0 194904 270000

19-49-04-27
(5.4)

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ имени М.В.ЛОМОНОСОВА

Вариант №3

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Олимпиада школьников „Ломоносов"

по физике

Акмеева Никиты Владиславовича
фамилия, имя, отчество участника (в родительном падеже)

Дата
«09» февраля 2024 года

Подпись участника
Акмеев

19-49-04-27 (5.4)

Чистовик.

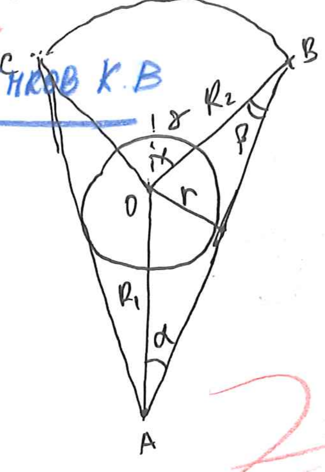
№1

По 2-ому з-ну Ньютона для первого и второго спутников:

$1: m\omega_1^2 R_1 = G\frac{mM}{R_1^2}$ $\qquad \omega_1 = \sqrt{\frac{GM}{R_1^3}}$

$2: m\omega_2^2 R_2 = G\frac{mM}{R_2^2}$ $\qquad \omega_2 = \sqrt{\frac{GM}{R_2^3}}$

Перейдем в систему отсчета вращ. вместе со ~~вторым~~ первым спутником вокруг Земли, ~~тогда~~ $|\omega_{отн}| = \sqrt{GM}\left(\frac{1}{R_1^{3/2}} - \frac{1}{R_2^{3/2}}\right)$ – угловая скорость вращения ~~первого~~ второго спутника вокруг земли в этой СО.



Слепая зона огр. касательными к Земле

$\alpha = \arcsin\frac{r}{R_1} \approx \frac{r}{R_1}$, ввиду малости α,

$\beta = \arcsin\frac{r}{R_2} \approx \frac{r}{R_2}$

$\gamma = \alpha + \beta = r\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right)$ – внешний угол $\triangle OAB$

$\overset{\frown}{BC} = 2\gamma$

$$\tau = \frac{\overset{\frown}{BC}}{\omega_{отн}} = \frac{2r\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right)}{\sqrt{GM}\left(\frac{1}{R_1^{3/2}} - \frac{1}{R_2^{3/2}}\right)}.$$

$$\tau = \frac{\frac{2\cdot 6{,}4\cdot 10^3}{6{,}4\cdot 10^4} + \frac{2\cdot 6{,}4\cdot 10^3}{10^5}}{\sqrt{\frac{6{,}7\cdot 6\cdot 10^{-11}\cdot 10^{24}}{6{,}4^3\cdot 10^{12}\cdot 10^{9}}} - \sqrt{\frac{6{,}7\cdot 6\cdot 10^{-11}\cdot 10^{24}}{10^{15}\cdot 10^{9}}}} = \frac{\frac{2}{10} + \frac{2\cdot 6{,}4}{100}}{\frac{1}{10^4}\sqrt{\frac{1}{6{,}4}} - 6{,}4\cdot\frac{\sqrt{10}}{10^6}} =$$

$$= \frac{2 + 1{,}28}{\frac{\sqrt{10}}{10^5}\cdot 12{,}5 - 6{,}4\frac{\sqrt{10}}{10^5}} = \frac{3{,}28\cdot 10^5}{6{,}1\cdot\sqrt{10}} \approx \frac{10^5}{6{,}1}\text{ с}$$

Ответ: $\approx \frac{10^5}{6{,}1}$ с

№2

В нач. момент давление внутри трубки равно атмосферному. по з-ну Дальтона оно складывается из $p_{нас}$ и $p_{воз}$ – давления сухого воздуха

$p_0 = p_{нас} + p_{воз}$

После погружения давление в трубке станет $p = p_0 + \rho_0 g h$. Оно состоит из $p_{нас}$ (пар не перестал быть

Чистовик

насыщенных) и $p'_{воз}$

$$p_0+\rho_0 g h = p_{нас} + p'_{воз}$$

Из ур. сост. ид. газа:

$$p_{воз}\, l S = \nu R T$$
$$p'_{воз}\left(\frac{l}{2}+h\right)S = \nu R T$$
$$\Rightarrow p'_{воз} = p_{воз}\frac{l}{\frac{l}{2}+h} = \frac{2l}{l+2h}\,p_{воз} = \quad +$$

нет рисунка - 1 балл

$$= \frac{2l}{l+2h}(p_0-p_{нас})$$

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

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

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

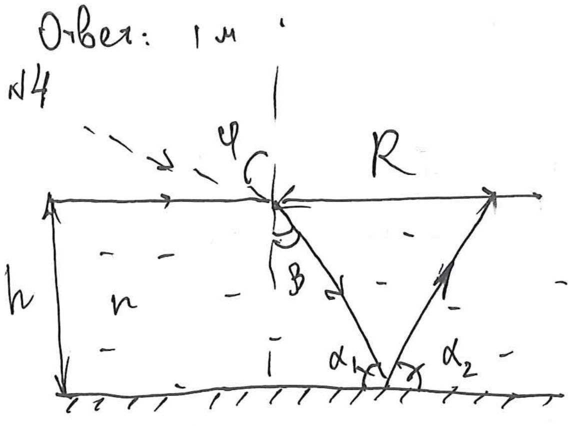
$$l\,\frac{p_0-p_{нас}-\rho_0 g h}{\cancel{p_0-p_{нас}}} = 2h\,\frac{p_0+\rho_0 g h-p_{нас}}{\cancel{p_0-p_{нас}}}$$

$$l = 2h\,\frac{p_0+\rho_0 g h-p_{нас}}{p_0-p_{нас}-\rho_0 g h} = 2\cdot 0{,}45\cdot\frac{\cancel{10^5}^{10^2}+\cancel{10^3}\cdot 10\cdot 0{,}45-14{,}5\cdot\cancel{10^3}}{\cancel{10^5}_{10^2}-14{,}5\cdot\cancel{10^3}-\cancel{10^3}\cdot 10\cdot 0{,}45}$$

$$= 0{,}9\cdot\frac{100+4{,}5-14{,}5}{100-14{,}5-4{,}5} = \frac{\cancel{90}^{10}}{\cancel{81}_{9}}\cdot\cancel{0{,}9} = 1\text{ м} \quad +$$

Ответ: 1 м

№4



Рассмотрим произв. луч, падающий в отверстие под углом φ к нормали

$$\sin\varphi = n\sin\beta$$

$\sin\beta = \frac{\sin\varphi}{n}$ достигает макс значения при $\sin\varphi \to 1$, т.е луч почти ложится в плоскость экрана.

19-49-04-27
(5.4)

Чистовик

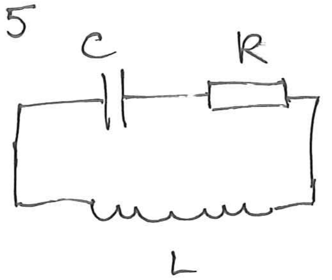
Т.к $\alpha_1=\alpha_2$ - закон отражение -, то $R = 2h\,tg\beta = 2h\frac{\sin\beta}{\cos\beta} = 2h\frac{\frac{1}{n}}{\sqrt{1-\frac{1}{n^2}}} = \frac{2h}{\sqrt{n^2-1}}$

$$n^2-1 = \left(\frac{2h}{R}\right)^2$$

$$n = \sqrt{\left(\frac{2h}{R}\right)^2+1} = \sqrt{2} \approx 1{,}41$$

Ответ: 1,41

№5



Т.к в моменты максимального тока $\frac{dI}{dt}=0$, то $U_L = L\frac{dI}{dt}=0 \Rightarrow U_R = U_C$, тогда амплитудное значение тока $I_0=\frac{U}{R}$, т.к колебания слабо затухают, то в пределах нескольких колебаний можем записать $I=I_0\cos\omega t$, t - отсчитывается от момента первого макс. тока. $\omega=\frac{1}{\sqrt{LC}}$, $T=\frac{2\pi}{\omega}=2\pi\sqrt{LC}$ - форм. Томсона

$$I=\frac{U}{R}\cos\omega t$$

$$Q=\int_0^T I^2R\,dt = \frac{U^2}{\omega R}\int_0^{\omega T} \cos^2\omega t\, d(\omega t)$$

По изв. формуле $\cos^2\omega t = \frac{\cos 2\omega t+1}{2}$

$$Q=\frac{U^2}{2\omega R}\left(\frac{1}{2}\int_0^T\cos 2\omega t\, d(2\omega t)+\int_0^T dt\right) = \frac{U^2}{2\omega R}\left(\cancel{\frac{1}{2}\sin 2\omega\frac{2\pi}{\omega}}+T\right)=\frac{U^2T}{2\omega R}=$$

$$=\frac{U^2\pi}{\omega^2R}=\frac{\pi U^2LC}{R}\Rightarrow L=\frac{QR}{\pi CU^2} = \frac{3{,}14\cdot10^{-3}\cdot 0{,}4}{3{,}14\cdot 10\cdot 10^{-6}\cdot 1^2}=100\text{ Гн}$$

Ответ: 100 Гн

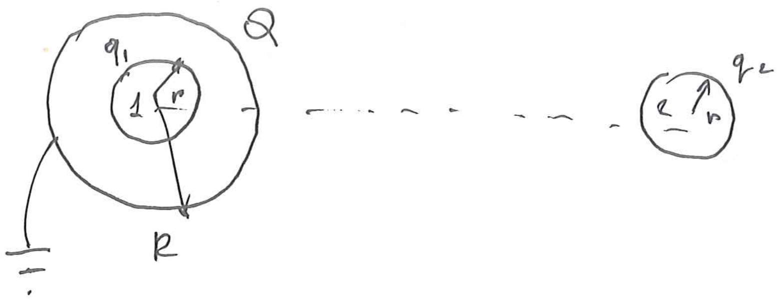
№3

Т.к шарик, окруженный сферой находится очень далеко от свободного шарика, то влиянием друг на друга можно пренебречь.

Потенциал заземленной сферы равен нулю, а потенциалы двух шариков после соединение и выравнивание зарядов равны (т.к потенциал по всей поверхности проводника одинаков, а проволока - провод.

Чистовик.

20



Пот. сферы: $k\frac{q_1}{R} + k\frac{Q}{R} = 0 \quad Q = -q_1$ +

Пот 1 шарика: $\varphi_1 = k\frac{q_1}{r} - k\frac{q_1}{R}$ +

Пот 2 шарика: $\varphi_2 = k\frac{q_2}{r}$ +

$\varphi_1 = \varphi_2$ +

$q_1\left(\frac{1}{r} - \frac{1}{R}\right) = \frac{q_2}{r}$ +

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

Ответ: $2\cdot10^{-10}$ Кл

Черновик

$$\frac{2\pi\left(\frac{1}{R_1}-\frac{1}{R_2}\right)}{\sqrt{GM}\left(\frac{1}{R_1^{3/2}}-\frac{1}{R_2^{3/2}}\right)} = \frac{\frac{2\cdot 6{,}4\cdot 10^{3}}{6{,}4\cdot 10^{4}\cdot 10} + \frac{2\cdot 6{,}4\cdot 10^{3}}{10^{5}\cdot 100}}{\frac{1}{10^4}\sqrt{\frac{6{,}7\cdot 10^{-11}\cdot 6\cdot 10^{24}}{6{,}4^3\cdot 10^{12}\cdot 10}} - \sqrt{\frac{6{,}7\cdot 10^{-11}\cdot 6\cdot 10^{24}}{6{,}4\cdot 10^{15}\cdot 10^{9}}}} =$$

$6{,}7\cdot 6 =$

$$\begin{array}{r} 6{,}7 \\ \times\ 6 \\ \hline 40{,}2 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 6{,}4 \\ \times\ 6{,}4 \\ \hline 256 \\ 384 \\ \hline 4116 \end{array}$$

$$= \frac{\frac{2}{10}+\frac{2\cdot 6{,}4}{100}}{\frac{1}{10^{3}}\sqrt{\frac{6{,}7\cdot 6}{6{,}4^{3}}} - \frac{1}{10^{4{,}5}}\sqrt{6{,}7\cdot 6}} = \frac{2+\frac{2}{10}\cdot 6{,}4}{\frac{1}{10^{3}}\sqrt{\frac{1}{6{,}4}} - \frac{1}{10^{4{,}5}}6{,}4} =$$

$$= \frac{2+1{,}28}{\frac{1}{10^{3}}\frac{\sqrt{10}}{8} - \frac{\sqrt{10}}{10^{5}}\cdot 6{,}4} = \frac{3{,}28\cdot 10^{8}}{\frac{\sqrt{10}}{10^{5}}(12{,}5-6{,}4)} = \frac{3{,}28\cdot 10^{8}}{\sqrt{10}\cdot 6{,}1} =$$

$6{,}1$

$$k\frac{q_1}{r}+k\frac{Q}{R}+k\frac{q_2}{l} = k\frac{q_2}{r}+k\frac{Q}{l}+k\frac{q_1}{l}$$

$$k\frac{q_1}{R}+k\frac{Q}{R}+k\frac{q_2}{l}=0$$

$\sqrt{5}$

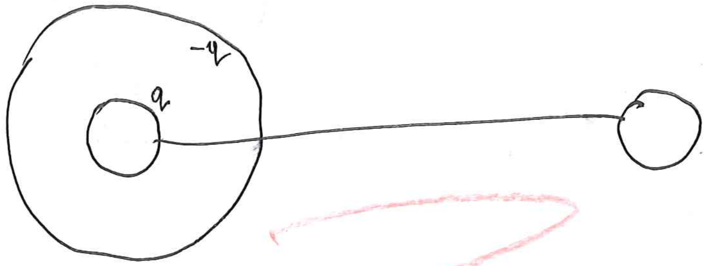
$$\frac{10^{2}+10^{5}\cdot 10\cdot 0{,}45-14{,}5\cdot 10^{3}}{10^{2}\cdot 10^{5}-14{,}5\cdot 10^{3}-10^{5}\cdot 10\cdot 0{,}45} = \frac{100+4{,}5-14{,}5}{100-14{,}5-4{,}5} = \frac{90}{81}\cdot 2$$

$\cdot 0{,}45$ $\qquad \frac{10\cdot 0{,}9}{9}=1$

$2q = q_1+q_2$

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

$k\frac{Q}{R}+k\frac{q_1}{R}=0$



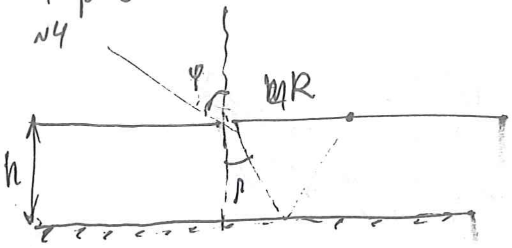
$Q=-q_1$

$q_1\left(\frac{1}{r}-\frac{1}{R}\right)=\frac{q_2}{r}$

$q_2=q_1\left(1-\frac{r}{R}\right)$

Черновик

№4



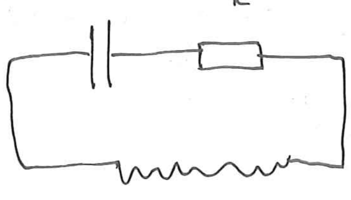
$\sin\varphi = n\sin\beta$

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

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

$n = \sqrt{\left(\frac{2h}{R}\right)^2+1} = \sqrt{2} \approx 1,41$

№5



$\frac{LI_1^2}{2} + \frac{CU^2}{2} - \left(\frac{LI_2^2}{2} + \frac{CU_2^2}{2}\right) = Q$

I

в 1 момент $\frac{dI}{dt} = 0 \Rightarrow U_L = 0 \Rightarrow U_R = U_c \Rightarrow I_1 = \frac{U}{R}$

в 2 момент $\frac{dI}{dt} = 0 \Rightarrow U_L = 0 \Rightarrow U_R = U_c = I_2 = \frac{U'}{R}$

$\frac{LU^2}{2R^2} + \frac{CU^2}{2} - \left(\frac{LU'^2}{2R^2} + \frac{CU'^2}{2}\right) = Q$

$\cos^2\omega t = \frac{\cos 2\alpha + 1}{2} =$

$\frac{1}{\sqrt{LC}}$

$I = \frac{U}{R}\cos\omega t$

$= \frac{\cos 2\omega t + 1}{2}$

$Q = \int_{T_1}^{T_2} I^2 R\,dt = \frac{U^2}{\omega R}\int_{T_1}^{T_2}\cos^2\omega t\, d\omega t = \frac{U^2}{2\omega R}\left(\frac{1}{2}\int_{0}^{T_2}\cos 2\omega t\, d\omega t + \int_{T_1}^{T_2} dt\right) =$

$= \frac{U^2}{2\omega R}\left(\frac{1}{2}\sin 2\omega T + T\right) = \frac{U^2}{2\omega R}\left(\cancel{\frac{1}{2}\sin 4\pi} + T\right) = \frac{U^2 2\pi}{2\omega^2 R} =$

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

$\sqrt{40\cdot 10^{2}\cdot 10^{-6}}$ 10^{-4}

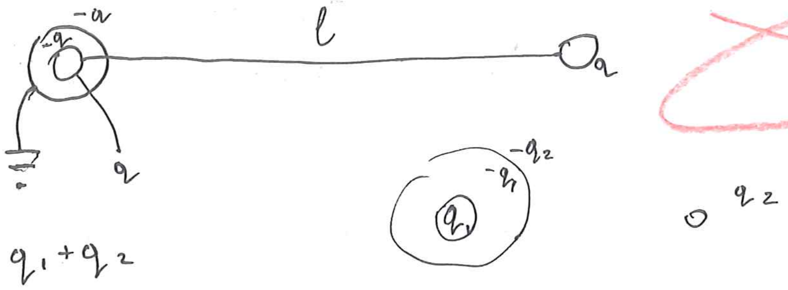
$L = \frac{QR}{\pi C U^2} = \frac{3{,}14\cdot 10^{-3}\cdot 0{,}4}{3{,}14\cdot 40\cdot 10^{-6}\cdot 1^2} = 100$ Гн

10^{-3}

$10^{-1,5}$

Черновик

№3



$$2q = q_1 + q_2$$

$$\cancel{\varphi_{сф} = 0 = k\frac{q_1}{R} + k\frac{Q}{R} + k\frac{q_2}{l} = k\frac{Q}{R} + k\frac{q_1}{R} + k\frac{q_1}{l}}$$

$$\cancel{k\frac{q_1}{R} + k\frac{-q_1-q_2}{R} + k\frac{q_2}{l} = 0}$$

$$\cancel{k\frac{q_1}{R} + -k\frac{2q}{R} + k\frac{q}{l} = 0}$$

$$\frac{\frac{2\cdot 6{,}4\cdot 10^{3}}{6{,}4\cdot 10^{6}10} + \frac{2\cdot 6{,}4\cdot 10^{3}}{10^{5}10^{2}}}{\sqrt{6{,}7\cdot 10^{-11}\cdot 6\cdot 10^{24}}}$$

$$k\frac{q_1}{R} + k\frac{-q_1+Q}{R} + k\frac{q_2}{l} = 0$$

$$Q = q\frac{R}{l}$$

$$k\frac{q_1}{R} + k\frac{-q_1 - q_2\frac{R}{l}}{R} + k\frac{q_2}{l} = 0$$

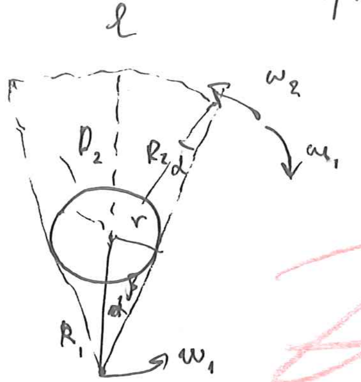
$$k\frac{q_1}{r} + k\frac{q_2}{l} + k\frac{-q_1-q_2\frac{R}{l}}{r} = k\frac{q_2}{r} + k\frac{-q_1-q_2\frac{R}{l}}{l} + k\frac{q_1}{l}$$

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

$$\frac{\cancel{q_1} - \cancel{q_1} - q_2\cancel{(1+\frac{R}{l})}}{r} = \frac{\cancel{q_1} - \cancel{q_1} - q_2\cancel{(1+\frac{R}{l})}}{l}$$

Черновик

Ч



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

$$\omega_1^2 = \frac{GM}{R_1^3}$$

$$\omega_2^2 = \frac{GM}{R_2^3}$$

$$\omega_{отн} = |\omega_2 - \omega_1| = GM\left(\frac{1}{R_1^3} - \frac{1}{R_2^3}\right)$$

$$\cancel{l = 2(R_1+R_2)\alpha = 2(R_1+R_2)\frac{r}{R_1}}$$

$$\cancel{\alpha = \arcsin\frac{r}{R_1} \approx \frac{r}{R_1}} \quad \alpha \approx \frac{r}{R_2}$$

$$\cancel{l = 2(R_1+R_2)\, r}$$

$$2\left(\frac{r}{R_2} + \frac{r}{R_1}\right)$$

$$\tau = \frac{2r\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right)}{GM\left(\frac{1}{R_1^3} - \frac{1}{R_2^3}\right)} = \cancel{\frac{2\cdot 6{,}4\cdot 10^3\left(\frac{1}{6{,}4\cdot 10^4} + \frac{1}{10^5}\right)}{6{,}7\cdot 10^{-11}\cdot 6\cdot 10^{24}\left(\frac{1}{6{,}4^3}\cdot 10^{-12} - 10^{-15}\right)}} =$$

$$= \cancel{\frac{2(0{,}1 + 0{,}064)}{6{,}7}}$$

$$\begin{array}{r|l} 855 & 9 \\ -5 & 971 \\ \hline 75 & \\ 5 & \end{array}$$

$$\begin{array}{r|l} 7695 & 9 \\ -72 & 855 \\ \hline 49 & \\ -45 & \\ \hline 45 & \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 14{,}5 \\ \times\ 0{,}9 \\ \hline 1305 \\ \hline 13{,}05 \end{array}$$

$$\cancel{100 - 13{,}05} \qquad 86{,}95$$

$$\begin{array}{r|l} 171 & 9 \\ -9 & 19 \\ \hline 81 & \end{array}$$

№2

$$p_0 = p_{нас} + p_{воз} \qquad p_{воз} lS = \nu RT$$

$$p_0 + \rho_0 g h = p_{нас} + p'_{воз} \qquad p'_{воз}\left(\frac{l}{2} + h\right)S = \nu RT$$

$$p'_{воз} = p_{воз}\frac{2l}{l+2h}$$

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

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

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

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

$$l = \frac{2h(p_0 - p_{нас})}{2p_0 - 2p_{нас} - p_0 - \rho_0 g h + p_{нас}} = \frac{2h(p_0 - p_{нас})}{p_0 - p_{нас} - \rho_0 g h} = \frac{2\cdot 0{,}5(10^5 - 14{,}5\cdot 10^3)}{10^5 - 14{,}5\cdot 10^3 - 10^3\cdot 10\cdot 0{,}45} =$$

$$= \frac{10^3(90 - 14{,}5\cdot 0{,}9)}{10^3(100 - 14{,}5 - 4{,}5)} \quad \frac{76{,}95}{81} = \frac{7695}{8100} = \frac{\cancel{855}}{\cancel{900}\ 180} = \frac{171}{180} = \frac{19}{20} = 0{,}95 \text{ м}$$