Молекулярная физика

Глава I

Количество вещества. Постоянная Авогадро. Масса и размеры молекул. Основное уравнение МКТ идеального газа

Контрольные вопросы

1. *Сформулируйте основные положения МКТ.*

а) все вещества состоят из мельчайших частиц
б) все частицы непрерывно движутся
в) частицы взаимодействуют между собой

2. *Дайте определение количества вещества.*

Количество вещества – физическая величина, определяемая числом частиц, из которых состоит вещество

3. *Дайте определение моля вещества*

Моль – количество вещества, в котором содержится столько же атомов или молекул, сколько атомов содержится в 12 г углерода.

4. *Дайте определение молярной массы*

Молярная масса – масса вещества, взятого в количестве один моль.

5. *Что показывает число Авогадро?*

Число атомов или молекул в 1 моле вещества.

6. *Чему равно число Авогадро?*

$6{,}02 \cdot 10^{23}$ 1/моль = $6{,}02 \cdot 10^{23}$ моль$^{-1}$

7. *Напишите формулу для определения:*

а) молярной массы вещества $\mu = m_o N_A$

б) массы вещества $m = m_o N = \frac{\mu}{N_A} N$

в) количества вещества $\nu = \frac{m}{\mu}$; $\nu = \frac{N}{N_A}$

8. *Какое движение называют броуновским?*

Непрерывное хаотическое движение взвешенных в жидкости или газе частиц

9. *Какова причина броуновского движения?*

Нескомпенсированность по величине и направлению воздействия на взвешенную частицу со стороны молекул жидкости или газа

10. *Каковы особенности броуновского движения?*

а) неуничтожимость

б) зависимость интенсивности от температуры

11. *Какой газ называют идеальным?*

Газ, взаимодействие молекул которого между собой пренебрежимо мало

12. ***В каком случае реальные газы можно считать идеальными?***

При не слишком больших давлениях и при не слишком низких температурах

13. ***Какова причина давления газа на стенки сосуда?***

Упругое взаимодействие молекул газа со стенками сосуда при столкновениях

14. ***Записать (в двух видах) основное уравнение МКТ идеального газа.***

$$p = \frac{1}{3} m_0 n \overline{\upsilon^2}; \quad p = \frac{2}{3} n \overline{E}_k$$

15. ***Микропараметры термодинамической системы – это …***

Параметры системы, учитывающие её молекулярное строение

16. ***Макропараметры термодинамической системы – это …***

Параметры системы, не учитывающие её молекулярного строения

17. ***Какое состояние термодинамической системы называют тепловым равновесием?***

Состояние, при котором все макропараметры системы сколь угодно долго остаются неизменными

18. ***Что характеризует температура?***

Состояние теплового равновесия термодинамической системы

19. ***Какое тело называют термометрическим?***

Тело, один из макропараметров которого зависит от температуры

20. ***Какие эмпирические (опытные) шкалы Вы знаете?***

Шкала Цельсия; шкала Фаренгейта; шкала Реомюра

21. *Как устроена шкала Цельсия?*

За ноль взята температура таяния льда (кристаллизации воды); за 100 градусов взята температура кипения воды

22. *Каков основной недостаток всех эмпирических (опытных) шкал?*

Зависимость показаний от свойств конкретного термометрического тела

23. *Почему в физике для установления рациональной температурной шкалы в качестве термометрического тела используют разрежённый газ?*

Все разрежённые газы одинаково расширяются при нагревании и одинаково изменяют своё давление при изменении температуры

24. *Какой макропараметр одинаков для всех газов в состоянии теплового равновесия?*

Температура Давление Объём Количество молекул

25. ***Какая комбинация макро- и микропараметров любого разрежённого газа есть функция только температуры?***

$$\frac{p+V}{N} \qquad \frac{p+N}{V} \qquad \frac{pV}{N} \qquad \frac{V+N}{p}$$

26. ***Какова формула, на основании которой вводится абсолютная температурная шкала?***

$$\frac{pk}{t^{o}} = VN \qquad \frac{pt^{o}}{kN} = V \qquad \frac{pN}{k} = VT \qquad \frac{pV}{N} = kT$$

27. *Как называется и чему равна постоянная k в предыдущей формуле?*

постоянная Больцмана; $k = 1{,}38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К

28. *Какие выводы о абсолютной температуре можно сделать на основании предыдущей формулы?*

всегда положительна

существует наименьшее возможное значение (абсолютный ноль)

29. ***Каково соотношение между абсолютной температурой и температурой по шкале Цельсия?***

$$T = t_o + 273$$

30. ***Какая формула связывает давление идеального газа, его концентрацию и абсолютную температуру?***

$$p = nkT$$

31. ***Какая формула связывает среднюю кинетическую энергию поступательного движения молекулы газа и абсолютную температуру?***

$$\overline{E}_k = \frac{3}{2}kT$$

32. *Какой вывод о температуре можно сделать на основании предыдущей формулы?*

Температура – мера средней кинетической энергии поступательного движения молекул газа

33. *Какая формула позволяет вычислить среднюю квадратичную скорость поступательного движения молекул одноатомного идеального газа?*

$$\upsilon_{кв.} = \sqrt{\frac{3kT}{m_o}} = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}}$$

Методы решения задач

1. ***Какое количество вещества содержится в медной отливке массой 6,4 кг?***

Дано: μ = 0,064 кг/моль; m = 6,4 кг

ν – ?

Решение. Для определения количества вещества воспользуемся формулой ν = m/μ, где m – масса меди, μ – молярная масса меди.

Вычислим результат:

$$\nu = \frac{6{,}4\text{кг}}{0{,}064\text{кг}/\text{моль}} = 100\text{моль}.$$

Ответ: ν = 100 моль.

2. Какова масса 200 моль воды?

Дано: μ = 0,018 кг/моль; ϒ = 200 моль

m – ?

Решение. Для определения массы вещества воспользуемся формулой m = ϒμ, где ϒ – количество вещества, μ – молярная масса вещества.

Вычислим результат: $m = 200моль \cdot 0{,}018 \frac{кг}{моль} = 3{,}6кг.$

Ответ: m = 3,6 кг.

3. *Какой объём занимают 150 молей воды?*

Дано: μ = 0,018 кг/моль; ν = 150 моль; ρ = 1000 кг/м^3

V – ?

Решение. $V = \frac{m}{\rho} = \frac{\nu\mu}{\rho}$ – объём воды.

Вычислим результат:

$$V = \frac{150\text{моль} \cdot 0{,}018\text{кг / моль}}{1000\text{кг / м}^3} = 0{,}002700\text{м}^3 = 2700\text{см}^3.$$

Ответ: V = 2700 см^3.

4. *Определить массу атома и молекулы азота.*

Дано: μ_1 = 0,014 кг/моль; μ_2 = 0,028 кг/моль; $N_A = 6{,}02\cdot10^{23}$ моль$^{-1}$

m_{o1} – ? m_{o2} – ?

Решение. $m_o = \frac{\mu}{N_A}$ – масса атома (молекулы) вещества с молярной массой μ.

$m_{o1} = \frac{\mu_1}{N_A}$ – масса атома азота (μ_1 = 0,014 кг/моль – молярная масса атомарного азота)

$m_{o2} = \frac{\mu_2}{N_A}$ – масса молекулы азота (μ_2 = 0,028 кг/моль – молярная масса молекулярного азота).

Вычислим результат:

$$m_{o1} = \frac{0{,}014\text{кг/моль}}{6{,}02\cdot10^{23}\text{моль}^{-1}} = 2{,}33\cdot10^{-26}\text{кг};\ m_{o2} = \frac{0{,}028\text{кг/моль}}{6{,}02\cdot10^{23}\text{моль}^{-1}} = 4{,}66\cdot10^{-26}\text{кг}.$$

Ответ: $m_{o1} = 2{,}33\cdot10^{-26}$ кг; $m_{o2} = 4{,}66\cdot10^{-26}$ кг.

5. *Сколько молекул содержится в углекислом газе (CO_2) массой 0,1 г?*

Дано: μ = 0,044 кг/моль; m = 0,1 г = 10^{-4} кг; N_A = $6{,}02\cdot10^{23}$ моль$^{-1}$

N – ?

Решение. $N = \frac{m}{\mu} N_A$ – число молекул в веществе массой m.

Вычислим результат: $N = \frac{10^{-4}\,кг}{0{,}044\,кг/моль}\cdot 6{,}02\cdot10^{23}\,моль^{-1} = 1{,}37\cdot10^{21}.$

Ответ: $N = 1{,}37\cdot10^{21}.$

6. *Зная постоянную Авогадро N_A, плотность ρ данного вещества и его молярную массу μ, вывести формулы для расчёта: 1) числа молекул в единице массы данного вещества; 2) в единице объёма; 3) в теле массой m; 4) в теле объёмом V.*

Дано: N_A; ρ; μ

N/m – ? N/V – ? N(m) – ? N(V) – ?

Решение.

1) $\frac{N}{m} = \frac{\frac{m}{\mu} N_A}{m} = \frac{N_A}{\mu}$ – число молекул в единице массы вещества.

2) $\frac{N}{V} = \frac{\frac{m}{\mu} N_A}{\frac{m}{\rho}} = \frac{\rho}{\mu} N_A$ – число молекул в единице объёма вещества.

3) $N = \frac{m}{\mu} N_A$ – число молекул в теле массой m.

4) $N = \frac{m}{\mu} N_A = \frac{\rho V}{\mu} N_A$ – число молекул в теле объёмом V.

Ответ: $1) \frac{N_A}{\mu}; 2) \frac{\rho}{\mu} N_A; 3) \frac{m}{\mu} N_A; 4) \frac{\rho V}{\mu} N_A$

7. Капля воды массой 3 г испарилась за 10 минут. Сколько молекул в среднем вылетало из капли за 1 секунду?

Дано: μ = 0,018 кг/моль; m = 3 г = 3·10-3 кг; t = 10 мин = 600 с
N/t – ?

Решение. $N = \frac{m}{\mu} N_A$ – число молекул воды в капле массой m.

$\frac{N}{t} = \frac{m}{\mu t} N_A$ – число молекул воды, вылетающих из капли в среднем за 1 секунду.

Вычислим результат:

$$\frac{N}{t} = \frac{3 \cdot 10^{-3} кг}{0{,}018 кг / моль \cdot 600 с} \cdot 6{,}02 \cdot 10^{23} моль^{-1} = 1{,}67 \cdot 10^{20} с^{-1}.$$

Ответ: N/t = $1{,}67 \cdot 10^{20}$ $с^{-1}$.

8. *Чему равно число атомов в элементарной ячейке простой кубической решётки?*

Решение.

Каждый атом простой кубической решётки расположен в вершине куба, принадлежащей одновременно восьми соседним кубикам. Таким образом, данной элементарной ячейке принадлежит только 1/8 атома, находящегося в вершине куба. У куба 8 вершин.

Тогда $N = 8 \cdot \frac{1}{8} = 1 -$ число атомов в элементарной ячейке простой кубической решётки.

Ответ: N = 1

9. *Кубическая кристаллическая решётка железа содержит один атом железа на элементарный куб, повторяя который, можно получить всю решётку кристалла. Определить расстояние d между ближайшими атомами железа, если плотность железа ρ = 7800 кг/м³, его молярная масса μ = 0,056 кг/моль.*

Дано: μ = 0,056 кг/моль; ρ = 7800 кг/м³

d – ?

Решение. $V_\mu = \frac{\mu}{\rho}$ – молярный объём железа (μ – молярная масса железа, ρ – плотность железа). Пусть d – среднее расстояние между центрами атомов железа; $V_o = d^3$ – объём одной элементарной ячейки.

На одну элементарную ячейку кристалла приходится один атом железа (по условию). Поэтому число элементарных ячеек в кристалле железа равно числу его атомов; молярный объём V_μ железа равен N_A объёмов V_o элементарной ячейки.

Отсюда $V_\mu = N_A V_o = N_A d^3 = \frac{\mu}{\rho} \Rightarrow d^3 = \frac{\mu}{\rho N_A}$; $d = \sqrt[3]{\frac{\mu}{\rho N_A}}$ – среднее расстояние между центрами атомов железа.

Вычислим результат: $d = \sqrt[3]{\frac{0{,}056\text{кг/моль}}{7800\text{кг/м}^3 \cdot 6{,}02 \cdot 10^{23}\text{моль}^{-1}}} \approx 2{,}3 \cdot 10^{-10}\text{м}.$

Ответ: $d = 2{,}3 \cdot 10^{-10}$ м.

10. ***Кристалл поваренной соли имеет простую кубическую решётку и состоит из чередующихся ионов Na и Cl. Найти среднее расстояние d между их центрами, если плотность соли ρ = 2200 кг/м³.***

Дано: μ = 0,0585 кг/моль; ρ = 2200 кг/м³

d – ?

Решение. Пусть d – среднее расстояние между центрами атомов натрия и хлора в элементарной ячейке. Тогда $V_o = d^3$ – объём одной элементарной ячейки.

В четырёх вершинах элементарной ячейки поваренной соли расположены атомы натрия, в остальных четырёх вершинах – атомы хлора.

$$N = 4 \cdot \frac{1}{8} + 4 \cdot \frac{1}{8} = 1 -$$ число атомов в одной элементарной ячейке.

$$V_\mu = \frac{\mu}{\rho} -$$ молярный объём соли (μ – молярная масса поваренной соли, ρ – плотность соли).

В одном моле поваренной соли (NaCl) содержится N_A атомов натрия и N_A атомов хлора. Общее количество атомов натрия и хлора в одном моле поваренной соли (и количество элементарных ячеек) составляет $2N_A$.

Отсюда

$$V_\mu = \frac{\mu}{\rho} = 2N_A d^3 \Rightarrow d^3 = \frac{\mu}{2\rho N_A};\ d = \sqrt[3]{\frac{\mu}{2\rho N_A}}$$ – среднее расстояние между центрами атомов натрия и хлора.

Вычислим результат:

$$d = \sqrt[3]{\frac{0{,}0585\text{кг/моль}}{2\cdot 2200\text{кг/м}^3\cdot 6{,}02\cdot 10^{23}\text{моль}^{-1}}} = 2{,}8\cdot 10^{-10}\text{м}.$$

Ответ: $d = 2{,}8\cdot 10^{-10}$ м.

11. Чему равно число атомов в элементарной ячейке гранецентрированной кубической решётки?

Решение. В одном кубике (элементарной ячейке) атомы расположены в восьми вершинах и в центрах шести граней. Каждый атом, находящийся в вершине решётки, принадлежит одновременно восьми соседним кубикам. Каждый атом, находящийся в центре грани, принадлежит одновременно двум соседним кубикам. Таким образом, данной элементарной ячейке принадлежит только 1/8 атома, находящегося в вершине кубика, и ½ атома, находящегося в центре грани. У куба 8 вершин и 6 граней.

Тогда $N = 8 \cdot \frac{1}{8} + 6 \cdot \frac{1}{2} = 4 -$ число атомов в элементарной ячейке гранецентрированной кубической решётки.

Ответ: N = 4.

12. *Сравнить давления гелия и неона при одинаковых концентрациях атомов и равных средних квадратичных скоростях их движения*

Решение.

Воспользуемся основным уравнением МКТ идеального газа:

$$p = \frac{1}{3} n m_o \overline{\upsilon^2},$$

где p – давление газа, n – концентрация молекул (атомов), m_o – масса одной молекулы (атома),

$\overline{\upsilon^2}$ – среднее значение квадрата скорости поступательного движения молекул (атомов) газа.

Запишем основное уравнение МКТ идеального газа для обоих газов:

$$\begin{cases} p_1 = \frac{1}{3} n_1 m_{o1} \overline{\upsilon_1^2} \\ p_2 = \frac{1}{3} n_2 m_{o2} \overline{\upsilon_2^2} \end{cases}$$

Выразим массу атома каждого газа:

$$m_{01} = \frac{\mu_1}{N_A};\ m_{02} = \frac{\mu_2}{N_A}$$, где μ_1 и μ_2 – молярная масса гелия и неона соответственно, N_A – число Авогадро.

Тогда
$$\begin{cases} p_1 = \frac{1}{3} n_1 \frac{\mu_1}{N_A} \overline{\upsilon_1^2} \\ p_2 = \frac{1}{3} n_2 \frac{\mu_2}{N_A} \overline{\upsilon_2^2} \end{cases} \Rightarrow \frac{p_1}{p_2} = \frac{\frac{1}{3} n_1 \frac{\mu_1}{N_A} \overline{\upsilon_1^2}}{\frac{1}{3} n_2 \frac{\mu_2}{N_A} \overline{\upsilon_2^2}} = \frac{n_1}{n_2} \cdot \frac{\mu_1}{\mu_2} \cdot \frac{\overline{\upsilon_1^2}}{\overline{\upsilon_2^2}}$$

При условии $n_1 = n_2$ и $\overline{\upsilon_1^2} = \overline{\upsilon_2^2}$ отношение p_1/p_2 принимает значение:

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{\mu_1}{\mu_2} = \frac{0{,}004 кг/моль}{0{,}020 кг/моль} = \frac{1}{5}$$

Ответ: давление неона в 5 раз больше

13. *Каково давление неона, если средняя квадратичная скорость его атомов 800 м/с, а его плотность 2,88 кг/м³?*

Дано: μ = 0,020 кг/моль; $v_{кв}$ = 800 м/с; ρ = 2,88 кг/м³

p – ?

Решение. Запишем основное уравнение МКТ идеального газа:

$$p = \frac{1}{3} n m_o \overline{\upsilon^2} = \frac{1}{3} n m_o \upsilon_{кв}^2 .$$

Средняя квадратичная скорость атомов (молекул) и средний квадрат их скорости связаны соотношением:

$$\upsilon_{кв}^2 = \overline{\upsilon^2}; \ \upsilon_{кв} = \sqrt{\overline{\upsilon^2}}$$

Плотность газа (как и любого вещества) определяется отношением:

$\rho = \frac{m}{V}$, где m – масса вещества, V – занимаемый веществом объём.

Масса m вещества "складывается" из масс отдельных атомов (молекул): $m = m_o N$, где m_o – масса атома (молекулы), N – число атомов (молекул).

Тогда $\rho = \frac{m}{V} = \frac{m_o N}{V} = m_o \frac{N}{V} = m_o n$, где n = N/V – концентрация атомов (молекул) вещества.

Основное уравнение МКТ идеального газа принимает вид:

$$p = \frac{1}{3}(nm_o)\overline{\upsilon^2} = \frac{1}{3}\rho\upsilon_{кв}^2.$$

Вычислим результат:

$$p = \frac{1}{3} \cdot 2{,}88 \frac{кг}{м^3}\left(800 \frac{м}{с}\right)^2 = 614400\ Па = 614{,}4\ кПа$$

Ответ: p = 614,4 кПа

14. ***Определить среднюю квадратичную скорость $\upsilon_{кв.}$ молекул газа, масса которого m, давление p, а занимаемый объём V.***

Дано: m; p; V

$\upsilon_{кв.}$ – ?

Решение.

$$p = \frac{1}{3}\rho\upsilon_{кв.}^2 = \frac{1}{3}\cdot\frac{m}{V}\upsilon_{кв.}^2$$ – давление газа (см. реш. зад. 13).

Отсюда $\upsilon_{кв.}^2 = \frac{3pV}{m}; \upsilon_{кв.} = \sqrt{\frac{3pV}{m}}$ – средняя квадратичная скорость молекул газа.

Ответ: $\upsilon_{кв.} = \sqrt{\frac{3pV}{m}}$.

15. ***Найти концентрацию n молекул газа с молярной массой μ, если при давлении p средняя квадратичная скорость его молекул $\upsilon_{кв.}$.***

Дано: $\underline{p;\ \mu;\ \upsilon_{кв.}}$

n – ?

Решение.

$p = \frac{1}{3} \cdot m_o n \upsilon_{кв.}^2 = \frac{1}{3} \cdot \frac{\mu}{N_A} n \upsilon_{кв.}^2$ – давление газа ($m_o = \mu/N_A$ – масса молекулы газа).

Отсюда $n = \frac{3pN_A}{\mu \upsilon_{кв.}^2}$ –концентрация молекул водорода.

Ответ: $n = \frac{3pN_A}{\mu \upsilon_{кв.}^2}$.

16. ***Известны давление p одноатомного газа и концентрация n его атомов. Чему равна средняя кинетическая энергия поступательного движения атомов газа?***

Дано: p; n

$\overline{E}_k$ – ?

Решение. Воспользуемся основным уравнением МКТ идеального газа в виде: $p = \frac{2}{3} n\overline{E}_k$

Отсюда $\overline{E}_k = \frac{3p}{2n}$ – средняя кинетическая энергия поступательного движения атомов газа.

Ответ: $\overline{E}_k = \frac{3p}{2n}$.

17. ***Как изменится давление одноатомного газа при уменьшении его объёма в 2 раза и увеличении средней кинетической энергии молекул в 3 раза?***

Дано: $V_2 = V_1/2;\ \overline{E}_{k2} = 3\overline{E}_{k1}$

p_2/p_1 – ?

Решение. Число N атомов газа остаётся неизменным.

$$\begin{cases} p_2 = \frac{2}{3} n_2 \overline{E}_{k2} \\ p_1 = \frac{2}{3} n_1 \overline{E}_{k1} \end{cases} \Rightarrow \frac{p_2}{p_1} = \frac{\frac{2}{3} n_2 \overline{E}_{k2}}{\frac{2}{3} n_1 \overline{E}_{k1}} = \frac{n_2}{n_1} \cdot \frac{\overline{E}_{k2}}{\overline{E}_{k1}} = \frac{N/V_2}{N/V_1} \cdot \frac{\overline{E}_{k2}}{\overline{E}_{k1}} = \frac{V_1}{V_2} \cdot \frac{\overline{E}_{k2}}{\overline{E}_{k1}} = \frac{V_1}{V_1/2} \cdot \frac{3\overline{E}_{k1}}{\overline{E}_{k1}} = 6.$$

Ответ: давление газа увеличится в 6 раз.

18. ***При какой температуре средняя кинетическая энергия поступательного движения молекул газа равна 1,035·10^{-20} Дж?***

Дано: $\overline{E}_k = 1{,}035 \cdot 10^{-20}$ Дж

T – ? t°C – ?

Решение.

$$\overline{E}_k = \frac{3}{2}kT \Rightarrow T = \frac{2\overline{E}_k}{3k} = \frac{2 \cdot 1{,}035 \cdot 10^{-20}\,\text{Дж}}{3 \cdot 1{,}38 \cdot 10^{-23}\,\text{Дж/К}} = 500\,\text{К}$$ – температура газа.

Ответ: T = 500 К; t°C = 227°C.

19. ***Определить относительное изменение средней кинетической энергии поступательного движения молекул газа при изменении его температуры от 10 до 40°С.***

Дано: $t_1^o = 10^oC$; $T_1 = 283$ К; $t_2^o = 40^oC$; $T_2 = 313$ К

$\Delta\overline{E}_{k2} / \overline{E}_{k1} - ?$

Решение. $\begin{cases} \overline{E}_{k1} = \frac{3}{2}kT_1 \\ \overline{E}_{k2} = \frac{3}{2}kT_2 \end{cases} \Rightarrow \frac{\overline{E}_{k1}}{\overline{E}_{k2}} = \frac{\frac{3}{2}kT_1}{\frac{3}{2}kT_2} = \frac{T_1}{T_2} \Rightarrow \overline{E}_{k2} = \frac{T_2}{T_1}\overline{E}_{k1}.$

$\Delta\overline{E}_k = \overline{E}_{k2} - \overline{E}_{k1} = \frac{T_2}{T_1}\overline{E}_{k1} - \overline{E}_{k1} = \frac{T_2 - T_1}{T_1}\overline{E}_{k1} -$ абсолютное изменение средней кинетической энергии поступательного движения молекул газа.

$\frac{\Delta\overline{E}_k}{\overline{E}_{k1}} = \frac{T_2 - T_1}{T_1} = \frac{T_2}{T_1} - 1 = \frac{313К}{283К} - 1 = 0{,}106 = 10{,}6\% -$

относительное увеличение средней кинетической энергии поступательного движения молекул газа.

20. *Чему равна средняя квадратичная скорость молекул кислорода при температуре 189°С?*

Дано: μ = 0,032 кг/моль; Т = 462 К

$\upsilon_{кв.}$ – ?

Решение. $\upsilon_{кв} = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}} = \sqrt{\frac{3 \cdot 8{,}31 Дж/К \cdot 462К}{0{,}032 кг/моль}} = 600 \frac{м}{с}$ – средняя квадратичная скорость молекул кислорода (R = 8,31 Дж/(моль·К) – универсальная газовая постоянная, μ – молярная масса кислорода).

Ответ: $\upsilon_{кв.}$ = 600 м/с.

21. ***Температура гелия и аргона одинакова. Во сколько раз средняя квадратичная скорость атомов гелия больше средней квадратичной скорости атомов аргона?***

Дано: μ_1 = 0,004 кг/моль; μ_2 = 0,040 кг/моль

$\upsilon_{кв.1} / \upsilon_{кв.2}$ – ?

Решение.

$$\begin{cases} \upsilon_{кв.1} = \sqrt{\dfrac{3RT}{\mu_1}} \\ \upsilon_{кв.2} = \sqrt{\dfrac{3RT}{\mu_2}} \end{cases} \Rightarrow \frac{\upsilon_{кв.1}}{\upsilon_{кв.2}} = \sqrt{\frac{\mu_2}{\mu_1}} = \sqrt{\frac{0{,}040 кг/моль}{0{,}004 кг/моль}} = \sqrt{10} \approx 3{,}2.$$

Ответ: средняя квадратичная скорость атомов гелия больше в 3,2 ра

22. *Определить число молекул, содержащихся в единице массы газа, если средняя квадратичная скорость молекул $\upsilon_{кв.}$, а температура газа T.*

Дано: $\upsilon_{кв.}$; T

N/m – ?

Решение. $\upsilon_{кв} = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}} \Rightarrow \mu = \frac{3RT}{\upsilon_{кв.}^2}$ – молярная масса газа.

$N = \frac{m}{\mu} N_A = \frac{m\upsilon_{кв.}^2}{3RT} \cdot N_A$ – число молекул газа.

Отсюда

$\frac{N}{m} = \frac{\upsilon_{кв.}^2 N_A}{3RT} = \frac{\upsilon_{кв.}^2}{3kT}$ – число молекул газа, содержащихся

в единице его массы.

Ответ: $\frac{N}{m} = \frac{\upsilon_{кв.}^2 N_A}{3RT} = \frac{\upsilon_{кв.}^2}{3kT}$.

23. *Получить выражение для расчёта средней квадратичной скорости атомов серебра в опыте Штерна. Радиусы внутреннего и внешнего цилиндров в установке Штерна равны R_1 и R_2 соответственно, смещение полоски серебра при вращении цилиндров равно S, частота вращения n.*

Дано: R_1; R_2

$\upsilon_{кв.}$ – ?

Решение. Пусть R_1 – радиус внутреннего цилиндра, R_2 – радиус внешнего цилиндра. $R_2 - R_1$ – расстояние, пройденное атомом серебра при движении от внутреннего к внешнему цилиндру.

$S = R_2\varphi = R_2\omega t = R_2 2\pi n t$ – смещение полоски серебра, вызванное вращением установки ($\varphi = \omega t = 2\pi n t$ – угол поворота внешнего цилиндра за время t).

Тогда

$$t = \frac{R_2 - R_1}{\upsilon_{кв.}} = \frac{S}{2\pi n R_2}$$ – время движения атома серебра между цилиндрами.

Отсюда

$$\upsilon_{кв.} = \frac{2\pi n R_2 (R_2 - R_1)}{S}$$ – средняя квадратичная скорость атомов серебра.