

учетом капиллярного опускания ртути, была равна 3,0 мм? Поверхностное натяжение ртути $\sigma = 472$ мН/м, ее плотность $\rho = 13,6 \cdot 10^3$ кг/м³.

Решение. Под действием сил поверхностного натяжения ртуть в трубке, диаметр которой d , опустится на

$$\Delta h = \frac{2\sigma}{\rho g R} = \frac{4\sigma}{\rho g d}.$$

Отсюда находим $d = \frac{4\sigma}{\rho g \Delta h}$, $d = 4,7 \cdot 10^{-3}$ м.

Задачи для самостоятельного решения

401. Сколько молекул содержится в насыщенном водяном паре массой $m = 1$ кг и сколько в ненасыщенном водяном паре, имеющем такую же массу? Молярная масса воды $M = 18 \cdot 10^{-3}$ кг/моль. Постоянная Авогадро $N_A = 6,02 \times 10^{23}$ моль⁻¹.

402. Водород массой $m = 0,3$ г находится в сосуде вместимостью $V = 2$ л под давлением $p = 200$ кПа. Определить среднюю квадратичную скорость и среднюю кинетическую энергию поступательного движения молекул водорода. Молярная масса водорода $M = 2 \cdot 10^{-3}$ кг/моль, постоянная Авогадро $N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$ моль⁻¹.

403. Найти концентрацию газа при нормальных условиях. Постоянная Больцмана $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К.

404. Под каким давлением находится в баллоне кислород, если вместимость баллона $V = 5$ л, а средняя кинетическая энергия поступательного движения всех молекул кислорода $E = 6$ кДж?

405. Определить массу водорода и число молекул, содержащихся в сосуде вместимостью $V = 20$ л при давлении $p = 2,5 \cdot 10^5$ Па и температуре $t = 27$ °С. Молярная масса водорода $M = 2 \cdot 10^{-3}$ кг/моль. Универсальная газовая постоянная $R = 8,31$ Дж/(моль · К). Постоянная Авогадро $N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$ моль⁻¹.

406. Газ массой $m = 2,0$ кг занимает объем $V = 9,03$ м³ при давлении $p = 100$ кПа. Вычислить среднюю квадратичную скорость молекул этого газа.

407. Баллон вместимостью $V = 50$ л содержит $m = 2,2$ кг углекислого газа. Баллон выдерживает давление не выше

$p = 4,0$ МПа. При какой температуре баллон может разорваться? Молярная масса углекислого газа $M = 44 \times 10^{-3}$ кг/моль. Универсальная газовая постоянная $R = 8,31$ Дж/(моль · К).

408. Цилиндрический сосуд высотой $l = 40$ см разделен на две части невесомым тонким поршнем, скользящим без трения. Поршень находится на высоте $h = 26,7$ см над дном цилиндра. Под поршнем находится водород, а над поршнем — газ с неизвестной молярной массой. Масса этого газа равна массе водорода. Найти молярную массу газа. Молярная масса водорода $M_1 = 2 \cdot 10^{-3}$ кг/моль. Температура газов одинаковая.

409. В воде на глубине $h_1 = 1$ м находится шарообразный пузырек воздуха. На какой глубине этот пузырек имеет вдвое меньший радиус? Плотность воды $\rho = 1 \cdot 10^3$ кг/м³. Атмосферное давление $p_0 = 1 \cdot 10^5$ Па. Температура воды постоянна и не зависит от глубины. Давлением, обусловленным кривизной поверхности, пренебречь.

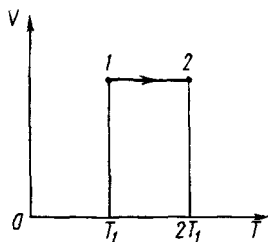
410. Тонкостенный резиновый шар массой $m_0 = 50$ г наполнен азотом и погружен в озеро на глубину $h = 100$ м, где температура воды $t = 4$ °С, и находится в равновесии. Найти массу азота. Атмосферное давление $p_0 = 760$ мм рт. ст., молярная масса азота $M = 28 \cdot 10^{-3}$ кг/моль, универсальная газовая постоянная $R = 8,31$ Дж/(моль · К), плотность воды $\rho = 1 \cdot 10^3$ кг/м³.

411. В кабине космического корабля «Восток-2» температура во время полета колебалась от $t_1 = 10$ °С до $t_2 = 22$ °С. На сколько процентов изменялось при этом давление?

412. На V - T -диаграмме изображен процесс, который произошел с газом при постоянном давлении и постоянном объеме (рис. 138). Как при этом изменилась масса газа?

413. В баллоне был некоторый газ. После того как из баллона выпустили часть газа, температура газа уменьшилась в n раз, а давление — в k раз. Какая часть газа выпущена?

414. Из баллона вместимостью $V_1 = 0,20$ м³, содержащего идеальный газ при температуре $T_1 = 273$ К под давлением $p_1 = 2,0 \cdot 10^6$ Па, выпустили часть газа, которая заняла при нормальных условиях объем $V_2 = 1,0$ м³. По-



Р и с. 138

сле этого давление p_2 в баллоне стало равным $1,4 \cdot 10^6$ Па. Определить температуру газа, оставшегося в баллоне.

415. Определить плотность идеального газа при температуре $t = 100$ °С и давлении $p = 1 \cdot 10^5$ Па, а также массу одной молекулы этого газа, если его молярная масса $M = 32 \cdot 10^{-3}$ кг/моль. Универсальная газовая постоянная $R = 8,31$ Дж/(моль · К), постоянная Авогадро $N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$ моль⁻¹.

416. Определить плотность смеси, содержащей $m_1 = 4$ г водорода и $m_2 = 32$ г кислорода при температуре $t = 7$ °С и общем давлении $p = 1 \cdot 10^5$ Па. Молярная масса водорода $M_1 = 2 \cdot 10^{-3}$ кг/моль, кислорода $M_2 = 32 \cdot 10^{-3}$ кг/моль, универсальная газовая постоянная $R = 8,31$ Дж/(моль · К).

417. До какого давления накачали футбольный мяч вместимостью $V = 3$ л, если при этом было сделано $N = 40$ качаний поршневого насоса? За каждое качание мяч захватывает из атмосферы $V_0 = 150$ см³ воздуха. Вначале мяч был пустой. Атмосферное давление $p_0 = 1 \cdot 10^5$ Па.

418. Давление p_0 воздуха в сосуде было равно $1,01 \cdot 10^5$ Па. После трех ходов откачивающего поршневого насоса давление воздуха упало до значения $p = 2$ кПа. Определить отношение вместимости сосуда к вместимости цилиндра поршневого насоса. Температуру воздуха в процессе откачки считать постоянной.

419. Сосуд вместимостью $V = 10$ л наполнили газом при давлении $p = 2 \cdot 10^5$ Па. Найти массу воды, которая войдет в сосуд, если под водой на глубине $h = 40$ м в самой нижней части его будет сделано отверстие. Атмосферное давление $p_{\text{атм}} = 1 \cdot 10^5$ Па. Плотность воды $\rho = 1 \cdot 10^3$ кг/м³. Изменением температуры воды с глубиной пренебречь.

420. С какой максимальной силой прижимается к телу человека банка, применяемая в медицинской практике для лечения, если диаметр ее отверстия $d = 4,0$ см? В момент прикладывания банки к телу воздух в ней прогрет до температуры $t_1 = 80$ °С, а температура окружающего воздуха $t_2 = 20$ °С. Атмосферное давление $p_{\text{атм}} = 1,0 \cdot 10^5$ Па. Изменением объема воздуха в банке (из-за втягивания кожи) пренебречь.

421. В блюде налита вода, а сверху ставится перевернутый вверх дном нагретый стакан с тонкими стенками. До какой наименьшей температуры T_1 должен быть нагрет стакан вместе с находящимся в нем воздухом, чтобы

после остывания до температуры T_2 окружающего воздуха вся вода оказалась бы втянутой в стакан? Масса воды m , плотность воды ρ , атмосферное давление $p_{\text{атм}}$, площадь поперечного сечения стакана S , высота h . Объем налитой воды меньше вместимости стакана. Явлениями испарения, поверхностного натяжения и расширения стакана пренебречь. Блюдце считать широким, так что высота налитой в него воды мала.

422. Два сосуда, содержащих один и тот же газ при одинаковой температуре, соединены трубкой с краном. Вместимости сосудов V_1 и V_2 , а давления в них p_1 и p_2 . Каким будет давление газа после того, как откроют кран соединительной трубки? Температуру газа считать постоянной.

423. В расположенные вертикально сообщающиеся цилиндрические сосуды, первый из которых имеет площадь поперечного сечения S_1 , а второй S_2 , налили жидкость. Затем первый сосуд закрыли и находящийся в нем воздух нагрели от температуры T_1 до температуры T_2 , в результате чего уровень жидкости во втором сосуде поднялся на величину h . Определить температуру T_2 , если известно, что начальный объем воздуха в закрытом сосуде V_1 , атмосферное давление $p_{\text{атм}}$, плотность жидкости ρ . Тепловым расширением сосуда и жидкости пренебречь.

424. Воздух находится в открытом сверху вертикальном цилиндрическом сосуде под поршнем массой $m = 20$ кг с площадью поперечного сечения $S = 20$ см². После того как сосуд стали двигать вертикально вверх с ускорением $a = 5,0$ м/с², высота столба воздуха между поршнем и дном сосуда уменьшилась и стала составлять $\alpha = 0,80$ начальной высоты. Считая температуру постоянной, найти по этим данным атмосферное давление. Трением между поршнем и стенками сосуда пренебречь.

425. По газопроводу течет газ при давлении $p = 0,83$ МПа и температуре $T = 300$ К. Какова скорость газа в трубе, если за время $\tau = 2,5$ мин через поперечное сечение трубы площадью $S = 5,0$ см² протекает $m = 20$ кг газа? Универсальная газовая постоянная $R = 8,31$ Дж/(моль · К), молярная масса газа $M = 40 \cdot 10^{-3}$ кг/моль.

426. Относительная влажность воздуха в помещении $\varphi = 63\%$, температура $t_1 = 18$ °С. До какой температуры надо охладить блестящий предмет, чтобы на его поверхности можно было наблюдать осаждение водяных паров?

Давление насыщенного водяного пара при 18°C равно $20,7 \cdot 10^2$ Па, при 10°C — $12,3 \cdot 10^2$ Па, при 11°C — $13,1 \cdot 10^2$ Па.

427. Воздух в помещении имеет температуру $t_1 = 24^\circ\text{C}$ и относительную влажность $\varphi_1 = 50\%$. Определить влажность воздуха после его охлаждения до $t_2 = 20^\circ\text{C}$. Процесс охлаждения считать изохорным. Давление насыщенного водяного пара при 24 и 20°C — соответственно $p_{01} = 2943$ Па и $p_{02} = 2330$ Па.

428. Над поверхностью площадью $S = 5,0$ км² слой воздуха толщиной $h = 1000$ м имеет температуру $t_1 = 20^\circ\text{C}$ при относительной влажности $\varphi = 73\%$. Воздух охладился до температуры $t_2 = 10^\circ\text{C}$. Найти массу выпавшего дождя. Плотность насыщенного водяного пара при температурах t_1 и t_2 — соответственно $\rho_{01} = 17,3 \cdot 10^{-3}$ кг/м³ и $\rho_{02} = 9,4 \cdot 10^{-3}$ кг/м³.

429. Калорифер подает в помещение $V = 5,0 \cdot 10^4$ м³ воздуха при температуре t_1 и относительной влажности $\varphi_1 = 60\%$, забирая его с улицы при температуре t_2 и относительной влажности $\varphi_2 = 80\%$. Сколько воды дополнительно испаряет калорифер в подаваемый воздух? При температуре t_1 плотность насыщенного водяного пара $\rho_{01} = 15,4 \cdot 10^{-3}$ кг/м³, а при температуре t_2 — $\rho_{02} = 9,4 \times 10^{-3}$ кг/м³.

430. Определить давление насыщенного водяного пара при температуре $t = 17^\circ\text{C}$, если в комнате вместимостью $V = 50$ м³ при относительной влажности $\varphi = 65\%$ и указанной температуре находится $m = 0,476$ кг паров воды. Универсальная газовая постоянная $R = 8,31$ Дж/(моль · К), молярная масса воды $M = 18 \cdot 10^{-3}$ кг/моль.

431. Смешали $V_1 = 1,0$ м³ воздуха с относительной влажностью $\varphi_1 = 20\%$ и $V_2 = 2,0$ м³ воздуха с влажностью $\varphi_2 = 30\%$. Обе порции были взяты при одинаковых температурах. Определить относительную влажность получившейся смеси.

432. Проволочная рамка с подвижной перекладиной длиной $l_1 = 8,0$ см затянута мыльной пленкой. Какую работу против сил поверхностного натяжения надо совершить, чтобы растянуть пленку на $l_2 = 2,0$ см? Поверхностное натяжение пленки $\sigma = 4,0 \cdot 10^{-2}$ Н/м.

433. Из сосуда через вертикальную трубку, внутренний диаметр которой $d = 3,0$ мм, за некоторое время вытекло по каплям молоко массой $m = 50$ г. Определить количество упавших капель. Поверхностное натяжение молока $\sigma = 47$ мН/м. Считать диаметр шейки капли в момент отрыва равным внутреннему диаметру трубки.

434. Из плохо закрытого крана капает вода. Определить массу вытекшей за $t = 24$ ч воды, если время между отрывами ближайших капель $\tau = 1,0$ с. Диаметр шейки капли в момент ее отрыва считать равным диаметру трубы крана $d = 10$ мм. Поверхностное натяжение воды $\sigma = 72,7$ мН/м.

435. Разность Δh уровней ртути в двух сообщающихся вертикальных капиллярах, диаметры которых $d_1 = 0,5$ мм и $d_2 = 1$ мм, равна $1,5$ см. Определить поверхностное натяжение ртути. Плотность ртути $\rho = 13,6 \cdot 10^3$ кг/м³.

436. В воду на ничтожно малую глубину опущена вертикально капиллярная трубка, внутренний диаметр которой $d = 1,0$ мм. Определить массу вошедшей в трубку воды. Смачивание считать полным. Поверхностное натяжение воды $\sigma = 72,7$ мН/м.

7. ТЕПЛОВЫЕ ЯВЛЕНИЯ. ОСНОВЫ ТЕРМОДИНАМИКИ

Методические указания к решению задач

Если в задаче рассматривается процесс передачи энергии от одних тел к другим без совершения работы (теплообмен), нужно на основании закона сохранения и превращения энергии составить уравнение теплового баланса:

$$Q_{\text{от}} = Q_{\text{получ}}$$

где $Q_{\text{от}}$ — количество теплоты, отданное одними телами; $Q_{\text{получ}}$ — количество теплоты, полученное другими телами. Если задан КПД теплообмена, то $\eta Q_{\text{от}} = Q_{\text{получ}}$.

Если внутренняя энергия U системы изменяется вследствие совершения системой механической работы A_1 над внешними телами, то составляется уравнение

$$-\eta \Delta U = A_1,$$