Шифр: 11-06

Всероссийская олимпиада школьников
Региональный этап
по физике
2019/2020
Ленинградская область

Район Всеволожский

Школа МОБУ „Сертоловская СОШ №1"

Класс 11

ФИО Лукьянов Александр Сергеевич

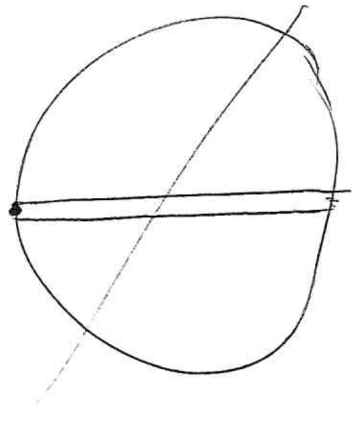
11.1.

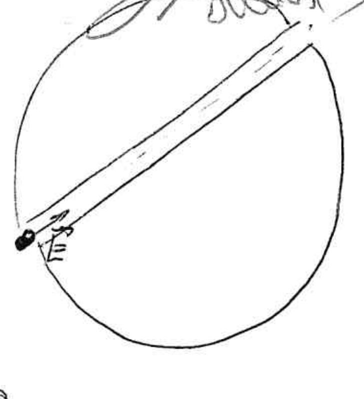
11-06 ①/④

1) Рассмотрим случай с одним шариком. Он должен быть с отрицательным зарядом, т.к. шар с положительным. Иначе шар оттолкнёт его.

1	2	3	4	5	Σ
10	0	0	1	4	15

0.5 S

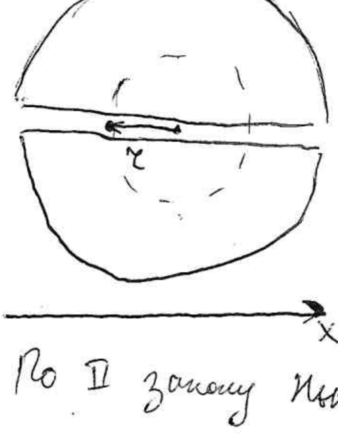




Добавлено 3 балла

По т. Гаусса: $ES = \frac{Q_{вн}}{\varepsilon_0}$.

Пусть шарик находится на расстоянии r от центра большого шара, тогда $Q_{вн} = \rho r^3$; $S = 4\pi r^2$.



$$ES = \frac{Q_{вн}}{\varepsilon_0} \qquad Q_{вн} = \rho \cdot V$$
$$Q_{вн} = \rho \frac{4}{3}\pi R^3$$
$$E \cdot 4\pi r^2 = \frac{\rho r^3}{\varepsilon_0} \Rightarrow E = \frac{\rho R}{3\varepsilon_0}$$
$$E = \frac{\rho r}{4\pi\varepsilon_0} \Rightarrow E_x = \frac{\rho x}{4\pi\varepsilon_0}.$$

По II закону Ньютона:

$m a_x = -qE_x$, где m — масса шарика; $-q$ — его заряд.

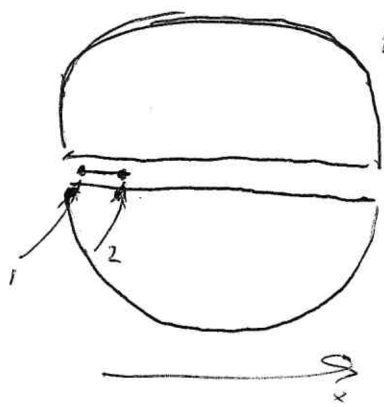
$$m\ddot{x} = -\frac{q\rho x}{4\pi\varepsilon_0}$$

$$\ddot{x} + \frac{q\rho}{4\pi\varepsilon_0 \cdot m} x = 0 \quad (2)$$ (диф. ур. гарм. колебаний)

Из ур-ия (2) следует, что период колебаний $T = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{q\rho}{4\pi\varepsilon_0 m}}}$,

шарик пролетел в одну сторону => $t_{ш} = \frac{T}{2} = \pi\sqrt{\frac{4\pi\varepsilon_0 m}{q\rho}}$

2) Рассмотрим случай с диполем.



Изначально на 1 шарик будет действовать бо́льшая по модулю сила, чем на 2, следовательно, она должна быть напр. к центру шара.
=> I шарик имеет заряд $-q$; II шарик - $+q$.

0,5б

Запишем теорему Гаусса для 1 и 2 шариков.
~~Для I~~ Пусть 2 шарик находится на расстоянии r от центра.

Для I:

$$E_1 \cdot S = \frac{\rho (r+l)^3}{\varepsilon_0}$$

$$E_1 \cdot 4\pi (r+l)^2 = \frac{\rho (r+l)^3}{\varepsilon_0}$$

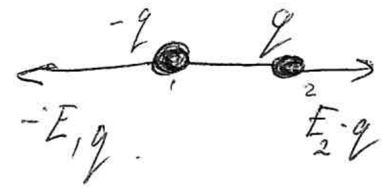
$$E_1 = \frac{\rho (r+l)}{4\pi\varepsilon_0}$$

Для II:

$$E_2 \cdot S = \frac{\rho r^3}{\varepsilon_0}$$

$$E_2 \cdot 4\pi r^2 = \frac{\rho r^3}{\varepsilon_0}$$

$$E_2 = \frac{\rho r}{4\pi\varepsilon_0}$$



$$m a_x = E_2 q - E_1 q$$

$$m a_x = \frac{\rho l}{4\pi\varepsilon_0} q$$

Данная формула работает, пока шарики не дошли до центра шара. После этого они за то же время дойдут до другого конца, замедляясь.

$$a = \frac{\rho l q}{4\pi\varepsilon_0 m}$$

$$\frac{a \left(\frac{t_g}{2}\right)^2}{2} = \frac{d}{2}. \qquad \left(\frac{t_g}{2}\right)^2 \frac{\rho l q}{4\pi\varepsilon_0 m} = \frac{d}{\cancel{2}} \qquad t_g = \sqrt{\frac{4\pi\varepsilon_0 m d}{\rho l q}} \cdot 2$$

$$t_g = 2\sqrt{\frac{4\pi\varepsilon_0 m \cdot \frac{d}{l}}{\rho q}}\ ? \qquad t_ш = \pi\sqrt{\frac{4\pi\varepsilon_0 m}{\rho q}}$$

2/4

11-06

$$t_g = 2\,\frac{t_ш}{\pi}\cdot\sqrt{\frac{d}{l}}.$$

$$t_g^2 = \frac{4}{\pi^2}\,t_ш^2\,\frac{d}{l}.$$

$$\frac{\pi^2 t_g^2}{4\,t_ш^2} = \frac{d}{l}.$$

$$\boxed{l = \left(\frac{t_ш}{t_g}\right)^2\cdot\frac{4}{\pi^2}\cdot d}$$ 1б

Ответ: $l \simeq 0{,}4\left(\frac{t_ш}{t_g}\right)^2\cdot d.$

11.3

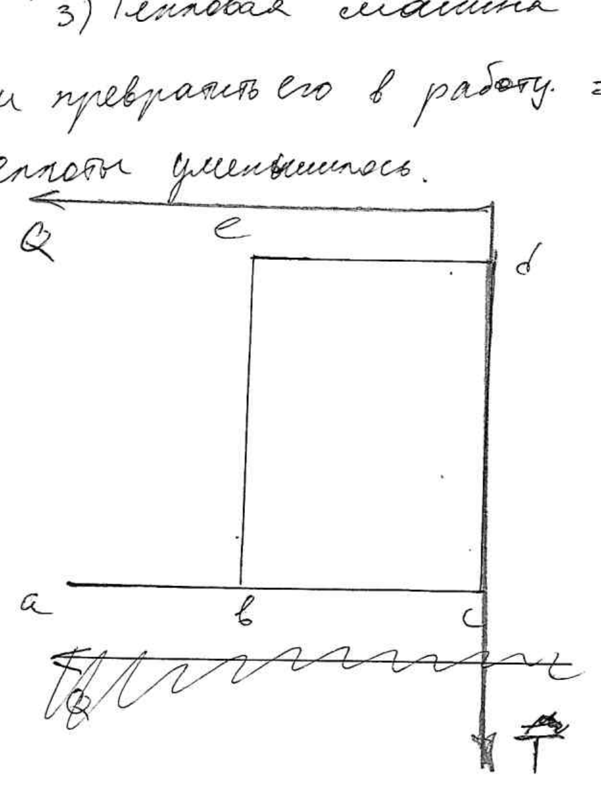
1) Процесс циклический и квазистатический => ~~Температура не могла измениться.~~ Значит конечная температура равна начальной.

2) Значит, ось Q направлена горизонтально, а ось T — вертикально.

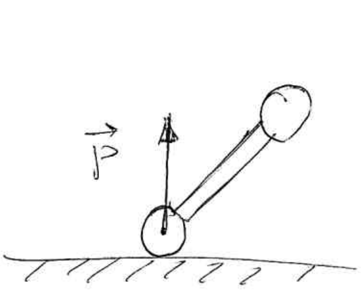
+2

3) Тепловая машина должна поглотить тепло и превратить его в работу. => кол-во подведённой теплоты уменьшилось.

4) Чтобы работа была положительной температура сперва должна уменьшиться, а затем увеличиться.

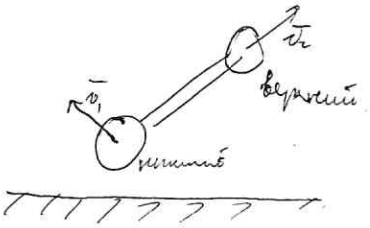


11.4



п.1) В момент падения „гантель" получила от пола импульс, направленный вертикально вверх.

п.2) Сразу после удара шарики приобрели скорости $\vec{v}_1$ и $\vec{v}_2$.
~~соот~~



п.3) Удар упругий $\Rightarrow$ ~~закон~~ по закону сохранения энергии

$$2\cdot\frac{mv_0^2}{2}=\frac{mv_1^2}{2}+\frac{mv_2^2}{2}$$

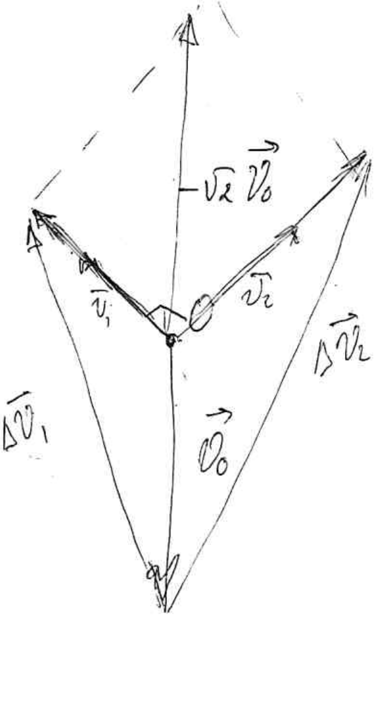
$$2\cancel{m}v_0^2=\cancel{m}v_1^2+\cancel{m}v_2^2$$

$$2v_0^2=v_1^2+v_2^2 \qquad (1)$$

4) Рассмотрим вектор $\vec{v}_0$. Отложим из точки O его и вектора $\vec{v}_1$ и $\vec{v}_2$. $\Delta\vec{v}_1$ – изменение скорости первого шарика,

$\Delta\vec{v}_2$ – второго.

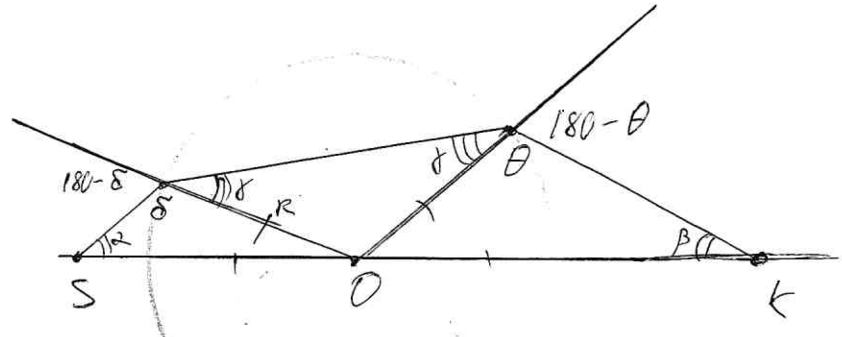
Т.к. $\vec{p}$ направлен вверх, то изменения скоростей будут в векторной сумме давать вектор, который противоположно направлен вектору $\vec{v}_0$, т.к. $\angle(\Delta\vec{v}_1+\Delta\vec{v}_2,\ \vec{v}_0)=180°$ $\Rightarrow$ $\vec{v}_1+\vec{v}_2$ тоже направлено противоположно вектору $\vec{v}_0$. А из п. 3 следует, что $|\vec{v}_1+\vec{v}_2|=\sqrt{2v_0^2}=v_0\sqrt{2}$



11.5

3/4

11-06



№1

1) Теорема синусов:

$$\frac{\sin\alpha}{R} = \frac{\sin\delta}{SO} \quad (1)$$

(1, 2) - 1

2) $\sin(180-\delta) = \sin\delta$

$$n = \frac{\sin\gamma}{\sin(180-\delta)}; \quad n = \frac{\sin\gamma}{\sin(180-\theta)} \Rightarrow \sin(180-\delta) = \sin(180-\theta)$$

(3) - 0

$$\sin\delta = \sin\theta$$

(4) - 1

3) $\frac{\sin\theta}{KO} = \frac{\sin\beta}{R}$ $\quad \frac{\sin\delta}{KO} = \frac{\sin\beta}{R} \ (2)$

(5) - 1

(6-8) - 0

(9) - 0

(9) - 1

4) Из (1) и (2) следует: $\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = \frac{KO}{SO}$.

$KO + SO = SK = \ell$

$~~SO~~ \ KO = \ell - SO$.

$$\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = \frac{\ell - SO}{SO}. \quad SO \cdot \sin\alpha = (\ell - SO)\sin\beta.$$

$$\boxed{SO = \ell \frac{\sin\beta}{\sin\alpha + \sin\beta}}$$

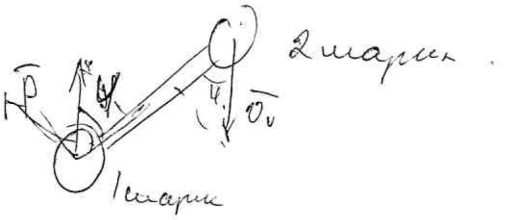
5) $~~\frac{R}{\sin\gamma} = 2R~~$ ~~по т. синусов.~~

$2\gamma = 360 - \alpha - \delta - \beta - \theta$. $\quad \gamma + \theta = 180 - \frac{\alpha+\beta}{2}$

$2\gamma = 360 - \alpha - \beta - 2\theta$ $\quad \sin(\gamma+\theta) = \sin\left(\frac{\alpha+\beta}{2}\right)$.

+1

5) Из этого следует, что $\vec{p} = -2m(\sqrt{2}+1)\vec{v_0}$



~~2 шарик стал~~

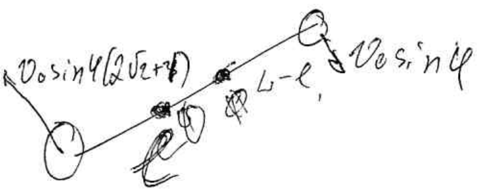
поступательное движение гантели вдоль стержня:

$2\cancel{m}v_{пост} = -2mv_0\cos\varphi + 2m(\sqrt{2}+1)v_0\cos\varphi$. $v_{пост} = v_0\cos\varphi\cdot\sqrt{2}$.

Перейдём в С.О., связанную с центром масс

Новая скорость второго шарика $v_0\sin\varphi$.

У I $- -v_0\sin\varphi + 2(\sqrt{2}+1)v_0\sin\varphi = v_0\sin\varphi(2\sqrt{2}+\cancel{1})$.



$$\frac{v_0\sin\varphi(2\sqrt{2}+1)}{l} = \frac{v_0\sin\varphi}{L-l}$$

$$2\sqrt{2}+1 = \frac{l}{L-l}$$

$$(2\sqrt{2}+1)L - (2\sqrt{2}+1)l = l$$

$$l = \frac{2\sqrt{2}+1}{2\sqrt{2}+2}L$$

$$\omega = \frac{v_0\sin\varphi(2\sqrt{2}+1)}{(2\sqrt{2}+1)L}(2\sqrt{2}+2) = 2(\sqrt{2}+1)\frac{v_0\sin\varphi}{L}$$

$$v_c = \sqrt{\left(\omega\frac{L}{2}\right)^2 + v_{пост}^2} = \sqrt{(\sqrt{2}+1)^2 v_0^2\sin^2\varphi + v_0^2\cos^2\varphi\cdot 2} =$$

$$= \sqrt{2v_0^2 + (2\sqrt{2}+1)v_0^2\sin^2\varphi}$$

11.5 прод.

11-06

$$\frac{\gamma}{\theta} = n.$$

$$\frac{\sin\gamma}{\sin\theta} = n. \qquad \sqrt{\frac{1-\cos^2\gamma}{1-\cos^2\theta}} = n.$$

$$1-\cos^2\gamma = n^2 - n^2\cos^2\theta$$

$$\cos\gamma = \sqrt{n^2\cos^2\theta - n^2 + 1}$$

$$\cancel{\sin(\gamma+\theta)} =$$

$$\sin(\gamma+\theta) = \sin\gamma\cos\theta + \cos\gamma\sin\theta = \sin\theta\left(\sqrt{n^2\cos^2\theta - n^2 + 1} + n\cos\theta\right) =$$

$$= \sin\left(\frac{\alpha+\beta}{2}\right) = \sin\theta\left(\sqrt{1 - n^2\sin^2\theta + 1} + n\cos\theta\right).$$

$$\sin((n+1)\theta) = \sin\left(\frac{\alpha+\beta}{2}\right).$$

$$(n+1)\theta \qquad R =$$

№2

$$SO = 0{,}1\text{ м} \cdot \frac{\frac{1}{2}}{\frac{\sqrt{3}}{2} + \frac{1}{2}} = 0{,}037\text{ м} \simeq 3{,}7\text{ см}.$$

Ответ: $SO = 3{,}7$ см.

11.2.

$$F = 2BIl$$

$$l = (L - x\pi)$$

$$2BI(L - x\pi)$$

$$F = ma$$

$$m\ddot{x} = 2BI(L - x\pi)$$

$$m\frac{d^2x}{L - x\pi} = 2BI\,dt^2$$

$$-\pi m \ln(L - x\pi) = 2BI\,t\,dt + C\ldots$$

$$\frac{dx}{dt} = \frac{2BIl}{-\pi m \ln(L - x\pi)} + C$$

$$v = \frac{2BIl}{-\pi m \ln(L - x\pi)} \neq \frac{2BIl}{-\pi m \ln(L - x_0\pi)}$$

$$v' = 0.$$

... 0