МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М.В. ЛОМОНОСОВА

ОЛИМПИАДНАЯ РАБОТА

Наименование олимпиады школьников: **«Ломоносов»**

Профиль олимпиады: **ФИЗИКА**

ФИО участника олимпиады: **Ерогова Елена Дмитриевна**

Класс: 11

Технический балл: **83**

Дата проведения: 25 февраля 2022 года

ШИФР РАБОТЫ 9608778

<table>
<tr><th></th><th>1</th><th>2</th><th>3</th><th>4</th><th>∑</th></tr>
<tr><td>Задача</td><td>10</td><td>15</td><td>14</td><td>10</td><td rowspan="2">83</td></tr>
<tr><td>Вопрос</td><td>9</td><td>8</td><td>9</td><td>8</td></tr>
</table>

9608778

Чистовик 1

задача №4.3.1

Дано:
$l = 20$ см
$\delta = 0,5$ см
$\Delta = 1$ см

F – ?

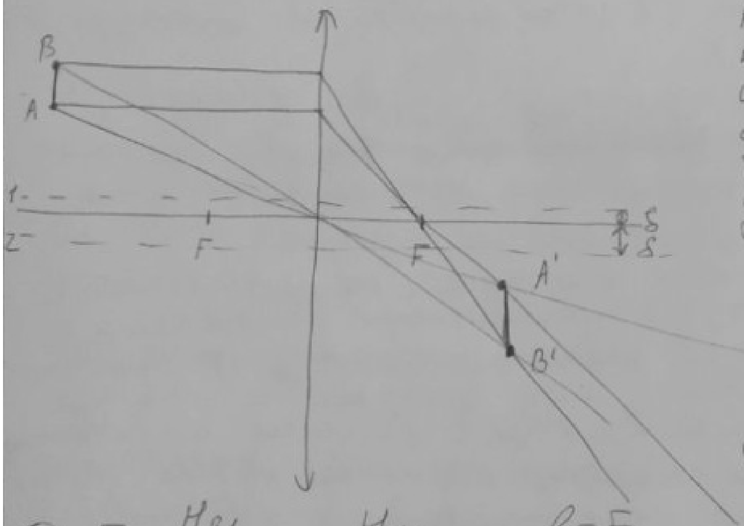
Решение

т.к. на экране возникает изображение, то оно действительное, а значит источник света находится за ~~ее~~ фокусом линзы.

т.к. пучок падает на линзу параллельно её ГОО то плоскость источника считаем параллельной линзе значит ~~все~~ все точки источника находятся на одинаковом расстоянии a от центра линзы в проекции на ГОО.

из формулы тонкой линзы $\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{F}$ ($b>0$; $F>0$) следует, что все точки изображения находятся на одинаковом расстоянии b от центра линзы в проекции на ГОО, т.е. изображение параллельно линзе.

в данной задаче центр изображения – это изображение центра источника



изображение источника находится на экране $\rightarrow b = l$

пусть h_i – расстояние от i-ой точки источника до ГОО, а H_i – расстояние от изображения i-ой точки до ГОО, тогда поперечное увеличение равно

$$Г = \frac{b}{a} = \frac{H_B}{h_B} = \frac{H_A}{h_A} = \frac{b-F}{F}$$

т.к. в задаче не сказано, рассмотрим два случая

1. линзу передвинули к источнику
2. линзу передвинули от источника

(1) $$Г = \frac{H_{B1}}{h_B - \delta} = \frac{H_{A1}}{h_A - \delta} = \frac{b-F}{F}$$

т.к. центр изображения сместился на Δ, то

$$H_A + \frac{H_B - H_A}{2} - \Delta = H_{A1} + \frac{H_{B1} - H_{A1}}{2} \rightarrow H_A + H_B - 2\Delta = H_{A1} + H_{B1}.$$

из выше написанных формул следует, что:

$$H_A = \frac{b-F}{F} h_A;\quad H_B = \frac{b-F}{F} h_B;\quad H_{A1} = \frac{b-F}{F}(h_A - \delta),\quad H_{B1} = \frac{b-F}{F}(h_B - \delta)$$

$$h_A = \frac{H_A F}{b-F} \rightarrow H_{A1} F = (b-F)\left(\frac{H_A F}{b-F} - \delta\right) = H_A F - \delta(b-F)$$

$$H_{A1} = H_A - \delta\frac{b-F}{F}$$

$$H_{B1} = H_B - \delta\frac{b-F}{F} \text{ - аналогично}$$

$$\oplus \rightarrow H_{A1} + H_{B1} = H_A + H_B - 2\delta\frac{b-F}{F} = H_A + H_B - 2\Delta$$

$$\delta\frac{b-F}{F} = \Delta \rightarrow F = \frac{\delta b}{\Delta + \delta} = \frac{\delta l}{\Delta + \delta};\quad F = \frac{0,5\,см \cdot 20\,см}{1,5\,см} = \frac{20}{3}\,см \approx 6,67\,см$$

(2) $$Г = \frac{H_{B2}}{h_B + \delta} = \frac{H_{A2}}{h_A + \delta} = \frac{b-F}{F};\quad H_A + \frac{H_B - H_A}{2} + \Delta = H_{A2} + \frac{H_{B2} - H_{A2}}{2}$$

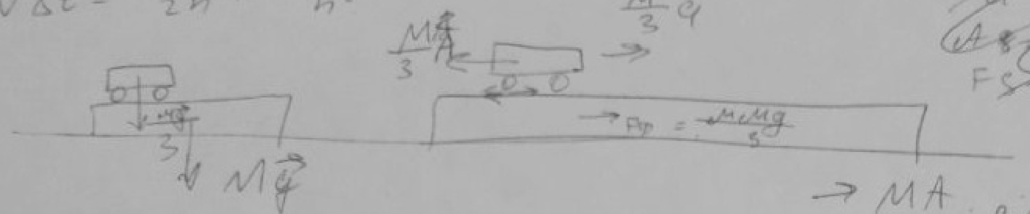
$A = \frac{M v^2}{2n} + \mu \frac{M}{n} g s$ $\qquad N = \frac{A}{\Delta t} = \frac{FS}{\Delta t}$

$N \Delta t = \frac{M v^2}{2n} + \frac{\mu M g s}{n}$

$\cancel{\frac{N}{a} = m v}$

$\cancel{A = m a v \Delta t}$

$\cancel{FS = m a s}$



$\frac{1}{2}$

$\to MA$

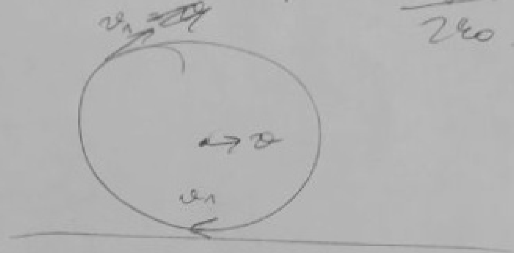
$a \frac{M}{n} = \mu \frac{M}{n} g - \frac{M}{n} A$ $\qquad a + A = \mu g$

$\frac{\sin}{\cos}$

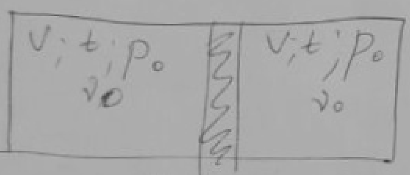
$\frac{g}{2v_0}$

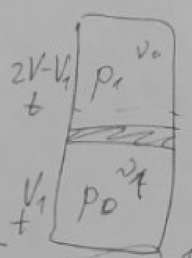
$a = \frac{v}{\Delta t}$

$\frac{N v}{a} = \frac{M v^2}{2n} + \frac{\mu M g s}{n}$



$N = \frac{A}{\Delta t} = \frac{F_{тр} x}{\Delta t}$





$\cancel{p_0 = p_1 + \frac{mg}{S}}$

$\cancel{pV = \nu R t}$

$\cancel{p_0 V_1 = \nu_2 R t}$

$p_0 l$

$x = \frac{V - V_1}{S}$

$\frac{x}{\sqrt{l-x}} \; ' = \frac{\sqrt{l-x} - \frac{1}{2\sqrt{l-x}} x}{\ldots}$

$p_0 = p_1 + \frac{mg}{S}$

$p_0 V = \nu_0 R t$

$p_1 (2V - V_1) = \nu_0 R t$

$p_0 V_1 = \nu_1 R t$

$(p_0 + \frac{mg}{S})(2V - V_1) = \nu_0 R t = p_0 V$

$2V(p_0 + \frac{mg}{S}) - V_1(p_0 + \frac{mg}{S}) = V p_0$

$V_1 =$ $\quad 100 \,|\, 19$ $\qquad 5 + \frac{5}{19} \approx 5{,}3$ $\quad \frac{100}{19} =$ $\quad 95+5$

$50 \,|\, 19$
$-38 \quad 0{,}26$
120
-114

$60+54$

$53 \times 19 = 477$, 53, 1007

$v = \frac{\Delta x}{\Delta t}$

$\frac{x}{l-x} = \frac{l - x - l + 2x}{l - x} = 1 - \frac{l - 2x}{l - x}$

$\frac{1}{\frac{l}{x} - 1}$

$m \frac{\Delta v}{\Delta t} = mg \sin\alpha - \mu N$

$m \ddot{x} (l - x) = mg l \sin\alpha - mg x \sin\alpha - \mu N x$

9608778

Черновик 2

$F_{тр} = \mu N \frac{x}{l}$

$\sqrt{3x1}$ $\frac{v_2}{v_1} = \sqrt{\frac{47}{3}} = \sqrt{\frac{47}{30}} = \sqrt{\frac{94}{60}}$

$2 \cdot 35$ $1{,}5^2 = 2{,}25 = \frac{225}{100} = \frac{45}{20} = \frac{9}{4} = \sqrt{\frac{45}{60}}$

$1{,}75^2 = 30625$

$1{,}5 < \frac{v_2}{v_1} < 2$ $\frac{v_2}{v_1} \approx 1{,}2$

1,75
×1,75
875
1225
175
30625

$\frac{\varepsilon \varepsilon_0 S}{d}$

$= \frac{кг \cdot м^2 \cdot м \cdot м^2}{Н}$

$U = Ed$

$4N^2 = 9\mu^2 m^2 g^2 \mu g x$

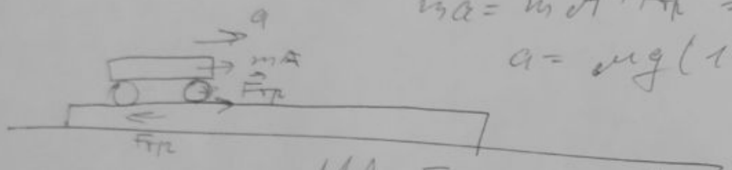
$C = \frac{q}{U} = \frac{q}{Ed}$

$F_{тр} = \mu N$ $N = mg$

$ma = mA + F_{тр} = F_{тр}(1 + \frac{1}{n})$

$a = \mu g(1 + \frac{1}{n})$

160 | 27
135 | 5,9
250



$MA = F_{тр}$ $mnA = F_{тр}$ $\frac{Вт^2 м^3}{\cancel{с^2} \cdot Н^3} = \frac{Дж^2 м}{с^2 Н^3}$

$N\Delta t = \frac{m(v)^2}{2} + \mu mg \cdot \Delta x$ $v\Delta t$ $= \frac{Н^2 \cdot м^2 \, кг}{с^2 Н^3} =$

$A = \frac{m(v^2)}{2} + \mu \frac{M}{n} g \cdot \Delta x_1 = N\Delta t$ $v_1 \Delta t$

$x = v\Delta t$

$\frac{mv^2}{2} + \mu mg v_1 \Delta t = N\Delta t$

$\frac{mv^2}{2} + \mu mg x \Delta t = N\Delta t$

$\frac{mv^2}{2} + \mu mg x = N\frac{x}{v}$

$v = \frac{N}{2\mu mg}$

$\frac{N^2}{4\mu^2 m^2 g^2} \cdot \frac{m}{2} + \mu mg x = 2\mu mg x$

$mv\Delta v + \mu mg x =$ $F_{тр}\Delta t = m\Delta v$

$mv\Delta v + \mu mg v\Delta t = N\Delta t$

$\mu g \Delta t = \Delta v$

$\Delta t = \frac{\Delta v}{\mu g} = \frac{x}{v}$

$\mu mg \cdot v \Delta v + \mu m g v \cancel{\Delta v} = N \cancel{m\Delta v}$

$H_A + H_B + 2\Delta = H_{A2} + H_{2B}$

$H_A = \frac{b-F}{F} h_A$; $H_B = \frac{b-F}{F} h_B$; $H_{A2} = \frac{b-F}{F}(h_A+\delta)$, $H_{B2} = \frac{b-F}{F}(h_B+\delta)$

$\searrow h_A = \frac{H_A F}{b-F} \to H_{A2}F = (b-F)\left(\frac{H_A F}{b-F}+\delta\right) = H_A F + \delta(b-F)$

$H_{A2} = H_A + \delta\frac{b-F}{F}$

$H_{B2} = H_B + \delta\frac{b-F}{F}$ $\Big\}\oplus$ $H_{A2}+H_{B2} = H_A+H_B+2\delta\frac{b-F}{F} = H_A+H_B+2\Delta$

$\delta\frac{b-F}{F} = \Delta \to F = \frac{\delta l}{\Delta+\delta}$ - также, как в случае 1

Ответ: $F = \frac{20}{3}$ см $\approx 6{,}67$ см

вопрос №4.3.1

фокусное расстояние - это расстояние от оптического центра до такой точки ~~...~~ на главной оптической оси, в которой сходятся все лучи, идущие ~~...~~ параллельно главной оптической оси (до преломления), после преломления или их продолжения (в зависимости от линзы и расположения объекта)

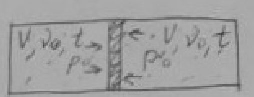
на практике ~~...~~ используют свойства фокуса, например, в астрономии ~~...~~ все светила находятся настолько далеко от нас, что свет от них приходит практически параллельным пучком, и после преломления всегда собирается в фокусе (не учитывая хроматическую аберрацию, т.е проявление дисперсии)

оптическая сила тонкой линзе равна обратному фокусному расстоянию и показывает, как близко к линзе расположен фокус (чем он ближе, тем больше оптическая сила и наоборот), т.е. как сильно отклоняются лучи от своего первоначального направления движения вследствии преломления

задача №2.21

Дано:
$m = 5$ кг
$V = 1$ л
$t = 100°C$
$S = 0{,}01$ м²
$g = 10$ м/с²
$p_0 = 10^5$ Па
x - ?

Решение

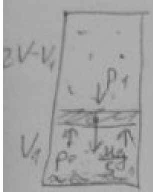


~~...~~ пусть в левом отсеке находится насыщенный водяной пар при температуре $t = 100°C$. т.к. он насыщенный и при температуре t, то давление газа равно p_0, но значит и справа давление газа равно p_0 (равновесие поршня). из уравнения Менделеева-Клапейрона ($p_i V_i = \nu_i R T_i$) следует, что изначально в отсеках находится одинаковое количество вещества ν_0, тогда $p_0 V = \nu_0 R t$

после того как сосуд перевернули, давление сверху уменьшилось и стало равно p_1, а в нижнем должно было увеличиться, но т.к. пар насыщенный, то он частично сконденсируется и давление в нём останется равным p_0

Чистовик 2

задача №2.2.1 (продолжение)



пусть объём нижнего отсека V_1, тогда верхнего $2V-V_1$, давление в нём p_1, тогда $x=\frac{V-V_1}{S}$ и.
$p_0=p_1+\frac{Mg}{S} \Rightarrow p_1=p_0-\frac{Mg}{S}$ - равновесие поршня
количество вещества в верхнем отсеке ν_0 - отсутствие конденсации.

для верхнего отсека $p_1(2V-V_1)=\nu_0Rt=p_0V$.

$\cancel{p_0(2V-V_1)-\frac{Mg}{S}(2V-V_1)=p_0V}$ (считаем, что объём воды гораздо меньше объёма газа)

$$2V\left(p_0-\frac{Mg}{S}\right)-V_1\left(p_0-\frac{Mg}{S}\right)=p_0V$$

$$V_1=V\frac{p_0-\frac{2Mg}{S}}{p_0-\frac{Mg}{S}} \rightarrow x=\frac{V}{S}\left(1-\frac{p_0-\frac{2Mg}{S}}{p_0-\frac{Mg}{S}}\right)$$

$$x=\frac{V}{S}\cdot\frac{Mg}{p_0S-Mg};\quad x=\frac{10^{-3}м^3}{0{,}01\ м^2}\cdot\frac{5кг\cdot10\frac{м}{с^2}}{10^5Па\cdot0{,}01м^2-5кг\cdot10\frac{м}{с^2}}=$$

$$=\frac{5\ м}{10^3-50}=\frac{1м}{200-10}=\frac{1\ м}{190}=\frac{100}{190}см=\frac{10}{19}см=\frac{100}{19}мм.$$

$x\simeq5{,}3$ мм

Ответ: $x=5{,}3$ мм

вопрос №2.2.1

влажность - это присутствие в ~~возд~~ газе капель жидкости
абсолютная влажность - это ~~плотн~~ отношение массы жидкости к объёму газа. по ней сложно судить о том, насколько воздух влажный, поэтому ввели понятие относительной влажности. она равна отношению давления газа к давлению насыщенного газа при данной температуре. ~~насыщен~~ давление насыщенного газа - это максимально возможное давление газа при данной температуре, т.к. при последующих попытках увеличения давления жидкость будет конденсироваться (уменьшая количество вещества в газе) и давление будет оставаться таким же. Относительная влажность уже даёт более полное представление о влажности воздуха, т.к. как будто бы показывает насколько процентов газ насыщенный (т.е. насколько сильно отличается от насыщенного воздуха).

Задача № 3.5.1

Дано:
$m = 100г$
$\alpha_{пр} = 30^\circ$
$\sigma = +3 \frac{мкКл}{м^2}$
$q = +3 мкКл$
$\varepsilon_0 = 9 \cdot 10^{-12} \frac{Ф}{м}$
$g = 10 \frac{м}{с^2}$
$\frac{\vartheta_2}{\vartheta_1} - ?$

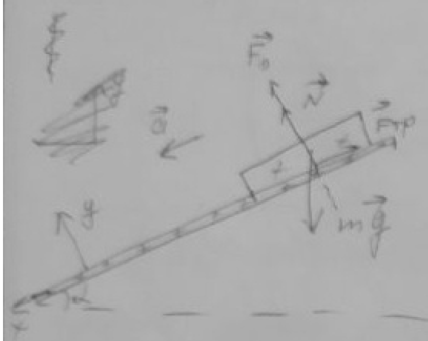
Решение

найдём коэффициент трения μ шероховатой поверхности из равновесия пластинки:

$N \cos\alpha = mg$ и $F_{тр} \cos\alpha = N \sin\alpha$

$F_{тр} = \mu N$ - по закону Кулона-Амонтона

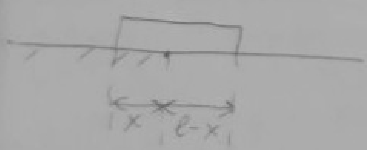
$\mu N \cos\alpha = N \sin\alpha \rightarrow \mu = tg\,\alpha$, $\mu = tg(30^\circ) = \frac{1}{\sqrt{3}} = \frac{\sqrt{3}}{3}$



пусть в какой то момент на пластинку действуют ~~ф~~ сила тяжести $m\vec{g}$, нормальная сила реакции опоры $\vec{N}$ со стороны плиты, сила трения $\vec{F}_{тр}$ ~~[illegible]~~, направленная против движения пластинки, и сила электрического отталкивания $\vec{F}_э$ пластинки и плиты она сонаправлена с $\vec{N}$, т.е $q > 0$ и $\sigma > 0$.

$F_э = Eq$, где E - напряжённость электрического поля создаваемого плитой. т.к. она длинная и пластинка расположена очень близко к ней то $E = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0} \rightarrow F_э = \frac{q\sigma}{2\varepsilon_0}$

в проекции на ось Y пластинка находится в покое т.е. $N + F_э = mg\cos\alpha \rightarrow N = mg\cos\alpha - \frac{q\sigma}{2\varepsilon_0} = const$



рассмотрим действие силы трения на пластинку. пусть l - её длина а x - ~~часть~~ длина части пластинки, находящейся на шероховатой поверхности, тогда $F_{тр} = \mu N \cdot \frac{x}{l}$

~~пусть a - ускорение пластинки, тогда~~

~~$ma = mg\sin\alpha - F_{тр}$~~ $= mg\sin\alpha - \mu N \frac{x}{l-x}$

найдем работу против силы трения A:

$$A = \int_0^l F_{тр}\, \Delta x = \int_0^l \mu N \frac{x}{l} \Delta x = \frac{\mu N}{l} \int_0^l x\, \Delta x = \frac{\mu N}{l} \cdot \frac{x^2}{2}\Big|_0^l = \frac{\mu N l}{2}$$

в данной задаче справедливо по закону сохранения энергии $|\Delta П| = |\Delta K| + A$

$\Delta П$ — изменение потенциальной энергии; ΔK — изменение кинетической энергии

$\Delta П = mgl\sin\alpha$; $\Delta K = \frac{m\vartheta^2}{2} - 0 = \frac{m\vartheta^2}{2}$

$mgl\sin\alpha = \frac{m\vartheta^2}{2} + \frac{\mu N l}{2} \rightarrow \vartheta = \sqrt{\frac{2mgl\sin\alpha - \mu N l}{m}}$

Чистовик 3

задача №3.5.1 (продолжение)

в первом случае, когда заряды не нанесены

$N = mg\cos\alpha$ и $v_1 = \sqrt{l} \cdot \sqrt{\frac{2mg\sin\alpha - \mu mg\cos\alpha}{m}} = \sqrt{l} \cdot \sqrt{2g\sin\alpha - \mu g\cos\alpha}$

во втором случае $N = mg\cos\alpha - \frac{q\sigma}{2\varepsilon_0}$ и

$v_2 = \sqrt{l} \cdot \sqrt{\frac{2mg\sin\alpha - \mu mg\cos\alpha + \frac{\mu q\sigma}{2\varepsilon_0}}{m}}$, тогда

$$\frac{v_2}{v_1} = \sqrt{\frac{2mg\sin\alpha - \mu mg\cos\alpha + \frac{\mu q\sigma}{2\varepsilon_0}}{2mg\sin\alpha - \mu mg\cos\alpha}} = \sqrt{1 + \frac{\mu q\sigma}{2\varepsilon_0 mg(2\sin\alpha - \mu\cos\alpha)}}$$

$$\frac{v_2}{v_1} = \sqrt{1 + \frac{\sqrt{3} \cdot 3 \cdot 10^{-6}\,\text{Кл} \cdot 3 \cdot 10^{-6}\,\frac{\text{Кл}}{\text{м}^2}}{3 \cdot 2 \cdot 9 \cdot 10^{-12}\,\frac{\text{Ф}}{\text{м}} \cdot 0{,}1\,\text{кг} \cdot 10\,\frac{\text{м}}{\text{с}^2}\left(2 \cdot \frac{1}{2} - \frac{\sqrt{3}}{3} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2}\right)}} =$$

$$= \sqrt{1 + \frac{\sqrt{3}}{6 \cdot \frac{1}{2}}} = \sqrt{1 + \frac{\sqrt{3}}{3}} \approx 1{,}8$$

~~[illegible]~~ ~~[illegible]~~ вычисления с очень грубой неточностью представлены на черновике 2 в самом начале

Ответ: $\frac{v_2}{v_1} = \sqrt{1 + \frac{\sqrt{3}}{3}} \approx 1{,}8$

вопрос №3.5.1

Электроёмкость - это отношение заряда, накопившегося на конденсаторе, к разности потенциалов между обкладками т.е. электроёмкость показывает способность накапливать заряд (при одинаковом напряжении чем больше электроёмкость, тем больше накопленный заряд) электроёмкость не зависит от характеристик цепи, в которую включён, т.к. она зависит только от диэлектрической проницаемости вещества между обкладками ε, площади обкладок S и расстояния между ними d. Это следует из формулы $C = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 S}{d}$

задача №1.3.1

Дано:
$M = 1$ кг
$N = 2$ Вт
$n = 3$
$\mu = 0{,}3$
$g = 10\,\frac{\text{м}}{\text{с}^2}$

x - ?

Решение

т.к. доска достаточно длинная, то считаем, что её длина больше x.

т.к. колёса лёгкие, то энергия на их вращение не тратится

колёса автомобиля вращаются так, что скорость нижних точек колёс в данный момент времени направлена против скорости движения автомобиля

~~из этого сл~~

из этого следует, что сила трения $\vec{F}_{тр}$, действующая на автомобиль, сонаправлена с его скоростью. т.е. именно благодаря силе трения машины могут ездить.

по III закону Ньютона на доску ~~также~~ будет действовать сила $-\vec{F}_{тр}$, тогда найдём её ускорение A с помощью II закона Ньютона $MA = F_{тр} \Rightarrow A = \frac{F_{тр}}{M}$ здесь и далее $m = \frac{M}{n}$ - масса автомобиля

в неинерциальной системе отсчёта: доска на автомобиль действует сила инерции $-m\vec{A}$. тогда если a - ускорение автомобиля относительно доски a, то

$ma = mA + F_{тр} = F_{тр}\left(1 + \frac{m}{M}\right) \rightarrow Ma = nF_{тр}\left(1 + \frac{1}{n}\right)$.

$F_{тр} = \mu N = \mu mg \rightarrow Ma = n\frac{\mu Mg}{n}\left(1 + \frac{1}{n}\right)$

$a = \mu g\left(1 + \frac{1}{n}\right)$.

при движении с проскальзыванием скорость поступательного движения колеса (это скорость центра колеса, т.е. скорость автомобиля) не равна скорости движения точек обода колеса вокруг его центра v_1.

$N = \frac{A}{\Delta t} \rightarrow A = N\Delta t$ - совершённая работа

из закона ~~...~~ сохранения энергии $A = \Delta K + A_{F_{тр}}$, $A_i = F_i s_i \cos\alpha_i$

$\Delta K = \frac{mv^2}{2}$ - изменение кинетической энергии

$A_{F_{тр}}$ ~~...~~ - работа против сил трения.

$A = \frac{mv^2}{2} + \mu mg v_1 \Delta t$, ~~...~~

$N\Delta t = \frac{mv^2}{2} + \mu mg v_1 \Delta t$.

к моменту, когда проскальзывание прекратится $v = v_1$ и $x = v\Delta t$, т.е. $\frac{x}{v}N = \frac{mv^2}{2} + \mu mgx$ ~~...~~

из ~~второго~~ II закона Ньютона $F_{тр}\Delta t = \Delta p = m\Delta v$.

$\mu g x = v\Delta v = v^2$ (v изменяется от 0 до v)

~~$2xN =$~~ $\frac{xN}{\sqrt{\mu g x}} = \frac{\mu mgx}{2} + \mu mgx = \frac{3\mu mgx}{2}$

$4N^2 = 9\mu^3 m^2 g^3 x \rightarrow x = \frac{4N^2}{9\mu^3 m^2 g^3} = \frac{4N^2 n^2}{9\mu^3 M^2 g^3}$

Чистовик 4

задача № 1.3.1 (продолжение)

$$x = \frac{4 \cdot 4\,Вт^2 \cdot 3^3}{9 \cdot 0{,}3 \cdot 0{,}3 \cdot 0{,}3 \cdot 1\,кг^2 \cdot 10 \cdot 10 \cdot 10\,\frac{м^3}{с^6}} = \frac{16\,м}{27} \approx 0{,}6\,м.$$

Ответ: $x = 0{,}6$ м.

вопрос №1.3.1.

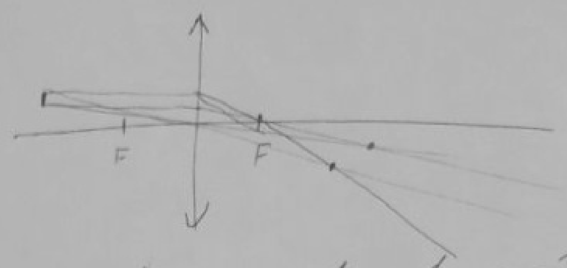
импульс системы материальных точек определяется как векторная сумма импульсов каждой точки, где импульс материальной точки $\vec{p}_i = m_i \vec{v}_i$ закон сохранения импульса заключается в том, что если на систему не действуют внешние силы, или их действие скомпенсировано, то импульс системы остаётся постоянным. из II закона Ньютона $\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt}$ → ~~а~~ если внешняя сила действовала в течение времени $dt \to 0$, можно считать, что импульс системы практически не поменялся.

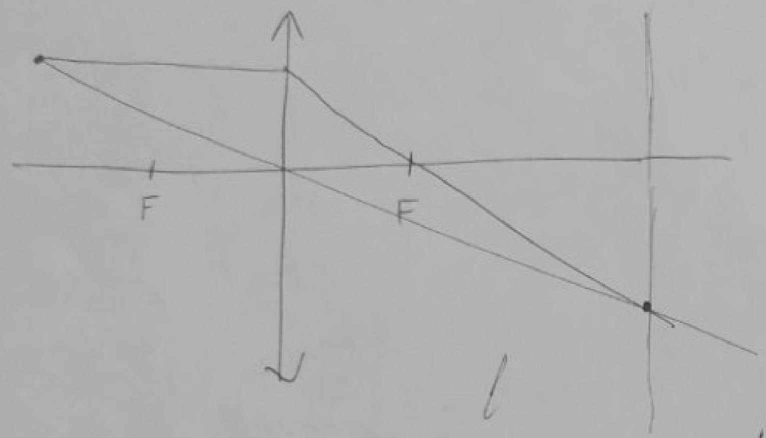
также скажу, что закон сохранения импульса следует из однородности пространства (модуль импульса не зависит от того, в какую сторону он направлен).

9608778

$\left(\frac{x}{l-x}\right)' =$

Черновик 1





$$\frac{1}{a}+\frac{1}{b}=\frac{1}{F}$$

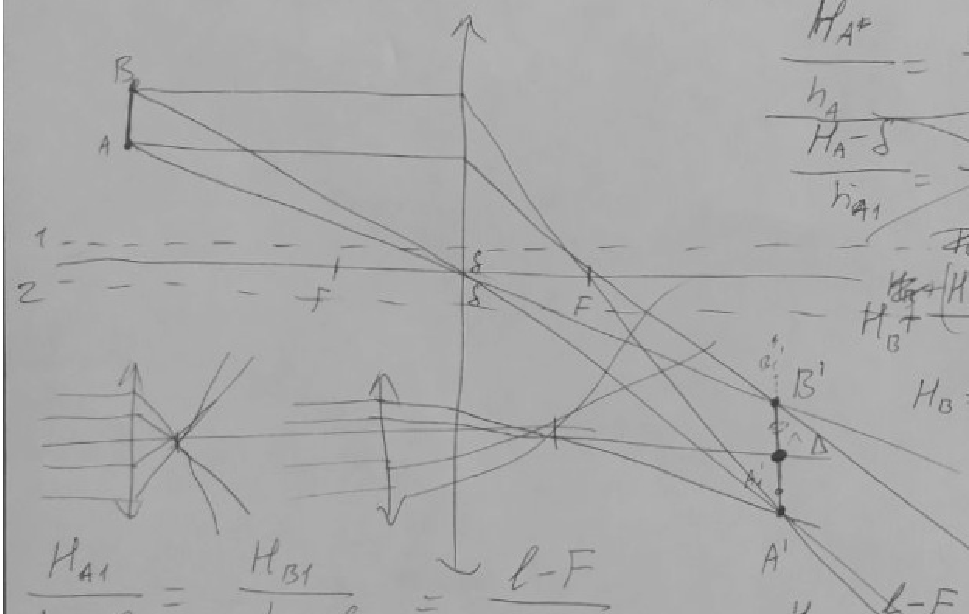
$$\frac{1}{a}+\frac{1}{l}=\frac{1}{\Gamma}$$

$$a=\frac{bF}{b-F}$$

$$\Gamma=\frac{b}{a}=\frac{H}{h}$$

$$\frac{H_A}{h_A}=\frac{H_B}{h_B}=\frac{l}{a}=\frac{l-F}{F}$$

$$\cancel{\frac{H_A-\delta}{h_{A1}}=\frac{H_B-\delta}{h_{B1}}=\frac{l-F}{F}}$$



$$H_B+\frac{H_A-H_B}{2}-\Delta=H_{B1}+\frac{H_{A1}-H_{B1}}{2}$$

$$H_B+H_A-2\Delta=H_{B1}+H_{A1}$$

$$\frac{H_{A1}}{h_A-\delta}=\frac{H_{B1}}{h_B-\delta}=\frac{l-F}{F}$$

$$H_A=\frac{l-F}{F}\cdot h_A \qquad H_B=\frac{l-F}{F}\cdot h_B$$

$$H_{A1}=\frac{l-F}{F}(h_A-\delta) \qquad H_{B1}=\frac{l-F}{F}(h_B-\delta)$$

$$H_{A1}F=(l-F)\left(\frac{H_AF}{l-F}-\delta\right)$$

$$H_{A1}F=H_AF-\delta(l-F)$$

$$\cancel{\frac{l-F}{F}\cdot(h_A-\delta)=l}$$

$$H_{A1}=H_A-\delta\frac{l-F}{F}$$

$$H_{B1}=H_B-\delta\frac{l-F}{F}$$

$$\delta l-\delta F=\Delta F$$

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

$$F=\frac{0,5\cdot 20}{1,5}=\frac{5\cdot 20}{15}=\frac{20}{3}=6,7 \text{ см}$$

$$H_{A1}+H_{B1}=H_A+H_B-2\delta\frac{l-F}{F}=H_A+H_B-2\Delta$$