



**МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
имени М.В. ЛОМОНОСОВА**

**ОЛИМПИАДНАЯ РАБОТА**

Наименование олимпиады школьников: **«Ломоносов»**

Профиль олимпиады: **ФИЗИКА**

ФИО участника олимпиады: **Горбунова Лина Игоревна**

Класс: 11

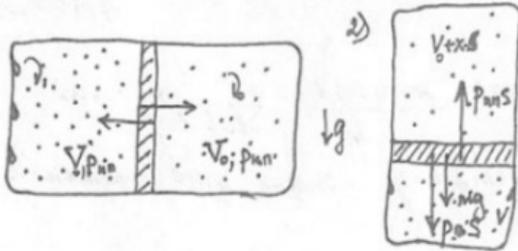
Технический балл: **82**

Дата проведения: 25 февраля 2022 года

ШИФР РАБОТЫ 9688550

|        | 1         | 2         | 3 | 4         | $\Sigma$  |
|--------|-----------|-----------|---|-----------|-----------|
| Задача | <i>10</i> | <i>14</i> | 8 | <i>15</i> | <b>82</b> |
| Вопрос | 9         | 9         | 9 | 8         |           |

2.2.1.



Дано:  
 $m = 5 \text{ кг}$ ;  
 $V_0 = 1 \text{ л}$ ;  
 $T = 373 \text{ К}$ ;  
 $S = 0,01 \text{ м}^2$ ;  
 $x = ?$

$p_{\text{нп}} = p_{\text{п}} = p_0 = \text{const}$ ,  
 т.к.  $T = \text{const}$

1)  $p_{\text{нп}} S = p_0 S$      $p_{\text{нп}} V_0 = \nu_0 RT$   
 $p_{\text{нп}} S = p_0 S$      $p_{\text{нп}} V_0 = \nu_0 RT$   
 $p_0 = p_{\text{нп}}$          $\downarrow$   
 $p_0 = p_0$          $p_0 V_0 = \nu_0 RT$   
                      $\left[ \nu_0 = \nu_1 \right]$

( $\nu_0$  - кол-во воздуха; = const)  
 ( $\nu_1$  - кол-во пара вначале)

2) ЗН:  $p_{\text{нп}} S = p_0 S + mg$   
 $-xS + V_0$  - конечный объём пара  
 $V_0 + xS$  - конечный объём воздуха.  
 $(V_0 + xS) p_0 = \nu_2 RT$ , ( $\nu_2$  - конечное кол-во пара)  
 $p_0 (V_0 + xS) = \nu_0 RT$      $\nu = \nu_0 + xS$

3) Подставим все ур-я:

$$\begin{cases} p_0 V_0 = \nu_0 RT \\ p_0 S = p_0 S + mg \\ p_0 (V_0 + xS) = \nu_0 RT \end{cases}$$

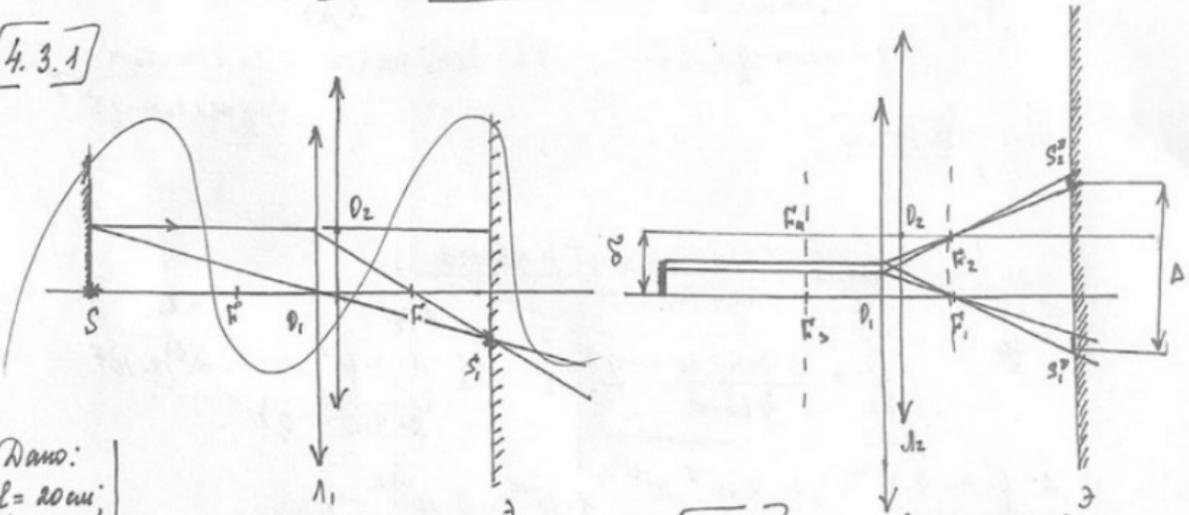
или  $p_0 V_0 = p_0 (V_0 + xS)$   
 $p_0 S = \frac{p_0 V_0 \cdot S}{V_0 + xS} + mg$

$p_0 S V_0 + p_0 S^2 x = p_0 V_0 S + mg V_0 + mg x S$   
 $x (p_0 S^2 - mg S) = p_0 V_0 S + mg V_0 - p_0 S V_0$

$x = \frac{mg V_0}{p_0 S^2 - mg S} = \frac{5 \cdot 10 \cdot 10^{-3}}{10^5 \cdot 10^{-4} - 5 \cdot 10 \cdot 0,01} = \frac{0,05}{10 - 0,05} = \frac{0,05}{9,95} = \frac{5}{995} = \frac{1}{199} \text{ м}$

Ответ:  $x = \frac{mg V_0}{p_0 S^2 - mg S} = \frac{1}{199} \text{ м}$

4.3.1



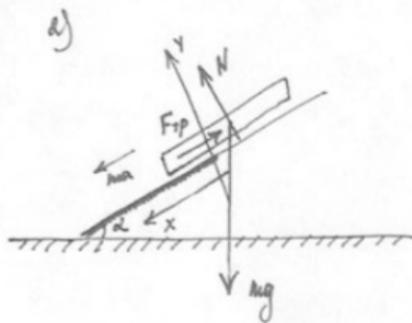
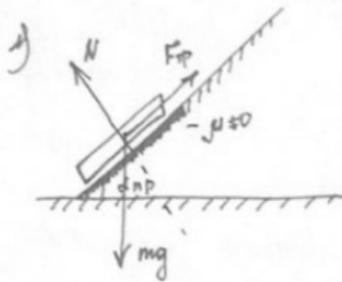
Дано:  
 $l = 20 \text{ см}$ ;  
 $\delta = 0,5 \text{ см}$ ;  
 $\Delta = 1 \text{ см}$ ;  
 $F = ?$

$\Delta D F_1, F_2 \omega \Delta D S_1, S_2 \Rightarrow \frac{F_1}{l} = \frac{\delta}{\Delta} \Rightarrow \left[ F = \frac{l \delta}{\Delta} \right]$   
 $= \frac{20 \text{ см} \cdot 0,5}{1} = 10 \text{ см}$

Ответ:  $F = \frac{l \delta}{\Delta} = 10 \text{ см}$

3.5.1

Дано:  
 $m = 0,1 \text{ кг};$   
 $\alpha_{np} = 30^\circ;$   
 $\sigma = +3 \text{ мкКл/м}^2;$   
 $q = +3 \text{ нКл};$   
 $\epsilon_0 = 9 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м};$   
 $\ddot{x}_2 : \ddot{x}_1 = ?$



$$N = mg \cos \alpha$$

$$F_{тр np} = \mu N_{np} = \mu mg \cos \alpha$$

$$mg \sin \alpha_{np} = \mu mg \cos \alpha_{np}$$

$$\mu = \frac{\sin \alpha_{np}}{\cos \alpha_{np}} = \tan \alpha_{np} = \tan 30^\circ = \frac{\sqrt{3}}{3}$$

Длина дуги отклонения =  $l$ , две заехана на шероховатую часть на расстоянии  $x$ .

Тогда:  $mg \sin \alpha - F_{тр x} = ma$

$$F_{тр x} = \mu N_x, N_x = mg \cos \alpha = \frac{m x}{l} g \cos \alpha$$

$$F_{тр x} = \mu \frac{m x}{l} g \cos \alpha$$

$$\omega^2 = \frac{mg \cos \alpha}{l}, \omega = \sqrt{\frac{mg \cos \alpha}{l}}$$

Движение  $x = A \sin \omega t + B \cos \omega t + x_1$

$x(0) = 0.$

$$x(0) = A \sin 0 + B \cos 0 + \frac{l \tan \alpha}{\mu} = 0.$$

$$B = -\frac{l \tan \alpha}{\mu}$$

$\dot{x}(0) = 0. \quad \dot{x}(t) = \dot{x} = A \omega \cos \omega t - B \omega \sin \omega t$

$$\dot{x}(0) = A \omega \cos 0 - B \omega \sin 0 = 0.$$

$A \omega = 0$   
 $A = 0.$

$$mg \sin \alpha - \mu \frac{m x}{l} g \cos \alpha = m a x$$

$$a x + \frac{\mu x}{l} g \cos \alpha - g \sin \alpha = 0.$$

$$\ddot{x} + \frac{mg \cos \alpha}{l} \left( \mu - \frac{g \sin \alpha l}{mg \cos \alpha} \right) x = 0$$

Другое уравнение гармоничн-н колеб-й,  
 $x_1 = \frac{l \tan \alpha}{\mu}$

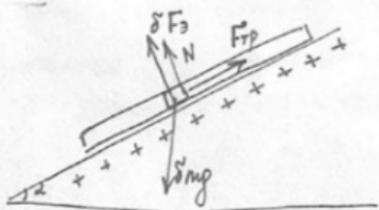
$$x(t) = -\frac{l \tan \alpha}{\mu} \cos \omega t + \frac{l \tan \alpha}{\mu}$$

$$\dot{x}(t) = +\frac{l \tan \alpha}{\mu} \omega \sin \omega t, \quad \omega = \sqrt{\frac{mg \cos \alpha}{l}}$$

В момент, когда полностью выскочит на шероховатой части:

$$x(t) = l. \quad A = -\frac{l \tan \alpha}{\mu} \cos \omega t + \frac{l \tan \alpha}{\mu} = \frac{-\tan \alpha}{\mu} \cos \omega t + \frac{\tan \alpha}{\mu}$$

$$\dot{x}(t) = \frac{l \tan \alpha}{\mu} \omega \sin \omega t = 0. = \dot{x}_1$$



$$\delta F_z = dq E, E = \frac{\sigma}{2 \epsilon_0}$$

$$F_z = \sum \delta F_z = \frac{\sigma}{2 \epsilon_0} \sum \Delta q = \frac{\sigma}{2 \epsilon_0} q l$$

$$N = mg \cos \alpha - F_z$$

$$F_{тр x} = \mu N_x$$

$$x = -\cos \omega t + x_1$$

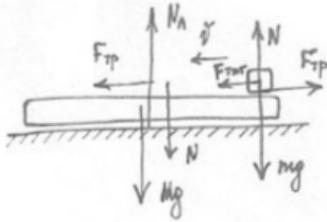
$$-\cos \omega t = 0 \Rightarrow \omega t = \frac{\pi}{2}$$

$$\dot{x}_1 = \frac{l \tan \alpha}{\mu} \omega = \dot{x}_{max}$$

$$N_x = \frac{m x}{l} g \cos \alpha = \frac{x}{l} \frac{q \sigma}{2 \epsilon_0}$$

1.3.1

Дано:  
 $M = 1 \text{ кг}$   
 $N = 2 \text{ ВТ}$   
 $n = 3$   
 $\mu = 0,3$   
 $x = ?$



2ЗН:  $m \cdot a = mg = N$

$F_{тр} = \mu mg$

2ЗН:  $M \cdot a = N - Mg$

$F_{тр} = Ma = \mu mg \rightarrow a = \frac{\mu mg}{M} = \frac{\mu Mg}{M}$

$a = \frac{\mu g}{n} = \text{const}$

Если автомобиль перестань протормаживать, значит  $\vec{v}_{\text{авт}} = \vec{v}$ , м.в.  $\vec{v} = \vec{v}_{\text{пер}}$ , где  $\vec{v}$  - скорость автомобиля,  $\vec{v}_{\text{пер}}$  - скорость доски.

ЗИМЭ:  $A_{\text{ВСЕХ СИЛ}} = E_{\text{кон}} - E_{\text{нач}}$

$E_{\text{нач}} = \frac{mv^2}{2}$   $E_{\text{кон}} = \frac{Mv^2}{2} + \frac{mv^2}{2} = \frac{Mv^2}{2} + \frac{mv^2}{2}$

$-\frac{\mu Mg x}{n} + Nt = \frac{Mv^2}{2} (1 + \frac{1}{n})$

Для доски:  $\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{a}t \rightarrow \vec{v} = \frac{v_0}{n} \rightarrow t = \frac{nv}{\mu g}$

Объединим урав-я:  $\frac{\mu g t}{n} = \frac{Nn}{\mu g M} \rightarrow t = \frac{Nn^2}{\mu^2 g^2 M}$

$\frac{Nn^2}{\mu^2 g^2 M} = \frac{M}{N} (\frac{v^2}{2} + \frac{\mu g x}{n})$

$A_{\text{ВСЕХ СИЛ}} = A_{\text{тяг}} + A_{\text{тр}}$

$A_{\text{тр}} = -F_{\text{тр}} \cdot \cos \alpha = -\mu mg x = -\frac{\mu Mg x}{n}$

$A_{\text{тяг}} = Nt$

$-\frac{\mu Mg x}{n} + Nt = \frac{Mv^2}{2} + \frac{mv^2}{2} = \frac{Mv^2}{2} (1 + \frac{1}{n})$

$F_{\text{тр}} = F_{\text{тяг}}$

$\mu mg = \frac{N}{n} \rightarrow v = \frac{N}{\mu mg}$

и. продолжение на стр. 4

Вопрос

1.3.2.

Импульс системы материальных точек есть сумма векторов импульсов каждой материальной точки.  $\vec{P}_{\Sigma} = \sum_i m_i \vec{v}_i$

ЗСИ: если на тело (систему тел) не действует никаких внешних сил или их действие скомпенсировано, то импульс тела (системы тел) сохраняется. Также импульс сохраняется в случае проекции на какую-либо координатную ось, если проекция  $\vec{F}_{\text{внешних}}$  на эту ось равна 0.  $F_x = \frac{dp_x}{dt}$   $\Delta p_x = 0$ , если  $F_x = 0$ .

Импульс системы сохраняется и в том случае, если величина равнодействующей сил конечна, а время действия этой силы на тело стремится к 0.

$\vec{F} = \frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t} \rightarrow \Delta \vec{p} = \vec{F} \Delta t$ . Если  $F$ -конечна,  $\Delta t \rightarrow 0$ , то  $\Delta \vec{p} \rightarrow 0$ .

2.2.1

Влажность - скалярная величина, показыв-я, насколько пар, занимающий то или иное пространство, при данной температуре далёк от насыщенного. Относительная влажность  $\varphi$  равна отношению парциального давления пара к давлению насыщенного пара при данной температуре.

$\varphi = \frac{p_p}{p_{\text{н.п.}}}$

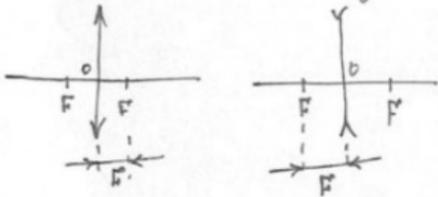
Вопрос

[3.5.1] Электроёмкость  $C$  называется физ-я величина, ~~показывающая, какой~~ равная отношению заряда на конденсаторе к напряжению на нём.

$$C = \frac{q}{U}$$

Электроёмкость плоского конденсатора:  $C = \frac{SE\epsilon_0}{d}$   $\frac{1 \text{ Ф}}{\text{В}}$   $\frac{1 \text{ С}}{\text{В}}$ , где  
 $S$  - площадь пластин,  $d$  - расстояние между ними,  
 $\epsilon$  - диэлектрич-я проницаемость среды между пластинами,  $\epsilon_0$  - постоянная,  
 равная  $8,85 \cdot 10^{-12}$  Ф/м.

[4.3.1] Фокусное расстояние  $F$  линзы - расстояние между главной оптической осью и её фокусом.



Оптическая сила тонкой линзы  $D$  - величина, обратная фокусному расстоянию  $F$  линзы.  $D > 0$  для собирающей линзы,  $D < 0$  для рассеивающей линзы.

Оптическая сила линзы  $D$  зависит от показателей преломления  $n_1$  и  $n_2$ , из которых изготовлена линза, среды, в которую помещена, и радиусов кривизмы поверхностей линзы и рассчитывается по формуле

$$D = \left( \frac{n_2}{n_1} - 1 \right) \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

[№ 1.3.1] Продолжение:

$$v_{\text{лин}} = v_{\text{гр}}$$

$$\frac{N}{v} = \frac{\mu Mg}{n} \rightarrow \left[ v = \frac{Nn}{\mu Mg} \right]$$

$$A_{\text{гр}} = -\frac{\mu Mg x}{n}$$

$$A_{\text{лин}} = Nt$$

$$\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{a}t \rightarrow \left[ v = \frac{\mu g t^2}{2n} \right]$$

$$-\frac{\mu Mg x}{n} + Nt = \frac{MN^2 n^2}{2\mu^2 g^2 M}$$

$$-\frac{\mu Mg x}{n} + \frac{N^2 n^2}{\mu^2 g^2 M} = \frac{MN^2 n^2}{2\mu^2 g^2 M}$$

$$x = \frac{N^2 n^3}{2\mu^2 g^2 M^2} = \frac{2 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 3}{2 \cdot 3^2 \cdot 0,9^3 \cdot 1^3} = 2,4$$

$$\text{Ответ: } x = \frac{N^2 n^3}{2\mu^2 g^2 M^2} = 2,4$$

$$F_{\text{прx}} = m \left( mg \cos \alpha - \frac{q\sigma}{2\epsilon_0 L} \right) x$$

$$mg \sin \alpha - F_{\text{прx}} = \max \quad mg \sin \alpha - \left( mg \cos \alpha - \frac{q\sigma}{2\epsilon_0 L} \right) x = \max$$

$$\ddot{x} + \left( \frac{mg \cos \alpha}{L} - \frac{q\sigma}{2\epsilon_0 L m} \right) x - g \sin \alpha = 0 \quad \text{— диф-е упр-е гармон-к кон-н.}$$

$$g \sin \alpha = \omega^2 x, \quad \omega^2 = \frac{mg \cos \alpha}{L} - \frac{q\sigma}{2\epsilon_0 L m} \rightarrow \kappa_1 = \frac{g \sin \alpha L \epsilon_0 m}{2mg \cos \alpha L - qL\sigma}$$

$$x(t) = A \sin \omega t + B \cos \omega t + \kappa_1 \quad v(t) = \dot{x} = A \omega \cos \omega t - B \omega \sin \omega t$$

$$x(0) = 0 \quad A \sin 0 + B \cos 0 + \kappa_1 = 0 \quad v(0) = 0: \quad A \omega \cos 0 - B \omega \sin 0 = 0$$

$$B = -\kappa_1 \quad A = 0$$

$$x(t) = - \frac{2g L \sin \alpha \epsilon_0 m}{2mg \cos \alpha \epsilon_0 m - q\sigma} \cos \omega t + \frac{2g \sin \alpha L^2 \epsilon_0 m}{2mg \cos \alpha \epsilon_0 L m - qL\sigma}$$

$$v(t) = \frac{2g L \sin \alpha \epsilon_0 m \sin \omega t}{2mg \cos \alpha \epsilon_0 m - q\sigma} \quad x(\pm) = L$$

$$- \frac{2g \sin \alpha \epsilon_0 m \cos \omega t}{2mg \cos \alpha \epsilon_0 m - q\sigma} + \frac{2g \sin \alpha \epsilon_0 m L}{2mg \cos \alpha \epsilon_0 L m - qL\sigma} = 1$$

$$- 2g \sin \alpha \epsilon_0 m \cos \omega t + 2g \sin \alpha \epsilon_0 m L = 2mg \cos \alpha L m - qL\sigma$$

$$\boxed{\ddot{x}_2 = \ddot{x}_{\max} = \frac{2g L \sin \alpha \epsilon_0 m}{2mg \cos \alpha \epsilon_0 m - q\sigma}}$$

$$v_1 = B_1 \omega_1 \sin \omega t = - \frac{L \sin \alpha \sqrt{2mg \cos \alpha}}{m} \sin \omega t = - \sqrt{\frac{L \sin \alpha \sqrt{2mg \cos \alpha}}{2m}} = - \sqrt{g L \sin \alpha}$$

$$\frac{\ddot{x}_2}{\ddot{x}_1} = \frac{2g L \sin \alpha \epsilon_0 m}{(2g \sin \alpha \epsilon_0 m - q\sigma) L \omega_1}$$

$$\ddot{x}_2 = B_2 \omega_2^2 \sin \omega t = - \frac{2g L \sin \alpha \epsilon_0 m}{2mg \cos \alpha \epsilon_0 m - q\sigma} \sqrt{\dots} \sin \omega t$$

$$\omega_1 = \sqrt{\frac{\sin 30^\circ \cdot 10}{L}}$$

$$\frac{\ddot{x}_1}{\ddot{x}_2} = \frac{(2mg \cos \alpha \epsilon_0 m - q\sigma) \cdot g \sin \alpha}{(2g L \sin \alpha \epsilon_0 m)}$$

$$= \frac{2}{g} \cdot \frac{2 \sin \alpha g \epsilon_0 m - q\sigma}{2 \epsilon_0 m} = \frac{2 \cdot \frac{1}{2} \cdot 10 \cdot 9 \cdot 10^{-12} - 0,7 \cdot 3 \cdot 10^{-6} \cdot 3 \cdot 10^6}{2 \cdot 9 \cdot 10^{-12} \cdot 0,1}$$

$$\frac{2 \cdot \frac{1}{2} \cdot 10 \cdot 9 \cdot 10^{-12} - 0,7 \cdot 9 \cdot 10^{-6} \cdot 10^6}{2 \cdot 9 \cdot 10^{-12} \cdot 0,1} = \frac{9 \cdot 10^{-12} - 9 \cdot 10^{-12}}{2 \cdot 9 \cdot 10^{-13}} = 0$$

$$\boxed{\text{Ответ: } \frac{\ddot{x}_1}{\ddot{x}_2} = 0}$$



