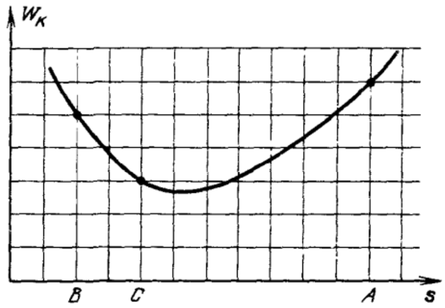
10 класс

Задача №1. Зависимость кинетической энергии $W_к$ тела от перемещения s при движении тела по прямой изображена на рисунке. Известно, что в точке A на тело действовала сила F_A = 2 *Н*. Определите, какие силы действовали на тело в точках B и C.



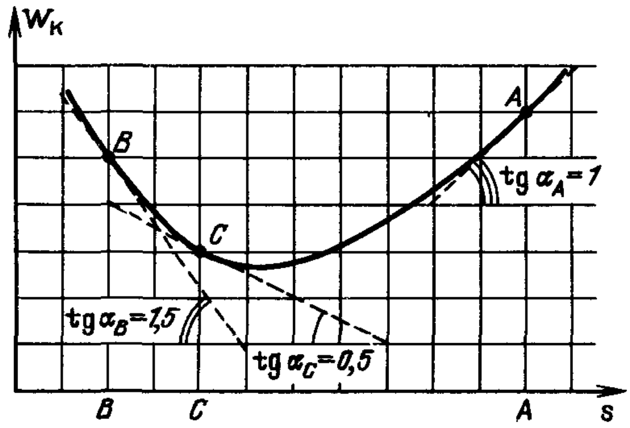
Решение

Изменение кинетической энергии тела W_k при небольшом перемещении ΔS записывается в виде

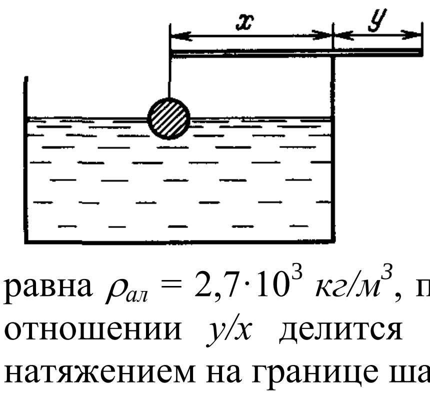
$$W_k = F \cdot \Delta S,$$

где F — сила, действующая на тело. Поэтому на графике зависимости кинетической энергии от перемещения при прямолинейном движении сила в некоторой точке траектории движения определяется как тангенс угла наклона касательной в соответствующей точке графика. Используя график, приведенный в условии задачи, построением находим

$$F_C \approx -1H, \quad F_B \approx -3H.$$



Ответ: $F_C \approx -1H$, $F_B \approx -3H$.



Задача №2. К концу однородной палочки массой M = 4,4 *г* подвешен на невесомой нити однородный алюминиевый шарик радиуса r = 0,5 *см*. Палочку кладут на край стакана с водой, добиваясь такого положения равновесия, при котором погруженной в воду окажется половина шарика (см. рисунок). Плотность алюминия равна $\rho_{ал} = 2{,}7 \cdot 10^3$ *кг/м*^{3}, плотность воды $\rho_в = 10^3$ *кг/м*^{3}. Определите, в каком отношении y/x делится длина палочки в этом случае. Поверхностным натяжением на границе шарика и воды пренебречь.

Решение

Пусть x - длина части палочки, свешивающейся внутрь стакана, а y - длина ее наружной части. Тогда длина палочки равна $x+y$. Центр палочки находится на расстоянии $\frac{x+y}{2}$ от ее концов и на расстоянии $\frac{x-y}{2}$ от наружного края. Условия равновесия получим из равенства нулю суммы моментов сил относительно края стакана:

$$(F_ш - F_A)x = Mg\frac{x-y}{2},$$

где $F_ш = m_ш g = \rho_{АЛ} V g$ – сила тяжести шарика,

$F_A = \frac{\rho_B V g}{2} F_A$ - выталкивающая сила (сила Архимеда),

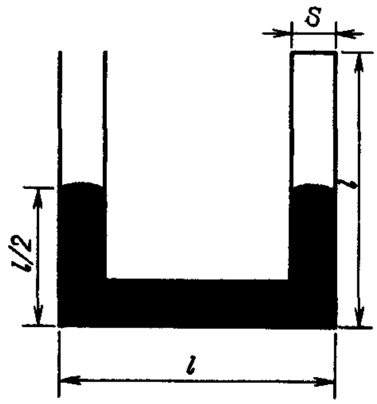
$V = \frac{4}{3}\pi r^3$ – объем шарика.

Искомое отношение равно

$$\frac{y}{x} = \frac{1 + 2(F_ш + F_A)}{Mg} \approx 1{,}5.$$

Ответ: $\approx 1{,}5$.

Задача №3. Тонкая U-образная, запаянная с одного конца трубка состоит из трех колен длиной по l = 250 *мм* каждое, согнутых под прямыми углами. Вертикальные части трубки заполнены ртутью до половины (см. рисунок). Медленно нагревая в запаянной трубке газ, отделенный от атмосферы ртутью, можно вытеснить из трубки всю ртуть. Определите, какую работу A совершит при этом газ в трубке, полностью вытеснив ртуть. Атмосферное давление равно $p_o = 10^5$ *Па*, плотность ртути $\rho_{рт}$ = $13{,}6 \cdot 10^3$ *кг/м*^{3}, поперечное сечение трубки S = 1 *см*^{2}.



Решение

Совершаемая газом работа A складывается из. двух частей: работы A_1 против силы атмосферного давления и работы A_2 против силы тяжести. Граница раздела газ - ртуть до полного вытеснения ртути перемещается на

$$2l+\frac{l}{2}=\frac{5}{2}l.$$

и, значит:

$$A_1=\frac{5}{2}P_0 Sl.$$

Работа A_2 против силы тяжести равна изменению потенциальной энергии ртути при ее вытеснении. Вся ртуть в результате вытеснения поднимается на высоту l относительно горизонтального участка; это и надо считать конечной высотой центра масс ртути. Начальное положение центра масс ртути, как нетрудно видеть, равно $h_0 = l/8$. Отсюда можно заключить, что

$$A_2=Mg\left(l-\frac{l}{8}\right)=\frac{7}{8}Mgl,$$

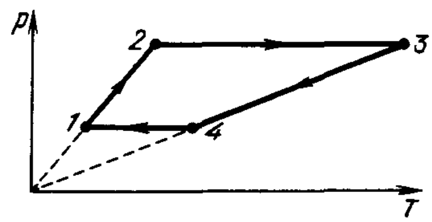
где $M=2lS\rho_{pm}$ – масса ртути.

Окончательно находим

$$A=A_1+A_2=\frac{5}{2}P_0 Sl+\frac{7}{4}\rho_{pm}gSl^2\approx 7{,}7\,Дж.$$

Ответ: $\approx 7{,}7\,Дж$.

Задача №4. С тремя молями идеального одноатомного газа совершен цикл, изображенный на рисунке. Температуры газа в различных состояниях равны: T_1 = 400 *К*, T_2 = 800 *К*, T_3 = 2400 *К* и T_4 = 1200 *К*. Найдите работу A газа за цикл.



Решение

Из рисунка видно, что на участках *1-2* и *3-4* реализуется прямая пропорциональная зависимость давления от температуры, т. е., как следует из закона Менделеева-Клапейрона, объем газа при этом не меняется, а значит, и работы газ не совершает. Необходимо, таким образом, найти работу газа лишь при изобарических процессах *2-3* и *4-1*. На участке *2-3* совершенная работа будет равна

$$A_{23}=P_2(V_3-V_2),$$

а на участке *4-1*

$$A_{41} = P_1(V_1 - V_4).$$

Полная работа A газа за цикл равна

$$A = P_2(V_3 - V_2) + P_1(V_1 - V_4).$$

Уравнение Менделеева-Клапейрона для 3 молей идеального газа записывается в виде

$$PV = 3RT,$$

и, следовательно,

$$P_1V_1 = 3RT_1,$$
$$P_1V_4 = 3RT_4,$$
$$P_2V_2 = 3RT_2,$$
$$P_2V_3 = P_3V_3 = 3RT_3.$$

Подставляя эти значения в выражение для работы, окончательно получаем

$$A = 3R(T_1 + T_3 - T_2 - T_4).$$
$$A = 3 \cdot 8{,}31(400 + 2400 - 800 - 1200) = 2 \cdot 10^4\ \text{Дж}.$$

Ответ: $2 \cdot 10^4\ \text{Дж}$.

Задача №5. Плоский конденсатор заполнен диэлектриком, проницаемость которого зависит от напряжения на конденсаторе по закону $\varepsilon = \alpha U$, где $\alpha = 1\ B^{-1}$. Параллельно этому «нелинейному» конденсатору, который не заряжен, подключают такой же конденсатор, но без диэлектрика, который заряжен до напряжения $U_0 = 156\ B$.

Определите напряжение U, которое установится на конденсаторах.

Решение

Емкость нелинейного конденсатора равна

$$C = \varepsilon C_0 = \alpha U C_0,$$

где C_0 - емкость конденсатора без диэлектрика.

На нелинейном конденсаторе заряд будет равен

$$q_H = CU = \alpha C_0 U^2.$$

А на обычном соответственно

$$q_0 = C_0 U.$$

Из закона сохранения заряда

$$q_H + q_0 = C_0 U_0$$

получаем искомое напряжение

$$U = \frac{\left(\sqrt{4\alpha U_0 + 1} - 1\right)}{2\alpha} = 12B.$$

Ответ: $12B$.