0 795292 570002

79-52-92-57
(3.3)

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ имени М.В.ЛОМОНОСОВА

Вариант 3

Место проведения Москва
город

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Олимпиада школьников „Ломоносов"
наменование олимпиады

по физике
профиль олимпиады

Гатина Кирилла Андреевича
фамилия, имя, отчество участника (в родительном падеже)

Дата

«13» февраля 2026 года

Подпись участника

Гати

Выполнять задания на титульном листе запрещается!

Выполнять задания на титульном листе запрещается!

79-52-92-57
(3.3)

№1.5.3 чистовик

Рассмотрим движение бруска по гладкой накл. плоскости:

2 з. Н.: $m\vec{a} = m\vec{g} + \vec{N}$

ox: $ma = mg\sin\alpha \Rightarrow a = g\sin\alpha$ – равноуск. движ.

Пусть в момент начала перекрытия первого фотоэлемента брусок имел скорость v_0, а l – расстояние между двумя фотоэлементами.

Брусок перекрывает фотоэлемент пока проезжает свою длину b.

Тогда из у-ния равноуск. движ.:

$$\begin{cases} l = v_0\tau + \frac{a\tau^2}{2} \\ b = v_0\tau_1 + \frac{a\tau_1^2}{2} \\ b = v_1\tau_2 + \frac{a\tau_2^2}{2} \end{cases}$$

$v_1 = v_0 + a\tau$ – скорость в начале перекрытия второго фотоэлемента.

$$\begin{cases} b = v_0\tau_1 + \frac{a\tau_1^2}{2} \\ b = v_0\tau_2 + \frac{a}{2}(\tau_2^2 + 2\tau\tau_2) \end{cases}$$

$$\begin{cases} b\tau_2 = v_0\tau_1\tau_2 + \frac{a}{2}\cdot\tau_1^2\cdot\tau_2 \\ b\tau_1 = v_0\tau_1\tau_2 + \frac{a}{2}(\tau_2^2\tau_1 + 2\tau\tau_1\tau_2) \end{cases}$$

вычтем из второго у-ния первое

$$b(\tau_1 - \tau_2) = \frac{a}{2}(\tau_2^2\tau_1 - \tau_1^2\tau_2 + 2\tau\tau_1\cdot\tau_2)$$

$$b = \frac{g\sin\alpha}{2}\cdot\frac{\tau_1\tau_2(\tau_2 - \tau_1) + 2\tau\tau_1\tau_2}{\tau_1 - \tau_2} = \frac{g\sin\alpha}{2}\left(\frac{2\tau\tau_1\tau_2}{\tau_1 - \tau_2} - \tau_1\tau_2\right) =$$

$$= \frac{g\tau_1\tau_2\sin\alpha}{2}\cdot\left(\frac{2\tau}{\tau_1 - \tau_2} - 1\right) = \frac{10\cdot 1\cdot 2\cdot\sin 30^\circ}{2}\cdot\left(\frac{2\cdot 0{,}51}{2-1} - 1\right) =$$

$$= 5\cdot(1{,}02 - 1) = 5\cdot 0{,}02 = 0{,}1\text{ м} = 10\text{ см}$$

Ответ: 10 см

1	2	3	4	5	Σ
[illegible]	20	10±5	20±5	10	90

Подписывать лист-вкладыш запрещается! Писать на полях листа-вкладыша запрещается!

№2.3.3 чистовик

В процессе установления равновесия вода из открытого сосуда будет испаряться до тех пор, пока давление водяных паров не достигнет $p_{нас}$.

Найдём массу исп. воды:

у-ние Менделеева-Клапейрона для насыщенных паров в комнате:

$$p_{нас}V = \frac{m_п}{\mu}RT \Rightarrow m_п = \frac{\mu p_{нас} V}{RT}$$

значит на испарение воды ушло тепла:

$$Q_1 = m_п r_п = \frac{\mu r_п p_{нас} V}{RT}$$

А при кристаллизации Δm льда выделилось:

$$Q_2 = \Delta m \lambda_к$$

у-ние теплового баланса:

$$Q_1 = Q_2$$

$$\frac{\mu r_п p_{нас} V}{RT} = \Delta m \lambda_к \Rightarrow p_{нас} = \frac{\Delta m \lambda_к RT}{\mu r_п V} = \frac{1 \cdot 3{,}3 \cdot 10^5 \cdot 8{,}3 \cdot 273}{18 \cdot 10^{-3} \cdot 2{,}3 \cdot 10^6 \cdot 30} =$$

$$= \frac{3{,}3 \cdot 8{,}3 \cdot 273}{1{,}8 \cdot 2{,}3 \cdot 3} = \frac{\cancel{33}^{11} \cdot 83 \cdot \cancel{273}^{91}}{\cancel{18}_{6} \cdot 23 \cdot \cancel{3}_{1}} = \frac{83083}{138} \approx 602\ \text{Па}$$

83×91: 83, 747, 7553

7553×11: 7553, 7553, 83083

$23 \times 6 = 138$

$83083 : 138 = 602{,}0\ldots$: 828, 283, 276, 700, …

Ответ: $p_{нас} \approx 602$ Па

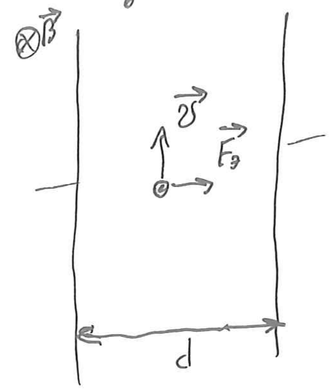
ЛИСТ-ВКЛАДЫШ

Подписывать лист-вкладыш запрещается! Писать на полях листа-вкладыша запрещается!

79-52-92-57
(3.3)

3.3.3 чистовик

Рассмотрим электрон, движ. в проводящей жидкости:



$$~~\vec{F}_A = q[\vec{v}\times\vec{B}]~~$$

$$~~F_A = q[\vec{v}\times\vec{B}]~~$$

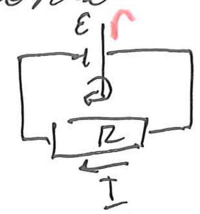
$$\vec{F}_Л = q[\vec{v}\times\vec{B}] \Rightarrow |\vec{F}_A| = qvB$$

Тогда при движении электрона от одной пластины к другой, над ним будет совершена работа $A = |\vec{F}_Л| \cdot d = qvBd$

Тогда $\varepsilon = \frac{A}{q} = Bvd$ – ЭДС

т.к. P_m максимальная, то можно считать сопротивление проводов пренебрежимо малым.

Можем перерисовать схему на экв.:



2 правило Кирхгофа:

$$\varepsilon = IR \Rightarrow I = \frac{\varepsilon}{R} = \frac{Bvd}{R}$$

Тогда по закону Джоуля-Ленца:

$$P_m = I^2R = \left(\frac{Bvd}{R}\right)^2 \cdot R \Rightarrow P_m = \frac{B^2v^2d^2}{R} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow v = \frac{\sqrt{P_m \cdot R}}{Bd} = \frac{\sqrt{10^{-3} \cdot 0{,}4}}{1 \cdot 0{,}4} = \frac{\sqrt{4 \cdot 10^{-4}}}{0{,}4} = \frac{2 \cdot 10^{-2}}{4 \cdot 10^{-1}} =$$

$$= \frac{2}{40} = \frac{1}{20} = 0{,}05\ м/с = 5\ см/с$$

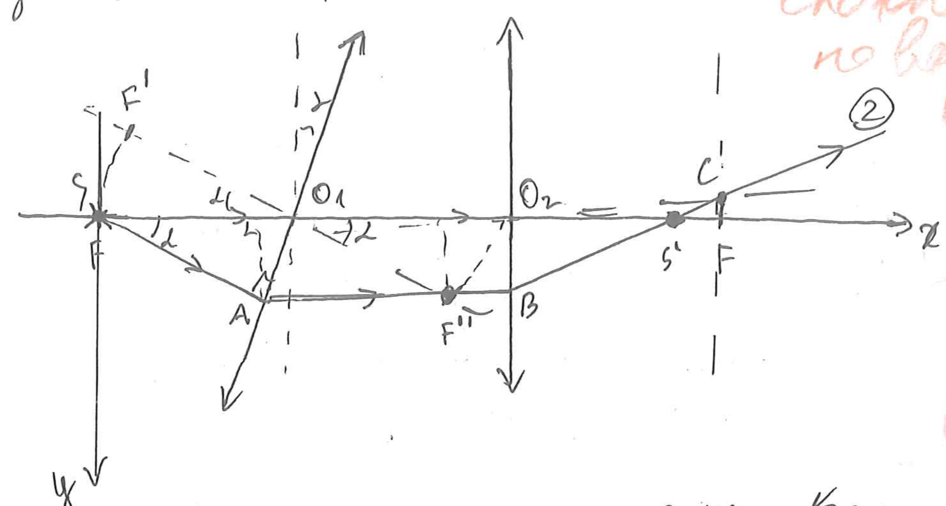
Ответ: 5 см/с

Не учтено, что жидкость имеет сопротивление

~4.10.3 чистовик

Построим изображение источника в данной системе:

сложное решение, по вертаке



Введём прямоуг. систему координат с началом в точке положения источника, ось ox совп. с ГОО второй линзы, oy ⊥ ox, oy направлена вниз

Обозначим на рисунке точки преломления (2) луча.

$AS = F\cdot\cos\alpha$

$y_A = AS\cdot\sin\alpha = F\cos\alpha\cdot\sin\alpha$

$x_A = AS\cdot\cos\alpha = F\cos^2\alpha$

$A(F\cos^2\alpha; F\cos\alpha\cdot\sin\alpha)$

Для точки F'':

$x_{F''} = F + F\cos\alpha = F(1+\cos\alpha)$

$y_{F''} = F\sin\alpha$

$F''(F(1+\cos\alpha); F\sin\alpha)$

Заметим, что $y_{F''} > y_A$ $(F\cos\alpha\cdot\sin\alpha \le F\sin\alpha)$

(чертёж условный, не точный)

Найдём ур-ние прямой, соотв. побочной ГОО, параллельной AB: $y = kx + b$

1 точка $(2F; 0)$: $0 = 2Fk + b \Rightarrow b = -2Fk$

из AB: $k = \frac{y_{F''} - y_A}{x_{F''} - x_A} = \frac{F\sin\alpha - F\cos\alpha\cdot\sin\alpha}{F(1+\cos\alpha) - F\cos^2\alpha} = \frac{\sin\alpha(1-\cos\alpha)}{\sin^2\alpha + \cos\alpha}$

Найдём точку C – пересеч. побочной ГОО с фокальной плоскостью второй линзы:

$x_c = 3F$

$y_c = 3F\cdot k - 2Fk = F\cdot k = F\cdot\frac{\sin\alpha(1-\cos\alpha)}{\sin^2\alpha + \cos\alpha}$

$C(3F; Fk)$

ЛИСТ-ВКЛАДЫШ

Подписывать лист-вкладыш запрещается! Писать на полях листа-вкладыша запрещается!

79-52-92-57
(3,3)

№ 4. 10.3 (продолжение) Штовик

найдём у-ние прямой AB: $y = k'x + b'$

$k' = k$

для т. F'':

$\cancel{F(1+\cos\alpha)}$ $F\sin\alpha = \frac{\sin\alpha(1-\cos\alpha)}{\sin^2\alpha+\cos\alpha}\cdot F(1+\cos\alpha) + b'$

$F\sin\alpha = \frac{\sin^3\alpha}{\sin^2\alpha+\cos\alpha} F + b'$

$b' = F\sin\alpha\left(1 - \frac{\sin^2\alpha}{\sin^2\alpha+\cos\alpha}\right) = F\cdot\frac{\sin\alpha\cdot\cos\alpha}{\sin^2\alpha+\cos\alpha}$

найдём координаты точки B:

$x_B = 2F$ $\quad y_B = k\cdot 2F + b' = F\left(\frac{2\sin\alpha - 2\sin\alpha\cos\alpha}{\sin^2\alpha+\cos\alpha} + \frac{\sin\alpha\cos\alpha}{\sin^2\alpha+\cos\alpha}\right) =$

$= F\cdot\frac{2\sin\alpha - \sin\alpha\cos\alpha}{\sin^2\alpha+\cos\alpha} = \frac{\sin\alpha(2-\cos\alpha)}{\sin^2\alpha+\cos\alpha}\cdot F$

$B\left(2F; F\cdot\frac{\sin\alpha(2-\cos\alpha)}{\sin^2\alpha+\cos\alpha}\right)$

т.к. расстояние между источником и изображением равно x а они оба лежат на O_1O_2, то расстояние от второй линзы до S' равно ~~x-2F~~ $x-2F$

Из подобия $\Delta BS'O_2$ и $CS'F$:

$\frac{O_2S'}{FS'} = \frac{BO_2}{CF} \Rightarrow \frac{x-2F}{x-3F} = \frac{y_B}{y_C}$

$\frac{y_B}{y_C} = \frac{\cancel{F}\cdot\frac{\sin\alpha(2-\cos\alpha)}{\cancel{\sin^2\alpha+\cos\alpha}}}{\cancel{F}\cdot\frac{\sin\alpha(1-\cos\alpha)}{\cancel{\sin^2\alpha+\cos\alpha}}} = \frac{2-\cos\alpha}{1-\cos\alpha}$

Тогда, подставив числа, получаем:

$\frac{2-\cos\alpha}{1-\cos\alpha} = \frac{23,5-2\cdot7,5}{23,5-3\cdot7,5} = \frac{8,5}{1} = 8,5$

$4 - 2\cos\alpha = 17 - 17\cos\alpha$

$15\cos\alpha = 13$

$\cos\alpha = \frac{13}{15} \Rightarrow \alpha = \arccos\frac{13}{15}$

Попробуем найти прибл. α:

$\cos\alpha \approx 1 \Rightarrow \alpha$ мал в некоторой степени $\Rightarrow$

$\Rightarrow \sin\alpha \approx \alpha$

$\sin\alpha = \sqrt{1-\cos^2\alpha} = \sqrt{1-\frac{169}{225}} = \sqrt{\frac{225-169}{225}} = \frac{\sqrt{56}}{15}$

$\alpha \approx \frac{\sqrt{56}}{15}$ рад $\approx \frac{7,5}{15} = \frac{75}{150} = 0,5$ рад $= 0,5\cdot\frac{180^\circ}{\pi} = \frac{90^\circ}{\pi} \approx \frac{90^\circ}{3,14} =$

$= \frac{9000^\circ}{314} \approx 28,7^\circ$

$7,5 \times 7,5 = 375 + 525 = 56,25$

$9000 : 314 = 28,66\ldots$
-628
2720
-2512
2080
-1884
1960

P.S. в силу отсутствия калькулятора оценка знач. α может быть неточной

+

Ответ: $\alpha = \arccos\frac{13}{15} \approx 28,7^\circ$

№5.2.3 чистовик

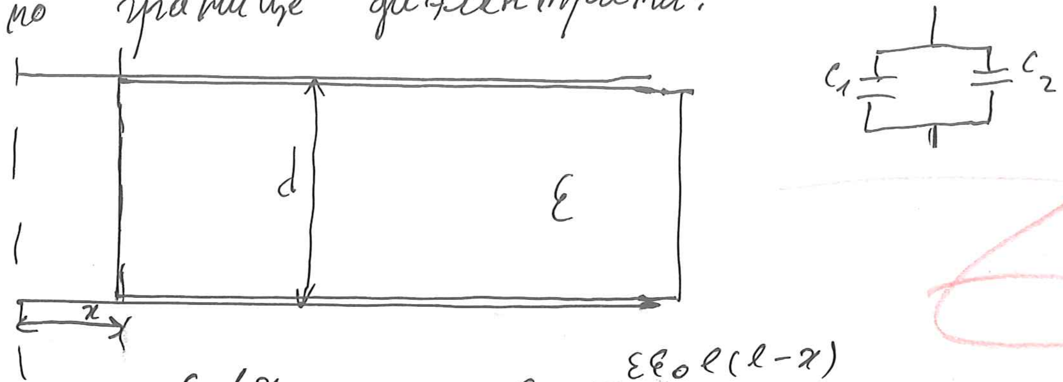
После зарядки конденсатора (до вставки пластины)

$C_0 = \frac{\varepsilon_0 S}{d} = \frac{\varepsilon_0 l^2}{d}$

$q_0 = C_0 U_0 = \frac{\varepsilon_0 l^2 U_0}{d}$

Рассмотрим, как будет меняться энергия конденсатора (выступающая в данном случае как потенц. энергия колебаний) при выдвижении диэлектрика на малое x.

Мысленно разделим конденсатор на 2 по границе диэлектрика:



$C_1 = \frac{\varepsilon_0 l x}{d}$ $\quad C_2 = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 l(l-x)}{d}$

$U_1 = U_2 = U$ $\quad q_1 + q_2 = q_0$ $\quad q = CU$

$C_1U + C_2U = C_0U_0$

$\frac{\varepsilon_0 l x}{d}U + \frac{\varepsilon\varepsilon_0 l(l-x)}{d}U = \frac{\varepsilon_0 l^2}{d}U_0$

$U(\varepsilon l - x(\varepsilon-1)) = U_0 l \Rightarrow U(x) = U_0\cdot\frac{l}{\varepsilon l - x(\varepsilon-1)}$

Тогда суммарная энергия конденсаторов:

$E(x) = \frac{C_1U^2}{2} + \frac{C_2U^2}{2} = \frac{U^2}{2}\cdot(C_1+C_2) = \frac{U_0^2}{2}\cdot\frac{l^2}{(\varepsilon l - x(\varepsilon-1))^2}\cdot\frac{\varepsilon_0 l}{d}(x+\varepsilon(l-x)) =$

$= \frac{\varepsilon_0U_0^2l^3}{2d}\cdot\frac{\varepsilon l - x(\varepsilon-1)}{(\varepsilon l - x(\varepsilon-1))^2} = \frac{\varepsilon_0U_0^2l^3}{2d}\cdot\frac{1}{\varepsilon l - x(\varepsilon-1)}$

Когда диэлектрик занимает всё пространство между пластинами $(x=0)$:

$q = q_0 = \frac{\varepsilon_0 l^2 U_0}{d}$, $C_0' = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 l^2}{d}$ $\Rightarrow E_0 = \frac{q^2}{2C} = \frac{\frac{\varepsilon_0^2 l^4 U_0^2}{d^2}}{2\cdot\frac{\varepsilon\varepsilon_0 l^2}{d}} = \frac{\varepsilon_0 l^2 U_0^2}{2\varepsilon d}$

Тогда $\Delta E(x) = E(x) - E_0 = \frac{\varepsilon_0U_0^2l^3}{2d}\cdot\frac{1}{\varepsilon l - x(\varepsilon-1)} - \frac{\varepsilon_0 l^2 U_0^2}{2\varepsilon d} =$

$= \frac{\varepsilon_0U_0^2l^3}{2d}\left(\frac{1}{\varepsilon l - x(\varepsilon-1)} - \frac{1}{\varepsilon l}\right) = \frac{\varepsilon l - \varepsilon l + x(\varepsilon-1)}{\varepsilon l(\varepsilon l - x(\varepsilon-1))}\cdot\frac{\varepsilon_0U_0^2l^3}{2d} =$

$= \frac{x(\varepsilon-1)}{\varepsilon l(\varepsilon l - x(\varepsilon-1))}\cdot\frac{\varepsilon_0U_0^2l^3}{2d}$

Задача решена верно (5)

ЛИСТ-ВКЛАДЫШ

№5.2.3 (продолжение) чистовик

В силу малости x:

$\Delta E(x) \approx \frac{x(\varepsilon-1)}{\varepsilon^2 l^2}\cdot\frac{\varepsilon_0U_0^2l^3}{2d} = \frac{\varepsilon_0U_0^2 l(\varepsilon-1)}{2\varepsilon^2 d}\cdot x$

Пусть $\frac{\varepsilon_0U_0^2 l(\varepsilon-1)}{2\varepsilon^2 d} = \alpha \Rightarrow \Delta E(x) = \alpha x$

Кинетическая энергия диэлектрика:

$E_K = \frac{mv^2}{2} = \frac{m\dot x^2}{2}$

Пусть $\frac{m}{2} = \beta \Rightarrow E_K = \beta\dot x^2$

ЗСЭ: $E_K + \Delta E = 0$

$\alpha x + \beta\dot x^2 = 0$

~~производн~~ Возьмём производную:

$\alpha\dot x + 2\beta\dot x\ddot x = 0$

$\ddot x = -\frac{\alpha}{2\beta}$ – ускорение диэл. пластины постоянно по модулю, но всегда противонаправлено скорости

Рассмотрим четверть периода колебаний, когда пластина из крайнего положения доходит до положения равновесия: $t = \frac{T}{4}$

$x = \frac{at^2}{2} \Rightarrow t = \sqrt{\frac{2x}{a}} \Rightarrow T = 4\sqrt{\frac{2x}{a}}$

$a = \frac{\alpha}{2\beta}$: $T = 4\cdot\sqrt{\frac{2x}{\frac{\alpha}{2\beta}}} = 8\sqrt{\frac{\beta x}{\alpha}} = 8\cdot\sqrt{\frac{\frac{m}{2}x}{\frac{\varepsilon_0U_0^2l(\varepsilon-1)}{2\varepsilon^2 d}}} =$

$= 8\cdot\sqrt{\frac{\frac{m}{2}x\cdot 2\varepsilon^2 d}{\varepsilon_0U_0^2 l(\varepsilon-1)}} = 8\cdot\sqrt{\frac{m x \varepsilon^2 d}{\varepsilon_0U_0^2 l(\varepsilon-1)}}$

$T^2 = \frac{64 m x \varepsilon^2 d}{\varepsilon_0U_0^2 l(\varepsilon-1)}$

$l = \frac{64 m x\varepsilon^2 d}{\varepsilon_0U_0^2T^2(\varepsilon-1)} = \frac{64\cdot\cancel{\ldots}\cdot10^{-2}\cdot10^{-4}\cdot4^2\cdot10^{-3}}{9\cdot10^{-12}\cdot10^4\cdot4{,}35^2\cdot3} =$

$= \frac{64\cdot16\cdot10^{-9}}{27\cdot4{,}35^2\cdot10^{-8}} = \frac{102{,}4}{27\cdot4{,}35^2} = \frac{1024000}{27\cdot18{,}9225} = \cancel{\frac{512000}{27}}$

$= \frac{204200}{27\cdot3{,}7845} = \frac{40840}{27\cdot7569} = \frac{40840}{204363} \approx 0{,}20$ м $= 20$ см

$4{,}35 \times 4{,}35$: 2175, 1305, 1740, 18,9225

7569×27: 52983, 15138, 204363

40840,000 | 204363 → 0,2…

40840,000 | 204363 → 0,199…

Ответ: $l \approx 20$ см

Подписывать лист-вкладыш запрещается! Писать на полях листа-вкладыша запрещается!