

План лекции

	Наименование раздела	Количество слайдов
	Введение	1
1	Основные положения молекулярной физики	3
2	Эмпирические законы молекулярной физики	4
3	Основное уравнение молекулярно-кинетической теории идеального газа	4
4	Идеальный газ в поле тяготения Земли	3
	Вопросы в экзаменационных билетах	1

Введение

Методы исследований макроскопических процессов

Макроскопические процессы – это процессы, происходящие с веществом (жидким, газообразным), в котором содержится огромное число молекул, атомов. Например, нагрев, изменение давления и др.

Методы исследований макропроцессов:

- *молекулярно-кинетический*; соответствующий раздел физики: молекулярная физика (тема этой и следующей лекций);
- *термодинамический*; соответствующий раздел физики: термодинамика (тема последующих лекций).

Оба метода взаимосвязаны и дополняют друг друга.

Раздел 1.

Основные положения молекулярной физики

1. Основные положения молекулярной физики

1.1 Статистичность (законы больших чисел)

1. Все вещества состоят из отдельных частиц: молекул, атомов, - которые находятся в непрерывном хаотическом движении, независимо друг от друга.
2. Количество частиц – огромно, сопоставимо с числом Авогадро ($\sim 6 \times 10^{23}$ частиц в моле), невозможно учесть каждую частицу в отдельности.
3. Законы поведения огромного числа частиц являются *статистическими* законами, позволяющими рассчитывать *средние* значения параметров этих частиц.

Главное: все *макроскопические процессы*, протекающие в веществе, обусловлены *совокупным действием огромного числа частиц* этого вещества.

Свойства, параметры вещества (температура, давление и др.) определяются *усреднёнными* значениями характеристик частиц (скорость, энергия и т.д.), а не характеристиками отдельных молекул, атомов.

1. Основные положения молекулярной физики

1.2 Модель идеального газа

Гипотеза: поведение частиц (молекул, атомов) в веществе – аналогично поведению молекул в разреженном газе (отдельные движущиеся твёрдые «шарики»):

1. Частицы (молекулы) *упруго сталкиваются* друг с другом и со стенками сосуда.
2. Между частицами (молекулами) *отсутствуют силы взаимодействия*: притяжения или отталкивания.
3. Собственный *объём частиц* (молекул) *пренебрежимо мал* по сравнению с объёмом сосуда.

Основная модель молекулярной физики, основанная на этой гипотезе – это *модель идеального газа*.

1. Основные положения молекулярной физики

1.3 Размеры частиц (молекул, атомов)

Следует различать:

- реальный размер частицы (d) и
- эффективный размер ($d_{\text{эфф}}$) и эффективное сечение частицы (σ)

$$\sigma = \pi d^2$$

$$d_{\text{эфф}} = \sqrt{\frac{4}{\pi} \sigma} = 2 d$$

Примеры реальных размеров молекул:

Водород	$d = 2,8 \times 10^{-10} \text{ м}$
---------	-------------------------------------

Азот	$d = 3,8 \times 10^{-10} \text{ м}$
------	-------------------------------------

Кислород	$d = 3,6 \times 10^{-10} \text{ м}$
----------	-------------------------------------

Раздел 2.

Эмпирические законы молекулярной физики

2. Эмпирические законы молекулярной физики

2.1 Законы Бойля-Мариотта и Гей-Люссака для идеального газа

Экспериментально было установлено, что идеальный газ может быть описан всего *тремя* параметрами: температура (T), давление (p), объём (V).

Определены частные законы, связывающие эти три параметра попарно (при постоянном третьем параметре и постоянной массе газа).

Закон Шарля часто называют также законом Гей-Люссака, но для изохорного процесса, $V = \text{Const}$

2. Эмпирические законы молекулярной физики

2.2 Уравнение Клапейрона

В результате обобщения частных эмпирических законов Бойля-Мариотта и Гей-Люссака была установлена связь всех трёх параметров идеального газа (T , p , V). Это – уравнение Клапейрона.

2. Эмпирические законы молекулярной физики

2.2 Уравнение Клапейрона-Менделеева

Окончательная форма *уравнения состояния идеального газа* была установлена Д.И. Менделеевым. Уравнение Клапейрона-Менделеева связывает все три параметра (T , p , V) и массу газа (m) через универсальную газовую постоянную R .

Универсальная газовая постоянная (R) связана с постоянной Больцмана (k) и числом Авогадро (N_A):

$$R = k \times N_A$$

M – молярная масса

ν – количество вещества

2. Эмпирические законы молекулярной физики

2.2 Расчёт количества вещества

Определение:

Полезные расчётные формулы:

$$V_m = 22,4 \text{ л/моль} - \text{молярный объём}$$

Остальные величины определены
ранее

Раздел 3.

Основное уравнение молекулярно-кинетической теории идеального газа

3. Основное уравнение молекулярно-кинетической теории (МКТ) идеального газа

3.1 Собственно основное уравнение

Другие формы записи основного уравнения МКТ:

p – давление газа

m_0 – масса молекулы газа

v – скорость движения молекул

n – концентрация молекул, $n = N/V$

N – число молекул

V – объём

E_{k0} - кинетическая энергия движения молекулы, $E_{k0} = (1/2) \times m_0 v^2$

ρ – плотность газа, $\rho = m/V$

m – масса газа, $m = N \times m_0$

Замечание: знак «черта сверху» означает среднее значение

3. Основное уравнение молекулярно-кинетической теории (МКТ) идеального газа

3.2 Связь основного уравнения МКТ с уравнением Клапейрона-Менделеева

Учтём, что:

$$n = N/V,$$

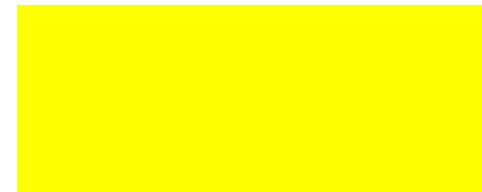
$$m = N \times m_0,$$

E – суммарная
кинетическая
энергия всех
молекул газа:



или

или



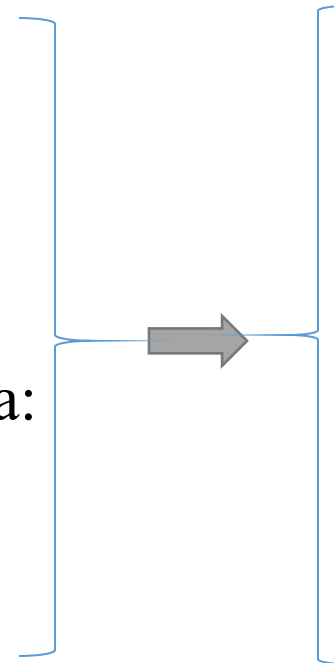
3. Основное уравнение молекулярно-кинетической теории (МКТ) идеального газа

3.2 Связь основного уравнения МКТ с уравнением Клапейрона-Менделеева (окончание)

Основное уравнение МКТ:



Уравнение Клапейрона-Менделеева:



или

=

т.к. $R = k \times N_A$
 $M = m_0 \times N_A$

В итоге: установлена связь между микропараметрами (скорость, кинетическая энергия молекул) и макропараметрами (температура, давление, объём)

3. Основное уравнение молекулярно-кинетической теории (МКТ) идеального газа

3.3 Вывод основного уравнения МКТ (факультативно)

Необходимо рассчитать давление молекул газа стенку на стенку

F1 – сила, с которой одна частица со скоростью v «давит» на стенку за счёт передачи ей импульса Δp за время Δt

Z – количество частиц, способных достичь стенки за время Δt и оказать на неё давление



Это – основное уравнение МКТ

Раздел 4.

Идеальный газ в поле тяготения Земли

4. Идеальный газ в поле тяготения Земли

4.1 Физическая модель

Молекулы газа:

- совершают хаотическое тепловое движение
- и испытывают притяжение к Земле



Разность давлений газа на высоте h и на высоте $h + \Delta h$ равна весу газа, заключённому между этими высотами, и составляет (для единичной площади S):

4. Идеальный газ в поле тяготения Земли

4.2 Барометрическая формула

Исходное уравнение (*предыд. слайд*)

$$p - (p + dp) = \rho \times g \times dh \quad (1)$$

Из уравнения Клапейрона-Менделеева:

$$(2)$$

Подставим уравнение (2) в (1):

$$(3)$$

Проинтегрируем уравнение (3):

$$(4)$$

Получим:



← **Барометрическая формула**

4. Идеальный газ в поле тяготения Земли

4.3 Распределение Больцмана

Исходное уравнение (распределение Больцмана): (1)

Из основного уравнения МКТ

(связь давления и концентрации молекул): $p \sim n$ (2)

Из уравнения (1) с учётом (2) получим:



Распределение Больцмана

Вопросы в экзаменационных билетах

1. Основные положения молекулярной физики
2. Эмпирические законы молекулярной физики
3. Основное уравнение молекулярно-кинетической теории идеального газа
4. Идеальный газ в поле тяготения Земли

Важно:

Вопросы совпадают с названиями разделов лекции

