0818222130005

81-82-22-13
(2.15)

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М.В.ЛОМОНОСОВА

Вариант 2

Место проведения Самара
город

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Олимпиада школьников Ломоносов
наменование олимпиады

по Физике
профиль олимпиады

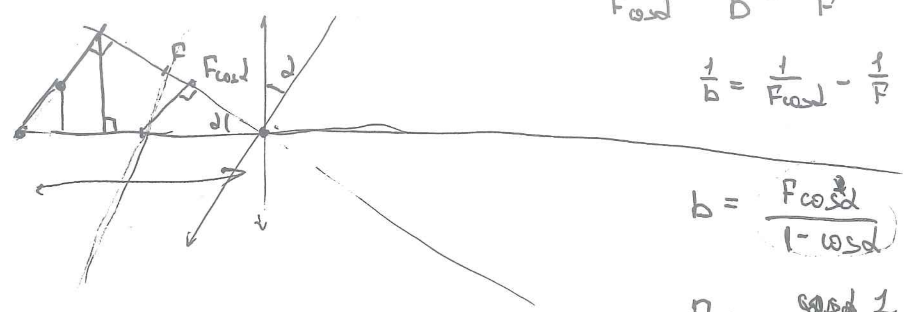
Игонтова Демида Александровича
фамилия, имя, отчество участника (в родительном падеже)

Дата
«13» февраля 2026 года

Подпись участника

Черновик

~4



$$\frac{1}{F\cos\alpha} - \frac{1}{b} = \frac{1}{F}$$

$$\frac{1}{b} = \frac{1}{F\cos\alpha} - \frac{1}{F}$$

$$b = \frac{F\cos\alpha}{1-\cos\alpha}$$

$$F = \frac{1}{1-\cos\alpha}$$

$$h = \frac{F\sin\alpha}{1-\cos\alpha}$$

$$470 \,|\, 67 \quad 469 \,|\, 7$$

$$\frac{F \cdot 1}{1-\cos\alpha} + F$$

$$6 = \frac{2 \cdot 7}{3 \cdot 2} \cdot 4$$

$$F\left(\frac{2-\cos\alpha}{1-\cos\alpha}\right)$$

$$b = \frac{Fa}{a-F} = \frac{F^2\left(\frac{2-\cos\alpha}{1-\cos\alpha}\right)}{F\frac{\cos\alpha}{1-\cos\alpha}}$$

$$b = \frac{F}{\cos\alpha}(2-\cos\alpha)$$

$$\frac{4}{3} \cdot 6 = 8 = F\left(\frac{1}{1-\cos\alpha} + \frac{1}{\cos\alpha}\right)$$

$$\frac{\cos\alpha + 1 - \cos\alpha}{(1-\cos\alpha)\cos\alpha} = \frac{x}{F}$$

$$X = 2F + \frac{F}{\cos\alpha} = F\left(2 + \frac{1}{\cos\alpha}\right)$$

$$x\cos\alpha(1-\cos\alpha) = F$$

$$17 \cdot 2$$

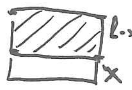
$$F = \frac{x}{2(1+\sqrt{3})}$$

$$\frac{\sqrt{3}}{2}\left(\frac{2-\sqrt{3}}{2}\right) = F$$

$$X = 2F + F(2-\cos\alpha) = F(4-\cos\alpha)$$

$$\frac{1{,}7 \cdot 0{,}3}{4} \cdot 23{,}5$$

$$q = CU_0 = \frac{\varepsilon_0 l^2}{d} U_0$$



ЗСЭ

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

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

$$B^2 \cdot \frac{k_n}{B_M}$$

$$= \frac{\varepsilon l(\varepsilon l - x(\varepsilon - 1))}{d}$$

$$\frac{q^2}{2C} + \frac{mv^2}{2} = \mathcal{E}$$

$$\frac{B \cdot k_n}{M} = \frac{D_{ee}}{M}$$

$$= \frac{U_0 \varepsilon_0 (\varepsilon - 1)}{d\varepsilon}$$

$$\frac{q^2 d}{2l(\varepsilon l - x(\varepsilon-1))\varepsilon_0} + \frac{mx''}{2} = C$$

$$\omega = \frac{q(\varepsilon-1)}{\varepsilon l^2}\sqrt{\frac{d}{\varepsilon m \varepsilon_0}}$$

$$\frac{-q^2 d(1-\varepsilon)x'}{2l(\varepsilon l - x(\varepsilon-1))^2 \varepsilon_0} + mx'x'' = 0$$

$$\frac{q^2 d}{2\varepsilon_0 l^2\left(1 + \frac{x}{\varepsilon l}(1-\varepsilon)\right)} + \frac{m\omega^2 x^2}{2}$$

$$\varepsilon^2 l^2 + \cancel{x^2(\varepsilon-1)^2}^{\,0} - 2\varepsilon l(\varepsilon - 1)x$$

$$= \frac{q^2 d}{2\varepsilon_0 l^2}$$

$$\frac{q^2 d(\varepsilon - 1)}{2\varepsilon^2 l^3 \varepsilon_0}\left(1 + \frac{2(\varepsilon-1)x}{\varepsilon l}\right) + mx'' = 0$$

81-82-22-13 (2.15)

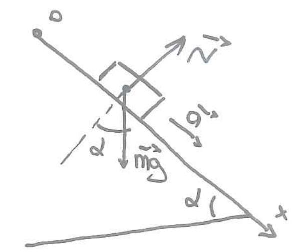
ЛИСТ-ВКЛАДЫШ

Чистовик

Задача 1.5.2.

Дано:
$g = 10\,м/с^2$
$b = 0{,}1\,м$
$\tau = 0{,}5\,с$
$b = 0{,}1\,м$
$\tau_1 = 2\,с$
$\tau_2 = 1\,с$
$\alpha = ?$

Пусть m – масса бруска, тогда рассмотрим его движение по наклонной плоскости:
a – ускорение бруска



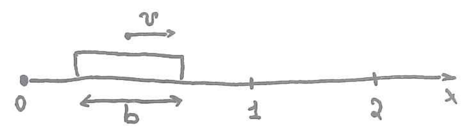
2з Ньютона по OX:

$$ma = mg\sin\alpha$$

$$\underline{a = g\sin\alpha}$$

Рассмотрим движение бруска по наклонной пл-ти (вдоль OX)

Пусть v_1 – скорость бруска в момент начала перекрытия 1го фотоэлемента, а v_2 – соответственно 2го фотоэлемента, тогда:



$$\begin{cases} v_2 = v_1 + a\tau \\ b = v_1\tau_1 + \frac{a\tau_1^2}{2} \\ b = v_2\tau_2 + \frac{a\tau_2^2}{2} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} b = v_1\tau_1 + \frac{g\sin\alpha\,\tau_1^2}{2} \;\Big|\cdot\frac{\tau_2}{\tau_1} \\ b = (v_1 + g\sin\alpha\,\tau)\tau_2 + \frac{g\sin\alpha\,\tau_2^2}{2} \end{cases}$$

$$b\left(1 - \frac{\tau_2}{\tau_1}\right) = g\sin\alpha\left(\tau\tau_2 + \frac{\tau_2^2}{2} - \frac{\tau_1\tau_2}{2}\right)$$

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

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

$$\sin\alpha = \frac{2 \cdot 0{,}1 \cdot 1}{10 \cdot 2 \cdot 1 \cdot 0{,}02} = \frac{1}{2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \alpha = 30^\circ$$

Ответ: 30°

1	2	3	4	5	Σ
10	20	25	25	19	99 (девяносто девять)

Дорофеев А.А.

Неклюдов К.А.

Лунева Е.А.

Никонов

Чистовик

Задача 2.3.2

Дано:

$T = 273\,K$

$\Delta m = 1$ кг

$p_{нас} = 611$ Па

$\lambda_к = 3{,}3\cdot10^5 \frac{Дж}{кг}$

$r_п = 2{,}3\cdot10^6 \frac{Дж}{кг}$

$\mu = 18\cdot10^{-3}$ кг/моль

$R = 8{,}3$ Дж/моль·К

$V = ?$

Пусть m – масса испарившейся воды. Т.к. и вода и лед находятся при температуре плавления ($0°C = 273K$) то отданная кристализацией теплота $\Delta m \lambda_к$ полностью ушла на испарение ($r_п m$).

Т.к сказано, что система пришла в равновесие, то водяной пар стал насыщенным (он заполнил весь объем V)

Получаем:

$$\begin{cases} \Delta m \lambda_к = m r_п \\ p_{нас} V = \frac{m}{\mu} RT \end{cases}$$

$$\begin{cases} m = \frac{\Delta m \lambda_к}{r_п} \\ V = \frac{mRT}{\mu p_{нас}} \end{cases}$$

20

$$V = \frac{\Delta m \lambda_к RT}{\mu r_п p_{нас}}$$

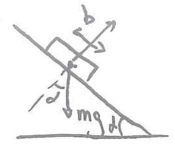
$$V = \frac{1\cdot 3{,}3\cdot10^5\cdot 8{,}3\cdot 273}{18\cdot10^{-3}\cdot 2{,}3\cdot10^6\cdot 611} = \frac{33\cdot83\cdot273}{18\cdot23\cdot611}\cdot10 = \frac{2739\cdot273}{414\cdot611}\cdot10 =$$

$$= \frac{747\,747}{252\,954}\cdot10 \approx 30\,м^3 \quad (29{,}5)$$

Ответ: $30\,м^3$

Черновик

~1



$ma = mg\sin\alpha$

$a = g\sin\alpha$

$\frac{v_1+v_2}{2}\tau = x = v_1\tau + \frac{a\tau^2}{2}$

$b = v_1 t_1 + \frac{a t_1^2}{2}$

$b = (v_1+\tau a)t_2 + \frac{a t_2^2}{2}$

~2 T 273K (0°C)

435×435

$43 \times 44 = 172 + 172 = 1892$ (18,92)

$p_{нас}V = \frac{m}{\mu}RT$

$m r_п = \Delta m \lambda_к$

$m = \frac{\Delta m \lambda_к}{r_п}$

$V = \frac{mRT}{p_{нас}\mu}$

$435 \times 9 = 39{,}15$

$(40-1)^2 = 1600 - 80$

$\frac{100-\frac{1}{2}}{16}$

$\frac{25}{4} = 6{,}25$

$33 \times 83 = 99 + 264 = 2739$

$23 \times 18 = 184 + 23 = 414$

$2739 \times 273 = 8217 + 19173 + 5478 = 747747$

$611 \times 414 = 2444 + 611 + 2444 = 252954$

$640 - 128 = 512$

$513 : 64$, 512, 8

$747747 : 252954 = 2{,}9\ldots$

505908

2418390

2276586

141804

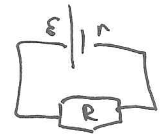
$2529540 - 252954 = 2276586$

~3

Edq

$\frac{Uq}{d} = qvB$

$U = Bvd$



$I = \frac{\varepsilon}{r+R}$

$P = I^2R = \frac{\varepsilon^2 R}{(r+R)^2} = \frac{\varepsilon}{(r+R)^2}$

$(R+r)^2 = y$

$y' = 2(R+r) = 0$

$r = \sqrt{y}$

$I = \frac{U}{R+r}$

$P = I^2R = \frac{U^2R}{(R+r)^2} = \frac{U^2}{4R}$

$P' = U^2\frac{(R+r)^2 - 2R(R+r)}{(R+r)^4}$

$\frac{(\varepsilon - Ir)^2}{R} = \varepsilon^2\left(1-\frac{r}{R+r}\right)^2$

$R^2 + r^2 + \cancel{2Rr} - \cancel{2Rr} - 2R^2$

$r^2 - R^2 = 0$

$r>0$ $r = R$

ЛИСТ-ВКЛАДЫШ

81-82-22-13 (2.15)

Чистовик

Задача 3.3.2.

Дано:
$R = 0{,}4$ Ом
$d = 40$ см
$v = 10$ см/с
$P_m = 1 \cdot 10^{-3}$ Вт

$B = ?$

Рассмотрим заряд q двигающийся внутри жидкости, на него действует сила Лоренца $F_л = qvB$ и электрическая сила $F_э = \frac{U}{d}q$, где U - это напряжение создаваемое жидкостью м/у двя ∥ металическими пластинами, тогда, т.к жидкость двигется без ускорение $F_л$ и $F_э$ уравновешивают друг друга: $F_л = F_э$

$$qvB = \frac{U}{d}q \; \Big| \cdot \frac{1}{q}$$

$$\underline{U = Bvd}$$

Рассмотрим мощность выделяющуюся на резистре R. Пусть r - внутренее сопротивление нашего источника (сопротивление потока жидкости м/у двя пластинами), тогда:

$$I = \frac{U}{R+r}$$

$$P(R) = I^2R = \frac{U^2R}{(R+r)^2}, \quad P_m \text{ при } P' = 0:$$

$$P'(R) = \frac{U^2}{(R+r)^4}\left((R+r)^2 - 2R(R+r)\right) = 0 \Rightarrow (R+r)^2 = 2R^2 + 2Rr$$

$$R^2 + r^2 + \cancel{2Rr} = 2R^2 + \cancel{2Rr}$$

$$R^2 = r^2$$

т.к. $r > 0$, то $\underline{r = R}$

, тогда P_m при $R = r$: $P_m = \frac{U^2R}{(R+R)^2} = \frac{U^2}{4R} \Rightarrow \underline{U = 2\sqrt{P_mR}}$

Подставим выражение для U:

$$2\sqrt{P_mR} = Bvd \Rightarrow B = \frac{2\sqrt{P_mR}}{vd}$$

$$B = \frac{2 \cdot \sqrt{10^{-3}\cancel{Вт} \cdot 0{,}4}}{0{,}1 \cdot 0{,}4} = \frac{4 \cdot 10^{-2}}{4 \cdot 10^{-2}} = 1 \text{ Тл}$$

Ответ: 1 Тл

20

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

Чистовик

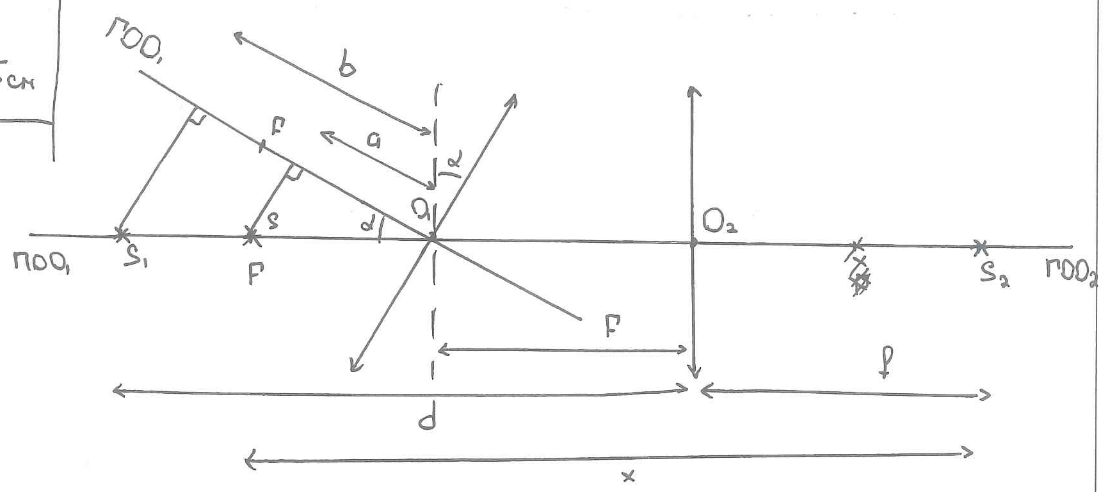
Задача 4.10.2.

Дано:

$\alpha = 30°$

$x = 23{,}5$ см

$F = ?$



Рассмотрим изображение S_1 в 1 линзе (O_1; ГОО₁), т.к ~~изображен~~ источник S находится на побочной оптической оси (ПОО) для 1 линзы, то и S_1 будет лежать на ней же. Пусть a - расстояние от S до 1 линзы, а b - расстояние от S_1 до 1 линзы, а d - расстояние от S_1 до 2 линзы (O_2; ГОО₂).

Из ∽ 2х Δ - прямоугольных с катетами a ; b и углом α

$\cos\alpha = \frac{a}{F} = \frac{b}{d-F} \Rightarrow d = \frac{b}{\cos\alpha} + F$; $a = F\cos\alpha$, т.к $a < F$, то изображение мнимое, тогда запишем ф-лу тонкой линзы

$$\frac{1}{a} - \frac{1}{b} = \frac{1}{F} \Rightarrow b = \frac{aF}{F-a} = \frac{F^2\cos\alpha}{F(1-\cos\alpha)} = F\frac{\cos\alpha}{1-\cos\alpha},$$

тогда $d = \frac{b}{\cos\alpha} + F = \frac{F}{1-\cos\alpha} + F = F\left(\frac{1}{1-\cos\alpha} + 1\right) = F\frac{2-\cos\alpha}{1-\cos\alpha}$

Для 2 тонкой линзы:

$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F}$, где f - расстояние от S_2 до 2 линзы, где S_2 - изображение S_1 во 2 линзе

$$f = \frac{Fd}{d-F}$$

$$f = \frac{F^2\frac{2-\cos\alpha}{1-\cos\alpha}}{F\frac{1}{1-\cos\alpha}} = F(2-\cos\alpha)$$

ЛИСТ-ВКЛАДЫШ

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

81-82-22-13
(2.15)

Чистовик

Продолжение задачи 4.10.2

$$x = f + 2F = F(2-\cos\alpha) + 2F = F(4-\cos\alpha)$$

$$F = \frac{x}{4-\cos\alpha} \quad +$$

$$F = \frac{23{,}5}{4-\cos 30^\circ} = \frac{23{,}5}{4-\frac{\sqrt{3}}{2}} = \frac{47}{8-\sqrt{3}} \approx \frac{47}{6{,}3} = \frac{470}{63} \approx 7\text{см} \quad +$$

Ответ: 7см

Задача ~ 5.2.2.

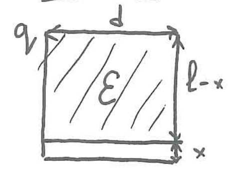
Дано:
$l = 0{,}2$м
$U_0 = 100$В
$d = 10^{-3}$м
$x = 0{,}1$мм
$x \ll d \ll l$
$T = 4{,}35$с
$\varepsilon = 4$
$\varepsilon_0 = 9 \cdot 10^{-12}\frac{Ф}{м}$

$m = ?$

Пусть q - заряд на конденсаторе в момент отключения, тогда $q = U_0 \cdot \frac{\varepsilon_0 l^2}{d}$ +

по закону сохранения заряда $q = const$

Рассмотрим конденсатор, когда диэлектрик выдвинут на x, тогда его электроемкость C:



мы получили 2 паралельно соединенных конденсатора, поэтому C - суммо их электроемкостей:

$$C = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon l(l-x)}{d} + \frac{\varepsilon_0 l x}{d} = \frac{\varepsilon_0 l}{d}(\varepsilon l - x(\varepsilon-1)), \quad +$$

тогда энергия конденсатора $W = \frac{q^2}{2C} = \frac{U_0^2 \varepsilon_0^2 l^4}{2d^2 \cdot \frac{\varepsilon_0 l}{d}(\varepsilon l - x(\varepsilon-1))} =$

$$= \frac{U_0^2 \varepsilon_0 l^2}{2d\varepsilon(1 - \frac{x}{\varepsilon l}(\varepsilon-1))}$$

Запишем ЗСЭ: $\frac{U_0^2 \varepsilon_0 l^2}{2d\varepsilon(1-\frac{x}{\varepsilon l}(\varepsilon-1))} + \frac{m x'^2}{2} = const$

продифференцируем его по x, тогда:

$$\frac{U_0^2 \varepsilon_0 l (\varepsilon-1) x'}{2d\varepsilon^2 (1 - \frac{x}{\varepsilon l}(\varepsilon-1))^2} + m x' x'' = 0 \quad \Big| \cdot \frac{1}{m x'}$$

$$\frac{U_0^2 \varepsilon_0 l (\varepsilon-1)}{2d\varepsilon^2 m (1 - \frac{x}{\varepsilon l}(\varepsilon-1))^2} + x'' = 0$$

Чистовик

19

Продолжение – 5.2.2

Преобразуем $\frac{1}{\left(1-\frac{x}{\varepsilon l}(\varepsilon-1)\right)^2} = \frac{1}{1+\frac{x^2}{\varepsilon l^2}(\varepsilon-1)^2-\frac{2x}{\varepsilon l}(\varepsilon-1)} =$

$\frac{1}{1-\frac{2x}{\varepsilon l}(\varepsilon-1)}$ (т.к $\frac{x^2}{l^2}\approx 0$) $\approx 1+\frac{2x}{\varepsilon l}(\varepsilon-1)$

т.к $\frac{x}{l} \ll 1$, получаем:

$$\frac{U_0^2\varepsilon_0 l(\varepsilon-1)}{2d\varepsilon^2 m} + \frac{U_0^2\varepsilon_0(\varepsilon-1)^2}{d\varepsilon^3 m}x + x'' = 0$$

получаем ур-нение колебаний с циклической частотой ω

$\omega^2 = \frac{U_0^2\varepsilon_0(\varepsilon-1)^2}{d\varepsilon^3 m}$ т.к второе слагаемое const и на ω не влияет

$\omega = \frac{U_0(\varepsilon-1)}{\varepsilon}\sqrt{\frac{\varepsilon_0}{\varepsilon d m}}$ $\qquad \omega = \frac{2\pi}{T}$

$$\frac{U_0(\varepsilon-1)}{\varepsilon}\sqrt{\frac{\varepsilon_0}{\varepsilon d m}} = \frac{2\pi}{T}$$

$$\frac{\varepsilon_0}{\varepsilon d m} = \frac{4\pi^2\varepsilon^2}{U_0^2(\varepsilon-1)^2T^2}$$

$$m = \frac{U_0^2\varepsilon_0(\varepsilon-1)^2T^2}{4\pi^2\varepsilon^3 d}$$

$m = \frac{10^4\cdot 9\cdot 10^{-12}\cdot 9\cdot 4{,}35^2}{4\cdot 10\cdot 64\cdot \cancel{10^{-9}}\, 10^{-3}} = \frac{81\cdot 4{,}35^2}{256}\cdot 10^{-6} \approx \frac{39^2}{16^2}\cdot 10^{-6} \approx$

$\frac{40^2}{16^2}\cdot 10^{-6} = \left(\frac{5}{2}\right)^2\cdot 10^{-6} \approx \frac{25}{4}\cdot 10^{-6} \approx 6{,}2\cdot 10^{-6} \approx 6{,}2$ мк·кг

$= 6{,}2$ мг

Ответ: 6,2 мг

Чистовик

Продолжение 5.2.2.

$\frac{1}{1-\frac{2x}{\varepsilon l}(\varepsilon-1)} \approx 1$ т.к $\frac{2x}{\varepsilon l} \ll 1$

$$\frac{U_0^2\varepsilon_0 l(\varepsilon-1)}{2d\varepsilon^2 m x}x + x'' = 0$$

Получаем ур-нение гармонических колебаний циклической частотой ω,

, тогда $\omega^2 = \frac{4\pi^2}{T^2} = \frac{U_0^2\varepsilon_0 l(\varepsilon-1)}{2d\varepsilon^2 m x}$

$$m = \frac{U_0^2\varepsilon_0 l(\varepsilon-1)T^2}{8\pi^2 d\varepsilon^2 x}$$

$$m = \frac{10^4\cdot 9\cdot 10^{-12}\cdot 2\cdot 10^{-1}\cdot 3\cdot 4{,}35^2}{8\cdot 10\cdot 10^{-3}\cdot 16\cdot 10^{-4}} =$$

$= \frac{9\cdot 6\cdot 4{,}35^2}{8\cdot 16}\cdot 10^{-3} = \frac{9\cdot 3\cdot 4{,}35^2}{4\cdot 16}\cdot 10^{-3} = \frac{27\cdot 19}{64}\cdot 10^{-3} =$

$= \frac{513}{64}\cdot 10^{-3} \approx 8$ г

Ответ: 8 г