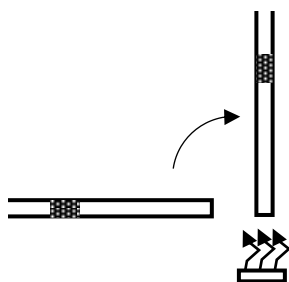


Заключительный этап
Всесибирской Открытой Олимпиады Школьников по физике
15 марта 2020 г.
Задачи 11 класса

Возможные решения (максимум 10 баллов за задачу)



1. В лаборатории, где давление воздуха равно 750 мм рт. ст., провели следующий эксперимент. Взяли узкую трубку постоянного сечения, запаянную с одного конца. Поместили в трубку столбик ртути высотой 2,5 см и расположили трубку горизонтально так, что ртуть стала отделять воздух, заполняющий часть объёма трубки, от воздуха в лаборатории. Затем трубку расположили вертикально запаянным концом вниз, после чего воздух в трубке, находящийся под ртутью, нагрели на 10 °С. Объём воздуха в закрытой части трубки, при этом, оказался равен объёму воздуха в этой же части, когда трубка располагалась горизонтально. Рассчитайте температуру воздуха в лаборатории.

Возможное решение

Запишем уравнение Клапейрона – Менделеева для воздуха, находящегося в закрытой ртутью части трубки, в двух случаях:

$$pV = \nu RT \text{ при горизонтальном положении трубки; } <2 \text{ балла}>$$

$$(p + \Delta p)V = \nu R(T + \Delta T) \text{ при вертикальном положении трубки. } <2 \text{ балла}>$$

Здесь p – давление воздуха в лаборатории, Δp – давление столбика ртути, T – температура воздуха в лаборатории, ΔT – изменение температуры воздуха в закрытой части сосуда после нагрева. Поделив одно уравнение на другое, находим $T = \Delta T \frac{p}{\Delta p}$. <4 балла>

Ответ получаем, заметив, что $\Delta p = 25$ мм рт. ст.

Ответ: $T = 300$ К <2 балла>

Разбалловка по этапам

	Этапы решения	Соотношения	Балл
1	Уравнение Клапейрона-Менделеева для горизонтального положения трубки	$pV = \nu RT$	2
2	Уравнение Клапейрона-Менделеева для вертикального положения трубки	$(p + \Delta p)V = \nu R(T + \Delta T)$	2
3	Получение аналитического выражения для температуры	$T = \Delta T \frac{p}{\Delta p}$	4
4	Получение численного ответа	$T = 300$ К	2

2. Ракета массой m стартует с горизонтальной поверхности земли. Ее двигатель создает постоянную по величине и направлению силу тяги и выключается через время τ после старта на высоте H и на расстоянии S по горизонтали от точки старта. Определите силу тяги двигателя ракеты. Ускорение свободного падения g . Сопротивлением воздуха и изменением массы ракеты пренебречь.

Возможное решение

Определим вертикальное ускорение ракеты: $\frac{a_y \tau^2}{2} = H$ и ее горизонтальное ускорение

$$\frac{a_x \tau^2}{2} = S. \quad \langle 3 \text{ балла} \rangle$$

2-й закон Ньютона для движения по вертикали $ma_y = F_y - mg$ и по горизонтали $ma_x = F_x$, где F_y и F_x - вертикальная и горизонтальная составляющие силы тяги ракеты $\langle 3 \text{ балла} \rangle$

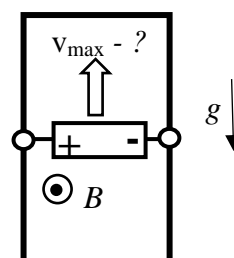
Определим силу тяги двигателя ракеты из ее составляющих $F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2}$. $\langle 2 \text{ балла} \rangle$

Ответ: $F = \frac{m}{\tau^2} \sqrt{4S^2 + (2H + g\tau^2)^2}$ $\langle 2 \text{ балла} \rangle$

Разбалловка по этапам

	Этапы решения	Соотношения	Балл
1	Определение вертикального и горизонтального ускорения	$a_y = \frac{2H}{\tau^2}, a_x = \frac{2S}{\tau^2}$	3
2	Формулировка 2-го закона Ньютона для вертикального и горизонтального движения	$ma_y = F_y - mg, ma_x = F_x$	3
3	Определение силы тяги двигателя ракеты	$F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2}$	2
4	Получение ответа	$F = \frac{m}{\tau^2} \sqrt{4S^2 + (2H + g\tau^2)^2}$	2

3. Боковые стороны вертикально стоящей идеально проводящей рамки соединены подвижной перемычкой, в виде батарейки с ЭДС ε и внутренним сопротивлением r , выводы которой скользят вдоль этих сторон. Рамка находится в перпендикулярном ее плоскости однородном магнитном поле. Если поле достаточно велико, перемычка поднимается вверх с некоторой установившейся скоростью. Какое максимальное значение может иметь эта скорость при оптимальном магнитном поле? Масса перемычки равна m . Ускорение свободного падения g .



Возможное решение

При движении перемычки со скоростью v в магнитном поле B , в контуре, состоящем из перемычки и нижней части рамки, наводится ЭДС индукции $\varepsilon_F = vLB$. $\langle 2 \text{ балла} \rangle$

В результате этого протекает ток $I = (\varepsilon - \varepsilon_F) / r$. $\langle 2 \text{ балла} \rangle$

На перемычку действует сила Ампера F_A , которая должна уравновешивать действующую на перемычку силу тяжести $F_A = LIB = mg$. <2 балла>

Значение скорости, получаемое из условия баланса сил

$$v = \left(\varepsilon - \frac{mgr}{BL} \right) \cdot \left(\frac{1}{BL} \right) = (\varepsilon - mgrx) \cdot x, \text{ где } x = \frac{1}{BL}. <2 \text{ балла}>$$

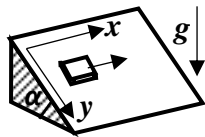
Функция $v(x)$ отображается параболой и принимает максимальное значение

$$v_{\max} = \varepsilon^2 / (4mgr) \text{ при } x = \varepsilon / 2mgr.$$

Ответ: $v_{\max} = \varepsilon^2 / (4mgr)$ <2 балла>

Разбалловка по этапам

	Этапы решения	Соотношения	Балл
1	Определение ЭДС при движении рамки	$\varepsilon_F = vLB$	2
2	Определение тока	$I = (\varepsilon - \varepsilon_F) / r$	2
3	Условие баланса сил Ампера и тяжести	$F_A = LIB = mg$	2
4	Определение зависимости скорости перемычки от магнитного поля	$v = \left(\varepsilon - \frac{mgr}{BL} \right) \cdot \left(\frac{1}{BL} \right) = (\varepsilon - mgrx) \cdot x$, $x = \varepsilon / 2mgr$	2
5	Получение ответа	$v_{\max} = \varepsilon^2 / (4mgr)$	2



4. Вдоль наклонной плоскости с углом α при основании под действием постоянной горизонтальной силы, параллельной наклонной плоскости, с постоянной скоростью движется брусок. Коэффициент трения бруска о плоскость равен μ , причем $\mu > tg\alpha$. На какое расстояние y сместится брусок по склону наклонной плоскости, если в направлении силы он смещается на расстояние x ?

Возможное решение

Вдоль наклонной плоскости на брусок действуют три силы: проекция силы тяжести (скатывающая сила) $F_{ск} = mg \sin \alpha$, сила F , с которой толкают брусок, и сила трения

$$F_{mp} = \mu mg \cos \alpha. <2 \text{ балла}>$$

Сила трения направлена против направления скольжения.

При постоянной скорости 2-й закон Ньютона вдоль плоскости (см. рисунок)

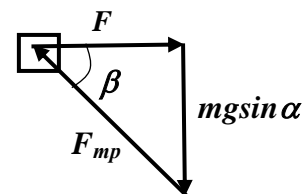
$$m\vec{v} \mu g \cos \alpha / v = \vec{F} + \vec{F}_{ск} <3 \text{ балла}>.$$

Движение происходит под углом β к направлению силы F , причем

$$\sin \beta = mg \sin \alpha / F_{mp} = \sin \alpha / \mu \cos \alpha. <2 \text{ балла}>$$

Смещение бруска по склону наклонной плоскости будет $y = x \cdot tg \beta$ <1 балл>.

Ответ: $y = \frac{x \cdot \sin \alpha}{\sqrt{\mu^2 \cos^2 \alpha - \sin^2 \alpha}} <2 \text{ балла}>$



Разбалловка по этапам

	Этапы решения	Соотношения	Балл
1	Определение величины действующих сил	$F_{ск} = mg \sin \alpha, F_{мп} = \mu mg \cos \alpha$	2
2	2-й закон Ньютона для бруска	$m\vec{v}\mu g \cos \alpha / v = \vec{F} + \vec{F}_{ск}$	3
3	Определение направления движения	$\sin \beta = mg \sin \alpha / F_{мп} = \sin \alpha / \mu \cos \alpha$	2
4	Определение смещения вдоль склона	$y = x \cdot tg \beta$	1
4	Получение ответа	$y = \frac{x \cdot \sin \alpha}{\sqrt{\mu^2 \cos^2 \alpha - \sin^2 \alpha}}$	2

5. Автомобиль массой m трогается с места. Обе оси автомобиля ведущие. Его колеса вращаются синхронно и имеют радиус R . Двигатель автомобиля выдает постоянную механическую мощность \mathcal{P} . Сколько оборотов N сделают колеса автомобиля до момента, когда прекратится их проскальзывание относительно дороги? Коэффициент трения колес о дорогу равен μ . Ускорение свободного падения g .

Возможное решение

Вначале колеса автомобиля проскальзывают и автомобиль испытывает постоянное ускорение a : $ma = F_{мп} = \mu mg$ <1 балл>. Скорость обращенной к дороге поверхности колес относительно автомобиля определяется мощностью двигателя $F_{мп} \cdot u = \mathcal{P}$ <3 балла>. Проскальзывание колес прекратится через время t , когда скорость автомобиля v сравняется с относительной скоростью точек колес $u = v = at$ <2 балла>. За это время колеса проделают $N = \frac{ut}{2\pi R}$ оборотов. <2 балла>

Ответ: $N = \frac{\mathcal{P}^2}{(\mu g)^3 m^2 2\pi R}$ <2 балла>

Разбалловка по этапам

	Этапы решения	Соотношения	Балл
1	Определение ускорения автомобиля	$ma = F_{мп} = \mu mg$	1
2	Связь относительной скорости внешней поверхности колес и мощности двигателя	$F_{мп} \cdot u = \mathcal{P}$	3
3	Условие прекращения проскальзывания колес	$u = v = at$	2
4	Определение количества оборотов колес	$N = \frac{ut}{2\pi R}$	2
6	Получение ответа	$N = \frac{\mathcal{P}^2}{(\mu g)^3 m^2 2\pi R}$	2

Задача не считается решенной, если приводится только ответ!