

Молекулярная физика и термодинамика

ФТШ, 20156

20 февраля 2014 г.

ПРЕДИСЛОВИЕ

В данной брошюре приведены конспекты лекций, читаемых А. М. Минарским в десятых классах. В составлении и подборе конспектов принимали участие ученики 2015б: Н. Сторожилова, А. Яценко, Е. Смирнова, А. Шалагин и др.

Компьютерный вариант сборника подготовлен И. Цюцюрупой и А. Шалагиным.

Содержание

1	Микро- и макрохарактеристики. Соотношения между ними	4
2	Термодинамическое равновесие	6
3	Кинетическая температура. Скорость. Длина и время свободного пробега	8
4	Давление газа согласно молекулярно-кинетической теории. Идеальный газ	9
5	Экспериментальные газовые законы и их обобщения	11

1 Микро- и макрохарактеристики. Соотношения между ними

Молекулярная физика — раздел физики, изучающий микроскопическое движение молекул и эффекты, с этим связанные.

Макрохарактеристики — параметры тела, не требующие знаний о молекулярном строении вещества для своего описания. Например, M — масса тела, V — его объем.

Микрохарактеристики — параметры тела, существенно использующие молекулярную структуру для своего описания.

Основные постулаты молекулярно-кинетической теории (МКТ):

Постулат 1 В большинстве случаев вещество состоит из огромного числа микроскопических структурных частиц — молекул или атомов (в условиях, не сильно отличающихся от нормальных).

Постулат 2 Все частицы находятся в непрерывном хаотическом движении.

Таблица 1: Соотношения между макро- и микрохарактеристиками

Макро-	Микро-	Соотношения
масса тела M	масса частицы m_1	$M = m_1 N$
объем V	число частиц N	$n = \frac{N}{V}$
плотность ρ	концентрация n	$\rho = \frac{M}{V} = \frac{m_1 N}{V} = m_1 n$
кол-во вещества ν		$\nu = \frac{N}{N_A} = \frac{m}{\mu}$
молярная масса μ		$\mu = m_1 N_A$
температура $T_{\text{макро}}$	температура $T_{\text{микро}}$	$\frac{3}{2} k T_{\text{микро}} = \langle E_1 \rangle$
	ср. кин. энергия частицы $\langle E_1 \rangle$	$\langle E_1 \rangle = \left\langle \frac{m_1 v^2}{2} \right\rangle$
	длина св. пробега λ	
	время св. пробега τ	
	радиус частицы r_0	

Величина $k = 1,38 \times 10^{-23}$ Дж/К называется постоянной Больцмана, $N_A = 6,02 \times 10^{23}$ моль⁻¹ — постоянной Авогадро. Их произведение $R = kN_A = 8,31$ Дж/(моль · К) называется универсальной газовой постоянной.

Нагретость — свойство тела создавать тепло.

Макроскопическая температура $T_{\text{макро}}$ — мера нагретости тела.

Микроскопическая температура $T_{\text{микро}}$ — мера средней кинетической энергии поступательного движения молекул. Можно считать, что макроскопическая температура — однозначная функция микроскопической.

2 Термодинамическое равновесие

В механике состояние системы в момент времени определяется заданием координат и импульсов всех входящих в нее частиц. Понимаемое в таком смысле состояние мы будем называть *микроскопическим состоянием* системы или ее *микросостоянием*. Наряду с ним можно рассматривать *макроскопическое состояние* или *макросостояние*, характеризуемое заданием только макроскопических параметров. Одному и тому же макросостоянию системы может соответствовать множество ее различных микросостояний. В термодинамике рассматриваются только макроскопические состояния, которые в дальнейшем будем называть просто состояниями.

Состояние называется стационарным, если все макроскопические параметры системы не меняются со временем. Стационарное состояние может поддерживаться внешними по отношению к системе процессами. Например, неизменный во времени перепад температур между концами стержня можно создать, нагревая все время один его конец и охлаждая другой.

Если стационарность состояния не обусловлена внешними процессами, то состояние называется равновесным или состоянием термодинамического равновесия. Когда макроскопическая система находится в состоянии термодинамического равновесия, то все макроскопические части, на которые можно мысленно или реально разбить эту систему, также находятся в равновесии как сами по себе, так и друг с другом.

Изолированная система — система, не обменивающаяся энергией и веществом с внешними телами.

Постулат 3 (на основе опытных фактов) *Любая изолированная система рано или поздно приходит в состояние термодинамического равновесия и самопроизвольно из него выйти не может.*

Опыт показывает, что в состоянии равновесия не все макроскопические параметры, которые можно использовать для описания системы, являются независимыми. Независимы только внешние параметры. Например, если некоторое количество газа находится в сосуде определенного объема при некоторой температуре, то его давление имеет вполне определенное значение, которое однозначно выражается через объем и температуру газа. Другими словами, для опре-

деленного количества газа давление является функцией объема и температуры.

3 Кинетическая температура. Скорость. Длина и время свободного пробега

4 Давление газа согласно молекулярно-кинетической теории. Идеальный газ

У разреженного газа расстояние между молекулами во много раз превышает их размеры. В этом случае взаимодействие между молекулами пренебрежимо мало и кинетическая энергия молекул много больше потенциальной энергии взаимодействия. Вместо реального газа, между молекулами которого действуют сложные силы взаимодействия, мы будем рассматривать его физическую модель, которую назовем идеальным газом.

Определение 1 *Идеальный газ — газ такой, что размерами его молекул и потенциальной энергией их взаимодействия можно пренебречь.*

Особенностью идеального газа является то, что его внутренняя энергия пропорциональна абсолютной температуре и не зависит от объема, занимаемого газом. Как и во всех случаях использования физических моделей, применимость модели идеального газа к реальному газу зависит не только от свойств самого газа, но и от характера вопроса, на который требуется найти ответ. Такая модель не позволяет описать особенности поведения различных газов, но выделяет общие свойства для всех газов. Идеальный газ удовлетворяет условиям:

- объемом всех молекул газа можно пренебречь по сравнению с объемом сосуда, в котором находится газ
- время столкновения молекул друг с другом пренебрежимо мало по сравнению со временем между двумя столкновениями (временем свободного пробега)
- молекулы взаимодействуют между собой только при непосредственном соприкосновении, при этом они отталкиваются
- силы притяжения между молекулами идеального газа пренебрежимо малы

Используя эту модель, найдем давление газа на стенку сосуда. Пусть в сосуде произвольной формы находится идеальный газ, состоящий из молекул одного вещества, причем его концентрация известна и

равна $n = \frac{N}{V}$, где N — количество молекул газа в сосуде, V — его объем.

5 Экспериментальные газовые законы и их обобщения