

## Название дисциплины: Молекулярная физика.

### 1. Цели и задачи освоения дисциплины:

Цель: сформировать у студентов представления о физической картине окружающего мира,

обеспечить усвоение материала данного курса и создать базу для изучения последующих разделов курса общей физики, а также статистической физики;

Задачи:

ознакомить студентов с основными понятиями и законами молекулярной физики:

понятие температуры, идеальный газ, броуновское движение, второе начало, привить учащимся навыки подхода к решению задач по молекулярной физике и термодинамике.

### 2. Требования к результатам освоения содержания дисциплины:

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

**Знать:** Основные понятия и законы, описывающие процессы, происходящие в веществе, обусловленные его молекулярным строением, характером движения молекул и силами, действующими между ними.

**Уметь:** Применять знания по дисциплине в смежных областях учебных дисциплин и будущей научно-исследовательской работе.

**Владеть:** Методами решения задач по молекулярной физике и термодинамике

**Приобрести опыт деятельности:**

### 3. Содержание и структура дисциплины

**3.1.** Содержание разделов дисциплины (К – коллоквиум, Т – проверочная самостоятельная работа (тест), РК - рубежная контрольная работа, ДЗ – домашнее задание, РГЗ – расчетно-графическое задание)

№ раздела	Наименование раздела	Содержание раздела	Форма текущего контроля
1	Элементы комбинаторики.	Элементы комбинаторики. Случайная величина. Вероятность. Вероятность сложных событий. Биномиальное распределение. Распределения Пуассона и Гаусса. Термодинамическая вероятность.	Т, ДЗ
2	Распределения Максвелла и Больцмана.	Распределение молекул идеального газа по кинетической энергии поступательного движения. Распределение молекул идеального газа по скоростям. Наиболее вероятная, средняя и среднеквадратичная скорости. Распределение Больцмана по потенциальной энергии во внешнем поле. Модель изотермической атмосферы.	Т, РК, ДЗ
3	Броуновское движение. Равномерное распределе-	Движение броуновской частицы. Средний квадрат смещений частицы. Формула Эйнштейна. Теорема о равномерном распределении кинетической энергии по степеням свободы.	Т, ДЗ

	ние кинетической энергии по степеням свободы.		
4.	Первое начало термодинамики. Теплоемкость.	Первое начало термодинамики. Равновесные процессы. Составляющие энергетического баланса: теплота, внутренняя энергия, работа. Теплоемкость. Формула Майера. Политропические процессы. Теплоемкость в политропическом процессе.	Т, РК, ДЗ
5	Второе и третье начала термодинамики. Энтропия.	Второе начало термодинамики. Энтропия. Равенство Клаузиуса. Изменение энтропии в обратимых и необратимых процессах. Энтропия и теплоемкость. Третье начало термодинамики. Энтропия идеального газа.	РК, ДЗ
6	Реальные газы и жидкости.	Реальные газы. Уравнение Ван-дер-Ваальса. Внутренняя энергия газа Ван-дер-Ваальса. Изотермы Ван-дер-Ваальса. Критическое состояние. Критические параметры газа Ван-дер-Ваальса. Закон соответственных состояний. Силы межмолекулярного взаимодействия. Эффект Джоуля-Томсона. Методы получения низких температур.	Т,ДЗ,РК
7	Поверхностные явления в жидкостях.	Коэффициент поверхностного натяжения. Краевой угол. Давление под искривленной поверхностью жидкости. Формула Лапласа. Капиллярные явления.	Т,ДЗ,РК
8	Твердые тела.	Кристаллы. Симметрия кристаллов. Элементарная ячейка. Решетка Браве. Индексы Миллера. Изоморфизм и полиморфизм. Фазы переменного состава. Дефекты в кристаллах. Дислокации.	Т, ДЗ
9	Фазовые переходы.	Классификация фазовых переходов по Эренфесту. Термодинамический потенциал Гиббса как функция состояния. Фазовые переходы первого рода. Уравнение Клапейрона-Клаузиуса. Скрытая теплота перехода. Тройная точка. Фазовые переходы второго рода. Аномалии теплового расширения при фазовых переходах.	
10	Явления переноса.	Понятие о релаксационных процессах в молекулярных системах. Диффузия: закон Фика. Внутреннее трение: закон Ньютона-Стокса. Теплопроводность: закон Фурье. Уравнение переноса. Явление переноса в газах. Связь коэффициентов переноса с молекулярно-кинетическими характеристиками газа.	

### 3.2. Структура дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 108 часов, из них лекции – 32 часа, семинары – 32 часа, самостоятельная работа студентов – 44 часа.

Вид работы	Семестр 2	Всего
<b>Общая трудоемкость</b>	<b>108</b>	<b>108</b>
<b>Аудиторная работа:</b>	<b>64</b>	<b>64</b>
Лекции (Л)	32	32
Практические занятия (ПЗ)	32	32
<b>Лабораторные работы (ЛР)</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>Самостоятельная работа</b>	<b>44</b>	<b>44</b>
<b>Вид итогового контроля</b>	Зачет, экзамен	

#### Разделы дисциплины по семестрам

№ раз-дела	Наименование раздела	Количество часов				
		Всего	Аудиторная работа			Внеаудиторная работа
			Л	ПЗ	ЛР	
1	Элементы комбинаторики.		2			
2	Распределения Максвелла и Больцмана.		4			
3	Броуновское движение. Равномерное распределение кинетической энергии по степеням свободы.		2			
4	Первое начало термодинамики. Теплоемкость.		4			
5	Второе и третье начала термодинамики. Энтропия.		4			
6	Реальные газы и жидкости.		4			
7	Поверхностные явления в жидкостях.		4			
8	Твердые тела.		2			
9	Фазовые переходы.		4			
10	Явления переноса.		2			
	Итого:		32			

#### 3.3. Практические занятия (семинары)

№ раз-дела	№ занятия	Тема	Кол-во часов
1	1	Основные понятия теории вероятностей. Биномиальное распределение. Распределения Пуассона и Гаусса.	2
2	2	Распределение Максвелла. Характерные скорости молекул газа. Доля молекул в заданном интервале скоростей.	2
	3	Распределение Больцмана. Распределение молекул в	2

		поле сил тяжести и в поле сил инерции.	
3	4	Теорема о равномерном распределении кинетической энергии по степеням свободы. Броуновское движение.	2
4	5	Первое начало термодинамики. Процессы в идеальном газе.	2
	6	Теплоемкость.	2
5	7	Второе начало термодинамики. Энтропия.	2
1-5	8	Контрольная работа	2
5	9	Обратимые циклы. КПД циклов.	2
6	10	Реальные газы. Уравнение Ван-дер-Ваальса.	2
	11	Эффект Джоуля-Томсона.	
9	12	Фазовые переходы.	2
	13	Уравнение Клапейрона-Клаузиуса.	2
7	14	Поверхностные явления.	2
10	15	Явления переноса.	2
	16	Контрольная работа	2

### 3.4. Самостоятельное изучение разделов дисциплин

№ раздела	№ вопроса	Вопросы, выносимые на самостоятельное изучение	Кол-во часов
1	1	Элементы комбинаторики. Случайная величина. Вероятность. Вероятность сложных событий.	4
	2	Термодинамическая вероятность.	4
2	3	Наиболее вероятная, средняя и среднеквадратич-	4

		ная скорости.	
	4	Модель изотермической атмосферы.	4
3	5	Средний квадрат смещений частицы. Формула Эйнштейна.	4
4	6	Равновесные процессы. Составляющие энергетического баланса: теплота, внутренняя энергия, работа. Формула Майера.	4
5	7	Изменение энтропии в обратимых и необратимых процессах. Энтропия идеального газа.	4
6	8	Уравнение Ван-дер-Ваальса. Внутренняя энергия газа Ван-дер-Ваальса. Эффект Джоуля-Томсона.	4
7	9	Давление под искривленной поверхностью жидкости. Формула Лапласа. Капиллярные явления.	4
8	10	Уравнение Клапейрона-Клаузиуса. Скрытая теплота перехода.	4
9	11	Явление переноса в газах. Связь коэффициентов переноса с молекулярно-кинетическими характеристиками газа.	4

#### 4. Образовательные технологии

##### 4.1. Интерактивные образовательные технологии, используемые в аудиторных занятиях

Семестр	Вид занятия	Интерактивные образовательные технологии	Кол-во часов
Итого			

#### 5. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации

##### Варианты контрольных работ.

##### К разделам 1-5

Задача 1. Три моля идеального газа, находящегося при температуре  $T_0=273\text{K}$  изотермически расширили в  $n = 5$  раз и затем изохорически нагрели так, что его давление стало равным первоначальному. За весь процесс газу сообщили количество тепла  $Q = 80$  кДж. Найти  $\gamma = C_p / C_v$  для этого газа.

Задача 2. При какой температуре газа, состоящего из смеси азота и кислорода, наиболее вероятные скорости молекул азота и кислорода будут отличаться друг от друга на  $\Delta v = 30$  м/с?

Задача 3. Потенциальная энергия молекул идеального газа зависит от расстояния  $r$  как  $U(r) = ar$ , где  $a$  - положительная постоянная,  $r = 0$  - центр поля. Температура газа  $T$ . Определить функцию плотности вероятности  $f(r)$  нахождения молекулы на расстоянии  $r$  от центра поля, наиболее вероятное расстояние  $r_{\text{нв}}$  и среднее значение потенциальной энергии  $U$ , приходящейся на одну молекулу газа.

Задача 4. Найти приращение энтропии двух молей идеального газа с показателем адиабаты  $\gamma = 1.3$ , если в результате некоторого процесса объем газа увеличился в  $\alpha = 2$  раза, а давление уменьшилось в  $\beta = 3$  раза.

### К разделам 6-10

Задача 1. Один моль некоторого газа находится в сосуде объемом  $V=0,250$  л. При температуре  $T_1 = 300$  К давление газа  $p_1 = 90$  атм., а при  $T_2 = 350$  К давление  $p_2 = 110$  атм. Найти постоянные Ван-дер-Ваальса для этого газа.

Задача 2. Стекланный капилляр длины  $l = 110$  мм с диаметром внутреннего канала  $d = 20$  мкм опустили в вертикальном положении в воду. Верхний конец капилляра запаян. Наружное давление воздуха нормальное. Какая длина  $x$  капилляра должна быть погружена в воду, чтобы уровень воды в капилляре совпал с поверхностью воды вне его?

Задача 3. Вода массы  $m = 1$  кг, кипящая при нормальном атмосферном давлении, целиком превратилась в насыщенный пар. Найти приращения энтропии и внутренней энергии, считая насыщенный пар идеальным газом.

Задача 4. Идеальный газ совершил процесс, в результате которого его давление возросло в  $n$  раз. Как и во сколько раз изменились средняя длина свободного пробега и число столкновений каждой молекулы в единицу времени, если процесс: а) изохорический, б) изотермический?

### Вопросы для подготовки к экзамену.

1. Предмет молекулярной физики. Основные положения молекулярно-кинетической теории. Статистический подход к описанию молекулярных явлений. Понятие о статистических закономерностях.
2. Идеальный газ. Равновесное пространственное распределение частиц идеального газа. Флуктуации плотности идеального газа.
3. Биномиальное распределение.
4. Распределение Пуассона как предельный случай биномиального распределения. Примеры его применения.
5. Распределение Гаусса как предельный случай биномиального распределения. Примеры его применения.
6. Основное уравнение молекулярно-кинетической теории газов. Уравнение Клапейрона – Менделеева.
7. Понятия равновесного состояния и температуры. Термометрическое тело и термометрическая величина. Эмпирические шкалы температур. Газовый термометр. Идеально-газовая шкала температур.
8. Распределение молекул газа по компонентам скоростей.
9. Распределение молекул газа по скоростям. Распределение Максвелла. Принцип детального равновесия.
10. Наивероятнейшая, средняя и среднеквадратичная скорости молекул газа.
11. Идеальный газ во внешнем потенциальном поле. Распределение Больцмана. Барометрическая формула.
12. Опыты, подтверждающие распределения Максвелла и Больцмана.
13. Столкновения молекул в газе. Длина свободного пробега. Частота соударений. Газо-кинетический диаметр молекул.
14. Рассеяние молекулярных пучков в газе. Определение длины свободного пробега молекул в опытах по рассеянию.
15. Молекулярно-кинетические характеристики воздуха при нормальных условиях.

16. Теорема о равномерном распределении кинетической энергии по степеням свободы. Примеры ее применения.
17. Броуновское движение. Формула Эйнштейна.
18. Опыты Перрена по определению числа Авогадро.
19. Явления переноса. Диффузия; закон Фика. Внутреннее трение; закон Ньютона – Стокса. Теплопроводность; закон Фурье.
20. Явления переноса в газах. Связь коэффициентов переноса с молекулярно-кинетическими характеристиками газа.
21. Термодинамический подход к описанию молекулярных явлений. Понятие термодинамического равновесия. Квазистатические процессы. Обратимые и необратимые процессы. Первое начало термодинамики.
22. Первое начало термодинамики. Его применение к процессам в идеальном газе (изотермический, изохорический, изобарический и адиабатический процессы).
23. Третье начало термодинамики. Методы получения низких температур.
24. Теплоемкость системы. Теплоемкость идеального газа. Связь теплоемкости газа с числом степеней свободы молекул. Уравнение Майера.
25. Политропический процесс. Уравнение политропы и его частные случаи.
26. Классическая теория теплоемкости твердых тел. Закон Дюлонга и Пти. Зависимость теплоемкости твердых тел от температуры. Температура Дебая.
27. Преобразование теплоты в работу. Циклические процессы. Тепловой двигатель. Коэффициент полезного действия. Цикл Карно. КПД цикла Карно.
28. Две теоремы Карно.
29. Термодинамическая шкала температур. Ее тождественность с идеально-газовой шкалой.
30. Равенство Клаузиуса. Энтропия как функция состояния.
31. Неравенство Клаузиуса.
32. Второе начало термодинамики. Формулировки Клаузиуса и Томсона (Кельвина). Их эквивалентность.
33. Закон возрастания энтропии. Изменение энтропии идеального газа при его адиабатическом расширении в пустоту.
34. Микро- и макросостояния системы. Термодинамическая вероятность. Статистическая трактовка энтропии. Формула Больцмана.
35. Фазы вещества. Фазовые переходы первого и второго рода. Испарение и конденсация. Уравнение Клапейрона – Клаузиуса.
36. Плавление и кристаллизация. Возгонка. Фазовые диаграммы. Тройная точка.
37. Учет сил взаимодействия молекул газа. Уравнение Ван-дер-Ваальса. Изотермы Ван-дер-Ваальса.
38. Реальные газы. Изотермы реального газа. Область двухфазных состояний Метастабильные состояния (перегретая жидкость, переохлажденный пар).
39. Критические параметры газа Ван-дер-Ваальса. Закон соответственных состояний.
40. Силы межмолекулярного взаимодействия. Потенциал Леннарда-Джонса.
41. Эффект Джоуля – Томсона. Температура инверсии.
42. Поверхностные явления. Коэффициент поверхностного натяжения. Краевой угол. Смачивание и несмачивание.
43. Давление под искривленной поверхностью жидкости. Капиллярные явления.
44. Кристаллы. Симметрия кристаллов. Элементы точечной симметрии: ось симметрии, плоскость симметрии, центр инверсии, зеркально-поворотная ось симметрии.
45. Кристаллическая решетка. Элементарная ячейка. Трансляция и трансляционная симметрия. Кристаллические системы.
46. Решетки Браве. Обозначение плоскостей и направлений в кристалле. Индексы Миллера. Дефекты в кристаллах.

## 6. Учебно-методическое обеспечение дисциплины

## **6.1. Основная литература**

А.К. Кикоин, И.К. Кикоин. Молекулярная физика. М.: Наука, 1976.

Д.В. Сивухин. Общий курс физики. Т. 2. Термодинамика и молекулярная физика. М.: Наука, 1990.

А.Н. Матвеев. Молекулярная физика. М.: Высшая школа, 1987.

В.Л. Гинзбург, Л.М. Левин, Д.В. Сивухин, И.А. Яковлев. Сборник задач по общему курсу физики. Термодинамика и молекулярная физика. Под ред. Д.В. Сивухина. М.: Наука, 1988.

П.С. Булкин, И.И. Попова. Общий физический практикум. Молекулярная физика. Под ред. А.Н. Матвеева и Д.Ф. Киселева. М.: Изд-во МГУ, 1988.

## **6.2. Дополнительная литература**

Ф. Рейф. Статистическая физика. Берклевский курс физики. Т. 5. М.: Наука, 1986.

Р. Фейнман, Р. Лейтон, М. Сэндс. Фейнмановские лекции по физике. Вып. 4. Кинетика. Теплота. Звук. М.: Мир, 1977.

Р.В. Поль. Механика, акустика и учения о теплоте. М.: Наука, 1971.

И.В. Савельев. Курс общей физики. Т. 1. М.: Наука, 1986.

## **6.3. Периодические издания**

## **6.4. Интернет-ресурсы**

**6.5. Методические указания к практическим занятиям расположены на сайте**

**6.6. Методические указания к курсовым работам и самостоятельной работе расположены на сайте**

**6.7. Программное обеспечение современных информационно-коммуникационных технологий**

## **7. Материально-техническое обеспечение дисциплины**