

Молекулярная физика

В молекулярной физике рассматривается движение огромного количества мельчайших частиц вещества — *атомов* и *молекул* — которое подчиняется статистическим законам, когда рассматривают не движение отдельной частицы, а их всех в совокупности.

Атомом называется наименьшая частица химического элемента.

Молекулой называется наименьшая электрически нейтральная частица вещества, сохраняющая его химические свойства.

Основные положения молекулярной физики:

- 1) все вещества состоят из молекул и атомов;
- 2) молекулы и атомы всех веществ находятся в вечном хаотическом движении;

3) между молекулами и атомами всех веществ действуют силы притяжения и отталкивания, имеющие электромагнитное происхождение.

Доказательствами молекулярного строения тел служат броуновское движение и диффузия веществ.

Броуновское движение — это движение малых частиц в жидкости под ударами ее молекул.

Диффузия — это проникновение молекул одного вещества между молекулами другого вещества.

Диффузия наблюдается у всех веществ: твердых, жидких и газообразных. Скорость диффузии зависит от агрегатного состояния вещества, от самого вещества и от температуры.

Молекулярная физика, описывая состояние вещества, оперирует макро- и микропараметрами. К макропараметрам состояния вещества относят его массу, давление, объем и температуру. К микропараметрам — массу отдельной молекулы, ее скорость, размеры, импульс, энергию.

Относительная молекулярная масса M_r — это отношение массы молекулы к одной двенадцатой массы атома углерода.

Моль — это количество вещества, в котором содержится столько же молекул, сколько их в 12 г углерода. Единица количества вещества в СИ — моль. Моль — основная единица СИ.

Молярной массой M называется масса одного моля. Единица молярной массы в СИ — кг/моль или $\text{кг} \cdot \text{моль}^{-1}$.

Число Авогадро N_A показывает, что в одном моле любого вещества содержится $6,02 \cdot 10^{23}$ молекул.

Температура — это мера средней кинетической энергии теплового движения молекул.

В международной системе единиц СИ температура измеряется в кельвинах (К). Это основная единица СИ. Температуру, измеренную по шкале Кельвина, называют *абсолютной температурой*. Шкала Кельвина не имеет отрицательных температур.

Ноль по шкале Кельвина называется абсолютным нулем.

Абсолютный нуль — это температура, при которой прекращается тепловое движение молекул.

Между температурой T , измеренной по шкале Кельвина, и температурой t °С, измеренной по шкале Цельсия, существует связь:

$$T = t \text{ } ^\circ\text{C} + 273.$$

При этом разность температур по шкалам Кельвина и Цельсия одинакова: $\Delta T = \Delta t$ °С.

$$0 \text{ } ^\circ\text{C} = 273 \text{ К}, \quad 0 \text{ К} = -273 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Ниже приведены основные формулы молекулярной физики:

Формула концентрации молекул

$$81) n = \frac{N}{V}$$

Здесь n — концентрация (м^{-3}), N — количество молекул (безразмерное), V — объем (м^3).

Формула относительной молекулярной массы

$$82) M_r = \frac{m_0}{\frac{1}{12} m_C}$$

Здесь M_r — относительная молекулярная масса (безразмерная), m_0 — масса одной молекулы (кг), m_C — масса атома углерода (кг).

Формула количества вещества (количества молей)

$$83) \nu = \frac{m}{M}$$

Здесь ν — количество вещества (количество молей) (моль), m — масса вещества (кг), M — молярная масса (кг/моль).

Формулы массы одной молекулы

$$84) m_0 = \frac{m}{N}$$

$$85) m_0 = \frac{M}{N_A}$$

$$86) m_0 = \frac{\rho}{n}$$

Здесь m_0 — масса одной молекулы (кг), m — масса вещества (кг), N — количество молекул (безразмерное), M — молярная масса (кг/моль), $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$ — число Авогадро, ρ — плотность вещества ($\text{кг}/\text{м}^3$), n — концентрация молекул (м^{-3}).

Формулы количества молекул

$$87) N = nV$$

$$88) N = \nu N_A$$

$$89) N = \frac{m}{m_0}$$

Здесь N — количество молекул (безразмерное), n — концентрация молекул (м^{-3}), V — объем (м^3), ν — количество вещества (количество молей) (моль), N_A — число Авогадро (моль $^{-1}$), m — масса вещества (кг), m_0 — масса одной молекулы.

Формулы средней квадратичной скорости молекул

$$90) \bar{v} = \sqrt{\frac{3RT}{M}}$$

$$91) \bar{v} = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}}$$

$$92) k = \frac{R}{N_A}$$

Здесь $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К — постоянная Больцмана, \bar{v} — средняя квадратичная скорость молекул (м/с), $R = 8,31$ Дж/(моль \cdot К) — молярная газовая постоянная, T — абсолютная температура (К), M — молярная масса (кг/моль), m_0 — масса одной молекулы (кг).

Формула объема моля

$$93) V_{\text{моль}} = \frac{M}{\rho}$$

Здесь $V_{\text{моль}}$ — объем одного моля ($\text{м}^3/\text{моль}$), M — молярная масса (кг/моль), ρ — плотность вещества (кг/м 3).

Основное уравнение кинетической теории идеального газа

$$94) p = \frac{1}{3} m_0 n \bar{v}^2$$

т.к. 95) $\bar{E}_k = \frac{m_0 \bar{v}^2}{2}$, то

$$96) p = \frac{2}{3} n \bar{E}_k$$

Здесь p — давление газа (Па), m_0 — масса одной молекулы (кг), n — концентрация молекул (м^{-3}), \bar{v} — средняя квадратичная скорость молекул (м/с), \bar{E}_k — средняя кинетическая энергия молекул (Дж).

Формула средней кинетической энергии молекул

$$97) \bar{E}_k = \frac{m_0 \bar{v}^2}{2}$$

Здесь \bar{E}_k — средняя кинетическая энергия молекул (Дж), m_0 — масса одной молекулы (кг), \bar{v} — средняя квадратичная скорость молекул (м/с).

Связь шкал Цельсия и Кельвина

$$98) T = t + 273^0$$

Здесь T — абсолютная температура (К), t — температура по шкале Цельсия.

Связь средней кинетической энергии молекул идеального газа с абсолютной температурой

$$99) \bar{E}_k = \frac{3}{2} kT$$

Здесь \bar{E}_k — средняя кинетическая энергия молекул (Дж), k — постоянная Больцмана (Дж/К), T — абсолютная температура (К).

Уравнение состояния идеального газа — уравнение Клапейрона – Менделеева

$$100) pV = \frac{m}{M} RT$$

$$101) pV = \nu RT$$

$$102) pV_{\text{моль}} = RT$$

Здесь p — давление газа (Па), V — объем (м^3), m — масса газа (кг), M — молярная масса (кг/моль), R — молярная газовая постоянная (Дж/(моль · К)), T — абсолютная температура (К), ν — количество вещества (количество молей) (моль), $V_{\text{моль}}$ — объем моля ($\text{м}^3/\text{моль}$).

Объединенный газовый закон — уравнение Клапейрона

при $m = \text{const}$

$$103) \frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$$

Здесь p_1, V_1, T_1 — давление (Па), объем (м^3) и абсолютная температура (К) газа в первом состоянии, p_2, V_2, T_2 — давление (Па), объем (м^3) и абсолютная температура (К) газа во втором состоянии.

Закон Бойля — Мариотта (изотермический процесс)

при $T = const$ и $m = const$

$$104) p_1 V_1 = p_2 V_2$$

Здесь T — абсолютная температура газа, m — масса газа (кг), p_1 и V_1 — давление (Па) и объем газа (m^3) в первом состоянии, p_2 и V_2 — давление (Па) и объем (m^3) газа во втором состоянии.

Закон Гей-Люссака (изобарный процесс)

при $p = const$ и $m = const$

$$105) \frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

Здесь p — давление газа (Па), m — масса газа (кг), V_1 и T_1 — объем (m^3) и абсолютная температура (К) газа в первом состоянии, V_2 и T_2 — объем (m^3) и абсолютная температура (К) газа во втором состоянии.

Закон Шарля

при $V = const$ и $m = const$

$$106) \frac{p_1}{p_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

Здесь V — объем газа (m^3), m — масса газа (кг), p_1 и T_1 — давление (Па) и абсолютная температура (К) газа в первом состоянии, p_2 и T_2 — давление (Па) и абсолютная температура (К) газа во втором состоянии.

Связь давления идеального газа с концентрацией его молекул и температурой

$$107) p = nkT$$

Здесь p — давление газа (Па), k — постоянная Больцмана (Дж/К), n — концентрация молекул газа (m^{-3}), T — абсолютная температура, К.

Формулы относительной влажности

$$108) \varphi = \frac{\rho}{\rho_{нас}} \cdot 100\%$$

$$109) \varphi = \frac{p}{p_{нас}} \cdot 100\%$$

Здесь φ — относительная влажность (безразмерная или в %), ρ — плотность водяного пара в воздухе при данной температуре ($кг/м^3$),

$\rho_{нас}$ — плотность насыщенного водяного пара при той же температуре ($\text{кг}/\text{м}^3$), p — давление водяного пара в воздухе при данной температуре (Па), $p_{нас}$ — давление насыщенного водяного пара в воздухе при той же температуре (Па).

Поверхностное натяжение жидкости (коэффициент поверхностного натяжения)

$$110) \sigma = \frac{F_{пов.нат}}{l}$$

$$111) \sigma = \frac{E_{пов}}{S}$$

Здесь σ — поверхностное натяжение жидкости ($\text{Н}/\text{м}$), $F_{пов.нат.}$ — сила поверхностного натяжения (Н), l — длина периметра, ограничивающего поверхность жидкости (м), $E_{пов}$ — поверхностная энергия (Дж), S — площадь поверхности жидкости (м^2).

Высота подъема жидкости в капилляре

$$112) h = \frac{2\sigma}{\rho g R}$$

Здесь h — высота подъема жидкости в капилляре (м), σ — поверхностное натяжение жидкости ($\text{Н}/\text{м}$), ρ — плотность жидкости ($\text{кг}/\text{м}^3$), g — ускорение свободного падения ($\text{м}/\text{с}^2$), R — радиус капилляра (м).

Большинство законов молекулярно-кинетической теории описывает процессы в идеальном газе.

Идеальный газ — это абстрактный газ, молекулы которого являются материальными точками и не взаимодействуют на расстоянии.

Близким к идеальному является газ под низким давлением и при высокой температуре. Воздух при нормальных условиях ($p = 10^5$ Па и $T = 273$ К) можно считать идеальным газом.

Если в сосуде имеется смесь газов, то по *закону Дальтона* *давление смеси газов равно сумме давлений каждого газа в отдельности.* При этом каждый газ смеси занимает объем, равный объему сосуда, и при тепловом равновесии температура всех газов смеси одинакова. Например, если давление газа в одном сосуде было p_1 , а объем сосуда был равен V_1 , а в другом сосуде объемом V_2 был газ под давлением p_2 , то после соединения сосудов давление смеси газов станет равным $p_1 + p_2$, их масса тоже станет равной сумме масс каждого газа $m_1 + m_2$, а вот объем каждого газа станет равен сумме объемов $V_1 + V_2$. Общее число молей

$v_{\text{общ}}$ тоже будет равно сумме числа молей каждого газа $v_1 + v_2$ и их общее число молекул $N_{\text{общ}} = N_1 + N_2$. Но общую молярную массу $M_{\text{общ}}$ находить таким способом, просто складывая молярные массы каждого газа, нельзя, ее можно найти из одного из уравнений Менделеева – Клапейрона (100) – (102), записанного для смеси газов.

Процесс, происходящий в газе, при котором один из параметров состояния газа остается неизменным, называется *изопроцессом*.

К изопроцессам относятся *изотермический*, *изобарный* и *изохорный* процессы.

Изотермическим называют процесс, протекающий при постоянной температуре. Такой процесс подчиняется закону Бойля – Мариотта. Близким к изотермическому является очень медленный процесс — столь медленный, что изменением температуры газа можно пренебречь.

Закон Бойля – Мариотта: при постоянной температуре произведение давления данной массы идеального газа и его объема есть величина постоянная (формула 104):

$$p_1 V_1 = p_2 V_2.$$

Ниже приведены графики изотермического процесса в разных координатных осях (рис. 82).

Изобарным процессом называют процесс, протекающий под постоянным давлением. Близким к изобарному является процесс свободного, но не очень быстрого, расширения газа, при котором действующие на газ силы оказывают неизменное давление.

Изобарный процесс подчиняется закону Гей-Люссака.

Закон Гей-Люссака: при постоянном давлении объем данной массы идеального газа прямо пропорционален его абсолютной температуре (формула 105):

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2}.$$

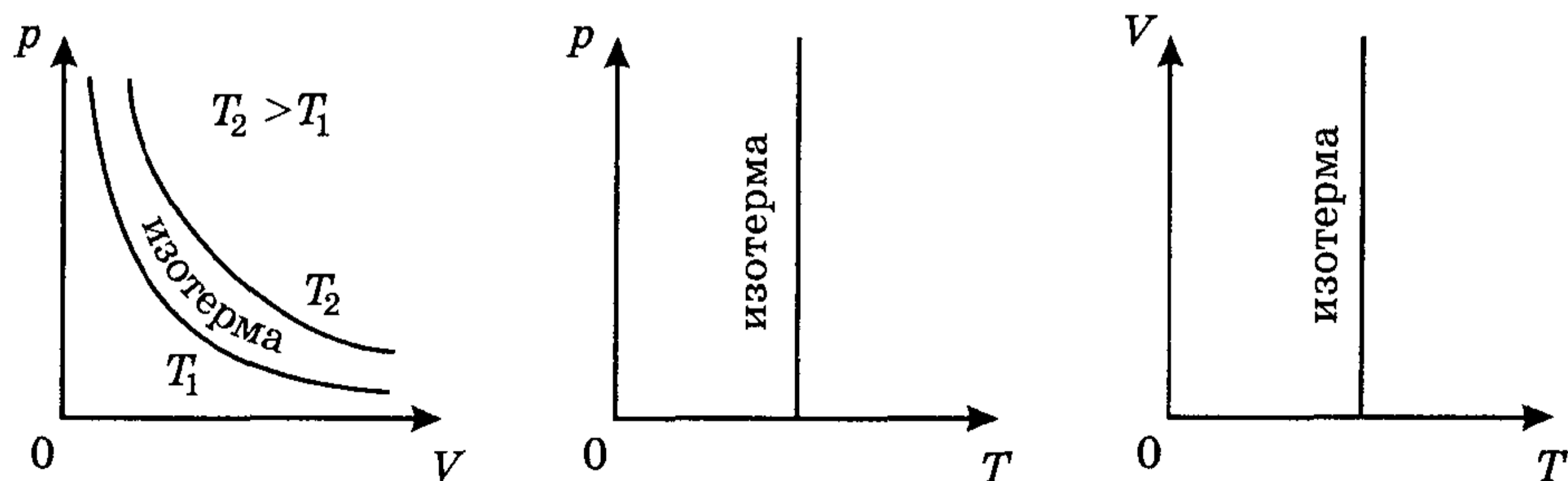


Рис. 82

Ниже приведены графики изобарного процесса в разных координатных осях (рис. 83).

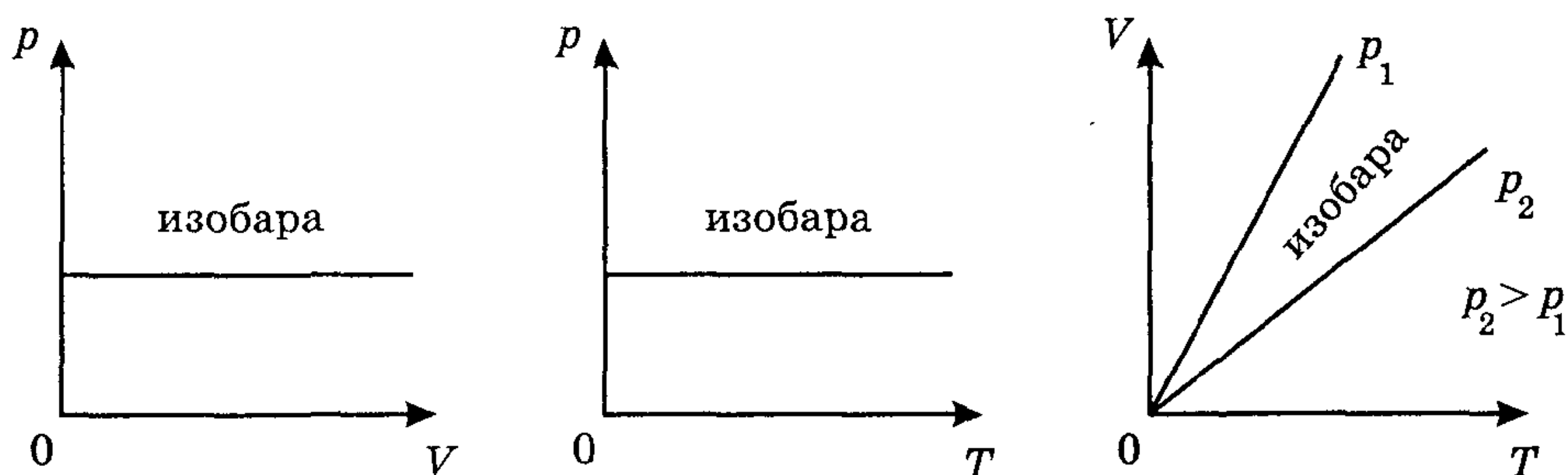


Рис. 83

Изохорным называют процесс, протекающий при постоянном объеме. Изохорным является процесс нагревания или охлаждения газа, находящегося в закрытом сосуде.

Изохорный процесс подчиняется закону Шарля.

Закон Шарля: при постоянном объеме давление данной массы идеального газа прямо пропорционально его абсолютной температуре (формула 106):

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{T_1}{T_2}.$$

Ниже приведены графики изохорного процесса в разных координатных осях (рис. 84).

Если изменяются все три параметра состояния газа — и давление, и объем, и температура — то можно применить **уравнение состояния идеального газа** или **уравнение Клапейрона**: произведение давления

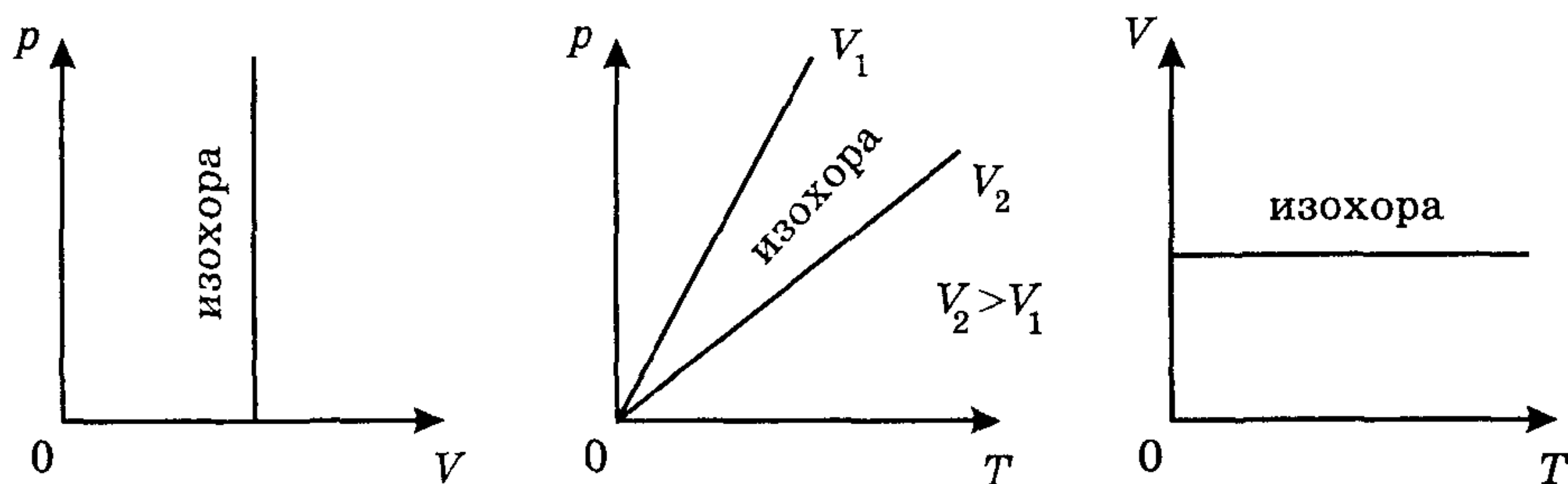


Рис. 84

данной массы идеального газа и его объема, деленное на абсолютную температуру, есть величина постоянная (формула 103):

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}.$$

Слова «данной массы идеального газа» означают, что во всех этих процессах масса газа должна оставаться неизменной, — иначе ни один из этих законов применять будет нельзя.

Если масса газа изменяется, то для каждого отдельного состояния газа можно применить другое уравнение состояния идеального газа — уравнение Менделеева – Клапейрона (формулы 100 – 102):

$$pV = \frac{m}{M} RT,$$

$$pV = \nu RT,$$

$$pV_{\text{моль}} = RT.$$

При изменении любого из параметров или массы газа уравнение Менделеева – Клапейрона можно записать, поставив перед изменяющейся величиной знак изменения Δ . Например, при изобарном процессе изменяются объем и температура. Если масса газа не меняется, то в этом случае уравнение Менделеева – Клапейрона можно записать так:

$$p\Delta V = \frac{m}{M} R\Delta T.$$

При изохорном процессе, когда изменяются давление и температура, уравнение Менделеева – Клапейрона примет вид:

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

Решая задачу на газовые законы, сначала подумайте, изменяется ли масса газа в процессе, о котором идет речь в условии задачи. Если да или если что-либо сказано о массе газа, его плотности или весе, или числе молей, то, как правило, следует воспользоваться уравнением Менделеева – Клапейрона. Если масса газа не меняется, то решите, какой из параметров остается постоянным. Если не меняется температура, применяйте закон Бойля – Мариотта, если постоянно давление, то закон Гей-Люссака, если не меняется объем – то Шарля. Если меняются все три параметра, можно использовать уравнение Клапейрона.

Если газ находится под поршнем массой m с площадью основания S , да еще на поршне, например, стоит гиря весом P (рис. 85) и, к тому же, нужно учитывать давление атмосферы $p_{\text{атм}}$, то давление газа p под порш-

нем будет равно сумме давлений поршня $\frac{mg}{S}$, гири $\frac{P}{S}$ и атмосферного $p_{\text{атм}}$:

$$p = \frac{mg}{S} + \frac{P}{S} + p_{\text{атм}}$$

Если в сосуде с газом имеется подвижная перегородка, то она будет в равновесии только тогда, когда давление газа по обе стороны от нее одинаково. Если с какой-либо стороны оно изменится, то перегородка передвинется туда, где давление меньше, и остановится, когда оно снова станет одинаковым.

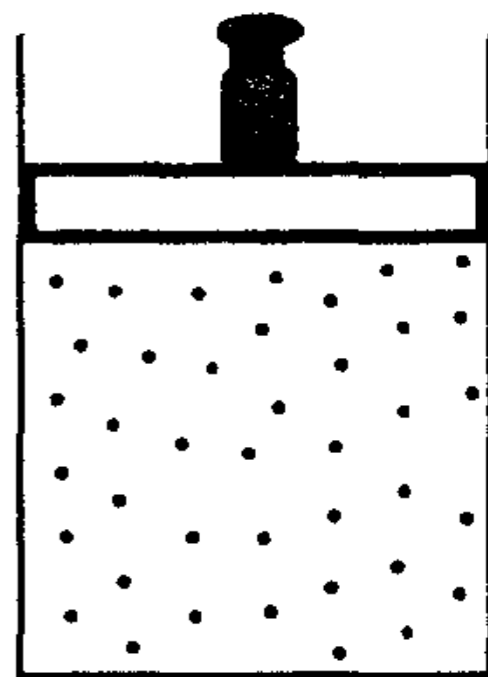


Рис. 85

Нормальными условиями называют нормальное атмосферное давление (физическую атмосферу, атм), равное 10^5 Па и температуру, равную 273 К.

Если в условии задачи сказано, что газ находился при 10°C , то, чтобы его температуру выразить в единицах СИ, надо к 10 прибавить 273 , и получится 283 К. А если сказано, что газ нагрели на 10°C (или он остыл), то здесь не надо к 10°C прибавлять 273 , это будет ошибкой, потому что изменение температуры по шкале Цельсия равно изменению температуры по шкале Кельвина.

Парообразованием называют процесс перехода вещества из жидкого состояния в газообразное. Обратный процесс называют конденсацией. Парообразование делят на испарение и кипение.

Испарение — это процесс парообразования, происходящий с открытой поверхностью жидкости и при любой температуре. Скорость испарения зависит от самой жидкости и увеличивается с увеличением ее температуры, площади открытой поверхности и скорости движения жидкости относительно внешней среды.

Кипение — это процесс парообразования, происходящий не только с открытой поверхности, но и внутри жидкости, при строго определенной для данной жидкости температуре.

Температура кипения зависит от рода жидкости и давления внешней среды. При повышении давления температура кипения увеличивается — и наоборот.

Пар бывает ненасыщенным и насыщенным.

Ненасыщенный пар — это пар, в котором число молекул, вылетевших из жидкости, больше числа молекул, вернувшихся в нее. Ненасыщенный пар подчиняется законам идеального газа. При охлаждении ненасыщенного пара он становится насыщенным.

Насыщенный пар — это пар, в котором поддерживается динамическое равновесие между числом молекул, вылетевших из жидкости, и числом молекул, вернувшихся в нее. При нагревании насыщенный пар превращается в ненасыщенный, а при охлаждении насыщенный пар конденсируется. Температура, при которой насыщенный водяной пар конденсируется, называется *точкой росы*. При повышении давления или плотности насыщенного пара, когда его, например, сжимают, он конденсируется, а давление, плотность и концентрация оставшегося пара не изменяются.

Плотность водяного пара в воздухе называется его абсолютной влажностью. Отношение абсолютной влажности воздуха при данной температуре к плотности насыщенного пара при той же температуре называется его относительной влажностью (формула 108):

$$\varphi = \frac{P}{P_{\text{нас}}} \cdot 100\%.$$

Кроме того, также *относительной влажностью называют отношение давления ненасыщенного пара в воздухе при некоторой температуре к давлению насыщенного пара при той же температуре* (формула 109):

$$\varphi = \frac{P}{P_{\text{нас}}} \cdot 100\%.$$

Если ненасыщенный пар находится в закрытом сосуде, то при его нагревании абсолютная влажность не меняется, а относительная уменьшается — и наоборот. А если его охладить, то он сначала превратится в насыщенный, а затем сконденсируется.

Если надо ответить на вопрос, была ли роса при охлаждении воздуха до некоторой температуры, надо найти температуру, при которой водяной пар конденсируется, т. е. точку росы. И если температура, до которой воздух охладился, окажется ниже точки росы, то роса была, а если — нет, то воздух еще недостаточно остыл.

Твердые тела делят на *кристаллические* и *аморфные*.

Кристаллическими называют вещества, у которых атомы или молекулы расположены в определенном порядке, образуя кристаллическую решетку, где наблюдается повторяемость в их расположении. Основное свойство кристаллических веществ — анизотропия, т.е. различие их физических свойств в разных направлениях. К кристаллическим веществам относятся металлы, глина, кремний, поваренная соль, лед и другие вещества.

Аморфными называют тела, в которых отсутствует упорядоченность в расположении атомов и молекул. Их основное свойство —

изотропия, т.е. одинаковость физических свойств в разных направлениях. К аморфным веществам относятся сахар, стекло, каучук, пластмассы и другие вещества.

Процессы плавления и отвердевания у кристаллических и аморфных веществ происходят различно.

Плавлением называют процесс перехода твердого вещества в жидкое состояние. Обратный процесс у кристаллических веществ называется *кристаллизацией*, а у аморфных — *отвердеванием*.

Рассмотрим процесс изменения температуры T с течением времени t при переходе твердого кристаллического вещества через жидкую фазу в газообразную и наоборот (рис. 86). При нагревании твердое тело получает тепловую энергию от нагревателя. При этом увеличиваются средняя кинетическая и средняя потенциальная энергии его молекул (участок 1–2 графика) и происходит повышение температуры.

При достижении температуры плавления $T_{\text{пл}}$ (точка 2 графика) начинается процесс разрушения кристаллических решеток, т. е. плавление (участок 2–3). В процессе плавления увеличивается только средняя потенциальная энергия молекул, а их средняя кинетическая энергия и связанная с ней температура остаются неизменными. Точка 3 соответствует окончанию процесса перехода твердого вещества в жидкое, т. е. в этот момент времени все вещество становится жидким.

При дальнейшей передаче тепла происходит нагревание жидкости (участок 3–4). При этом увеличиваются средняя кинетическая и потенциальная энергии молекул и температура жидкости растет. Точка 4 соответствует началу процесса кипения, т.е. достижению температуры кипения $T_{\text{кип}}$. При дальнейшей передаче тепла происходит процесс кипения (участок 4–5). В этом процессе увеличивается только средняя потенциальная энергия молекул, а их средняя кинетическая энергия

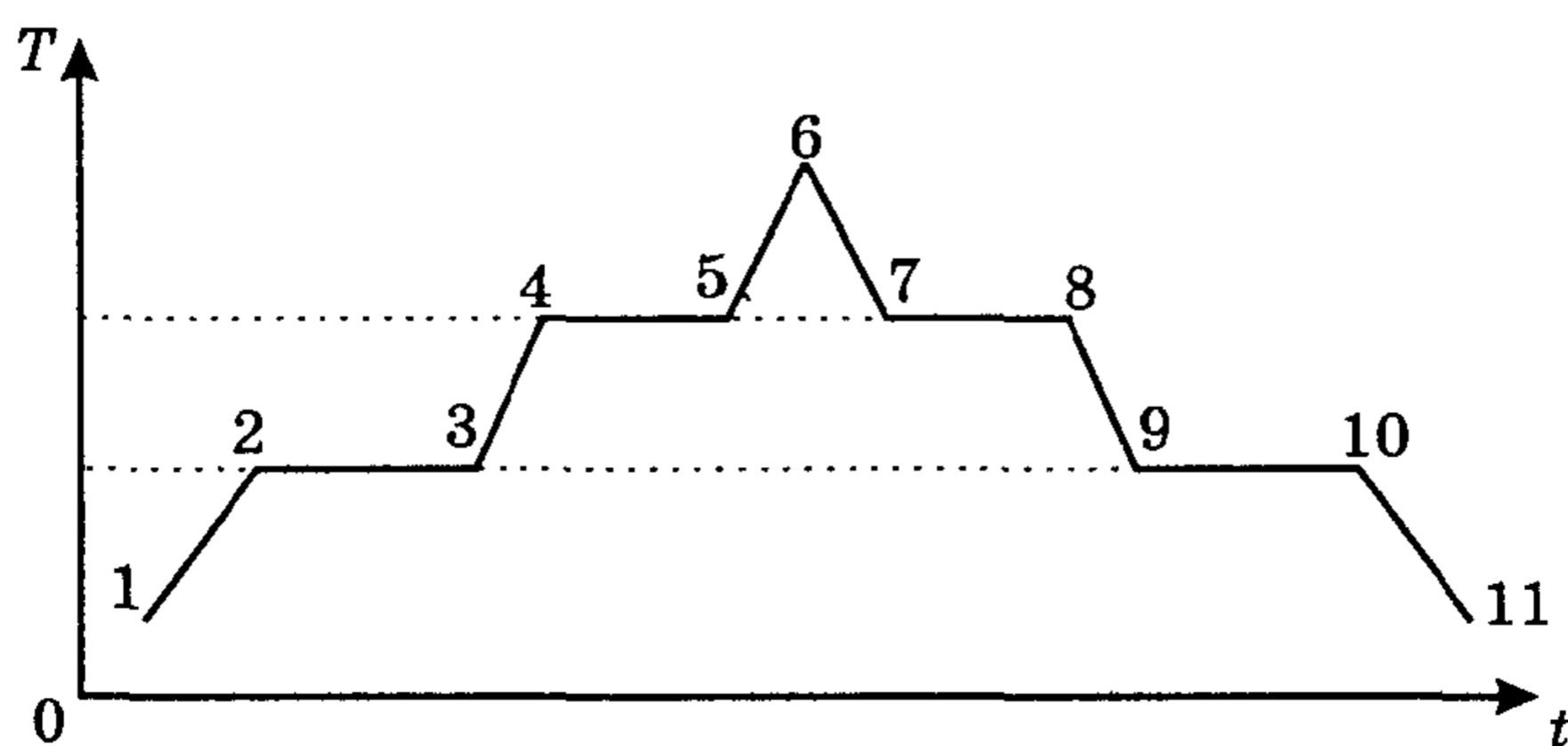


Рис. 86

не меняется и связанная с ней температура тоже остается постоянной. Точка 5 соответствует полному переходу всей жидкости в пар.

При дальнейшей передаче тепла происходит нагревание пара (участок 5–6). Здесь снова увеличиваются средние кинетическая и потенциальная энергии молекул, и температура пара растет.

Теперь рассмотрим обратный процесс перехода в твердое кристаллическое вещество. Если в момент, соответствующий точке 6, убрать источник тепловой энергии, то начнется процесс охлаждения пара, при котором средние кинетическая и потенциальная энергии его молекул станут уменьшаться и температура пара понижаться (участок 6–7). При этом выделится тепловая энергия, поглощенная в процессе нагревания пара. Точка 7 соответствует началу процесса конденсации пара, т. е. перехода его в жидкость.

Участок 7–8 соответствует процессу конденсации пара, когда уменьшается только средняя потенциальная энергия молекул, а их средняя кинетическая энергия и температура вещества остаются постоянными. При этом выделяется тепловая энергия, поглощенная при кипении. Точка 8 соответствует полному переходу пара в жидкость.

Участок 8–9 соответствует охлаждению жидкости, когда уменьшаются средние кинетическая и потенциальная энергии молекул и температура жидкости понижается. При этом выделяется тепловая энергия, полученная при нагревании жидкости. Точка 9 соответствует началу кристаллизации.

Участок 9–10 соответствует кристаллизации, т. е. процессу восстановления кристаллических решеток. При этом уменьшается только средняя потенциальная энергия молекул, а их средняя кинетическая энергия и температура вещества остаются постоянными. Здесь выделяется тепло, поглощенное при плавлении. Точка 10 соответствует полному восстановлению кристаллических решеток, т. е. превращению жидкого вещества в твердое.

Участок 10–11 соответствует процессу охлаждения твердого вещества, когда уменьшаются средние потенциальная и кинетическая энергии молекул и температура понижается. При этом выделяется тепло, поглощенное при нагревании твердого вещества.

Аморфные вещества не имеют точек плавления и кристаллизации и на соответствующем графике горизонтальные участки 2–3 и 9–10 у них отсутствуют (рис. 87).

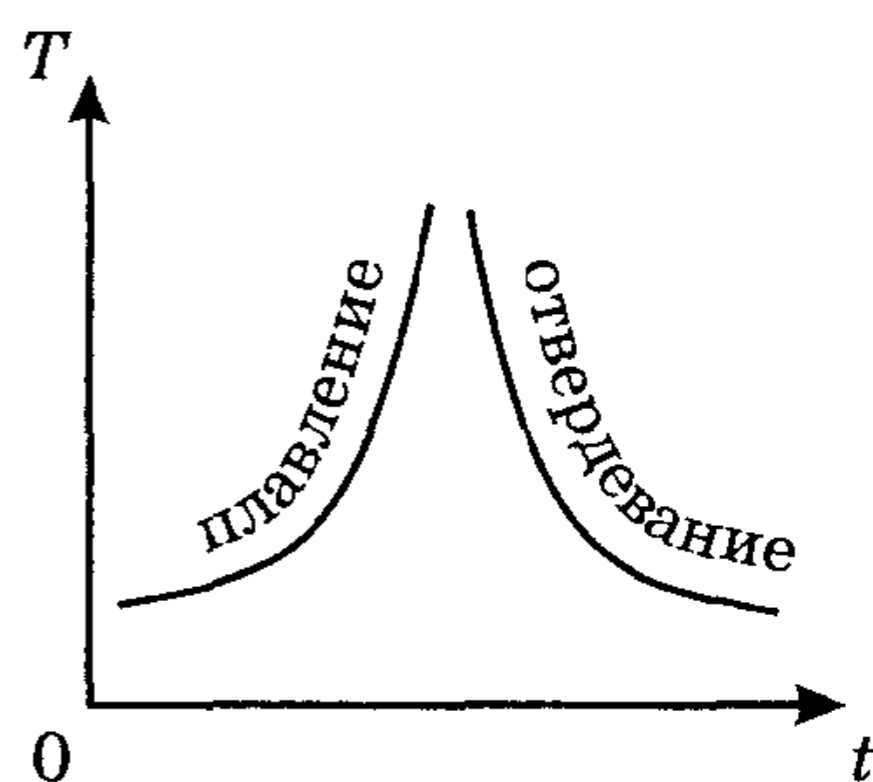


Рис. 87

В процессе передачи тепла аморфному веществу оно становится все мягче и мягче, пока совсем не превратится в жидкость. При отдаче тепла аморфное вещество тоже постепенно твердеет, пока совсем не станет твердым, поэтому аморфные вещества иногда называют застывшими жидкостями.

A11. Согласно формуле концентрации 81) $n = \frac{N}{V}$ при одинаковом числе молекул N их концентрация n обратно пропорциональна объему V . Графиком обратно пропорциональной зависимости между двумя величинами является гипербола.

Правильный ответ 4).

A12. По мере сжатия газа увеличиваются и силы отталкивания молекул друг от друга, и силы притяжения их друг к другу. Это вызвано тем, что в атомах веществ есть положительно и отрицательно заряженные частицы, которые по-разному взаимодействуют друг с другом.

Правильный ответ 2).

A13. Газы не сохраняют ни объема, ни формы. Поэтому, сколько бы газов ни впустили в сосуд, каждый газ займет объем, равный объему сосуда, независимо от наличия в нем других газов.

Правильный ответ 2).

A14. Чем больше расстояние между молекулами и чем больше их скорость, при которой их сближение подобно абсолютно упругому удару, тем ближе реальный газ к идеальному. Поэтому близким к идеальному является разреженный газ с очень быстрыми молекулами, т. е. газ под низким давлением и при высокой температуре.

Правильный ответ 3).

A15. Изохорным называется процесс при постоянном объеме.

Правильный ответ 2).

A16. При равновесии поршня давление газа p равно сумме давления атмосферы $p_{\text{атм}}$ и давления поршня. Согласно формуле 75) давление поршня равно отношению веса поршня $P = mg$ к площади основания поршня S . Поэтому

$$p = p_{\text{атм}} + \frac{mg}{S}.$$

Подставим числа и вычислим:

$$p = 10^5 + \frac{2 \cdot 10}{5 \cdot 10^{-4}} \text{ (Па)} = 1,4 \cdot 10^5 \text{ Па}.$$

Правильный ответ 4).

A17. Соединим точки 1 и 2 с началом координат O (рис. 105). Эти штриховые линии представляют собой две изохоры Om и On . Теперь опустим перпендикуляр из точки 1 на ось температур OT . При одинаковой температуре точка 3, лежащая на изохоре On , соответствует состоянию газа с меньшим давлением, чем точка 1, лежащая на изохоре Om . А согласно закону Бойля – Мариотта 104) $p_1V_1 = p_2V_2$ при одинаковой температуре меньшему давлению соответствует больший объем (см. рис. 84, средний график). Значит, точка 3, лежащая на изохоре On , соответствует состоянию с большим объемом, чем точка 1, лежащая на изохоре Om . Следовательно, переход от точки 1 к точке 2 соответствует процессу расширения газа, т. е. увеличению его объема.

Правильный ответ 2).

A18. Среднюю кинетическую энергию молекул можно определить по формуле 99):

$$\bar{E}_k = \frac{3}{2}kT,$$

$$\bar{E}_k = \frac{3}{2} \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot (27 + 273) \text{ Дж} = 6,2 \cdot 10^{-21} \text{ Дж}.$$

Правильный ответ 1).

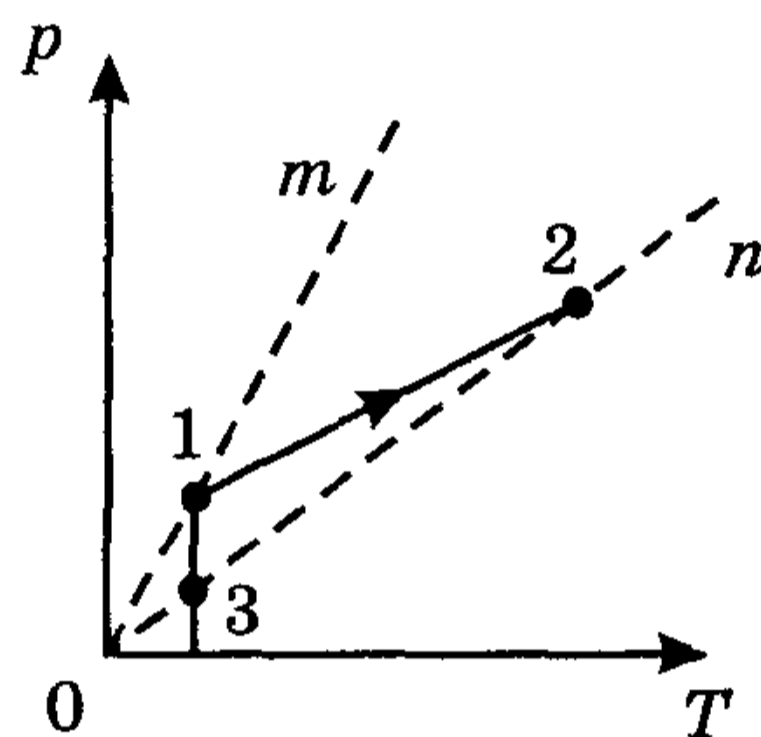


Рис. 105

A19. Поскольку сосуд закрыт, процесс нагревания является изохорным и подчиняется закону Шарля 106):

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{T_1}{T_2},$$

где $T_2 = T_1 + \Delta T = T_1 + 0,3T_1 = 1,3T_1$.

С учетом этого

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{T_1}{1,3T_1} = \frac{1}{1,3},$$

откуда $p_2 = 1,3 p_1 = 1,3 \cdot 200 \text{ кПа} = 260 \text{ кПа}$.

Правильный ответ 2).

A20. Из формулы 109) $\varphi = \frac{p}{p_{\text{нас}}} \cdot 100\%$ следует, что парциальное давление равно произведению относительной влажности, выраженной в частях, и давлению насыщенных паров:

$$p = 0,6 p_{\text{нас}} = 0,6 \cdot 2,2 \text{ кПа} = 1,3 \text{ кПа}.$$

Правильный ответ 4).