



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

ОЛИМПИАДНАЯ РАБОТА

Наименование олимпиады школьников: **«Ломоносов»**

Профиль олимпиады: **ФИЗИКА**

ФИО участника олимпиады: **Виноградова Анастасия Романовна**

Класс: 11

Технический балл: **89**

Дата проведения: 25 февраля 2022 года

ШИФР РАБОТЫ 9924687

	1	2	3	4	Σ
Задача	9	10	9	9	89
Вопрос	14	14	15	9	

(вариант 2)

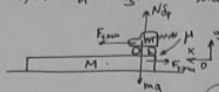
Чистовик

ЛИСТ 1

N 1.3.1

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

1) $m = \frac{M}{n} = \frac{1}{3} \text{ М}$ масса машинки



2) В начальный момент времени колёса проскальзывают, скорости бруска и машинки 0. Проскальзывание машинки прекратится когда скорость машинки относительно бруска будет $v_{отн}$, а скорость нижней точки колеса равна скорости бруска.

3) $F_{тяги} = 4F_{тр} = ma$ сила тяги развиваемая двигателем это сумма сил трения на колёса

$$4F_{тр} = \mu N_{опр}, \quad N_{опр} - \text{сила реакции бруска}$$

$$23N: y: N_{опр} - mg = 0$$

$$N_{опр} = mg \rightarrow 4F_{тр} = \mu mg \rightarrow F_{тяги} = \mu mg \rightarrow a_m = \mu g = \text{const}$$

4) По третьему закону Ньютона с такой же по модулю силой машинка действует на брусок

$$23N \text{ для бруска: } x: F_{тяги} = Ma$$

$$\mu mg = Ma$$

$$mg = 3a$$

$$a = \frac{1}{3} \mu g = \text{const}$$

5) Когда проскальзывание прекратится трение перестанет совершать работу, а до этого момента в системе "машинка + брусок" внешние силы в виде тяжести и реакции опоры работу не совершали. А значит сохранился импульс системы и был равен 0.

6) Под конец проскальзывания машинка будет иметь скорость v_1 , а брусок u

$$Mu - mv_1 = 0 \rightarrow Mu = mv_1$$

$$u = \frac{1}{3} v_1$$

Относительная скорость тогда $v_{отн} = u + v_1 = \frac{4}{3} v_1$

А относительное ускорение $a_{отн} = \frac{4}{3} \mu g$ (из п.3 и 4)

7) Из кинематики: $v_{отн} = 0 + a_{отн} t$

$$t = \frac{v_1}{a_{отн}}$$

$$x = 0 \cdot t + \frac{a_{отн} t^2}{2} = \frac{\frac{4}{3} \mu g \cdot \frac{v_1^2}{\frac{16}{9} \mu^2 g^2}}{2} = \frac{3 v_1^2}{8 \mu g}$$

8) По закону изменения импульса для машинки

$$F_{ст} t = \Delta p \rightarrow F_{ст} t = m \Delta v, \quad \text{где } F - \text{внешние силы для машинки и по оси } x \text{ это } 4F_{тр} = \mu mg$$

$$\text{с другой стороны } N = F \Delta v$$

$$\text{откуда } F = \frac{N}{\Delta v}$$

Продолжение на листе 2

Систован

лист 2

продолжение №1.3.1

$$\text{Тогда } \frac{N}{g} \Delta t = m \Delta v$$

$$N \Delta t = m v_0 \Delta t$$

Просуммируем данное уравнение

$$N \sum \Delta t = m \sum v_0 \Delta t$$

$$N \frac{v_0}{g} = m \frac{v_0^2}{2} - \frac{v_0^2}{2}$$

$$2 \frac{N}{mg} = v_0$$

$$3) \text{ значит } x = \frac{2 \cdot 2^2 N^2}{m^2 g^3 \cdot 3 \mu g} = \frac{8 N^2}{3 m^2 \mu g^3}$$

$$x = \frac{8 \cdot 2^2}{3 \cdot 1 \cdot 0,3 \cdot 10^3} = \frac{32}{0,3 \cdot 10^3} = \frac{32}{3} \text{ (м)} \approx 3,56 \text{ (м)}$$

$$\text{Ответ: } x = \frac{8 N^2}{3 m^2 \mu g^3} \quad x = \frac{32}{3} \approx 3,56 \text{ (м)}$$

Теоретический вопрос: Импульс системы материальных точек это сумма импульсов материальных точек входящих в данную систему

$$P_{\text{сист}} = \sum_i p_i$$

Закон сохранения импульса: Если результирующая внешних сил для системы равна 0, то импульс системы сохраняется

$$\Delta \vec{p} = \vec{R}_{\text{внеш}} \Delta t = 0 \text{ при } \vec{R}_{\text{внеш}} = 0 \rightarrow \text{импульс сохраняется}$$

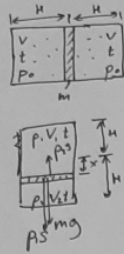
см. лист 3

Условие

лист 3

№ 2.2.1

$$\begin{aligned}
 V &= 1 \text{ л} \\
 t &= 100^\circ\text{C} = 373 \text{ К} \\
 p_0 &= 10^5 \text{ Па} \\
 m &= 5 \text{ кг} \\
 S &= 0,01 \text{ м}^2 \\
 x &=?
 \end{aligned}$$



1) Давление в обеих частях равно (в начальный момент) т.к. поршень не движется и трения нет

$$p_0 S = p_1 S \quad H = \frac{V}{S} \quad H = \frac{0,001}{0,01} = 0,1 \text{ (м)}$$

2) Когда ~~поршень~~ перевернуть по 2 ЗН для поршня:

$$\begin{aligned}
 p_2 S - p_1 S - mg &= 0 \\
 p_2 S &= p_1 S + mg
 \end{aligned}$$

$$3) V_1 = (H+x)S$$

$$V_2 = (H-x)S$$

4) По закону Менделеева-Клапейрона для воздуха

$$\begin{aligned}
 p_0 V &= \nu R T \rightarrow p_0 V = p_1 (H+x)S \\
 p_1 V_1 &= \nu R T \\
 p_0 H S &= p_1 (H+x)S \\
 p_1 &= p_0 \frac{H}{H+x}
 \end{aligned}$$

5) Пар всё время насыщен, значит его давление неизменно (при неизменной температуре) и равно p_0 .

$$p_2 = p_0$$

$$6) \text{ Тогда } p_0 S = p_0 \frac{HS}{H+x} + mg$$

$$p_0 S H + p_0 S x = p_0 H S + mg H + mg x$$

$$x (p_0 S - mg) = p_0 H S + mg H - p_0 S H$$

$$x = \frac{mg H}{p_0 S - mg}$$

$$x = \frac{5 \cdot 10 \cdot 0,1}{10^5 \cdot 0,01 - 5 \cdot 10} = \frac{5}{1000 - 50} = \frac{5}{950} = \frac{1}{190} \text{ (м)}$$

$$\text{Ответ: } x = \frac{mg H}{p_0 S - mg}$$

$$x = \frac{1}{190} \text{ м} \approx 5,3 \text{ см}$$

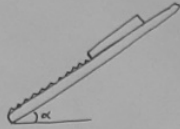
Теоретический вопрос: влажностью ^(абсолютной) называют количество водяных паров содержащихся в единичном объёме воздуха ($\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$). Относительной влажностью называют отношение абсолютной влажности к максимально возможной при данной температуре. (Безразмерная величина) см. лист 4

Условие

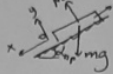
лист 4

3.5.1

- $m = 100 \text{ г}$
- $\alpha_{\text{пр}} = 30^\circ$
- $\sigma = +5 \text{ мкКл/м}^2$
- $q = +5 \text{ мкКл}$
- $\epsilon_0 = 9 \cdot 10^{-12} \frac{\text{Ф}}{\text{м}}$
- $g = 10 \text{ м/с}^2$
- $\frac{v_2}{v_1} = ?$



1) Когда пластина покоится на плите

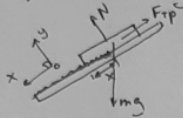


ЗН: $y: mg \cos \alpha_{\text{пр}} = N$

$x: mg \sin \alpha_{\text{пр}} = F_{\text{тр}} = \mu mg \cos \alpha_{\text{пр}}$
 $\mu = \frac{mg \sin \alpha_{\text{пр}}}{mg \cos \alpha_{\text{пр}}} = \frac{\sqrt{3}}{3}$

Т.к. это предельный угол, значит такой же коэффициент μ будет и при скольжении

2) Когда зарядов нет



В произвольный момент:

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

$F_{\text{тр}} = \mu N_{\text{ш}}$, где $N_{\text{ш}}$ - реакция плиты только шероховатой части
 $F_{\text{тр}} = \mu N \frac{x}{L}$ \rightarrow L - длина пластины

$y: N = mg \cos \alpha \rightarrow F_{\text{тр}} = \mu mg \cos \alpha \cdot \frac{x}{L}$

Тогда $mg \sin \alpha - \mu mg \cos \alpha \cdot \frac{x}{L} = ma$ ускорение переменное

3) По закону об изменении кинетической энергии:

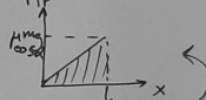
$A_{mg} + A_{N_x} + A_{F_{\text{тр}}} = \Delta E_k$, где $A_{mg} = mg \sin \alpha \cdot L$

$mgL \sin \alpha - \frac{1}{2} \mu mgL \frac{\cos \alpha}{L} = \frac{mv_2^2}{2} - \frac{mv_1^2}{2}$

$2gL \sin \alpha - \frac{1}{2} \mu gL \cos \alpha = v_2^2$

$v_2^2 = gL (2 \sin \alpha - \mu \cos \alpha)$

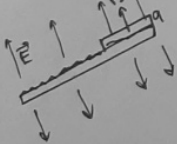
$A_{F_{\text{тр}}} = -S_{F_{\text{тр}}} = -\frac{1}{2} \mu mg \cdot L \cos \alpha$



Зависимость $F_{\text{тр}}$ от x

$(F_{\text{тр}} = \mu mg \cos \alpha \cdot \frac{x}{L})$

4) Когда есть заряды:



Плита создаёт однородное эл. поле с напряжённостью $E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$

Это поле действует на пластину с силой $F_3 = Eq = \frac{\sigma q}{2\epsilon_0}$

~~5) Закон изменения кин энергии в таком случае:~~

~~$A_{mg} + A_{F_3}$~~ Тогда по ЗН: $y: N_2 + F_3 = mg \cos \alpha$
 $N_2 = mg \cos \alpha - F_3$

Закон изменения кин энергии будет следующим:

$mgL \sin \alpha - \frac{1}{2} (mg \cos \alpha - F_3) \mu L = \frac{mv_2^2}{2}$

(изменилась работа трения т.к. N стала меньше)

Продолжение см. лист 5

$A_{F_{\text{тр}2}} = -\frac{1}{2} \mu L \frac{F_3}{L} (mg \cos \alpha - F_3)$

Листовик

Лист 5

Продвижение 1/3.5.1

$$2gL\sin d - \mu Lg\cos d + \frac{F_2}{m}\mu L = v_2^2 \quad \left\{ \begin{array}{l} gL(2\sin d - \mu\cos d) = gL(2\sin d - \sin d) = \\ = gL\sin d \end{array} \right.$$

$$6) \frac{v_2^2}{v_1^2} = \frac{gL(2\sin d - \mu\cos d) + \frac{\sigma q \mu L}{2\epsilon_0 m}}{gL(2\sin d - \mu\cos d)} = 1 + \frac{\sigma q \mu d \mu}{2\epsilon_0 m g \mu \sin d} = 1 + \frac{\sigma q}{2\epsilon_0 m g \cos d}$$

$$\frac{v_2}{v_1} = \sqrt{1 + \frac{\sigma q}{2\epsilon_0 m g \cos d}} = \sqrt{1 + \frac{9 \cdot 10^{-12}}{2 \cdot 9 \cdot 10^{-8} \cdot 0.1 \cdot 10 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2}}} = \sqrt{1 + \frac{\sqrt{3}}{3}}$$

$$\text{Ответ: } \frac{v_2}{v_1} = \sqrt{1 + \frac{\sigma q}{2\epsilon_0 m g \cos d}} = \sqrt{1 + \frac{\sqrt{3}}{3}}$$

Теоретический вопрос:

Формула ёмкости конденсатора $C = \frac{\epsilon \epsilon_0 S}{d}$

где S - площадь обкладки
 d - расстояние между ними

$$\epsilon_0 = 9 \cdot 10^{-12} \frac{\text{Ф}}{\text{м}}$$

ϵ - диэлектрическая проницаемость среды внутри конденсатора

Ёмкость конденсатора - характеристика зависящая только от конденсатора и проницаемости среды внутри него ~~численно равна напряжению~~

равная заряду Q на его обкладках делённому на напряжение между обкладками ($C = \frac{Q}{U}$)

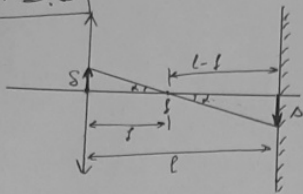
P.S. Только в том случае, если заряд на обкладках $+Q$ и $-Q$, в ином случае $C = \frac{\frac{1}{2}(q_1 - q_2)}{U}$
 где $q_1 > q_2$ заряды обкладок

см. лист 6

Систовик

лист 6

№4.3.1



1) Смещение центра пучка относительно линзы S показано стрелкой (\uparrow)

А смещение изображения центра Δ показано стрелкой (\downarrow)

2) ~~Из~~ Т.к. пучок параллелен

ГОО значит каждый луч пройдет через фокус

3) Из геометрии: $\text{tg } \alpha = \frac{S}{f} \rightarrow \frac{S}{f} = \frac{\Delta}{l-f}$

$$Sl - Sf = \Delta f$$

$$Sl = f(S + \Delta)$$

$$f = \frac{Sl}{S + \Delta}$$

$$f = \frac{1}{3}l = \frac{20}{3} \text{ см} \approx 6,67 \text{ см}$$

4) Заметим, что экран не может находиться ближе фокуса, т.к. $\Delta > S$, а это возможно только при $l > 2f$

Ответ: $f = \frac{Sl}{S + \Delta}$; $f = 6,67 \text{ см}$

Теоретический вопрос: фокусное расстояние $(F)^{(м)}$ и оптическая сила $(D)^{(дптр)}$ это обратные величины, являющиеся характеристиками тонкой линзы, определяемые геометрическими параметрами линзы, её материалом и средой в которой она находится. Фокусное расстояние F - это расстояние на котором соберётся параллельный пучок света прошедший через линзу

$$\frac{1}{F} = D = \left(\frac{n_{\text{линзы}}}{n_{\text{среды}}} - 1 \right) \left(\pm \frac{1}{R_1} \pm \frac{1}{R_2} \right)$$

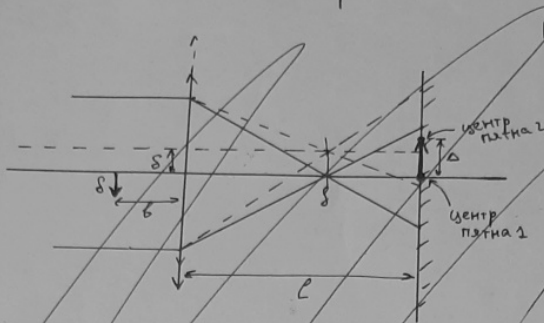
n - показатель преломления
 R_1 и R_2 - радиусы окружностей
поверхности линзы

+ - выпуклая

- - вогнутая

Черновик

лист 1



Пунктиром - после смещения

- 1) Относительно линзы пучок сместился на δ (↓) а ~~его~~ изображение центра пучка сместилось на Δ
- $$\Gamma = \frac{\Delta}{\delta} = \frac{l}{b} = 2$$

Здесь b - расстояние от воображаемого предмета до линзы, если бы его изображение находилось на расстоянии l

$$b = \frac{l}{2}$$

- 2) По формуле тонкой линзы

$$\frac{1}{b} + \frac{1}{l} = \frac{1}{f} \rightarrow \frac{2}{l} + \frac{1}{l} = \frac{1}{f} \rightarrow f = \frac{l}{3}$$

$$\frac{M\omega^2}{2} + \frac{m\omega^2}{2} = \mu mgx$$

1000	190	
990	526	
500		
380		
1200		0,00526
0		

$$M \frac{1}{3} \omega^2 + \frac{1}{2} M \omega^2 = \mu mgx$$

$$\frac{2}{3} M \omega^2 = \mu mgx \quad 3,55$$

$$\frac{2}{3} \omega^2 = \mu g x$$

$$x = \frac{2 \omega^2}{3 \mu g}$$

$$\frac{N}{\omega} = \mu mg$$

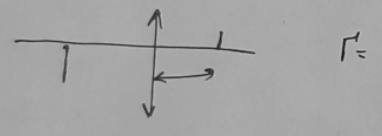
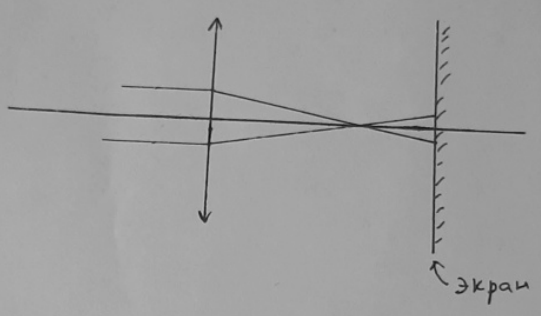
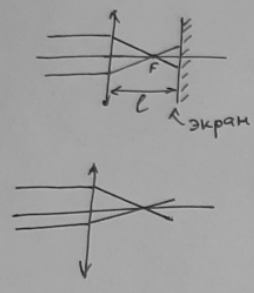
$$\omega = \frac{N}{\mu mg}$$

~~$$\mu mg \frac{5 \omega}{\mu g} = m \omega$$~~

$\frac{1}{f} = \frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}$

~~Бусынов~~ ~~Лист 6~~
Черновик лист 2

~~Лист 1~~



$$N = Fv = \text{const}$$

$$F = 4F_{TP} = \text{const} \rightarrow v = \text{const}$$

A =

$$F_{\Delta t} = \Delta p$$

$$F_{\Delta t} = m \Delta v$$

$$\frac{N}{v} \Delta t = m \Delta v$$

$$N \Delta t = m v \Delta v$$

$$N \frac{v}{Hg} = m \frac{v^2}{2}$$

Черновик

лист 3