



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

**ОЛИМПИАДНАЯ РАБОТА**

Наименование олимпиады школьников: **«Ломоносов»**

Профиль олимпиады: **ФИЗИКА**

ФИО участника олимпиады: **Тютин Григорий Максимович**

Класс: 11

Технический балл: **91**

Дата проведения: 25 февраля 2022 года

ШИФР РАБОТЫ 9944817

	1	2	3	4	$\Sigma$
Задача	<i>15</i>	<i>15</i>	<i>15</i>	<i>14</i>	<b><i>91</i></b>
Вопрос	<i>7</i>	<i>10</i>	<i>6</i>	<i>9</i>	

## Задача. 1.3.1. (начало)

$$M = 1 \text{ кг}$$

$$m = \frac{M}{n} = \frac{1}{3} M$$

$$N = 2 \text{ Вт}$$

$$\mu = 0,3$$

$$g = 10 \text{ м/с}^2$$

$x - ?$

$m$  - масса автомобиля

$F$  - сила трения между автомобилем и доской

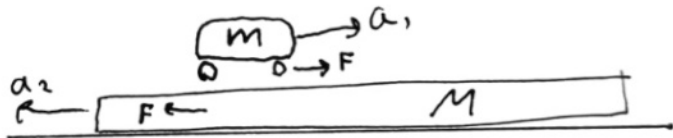
$a_1$  - ускорение автомобиля (до прекращения проскальзывания)

$a_2$  - ускорения доски (до прекращения проскальзывания)

$v_1$  - скорость автомобиля (в этот момент прекращения проскальзывания)

$v_2$  - скорость доски (в этот момент)

$t$  - время до прекращения проскальзывания.



$$\left\{ \begin{array}{l} F = \mu mg \quad (\text{сила реакции опоры} = mg) \\ F = ma_1 \\ F = Ma_2 \\ a_1 t = v_1 \\ a_2 t = v_2 \\ N = F(v_1 + v_2) \quad (\text{в этот момент проскальзывание прекратится}) \quad (* - \text{ниже объяснение}) \\ X = X_{\text{доски}} + X_{\text{авто}} = \frac{a_1 t^2}{2} + \frac{a_2 t^2}{2} \end{array} \right.$$

(Пока колеса проскальзывают, будет действовать сила  $F$ )

Усурообрак

Лист 2 из 13

Задача 1.3.1. (продолж.)

$$N = F(a_1 t + a_2 t) \neq$$

$$N = Ft(a_1 + a_2) \rightarrow t = \frac{N}{F(a_1 + a_2)}$$

$$X = \frac{t^2}{2}(a_1 + a_2) = \frac{N^2(a_1 + a_2)}{F^2(a_1 + a_2)^2 \cdot 2} = \frac{N^2}{2F^2(a_1 + a_2)}$$

$$a_1 = \frac{F}{m} ; a_2 = \frac{F}{M}$$

$$X = \frac{N^2}{2F^2} \left( \frac{1}{\frac{F}{m} + \frac{F}{M}} \right) = \frac{N^2}{2F^3} \left( \frac{1}{\frac{M+m}{Mm}} \right) = \frac{N^2 Mm}{2F^3(M+m)}$$

$$X = \frac{N^2 Mm}{2(M+m)(\mu mg)^3} = \frac{N^2 M}{2(M+m)\mu^3 g^3 m^2}$$

$$m = \frac{M}{n}$$

$$X = \frac{N^2}{2\mu^3 g^3} \cdot \frac{M}{\left(M + \frac{M}{n}\right) \cdot \left(\frac{M}{n}\right)^2} = \frac{N^2}{2\mu^3 g^3 M^2} \cdot \frac{n^3}{(n+1)}$$

$$X = \frac{N^2}{2\mu^3 g^3 \cdot M^2} \left( \frac{n^3}{(n+1)} \right) = \frac{(2B\tau)^2}{2 \cdot (0,3)^3 \cdot (10\frac{7}{2})^3 \cdot (1k2)^2} \cdot \frac{3^3}{(3+1)} =$$

$$= \frac{4 \cdot 3^3}{2 \cdot (0,3 \cdot 10)^3 \cdot 1^2 \cdot 4} M = \underline{\underline{0,5 M}}$$

Чистовик

Лист 3. из 13

## Задача 1.3.1 (концы)

(\*) Почему  $N = F(v_1 + v_2)$ :  $(u_1, u_2 - \text{скорости в произвольный момент})$

$$N = \frac{\delta A}{dt} = \frac{1}{dt} \cdot d\left(\frac{mv_1^2}{2} + \frac{Mv_2^2}{2}\right) =$$

$$= \frac{mv_1 du_1 + Mv_2 du_2}{dt} = ma_1 v_1 + Ma_2 v_2 =$$

$$= Fv_1 + Fv_2 = F(v_1 + v_2)$$

Ответ:  $x = 0,5 \text{ м.}$

Ответ на вопросы:

Импульс <sup>материал.</sup> точки:  $\vec{p}_i = m_i \vec{v}_i$

Импульс системы материальных точек:

$$\vec{P} = \sum_i \vec{p}_i = \sum_i (m_i \vec{v}_i)$$

В замкнутой системе векторный импульс системы сохраняется.  $\sum_i (m_i \vec{v}_i) = \text{const}$

Не в замкнутой:  $\vec{\Delta p} = \vec{F} \Delta t$

Чистовик

Лист 4 из 13

Задача 2.2.1. (начало.)

$$p_0 = 10^5 \text{ Па}$$

$$V = 1 \text{ л}$$

$$t = 100^\circ \text{C}$$

$$S = 0,01 \text{ м}^2$$

$$m = 5 \text{ кг}$$

$$g = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

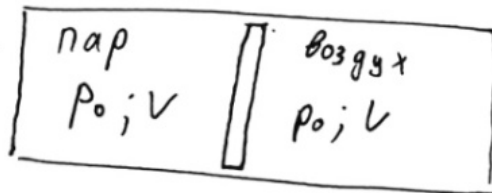
X - ?

Давление насыщенного пара при  $t = 100^\circ \text{C}$  равно  $p_0 = 10^5 \text{ Па}$

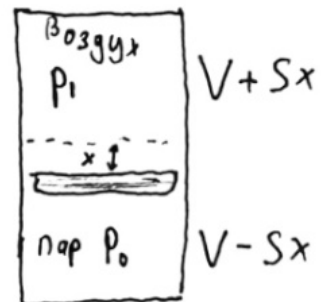
После опускания поршня давление насыщенного пара осталось равным  $p_0$ , т.к. температура не изменилась, а объем уменьшился.

Пусть было  $\nu$  молей воздуха.

Т.к. поршень не движется, давления равны



$$\begin{cases} p_0 V = \nu R T \\ p_1 (V + Sx) = \nu R T \\ p_0 = p_1 + \frac{mg}{S} \end{cases}$$



$$p_1 (V + Sx) = p_0 V$$

$$p_0 = p_0 \frac{V}{V + Sx} + \frac{mg}{S}$$

Чистовик

Лист 5 из 13

Задача 2.2.1. (пропорциональное)

$$P_0 = P_0 \frac{V}{(V+Sx)} + \frac{mg}{S}$$

$$P_0 \left(1 - \frac{V}{(V+Sx)}\right) = \frac{mg}{S}$$

$$P_0 \frac{Sx}{(V+Sx)} = \frac{mg}{S}$$

$$V+Sx = \frac{P_0 S}{mg} \cdot Sx$$

$$Sx \left(\frac{P_0 S}{mg} - 1\right) = V$$

$$Sx \frac{(P_0 S - mg)}{mg} = V \rightarrow$$

$$X = \frac{Vmg}{(P_0 S - mg) \cdot S}$$

$$(11 = 10^{-3} \cdot \text{м}^3)$$

$$X = \frac{(10^{-3} \text{ м}^3) \cdot 5 \text{ кг} \cdot 10 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}}{(10^5 \text{ Па} \cdot 10^{-2} \text{ м}^2 - 5 \text{ кг} \cdot 10 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}) \cdot 10^{-2} \text{ м}^2} =$$

$$= \frac{10^{-2} \cdot 5}{10^{-2} \cdot (10^3 - 50)} \text{ м} = \frac{5}{1000 - 50} \text{ м} = \frac{5}{950} \text{ м} = \frac{1}{190} \text{ м}$$

## Задача 2.2.1 (конец.)

Ответ:  $x = \frac{1}{190} \text{ м}$

Ответы на вопросы:

• абсолютная влажность:  $\rho = \frac{m}{V}$

$m$  - масса пара;  $V$  - объем, занимаемый паром.  
 $[\rho] = \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$

Абсолютная влажность это отношение массы пара на его объем.

• относительная влажность:  $\varphi = \frac{P}{P_0} \cdot 100\%$

$P$  - давление пара;  $P_0$  - давление насыщенного пара при данной температуре.

Относительная влажность это отношение давления пара к давлению насыщенного пара при данной температуре.

Под влажностью можно понимать абсолютную влажность.



Чистовик

Лист 7 из 13

## Задача 3.5.1. (начало.)

$$m = 100 \text{ г} = 0,1 \text{ кг}$$

$$\alpha_{\text{оп}} = 30^\circ$$

$$\sigma = 3 \frac{\text{мкКл}}{\text{м}^2}$$

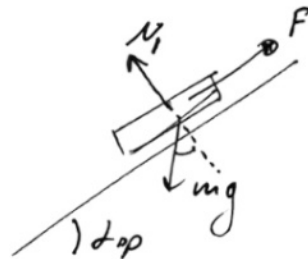
$$q = 3 \text{ мкКл}$$

$$g = 10 \text{ м/с}^2$$

$$\varepsilon_0 = 9 \cdot 10^{-12} \frac{\text{Ф}}{\text{м}}$$

- $E$  - напряженность, создаваемая плитой  $\sigma$
- $N_1$  - сила реакции опоры в первом случае
- ~~(штрихованная)~~  $N_2$  - сила реакции опоры во втором случае
- $l$  - длина пластины
- $\mu$  - коэф. трения (на шероховатой части)

$$\frac{V_2}{V_1} = ?$$

Найдем  $\mu$ :

$$\begin{cases} N_1 = mg \cos \alpha_{\text{оп}} \\ F = mg \sin \alpha_{\text{оп}} \\ F = N \mu \end{cases}$$

$$mg \cos \alpha_{\text{оп}} \mu = mg \sin \alpha_{\text{оп}}$$

$$\boxed{\mu = \text{tg } \alpha_{\text{оп}}}$$

Чистовик

Лист 8 из 13

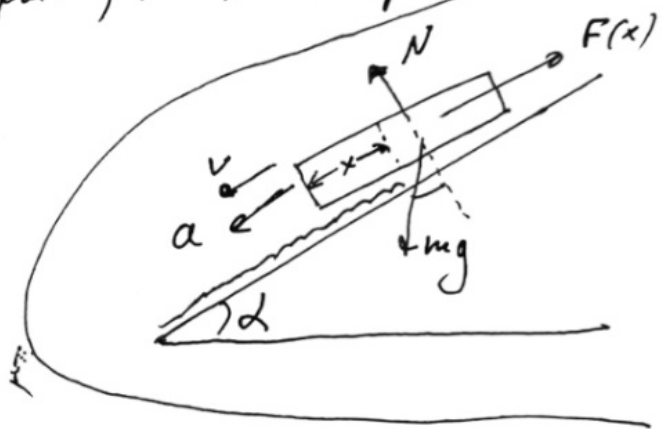
## Задача 3.5.1. (продолжение 1)

По мере въезжания на шероховатую часть, будет меняться сила трения.

Пусть  $x$  - часть доски, которая находится на шероховатой части.

$N$  - сила реакции опоры;  $F$  - сила трения

$$\left\{ \begin{array}{l} F(x) = \mu N \frac{x}{l} \\ ma = mgs \sin \alpha - F(x) \\ a dt = dv \\ v dt = dx \end{array} \right.$$



$a$  - ускорение  
 $v$  - скорость

$$\frac{dv}{dt} m = mgs \sin \alpha - \mu N \frac{x}{l}$$

$$v dv \cdot m = dx \left( mgs \sin \alpha - \mu N \frac{x}{l} \right)$$

$$m v dv = \underbrace{mgs \sin \alpha \cdot dx}_{N_1 \text{ первый случай}} - \underbrace{\frac{\mu N}{l} x dx}_{N_2 \text{ второй случай}}$$

$$\int_0^{v_1} m v dv = \int_0^l \left( mgs \sin \alpha \cdot dx - \frac{\mu N_1}{l} x dx \right) \quad \int_0^{v_2} m v dv = \int_0^l \left( mgs \sin \alpha \cdot dx - \frac{\mu N_2}{l} x dx \right)$$

Учебник

Лист 9 из 13

Задача 3.5.1 (продолжение 2).

$$\begin{cases} \frac{mv_1^2}{2} = mgl \sin \alpha - \frac{\mu N_1}{l} \cdot \frac{l^2}{2} \\ \frac{mv_2^2}{2} = mgl \sin \alpha - \frac{\mu N_2}{l} \cdot \frac{l^2}{2} \end{cases}$$

$$\begin{cases} mv_1^2 = l(2mg \sin \alpha - \mu N_1) \\ mv_2^2 = l(2mg \sin \alpha - \mu N_2) \end{cases}$$

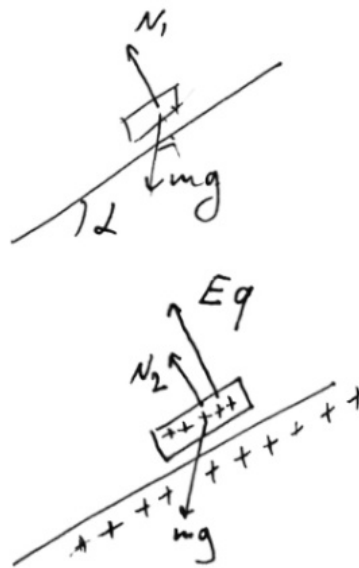
$$\boxed{\left(\frac{v_2}{v_1}\right)^2 = \frac{2mg \sin \alpha - \mu N_2}{2mg \sin \alpha - \mu N_1}}$$

Теперь найдем  $N_1$  и  $N_2$ 

$$\begin{cases} N_1 = mg \cos \alpha \\ N_2 + Eq = mg \cos \alpha \\ E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \end{cases}$$

$$N_1 = mg \cos \alpha$$

$$N_2 = mg \cos \alpha - \frac{\sigma}{2\epsilon_0} q$$



Чистовик

Лист 10 из 13

Задача 3.5.1. (продолжение 3).

Поготовляем  $N_1$  и  $N_2$ 

$$\left(\frac{V_2}{V_1}\right)^2 = \frac{2mg \sin \alpha - \mu mg \cos \alpha + \frac{\sigma q \mu}{2 \epsilon_0}}{2mg \sin \alpha - \mu mg \cos \alpha}$$

$$\left(\frac{V_2}{V_1}\right)^2 = 1 + \frac{\sigma q \mu}{(2mg \sin \alpha - \mu mg \cos \alpha) \cdot 2 \epsilon_0}$$

$$\frac{V_2}{V_1} = \sqrt{1 + \frac{\sigma q \mu}{2mg \epsilon_0 (2 \sin \alpha - \cos \alpha \cdot \tan \alpha_{np})}}$$

Скорее всего в задаче имеется в виду, что  $\alpha = \alpha_{np}$ . Тогда:

$$\frac{V_2}{V_1} = \sqrt{1 + \frac{\sigma q \mu \tan \alpha_{np}}{2mg \epsilon_0 \sin \alpha_{np}}}$$

$$\sin \alpha_{np} = \sin 30^\circ = \frac{1}{2}$$

$$\frac{\tan \alpha_{np}}{\sin \alpha_{np}} = \frac{1}{\cos \alpha_{np}} = \frac{2}{\sqrt{3}}$$

Чистовик

Лист 11 из 13

## Задача 3.5.1. (концы)

$$\frac{V_2}{V_1} = \sqrt{1 + \frac{3 \cdot 10^{-6} \text{ Кл} \cdot 3 \cdot 10^{-6} \frac{\text{Кл}}{\text{м}^2} \cdot 2}{2 \cdot 0,1 \text{ кг} \cdot 10^7 \frac{\text{с}}{\text{с}} \cdot 9 \cdot 10^{-12} \frac{\text{Ф}}{\text{м}} \cdot \sqrt{3}}} = \sqrt{1 + \frac{1}{\sqrt{3}}}$$

$$\frac{V_2}{V_1} = \sqrt{\frac{\sqrt{3} + 1}{\sqrt{3}}}$$

Ответ:  $\sqrt{\frac{\sqrt{3} + 1}{\sqrt{3}}}$

Ответы на вопросы:

Емкость - величина, характеризующая способность накапливать заряд при разности потенциалов.  $1 \text{ Ф}$  - это заряд обозначается  $C$ .

$[C] = \text{Ф} = \frac{\text{Кл}^2 \cdot \text{с}^2}{\text{м}^2 \cdot \text{Кл}^2}$  Тело емкостью  $C$  может накопить

$C$  заряда при  $U = 1 \text{ В}$ .

Для конденсатора:  $C = \frac{\epsilon \epsilon_0 S}{d}$

$\epsilon$  - диэлектрик. прониц.;  $S$  - площадь обкладок;  $d$  - расстояние между ними.

$$\frac{1}{C} \begin{matrix} C_1 \\ C_2 \end{matrix} \quad \frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \quad ; \quad \begin{matrix} C_1 \\ C_2 \end{matrix} \quad C = C_1 + C_2$$

Чистовик

Лист 12 из 13

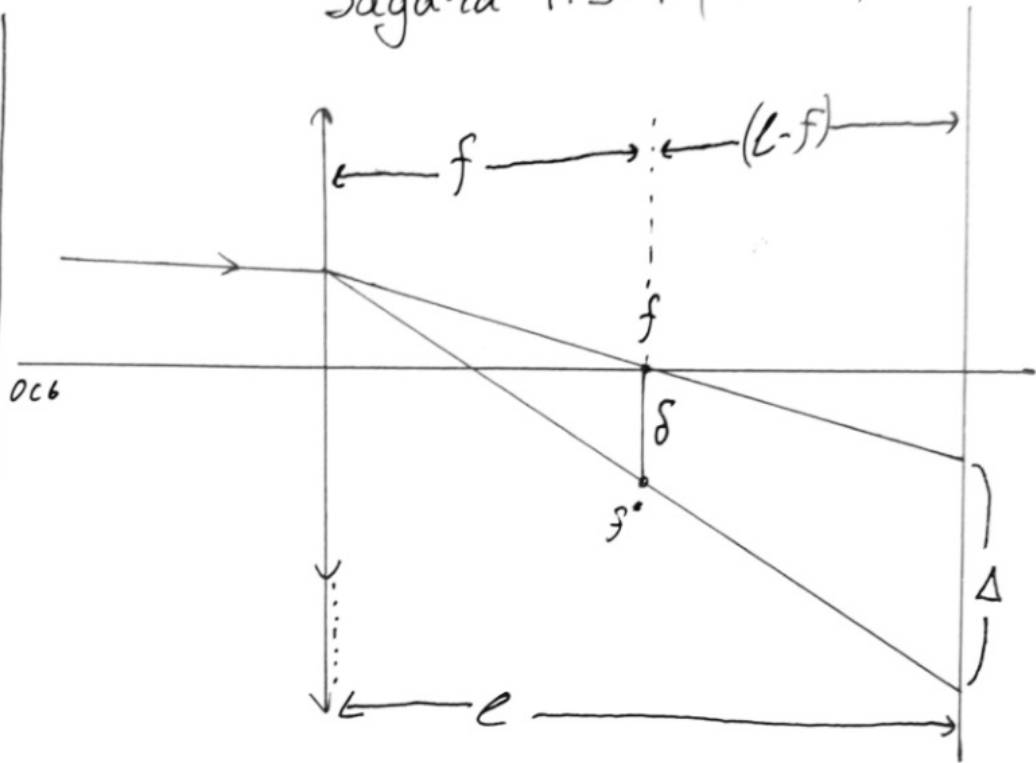
Задача Ч.3.1. (начало)

$$l = 20 \text{ см}$$

$$\Delta = 1 \text{ см}$$

$$\delta = 0,5 \text{ см}$$

$$f = ?$$



экран

Т.к. лучи параллельны оси, они пройдут через фокусы. Передвигая линзу, мы передвигаем фокус на  $\delta$ . На рисунке показаны лучи, образующие центры пятен.

Из подобия треугольников:

$$\frac{\Delta}{\delta} = \frac{l}{f} \rightarrow f = l \cdot \frac{\delta}{\Delta}$$

$$f = \frac{0,5 \text{ см}}{1 \text{ см}} \cdot 20 \text{ см} = 10 \text{ см}$$

$$f = 10 \text{ см}$$

Чистовик.

Лист 13 из 13

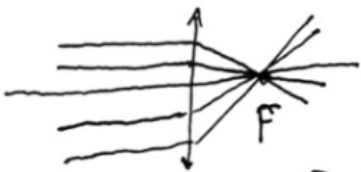
## Задача 4.3.1. (конец)

Ответ:  $f = 10 \text{ см}$

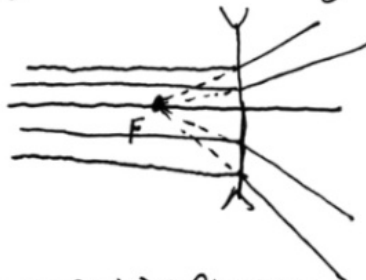
Ответы на вопросы:

Фокус — это точка, лежащая на главной оптической оси линзы. У собирающей линзы  $\nabla$  лучи, параллельные <sup>ст. опт.</sup> оси, после преломления ~~падают~~ проходят через фокус. У рассеивающей линзы параллельные лучи после преломления идут так, будто они выходят из фокуса.

Расстояние от фокуса до линзы — это фокусное расстояние. У рассеивающих линз оно берется со знаком минус.




$$[F] = \text{м}$$



Оптическая сила линзы — это характеристика линзы, показывающая способность преломления линзы

$$D = \frac{1}{F} \quad [D] = \text{дптр}$$

Оценки  
не учтены  
2022



Председателю апелляционной комиссии  
олимпиады школьников «Ломоносов»  
Ректору МГУ имени М.В. Ломоносова  
академику В.А. Садовничему  
ученика 11 класса Государственного  
бюджетного общеобразовательного  
учреждения города Москвы «Школы № 853»  
(Москва, Зеленоград, корп 913А)  
Тютина Григория Максимовича

апелляция.

Прошу пересмотреть выставленные технические баллы (91) за мою работу заключительного этапа по физике, поскольку считаю, что какие-то баллы не учтены. По критериям у меня за каждую задачу должно быть по 15 баллов, так как каждая задача полностью решена и прокомментирована, и все ответы совпадают с авторскими. Официальных ответов на теоретические вопросы нет, но мои ответы являются достаточно полными и правильными, а все приведенные формулы есть в школьной литературе по физике. По моим подсчетам, работа может быть оценена на 100 баллов.

Дата 25.03.2022

(подпись)

