0 498210 180009

49-82-10-18
(5.11)

1755

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М.В.ЛОМОНОСОВА

Вариант 3

Место проведения Москва
город

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Олимпиада школьников Ломоносов
наменование олимпиады

по физике
профиль олимпиады

Казарина Георгия Михайловича
фамилия, имя, отчество участника (в родительном падеже)

выход 15:02 ~~Кон~~
вход 15:06 ~~Кон~~
смена ручки

Дата
«9» февраля 2024 года

Подпись участника

Чистовик

№ 2.5.3.

При погружении трубки в воду часть насыщенных паров конденсируется, давление оставшихся по-прежнему $p_{нас}$. Давление воздуха в трубке изменилось по закону Бойля-Мариотта: +

$$p_{в0} S l = p_в S\left(\frac{l}{2}+h\right),$$ где $p_{в0}$ – начальное давл. воздуха, $p_в$ – конечное, S – площадь поперечного сечения.

Изначально давление в трубке равнялось давлению на границе раздела атмосферы и воды, то есть, p_0:

$$p_{в0}+p_{нас}=p_0 \Rightarrow p_{в0}=p_0-p_{нас} \quad +$$

$$p_в = p_{в0}\frac{l}{\frac{l}{2}+h} = (p_0-p_{нас})\frac{l}{\frac{l}{2}+h}. \quad +$$

После опускания давление в трубке равно давлению в воде на глубине h:

$$p_в + p_{нас} = \rho_0 g h + p_0$$

$$(p_0-p_{нас})\frac{l}{\frac{l}{2}+h} + p_{нас} = \rho_0 g h + p_0$$

$$(p_0-p_{нас})\,l + p_{нас}\left(\frac{l}{2}+h\right) = \rho_0 g h\left(\frac{l}{2}+h\right) + p_0\left(\frac{l}{2}+h\right)$$

$$l\left(\frac{p_0-p_{нас}-\rho_0 g h}{2}\right) = h\left(\rho_0 g h + p_0 - p_{нас}\right) \quad +$$

$$l = \frac{2h\left(\rho_0 g h + p_0 - p_{нас}\right)}{p_0-p_{нас}-\rho_0 g h} = 1 \text{ м.} \quad +$$

Ответ: 1 м.

1	2	3	4	5	W
10	20	18	20	13	81

Кузнецов, Потапкин, Щербаков А.А., Бушина, Ваал...

восемьдесят один

Чистовик

№ 3.10.3 1Б

Пусть: φ_1 – потенциал на шаре внутри сферы
φ_2 – потенциал на другом шаре
φ_0 – потенциал на сфере (оболочке)
q_0 – заряд на оболочке.

Оболочка заземлена $\Rightarrow \varphi_0 = 0$ ✓

Шары соединены проволокой $\Rightarrow \varphi_1 = \varphi_2$ ✓ 2Б

$$\begin{cases} \varphi_1 = k\dfrac{q_1}{r} + k\dfrac{q_0}{R} \\ \varphi_2 = k\dfrac{q_2}{r} \\ \varphi_0 = k\dfrac{q_0}{R} + k\dfrac{q_1}{R} = 0 \Rightarrow q_0 = -q_1 \end{cases}$$

4Б 4Б

$$k\frac{q_2}{r} = k\frac{q_1}{r} - k\frac{q_1}{R}$$

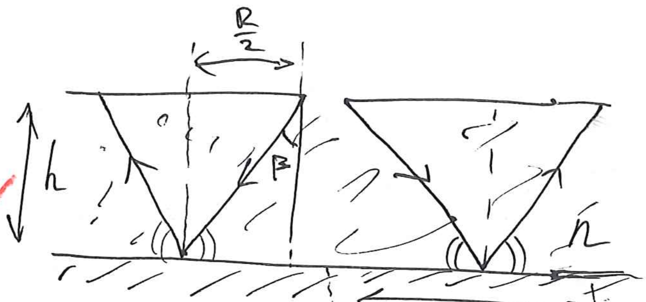
5Б

$$q_2 = q_1 - q_1\frac{r}{R} = \frac{1}{3}q_1 = 2\cdot 10^{-10}\ \text{Кл}$$

Ответ: $2\cdot 10^{-10}$ Кл 2Б

Σ 18Б

№ 4.10.3



Максимальное отклонение от вертикали будет иметь луч, пришедший на границу раздела воды и воздуха практически горизонтально. Его угол падения $\simeq 90°$, а угол преломления ~~β: $\sin\beta = \frac{\sin 90°}{n}$~~ β: ✓

$$\sin\beta = \frac{\sin 90°}{n} = \frac{1}{n} \Rightarrow n = \frac{1}{\sin\beta}.$$ ✓

$\operatorname{tg}\beta = \dfrac{R}{2h}$. Из основного тригоном. тождества:

$$\operatorname{ctg}^2\beta + 1 = \frac{1}{\sin^2\beta} \Rightarrow \sin^2\beta = \frac{1}{\frac{4h^2}{R^2}+1} = \frac{R^2}{4h^2+R^2} = \frac{64}{128} = \frac{1}{2}$$

$$\sin\beta = \frac{1}{\sqrt{2}} \Rightarrow n = \frac{1}{\sin\beta} = \sqrt{2}$$ ✓

Ответ: $\sqrt{2}$.

20 баллов

49-82-10-18
(5.11)

№ 5.4.3 Чистовик

Период колебаний $T = 2\pi\sqrt{LC}$ +

Когда ток максимален, напряжения на катушке нет $\left(\frac{dI}{dt} = 0\right)$. Тогда ток в цепи $I = \frac{U}{R}$ (по Кирхгофу $U = IR$)

$$Q = \frac{U^2}{R} T = \frac{U^2}{R} \cdot 2\pi\sqrt{LC} \Rightarrow$$

13

$$\Rightarrow L = \frac{Q^2 R^2}{\cancel{4\pi^2} U^4 C} = \cancel{0{,}1 \text{ Гн}}$$

Ответ: 0,1 Гн.

№ 1.4.3.

Запишем второе закон Ньютона для ~~тел~~ спутников:

$$\begin{cases} m_1 \omega_1^2 R_1 = G\frac{Mm_1}{R_1^2} \\ m_2 \omega_2^2 R_2 = G\frac{Mm_2}{R_2^2} \end{cases} \quad \omega_1 = \sqrt{G\frac{M}{R_1^3}}$$ (угл. скорость отн. Земли)

$$\omega_2 = \sqrt{\frac{GM}{R_2^3}}$$

$$T_1 = \frac{2\pi}{\omega_1} = 2\pi\sqrt{\frac{R_1^3}{GM}} \qquad T_2 = 2\pi\sqrt{\frac{R_2^3}{GM}}$$

Перейдём в систему отсчета спутника с радиусом орбиты R_2: в ней Земля вращается с угловой скоростью ω_2, а другой спутник: $\frac{\omega_1 R_1}{R_1 + R_2}$

За время τ другой спутник должен пройти больше Земли на её угловой размер $\varphi = \frac{2r}{R_2}$

$$\left(\frac{\omega_1 R_1}{R_1 + R_2} - \omega_2\right)\tau = \frac{2r}{R_2}$$

$$\left(\frac{\sqrt{GM}}{\sqrt{R_1}(R_1+R_2)} - \sqrt{\frac{GM}{R_2^3}}\right)\tau = \frac{2r}{R_2}$$

$$\tau = \frac{2r}{R_2\left(\frac{1}{\sqrt{R_1}(R_1+R_2)} - \frac{1}{\sqrt{R_2^3}}\right)\sqrt{GM}} \simeq 2 \text{ ч}$$

Черновик

$\omega_1 = \frac{v_1}{R_1} \quad \frac{v_1}{R_2+R_1} = \;= \frac{\omega_1 R_1}{R_2+R_1}$

$\varphi R_2 = 2r \Rightarrow \varphi = \frac{2r}{R_2}$

R_1

$\Delta\omega = \frac{\omega_1 R_1}{R_2+R_1} - \omega_2$

$m\omega_1^2 R_1 = G\frac{Mm}{R_1^2}$

$\omega_1 = \sqrt{G\frac{M}{R_1^3}} \qquad \omega_2 = \sqrt{G\frac{M}{R_2^3}}$

~~$t = \frac{\varphi}{\omega_1} = \frac{2r}{R_2}\cdot\sqrt{\frac{R_1^3}{GM}} =$~~

$t = \frac{\varphi}{\Delta\omega}$

$\times\begin{array}{r}6{,}4\\6{,}4\end{array}$ $\quad \begin{array}{r}256\\384\\\hline 40{,}96\end{array}$

$\times\begin{array}{r}40{,}96\\6{,}4\end{array}$ $\quad \begin{array}{r}16384\\24576\\\hline 262{,}144\end{array}$

$\times\begin{array}{r}67\\6\\\hline 40{,}2\end{array}$

$\frac{\omega_1 R_1 - \omega_2(R_1+R_2)}{R_2+R_1}$

$\omega_1 R_1 = \sqrt{G\frac{M}{R_1}} \qquad \omega_2 R_1 = \sqrt{G\frac{MR_1^2}{R_2^3}}$

$\omega_2 R_2 = \sqrt{G\frac{M}{R_2}}$

$\frac{2r(R_1+R_2)}{R_2(\omega_1 R_1 - \omega_2(R_1+R_2))} = \frac{2r}{R_2\sqrt{GM}} \cdot \frac{R_1+R_2}{\frac{1}{\sqrt{R_1}} - \frac{R_1}{\sqrt{R_2^3}} - \frac{1}{\sqrt{R_2}}}$

Черновик №5

$$L\frac{U_0^2}{R^2}+CU_0^2=L\frac{U_1}{R^2}+\frac{CU_1^2}{}+2Q$$

$$L\frac{U_0^2-U_1^2}{R^2}+C(U_0^2-U_1^2)=2Q$$

$$(U_0^2-U_1^2)\left(\frac{L}{R^2}+C\right)=2Q$$

$$U_1=U_0-\Delta U$$

$$\cancel{U_0^2}-\cancel{U_0^2}+2U_0\Delta U-\cancel{\Delta U^2}=2U_0\Delta U$$

$$\frac{Q}{4}=\int I^2 R\,dt=R\int I^2\,dt=R\frac{T}{4}\int I^2=$$

$$I=\frac{\frac{q}{C}-L\dot{I}}{R}$$

$$T=2\pi\sqrt{LC}$$

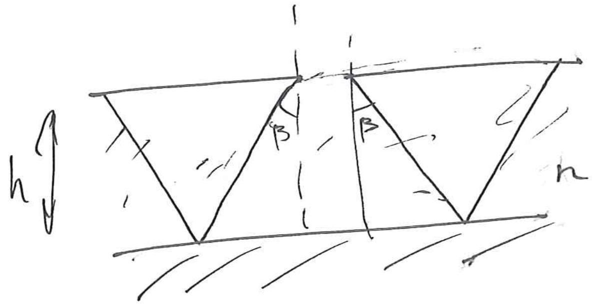
$$=$$

$$Q=\frac{U^2}{R}T=\frac{U^2}{R}2\pi\sqrt{LC}$$

$$L=\frac{Q^2R^2}{4\pi^2U^4C}=\frac{(31{,}4\cdot 10^{-3})^2}{4\cdot 3{,}14^2}\cdot\frac{0{,}4^2\ 0{,}04}{1^4\cdot 40\cdot 10^{-6}}=$$

$$\frac{100\cdot 0{,}04\cdot 0{,}4}{4\cdot 40}=0{,}1\ Гн$$

Черновик



$$\operatorname{tg}\beta = \frac{R}{2h}$$

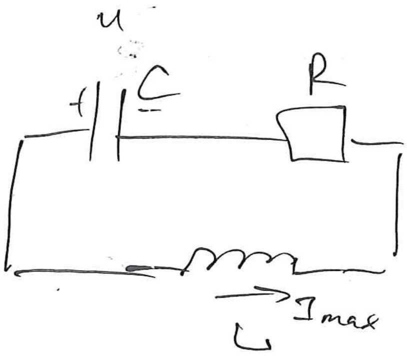
$$1 \cdot 1 = n \cdot \sin\beta$$

$$1 + \operatorname{ctg}^2\beta = \frac{1}{\sin^2\beta}$$

$$n = \frac{1}{\sin\beta}$$

$$\sin^2\beta = \frac{1}{1 + \frac{4h^2}{R^2}} = \frac{R^2}{R^2 + 4h^2} = \frac{64}{64 + 4\cdot 16} = \frac{64}{128} = \frac{1}{2}$$

$$\sin\beta = \frac{1}{\sqrt{2}} \Rightarrow n = \frac{1}{\sin\beta} = \sqrt{2}.$$



Q

L – ?

$$U_L = 0$$

$$U = IR \Rightarrow I = \frac{U}{R}$$

$$I_0 = \frac{U}{R}$$

$$W = \frac{CU^2}{2} + \frac{LU^2}{2R^2}$$

$$Q_1 = \frac{\Delta W}{W} = \frac{Q}{W}$$

$$\cancel{\frac{q}{C} + L\dot{I} = IR}$$

$$\cancel{\ddot{q} = \frac{\dot{q}R + \frac{q}{C}}{L}}.$$

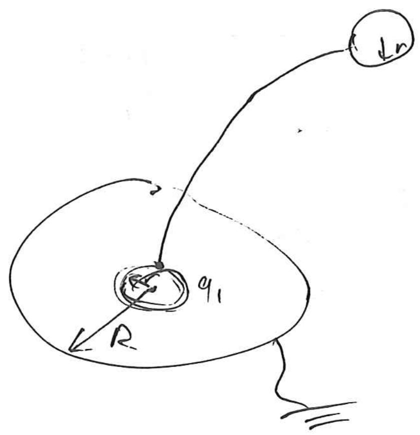
$$\frac{LI_0^2}{2} + \frac{CU_0^2}{2} = \frac{LI_1^2}{2} + \frac{CU_1^2}{2} + Q$$

Черновик

$$2\cdot 0{,}45\cdot \frac{10^3\cdot 10\cdot 0{,}45+10^5-14{,}5\cdot 10^3}{10^5-14{,}5\cdot 10^3-10^3\cdot 10\cdot 0{,}45} =$$

$$= 0{,}9\cdot\frac{4500+10^5-14500}{10^5-14500-4500}=$$

$$= 0{,}9\cdot \frac{104500-14500}{100000-19000} = \frac{9}{10}\cdot\frac{90}{81} = 1\text{н}$$



$\varphi_1=\varphi_2$

$\varphi_0=0$

$\varphi_2 = k\frac{q_2}{r}$

$\varphi_1 = k\frac{q_0}{R}+k\frac{q_1}{r} = k\frac{q_2}{r}$

$\varphi_0 = \frac{kq_0}{R}+k\frac{q_1}{R}=0 \Rightarrow q_0=-q_1$

$\frac{q_2}{r}=\frac{q_1}{r}-\frac{q_1}{R}$

$$q_2 = q_1 - q_1\frac{r}{R} = q_1\left(1-\frac{r}{R}\right) = 6\cdot10^{-10}\text{Кл}\cdot\left(1-\frac{2}{3}\right) =$$

$$= 2\cdot 10^{-10}\text{Кл}$$

Черновик

$$\pi R_1^2 \frac{\tau}{T_1} = \frac{1}{2} R_1^2 \varphi_1$$

$$T = 2\pi R \sqrt{\frac{R}{GM}}$$

$$\pi \cancel{R_2^2} \frac{\tau}{T_2} = \frac{1}{2} \cancel{R_2^2} \varphi_2$$

$$\frac{\varphi_1}{\varphi_2} = \frac{R_2\sqrt{R_2}}{R_1\sqrt{R_1}}$$

$$\cancel{\pi}\tau \cdot \frac{\sqrt{GM}}{\cancel{2\pi R_1\sqrt{R_1}}} = \frac{1}{\cancel{2}} \varphi_2 \cdot \frac{R_2\sqrt{R_2}}{\cancel{R_1\sqrt{R_1}}}$$

$$\pi R_1^2 \frac{\tau}{T_1}$$

$$\tau = \frac{R_2\sqrt{R_2}}{\sqrt{GM}} \varphi_2$$

$$\cancel{\pi}\tau \frac{\sqrt{GM}}{2\pi R_2\sqrt{R_2}} = \frac{1}{\cancel{2}} \varphi_2$$

$$\varphi_2 = 2\pi \cdot \frac{\tau}{T_2}$$

$$p_{в0} = p_0 - p_{нас}$$

$$p_{в0} S l = p_в \left(\frac{l}{2} + h\right) S \Rightarrow p_в = \frac{(p_0 - p_{нас}) l}{\left(\frac{l}{2} + h\right)}$$

$$p_в + p_{нас} = \rho_0 g h + p_0$$

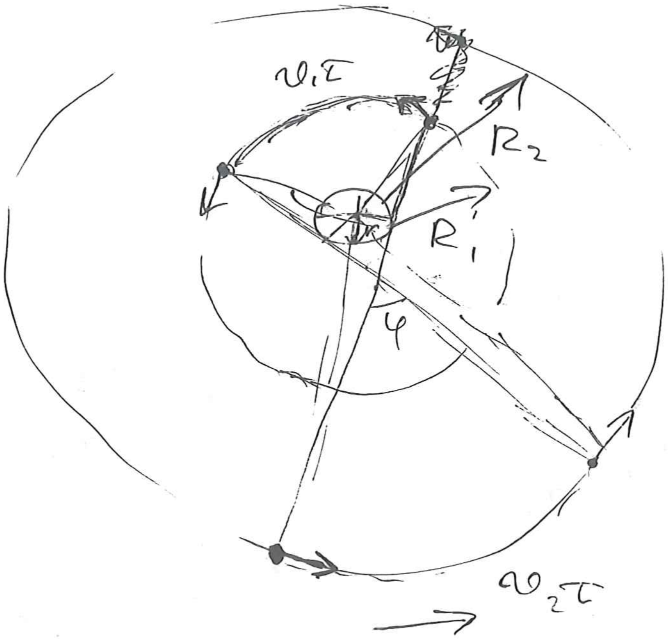
$$\frac{(p_0 - p_{нас}) l}{\frac{l}{2} + h} + p_{нас} = \rho_0 g h + p_0$$

$$(p_0 - p_{нас}) l + p_{нас} \frac{l}{2} + p_{нас} h = \rho_0 g h \frac{l}{2} + \rho_0 g h^2 + p_0 \frac{l}{2} + p_0 h$$

$$l\left(p_0 - p_{нас} + \frac{p_{нас}}{2} - \frac{\rho_0 g h}{2} - \frac{p_0}{2}\right) = \rho_0 g h^2 + p_0 h - p_{нас} h$$

$$l = \frac{h(\rho_0 g h + p_0 - p_{нас})}{\left(\frac{p_0 - p_{нас} - \rho_0 g h}{2}\right)} = 2h \cdot \frac{\rho_0 g h + p_0 - p_{нас}}{p_0 - p_{нас} - \rho_0 g h}$$

Черновик



$$m\frac{v^2}{R} = G\frac{Mm}{R^2}$$

$$v = \sqrt{G\frac{M}{R}}$$

$$T = \frac{2\pi R}{v} = 2\pi R\sqrt{\frac{R}{GM}}$$

$$\omega_1 > \omega_2$$

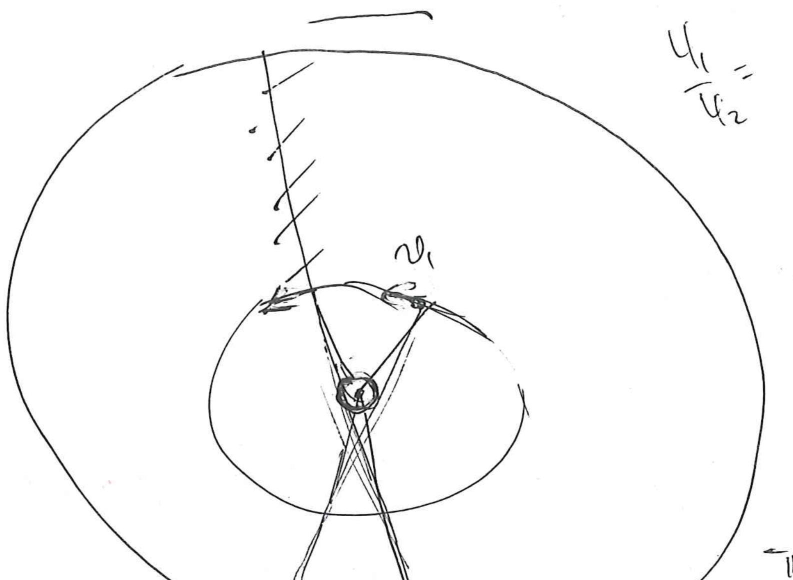
$$\omega = \frac{v}{R} = \frac{1}{R}\sqrt{\frac{GM}{R}}$$

$$\varphi_1 = \omega_1\tau$$

$$\varphi_2 = \omega_2\tau$$

$$\frac{\varphi_1}{\varphi_2} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{R_2\sqrt{R_2}}{R_1\sqrt{R_1}}$$

$$\frac{\varphi_1}{\varphi_2} =$$



$$\omega_1\tau = \varphi_1 = \frac{v_1\tau}{R_1}$$

$$\varphi_2 = \omega_2\tau = \frac{v_2}{R_2}\tau$$

$$\pi R_1^2\frac{\tau}{T_1} = \frac{1}{2}R_1^2\varphi_1$$

$$\pi R_2^2\frac{\tau}{T_2} = \frac{1}{2}R_2^2\varphi_2$$