illegible]



## 6. Темы практических занятий

1. Изотермический и адиабатический процессы.  $PV$ -диаграммы. Температурные шкалы (Цельсий, Фаренгейт, Кельвин). Абсолютная температура и энтропия в термодинамике. Уравнение состояния вещества. Калорическое уравнение состояния. Идеальный газ. Работа. Количество теплоты.
2. Микроканоническое распределение для идеального классического газа. Статистическое определение энтропии и температуры. Первое начало термодинамики. Внутренняя энергия, как адиабатический потенциал. Свободная энергия, как изотермический потенциал. Модель резины. Теплоёмкость газа
3. .Круговые процессы. Цикл Карно. КПД тепловых машин. Политропические процессы.
4. Термодинамические коэффициенты. Соотношения между ними.
5. Химический потенциал. Фазовые переходы первого рода. Теплота испарения, давление насыщенного пара в зависимости от температуры. Пар над искривленной поверхностью. Критический радиус зародыша, заряд на капле. Многокомпонентные системы. Правило фаз.
6. Больцмановский газ. Теплоемкость при высоком вырождении верхнего уровня. Газ в объеме с потенциальной ямой. Диэлектрическая проницаемость газа диполей. (Классические диполи, высокие температуры). Охлаждение методом размагничивания парамагнитных солей: цилиндрический образец на оси соленоида, теплоемкость в отсутствие магнитного поля  $C=VaT^3$ . Молекулярные пучки - опыт Штерна. Заполнение откачанного сосуда (при разных соотношениях размера отверстия и длины свободного пробега). Эффект Кнудсена. Теплоемкости  $H_2O$ ,  $CO_2$  в зависимости от температуры. Поправки к теплоемкости двухатомного газа, вызванные ангармоничностью колебаний.
7. Химическое равновесие. Закон действующих масс. Степень диссоциации молекул двухатомного газа ( $AB \rightarrow A+B$ ). Зависимость степени диссоциации от температуры при постоянном объеме. Ионизация атомов, формула Саха.
8. Оценки для электронного газа в металле. Ферми-газ в осцилляторном поле. Полупроводник  $n$ -типа. Оценка примесного уровня (как водородоподобного). Число электронов в примесном состоянии с учетом кулоновского отталкивания. Белый карлик, нейтронная звезда. Оценка размера «плотной» части атома по Томасу – Ферми (учитываем только взаимодействие электронов с ядром). Бозе-газ в поле тяжести. (Конденсация Бозе-Эйнштейна). Термодинамика черного излучения. Фононный газ в кристаллах, модель Дебая.
9. Флуктуации. Оценки для броуновского движения. Рассеяние света. Доля полной интенсивности рэлеевской линии, приходящаяся на дублет Мандельштама - Бриллюена. Корреляция флуктуаций во времени. Шумы в электрических цепях. Корреляционная функция токов в RC цепочке.
10. Кинетическое уравнение. Эффект Холла. Пространственная дисперсия диэлектрической проницаемости плазмы. Закон дисперсии ионного звука (при условии, что температура газа электронов много больше температуры газа ионов,

## 7. Самостоятельная работа

Самостоятельная работа студентов по курсу «Физика конденсированного состояния. Термодинамика и статистическая физика. Физическая кинетика» предусматривает: разработки теоретических основ прослушанного лекционного материала; изучение отдельных тем или вопросов, которые предусмотрены для самостоятельной работы; подготовку к практическим занятиям; самостоятельное решение задач; подготовку к модульному контролю и написание курсовой работы.

## Примеры тем курсовых работ:

**Тема 1.** Теория флуктуаций

**Тема 2.** Расчет флуктуаций термодинамических величин модельных систем

**Тема 3.** Кинетика классических систем

**Тема 4.** Решение кинетических уравнений в приближении времени релаксации.

**Тема 5.** Расчет кинетических коэффициентов в рамках теории Онзагера

**Тема 6.** Кинетика квантовых систем

**Тема 7.** Квазиравновесное распределение.

**Тема 8.** Граничные условия и уравнение Лиувилля для неравновесного статистического оператора.

**Тема 9.** Обобщенные кинетические уравнения

## 8. Контрольные вопросы к модульному контролю

1. Статистическое распределение. Статистическая независимость. Среднеквадратичная флуктуация аддитивных величин.
2. Фазовое пространство. Теорема Лиувилля для функции распределения.
3. Микроканоничное распределение. Роль аддитивных интегралов движения.
4. Статистическая матрица.
5. Статистическое распределение в квантовой статистике.
6. Статистическая вес. Энтропия. Закон возрастания энтропии.
7. Термодинамические величины. Температура.
8. Макроскопическое движение в состоянии термодинамического равновесия.
9. Адиабатические процессы. Внутренняя энергия. Давление.
10. Работа и количество тепла. Теплоемкость.
11. Термодинамические потенциалы. Тепловая функция.
12. Свободная энергия и термодинамический потенциал (свободная энергия Гиббса).
13. Соотношение между производными термодинамических величин.
14. Термодинамическая шкала температуры.
15. Процесс Джоуля-Томсона.
16. Максимальная работа. Цикл Карно.
17. Максимальная работа, производимая телом, находится во внешней среде. Неравенство Клаузиуса.
18. Термодинамические неравенства.
19. Принцип Ле-Шателье.
20. Теорема Нернста.
21. Зависимость термодинамических величин от числа частиц. Химический потенциал.
22. Равновесие тела во внешнем поле. Вращение тела.
23. Распределение Гиббса.
24. Распределение Максвелла.
25. Распределение вероятностей для осциллятора. Функция Вигнера.
26. Свободная энергия в распределении Гиббса.
27. Распределение Гиббса с переменным числом частиц.
28. Получение термодинамических соотношений по распределению Гиббса.
29. Идеальный газ. Распределение Больцмана.
30. Распределение Больцмана в классической статистике. Барометрическая формула.
31. Свободная энергия больцмановского идеального газа. Уравнение состояния идеального газа.
32. Идеальный газ с постоянной теплоемкостью.
33. Теорема о равнораспределении.
34. Одноатомный идеальный газ.
35. Двухатомный газ. Вращения молекул. Влияние колебания атомов
36. Тожественные частицы.

37. Распределение Ферми.
38. Распределение Бозе.
39. Ферми-и бозе-газы элементарных частиц.
40. Вырожденный электронный газ.
41. Теплоемкость вырожденного электронного газа.
42. Вырожденный бозе-газ.
43. Черное излучения.
44. Твердые тела при низких температурах.
45. Твердые тела при высоких температурах.
46. Интерполяционная формула Дебая.
47. Тепловое расширение твердых тел.
48. Колебания кристаллической решетки.
49. Плотность числа колебаний.
50. Фононы.
51. Операторы рождения и уничтожения фононов.

## 9. Образец экзаменационного билета

Билет №1

1. Вырожденный бозе-газ.
2. Уравнения Власова для бесстолкновительной плазмы.

## 10. Критерии оценивания

*(Разрабатываются и утверждаются кафедрой на основе Положения ДонНУ)*

Оценка по 100-балльной шкале, которая действует в ДонНУ	По шкале ECTS	Оценка по государственной шкале (экзамен, дифференцированный зачет, зачёт)	Определение
90–100	A	«Отлично» (5) (зачтено)	отлично – отличное выполнение с незначительным количеством неточностей
80–89	B	«Хорошо» (4) (зачтено)	хорошо – в целом правильно выполненная работа с незначительным количеством ошибок (до 10%)
70–79	C		хорошо – в целом правильно выполненная работа с незначительным количеством ошибок (до 15%)
60–69	D	«Удовлетворительно» (3) (зачтено)	удовлетворительно – неплохо, но со значительным количеством недостатков
50–59	E		достаточно – выполнение удовлетворяет минимальные критерии
30–49	FX	«Неудовлетворительно» с возможностью повторной аттестации (2) (не зачтено)	неудовлетворительно – надо поработать над тем, как получить положительную оценку
0-29	F	«Неудовлетворительно» (2) (не зачтено)	неудовлетворительно - с возможностью повторной сдачи при условии обязательного набора дополнительных баллов

## 11. Материально-техническое обеспечение учебного процесса

Для проведения **лекционных и практических занятий** требуется аудитория на группу, оборудованная меловой или интерактивной доской, мультимедийным проектором и экраном.

## **12. Рекомендованная литература**

### **Основная**

1. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Статистическая физика. - М.: Наука, 1995.
2. Лифшиц Е. М. Теоретическая физика : учебное пособие для вузов : в 10 томах Т. 9: Статистическая физика. Ч. 2. Теория конденсированного состояния / Е. М. Лифшиц, Л. П. Питаевский .- Издание 4-е, исправленное .- Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2004 .- 496 с.
3. Лифшиц Е. М., Питаевский Л. П. Физическая кинетика. М: Наука, 1979. – 536 с.
4. Кондратьев А.С., Райгородский П.А. Задачи по термодинамике, статистической физике и кинетической теории, М.: Физматлит. 2007. - 254 с.

### **Дополнительная**

1. Ландау Л. Д., Ахиезер А. И., Лифшиц Е.М. Курс общей физики. - М.: Наука, 1965.Фейнман Р. Статистическая механика. - М.: Мир, 1975.
2. Гиббс Дж. В. Основные принципы статистической механики. М., 1946.
3. Больцман Л. Лекции по теории газов. М., 1965.
4. Хилл Т. Статистическая механика. - М.: иил, 1960.
5. Хуанг К. Статистическая механика. - М.: Мир, 1966.
6. Кубо Р. Статистическая механика. - М.: Мир, 1967.
7. Кубо Р. Термодинамика. - М.: Мир, 1970.
8. Ансельм А. И. Основы статистической физики и термодинамики. - М.: Наука, 1973.
9. Ахиезер А. И., Пелетминский С. В. Методы статистической физики. - М.: Наука, 1977.
10. Балеску Р. Равновесная и неравновесная статистическая механика. - М.: Мир, 1978. - Т. 1, 2.
11. Боголюбов Н. Н. Лекции по квантовой статистике. - М.: Просвещение, 1949.
12. Гречко Л. Г., Сугаков В. И., Томасевич А. Ф., Федорченко А. М. Сборник задач по теоретической физике. - М.: Высшая школа, 1972.
13. Зубарев Д. Н. Неравновесная статистическая термодинамика. - М.: Наука, 1971.
14. Исихара А. Статистическая физика. - М.: Мир, 1973.

## **13. Информационные ресурсы**

## **14. Программное обеспечение (при наличии)**

Рабочая программа рассмотрена и переутверждена на заседании кафедры с изменениями (без изменений) на 2017 год. Протокол заседания кафедры № 1 от 28.08.17 Зав. кафедрой

Рабочая программа рассмотрена и переутверждена на заседании кафедры с изменениями (без изменений) на 2018 год. Протокол заседания кафедры № 1 от 20.08.18 Зав. кафедрой

Рабочая программа рассмотрена и переутверждена на заседании кафедры с изменениями (без изменений) на 2019 год. Протокол заседания кафедры № \_\_\_\_ от \_\_\_\_ . Зав. кафедрой