

Основы молекулярно-кинетической теории (МКТ)

Основные положения

1. Все вещества состоят из частиц (молекул, атомов), разделенных промежутками.

Доказательства:

- фотографии атомов и молекул, сделанные с помощью электронного микроскопа;
- возможность механического дробления вещества, растворение вещества в воде, диффузия, сжатие и расширение газов.

2. Частицы всех веществ беспорядочно и хаотично движутся.

Доказательства:

- диффузия – явление взаимного проникновения частиц одного вещества между частицами другого вещества вследствие их теплового движения.
- броуновское движение мелких, инородных, взвешенных в жидкости частиц под действием не скомпенсированных ударов молекул.

3. Частицы всех веществ взаимодействуют между собой: одновременно действуют силы взаимного притяжения и отталкивания (природа сил носит электромагнитный характер).

Доказательства:

- сохранение формы твердыми телам, для их разрыва необходимо усилие;
- жидкие и твердые тела трудно сжимаемы;
- капли жидкости, помещенные в непосредственной близости друг от друга, сливаются;
- явления смачивания и несмачивания.

График зависимости силы взаимодействия двух молекул от расстояния между ними.

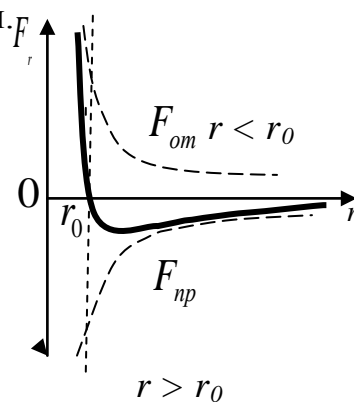
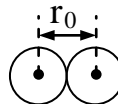
F_r - сила взаимодействия молекул, r – расстояние между их центрами.

F_{om} - сила отталкивания, положительная.

F_{np} - сила притяжения, отрицательная.

На расстоянии $r = r_0$ результирующая сила $F_r = 0$,

т.е. силы притяжения и отталкивания уравновешивают друг друга. Поэтому расстояние r_0 соответствует равновесному расстоянию между молекулами.



Основные понятия.

Атом – мельчайшая частица химического элемента, являющаяся носителем его химических свойств.

Молекула – наименьшая частица химического соединения, обладающая его основными химическими свойствами и состоящая из двух или нескольких атомов.

Ион – атом или молекула, которые потеряли или присоединили один или несколько электронов.

m_0 – масса молекулы, $m_0 \sim 10^{-26} - 10^{-27}$ кг.

d_0 – диаметр молекулы, $d_0 \sim 10^{-10}$ м.

v_0 – скорость молекулы, $v_0 \sim 200 - 2000$ м/с.

Связи физических величин

Величина	Единица	Формула
Моль – количество вещества, содержащее одно и то же число частиц, названное постоянной Авогадро		$N_A = 6,022 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$
Молярная масса – масса вещества, взятого в количестве 1 моль Mr – относительная атомная масса	$\frac{\text{кг}}{\text{моль}}$	$M = M_r \cdot 10^{-3}, \quad M = m_0 N_A$
Количество вещества	моль	$\nu = \frac{N}{N_A}, \quad \nu = \frac{m}{M}$
N-число молекул (атомов)		$N = \nu \cdot N_A, \quad N = \frac{m}{M} N_A$
m-масса вещества	кг	$m = M \nu, \quad m = m_0 N_A \nu$
Масса молекулы (атома)	кг	$m_0 = \frac{m}{N}, \quad m_0 = \frac{m}{\nu N_A}, \quad m_0 = \frac{M}{N_A}$
Концентрация частиц – число частиц в единичном объеме	м^{-3}	$n = \frac{N}{V}$
Плотность вещества – масса приходящаяся на единицу объема, V ₀ – объем молекулы (атома)	$\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	$\rho = \frac{m}{V}, \quad \rho = \frac{m_0 N}{V}, \quad \rho = m_0 n$
Температура по шкале Кельвина	К	$T = t^0 + 273$
Средняя кинетическая энергия поступательного движения частицы	Дж	$\overline{E_k} = \frac{m_0 \overline{v^2}}{2}, \quad \overline{E_k} = \frac{3}{2} kT$
Среднее значение квадрата скорости движения частиц	$\frac{\text{м}^2}{\text{с}^2}$	$\overline{v^2} = \frac{v_1^2 + v_2^2 + \dots + v_N^2}{N}$
Средняя квадратичная скорость	$\frac{\text{м}}{\text{с}}$	$\overline{v} = \sqrt{\overline{v^2}}, \quad \overline{v} = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}}, \quad \overline{v} = \sqrt{\frac{3RT}{M}}$
Давление идеального газа (основное уравнение МКТ идеального газа)	Па	$p = \frac{1}{3} m_0 n \overline{v^2}, \quad p = \frac{1}{3} \rho \overline{v^2}, \quad p = \frac{2}{3} n \overline{E_k},$ $p = nkT$

Замечание:

-молярная масса воздуха $M = 29 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$;

-для двухатомных газов (O_2, H_2, N_2, Cl_2) молярная масса $M = M_r \cdot 2 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$.

Постоянная Больцмана $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{Дж}}{\text{К}}$;

Универсальная газовая постоянная $R = N_A k, \quad R = 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{мольК}}$.

Агрегатные состояния вещества.

	Газы	Жидкости	Твердые тела
Свойства.	Занимают весь предоставленный объем. Не сохраняют форму. Легко сжимаются.	Сохраняют объем. Обладают свойством текучести. Принимают форму сосуда.	Сохраняют форму и объем.
Расположение молекул.	Нет порядка в расположении молекул. Расстояние между молекулами гораздо больше размеров молекул.	Упорядоченное расположение ближайших соседних молекул (ближний порядок). Расстояние между молекулами сравнимо с их размерами.	В кристаллических твердых телах молекулы располагаются в определенном порядке (дальний порядок). Расстояние между молекулами порядка размеров молекул.
Силы взаимодействия.	$F_{\text{прит}} = 0$ и $F_{\text{отталт}} = 0$	$F_{\text{пр}} < F_{\text{от}}$ внутри жидкости $F_{\text{пр}} > F_{\text{от}}$ поверх. слой	$F_{\text{пр}} \approx F_{\text{от}}$
Движение молекул.	Молекулы свободно движутся во всех направлениях, столкновения относительно редки.	Молекулы колеблются вблизи положений равновесия, время от времени переходя в соседнее положение равновесия.	Молекулы колеблются вблизи положений равновесия, что обуславливает сохранение формы.
Энергия молекул.	Кинетическая энергия теплового движения молекул много больше потенциальной энергии их взаимодействия. $W_p \ll W_k$	Кинетическая энергия теплового движения молекул сравнима с потенциальной энергией их взаимодействия. $W_p \approx W_k$	Потенциальная энергия взаимодействия молекул много больше кинетической энергии их теплового движения. $W_p \gg W_k$

Твердые тела

Кристаллические	Аморфные
Атомы (молекулы) расположены в строго определенном порядке, не меняющемся во всем объеме кристалла (соль, лед, кварц, медь).	Отсутствует дальний порядок в расположении молекул (стекло, смолы).
Проявляют упругость при механических воздействиях, как кратковременных, так и длительных. $T_{\text{пл}} = \text{const}$	При кратковременных механических воздействиях проявляют упругие свойства, при длительных воздействиях текучи (проявляют свойства жидкостей).
Обладают определенной температурой плавления $T_{\text{пл}}$. При $T < T_{\text{пл}}$ тело остается твердым, при $T > T_{\text{пл}}$ становится жидким.	Нет определенной температуры плавления. Переход из твердого состояния в жидкое происходит постепенно – вещество размягчается, растет текучесть.

Монокристаллы	Поликристаллы	Изотропны.
Состоят из одиночных кристаллов (алмаз, турмалин). Анизотропны.	Состоят из множества одиночных кристаллов (металлы, сахар-рафинад) Изотропны.	

Анизотропия – зависимость физических свойств вещества (механических, тепловых, электрических, магнитных, оптических) от направления в кристалле.

Изотропия – независимость физических свойств вещества от направления в кристалле.

Экспериментальное определение скоростей молекул.

Опыт Штерна (1920г) – измерена скорость движения молекул серебра. В середине двух цилиндров находится платиновая проволока, покрытая серебром, по которой протекает электрический ток. Атомы серебра, испаряясь, оседают в виде полосок на внутренней поверхности второго цилиндра:

- без вращения внешнего цилиндра в области точки M_0 ;
- при вращении в области точки M , образуя более широкую полоску.

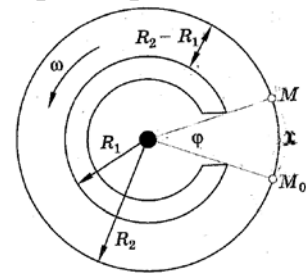


Рис. 153

Тогда $v_M = \frac{R_2 - R_1}{\Delta t}$, но $\omega R_2 \Delta t = x$, поэтому $v_M = \frac{\omega R_2 (R_2 - R_1)}{x}$

Выводы: наблюдаемое в опыте размытие полосок, говорит о различных скоростях атомов серебра при данной температуре. Атомы, движущиеся медленно, смещаются больше, чем атомы, движущиеся быстро. Толщина слоя серебра зависит от места конденсации атомов, а значит число атомов в этом месте зависит от их скорости. Результаты опыта подтвердили теоретические выкладки.

Идеальный газ.

Идеальный газ – молекулярно-кинетическая модель газа, в которой пренебрегают размерами молекул газа и потенциальной энергией их взаимодействия.

Давление газа в МКТ обусловлено ударами молекул о стенки сосуда. Это давление зависит от числа ударившихся молекул и температуры газа.

Термодинамическая система (ТДС) – любое макроскопическое тело или система тел. ТДС при неизменных условиях самопроизвольно переходит в состояние теплового равновесия.

Термодинамическое равновесие – это состояние, при котором все макроскопические параметры (параметры, описывающие поведение большого числа молекул) сколь угодно долго остаются неизменными.

Температура характеризует состояние теплового равновесия макроскопической системы: во всех частях системы, существующих в состоянии теплового равновесия, температура имеет одно и то же значение. При описании физических законов используют шкалу Кельвина.

Абсолютная температура измеряется в кельвинах (К). Она является мерой средней кинетической энергии движения молекул.

$$1^{\circ}\text{C} = 1\text{ K} \quad \Delta t = \Delta T$$

Абсолютный ноль температуры ($T = 0\text{ K}$) – значение температуры, соответствующее $273,15^{\circ}\text{C}$ ниже нуля температуры по шкале Цельсия. Абсолютный ноль недостижим, так как в этом случае скорость теплового движения молекул равна нулю, чего не может быть.

Нормальные условия: $t = 0^{\circ}\text{C}$, $T = 273\text{ K}$, $p_{\text{атм}} = 10^5\text{ Па} = 1\text{ атм}$.

Параметры газа p, V, T.

p – давление

$$p = \frac{1}{3} m_0 n \overline{v^2}$$

$$p = \frac{1}{3} \rho \overline{v^2}$$

$$p = \frac{2}{3} n \overline{E_k}$$

$$p = nkT$$

V – объем

-прямоугольный сосуд:

$$V = abc$$

-цилиндрический сосуд:

$$V = S_{осн} h$$

T – температура газа

$$\dot{Q} = t^0 \tilde{N} + 273$$

$$\overline{E_k} = \frac{m_0 \overline{v^2}}{2} \left. \vphantom{\overline{E_k}} \right\} \text{ для 1-ой}$$

$$\overline{E_k} = \frac{3}{2} kT \left. \vphantom{\overline{E_k}} \right\} \text{ молекулы}$$

$$\overline{v} = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}}, \quad \overline{v} = \sqrt{\frac{3RT}{M}}$$

Уравнение состояния идеального газа.

Уравнение Клапейрона

(для данного газа при $m = \text{const}$) связывает несколько состояний газа.

$$\frac{pV}{T} = \text{const}$$

Для смеси газов:

$$\frac{p_{см} V_{см}}{T_{см}} = (v_1 + v_2) R$$

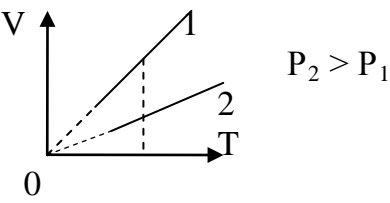
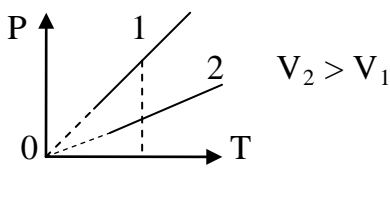
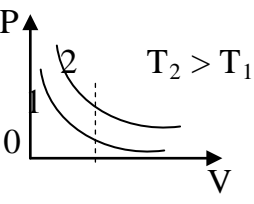
$p_{см} = p_1 + p_2 + \dots + p_n$ - закон Дальтона (давление смеси газов равно сумме парциальных давлений каждого газа в отдельности в объеме V).

Уравнение Менделеева-Клапейрона

описывает одно состояние

$$\frac{pV}{T} = \frac{m}{M} R$$

Газовые законы.

<p>Изобарный процесс. Закон Гей-Люссака: для газа <u>постоянной массы</u> отношение объема к температуре постоянно, если давление газа не меняется.</p> $p = \text{const}, \quad \frac{V}{T} = \text{const}$ 	<p>Изохорный процесс. Закон Шарля: для газа <u>постоянной массы</u> отношение давления к температуре постоянно, если объем не изменяется.</p> $V = \text{const}, \quad \frac{p}{T} = \text{const}$ 	<p>Изотермический процесс. Закон Бойля-Мариотта: для газа <u>постоянной массы</u> произведение давления на объем остается постоянным, если температура газа не изменяется.</p> $T = \text{const}, \quad pV = \text{const}$ 
---	---	---

Взаимные превращения жидкостей.

Парообразование – процесс перехода вещества из жидкого или твердого состояния в газообразное.

Конденсация – процесс перехода вещества из газообразного состояния в жидкое.

Способы парообразования.



Испарение.	Кипение.
<p>Это процесс, при котором со свободной поверхности жидкости или твердого тела вылетают молекулы, у которых кинетическая энергия максимальна. <i>Испарение сопровождается охлаждением жидкости</i>, т. к. вылетают самые быстрые молекулы. Испарение происходит при любой температуре.</p>	<p>Это процесс парообразования, происходящий как со свободной поверхности, так и по всему объему жидкости при помощи образующихся в ней пузырьков пара. <i>Кипение происходит в случае, если давление насыщенного пара внутри пузырька пара равно или больше внешнего давления.</i> Кипение происходит только при определённой для данного вещества температуре. Температура кипения зависит от внешнего давления.</p>

Динамическое равновесие – состояние, в котором может находиться пар (жидкость) при превращении в жидкость (пар); при этом число частиц, вылетающих с поверхности жидкости в единицу времени, равно числу частиц, возвращающихся в жидкость.

Насыщенный пар – пар, находящийся в состоянии динамического равновесия со своей жидкостью (существует только в закрытом сосуде). Концентрация молекул и давление насыщенного пара не зависят от его объема при постоянной температуре.

С повышением температуры будут увеличиваться концентрация молекул и давление насыщенного пара (см. рис.).



Ненасыщенный пар – пар, плотность и давление которого меньше плотности и давления насыщенного пара при данной температуре; пар, не находящийся в динамическом равновесии со своей жидкостью.

Точка росы – температура, при которой водяной пар, содержащийся в воздухе, становится насыщенным в результате охлаждения.

Парциальное давление водяного пара – давление, которое производил бы водяной пар, если бы все остальные газы в воздухе отсутствовали.

Влажность воздуха – характеризует содержание водяного пара в воздухе.

Абсолютная влажность воздуха – масса водяного пара в 1 м^3 воздуха при данной температуре (плотность).

Относительная влажность равна отношению парциального давления пара (или плотности) к давлению (или плотности) насыщенного пара при данной температуре.

Относительная влажность показывает насколько далёк пар от насыщения.

Связи физических величин

Величина	Единица	Формула
Абсолютная влажность (плотность водяного пара)	$\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	$\rho_{\text{пар}} = \frac{m}{V}$
Относительная влажность	%	$\varphi = \frac{\rho_{\text{пар}}}{\rho_{\text{нас}}} \cdot 100\%$, $\varphi = \frac{P_{\text{пар}}}{P_{\text{нас}}} \cdot 100\%$

Для определения влажности воздуха служат психрометр и гигрометр.

1.Обучающие задания по МКТ

1(А) Укажите пару веществ, скорость диффузии которых наибольшая при прочих равных условиях:

- 1) раствор медного купороса и вода
- 2) пары эфира и воздух
- 3) свинцовая и медная пластины
- 4) вода и спирт

2(А) Какова масса 25 моль углекислого газа?

- 1) 1,5 кг
- 2) 1,1 кг
- 3) 0,9 кг
- 4) 1,3 кг

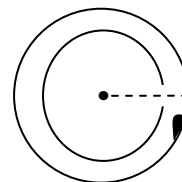
Указание: найти молярную массу CO_2 , по формуле $m = \nu M$ определить массу.

3(А) Температура железного бруска $41^\circ C$, а температура деревянного бруска $285 K$. Температура которого бруска выше?

- 1) железного
- 2) деревянного
- 3) температура брусков одинакова
- 4) сравнивать температуры брусков нельзя, так как они выражены в разных единицах.

Указание: воспользоваться формулой $T=t+273$.

4(А) На рисунке показана схема опыта Штерна по определению скорости молекул. Пунктиром обозначена траектория



атомов серебра, летящих

от проволоки в центре установки через щель во внутреннем цилиндре к внешнему цилиндру при неподвижных цилиндрах. Черным отмечено место, куда попадали атомы серебра при вращении цилиндров. Пятно образовалось когда

- 1) только внешний цилиндр вращался по часовой стрелке
- 2) только внутренний цилиндр вращался по часовой стрелке
- 3) оба цилиндра вращались по часовой стрелке
- 4) оба цилиндра вращались против часовой стрелки.

5(А) Модель идеального газа предполагает, что...

А. молекулы не притягиваются друг к другу.

Б. молекулы не имеют размеров.

- 1) только А
- 2) только Б
- 3) и А, и Б
- 4) ни А, ни Б

6(А) Воздух в комнате состоит из смеси газов: водорода, кислорода, азота, водяных паров, углекислого газа и др. Какие из физических параметров этих газов обязательно одинаковы при тепловом равновесии?

- 1) температура
- 2) давление
- 3) концентрация
- 4) средний квадрат скорости теплового движения молекул.

7(А) В баллоне находится газ, количество вещества которого равно 4 моль. Сколько молекул газа находится в баллоне?

- 1) $6 \cdot 10^{23}$
- 2) $12 \cdot 10^{23}$
- 3) $24 \cdot 10^{23}$
- 4) $36 \cdot 10^{23}$

Указание: в 1 моле вещества содержится число частиц равно N_A .

8(А) Как изменится давление идеального газа на стенки сосуда, если в данном объеме скорость каждой молекулы удвоилась, а концентрация молекул не изменилась?

- 1) не изменится
- 2) увеличится в 2 раза
- 3) увеличится в 4 раза
- 4) уменьшится в 2 раза

Указание: применить основное уравнение МКТ идеального газа.

9(A) Давление 10^5 Па создается молекулами газа, масса которых $3 \cdot 10^{-26}$ кг при концентрации 10^{25} м^{-3} . Чему равна среднеквадратичная скорость молекул?

- 1) 1 мм/с
- 2) 1 см/с
- 3) 300 м/с
- 4) 1000 м/с

Указание: применить основное уравнение МКТ идеального газа.

10(A) Сколько частиц содержится в 8 г кислорода, если степень его диссоциации 10%?

- 1) $1,5 \cdot 10^{23}$
- 2) $1,5 \cdot 10^{22}$
- 3) $1,35 \cdot 10^{23}$
- 4) $1,65 \cdot 10^{23}$

Указание: учесть, что после диссоциации (распада молекул на атомы) 10% от общего числа молекул кислорода распадется на атомы, число которых будет в 2 раза больше, чем число распадающихся молекул.

11(A) Два одинаковых сосуда, содержащие одинаковое число молекул азота, соединены краном. В первом сосуде $v_{\text{ср.кв.1}} = 565$ м/с, во втором – $v_{\text{ср.кв.2}} = 707$ м/с. Кран открывают. Чему будет равна среднеквадратичная скорость молекул после того, как установится равновесие?

- 1) 600 м/с
- 2) 630 м/с
- 3) 636 м/с
- 4) 640 м/с

Указание: воспользоваться формулой среднеквадратичной скорости.

12(A) Азот (молярная масса 0,028 кг/моль) массой 0,3 кг при температуре 280 К оказывает давление на стенки сосуда, равное $8,3 \cdot 10^4$ Па. Чему равен объем газа?

- 1) $0,3 \text{ м}^3$
- 2) $3,3 \text{ м}^3$
- 3) $0,6 \text{ м}^3$
- 4) 60 м^3

Указание: воспользоваться уравнением Менделеева-Клапейрона.

13(A) Как изменится давление идеального газа постоянной массы при увеличении абсолютной температуры и объема в 2 раза?

- 1) увеличится в 4 раза
- 2) уменьшится в 4 раза
- 3) не изменится
- 4) увеличится в 2 раза.

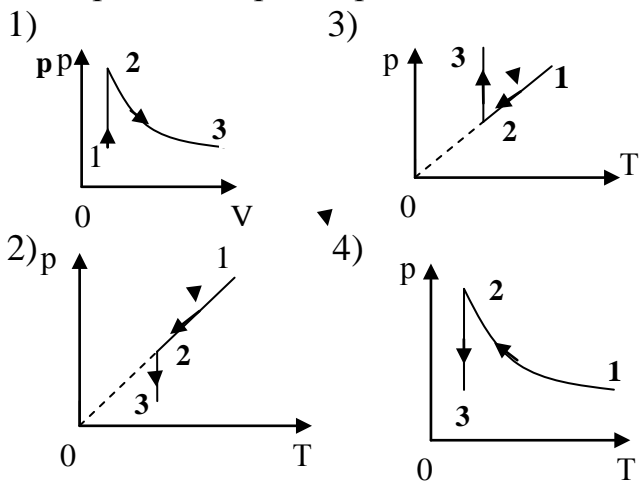
Указание: воспользоваться уравнением Клапейрона.

14(A) Идеальный газ, занимающий объем 15 л, охладили при постоянном давлении на 60 К, после чего объем его стал равным 12 л. Первоначальная температура была равна:

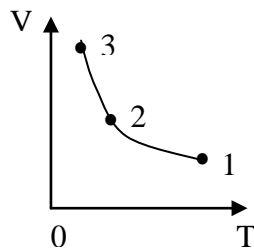
- 1) 210 К
- 2) 240 К
- 3) 300 К
- 4) 330 К

Указание: воспользоваться уравнением изобарного процесса.

15(A) Газ изохорно охлаждается, а затем изотермически расширяется. На каком из графиков представлены эти процессы?

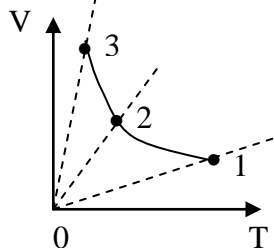


16(A) На рисунке представлен график изменения состояния идеального газа. На основании данных графика можно сказать, что давление газа...



- 1) максимально в состоянии 1
- 2) максимально в состоянии 2
- 3) максимально в состоянии 3
- 4) одинаково во всех состояниях

Указание: Точки 1,2,3 соединить с началом координат. Эти прямые соответствуют изобарным процессам, причем чем меньше угол наклона прямой к оси абсцисс, тем больше давление.



17(A) Какое свойство отличает кристалл от аморфного тела?

- 1) анизотропность
- 2) прозрачность
- 3) твердость
- 4) прочность

18(A) Как изменяется внутренняя энергия вещества при кристаллизации?

- 1) увеличивается
- 2) не изменяется
- 3) уменьшается
- 4) может увеличиваться или уменьшаться в зависимости от кристаллической структуры тела

19(A) При испарении жидкость остывает. Молекулярно-кинетическая теория объясняет это тем, что чаще всего жидкость покидают молекулы, кинетическая энергия которых...

- 1) ...равна средней кинетической энергии молекул жидкости.
- 2) ...превышает среднюю кинетическую энергию молекул жидкости.
- 3) ...меньше средней кинетической энергии молекул жидкости.
- 4) ...равна суммарной кинетической энергии молекул жидкости.

20(A) Давление насыщенного водяного пара при температуре 40°C приблизительно равно $6 \cdot 10^3$ Па. Каково парциальное давление водяного пара в комнате при этой температуре, если относительная влажность 30 %?

- 1) $1,8 \cdot 10^3$ Па
- 2) $3 \cdot 10^3$ Па
- 3) $1,2 \cdot 10^3$ Па
- 4) $2 \cdot 10^3$ Па

Указание: воспользоваться формулой относительной влажности воздуха.

21(A) С помощью психрометрической таблицы определите показания влажного термометра, если температура в помещении 16°C , а относительная влажность воздуха 62%:

- 1) 20°C
- 2) 22°C
- 3) 12°C
- 4) 16°C

Психрометрическая таблица										
Показания сухого термометра $^{\circ}\text{C}$	Разность показаний сухого и влажного термометров									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Относительная влажность, %									
10	100	88	76	65	54	44	34	24	14	5
12	100	89	78	68	57	48	38	29	20	11
14	100	89	79	70	60	51	42	34	25	17
16	100	90	81	71	62	54	45	37	30	22
18	100	91	82	73	65	56	49	41	34	27
20	100	91	83	74	66	59	51	44	37	30
22	100	92	83	76	68	61	54	47	40	34

Указание: с помощью таблицы определим разность в показаниях сухого и влажного термометров, а затем температуру влажного термометра.

22(В) Два сосуда, содержащих одинаковую массу одного и того же газа, соединены трубкой с краном. В первом сосуде давление 10^5 Па, во втором $3 \cdot 10^5$ Па. Какое давление установится после открытия крана, если температура в сосудах была одинаковой и не менялась?

Решение:

$$\left. \begin{aligned} p_1 V_1 &= \nu RT \\ p_2 V_2 &= \nu RT \\ p(V_1 + V_2) &= 2\nu RT \end{aligned} \right\} p = \frac{2p_1 p_2}{p_1 + p_2}$$

23(В) Из баллона израсходовали некоторую часть кислорода, в результате чего давление в баллоне уменьшилось от $p_1 = 8$ МПа до $p_2 = 6,8$ МПа. Какая масса кислорода Δm была израсходована, если первоначальная масса кислорода в баллоне $m = 3,6$ кг.

Решение:

$$\left. \begin{aligned} p_1 V &= \frac{m_1 RT}{M} \\ p_2 V &= \frac{m_2 RT}{M} \\ \Delta m &= m_1 - m_2 \end{aligned} \right\} \begin{aligned} \frac{p_1}{p_2} &= \frac{m_1}{m_2} & m_2 &= \frac{p_2 m_1}{p_1} \\ \Delta m &= 0,54 \text{ кг} \end{aligned}$$

24(С) Как изменится температура идеального газа, если увеличить его объем в 2 раза при осуществлении процесса, описываемого формулой $pV^4 = \text{const}$?

Решение:

$$\left. \begin{aligned} p_1 V_1 &= \nu RT_1 \\ p_2 2V_1 &= \nu RT_2 \\ p_1 V_1^4 &= p_2 (2V_1)^4 \end{aligned} \right\} \begin{aligned} \frac{T_2}{T_1} &= \frac{2p_2}{p_1} = \frac{2p_2}{16p_2} = \frac{1}{8} \end{aligned}$$

Температура уменьшится в 8 раз.

25(С) Кристалл поваренной соли имеет кубическую форму и состоит из чередующихся ионов Na и Cl. Найти среднее расстояние d между их центрами, если плотность соли $\rho = 2200 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.

Решение: $\frac{m}{M} = \frac{N_{\text{об}}}{N_A}$, $\rho V = \frac{N_{\text{об}}}{N_A} M$, $\frac{V}{N_{\text{об}}} = \frac{M}{\rho N_A}$. Так как $N_{\text{об}} = N_{\text{Na}} + N_{\text{Cl}}$ и $N_{\text{Na}} = N_{\text{Cl}} = N$, то

$$\frac{V}{2N} = d^3 = \frac{M}{2\rho N_A}, \quad d \approx 2,8 \cdot 10^{-10} \text{ м.}$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{M}{2\rho N_A}}$$

2. Тренировочные задания по МКТ

1(A) Какое явление наиболее убедительно доказывает, что между молекулами существуют силы отталкивания?

- 1) диффузия
- 2) броуновское движение
- 3) беспорядочное движение молекул
- 4) практическая несжимаемость жидкостей и твердых тел

2(A) Где число молекул больше: в одном моле водорода или в одном моле воды?

- 1) одинаковое
- 2) в одном моле водорода
- 3) в одном моле воды
- 4) ответ неоднозначен.

3(A) Температура твердого тела понизилась на 17°C . По абсолютной шкале температур это изменение составило

- 1) 290 К
- 2) 256 К
- 3) 17 К
- 4) 0 К

4(A) Молекула азота летит со скоростью \vec{v} перпендикулярной к стенке сосуда. Чему равен модуль вектора изменения импульса молекулы?

- 1) 0
- 2) $m\upsilon$
- 3) $2m\upsilon$
- 4) $4m\upsilon$

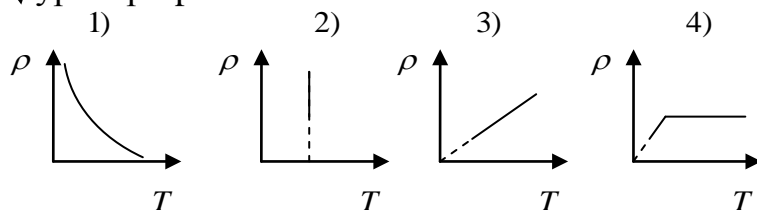
5(A) Частицы вещества находятся в среднем на таких расстояниях друг от друга, при которых силы притяжения между ними незначительны. В этом агрегатном состоянии вещество

- 1) сохраняет свою начальную форму
- 2) практически не сжимается
- 3) не сохраняет форму, но сохраняет начальный объем
- 4) занимает весь предоставленный объем

6(A) Как изменится средняя кинетическая энергия идеального газа при увеличении абсолютной температуры в 2 раза?

- 1) не изменится
- 2) увеличится в 2 раза
- 3) увеличится в 4 раза
- 4) уменьшится в 4 раза.

7(A) На каком из графиков представлен график зависимости плотности идеального газа от его температуры при $p = \text{const}$?



8(A) В первом сосуде водород, а во втором – кислород. Сравните давления p_1 и p_2 в этих сосудах, если концентрация молекул и температура в обоих сосудах одинаковы.

- 1) $p_1 = p_2$
- 2) $p_1 = 16p_2$
- 3) $16p_1 = p_2$
- 4) $p_1 = 8p_2$

9(A) Давление 3 моль водорода в сосуде при температуре 300 К равно p_1 . Каково давление 1 моль водорода в этом сосуде при вдвое большей температуре?

- 1) $\frac{3}{2}p_1$
- 2) $\frac{2}{3}p_1$
- 3) $\frac{1}{6}p_1$
- 4) $6p_1$

10(A) Сколько частиц содержится в 4 г водорода, если степень его диссоциации 5%?

- 1) $6 \cdot 10^{22}$ 3) $12,6 \cdot 10^{23}$
2) $6 \cdot 10^{25}$ 4) $13,2 \cdot 10^{23}$

11(A) В стеклянный сосуд закачивают воздух, одновременно нагревая его. При этом температура воздуха в сосуде повысилась в 3 раза, а его давление возросло в 5 раз. Во сколько раз увеличилась масса воздуха в сосуде?

- 1) в 3 раза 2) в 5 раз 3) в 15 раз 4) в $\frac{5}{3}$ раза

12(A) В сосуде неизменного объема находится идеальный газ в количестве 1 моль. Как надо изменить абсолютную температуру сосуда с газом, чтобы при добавлении в сосуд еще 1 моль газа давление газа на стенки сосуда уменьшилось в 2 раза?

- 1) увеличить в 2 раза
2) уменьшить в 2 раза
3) увеличить в 4 раза
4) уменьшить в 4 раза

13(A) Понятие «изопроецесс» можно применять, если выполняются следующие условия:

- А. масса данного газа постоянна;
Б. объем газа постоянен;
В. давление газа постоянно;
Г. температура газа постоянна;
Д. один из параметров V , p , T постоянен.

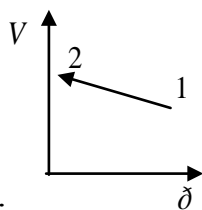
- 1) Б и В 3) А и Д
2) А и Г 4) Б, В и Г.

14(A) При постоянной температуре объем данной массы идеального газа возрос в 9 раз. Давление при этом ...

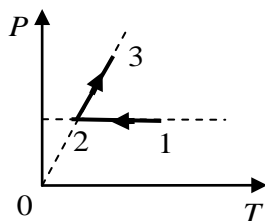
- 1) увеличилось в 3 раза
2) увеличилось в 9 раз
3) уменьшилось в 3 раза
4) уменьшилось в 9 раз

15(A) График изменения состояния идеального газа в осях V , p представляет собой прямую линию 1—2. Как изменялась температура газа в этом процессе?

- 1) уменьшалась
2) увеличивалась
3) не изменялась
4) такой процесс осуществить невозможно.



16(A) На pT -диаграмме представлена зависимость давления идеального газа постоянной массы от абсолютной температуры. Как изменяется объем в процессе 1-2-3?



- 1) на участках 1-2 и 2-3 увеличивается
2) на участках 1-2 и 2-3 уменьшается
3) на участке 1-2 уменьшается, на участке 2-3 остается неизменным
4) на участке 1-2 не изменяется, на участке 2-3 увеличивается

17(А) Какое из утверждений справедливо для кристаллических тел?

- 1) Во время плавления температура кристалла изменяется.
- 2) В расположении атомов кристалла отсутствует порядок.
- 3) Атомы кристалла расположены упорядоченно.
- 4) Атомы свободно перемещаются в пределах кристалла.

18(А) В сосуде под поршнем находятся только насыщенные пары воды. Как будет меняться давление в сосуде, если начать сдавливать пары, поддерживая температуру сосуда постоянной?

- 1) давление будет постоянно расти
- 2) давление будет постоянно падать
- 3) давление будет оставаться постоянным
- 4) давление будет оставаться постоянным, а затем начнет падать.

19(А) Укажите правильное утверждение.

При переходе вещества из жидкого состояния в газообразное ...

А. увеличивается среднее расстояние между его молекулами.

Б. молекулы почти перестают притягиваться друг к другу.

В. полностью теряется упорядоченность в расположении его молекул.

- 1) только А
- 2) только Б
- 3) только В
- 4) А, Б и В

20(В) Определите давление газа при температуре $127\text{ }^{\circ}\text{C}$, если концентрация молекул в нем 10^{21} частиц на 1 м^3 . Ответ выразите в паскалях и округлите до целых.

21(В) В сосуде объемом 110 л находится 0,8 кг водорода и 1,6 кг кислорода. Определите давление смеси, если температура окружающей среды $27\text{ }^{\circ}\text{C}$.

22(В) В 1 см^3 объема при давлении 20 кПа находится $5 \cdot 10^{19}$ молекул гелия. Определите среднюю квадратичную скорость молекул при этих условиях.

23(В) Идеальный одноатомный газ в количестве $\nu = 0,09$ моль находится в равновесии в вертикальном цилиндре под поршнем массой $m = 5\text{ кг}$. Трение между поршнем и стенками цилиндра отсутствует. Внешнее атмосферное давление равно $p_0 = 10^5\text{ Па}$. В результате нагревания газа поршень поднялся на высоту $\Delta h = 4\text{ см}$, а температура газа поднялась на $\Delta T = 16\text{ К}$. Чему равна площадь поршня? Ответ выразите в см^2 и округлите до целых.

24(С) В сосуде находятся жидкость и ее насыщенный пар. В процессе изотермического расширения объем, занимаемый паром, увеличивается в 3 раза, а давление пара уменьшается в 2 раза. Найдите отношение массы m_2 жидкости к массе m_1 пара, которые первоначально содержались в сосуде.

25(С) В вертикально расположенном закрытом цилиндрическом сосуде, разделенным поршнем массы $m = 0,5\text{ кг}$ на два отсека, находится идеальный газ. Количество вещества в верхнем отсеке в 4 раза меньше, чем в нижнем. Площадь основания цилиндра S равна 20 см^2 . В положении равновесия поршень находится посередине сосуда. А температура в обоих отсеках одинаковая. Определите давление газа p в нижнем сосуде.

3.Контрольные задания по МКТ

1(А) Как зависит скорость диффузии от агрегатного состояния вещества при постоянной температуре?

- 1) не зависит
- 2) скорость максимальна в газах
- 3) скорость максимальна в жидкостях
- 4) скорость максимальна в твердых телах.

2(А) Скорость молекул газов воздуха имеет порядок...

- 1) 10^{-4} м/с
- 2) 1 м/с
- 3) $10^2 - 10^3$ м/с
- 4) 10^8 м/с

3(А) Как связаны между собой температура t по Цельсию и абсолютная температура T , измеряемая в кельвинах:

- 1) $t = T + 273$
- 2) $T = t + 273$
- 3) $T = t$
- 4) $T = 273 - t$

4(А) Молекулы газов находятся на больших расстояниях друг от друга по сравнению с их размерами, силы притяжения между ними незначительны. Этим можно объяснить следующие свойства газов:

- А. Не имеют своей собственной формы.
- Б. Не сохраняют своего объема.
- В. Легко сжимаются.

Какие из утверждений правильны?

- 1) только А и Б
- 2) только А и В
- 3) только Би В
- 4) А, Б, В

5(А) Как изменится давление идеального газа на стенки сосуда, если в данном объеме средняя квадратичная скорость молекул удвоится, а концентрация молекул не изменится?

- 1) увеличится в 4 раза
- 2) увеличится в 2 раза
- 3) уменьшится в 4 раза
- 4) не изменится

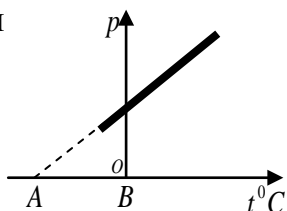
6(А) В таблице представлен диаметр D пятна, наблюдаемого через промежуток времени t на мокрой пористой бумаге, лежащей на горизонтальном столе, после того как на нее капнул каплю концентрированного красителя.

t , ч	0	1	2	4
D , мм	6	10	11,5	13,5

Какое явление стало причиной роста размеров пятна с течением времени?

- 1) растворение
- 2) диффузия
- 3) распад красителя
- 4) броуновское движение

7(А) На рисунке приведен график зависимости давления идеального газа от температуры при постоянном объеме.



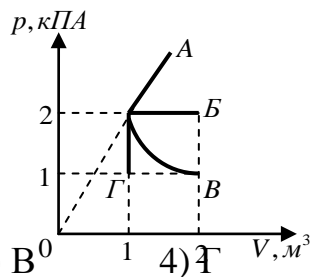
Какой температуре соответствует точка А?

- 1) -273 К
- 2) 0 К
- 3) 273 °С
- 4) 0 °С

8(A) Плотность железа примерно в 3 раза больше плотности алюминия. В алюминии количеством вещества 1 моль содержится N_1 атомов. В железе, количеством вещества 1 моль содержится N_2 атомов. Можно утверждать, что

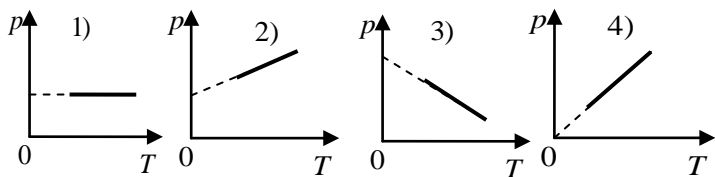
- 1) $N_2 = 3 N_1$ 3) $N_2 = \frac{N_1}{3}$
 2) $N_2 = N_1$ 4) $N_2 - N_1 = 6 \cdot 10^{23}$

9(A) Какой из графиков, изображенных на рисунке, соответствует процессу, проведенному при постоянной температуре газа?



- 1) А 2) Б 3) В 4) Г

10(A) Зависимость давления идеального газа p от температуры T при постоянной плотности (см. рис.) представлена графиком...



11(A) Как соотносятся средние квадратичные скорости атомов кислорода $\bar{v}_{\text{кисл}}$ и водорода $\bar{v}_{\text{вод}}$ в смеси этих газов в состоянии теплового равновесия, если отношение молярных масс кислорода и водорода 16?

- 1) $\bar{v}_{\text{кисл}} = \bar{v}_{\text{вод}}$ 3) $\bar{v}_{\text{кисл}} = 4 \bar{v}_{\text{вод}}$
 2) $\bar{v}_{\text{кисл}} = 16 \bar{v}_{\text{вод}}$ 4) $\bar{v}_{\text{кисл}} = \frac{1}{4} \bar{v}_{\text{вод}}$

12(A) В баллоне объемом $1,66 \text{ м}^3$ находится 2 кг азота при давлении 10^5 Па . Чему равна температура этого газа?

- 1) 280°C 2) 140°C 3) 7°C 4) -13°C

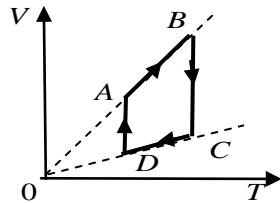
13(A) При температуре T_0 и давлении p_0 один моль идеального газа занимает объем V_0 . Каков объем этого же газа, взятого в количестве 2 моль, при давлении $2p_0$ и температуре $2T_0$?

- 1) $4V_0$ 2) $2V_0$ 3) V_0 4) $8V_0$

14(A) При изобарном нагревании водорода массой 2 г, находившегося в начале процесса под давлением 83 кПа, его температура возросла от 200 К до 500 К. Его объем при этом

- 1) не изменился
 2) увеличился на $0,03 \text{ м}^3$
 3) уменьшился в 2,5 раза
 4) увеличился на 20 л

15(A) На рисунке показан цикл, осуществляемый идеальным газом. Изотермическому расширению соответствует участок



- 1) АВ 2) DA 3) CD 4) BC

16(A) Из стеклянного сосуда выпускают сжатый газ, одновременно охлаждая сосуд. При этом температура газа снизилась в 4 раза, а его давление уменьшилось в 6 раз. Во сколько

раз уменьшилась масса газа в сосуде? Газ можно считать идеальным.

- 1) в 2 раза
- 2) в 3 раза
- 3) в 6 раз
- 4) в 1,5 раза

17(А) Атомы в кристалле находятся друг от друга на таких расстояниях, при которых силы притяжения...

- 1)...больше сил отталкивания
- 2)...меньше сил отталкивания
- 3)... равны силам отталкивания
- 4)... равны нулю.

18(А) Ученик, наблюдая процесс испарения жидкости при комнатной температуре, заметил, что вода, налитая в блюдце, испарилась быстрее, чем вода такой же массы, налитая в чашку. Какой вывод он должен сделать из этого наблюдения?

- 1) Скорость испарения жидкости не зависит от ее температуры.
- 2) Скорость испарения жидкости зависит от площади ее поверхности.
- 3) Скорость испарения жидкости зависит от ее температуры.
- 4) Скорость испарения жидкости зависит от плотности водяного пара над поверхностью жидкости.

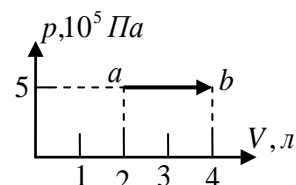
19(А) С уменьшением относительной влажности воздуха разность показаний термометров психрометра...

- 1) увеличивается
- 2) уменьшается
- 3) не изменяется
- 4) становится равной нулю.

20(А) Относительная влажность воздуха в комнате равна 25%. Каково соотношение парциального давления p водяного пара в комнате и давления p_n насыщенного водяного пара при такой же температуре?

- 1) p меньше p_n в 4 раза
- 2) p больше p_n в 4 раза
- 3) p меньше p_n на 25%
- 4) p больше p_n на 25%

21(В) Идеальный газ, количество которого 1,5 моля, совершает процесс а-в, изображенный на графике. Чему равна температура газа,



находящегося в состоянии, которому соответствует точка b? Ответ округлите до целого числа. Ответ выразите в К.

22(В) Температура воздуха в помещении объемом 60 м^3 при нормальном атмосферном давлении равна 15°C . После подогрева воздуха калорифером его температура поднялась до 20°C . Найти массу воздуха, вытесненного из комнаты за время нагревания. Молярная масса воздуха $M = 29 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$. Ответ округлите до сотых.

23(В) В баллоне содержится газ при температуре 17°C и давлении 1 МПа. На сколько изменится давление, когда температура понизится до -23°C ?

24(С) Как изменится температура идеального газа, если увеличить его объем в 2 раза при осуществлении процесса, описываемого формулой $pV^2 = \text{const}$?

25(С) Воздушный шар с газонепроницаемой оболочкой массой 400 кг заполнен гелием. На высоте, где температура воздуха 17°C и давление 10^5 Па , шар может удерживать груз массой 225 кг. Какова масса гелия в оболочке шара? Считать, что оболочка шара не оказывает сопротивления изменению объема шара.

4. Ответы к заданиям по МКТ

1. Ответы к обучающим заданиям.

1А	2А	3А	4А	5А	6А	7А	8А	9А	10А	11А	12А	13А	14А
2	2	1	4	3	1	3	3	4	4	4	1	3	3
15А	16А	17А	18А	19А	20А	21В	22В	23С	24С		25С		
2	1	1	3	2	1	3	$1,5 \cdot 10^5$ Па	0,54 кг	Умен. в 8 раз		$2,8 \cdot 10^{-10}$ м		

2. Ответы к тренировочным заданиям.

1А	2А	3А	4А	5А	6А	7А	8А	9А	10А	11А	12А	13А	14А	15А	16А
4	1	3	3	4	2	1	1	2	3	4	4	3	4	1	3
17А		18А	19А	20В		21В		22В		23В	24С		25С		
3		3	4	6 Па		10,2 МПа		425 м/с		25 см ²	0,5		3300 Па		

24С При изотермическом увеличении объема жидкость начинает испаряться. Давление пара при этом не изменяется до тех пор, пока вся жидкость не испарится (пар остается насыщенным, и его давление определяется температурой). Дальнейшее увеличение объема вызывает уменьшение давления по закону Бойля-Мариотта. Пусть $p_1, V_1, T_1; p_2, V_2, T_2$ - начальное и конечное давление пара, его объем и температура. Уравнения состояния при этом имеют вид:

$$p_1 V_1 = \frac{m_1}{M} RT, \quad p_2 V_2 = \frac{m_1 + m_2}{M} RT.$$

По условию $V_2/V_1=3, p_1/p_2=2$. Разделив уравнения, находим $\frac{p_2 V_2}{p_1 V_1} = \frac{m_1 + m_2}{m_1}, \frac{m_2}{m_1} = \frac{3}{2} - 1 = 0,5$.

25С Условие равновесия поршня: $mg + F_1 = F_2$, где m – масса поршня; F_1 - сила давления на поршень газа, находящегося в верхнем отсеке; F_2 - сила давления на поршень газа, находящегося в нижнем отсеке. Силы давления рассчитываются по формулам $F = pS$, где p -давление газа; S -площадь поршня. Давление газа может быть определено из уравнения Менделеева – Клапейрона. По условию $V_1 = V_2, T_1 = T_2, v_2 = 4v_1$.

$$p_1 = \frac{v_1 RT}{V}, \quad p_2 = \frac{4v_1 RT}{V}, \text{ следовательно } \frac{p_2}{p_1} = 4 \quad mg + \frac{p_2}{4} S = p_2 S, \text{ отсюда } p_2 = \frac{mg}{S(1 - \frac{1}{4})} \approx 3300 \text{ Па}$$

3. Ответы к контрольным заданиям.

1А	2А	3А	4А	5А	6А	7А	8А	9А	10А	11А	12А	13А	14А	15А
2	3	3	1	2	2	2	2	3	4	1	3	2	2	2
16А	17А	18А	19А	20А	21В	22В	23В			24С			25С	
4	3	2	1	1	160 К	1,24кг	Δр = 0,14 МПа			Умен. в 2 раза			100 кг	

24С

Решение. $p_1V_1 = \nu RT_1$

$$\left. \begin{array}{l} p_2 2V_1 = \nu RT_2 \\ p_1 V_1^2 = p_2 (2V_1)^2 \end{array} \right\} \frac{T_2}{T_1} = \frac{2p_2}{p_1} = \frac{2p_2}{4p_2} = \frac{1}{2}, \text{ температура уменьшится в 2 раза.}$$

25С Шар с грузом удерживается в равновесии при условии, что сумма сил, действующих на него, равна нулю: $(M + m)g + m_{\Gamma}g - m_B g = 0$, где M и m – массы оболочки и груза, m_{Γ} – масса гелия, а $F = m_B g$ – сила Архимеда, действующая на шар. Из условия равновесия следует: $M + m = m_B + m_{\Gamma}$.

Давление p гелия и его температура T равны давлению и температуре окружающего воздуха. Следовательно, согласно уравнению Клапейрона-Менделеева,

$$pV = \frac{m_{\Gamma}}{M_{\Gamma}} RT \quad \text{и} \quad pV = \frac{m_B}{M_B} RT, \text{ где } V \text{ – объем шара. Отсюда: } \frac{m_{\Gamma}}{M_{\Gamma}} = \frac{m_B}{M_B}; \quad m_B = \frac{m_{\Gamma} M_B}{M_{\Gamma}} = 7,25m_{\Gamma};$$

$$M + m = 6,25m_{\Gamma}.$$

Следовательно, $m_{\Gamma} = \frac{M + m}{6,25} = \frac{400\text{кг} + 225\text{кг}}{6,25} = 100\text{кг}$. Ответ: 100кг.