0 538422 580003

53-84-22-58
(4.9)

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ имени М.В.ЛОМОНОСОВА

Вариант №2 11 класс

Место проведения Москва
город

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Олимпиада школьников Ломоносов
наменование олимпиады

по физике
профиль олимпиады

Цуканова Андрея Валентиновича
фамилия, имя, отчество участника (в родительном падеже)

Дата

«09» февраля 2024 года

Подпись участника

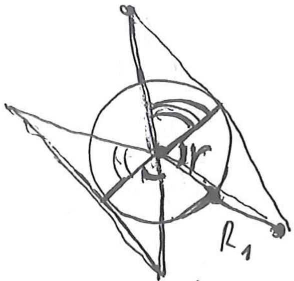
ЦАВ

53-84-22-58
(4.9)

1	2	3	4	5	Σ
20	20	20	20	20	100

Шамшин Полсмаков (Орлов) Затов СТО

Черновик



$\frac{V_1^2}{R_1+r}=g$

$\frac{V_2^2}{R_2+r}=g$

$w_1=\sqrt{\frac{g}{R_1+r}}$

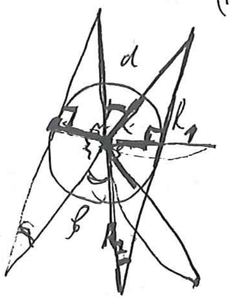
$w_2=\sqrt{\frac{g}{R_2+r}}$

$mg=\frac{GMm}{r^2}$ $\quad g_1=g\frac{\cancel{GM}r^2}{(r+R_1)^2}$, $\quad g_2=g\frac{\cancel{GM}r^2}{(r+R_2)^2}$

$\frac{mw_1^2}{R_1+r}=\frac{mg\cdot r^2}{(R_1+r)^2}$ $\quad w_1=\sqrt{\frac{gr^2}{R_1+r}}$ $\quad w_2=\sqrt{\frac{gr^2}{R_1+}}$

$mw_1^2(R_1+r)=\frac{mg\,r^2}{(R_1+r)^2}$ $\quad w_1=\sqrt{\frac{gr^2}{(R_1+r)^3}}$

64×24: 256, 128, 1536 — 1536



$\frac{\pi}{2}-\frac{r}{R_1}+\frac{\pi}{2}-\frac{r}{R_1}+\frac{\pi}{2}-\frac{r}{R_2}+\frac{\pi}{2}-\frac{r}{R_2}$

164×16: 984, 164, 2624

$\alpha+\beta=\frac{2r}{R_1}+\frac{2r}{R_2}$

$mW_1^2\cdot R_1=\frac{mg\cdot r^2}{R_1^2}$

$$\boxed{\begin{aligned} w_1&=\sqrt{\frac{gr^2}{R_1^3}}=\frac{r}{R_1}\cdot\sqrt{\frac{g}{R_1}}\\ w_2&=\sqrt{\frac{gr^2}{R_2^3}}=\frac{r}{R_2}\cdot\sqrt{\frac{g}{R_2}}\end{aligned}}\ \checkmark$$

$\frac{w_1}{w_2}=\left(\frac{R_2}{R_1}\right)^{\frac{3}{2}}$

$(w_1+w_2)\cdot\tau=\alpha+\beta$ $\quad w_1+w_2=\frac{r}{R_1}\cdot\sqrt{\frac{g}{R_1}}+\frac{r}{R_2}\cdot\sqrt{\frac{g}{R_2}}=\frac{r\,R_2\sqrt{\frac{g}{R_1}}}{R_1R_2}+\frac{r\,R_1\sqrt{\frac{g}{R_2}}}{R_2R_1}$

$\tau=\frac{2r(R_1+R_2)}{R_1R_2}:\cancel{\frac{r(R_1+R_2)}{R_1R_2}}$

$\tau=\frac{2r(R_1+R_2)}{R_1R_2}:(w_1+w_2)=\frac{2(R_1+R_2)}{R_2\sqrt{\frac{g}{R_1}}+R_1\sqrt{\frac{g}{R_2}}}=\frac{2(R_1+R_2)\sqrt{R_1R_2}}{R_2\sqrt{gR_2}+R_1\sqrt{gR_1}}=$

$=\frac{2\cdot(64\cdot10^6+10^8)\cdot\sqrt{64\cdot10^6\cdot10^8}}{64\cdot10^6\cdot\sqrt{9\cdot64\cdot10^6}+10^8\cdot\sqrt{9\cdot10^8}}=\frac{2\cdot164\cdot8\cdot10^7}{64\cdot3\cdot8\cdot10^3+100\cdot3\cdot10^4}=$

$=\frac{2\cdot8\cdot164\cdot10^4}{64\cdot3\cdot8+100\cdot3}=\frac{2624\cdot10^4}{4536}\approx5{,}8\cdot10^3$ с

64×24: 256, 128, 1536

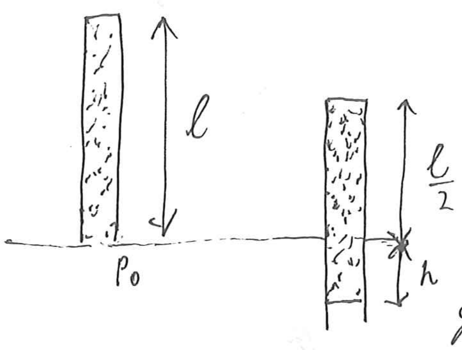
164×16: 984, 164, 2624

26240 | 4540; 22700 | 5,8; 35400

Чистовик №1

Задача №2.5.2

Уравнение МК для воздуха: $PV = \nu RT \Rightarrow P = \frac{\nu RT}{V}$



Вначале: введем параметры
S – площадь сечения
ν – кол-во воздуха
T – температура, тогда
в первой ситуации парциальное давление пара и газа в сумме равно P_0, т.е. $P_0 = P_{нас} + \frac{\nu RT}{lS}$ (1). После погружения давление в трубке станет равным $P_0 + \rho_0 g h \Rightarrow$ давление (сумма давлений) пара и воздуха равно $P_0 + \rho g h$, при этом, т.к. $T = const$, а пар остался насыщенным, то $P_{пара} = P_{нас} \Rightarrow P_0 + \rho_0 g h = P_{нас} + \frac{\nu RT}{S\cdot(\frac{l}{2}+h)}$ (2).

$$\begin{cases} P_0 - P_{нас} = \frac{\nu RT}{lS} \\ P_0 - P_{нас} + \rho_0 g h = \frac{\nu RT}{S(\frac{l}{2}+h)} \end{cases}$$

(2):(1):

$$\frac{P_0 - P_{нас} + \rho_0 g h}{P_0 - P_{нас}} = \frac{l}{h + \frac{l}{2}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow P_0\left(h+\frac{l}{2}\right) - P_{нас}\left(h+\frac{l}{2}\right) + \rho_0 g h\left(h+\frac{l}{2}\right) = P_0 \cdot l - P_{нас} \cdot l$$

$$P_0 \cdot \left(\frac{l}{2} - h\right) = P_{нас}\left(\frac{l}{2} - h\right) + \rho_0 g h\left(h + \frac{l}{2}\right)$$

$$P_0 = P_{нас} + \rho_0 g h \cdot \frac{\frac{l}{2}+h}{\frac{l}{2}-h} = P_{нас} + \rho g h \cdot \frac{l+2h}{l-2h}$$

$$P_0 = 14500 + 1000 \cdot 10 \cdot 0{,}45 \cdot 19 = 14500 + 85500 = 10^5 \text{ Па}$$

Ответ: 10^5 Па

53-84-22-58
(4.9)

Чистовик №2

Задача 3.10.2

Пусть на сфере установился заряд Q. По условию $\varphi_{сферы} = 0$, т.к. она заземлена ⇒ (потенциалом шара 2 можно пренебречь, т.к. он очень далеко), что $\varphi_{сферы} = \frac{kQ}{R} + \frac{kq_1}{R} = 0$ ⇒ $Q = -q_1$. Если шары соединены, то их потенциалы равны ⇒ $\varphi_1 = \varphi_2$, $\varphi_1 = \frac{kq_1}{r} + \frac{kQ}{R}$, $\varphi_2 = \frac{kq_2}{r}$, где r - радиус шаров

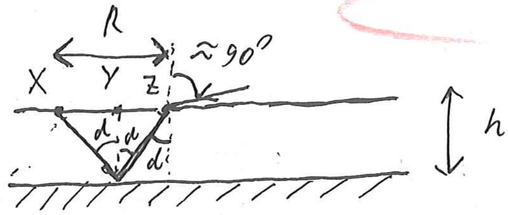
Итак, $\frac{kq_1}{r} + \frac{kQ}{R} = \frac{kq_1}{r} - \frac{kq_1}{R} = \frac{kq_2}{r} \Rightarrow \frac{1}{r}(q_1 - q_2) = \frac{q_1}{R}$

$\Rightarrow r = R \cdot \frac{q_1 - q_2}{q_1}$. Из этой формулы ⇒, что $q_1 > q_2$.

$r = 3 \cdot \frac{5}{7,5} = 2$ см

Ответ: 2 см

Задача 4.10.2



чем больше угол падения луча, тем больше угол преломления, тем больше угол падения на зеркало, тем больше угол отражения от зеркала (+ дальше падение на зеркало), тем дальше уйдет на экран. Таким образом, лучи пущенные в точку под углом ≈90° по закону Снелла ($n \sin\alpha = 1 \cdot \sin 90$) преломляются под углом α: $\sin\alpha = \frac{1}{n}$. Потом эти лучи отразятся от зеркала и дадут изображение на расстоянии R от точки (промежуточные лучи будут падать на расстоянии от 0 до R от точки).

Чистовик №3

Продолжение №4.10.2.

После преломления угол падения на зеркало равен углу преломления, равен углу отражения (3 угла α на чертеже) $\Rightarrow$ $R = 2h \cdot tg\alpha = XY + YZ$ (см чертеж).

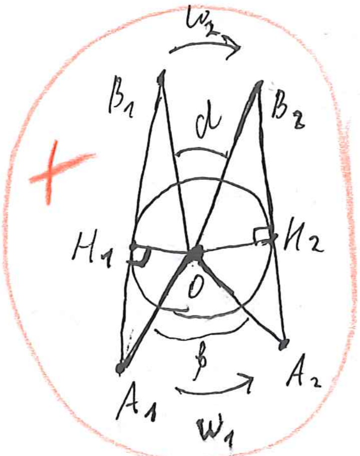
$\sin\alpha = \frac{1}{n} \Rightarrow tg\alpha = \frac{1/n}{\sqrt{1-\frac{1}{n^2}}} = \frac{1}{\sqrt{n^2-1}} \Rightarrow h = \frac{R}{2tg\alpha} =$

$= \frac{R}{2} \cdot \sqrt{n^2-1} = 4 \cdot \sqrt{1,25} \approx 4,4$ см

Ответ: $h \approx 4,4$ см

Задача №1.4.2

Пусть радиус планеты r, тогда $g = \frac{GM}{r^2}$, M - масса планеты.
Если тело удалено на расстояние R от центра планеты, то $g(R) = \frac{GM}{R^2} = g \cdot \frac{r^2}{R^2}$. Таким образом, если спутник вращается на орбите R_1 с угловой скоростью ω_1, то его центростремительное ускорение равно
$\omega_1^2 R_1 = g \cdot \frac{r^2}{R_1^2} \Rightarrow \omega_1 = \frac{r}{R_1} \cdot \sqrt{\frac{g}{R_1}}$. Аналогично $\omega_2 = \frac{r}{R_2}\sqrt{\frac{g}{R_2}}$.



Пусть на чертеже A_1B_1 - крайняя ситуация видимости, затем B_1 по часовой стрелке перешло в B_2, A_1 против часовой перешло в A_2. т.к. это крайние положения, то A_1B_1 и A_2B_2 - касательные. Пусть A_1B_1 касается в H_1, A_2B_2 - в H_2, тогда

Из чертежа $OA_1 = OA_2 = R_1$, $OB_1 = OB_2 = R_2$, $OH_1 = OH_2 = r$, получаем, что $\angle H_1A_1O = \angle OA_2H_2 = \arcsin\frac{r}{R_1} \approx \frac{r}{R_1}$, $\angle H_1B_1O = \angle H_2B_2O =$
$= \arcsin\frac{r}{R_2} \approx \frac{r}{R_2}$ (считаем $\frac{r}{R_1}$ и $\frac{r}{R_2}$ малыми)

Чистовик №4

Продолжение №1.4.2

Из подсчета углов получаем, что $\angle B_1OB_2 = \alpha$, $\angle A_1OA_2 = \beta$,

$\alpha + \beta = \angle H_1A_1O + \angle H_2A_2O + \angle H_1B_1O + \angle H_2B_2O \approx \frac{2r}{R_1} + \frac{2r}{R_2}$,

$\alpha + \beta = \frac{2r(R_1+R_2)}{R_1 \cdot R_2}$. За время T корабли суммарно преодолевают угол $\alpha + \beta \Rightarrow T = \frac{\alpha+\beta}{w_1+w_2}$.

$$w_1 + w_2 = \frac{v}{R_1}\sqrt{\frac{g}{R_1}} + \frac{v}{R_2}\cdot\sqrt{\frac{g}{R_2}} = \frac{v}{R_1R_2}\cdot\left(R_2\cdot\sqrt{\frac{g}{R_1}} + R_1\cdot\sqrt{\frac{g}{R_2}}\right) \Rightarrow$$

$$\frac{\alpha+\beta}{w_1+w_2} = \frac{2(R_1+R_2)}{R_2\sqrt{\frac{g}{R_1}} + R_1\sqrt{\frac{g}{R_2}}} = \frac{2(R_1+R_2)\sqrt{R_1R_2}}{R_2\cdot\sqrt{gR_2} + R_1\sqrt{gR_1}} = T.$$ +

$$T = \frac{2\cdot(64\cdot 10^6 + 10^8)\cdot\sqrt{64\cdot 10^6\cdot 10^8}}{10^8\cdot\sqrt{9\cdot 10^8} + 64\cdot 10^6\cdot\sqrt{9\cdot 64\cdot 10^6}} = \frac{2\cdot 164\cdot 8\cdot 10^7}{100\cdot 3\cdot 10^4 + 64\cdot 3\cdot 8\cdot 10^3} =$$

$$= \frac{16\cdot 164\cdot 10^4}{3000 + 64\cdot 24} = \frac{2624\cdot 10^4}{4536} \approx 5{,}8\cdot 10^3 c$$

Ответ: $\approx 5{,}8\cdot 10^3 c$ +

Задача №5.4.2

В любой момент времени выполнено 2 правило Кирхгофа, $\frac{q}{c} + \dot{q}R + L\ddot{q} = 0 \Rightarrow$ если ток достиг макс. то $L\ddot{q} = 0 \Rightarrow \left|\frac{q}{c}\right| = U_0 = |I_0 \cdot R|$, где I_0 локальное макс значение силы тока

(производная от силы тока по времени 0)

Начальная энергия катушки $\frac{L\left(\frac{U_0}{R}\right)^2}{2}$. В любой момент времени выполнено $P = I^2R$ и $W_k = \frac{LI^2}{2}$ ← W катушки $\Rightarrow$

$P = \frac{2R}{L}\cdot W_k$. т.к. затухания слабозатухающие, их можно считать примерно гармоническими

$$\Rightarrow W_k \approx \frac{LI_0^2}{2}\cdot\cos^2(wt) = \frac{L(U_0/R)^2}{2}\cdot\cos^2(wt).$$

Чистовик №5

Итак $P = \frac{2RL}{L} \frac{(U/R)^2}{2} \cos^2(wt)$, за малое dt тепло на резисторе равно $Pdt = R\cdot(U_0/R)^2 \cdot \cos^2(wt)\,dt = dQ$

(где $w = \frac{1}{\sqrt{LC}}$). $dQ = Pdt = \frac{U_0^2}{R}\cdot\left(\frac{1+\cos(2wt)}{2}\right)dt \Rightarrow$

$Q = \int_0^Q dQ = \int_0^T P dt = \frac{U_0^2}{2R}\int_0^T(\cos(2wt)+1)\,dt$, где T мы берем как $2\pi\sqrt{LC}$ - период колебаний, в итоге

$Q = \left|\frac{U_0^2}{2R}\cdot\left(\frac{\sin(2wt)}{2w}+t\right)\Big|_0^T\right| = \left|\frac{U_0^2}{2R}\cdot(0+T)\right| =$

$= \frac{U_0^2}{2R}\cdot T = \frac{\pi U_0^2\cdot\sqrt{LC}}{R} \Rightarrow R t \,\|\, \cancel{LC}$

$\Rightarrow R = \frac{\pi U_0^2\cdot\sqrt{LC}}{Q}$; $R = \pi\frac{U_0^2}{Q}\cdot\sqrt{LC}$

$R = \frac{3{,}14\cdot 0{,}2^2\cdot\sqrt{0{,}3\cdot 0{,}3\cdot 10^{-4}}}{0{,}38\cdot 10^{-3}} = \frac{6{,}28\cdot 0{,}02\cdot 0{,}3\cdot 10^{-2}}{0{,}38\cdot 10^{-3}} =$

$= \frac{6{,}28\cdot 2\cdot 3}{38} \approx 20\text{м}$

Ответ: 10м ; $R = \frac{\pi U_0^2\sqrt{LC}}{Q}$

Черновик


$$\frac{kq_1}{R} + \frac{kQ}{R} = 0$$

$$p_0 l S = \nu_в RT + \cancel{p_{нас}} + p_{нас} \cdot l \cdot S$$

$$\frac{l}{2} S \cdot (p_0 + \rho_в g h) = \nu_в RT + p_{нас} \cdot \left(\frac{l}{2} + h\right) \cdot S$$

$$(p_0 - p_{нас}) l S = \nu_в RT$$

$$\frac{l}{2} S p_0 + \frac{l}{2} S \rho_в g h - p_{нас} \frac{lS}{2} - p_{нас} hS = \nu_в RT$$

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

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

$$p_0 = p_{нас} \cdot \left(1 - \frac{2h}{l}\right) + \rho_0 g h = 1450\,Па + 4500\,Па = 5950\,Па$$

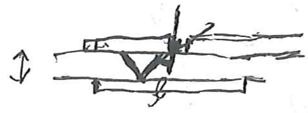
55

6 кПа

262400 | 4540
227000 | 5,78
35400
31780
36200

45
×19
405
45
855

28000
3500
280



$$n \sin \beta = 1 \quad \sin \beta = \frac{1}{n} \quad \cos = \sqrt{1 - \frac{1}{n^2}}$$

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{1/n}{\sqrt{1 - \frac{1}{n^2}}} = \frac{1}{\sqrt{n^2 - 1}} \quad R = 2h \operatorname{tg} \beta$$

$$R = \frac{2h}{\sqrt{n^2 - 1}} \qquad h = \frac{R\sqrt{n^2 - 1}}{2} = 4 \cdot \sqrt{1{,}25} \approx 4{,}4\,см$$

$$\frac{kq_1}{R} + \frac{kQ}{R} = 0$$

$$\varphi_{ш1} = \frac{kq_1}{r} + \frac{kQ}{R}$$

$$\varphi_{ш2} = \frac{kq_2}{r}$$

$$kq_1 + \Delta q$$

$$\frac{kq_1}{R} + \frac{kQ}{R} = 0$$

$$\varphi = \frac{kq_1}{r} + \frac{kQ}{R}$$

$$\varphi = \frac{kq_2}{r}$$

6×3
×12
126
63
756

$$q_1 = -Q$$

$$\frac{kq_1}{r} - \frac{kq_1}{R} = \frac{kq_2}{r}$$

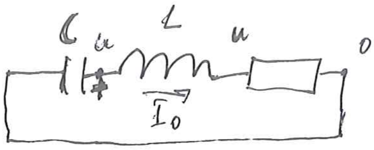
$$\frac{k(q_1 - q_2)}{r} = \frac{kq_1}{R}$$

$$r = R \cdot \frac{q_1 - q_2}{q_1} = \frac{2}{3} R = 2\,см$$

(над q_2 написано: δq_2)

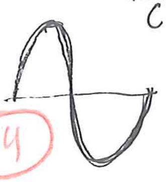
53-84-22-58
(4.9)

Черновик +1



$$\frac{Cu_1^2}{2} - \frac{Cu_1^2}{2} = Q$$

$$\frac{q_m}{C} + L\ddot{q} = 0$$



$$\frac{q}{C} + R\dot{q} + L\ddot{q} = 0$$

$$\frac{q}{C} + RI = u + RI = 0 \qquad |RI_0| = u_0 = 0{,}2\,B \quad +4$$

$$\frac{Cu_0^2}{2} + \frac{L\left(\frac{u_0}{R}\right)^2}{2} - Q = \frac{Cu_1^2}{2} + \frac{L\left(\frac{u_1}{R}\right)^2}{2}$$

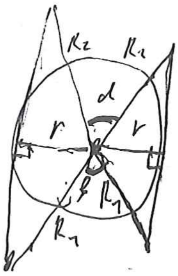
$$(u_0^2 - u_1^2)\left(\frac{C}{2} + \frac{L}{2R^2}\right) = Q$$

+4 $T = 2\pi\sqrt{LC}$ $\quad q = q_0 \cdot$

$$I^2 \cdot R = P \qquad P = \frac{2R}{L} \cdot W_K$$

$$q = q_0 + q_m \cdot \sin(\sqrt{LC}\, t)$$

$$\frac{LI^2}{2} = W_K$$



$$\alpha + \beta = \frac{2r}{R_1} + \frac{2r}{R_2} = \frac{2r(R_1+R_2)}{R_1R_2}$$

$$m\omega_1^2 R_1 = \frac{mg \cdot r^2}{R_1^2} \qquad \omega_1 = \sqrt{\frac{gr^2}{R_1^3}} = \sqrt{\frac{g}{R_1}} \cdot \frac{r}{R_1}$$

$$\omega_2 = \sqrt{\frac{g}{R_2}} \cdot \frac{r}{R_2} \qquad \omega_1 + \omega_2 = \frac{r}{R_1R_2}\left(R_1\sqrt{\frac{g}{R_2}} + R_2\sqrt{\frac{g}{R_1}}\right)$$

$$T = \frac{\alpha+\beta}{\omega_1+\omega_2} = \frac{2(R_1+R_2)}{R_1\sqrt{\frac{g}{R_2}} + R_2\sqrt{\frac{g}{R_1}}} = \frac{2(R_1+R_2)\sqrt{R_1R_2}}{R_1\sqrt{gR_1} + R_2\sqrt{gR_2}}$$

$$T \approx \pi \cdot \sqrt{LC}$$

$$q_0 = CU$$

$$\frac{q}{C} + \frac{dq}{dt} \cdot R + \frac{dI}{dt} \cdot L = 0$$

$$\frac{q\,dt}{C} + dq\,R + dI\,L = 0$$

до остановки тока $\approx \pi\sqrt{LC}$

$$q \approx q_0 + q_m \cdot \sin(\omega t)$$

$$\left(\frac{dq}{dt}\right)^2 R \qquad \frac{q}{RC} + \dot{q} + \frac{L}{R}\ddot{q} = 0 \qquad q = e^{-\frac{1}{RC}}$$

$$\frac{LI_0^2}{2} + \frac{CU^2}{2} = I^2 \cdot \qquad \frac{Cu_1^2}{2} = \frac{Cu^2}{2} - Q$$

$$Q = \frac{(u^2 - u_1^2)C}{2}$$

$$P = P = \frac{2R}{L} \cdot W_K$$

$$P = \frac{2R}{L} \cdot \left(\frac{LI_0^2}{2}\right) \cdot \cos(\omega t)$$