

## Домашнее задание

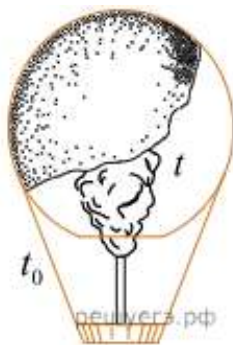
### Задание №24. Термодинамика и молекулярная физика

1. Сферическую оболочку воздушного шара наполняют гелием при атмосферном давлении  $10^5$  Па. Минимальная масса оболочки, при которой шар начинает поднимать сам себя, равна 500 кг. Температура гелия и окружающего воздуха одинакова и равна  $0^\circ\text{C}$ . Чему равна масса одного квадратного метра материала оболочки шара? (Площадь сферы  $S = 4\pi R^2$  объём шара  $V = \frac{4}{3}\pi R^3$ )

2. Воздушный шар имеет газонепроницаемую оболочку массой 400 кг и наполнен гелием. Какова масса гелия в шаре, если на высоте, где температура воздуха  $17^\circ\text{C}$ , а давление  $10^5$  Па шар может удерживать в воздухе груз массой 225 кг? Считать, что оболочка шара не оказывает сопротивления изменению объёма шара.

3. Гелий в количестве  $\nu = 1/20$  моля находится в горизонтальном закреплённом цилиндре с поршнем, который может без трения перемещаться в цилиндре и вначале удерживается в равновесии силой  $F_1 = 280$  Н. При этом среднеквадратичная скорость движения атомов гелия составляет  $u_1 = 1400$  м/с. Затем гелий стали охлаждать, а поршень медленно сдвигать, постепенно уменьшая действующую на него силу. Когда эта сила равнялась  $F_2 = 150$  Н, среднеквадратичная скорость движения атомов гелия стала равной  $u_2 = 1200$  м/с. На какое расстояние  $\Delta l$  при этом сдвинулся поршень? Внешним давлением пренебречь.

4. Воздух в воздушном шаре, оболочка которого имеет массу 400 кг и объём  $2500$  м<sup>3</sup>, нагревают горелкой через отверстие снизу. Окружающий воздух имеет температуру  $t_0 = 7^\circ\text{C}$  и плотность  $1,2$  кг/м<sup>3</sup>. При какой минимальной разности температур шар сможет поднять груз массой 200 кг? Оболочка шара нерастяжима.



5. Для того чтобы совершить полет, изобретатель массой 60 кг решил использовать 5000 воздушных шариков с гелием. До какого объёма необходимо надуть шар, чтобы изобретатель поднялся в воздух при нормальном атмосферном давлении и температуре воздуха  $T = 27^\circ\text{C}$ . Массой оболочки шаров и объёмом изобретателя пренебречь.

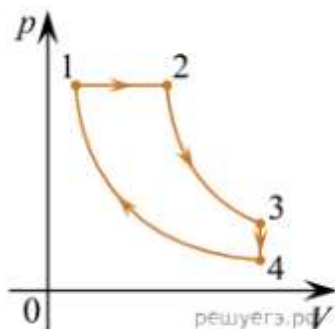
6. Закрытый сверху вертикальный цилиндрический сосуд, заполненный идеальным газом, разделён тяжёлым поршнем, способным скользить без трения, на две части. В начальном равновесном состоянии в верхней и нижней частях сосуда находилось по 1 моль газа, а отношение объёмов верхней и нижней частей сосуда было равно 2. После того, как количество газа в нижней части сосуда уменьшили на  $\Delta\nu$ , соотношение объёмов верхней и нижней части стало равно 3. Температура поддерживалась постоянной, найдите  $\Delta\nu$  (процесс перехода был длительным).

7. В закрытом сосуде объёмом  $V = 30$  л находится влажный воздух массой  $m = 45$  г при температуре  $t = 80^\circ\text{C}$  и давлении  $p = 160$  кПа. Определите относительную влажность воздуха, находящегося в сосуде. Давление  $p_n$  насыщенных паров воды при температуре  $80^\circ\text{C}$  равно 47 кПа.

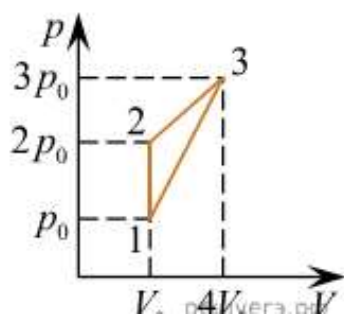
8. В закрытом сосуде находится влажный воздух массой 40 г при температуре  $90^\circ$  и давлении  $p = 2 \cdot 10^5$  Па. Масса пара в сосуде равно 5 г. Определите объём сосуда.

9. В сосуде с небольшой трещиной находится воздух. Воздух может медленно просачиваться сквозь трещину. Во время опыта объём сосуда уменьшили в 4 раза, давление воздуха в сосуде увеличилось тоже в 4 раза, а его абсолютная температура увеличилась в 1,5 раза. Каково изменение внутренней энергии воздуха в сосуде? (Воздух считать идеальным газом.)

10. С одним молем идеального одноатомного газа совершают циклический процесс 1–2–3–4–1 (см. рис.). Цикл состоит из изобары, двух адиабат и изохоры. КПД цикла 20%. Максимальная температура на изобаре  $t_{\text{макс}} = 322^\circ\text{C}$ , минимальная —  $t_{\text{мин}} = 22^\circ\text{C}$ . Найдите количество теплоты  $Q$ , которое газ отдаёт за цикл.

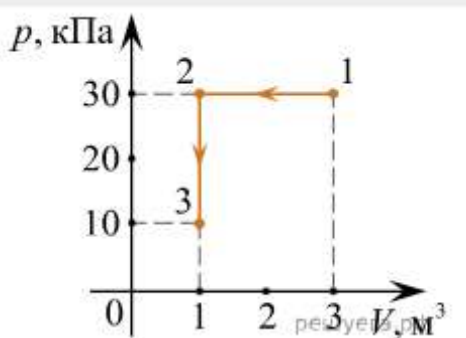


11. На рисунке представлен график зависимости  $p - V$  для циклического процесса, происходящего с гелием. В этом цикле газ получил количество теплоты  $Q_{\text{нагр}} = 50$  кДж. Количество вещества газа равно 3 моля. Найдите температуру гелия в состоянии 3.

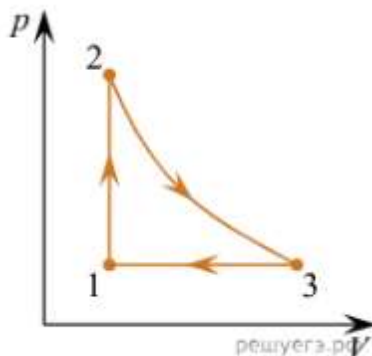


12. В запаянной с одного конца трубке находится влажный воздух, отделённый от атмосферы столбиком ртути длиной  $l = 76$  мм. Когда трубка лежит горизонтально, относительная влажность воздуха  $\varphi_1$  в ней равна 80%. Какой станет относительная влажность этого воздуха  $\varphi_2$ , если трубку поставить вертикально, открытым концом вниз? Атмосферное давление равно 760 мм рт. ст. Температуру считать постоянной.

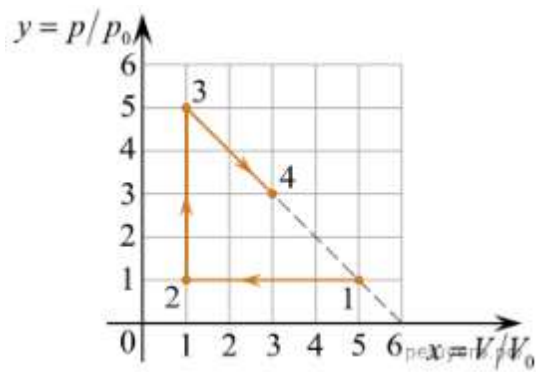
13. На диаграмме представлены изменения давления и объема идеального одноатомного газа. Какое количество теплоты было получено или отдано газом при переходе из состояния 1 в состояние 3?



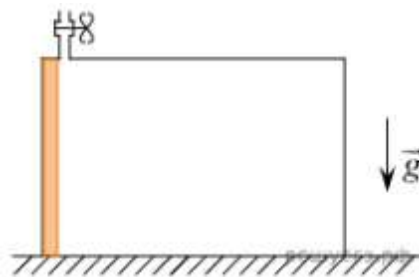
14. 1 моль одноатомного идеального газа совершает цикл 1 - 2 - 3 - 1, состоящий из изохоры (1-2), адиабаты (2-3) и изобары (3-1). Абсолютные температуры газа  $T_1 = 400$  К,  $T_2 = 600$  К,  $T_3 = 510$  К. Определите КПД цикла.



15. На  $p-V$  диаграмме изображён процесс 1–2–3–1, проводимый с одним молем идеального одноатомного газа. Значения  $p$  и  $V$  на ней приведены в относительных единицах  $y = \frac{p}{p_0}$  и  $x = \frac{V}{V_0}$ , где  $p_0$  и  $V_0$  — некоторые постоянные величины давления и объёма. Какую работу  $A_{1234}$  совершил газ в этом процессе при переходе из состояния 1 в состояние 4, в котором температура газа приняла максимальное значение? Известно, что температура газа в состоянии 2 была равна  $T_2 = 150$  К.



16. В закрытый теплопроводящий цилиндр объёмом  $V = 10$  л с гладкими внутренними стенками вставлен тонкий тяжёлый поршень, находящийся вначале, при горизонтальном положении цилиндра, около его левой крышки. Внутренний объём цилиндра сообщается с сухим атмосферным воздухом, находящимся при нормальных условиях, через тонкую трубку с открытым краном, который может отсоединять цилиндр от атмосферы. В исходном положении поршень находится чуть левее отверстия трубки (см. рис.).



В некоторый момент цилиндр ставят в вертикальное положение с поршнем наверху, который опускается вниз, сразу перекрывая трубку и сжимая воздух под собой, а после установления равновесия находится на высоте  $\frac{l}{2}$  над дном цилиндра (высота цилиндра  $l = 0,9$  м). Затем кран перекрывают и снова кладут цилиндр горизонтально. На какое расстояние  $\Delta l$  сдвинется поршень после нового установления равновесия?

17. Свинцовая пуля массой  $m_1 = 8$  г при температуре  $t_1 = 100$  °С, летящая со скоростью  $v = 400$  м/с, попадает в неподвижную медную сферу массой  $m_2 = 200$  г, содержащую внутри лёд массой  $m_3 = 50$  г при температуре  $t_2 = 0$  °С, и застревает там, при этом сфера не вращается. Какая температура  $t_3$  установится в системе после достижения теплового равновесия, если пуля и сфера находятся в невесомости и не обмениваются теплотой с другими телами?

18. Школьный класс имеет размеры пола  $8 \text{ м} \times 12 \text{ м}$  и высоту потолка  $4,5 \text{ м}$ . Осенью при атмосферном давлении  $740 \text{ мм рт. ст.}$  температура в классе равнялась  $18 \text{ }^\circ\text{C}$ , а зимой, после похолодания и включения отопления температура повысилась до  $24 \text{ }^\circ\text{C}$  при давлении  $765 \text{ мм рт. ст.}$  На сколько изменилось число молекул азота в классе? В воздухе содержится  $78\%$  азота по объёму. Молярная масса воздуха равна  $29 \text{ кг/кмоль}$ , объёмом учителя, учеников, мебели и учебных пособий можно пренебречь.

19. Царь-колокол был отлит в 1730 году по указу Анны Иоанновны из оловянистой бронзы и имеет массу  $202 \text{ тонны}$ . Его так и не смогли поднять на колокольню, и в 1737 году во время «великого пожара» в Москве его, по одной из версий, усиленно обливали водой, чтобы он не расплавился (температура плавления бронзы около  $1000 \text{ }^\circ\text{C}$ ). В результате из-за неравномерного охлаждения колокол растрескался и от него откололся кусок массой  $M$  около  $12 \text{ тонн}$ . Пусть этот кусок охлаждали водой, температура которой была равна  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ . Оцените, какой объём занимает водяной пар сразу после испарения воды, вылитой на осколок, если он охлаждается от  $900 \text{ }^\circ\text{C}$  до  $100 \text{ }^\circ\text{C}$ . Считайте, что вся вода при попадании на металл сразу испаряется, а удельная теплоёмкость бронзы близка к теплоёмкости меди и составляет  $c_b = 380 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)}$ . Атмосферное давление  $p_0 = 10^5 \text{ Па}$ .

20. В вертикальном цилиндре, закрытом лёгким поршнем, находится ацетон ( $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$ ) при температуре кипения  $t = 56 \text{ }^\circ\text{C}$ . В результате сообщения ацетону некоторого количества теплоты часть его превращается в пар, который при изобарном расширении совершает работу, поднимая поршень. Удельная теплота парообразования ацетона  $L = 524 \cdot 10^3 \text{ Дж/кг}$ , а его молярная масса  $M = 58 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$ . Какая часть подводимого к ацетону количества теплоты превращается в работу? Объёмом жидкого ацетона и трением между поршнем и цилиндром пренебречь.

**Ответы к заданиям:**

1.  $1.75 \text{ кг/м}^3$
2.  $100 \text{ кг}$
3.  $17 \text{ см}$
4.  $70 \text{ К}$
5.  $12 \text{ л}$
6.  $0,29 \text{ моль}$
7.  $46\%$
8.  $0,022 \text{ м}^3$
9. Внутренняя энергия воздуха в сосуде не изменилась
10.  $4986 \text{ Дж}$
11.  $1003 \text{ К}$
12.  $72\%$
13.  $-180 \text{ кДж}$
14.  $8\%$
15.  $4986 \text{ Дж}$
16.  $15 \text{ см}$
17.  $0^\circ\text{C}$
18.  $1,09 \cdot 10^{26}$  штук
19.  $2383 \text{ м}^3$
20.  $9\%$