МУНИЦИПАЛЬНЫЙ ЭТАП ВСЕРОССИЙСКОЙ ОЛИМПИАДЫ ШКОЛЬНИКОВ ПО ФИЗИКЕ
2018/2019 УЧЕБНЫЙ ГОД
10 КЛАСС (РЕШЕНИЯ)

1. (*10 баллов*) Некоторое время назад была предложена система измерения скорости автомобиля, состоящая в следующем. На обод одного из колес автомобиля крепится датчик. Установленный на автомобиле бортовой компьютер с большой точностью фиксирует положение этого датчика через равные промежутки времени τ.

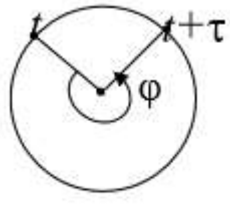


Рис. 1

Затем определяется угол φ между двумя последовательными положениями датчика (см.рис. 1), по нему рассчитывается угловая скорость вращения колеса, как $\omega=\varphi/\tau$ и затем скорость движения автомобиля. При испытаниях системы оказалось, что при установке датчиков на передние колеса модели, получаемые значения скорости хорошо совпадают с истинными вплоть до величины 10 м/с, после чего измеряемые предложенным способом значения становятся существенно меньше истинных. После установки датчика на заднее колесо значение скорости, при котором начинается расхождение результатов, увеличилось до 15 м/с. Объясните причину плохой работы системы при больших скоростях. Найдите диаметр заднего колеса и интервал времени τ, если диаметр переднего колеса модели равен 10 см. Считайте, что колеса в процессе движения не проскальзывают.

Ответ: $30\cdot10^3$ с, 15см.

Решение. Причина расхождения получаемых значений скорости с истинными заключается в том, что при описанном методе наблюдения невозможно определить, на какой именно угол повернулось колесо за время τ: φ или $\varphi + 2\pi n$, где n – целое число. Соответственно правильная (не совсем однозначная) формула для угловой скорости колеса имеет вид $\omega=(\varphi+2\pi n)/\tau$, тогда скорость движения автомобиля определяется по формуле $v = \omega r = r(\varphi+2\pi n)/\tau$, где r–радиус колеса. При использовании предложенного метода фактически предполагается $n = 0$, соответственно правильные результаты он даёт лишь при небольших скоростях, для которых это действительно так. "Граничное" значение скорости соответствует $\varphi=2\pi$, из чего получаем $\tau = \pi d/v \approx 30\ 10^3$ с. Из аналогичного соотношения для заднего колеса получаем значение его диаметра – 15см.

2. (*10 баллов*) Небольшой алюминиевый шарик с привязанной к нему легкой ниткой вморожен в ледышку массой $M_0 = 100$ г. Свободный конец нити прикреплён ко дну теплоизолированного цилиндрического сосуда, в который налита вода массой $m_0 = 0{,}5$ кг, имеющая температуру $t_0 = 20°C$ (см.рис.2).

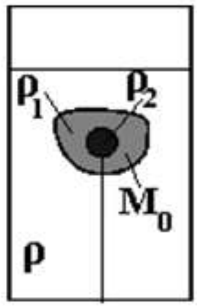


Рис.2

Температура льда и шарика 0°С, начальная сила натяжения нити $T = 0{,}08$Н. Какова будет температура воды в тот момент, когда сила натяжения нити станет равной нулю? Удельная теплоёмкость воды $C = 4200$Дж/(кг·°С). Плотность воды $\rho = 1000$кг/м^3, льда $\rho_1 = 900$кг/м^3, алюминия $\rho_2 = 2700$кг/м^3, удельная теплота плавления льда $\lambda = 330$кДж/кг. Считайте, что тепловое равновесие в воде устанавливается мгновенно.

Ответ: $t_2 \approx 7{,}6\ ^0C$.

Решение. Сила натяжения нити станет равной нулю, когда часть льда растает и уменьшится выталкивающая сила. Из условия равновесия системы в исходном состоянии находим массу m шарика:

$$T + (M_0 + m)g - F_A = 0,$$

$$F_A = (V_1 + V_2)\rho g,$$

$$V_1 = \frac{M_0}{\rho_1},$$

$$V_2 = \frac{m}{\rho_2}.$$

$$T + (M_0 + m)g - \left(\frac{M_0}{\rho_1} + \frac{m}{\rho_2}\right)\rho g = 0, \text{ откуда}$$

$$m = \frac{M_0\left(\frac{\rho}{\rho_1} - 1\right) - \frac{T}{g}}{\left(1 - \frac{\rho}{\rho_2}\right)} = 4{,}9 \text{ г.}$$

Сила натяжения нити $T = \left(\frac{M_0}{\rho_1} + \frac{m}{\rho_2}\right)\rho g - (M_0 + m)g$ обратится в ноль, если масса льда уменьшится до значения M_1, удовлетворяющего условию:

$$(M_1 + m) = \left(\frac{M_1}{\rho_1} + \frac{m}{\rho_2}\right)\rho,$$

откуда $M_1 \frac{m\left(1-\frac{\rho}{\rho_2}\right)}{\frac{\rho}{\rho_1}-1} = 0{,}0278$ кг.

Значит, для исчезновения силы натяжения должно быть расплавлено $\Delta M = M_0 - M_1 = 0{,}1 - 0{,}0278 = 0{,}072$ кг льда. Так как он уже находится при температуре плавления для этого необходимо $Q_1 = \Delta M\lambda = 0{,}238 \cdot 10^5$ Дж. Эта энергия будет получена за счёт охлаждения воды. В итоге в системе установится тепловое равновесие при температуре t_2, определяемой из уравнения теплового баланса:

$$cm_0(t_0 - t_2) = Q_1 + c(M_0 - M_1)(t_2 - 0^0C).$$

Отсюда $t_2 \approx 7{,}6\ ^0C$

3. (*10 баллов*) Электронагреватель плоской формы рассчитан на напряжение 220 В. После того, как слева от нагревателя на небольшом расстоянии поставили плоское идеально отражающее зеркало, оказалось возможным уменьшить питающее напряжение; при этом показание термометра, установленного вблизи нагревателя справа от него, не изменилось. Найдите новое значение питающего напряжения.

Ответ: $U_x = 156$ В.

Решение. Для электронагревателя, работающего без зеркала, тепловая мощность, уходящая вправо, составляет половину потребляемой от сети, т.е. (с учетом закона Джоуля-Ленца):

$$P_0 = \frac{U_0^2}{2R}, \text{ где } U_0 = 220 \text{ В.}$$

После установки зеркала, вправо будет уходить вся потребляемая мощность:

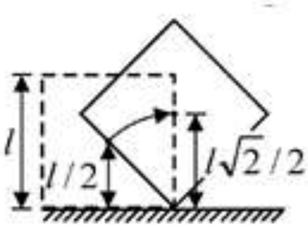
$$P_0 = \frac{U_x^2}{R}, \text{ где } U_x \text{ — новое рабочее напряжение.}$$

Разделив второе уравнение на первое, получим: $U_x = U_0/\sqrt{2} = 156$ В.

4. (*10 баллов*) Кубик, стоявший на шероховатой горизонтальной плоскости, переворачивают через его ребро так, что это ребро остаётся неподвижным. Затем этот же кубик перемещают поступательно по горизонтальной плоскости на расстояние, равное длине его ребра. Коэффициент трения кубика о плоскость равен *m*. Определите отношение минимальных положительных работ сил, вызвавших перемещение кубика в первом и во втором случаях.

Ответ: $n = \frac{\sqrt{2}-1}{2\mu}$.

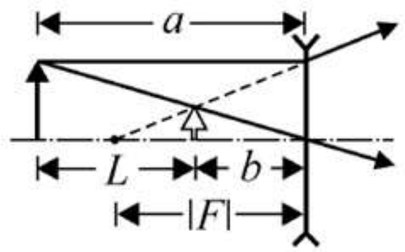
Решение. При поворачивании кубика через ребро положительная работа A_1 равна увеличению $\Delta E_п$ потенциальной энергии взаимодействия кубика с Землей A_1 = $\Delta E_п$. Учитывая, что потенциальная энергия твёрдого тела определяется высотой его центра тяжести, который для однородного кубика совпадает с его центром, находим, что $A_1 = mg\left(\frac{l\sqrt{2}}{2} - \frac{l}{2}\right)$, где l – длина ребра кубика, а m – его масса. При поступательном перемещении кубика минимальная работа равна $A_2 = \mu mgl$. Поэтому $n = \frac{A_1}{A_2} = \frac{\sqrt{2}-1}{2\mu}$.



5. (*10 баллов*) Расстояние между предметом и его прямым изображением, полученным с помощью тонкой линзы, равно L = 40 см. Изображение меньше предмета в n = 3 раза. Какова оптическая сила линзы?

Ответ: $D = -\frac{(n-1)^2}{nL} \approx -3{,}33$ дптр.

Решение. Прямое уменьшенное изображение предмета получается только с помощью рассеивающей линзы. Соответствующее построение приведено на рисунке.



Формула тонкой линзы с учётом того, что изображение мнимое, имеет вид $\frac{1}{a} - \frac{1}{b} = \frac{1}{F} = D$. По условию $a = nb$, $a - b = L$. Отсюда $D = -\frac{(n-1)^2}{nL}$.