

**Министерство образования Республики Беларусь  
Учебно-методическое объединение вузов Республики Беларусь по есте-  
ственнонаучному образованию**

**УТВЕРЖДАЮ**

Первый заместитель Министра образования  
Республики Беларусь

\_\_\_\_\_  
А.И. Жук

*23.12.2009*

Регистрационный № ТД-\_\_\_\_\_/тип.

*№ ТД - в. 249/тип.*

**МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА**

**Типовая учебная программа**

**для высших учебных заведений по специальностям:**

**1-31 04 02 Радиоп физика; 1-31 04 03 Физическая электроника;**

**1-98 01 01 Компьютерная безопасность (по направлениям)**

**(направление 1-98 01 01-02 Компьютерная безопасность (радиофизиче-  
ские методы и программно-технические средства))**

**СОГЛАСОВАНО**

Председатель УМО вузов Республики  
Беларусь по естественнонаучному  
образованию



\_\_\_\_\_  
В.В. Самохвал

**СОГЛАСОВАНО**

Начальник Управления высшего и  
среднего специального образования  
Министерства образования Респу-  
блики Беларусь

\_\_\_\_\_  
Ю.И. Миксюк

\_\_\_\_\_  
*23.12.2009*

Ректор Государственного учреждения  
образования «Республиканский ин-  
ститут высшей школы»

\_\_\_\_\_  
М. И. Демчук

\_\_\_\_\_  
*10.12.2009*

Эксперт-нормоконтролер

\_\_\_\_\_  
С.М. Артемьева

\_\_\_\_\_  
*10.12.2009*

Минск 2009

**СОСТАВИТЕЛИ:**

**Саечников В.А.** – заведующий кафедрой физики Белорусского государственного университета, доктор физико-математических наук, профессор;  
**Данейко И.К.** – доцент кафедры физики Белорусского государственного университета, кандидат физико-математических наук, доцент.

**РЕЦЕНЗЕНТЫ:**

**Кафедра экспериментальной и теоретической физики** Белорусского национального технического университета;

**Н. Т. Квасов** – заведующий кафедрой физики Учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», доктор физико-математических наук, профессор.

**РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ В КАЧЕСТВЕ ТИПОВОЙ:**

Кафедрой физики Белорусского государственного университета  
(протокол № 12 от 29 мая 2008 г.);

Научно-методическим советом Белорусского государственного университета  
(протокол № 2 от 20 марта 2009 г.);

Научно-методическим советом по физике учебно-методического объединения вузов Республики Беларусь по естественнонаучному образованию  
(протокол № 4 от 6 марта 2009 г.);

Научно-методическим советом по специальности 1-98 01 01 Компьютерная безопасность (по направлениям) учебно-методического объединения вузов Республики Беларусь по естественнонаучному образованию  
(протокол № 2 от 22 апреля 2009 г.).

Ответственный за выпуск: И. К. Данейко

## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Молекулярная физика как учение о строении и макроскопических свойствах вещества традиционно излагается с использованием двух взаимно дополняющих фундаментальных методов: термодинамического и молекулярно-кинетического (статистического).

В термодинамическом методе исследования вещества в отличие от молекулярно-кинетического не вводятся в рассмотрение какие-либо модельные представления об атомно-молекулярном строении вещества, а ставится задача установить зависимость между непосредственно наблюдаемыми макроскопическими величинами. Термодинамика как теоретическая дисциплина строится на трех фундаментальных законах (началах), установленных на основании огромного опытного знания, относящегося к поведению макроскопических систем. Выводы термодинамики весьма общие, не зависят от выбора гипотетической модели структуры вещества, характера движения молекул, взаимодействия между ними. Результаты же, получаемые в молекулярно-кинетической теории, существенным образом зависят от выбора этой гипотетической модели структуры вещества, характера движения молекул, вида сил взаимодействия между ними. Недостаток термодинамического метода – это невозможность с его помощью вскрыть молекулярную сущность изучаемых явлений. Термодинамика ничего не говорит о механизме происходящих в веществе микропроцессов, а только устанавливает связь между макроскопическими характеристиками вещества. Поэтому преподавание дисциплины молекулярной физики строится на обоих подходах: термодинамическом и статистическом. Эти два подхода к физике макросистем взаимно дополняют друг друга, так как у них один и тот же объект исследования – система, состоящая из многих молекул, и одна и та же цель – нахождение зависимостей между макроскопическими величинами системы многих частиц.

Указанный подход позволяет широко использовать не только аппарат дифференциального и интегрального исчисления, но и сильный аппарат теории вероятностей, основные соотношения которого приводятся и разъясняются в этой дисциплине.

При решении некоторых задач макрофизики частично привлекаются представления, понятия и методы квантовой физики.

**Цель преподавания дисциплины** – сформировать у студента четкое и ясное физическое и математическое описание поведения систем, состоящих из многих частиц, в двух методах исследования – термодинамическом и молекулярно-кинетическом (статистическом); подготовить студентов к постановке и проведению теоретических и экспериментальных исследований в молекулярной физике.

**Задачи дисциплины:** научить количественно формулировать и решать задачи, используя основные законы термодинамики и молекулярно-кинетической теории; сформировать у студента определенные навыки и умения экспериментальной работы с использованием современных приборов и информационных технологий.

Студент должен

**знать:**

- основы статистического подхода к решению задач молекулярной физики;
- термодинамический метод расчета макроскопических величин систем многих частиц;
- первое и второе начала термодинамики;
- законы, управляющие явлениями теплопроводности, вязкости и диффузии;
- уравнение Клапейрона-Клаузиуса для фазовых переходов вещества;

**уметь:**

- производить расчеты макроскопических параметров вещества, используя основные термодинамические соотношения и статистические функции распределения;
- применять законы термодинамики при решении задач молекулярной физики;
- находить К. П. Д. известных тепловых машин и процессов.

Данная дисциплина является основой и введением в последующие дисциплины, а именно: термодинамика и статистическая физика, атомная и ядерная физика.

В соответствии с типовыми учебными планами по соответствующим специальностям типовая учебная программа предусматривает для изучения дисциплины общее количество часов – 196; аудиторное количество часов – 102, из них: лекции – 68, практические занятия – 34.

**ПРИМЕРНЫЙ ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН РАСПРЕДЕЛЕНИЯ  
АУДИТОРНЫХ ЧАСОВ ПО ТЕМАМ**

Номер темы и ее наименование	Всего а/часов	Из них	
		Лекции	Практические занятия
1. Введение	3	2	1
2. Некоторые сведения из теории вероятностей	4	2	2
3. Основы статистической теории идеального газа	18	12	6
4. Основы термодинамики			
4.1. Термодинамический метод	6	4	2
4.2. Процессы изменения объема газа	6	4	2
4.3. Второе начало термодинамики	10	6	4
4.4. Энтропия	8	6	2
5. Реальные газы	14	10	4
6. Физическая кинетика	14	10	4
7. Жидкости	9	6	3
8. Твердые тела и фазовые превращения	10	6	4
<b>ИТОГО</b>	<b>102</b>	<b>68</b>	<b>34</b>

## СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

### 1. ВВЕДЕНИЕ

Предмет молекулярной физики.

Основные положения молекулярно-кинетической теории строения вещества. Массы атомов и молекул. Количество вещества.

Агрегатные состояния вещества. Молекулярные силы.

Статистический и термодинамический методы изучения систем многих частиц. Микроскопическое и макроскопическое состояния системы. Макроскопические параметры. Способы измерения энергии макроскопической системы. Термодинамическое равновесие. Равновесные процессы.

### 2. НЕКОТОРЫЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ ВЕРОЯТНОСТЕЙ

Частотные и априорные определения вероятности события. Теоремы сложения и умножения вероятностей. Условие нормировки. Случайные величины. Функция распределения случайной величины, ее свойства.

Средние значения случайных величин и их свойства. Среднее по времени и среднее по ансамблю. Э르고динамическая гипотеза. Дисперсия и ее свойства. Теоремы Чебышева и Бернулли. Значения нескольких часто встречающихся в статистике интегралов.

### 3. ОСНОВЫ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ ИДЕАЛЬНОГО ГАЗА

Распределение молекул газа по направлениям движения в состоянии равновесия. Число ударов молекул газа о стенку. Давление идеального газа с точки зрения молекулярно-кинетической теории. Основное уравнение кинетической теории газов для давления.

Температура и её измерение. Эмпирические температурные шкалы. Идеально-газовая шкала температур. Молекулярно-кинетический смысл температуры. Уравнение состояния идеального газа. Законы идеального газа.

Распределение молекул газа по скоростям. Постановка задачи о распределении молекул по компонентам скоростей и по абсолютным значениям скорости.

Распределение Максвелла и его вывод. Некоторые свойства распределения Максвелла. Наивероятнейшая скорость молекул. Формула распределения Максвелла для относительных скоростей. Средняя арифметическая и средняя квадратичная скорости молекул и их вычисление на основе закона Максвелла. Экспериментальная проверка закона Максвелла.

Число степеней свободы молекул. Теорема о равномерном распределении энергии теплового движения молекул газа. Идеальный газ во внешнем поле сил. Распределение Больцмана. Барометрическая формула. Распределение Максвелла — Больцмана. Флуктуации. Теорема об относительной флуктуации.

## **4. ОСНОВЫ ТЕРМОДИНАМИКИ**

### **4.1. Термодинамический метод**

Внутренняя энергия, работа и теплота. Выражение для внутренней энергии идеального газа. Работа, совершаемая системой при изменениях её объёма. Первое начало термодинамики.

Теплоёмкость. Применение первого начала термодинамики и вычисление теплоёмкости вещества. Классическая теория теплоёмкостей идеального газа. Ограниченность теоремы о равномерном распределении энергии по степеням свободы.

### **4.2. Процессы изменения объема газа**

Различные процессы изменения объёма идеального газа: изотермический, адиабатический, политропический. Уравнения этих процессов. Работа идеального газа при этих процессах. Обратимые и необратимые процессы. Круговые процессы. Работа при круговых процессах. Первое начало термодинамики в применении к круговому процессу. Тепловые и холодильные машины.

### **4.3. Второе начало термодинамики**

Недостаточность первого начала термодинамики для однозначного описания процессов, происходящих в природе. Второе начало термодинамики. Формулировка основного постулата, выражающего второе начало термодинамики. Постулаты Кельвина и Клаузиуса и их эквивалентность.

Цикл Карно и его к.п.д. Теоремы Карно. Верхний предел к.п.д. тепловых машин.

Математическое выражение второго начала термодинамики для обратимых процессов. Равенство Клаузиуса. Энтропия. Постоянство энтропии при обратимых процессах в замкнутой системе. Основное уравнение термодинамики для обратимых процессов. Вычисление энтропии идеального газа.

Математическое выражение второго начала термодинамики для обратимых процессов. Неравенство Клаузиуса. Возрастание энтропии при необратимых процессах в замкнутой системе.

### **4.4. Энтропия**

Общая формулировка второго начала термодинамики.

Вычисление изменения энтропии при необратимых процессах. Закон возрастания энтропии и превращение теплоты в работу. Свободная энергия системы.

Статистический смысл необратимости термодинамических процессов. Вероятности микросостояний и макросостояний идеального газа по пространственным положениям частиц. Термодинамическая вероятность макросостояния. Равновесное состояние системы, как наиболее вероятное. Связь энтропии и термодинамической вероятности состояния системы. Статистический характер второго начала термодинамики. Энтропия как мера беспорядка в системе. Формула Больцмана.

## 5. РЕАЛЬНЫЕ ГАЗЫ

Отклонение реальных газов от идеальных.

Конденсация газов. Экспериментальные изотермы. Критическое состояние вещества. Фазовая диаграмма газ – жидкость. Уравнение состояния неидеальных газов. Уравнение Ван-дер-Ваальса. Изотермы Ван-дер-Ваальса и их сравнение с экспериментальными изотермами. Метастабильные вещества – пересыщенный пар и перегретая жидкость. Определение критических параметров вещества из уравнения Ван-дер-Ваальса. Внутренняя энергия газа Ван-дер-Ваальса.

Эффект Джоуля – Томсона. Общая термодинамическая теория дифференциального эффекта Джоуля – Томсона. Температура инверсии. Эффект Джоуля – Томсона для газа Ван-дер-Ваальса. Сжижение газов. Получение низких и сверхнизких температур.

## 6. ФИЗИЧЕСКАЯ КИНЕТИКА

Среднее число столкновений и средняя длина свободного пробега молекул в газе. Эффективный диаметр газовых молекул. Понятие об эффективном сечении процесса столкновений частиц. Явление переноса в газах. Виды явлений переноса. Общее уравнение процессов переноса в газах. Теплопроводность газов. Основной закон теплопроводности – закон Фурье. Вычисление и экспериментальное определение коэффициента теплопроводности газов.

Внутреннее трение (вязкость) в газах.

Вычисление и экспериментальное определение коэффициента вязкости газов. Диффузия в газах. Основной закон диффузии – закон Фика. Уравнение диффузии. Вычисление коэффициента самодиффузии газов.

Некоторые свойства разреженных газов.

## 7. ЖИДКОСТИ

Строение жидкостей. Ближний и дальний порядок. Тепловое движение в жидкостях. Особенности явлений переноса в жидкостях.

Свойства поверхностного слоя жидкости.

Поверхностное натяжение. Явления на границе жидкости и твёрдого тела. Краевой угол. Смачиваемость. Давление под искривленной поверхностью жидкости. Формула Лапласа. Капиллярные явления.

Испарение жидкостей. Теплота испарения. Температурная зависимость давления насыщенных паров. Уравнение Клапейрона – Клаузиуса. Зависимость давления насыщенных паров от кривизны поверхности. Пересыщение пара. Перегрев жидкости.

Жидкие растворы. Осмос и осмотическое давление, закон Вант – Гоффа. Давление насыщенных паров над раствором нелетучего вещества. Закон Рауля. Повышение точки кипения и понижение точки отвердевания раствора.

## 8. ТВЁРДЫЕ ТЕЛА И ФАЗОВЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ

Кристаллическое и аморфное состояния веществ. Характерные черты кристаллического состояния. Анизотропия кристаллов. Понятие о симметрии



кристаллов. Кристаллические решётки. Решётки Браве. Классификация решёток Браве по кристаллографическим системам. Кристаллографические системы координат. Обозначения атомных плоскостей и направлений в кристаллах. Физические типы кристаллических решёток. Понятие о природе сил связи в кристаллах. Дефекты в кристаллах. Точечные дефекты. Дислокация. Роль дислокаций в процессе пластической деформации кристаллов.

Теплоёмкость твёрдых тел. Классическая теория. Понятие о квантовой теории теплоёмкости твёрдых тел. Формула Планка для средней энергии линейного гармонического осциллятора. Теория Эйнштейна теплоёмкости твёрдых тел.

Кристаллизация и плавление. Сублимация. Фазовая диаграмма кристалл – жидкость – газ. Тройная точка. Полиморфизм в твёрдых телах. Фазовые переходы первого и второго рода. Фазовая диаграмма гелия.

## **ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ**

### **1. Список рекомендуемой литературы**

#### **а) Основная**

1. Матвеев А.Н. Молекулярная физика. М., 1987.
2. Сивухин Р.В. Общий курс физики: В 3 т. Т.2. Термодинамика и молекулярная физика. М., 1976.
3. Гинзбург и др. Сборник задач по общему курсу физики: В 3 ч. Т.2. Термодинамика и молекулярная физика. М., 1976.
4. Иродов И.Е. Задачи по общей физике. М., 1988.
5. Физический практикум. Механика и молекулярная физика/ Под ред. В.И. Ивероновой. М, 1967.

#### **б) Дополнительная**

1. Кикоин И.К., Кикоин А.К. Молекулярная физика. М., 1976.
2. Савельев И.В. Курс общей физики: В 3 т. Т.1. М., 1976.
3. Телеснин Р.В. Молекулярная физика. М., 1973.
4. Рейф Ф. Статистическая физика. М., 1972.
5. Данейко И.К. Молекулярная физика. Мн., 2006.

### **2. Примерный список тем практических занятий**

1. Опытные газовые законы.
2. Уравнение Клапейрона-Менделеева.
3. Основы теории вероятностей.
4. Распределение Максвелла.
5. Температура.
6. Первое начало термодинамики.
7. Второе начало термодинамики.
8. Реальные газы.
9. Жидкости.
10. Фазовые превращения.
11. Физическая кинетика.

### **3. Рекомендуемая тематика реферативных работ**

1. Тепловые насосы.
2. Характерные особенности и КПД циклов внутреннего сгорания Отто, Дизеля и Тринклера.
3. Взаимодействие молекул с поверхностью твердого тела.
4. Явления в сосудах, сообщающихся через пористую перегородку.
5. Особенности явлений переноса в твердых телах и жидкостях.
6. Термические и калорические свойства веществ в твердом и жидком состоянии.
7. Теплообмен при кипении жидкостей.
8. Нестационарная теплопроводность.
9. Теплопроводность при наличии внутренних источников теплоты.
10. Основные качественные сведения о сплавах, твердых растворах и полимерах.

#### **4. Рекомендуемые темы контрольных работ и коллоквиумов**

##### ***а) Темы контрольных работ:***

1. Уравнение состояния идеального газа. Первое начало термодинамики.
2. Газ в поле внешних сил. Распределение Максвелла.
3. КПД циклов тепловых машин. Явления переноса.

##### ***б) Темы коллоквиумов:***

1. Статистические распределения. Распределения молекул по скоростям.
2. Второе начало термодинамики. Циклы.
3. Реальные газы.

При планировании в рабочие программы могут быть включены темы, отсутствующие в перечне практических, лабораторных занятий, если они соответствуют учебной программе.

На занятиях используются различное лабораторное оборудование, приборы, компьютерные программы, видео и кинофильмы, схемы, плакаты, макеты, стенды и другие технические средства обучения.

Для текущего и итогового контроля степени усвоения учебного материала студентами рекомендуется использовать компьютерные системы тестирования.