

**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/т.м.

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

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

М. И. Демчук

Эксперт-нормоконтролер

С.М. Артемьева

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
ИТОГО	102	68	34

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.