МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М.В. ЛОМОНОСОВА

ОЛИМПИАДНАЯ РАБОТА

Наименование олимпиады школьников: **«Ломоносов»**

Профиль олимпиады: **ФИЗИКА**

ФИО участника олимпиады: **Казачков Андрей Иванович**

Класс: 11

Технический балл: **79**

Дата проведения: 25 февраля 2022 года

ШИФР РАБОТЫ 9602750

	1	2	3	4	$\sum$
Задача	*5*	*15*	*10*	*14*	***79***
Вопрос	*8*	*9*	*9*	*9*	

А2 Чистовик.

№1) Вопрос: импульс системы мат. точек есть сумма импульсов каждой точки системы.

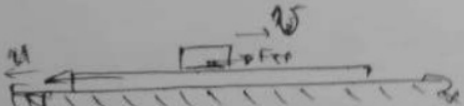
Закон сохр. импульса: сумма импульсов всех тел системы есть величина пост., если сумма всех внеш сил равна нулю. (или если время взаимод. стремится к нулю, а внешние силы ограничены)

Импульс может сохр. на ось, если в проекции на неё сумма всех внешних сил равна нулю или силы ограничены, а время взаимодействия стремится к нулю.

№ Задача.

Запишем ЗСИ для сист.

$0 = mv - 3mu, \quad v = 3u$



В мом-т отсутствия проскальзывания

$N = F_{трения} v_{отн} = \mu \frac{M}{3}(u+v) = \mu \frac{M}{3} \cdot 4u \Rightarrow u = \frac{3N}{4\mu M}$ (1)

$F_{тяги} = F_{тр}$, т.к. в мом-т просм. с.б. колеса нет

Относит. уск. автомобиля $a_{отн} = \frac{4}{3} g\mu$,

$F_{тр} = \mu \frac{M}{3} g \Rightarrow$ 2ЗН для доски $Ma = \mu \frac{M}{3} g \Rightarrow a = \frac{\mu g}{3}$,

а для автомоб. $\frac{M}{3} a_2 = \mu \frac{M}{3} g \Rightarrow a_2 = \mu g \Rightarrow a_{отн} = \frac{4}{3}\mu g$

$x = a_{отн} t^2 = \frac{4}{3} \mu g t^2$.

Для доски по формуле кинематики равноуск. движения $u = 0 + \frac{\mu g}{3} t \overset{(1)}{\Rightarrow} \frac{3N}{4\mu M} = \frac{\mu g}{3} t \Rightarrow$

$\Rightarrow t = \frac{9N}{4\mu^2 Mg} = \frac{9 \cdot 2}{4 \cdot 0{,}09 \cdot 1 \cdot 10^2} = \frac{1}{2 \cdot 0{,}1} = \frac{1}{0{,}2} = 5$ с. $\Rightarrow$

$\Rightarrow x = \frac{4}{3} \cdot 0{,}3 \cdot 10 \cdot 25 = 100$ м

Ответ: $x = 100$ м.

1

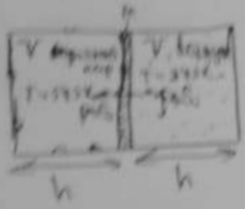
№2 чистовик.

Задача.

Дано: $m = 5$ кг, $V = 10^{-3}$ м^3, $t = 100°C$, $S = 0{,}01$ м^2, $g = 10$ м/с^2.
$p_0 = 10^5$ Па.

$x = ?$

Решение:



$g = 10$ м/с^2

Водяной пар насыщен $\rightarrow p_{нп} = p_0 = 10^5$ при $T = 373$ K. Когда цилиндр перевернули, объём пара уменьшился $\Rightarrow$ $\rightarrow$ он остался в нас. сост.

Из условия равновесия поршня давление воздуха вначале равно p_0. Если бы там был водяной пар, то давление его было бы равно p_0, но также там обязательно должен быть сухой воздух $\Rightarrow$ $\rightarrow$ давление в правой части было бы по закону Дальтона больше, чем в левой, противоречие. $\rightarrow$ воздух есть сухой воздух. ~~При~~

Запишем ур-ние сост-ния воздуха:

$$p_0 \underbrace{Sh}_{V} = \nu RT \ (2), \quad p_1 S(h+x) = \nu RT \ (1)$$

Ур-ние сост: $mg + p_1 S = p_0 S \rightarrow p_1 = p_0 - \frac{mg}{S}$ $\overset{(1),(2)}{\Rightarrow}$

$$\Rightarrow \left(p_0 - \frac{mg}{S}\right)(\underbrace{Sh}_{V} + Sx) = p_0 V \Leftrightarrow V + Sx = \frac{p_0 V}{p_0 - \frac{mg}{S}} \Leftrightarrow$$

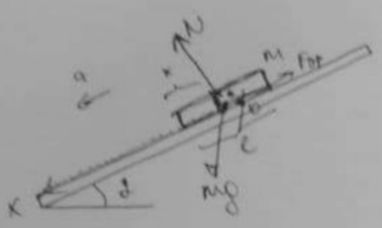
$$\Leftrightarrow Sx = \frac{p_0 V}{p_0 - \frac{mg}{S}} - V, \quad x = \frac{V}{S}\left(\frac{p_0}{p_0 - \frac{mg}{S}} - 1\right) = \frac{10^{-3}}{10^{-2}}\left(\frac{10^5}{10^5 - \frac{50}{10^{-2}}} - 1\right) =$$

$$= 10^{-1}\left(\frac{10^5}{10^5 - 5000} - 1\right) = 10^{-1}\left(\frac{10^5 - 10^5 + 5000}{95000}\right) = \frac{5}{950} = \frac{1}{190} \text{ м.}$$

Ответ: $\frac{1}{190}$ м

2

№3. Черновик



$\frac{x}{l} = \frac{m_1}{m}$, где m_1 – масса заехавшей части.

$ma = mg\sin\alpha - F_{тр}$

$F_{тр} = \mu N = \mu m_1 g\cos\alpha = \mu \frac{xm}{l} g\cos\alpha$

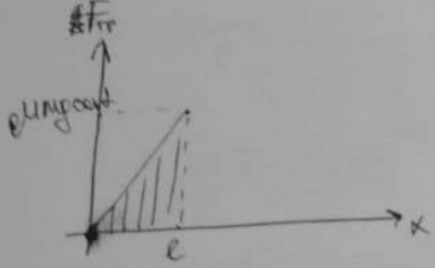
$\cancel{m}a = \cancel{m}g\sin\alpha - \mu \cancel{m}g\cos\alpha$

$\ddot{x} = g\sin\alpha - \mu g\cos\alpha \cdot \frac{xm}{l}$

$\ddot{x} + x\cdot\underbrace{\left(\frac{\mu mg\cos\alpha}{l}\right)}_{\omega^2} = g\sin\alpha$

Время заезда $\tau = \left(\frac{T}{2}\right) = \frac{2\pi}{2\omega} = \pi\sqrt{\frac{l}{\mu mg\cos\alpha}}$

$x(t) = A\cos(\omega t)$



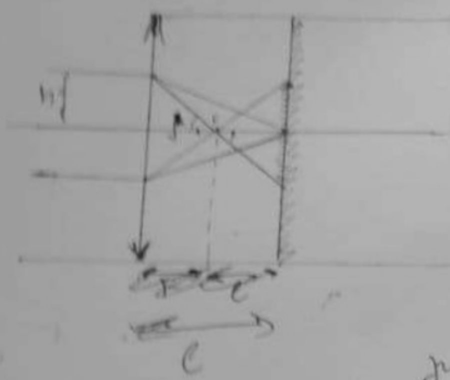
$A_{тр} = \frac{1}{2}\mu mg\cos\alpha \cdot l$

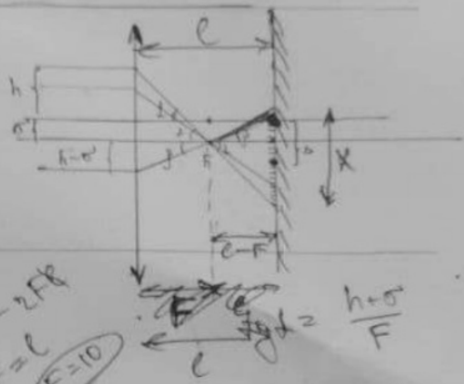
$A_{тр} = \frac{mv^2}{2}$

Черновик.

№1

$N = \frac{dA}{dt} = \frac{FdS}{dt} = c$





$tg\alpha = \frac{h+\sigma}{F}$

$N + F_g = mg\cos\alpha$

$F^2 = F^2 + l^2 - 2Fl$

$2F = l$

$F = 10$

$\frac{F^2}{(F-l)^2} = 1$

$tg\beta = \frac{h-\sigma}{F}$

$\frac{2h}{X} = \frac{F}{l-F}$

$\frac{h+\sigma}{k} = kh + \sigma k$

$\frac{1}{k} = k \quad k^2 = 1$

$\frac{M+M+t}{2}$

$\frac{2h}{2M+t} = \frac{F}{F-l}$

$\frac{\frac{h-\sigma}{k} + \frac{2\sigma}{k}}{h+\sigma} = k$

$\frac{m+t}{h+\sigma} = \frac{F}{l-F}$

$\frac{h-\sigma}{m} = \frac{F}{l-F} = k \Rightarrow m = \frac{h-\sigma}{k}$

$\frac{2\sigma}{t} = \frac{F}{l-F} = k \Rightarrow t = \frac{2\sigma}{k}$

$t = \frac{2\sigma}{k}$

12

$\frac{t}{2} = 0{,}5$ см $\quad t = 1$ см

$\sigma + \frac{t}{2} = \Delta$

$\frac{2}{M+M+t} = g$

$\frac{F}{l-F} = \frac{M}{h-\sigma}$

$\frac{F}{l-F} = k$

$\frac{2\sigma}{F} = \frac{t}{l-F}$

№2 (продолжение)

Вопрос: влажность воздуха

$\rho = \frac{m}{V}$ (~~масса~~ плотность влаги в единице объема).

относительная влажность воздуха — это ~~отноше-ние~~ $\varphi = \frac{p_{пар}}{p_{нас}} \cdot 100\%$, где $p_{пар}$ — давление пара в данный момент, а $p_{нас}$ — давление насыщенного пара.

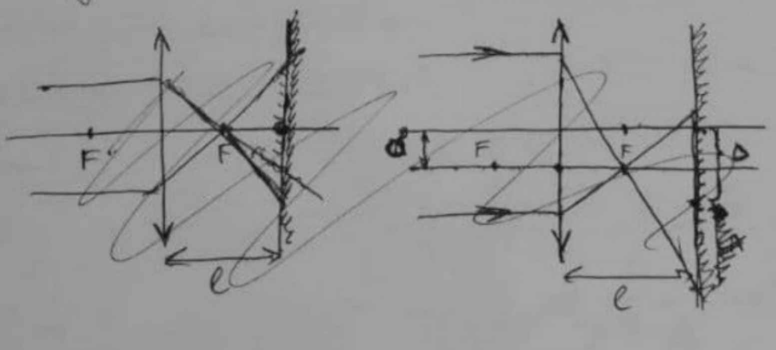
№4.

Вопрос: фокусное расстояние — это расстояние до точки, в которой будут фокусироваться все лучи, идущие параллельно главной оптической оси линзы.

Оптическая сила тонкой линзы — это ~~отно~~ величина, равная ~~отношению~~ $D = \frac{1}{F}$, где F — фокусное расстояние линзы, измеряется в диоптриях дптр $= \frac{1}{м}$.

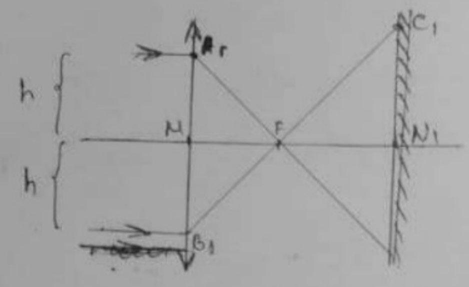
Задача:

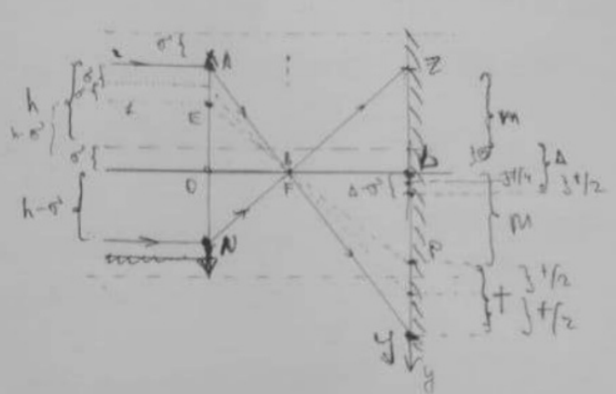
Дано: $l = 20$ см, $d = 0{,}5$ мм, $\Delta = 1$ см.



③

№4 (продолжение)





Решение:

Если два луча идут симметрично ГОО, то пятно симметрично от-но ГОО.

Пусть крайние лучи пятна идут на высоте h от ГОО. Тогда $\Delta A_1MF \sim \Delta FN_1C_1$ с коэф пропорц. $k=\frac{F}{\ell-F}$. Если опустим ГОО на δ, то расстояние от нижнего луча до ГОО будет равно $h-\delta$, а до верхнего $h+\delta$. Пустим луч 1 в верхней полуплоскости парал. ГОО на расстоянии $h-\delta$, тогда на экране получим т. P симметричную т. Z от-но ГОО. ~~Если поднимем луч 1 на 2δ, то центр пятна уйдет вниз на $t/2$ (как среднее арифм концов отрезка). t здесь это отрезок PY, образованный лучом 1 и 2 на экране~~. Отметим, что $\Delta AEF \sim \Delta FPY$ по двум углам (линза $\parallel$ экрану) ~~$\frac{F}{F-\ell} = \frac{2\delta}{t}$ ... $\delta + \frac{t}{2} = \Delta$~~

$\Rightarrow$ ~~$\frac{t}{2} = 0{,}5$ см, $t = 1$ см~~ $\Rightarrow \frac{F}{F-20} = \frac{2\cdot\frac{1}{2}}{1} = 1$, ~~$F = F-20$~~

№4 (продолжение)

$\frac{h+\sigma}{m+t} = \frac{F}{l-F}$ ($\Delta AOF \sim \Delta FLZ$, где L – т. пересечения (1) ГОО с экраном, т. Z – точка пересеч. нижнего луча с экр).

$\frac{h-\sigma}{m} = \frac{F}{l-F}$ $\Leftrightarrow$ ($\Delta ONF \sim \Delta FZL$) (2)

$\angle ONF = \angle FZL$, как накр. леж. при $EN \parallel ZP$ и сек. NZ, аналогично $\angle OAF = \angle FYL$.

$\frac{2\sigma}{t} = \frac{F}{l-F}$ (стороны как высоты в $\Delta EAF \sim \Delta FPY$ по двум углам)

Пусть $\frac{F}{l-F} = k$, тогда $t = \frac{2\sigma}{k}$, из (2) $m = \frac{h-\sigma}{k}$,

~~подставим в (1): $\frac{h-\sigma}{k} + t = k(h+\sigma)$~~

$\cancel{\frac{h-\sigma}{k} + \frac{2\sigma}{k} = k(h+\sigma) \Leftrightarrow \frac{h+\sigma}{k} = k(h+\sigma) \Leftrightarrow 1 = k^2}$ (·)

$\cancel{\Leftrightarrow 1 = \frac{F^2}{(l-F)^2} \Leftrightarrow l^2 + F^2 - 2lF = F^2,\ l = 2F,\ F = \frac{l}{2}} = 10$ см

~~Ответ: 10 см~~

$\cancel{\frac{h+\sigma}{\frac{h-\sigma}{k} + \frac{2\sigma}{k}} = k}$ (2)

$\cancel{\frac{m+m+t}{2} = k c^2}$ ~~$m+D$~~

5

~~Чистовик~~

~~№1 (продолж.)~~

~~[illegible]~~

Чистовик

№4 (продолжение)

Как координата центра

$$x_c = \frac{m+m+t}{2} = m + \Delta - \sigma' \Leftrightarrow \cancel{2m} + t = \cancel{2m} + 2(\Delta - \sigma')$$

$$t = 2(\Delta - \sigma') \Rightarrow \frac{\cancel{2}\sigma'}{k} = \cancel{2}(\Delta - \sigma') \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow \frac{\sigma'}{\Delta - \sigma'} = k = \frac{F}{l-F} = \frac{\frac{1}{2}}{1 - \frac{1}{2}} = 1 \quad F = l - F,$$

$$2F = l, \quad F = \frac{l}{2} = 10 \text{ см}$$

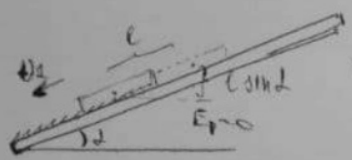
Ответ: 10 см

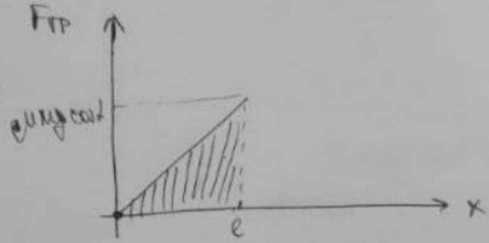
№3 чистовик

Вопрос. Электроёмкость – скалярная величина, показывающая способность проводника накапливать эл. заряд: $C = \frac{q}{\varphi}$.

$C = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 S}{d}$ – электроёмкость плоского конд-ра, где ε – диэлектр. проницаемость в-ва, ε_0 – эл. пост., S – площадь обкладок, d – расст. м/у обкладками

Задача.





$F_{тр} = \mu N = \mu m_1 g \cos\alpha$, из однородности $\frac{m_1}{x} = \frac{m}{l} \Rightarrow$

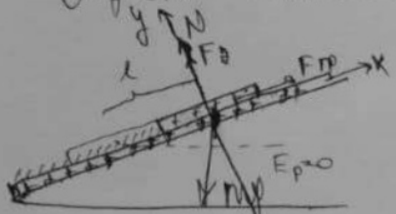
$\Rightarrow m_1 = \frac{m}{l} x$, где l – длина бруска

$F_{тр}(x) = \mu \frac{mg\cos\alpha}{l} \cdot x \Rightarrow A_{тр} = \frac{1}{2} \mu mg\cos\alpha \cdot l$

Запишем ЗИМЭ: $A_{тр} = E_2 - E_1 \Leftrightarrow$

$\frac{1}{2} \mu mg\cos\alpha \cdot l = \frac{mv_1^2}{2} - mg\, l\sin\alpha$ (3)

Пусть пластина теперь заряжена.



2ЗН: x: $mg \sin\alpha - F_{тр} = ma$

Плита и пластина заряжены одноименно ⇒ отталкиваются. Кравнима эфф. пластинами ⇒

$\Rightarrow E = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0} \Rightarrow F_э = \frac{\sigma q}{2\varepsilon_0}$

y: $N + F_э = mg\cos\alpha \Rightarrow N = mg\cos\alpha - \frac{\sigma q}{2\varepsilon_0} \Rightarrow$

$\rightarrow$

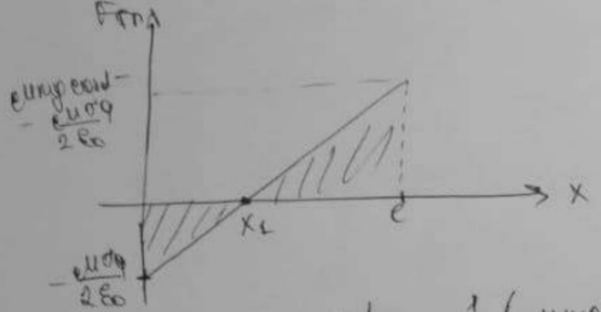
(4)

№3 (продолжение).

$F_{тр} = \mu N = \mu\left(mg\cos\alpha - \frac{\sigma q}{2\varepsilon_0}\right)$, из однородности

$m_2 = \frac{mx}{l}$, где x – масса запуск. части. ⇒

$F_{тр} = \mu\frac{m}{l}g\cos\alpha\cdot x - \frac{\mu\sigma q}{2\varepsilon_0}$



$A_{тр}$: x_1:

$\frac{\mu mg\cos\alpha\, x_1}{l} = \frac{\mu\sigma q}{2\varepsilon_0}$.

$x_1 = \frac{l\sigma q}{2mg\varepsilon_0\cos\alpha}$

$A_{тр} = \frac{1}{2}\left(\mu mg\cos\alpha - \frac{\mu\sigma q}{2\varepsilon_0}\right)(l - x_1) + $

$- \frac{1}{2}\frac{\mu\sigma q}{2\varepsilon_0}x_1 = \frac{1}{2}\mu mgl\cos\alpha - \frac{\mu\sigma q l}{4\varepsilon_0} - \frac{1}{2}\mu mg\cos\alpha\, x_1 +$

$+ \frac{\mu\sigma q}{4\varepsilon_0}x_1 - \frac{\mu\sigma q}{4\varepsilon_0}x_1 =$

$= \frac{1}{2}\mu mgl\cos\alpha - \frac{\mu\sigma q l}{4\varepsilon_0} - \frac{1}{2}\mu mg\cos\alpha\cdot\frac{l\sigma q}{2mg\varepsilon_0\cos\alpha} =$

$= \frac{1}{2}\mu mgl\cos\alpha - \frac{\mu\sigma q l}{4\varepsilon_0} - \frac{\mu l\sigma q}{4\varepsilon_0} = \frac{1}{2}\mu mgl\cos\alpha -$

$- \frac{\mu\sigma q l}{2\varepsilon_0}$.

ЗИМЭ: $A_{\text{непот. сил}} = E_2 - E_1$

$A_{тр} = \frac{mv_2^2}{2} - mgl\sin\alpha$

$\Rightarrow \frac{1}{2}\mu l\left(mg\cos\alpha - \frac{\sigma q}{2\varepsilon_0}\right) + mgl\sin\alpha = \frac{mv_2^2}{2}$.

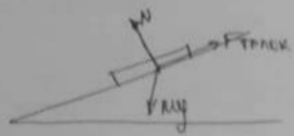
(3): $\frac{1}{2}\mu mg\cos\alpha\, l + mgl\sin\alpha = \frac{mv_1^2}{2}$

8

№3 (продолжение)

$$\frac{v_1^2}{v_2^2} = \frac{mgl\left(\frac{1}{2}\mu\cos\alpha + \sin\alpha\right)}{mgl\left(\frac{1}{2}\mu\cos\alpha + \sin\alpha\right) - \frac{\mu l\sigma q}{4\varepsilon_0}} =$$

~~0,1·1·10(1/2~~



Рассмотрим покой бруска.

$N_3 = mg\cos\alpha$, $F_{тр\,пок} = mg\sin\alpha$

$F_{тр\,пок} \le \mu N_3$, в предельном случае $F_{тр\,пок} = \mu N_3 = \mu mg\cos\alpha = mg\sin\alpha$ и $\mu = tg\alpha =$

$= tg\,30° = \frac{2}{2\sqrt{3}} = \frac{1}{\sqrt{3}}$.

$$\frac{v_1^2}{v_2^2} = \frac{0{,}1\cdot1\cdot10\left(\frac{1}{2}\cdot\frac{1}{\sqrt3}\cdot\frac{\sqrt3}{2} + \frac{1}{2}\right)}{0{,}1\cdot1\cdot10\left(\frac{1}{2}\cdot\frac{1}{\sqrt3}\cdot\frac{\sqrt3}{2} + \frac{1}{2}\right) - \frac{1}{\sqrt3}\cdot\frac{3\cdot10^{-6}\cdot3\cdot10^{-6}}{4\cdot9\cdot10^{-12}}} = \frac{\frac{3}{4}}{\frac{3}{4} - \frac{1}{4\sqrt3}} = \frac{3}{3-\frac{1}{\sqrt3}}$$

$$\frac{v_1}{v_2} = \sqrt{\frac{3}{3-1/\sqrt3}}$$

Ответ: $\frac{v_1}{v_2} = \sqrt{\frac{3}{3-\frac{1}{\sqrt3}}}$.

~~Чистовик.~~ Черновик.

№1) Вопрос: Импульс системы материальных точек есть сумма импульсов каждой точки системы.

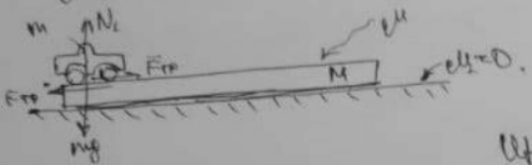
Закон сохранения импульса: сумма импульсов всех тел сист. есть величина пост., если сумма всех внешних сил равна нулю.

$\cancel{\vec{p} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2 + \ldots + \vec{p}_n}$.

Импульс может сохраняться на ось

Задача: $m = 1$ кг, $N = 2$ Вт, $M = 3m$, $\mu = 0{,}3$, $g = 10\ \frac{м}{с^2}$.

Решение:



$N = F_{тяги} \cdot v$

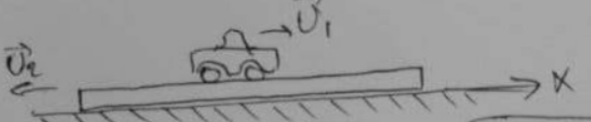
Проскальзывание прекращается, когда т. A неподвижно. В этом случае

движение точек от-но колеса равно ск-ти центра колеса, т.е ск-ти автомобиля.

$F_{тяги} = F_{тр}$; $F_{тр} = \mu N_1$, т.к. сила трения скольжения, $N_1 = mg$, $F_{тр} = \mu mg$. где m – масса автомобиля

Для системы „машина + доска" вып. ЗСИ:

$x: 0 = mU_1 - MU_2$, где U_1 – ск-ть автомобиля в СО Земли, когда проск. нет, U_2 – ск-ть доски в СО Земли, когда проск. нет.



$mU_1 = 3mU_2$, $U_1 = 3U_2$

Запишем ЗИМЭ: $A_{внеш\ сил} = E_2 - E_1 \Leftrightarrow A_{F_{тр}} + A_{тяги} = E_2 - E_1$ для сист. „доска + автомобиль", $E_2 = \frac{mU_1^2}{2} + \frac{MU_2^2}{2} - 0$. $A_{F_{тр}} = F_{тр} \cdot S_{отн} =$

№1= Чистовик.

№1) Вопрос: импульс системы мат. точек есть сумма импульсов каждой точки системы.

Закон сохр. импульса: сумма импульсов всех тел системы есть величина пост., если сумма всех внеш сил равна нулю.

или если время существования мало, а силы ограничены по величине

Импульс может сохр. на ось, если в проекции на неё сумма всех внешних сил равна нулю или силы ограничены, а время взаимодействия стремится к нулю.

№Задача.

Запишем ЗСИ для сист.

$0 = mv - 3mu, \quad v = 3u$

В мом-т отсутствия проскальзывания

$N = \underline{F_{трения}} v_{отн} = g\mu \frac{M}{3}(u+v) = g\mu\frac{M}{3}\cdot 4u \Rightarrow u = \frac{3N}{4g\mu M}$ (1)

$F_{тяги} = F_{тр}$, т.к. в мом-т проск. т.е. колеса непр.

Относит. уск. автомобиля $a_{отн} = \frac{4}{3} g\mu$,

$F_{тр} = \mu\frac{M}{3}g \Rightarrow$ 2ЗН для доски $Ma = \mu\frac{M}{3}g \Rightarrow a = \frac{\mu g}{3}$,

а для автомоб. $\frac{M}{3}a_2 = \mu\frac{M}{3}g \Rightarrow a_2 = \mu g \rightarrow a_{отн} = \frac{4}{3}\mu g$

$x = \frac{a_{отн}}{2}t^2 = \frac{4}{3}\mu g t^2$.

Для доски по формуле кинематики равноуск. движения $u = 0 + \frac{\mu g}{3}t \overset{(1)}{\Leftrightarrow} \frac{3N}{4g\mu M} = \frac{\mu g}{3}t \Rightarrow$

$\Rightarrow t = \frac{9N}{4g\mu^2 Mg} = \frac{9\cdot 2}{4\cdot 0{,}09\cdot 1\cdot 10^2} \frac{1}{2\cdot 0{,}1} = \frac{1}{0{,}2}$ 0,5 с. $\Rightarrow$

$\Rightarrow x = \frac{4}{3}\cdot 0{,}3\cdot 10 \cdot 0{,}25 = \cancel{100}\ 0{,}5$ м

Ответ: $x = \cancel{100}\ 0{,}5$ м.

1