МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М.В. ЛОМОНОСОВА

ОЛИМПИАДНАЯ РАБОТА

Наименование олимпиады школьников: **«Ломоносов»**

Профиль олимпиады: **ФИЗИКА**

ФИО участника олимпиады: **Богданов Азат Газимович**

Класс: 11

Технический балл: **90**

Дата проведения: 25 февраля 2022 года

ШИФР РАБОТЫ 9843716

	1	2	3	4	∑
Задача	*15*	*15*	*15*	*10*	***90***
Вопрос	*9*	*9*	*9*	*8*	

Чистовик — 1

Задача 1.3.1.

Вопросы: Импульс системы материальных точек — векторная сумма импульса каждой материальной точки. $\overrightarrow{P_{системы}} = \sum \vec{p_i} = \sum m_i \vec{v_i}$

Для изолированной системы верен закон сохранения импульса, который гласит: импульс системы не меняется. $\overrightarrow{P_{системы}} = \overrightarrow{const}$ $\sum \vec{p_i} = \overrightarrow{const}$ $\sum m_i \vec{v_i} = \overrightarrow{const}$

Дано:
M, n,
N, μ, g.

Решение.

В начальные моменты времени, скорость машинки мала, поэтому двигатель создает большую силу тяги, большую силы трения. Поэтому колеса машинки будут проскальзывать. В момент времени $t = \tau$, когда скорость машинки относительно доски будет равна V, машинка перестанет проскальзывать относительно доски. Тогда $V = \frac{N}{F_{тр}}$. Рассмотрим систему доска + машинка. На эту систему не действую внешние силы вдоль горизонтальной оси, следовательно горизонтальная составляющая импульса системы не меняется.

Рассмотрим систему в произвольный момент времени. Доска двигается влево со скоростью v_1, а машинка вправо со скоростью v_2 относительно лабораторной системы отсчёта. Верен закон сохранение импульса на горизонтальной оси.

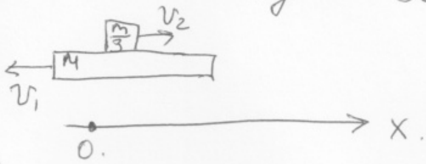
См. продолжение на странице 2

Чистовик – 2

Задача 1.3.1. Продолжение.

Пусть OX горизонтальная ось, тогда ЗСИ на OX:

(1) $0 = \frac{M}{n}\cdot v_2 - M v_1$.



Получаем $v_2 = n v_1$.

Относительная скорость $v_{отн} = v_1 + v_2 = (n+1) v_1$. Скорость машинки относительно доски. Рассмотрим момент, когда машинка перестала проскальзывать, тогда $v = v_{отн} = \frac{N}{F_{тр}} = \frac{N}{\frac{Mg\mu}{n}} = \frac{n\cdot N}{Mg\mu}$

Получаем $v_1(n+1) = \frac{nN}{Mg\mu} \Rightarrow v_1 = \frac{n}{n+1}\cdot\frac{N}{Mg\mu}$. $v_2 = n v_1 = \frac{n^2 N}{(n+1)Mg\mu}$

Заметим, что в промежутке времени от $t=0$ до $t=\tau$ часть силы, передаваемой двигателем в работу – сила трения скольжения, а часть силы в тепло. Именно эта часть силы, равная силе трения приводит в движение машинку и доску. Тогда $A = F_{трс}\cdot X_{отн}$, где $F_{трс}$ – сила трения скольжения, по закону Кулона Амонтона $F_{трс} = F_T = \frac{m}{n} g\mu$. $X_{отн}$ – расстояние пройденное машинкой относительно доски. Тогда верен ЗСЭ (с поправкой, что теплоту мы учли ранее).

$$2\frac{M}{n}g\mu\cdot X_{отн} = \frac{M v_1^2}{2} + \frac{M}{n}\frac{v_2^2}{2} \Rightarrow 2\frac{g\mu}{n}\cdot X_{отн} = \frac{n^2N^2}{(n+1)^2M^2g^2\mu^2} + \frac{n^3N^2}{(n+1)^2M^2g^2\mu^2}$$

Получаем $X_{отн} = \frac{n^3N^2}{2(n+1)M^2g^3\mu^3}$ м.

Ответ $X_{отн} = \frac{n^3N^2}{2(n+1)M^2g^3\mu^3}$ м.

Численный ответ. $X_{отн} = \frac{27\cdot 4}{2\cdot 4\cdot 1\cdot 27} = 0{,}5$ м.

Чистовик – 3

Задача 2.2.1.

Вопросы: Влажность воздуха – количество водяного пара в воздухе. Можно измерить как давление либо плотность водяного пара.

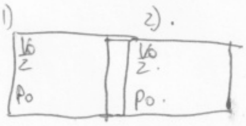
Относительная влажность – отношение количества водяного пара в воздухе к ~~ним~~ максимальному количеству водяного пара в воздухе. $K = \frac{p}{p_0} = \frac{\rho}{\rho_0}$.

У насыщенного пара относительная влажность – 100%.

Дано:
V_0, m, t
S, g, p_0.

Решение.

Рассмотрим сосуд в горизонтальном положении.



Т.к. водяной пар – насыщен, то его давление при $t = 100°C$ $p_0 = 10^5$ ПА.

Значит и у воздуха будет давление p_0. Запишем закон Менделеева-Клапейрона для воздуха.

(1) $p_0 \cdot \frac{V_0}{2} = \nu_в \cdot R \cdot T$, где $\nu_в$ – количество вещества воздуха, T – температура в K.

Рассмотрим сосуд в вертикальном положении. Заметим, что сразу после переворота давление у пара стало $p > p_0$, и поэтому часть пара сконденсировалось. После конденсации давление пара стало снова p_0. Давление $p_0 = p_п + p_в$, где $p_п$ – давление, создаваемое поршнем, $p_в$ – давление, создаваемое воздухом.

Продолжение на странице 4

Чистовик — 4

Задача 2.2.1.

Найдем $p_п$. $P_п = \frac{mg}{S}$. Тогда $p_в = P_0 - P_п$

Пусть поршень сдвинулся на x и объем воздуха увеличился на xS. Запишем закон Менделеева - Клапейрона для воздуха.

$$(2)\ (P_0 - P_п)\cdot\left(\frac{V_0}{2} + xS\right) = \nu_в \cdot R\cdot T \quad \text{из (1).}$$

$$(P_0 - P_п)\left(\frac{V_0}{2} + xS\right) = P_0\frac{V_0}{2}$$

$$(P_0 - P_п)\cdot xS = P_п\cdot\frac{V_0}{2}$$

$$\left(P_0 - \frac{mg}{S}\right)\cdot xS = \frac{mg}{S}\cdot\frac{V_0}{2}$$

$$(P_0S - mg)\,xS = \frac{mgV_0}{2} \Rightarrow x = \frac{mgV_0}{2S(P_0S - mg)}$$

Проверим, что $x < \frac{V_0}{2S}$, ~~чтобы~~ ведь поршень не выходит за пределы сосуда.

$$\frac{mg}{P_0S - mg} < 1 \Rightarrow 2mg < P_0S \quad 100 < 1000 \text{ — верно.}$$

Найдем численное значение x.

$$x = \frac{5\cdot 10\cdot 0{,}001}{2\cdot 0{,}01(100000\cdot 0{,}01 - 5\cdot 10)} = \frac{5}{2\cdot 950} = \frac{5}{1900} = \frac{1}{380}\text{ м.}$$

Ответ. $x = \frac{mgV_0}{2S(P_0S - mg)} = \frac{1}{380}$ м.

Чистовик – 5

Задача 3.5.1

Вопросы: Электроемкость – величина, характеризующая напряжение на конденсаторе в зависимости заряда конденсатора. Численно равна отношению заряда к напряжению.

Электроемкость плоского конденсатора $C = \frac{\varepsilon_0 S}{d}$

Дано. Решение

m $\alpha_{тр.}$

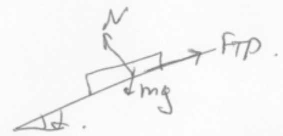
σ q

g ε_0

Т.к. пластина покоится при $\alpha \leq 30°$, можем найти коэффициент трения μ.

При $\alpha = 30$ пластина покоится. Значит, сумма сил равна 0.

Рассмотрим силы, действующие вдоль поверхности пластины:



$mg\sin\alpha = mg\cos\alpha\,\mu$ откуда $\mu = tg\,\alpha$.

Рассмотрим движение пластины без зарядов.

Пусть плита располагается x-вой частью на шероховатой части, тогда $1-x$-ная часть располагается на гладкой части. Тогда сила трения равна

$F_{тр}(x) = \mu x \cdot N$.

$N = mg\cos\alpha$, тогда

$F_{тр}(x) = \mu mg\cos\alpha\, x$.

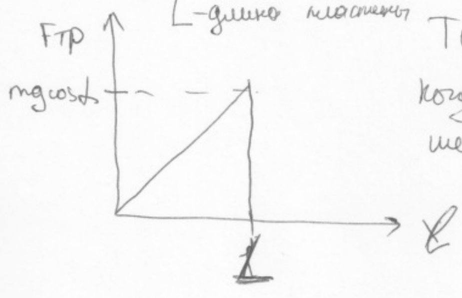
Продолжение на странице 6

Чистовик — 6

Задача 3.5.1

Тогда начертим график ~~Fтр(x)~~, $F_{тр}(l)$, где $l = xL$.

L — длина пластины



Тогда работа силы трения. К моменту, когда пластина полностью будет на шероховатой поверхности равна площади под графиком.

$$A_{тр} = F_{тр_1} \frac{L}{2}.$$

Запишем ЗИМЭ:

(1). $mgL\sin\alpha - \frac{mv_1^2}{2} = F_{тр_1} \cdot \frac{L}{2}$.

Получаем. $2mgL\sin\alpha - \mu mg\cos\alpha \, L = mv_1^2$ отсюда $v_1^2 =$
$= gL(2\sin\alpha - \mu\cos\alpha)$

Рассмотрим пластину с зарядами.
на пов-сти.

Плита имеет заряд, значит создает напряженность. $E = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0}$. ~~Напряженность дей~~ Плита действует на пластину с силой $F_э = E \cdot q$, где q — заряд пластины.
Тогда $F_э = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0} q$. Подставим числа $F_э = \frac{3 \cdot 10^{-6} \cdot 3 \cdot 10^{-6}}{9 \cdot 10^{-12} \cdot 2} = \frac{1}{2}$ Н.
Сказано, что пластина оказывается на шероховатой поверхности, значит $N > 0$. $N = mg\cos\alpha - F_э$.
Тогда $A_{тр} = F_{тр_2} \cdot \frac{L}{2} = \mu \frac{L}{2} \cdot N = \mu \frac{L}{2}(mg\cos\alpha - F_э)$.
Запишем ЗИМЭ:
$mgL\sin\alpha - \frac{mv_2^2}{2} = F_{тр}\frac{L}{2} \Rightarrow gL\left(2\sin\alpha - \mu\cos\alpha + \mu\frac{F_э}{mg}\right) = v_2^2$

Продолжение на странице 7

Задача 3.5.1 Чистовик – 7

Тогда $\frac{v_1}{v_2} = \frac{\sqrt{gL(2\sin\alpha - \mu\cos\alpha)}}{\sqrt{gL(2\sin\alpha - \mu\cos\alpha + \mu\frac{F_э}{mg})}} = \sqrt{\frac{2\sin\alpha - \mu\cos\alpha}{2\sin\alpha - \mu\cos\alpha + \mu\frac{F_э}{mg}}}$

Подставим числа.

$$\frac{v_1}{v_2} = \sqrt{\frac{2\sin\alpha - \frac{1}{\sqrt{3}}\cos\alpha}{2\sin\alpha - \frac{1}{\sqrt{3}}\cos\alpha + \frac{1}{2\sqrt{3}}}}$$

Найдем при $\alpha = 30°$

$$\frac{v_1}{v_2} = \sqrt{\frac{2\cdot\frac{1}{2} - \frac{1}{\sqrt{3}}\cdot\frac{\sqrt{3}}{2}}{2\cdot\frac{1}{2} - \frac{1}{\sqrt{3}}\cdot\frac{\sqrt{3}}{2} + \frac{1}{2\sqrt{3}}}} = \sqrt{\frac{1}{1+\sqrt{3}}} = \sqrt{\frac{\sqrt{3}-1}{2}}$$

Ответ $\frac{v_1}{v_2} = \sqrt{\frac{2\sin\alpha - \frac{1}{\sqrt{3}}\cos\alpha}{2\sin\alpha - \frac{1}{\sqrt{3}}\cos\alpha + \frac{1}{2\sqrt{3}}}}$

Чистовик – 8

Задача 4.3.1

Вопросы: Фокусное рассновение – расстояние от линзы, на котором фокусируется пучок параллельных главной оптической оси лучей.

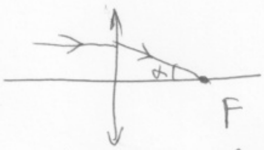
Оптическая сила тонкой линзы - величина, описывающая способность линзы изменять лучи света.

Дано. Решение.

ℓ δ

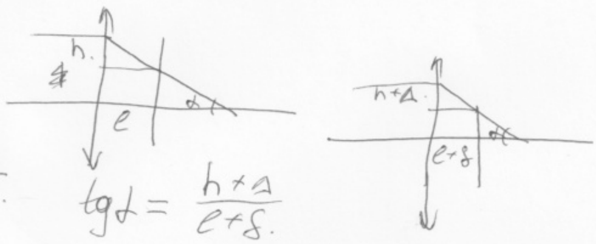
Δ

Пусть пучок света падает следующим образом. ~~TDO~~



Заметим, что при сдвиге линзы на δ и при сдвиге экрана на δ мы получим одинаковое смещение пятна.

Тогда.



$tg\alpha = \frac{h}{\ell}$. $tg\alpha = \frac{h+\Delta}{\ell+\delta}$.

$h = tg\alpha \cdot \ell$. тогда $\ell tg\alpha + \delta tg\alpha = \ell tg\alpha + \Delta \Rightarrow$

$\Rightarrow tg\alpha = \frac{\Delta}{\delta} = \frac{1}{0{,}5} = 2$.

~~Больше из условия~~ фокусное расстояние определить не считаю возможным.

Черновик – 1

$$A_{тр} = \frac{mg\cos\alpha\,\mu\,l}{2}$$

$$2mgl\sin\alpha = \frac{mg\cos\alpha\,\mu\,l}{2} + \frac{mv_1^2}{2}$$

$$mg\sin\alpha - mg\cos\alpha\,\mu\frac{x}{l} = ma \qquad v_1^2 = gl(2\sin\alpha - \mu\cos\alpha)$$

$$a + g\cos\alpha\,\mu\frac{x}{l} = g\sin\alpha$$

$$\omega^2 = \frac{g\cos\alpha\,\mu}{l} \qquad 2mgl\sin\alpha = \frac{(mg\cos\alpha - \frac{F}{gm})g\mu l}{2} + \frac{mv_2^2}{2}$$

$$\omega^2 x_1 = g\sin\alpha = x_1\frac{g\cos\alpha\,\mu}{l} \qquad gl(2\sin\alpha - \mu\cos\alpha + \frac{\mu F}{gm}) = v_2^2$$

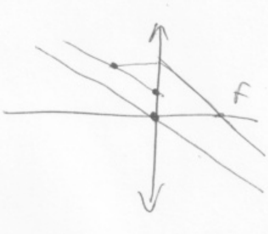
$$\operatorname{tg}\alpha = x_1\frac{\mu}{l}$$

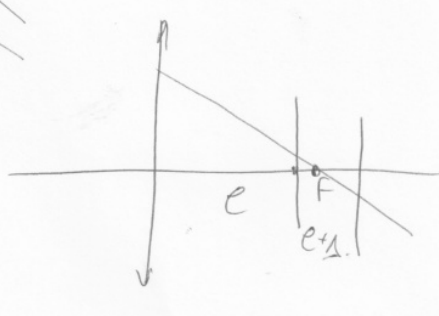
$$\frac{\sigma}{2\varepsilon_0} = E \qquad \frac{v_1^2}{v_2^2} = \frac{2\sin\alpha - \mu\cos\alpha}{2\sin\alpha - \mu\cos\alpha + \frac{\mu F}{gm}}$$

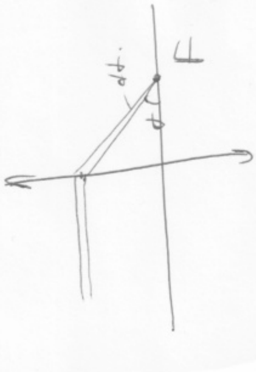
$$F = E \qquad \frac{3\cdot10^{-6}}{2\cdot9\cdot10^{-12}}\cdot3\cdot10^{-6} = \frac{1}{2}\text{ Н}.$$

~~mg sinα~~ ~~mgcosα = cosα~~

$$\frac{\frac{1}{2}}{\frac{1}{2}+\frac{1}{2\sqrt{3}}} = \sqrt{\frac{1}{1+\sqrt{3}}} = \sqrt{\frac{\sqrt{3}-1}{2}}$$







$$\frac{l\operatorname{tg}\alpha + \Delta}{l + \delta} = \operatorname{tg}\alpha$$

$$\frac{20\operatorname{tg}\alpha + 1}{20 + 0.5} = 20\operatorname{tg}\alpha + 0.5\operatorname{tg}\alpha$$

ШИ 1

Импульс системы материальных точек — ~~векторная~~ сумма импульса каждой мат. точки. $\vec{P}_{системы} = \sum \vec{p_i} = \sum m_i \cdot \vec{v_i}$

Для изолированной системы (~~на которую действует суммарная сила $\vec{F} = 0$~~) верен закон сохранения импульса, который гласит: Импульс системы не меняется. $\vec{P}_{систем} = \vec{const}$

$\sum \vec{p_i} = \vec{const}$ $\quad \sum m_i \cdot \vec{v_i} = \vec{const}$ $\quad C = \frac{q}{U}$ $\quad E = \frac{q}{\varepsilon_0}$

$C \cdot U = q$ $\quad U = E \cdot d$ $\quad C \cdot E \cdot d = q$

$C \cdot A \cdot d = A \cdot \varepsilon_0 \cdot S$ $\quad C = \frac{\varepsilon_0 S}{d}$

Черновик – 2

$\frac{\ell}{h} = \frac{\ell+\delta}{h+\Delta}$

$\frac{F-\ell}{h} = \frac{F-\ell-\delta}{h+\Delta}$

$Fh - \ell h + F\Delta - \ell\Delta = Fh - \ell h - \delta h$

$F\Delta - \ell\Delta = +\delta h$

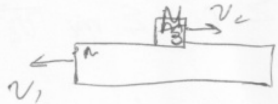
$\frac{0{,}2}{h} = \frac{0{,}205}{h+1}$

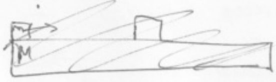
$0{,}2h + 0{,}2 = 0{,}205h$

$0{,}2 = 0{,}005h$

$h = 40$ см

$\vec{p} = \Sigma \vec{p_i} = \Sigma m_i \cdot \vec{v_i}$





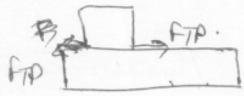
$\frac{M}{3} v_2 = M v_1$

$v_2 = 3 v_1$

$\frac{M}{3} g \mu \cdot 4 v_1 = N$

$v_1 = \frac{3N}{4Mg\mu}$

$v_1 = \frac{3N}{4Mg\mu}$



$F_{тр} = \frac{M}{3} g \mu =$

$F_{тр} = M a$

$a_1 = \frac{\frac{M}{3} g\mu}{M} = \frac{g\mu}{3}$

$a_2 = g\mu$

$a_{общ} = \frac{4}{3} g\mu$

$\frac{3N}{4Mg\mu} = \frac{4}{3} g\mu \cdot t$

$t = \frac{9}{16} \frac{N}{Mg^2\mu^2}$

$X =$

$X = \frac{4}{3} g\mu \cdot \frac{81}{256} \frac{N^2}{m^2 g^3 \mu^3} =$

$= \frac{27}{128} \frac{N^2}{m^2 g^3 \mu^3}$

$X = \frac{50 \cdot 10^{-3} \cdot 5}{2 \cdot 10^{-2} \cdot 950} = \frac{5}{1900} = \frac{1}{380}$

$\frac{0{,}001}{0{,}01} = 0{,}1$