



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

**ОЛИМПИАДНАЯ РАБОТА**

Наименование олимпиады школьников: **«Ломоносов»**

Профиль олимпиады: **ФИЗИКА**

ФИО участника олимпиады: **Шерхалов Денис Дмитриевич**

Класс: 11

Технический балл: **83**

Дата проведения: 25 февраля 2022 года

ШИФР РАБОТЫ 9375413

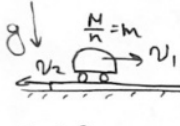
|        | 1  | 2  | 3  | 4 | $\Sigma$  |
|--------|----|----|----|---|-----------|
| Задача | 15 | 15 | 15 | 3 | <b>83</b> |
| Вопрос | 7  | 10 | 9  | 9 |           |

## Чистовик Вариант N2

N1.3.1) Вопрос.

Импульс системы материальных точек  $\vec{p} = \sum \vec{p}_i$  - сумма импульсов всех точек системы.

Закон сохранения импульса: импульс замкнутой системы сохраняется.  
Задача.



$$\mu = 0,3$$

$$n = 3$$

$$M = 1 \text{ кг}$$

$$g = 10 \text{ м/с}^2$$

$$N = 2 \text{ Вт}$$

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

1. Если автомобильный двигатель развивает мощность ~~1000 Вт~~

$$N = F \cdot v = \mu m g \cdot v \rightarrow v = \frac{N}{\mu m g}$$

2. ЗИИ:  $x: 0 = m v_1 - M v_2$

$$\frac{M}{n} v_1 = M v_2 \rightarrow v_1 = n v_2$$

3. Когда колесо не проскальзывает? Когда скорость его движения относительно земли равна скорости вращения.

Значит:  $v_1 + v_2 = v$  в тот момент, когда колесо не проскальзывает. Это  $(n+1)v_2 = \frac{N}{\mu m g} \Rightarrow v_2 = \frac{N n}{\mu g M (n+1)}$

4. На доску действует постоянная сила  $F_{тр} = \mu \frac{M}{n} g = \frac{M}{n} a_2 \Rightarrow a_2 = \frac{\mu g}{n}$

$$v_2 = a_2 t \Rightarrow \frac{N n}{\mu g M (n+1)} = \frac{\mu g}{n} t \rightarrow t = \frac{N n^2}{\mu^2 g^2 M (n+1)}$$

Одновременно с этим на машину действует сила  $F_{тр} = \mu \frac{M}{n} g$  и ускорение  $a_1 = \mu g$ . Пройденное относительно земли расстояние  $S = \frac{(a_1 + a_2) t^2}{2} = (\mu g + \frac{\mu g}{n}) \cdot \frac{N^2 n^4}{\mu^4 g^4 M^2 (n+1)^2 \cdot 2} = \frac{N^2 n^3}{\mu^3 g^3 M^2 (n+1) \cdot 2}$

$$= \frac{4 \cdot 27}{0,3 \cdot 0,3 \cdot 0,3 \cdot 10 \cdot 10 \cdot 10 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 4 \cdot 2} \text{ м} = \frac{1}{2} \text{ м} = 0,5 \text{ м} = X$$

$$\text{Ответ: } 0,5 \text{ м} = \frac{N^2 n^3}{(\mu g)^3 M^2 (n+1) \cdot 2} = X$$

1/4

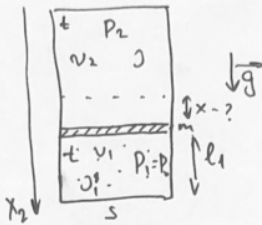
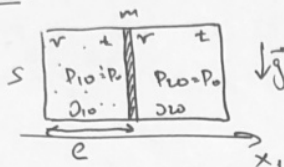
Мисловик Вариант №2

№2.2.1) Вопрос

Влажность - ~~массовое~~ содержание газообразной влаги (водяного пара) в смеси газов. Измеряется в  $\frac{г}{м^3}$ .

Относительная влажность - отношение давления водяного пара в смеси к максимальному давлению водяного пара при данной температуре (то есть к давлению насыщенного пара).

Задача



$V = 1л = 10^{-3} м^3$   
 $m = 5кг$   
 $t = 100^\circ C = 373 K$   
 $S = 0,01 м^2 = 10^{-2} м^2$   
 $g = 10 м/с^2$   
 $p_0 = 10^5 Па$

2/4

1. Так изначально с 'левой' стороны от поршня у нас располагается насыщенный пар при  $t = 100^\circ C$ , значит, его давление  $P_{20} = P_{нп}(t) = p_0 = 10^5$ .

Тогда рассм. силы, действующие на поршень  $x_1$ :  $P_0 S - P_2 S = 0 \rightarrow P_2 = P_0$ , значит, воздух находится при том же давлении  $P_0$ .

Из уравнения М.-К.  $PV = \nu RT \rightarrow \nu = \frac{PV}{RT}$  - кол-во молей газа с обеих сторон поршня равно, и равно  $\nu_1 = \nu_2 = \nu = \frac{P_0 V}{RT}$

2. Рассм. силы, действующие на поршень после его перемещения в вертикальное положение:

$x_2: mg + P_2 S - P_1 S = 0 \rightarrow P_1 = P_2 + \frac{mg}{S}$

Занедем уравнение М.-К. для обеих частей цилиндра:

$P_1 V_1 = \nu RT$   
 $P_2 V_2 = \nu RT$   
 $V_1 + V_2 = 2V$

$P_2 = \frac{2RT}{V_2} = \frac{2P_0 V}{V_2}$   
 $P_1 V_1 = P_2 V_2 \rightarrow (P_2 + \frac{mg}{S}) V_1 = P_2 (2V - V_1)$

$\frac{P_0 V V_1}{V_2} + \frac{mg V_1}{S} = (2V - V_1) \frac{P_0 V}{V_2}$   
 $P_0 V V_1 + \frac{mg V_1 V_2}{S} = 2P_0 V V_2 - P_0 V V_1$   
 $2P_0 V V_1 + \frac{mg V_1 V_2}{S} = 2P_0 V V_2$   
 $2P_0 V V_1 + \frac{2mg V V_1}{S} - \frac{mg V_1^2}{S} = 2P_0 V^2$   
 $\frac{mg V_1^2}{S} - (2mgV + 2P_0 V^2) V_1 + 2P_0 V^2 = 0$

$l = \frac{V}{S}$   
 $x = \frac{V}{S} \cdot \frac{mg}{P_0 S - mg}$   
 $= \frac{10^{-3}}{10^{-2}} \cdot \frac{5 \cdot 10}{10^5 \cdot 10^{-2} - 5 \cdot 10} (м) =$   
 $= \frac{5}{950} м = \frac{1}{190} м = \frac{100}{19} мкм$   
 $\approx 5,25 мкм$

Ответ:  $x = \frac{V}{S} \cdot \frac{mg}{P_0 S - mg} \approx 5,25 мкм$

Не забудем учесть, что так как под поршнем находится только водяной пар при температуре  $t = 100^\circ C$ , то давление газа снизу не может превышать  $P_0$ .

Очевидно, что при возрастании давления из-за тяжести поршня, водяной пар начнет конденсироваться. Итого, давление  $P_1 = P_0$ .

Занедем М.-К.:

$P_2 V_2 = \nu RT \rightarrow (P_0 - \frac{mg}{S})(2V - V_1) = \frac{P_0 V}{RT} \cdot RT$   
 $P_0 V_1 = \nu RT$   
 $V_2 + V_1 = 2V$   
 $P_0 = P_2 + \frac{mg}{S}$   
 $2P_0 V - 2mg \frac{V}{S} - P_0 V_1 + \frac{mg V_1}{S} = P_0 V$   
 $P_0 V - 2mg \frac{V}{S} = V_1 (P_0 - \frac{mg}{S})$   
 $V_1 = \frac{P_0 V - 2mg \frac{V}{S}}{P_0 - \frac{mg}{S}} = V \cdot \frac{P_0 S - 2mg}{P_0 S - mg}$

$\Delta = \frac{4m^2 g^2 V^2}{S^2} + 4P_0^2 V^2 + 8mg P_0 V^2 - 4 \frac{mg}{S} \cdot 2P_0 V^2 = (2V)^2 (\frac{m^2 g^2}{S^2} + P_0^2)$   
 $V_1 = \frac{2mgV + 2P_0 V \pm 2V \sqrt{\frac{m^2 g^2}{S^2} + P_0^2}}{2} =$   
 $\frac{2mg}{S}$   
 $V + \frac{P_0 V S}{mg} \pm \frac{V S}{mg} \sqrt{\frac{m^2 g^2}{S^2} + P_0^2}$   
 $= V (1 + \frac{P_0 S}{mg} \pm \sqrt{1 + \frac{P_0^2 S^2}{m^2 g^2}})$   
 $l_1 = \frac{V_1}{S} = \frac{V}{S} \cdot \frac{P_0 S - 2mg}{P_0 S - mg}$ ;  $x = l - l_1$

Чисовик Вариант N2

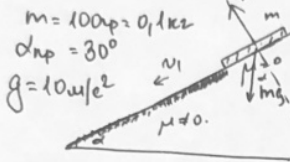
N3.5.1) Вопрос

Електроёмкость - скалярная физ. величина, являющаяся отношением заряда проводника к его потенциалу ( $C = \frac{q}{\phi}$ )

Для плоского конденсатора:  $C = \frac{\epsilon \epsilon_0 S}{d}$ , где  $\epsilon$  - коэффициент диэлектрика между обкладками,  $\epsilon_0$  - электрическая постоянная,  $S$  - площадь пластины конденсатора,  $d$  - расстояние между пластинами.

Задача

1.1. Расшир. случай без трения:



Сказано, что пластинка покатил при  $\alpha \leq 30^\circ$ , значит,  $\mu = \text{tg } \alpha_{\text{кр}} = \text{tg } 30^\circ = \frac{1}{\sqrt{3}}$   
Пусть длина пластинки -  $l$

Разобьем пластинку на маленькие кусочки. Очевидно, работа, совершаемая силой трения на каждом первом кусочке равна  $\Delta A_1 = \mu \cdot dm \cdot g \cdot \cos \alpha \cdot l$ ; силой тяжести -  $\Delta A_n = \mu \cdot dm \cdot g \cdot \cos \alpha \cdot 0 \approx 0$

Тогда в среднем <sup>по кусочкам</sup> совершили работу  $\Delta A = \frac{\Delta A_1 + \Delta A_n}{2} = \mu dm g \cos \alpha \frac{l}{2}$ .  
тогда  $A = \mu m g \cos \alpha \frac{l}{2}$ .

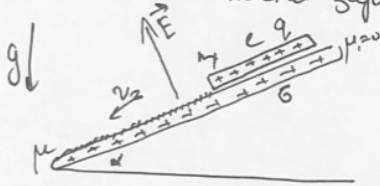
Центр масс переместится вверх  $l \sin \alpha$ .

По ЗСЭ:  $m g l \sin \alpha = \mu m g \cos \alpha \frac{l}{2} + \frac{m v_1^2}{2}$

$d g l \sin \alpha - \mu g \cos \alpha \cdot l = v_1^2$

$g \cos \alpha (2 \text{tg } \alpha - \mu) = v_1^2$   ~~$g \cos \alpha (2 \text{tg } \alpha - \mu) = v_1^2$~~   $= g \cos \alpha \mu = g l \sin \alpha$

2. Если появляется заряд, то:



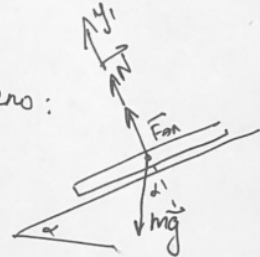
Заряженная пластинка создаёт электрическое поле  $E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$

Таким образом  $F_{эл} = E q = \frac{\sigma q}{2\epsilon_0}$

Рассм силы, действующие на тело:  
 $y_1: N + F_{эл} - m g \cos \alpha = 0$

$N = m g \cos \alpha - F_{эл}$

По ЗСЭ:  $m g l \sin \alpha = (m g \cos \alpha - \frac{\sigma q}{2\epsilon_0}) \mu \frac{l}{2} + \frac{m v_2^2}{2}$   
 $2 g l \sin \alpha - g \cos \alpha \mu l + \frac{\sigma q \mu l}{2 \epsilon_0 m} = v_2^2$



$n = \frac{v_2}{v_1} = \sqrt{\frac{v_2^2}{v_1^2}} = \sqrt{\frac{2 g l \sin \alpha - g \cos \alpha \mu l + \frac{\sigma q \mu l}{2 \epsilon_0 m}}{g l \sin \alpha}} = \sqrt{2 - 1 + \frac{\sigma q \mu}{2 \epsilon_0 m g \sin \alpha}} = \sqrt{1 + \frac{\sigma q \mu}{2 \epsilon_0 m g \sin \alpha}} =$   
 $= \sqrt{1 + \frac{3 \cdot 10^{-6} \cdot 3 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{1}{\sqrt{3}}}{2 \cdot 9 \cdot 10^{-12} \cdot 0,1 \cdot 10 \cdot \frac{1}{2}}} = \sqrt{1 + \frac{1}{\sqrt{3}}} = \sqrt{\frac{\sqrt{3}+1}{\sqrt{3}}}$

Ответ:  $\sqrt{1 + \frac{\sigma q}{2 \epsilon_0 m g \cos \alpha}} = \sqrt{\frac{\sqrt{3}+1}{\sqrt{3}}}$

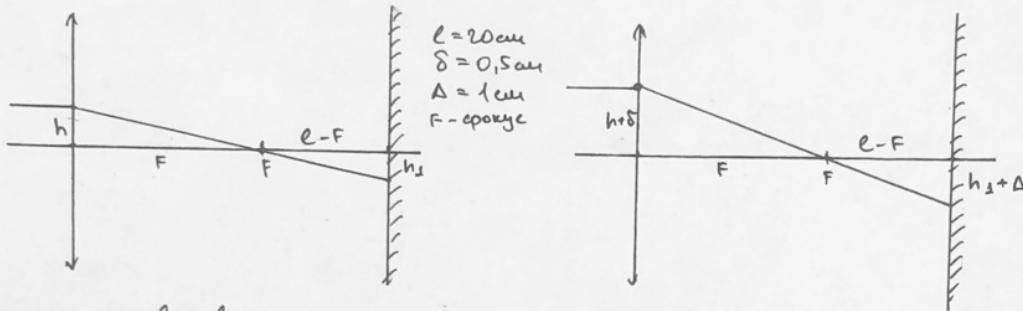
3/4

Чистовик Вариант №2№4.3.1) Вопрос

Фокусное расстояние линзы - расстояние от центра линзы до точки на главной оптической оси, в которой пересекаются преломленные в линзе лучи (или их продолжения), пущенные перпендикулярно плоскости линзы

Оптическая сила  $D = \frac{1}{F}$ , где  $F$  - фокусное расстояние линзы, и  $[D]$  - дптр.

Если пересекаются сами лучи, то  $D > 0$ . Если их продолжения -  $D < 0$   
(собирающая линза) (рассеивающая линза)

Задача

Нарисуем, соответственно, первый и второй случаи.

Теперь из геометрии:

$$\begin{cases} \frac{h}{F} = \frac{h_1}{l-F} \\ \frac{h+\delta}{F} = \frac{h_1+\Delta}{l-F} \end{cases} \rightarrow \begin{cases} \frac{h}{F} = \frac{h_1}{l-F} \\ \frac{h}{F} + \frac{\delta}{F} = \frac{h_1}{l-F} + \frac{\Delta}{l-F} \end{cases} \rightarrow \frac{\delta}{F} = \frac{\Delta}{l-F} \rightarrow \delta l - \delta F = \Delta F$$

$$F = \frac{\delta l}{\Delta + \delta}$$

Заметим, что если линзу передвинуть в другую сторону (т.е.  $\delta = -\delta'$ ;  $\Delta = -\Delta'$ )  
то  $F = \frac{-\delta' l}{-\Delta' - \delta'} = \frac{\delta' l}{\delta' + \Delta'}$  - ответ такой же, то есть, не важно, как мы передвинем

линзу.


$$F = \frac{\delta l}{\Delta + \delta} = \frac{0,5 \text{ см} \cdot 20 \text{ см}}{1 \text{ см} + 0,5 \text{ см}} = \frac{10 \text{ см}^2}{1,5 \text{ см}} = \frac{20}{3} \text{ см} \approx 6\frac{2}{3} \text{ см} \approx 6,67 \text{ см}$$

Ответ:  $F = \frac{\delta l}{\Delta + \delta} \approx 6,67 \text{ см}$

4/4

Председателю апелляционной комиссии  
олимпиады школьников «Ломоносов»  
Ректору МГУ имени М.В. Ломоносова  
академику В.А. Садовничему  
ученика 11 класса Предуниверситария  
НИЯУ МИФИ Университетского Лицея  
№1511  
(г. Москва, Пролетарский пр-кт, д. 6, корп. 3)  
Шерхалова Дениса Дмитриевича

*Оценки  
и ответы  
по физике*



апелляция,

Прошу пересмотреть выставленные технические баллы (83) за мою работу заключительного этапа по физике, поскольку считаю, что не все баллы учтены.

Вопрос 1.3.1. На теоретический вопрос мной приведен верный ответ. Он является полным и содержит по обеим частям вопроса необходимые физические понятия. Мной верно записана формула импульса системы материальных точек и верно описан закон сохранения импульса. Считаю, что за мой ответ должны быть выставлены максимальные 10 баллов.

Задача 1.3.1. Задача решена полностью, получен численный верный ответ. Записаны закон сохранения импульса, условие прекращения проскальзывания колёс, из физических соображений получен верный буквенный ответ. Считаю, что за задачу должны быть выставлены максимальные 15 баллов.

Вопрос 2.2.1. На теоретический вопрос мной приведен верный ответ. Он является полным и содержит по обеим частям вопроса необходимые физические понятия. Мной верно дано определение влажности и относительной влажности. Считаю, что за мой ответ должны быть выставлены максимальные 10 баллов.

Задача 2.2.1. Задача решена полностью, получен численный верный ответ. Записан закон Менделеева-Клапейрона, описаны уравнения состояния воздуха и водяного пара, из физических соображений получен верный буквенный ответ. Считаю, что за задачу должны быть выставлены максимальные 15 баллов.

Вопрос 3.5.1. На теоретический вопрос мной приведён неполный ответ. Мной даны ответы на обе части вопроса, однако определение электроёмкости указано не совсем верно, так как мной не указано, характеристикой чего является электроёмкость, лишь дана формула. Формула электроёмкости плоского конденсатора записана верно и описаны все используемые в формуле буквы. Считаю, что за мой ответ должны быть выставлены 8 баллов.

Задача 3.5.1. Задача решена полностью, получен численный верный ответ. Записан второй закон Ньютона, работы сил трения, закон сохранения энергии, напряженность электрического поля заряженной пластины. Из физических соображений получен верный буквенный ответ. Считаю, что за задачу должны быть выставлены максимальные 15 баллов.

Вопрос 4.3.1. На теоретический вопрос мной приведен верный ответ. Он является полным и содержит по обеим частям вопроса необходимые физические понятия. Мной верно дано определение фокусного расстояния и оптической силы тонкой линзы. Считаю, что за мой ответ должны быть выставлены максимальные 10 баллов.

Задача 4.3.1. Задача не решена полностью, но правильно сформулированы физические законы и записаны основные уравнения. Из геометрического подобия треугольников найдены необходимые соотношения. Единственная ошибка – не учтено передвижение самой линзы (только лучи относительно неё). Считаю, что за задачу должны быть выставлены 10 баллов.

Итого, прошу выставить за олимпиаду 93 балла вместо 83.

Дата 25 марта 2022

 (подпись)