ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ ПО ФИЗИКЕ

РЕГИОНАЛЬНАЯ ПРЕДМЕТНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КОМИССИЯ

КРИТЕРИИ И МЕТОДИКА ОЦЕНИВАНИЯ ВЫПОЛНЕННЫХ ОЛИМПИАДНЫХ ЗАДАНИЙ

муниципального этапа всероссийской олимпиады школьников по физике

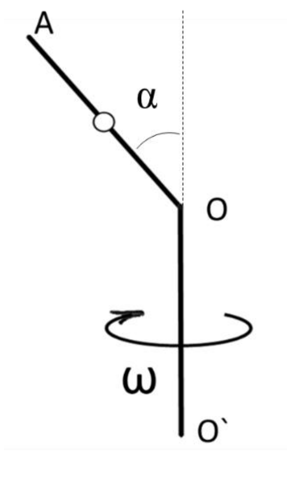
2023/24 учебный год

10 класс

10.1. *(10 баллов)*

Движение бусинки

Стержень АОО`, изогнутый под углом α как показано на рисунке, вращается с постоянной скоростью ω относительно оси ОО`. На стержень надета бусинка, размеры которой очень малы. Определите, на каком максимальном расстоянии l от точки О бусинка может находиться в равновесии относительно стержня АО, если коэффициент трения между ними f. Ускорение свободного падения g.



Ответ: $l = \frac{g}{\omega^2 \sin\alpha}\left(\frac{1+f tg\alpha}{tg\alpha - f}\right)$.

Решение. Сила трения скольжения направлена по стержню АО вниз, т.к. расстояние должно быть максимальным. Под действием приложенных сил бусинка движется в горизонтальной плоскости по окружности радиусом $R = l\sin\alpha$.

Второй закон Ньютона при движении бусинки

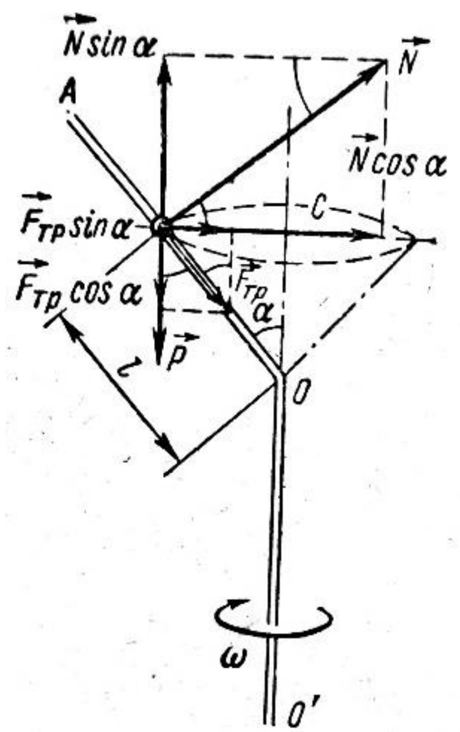
$$\vec{N} + \vec{P} + \overrightarrow{F_{\text{тр}}} = m\overrightarrow{a_{\text{цс}}}$$

$$a_{\text{цс}} = \omega^2 R$$

В проекциях на координатные оси x и y второй закон Ньютона:

$$N\cos\alpha + F_{\text{тр}}\sin\alpha = m\omega^2 R$$

$$N\sin\alpha - F_{\text{тр}}\cos\alpha - mg = 0$$



$$F_{\text{тр}} = fN$$

$$N(\cos\alpha + f\sin\alpha) = m\omega^2 l\sin\alpha$$

$$N(\sin\alpha - f\cos\alpha) = mg$$

$$l = \frac{g(\cos\alpha + f\sin\alpha)}{\omega^2\sin\alpha(\sin\alpha - f\cos\alpha)} = \frac{g}{\omega^2\sin\alpha}\left(\frac{1+f tg\alpha}{tg\alpha - f}\right).$$

Критерии оценивания:

Обоснование направления силы трения скольжения – 2 балла.
Верно указаны векторы сил на рисунке – 2 балл.
Верно указаны проекции сил на рисунке – 1 балл.
Определен радиус окружности для бусинки – 1 балл.
Составлены уравнения проекций – 2 балла.
Получено окончательное уравнение для расстояния – 2 балла.

10.2. *(10 баллов)*

Маятниковые часы

Ракета стартует с поверхности Земли без начальной скорости. За время равноускоренного движения с ускорением 10g поднимается на высоту H. В ракете и на Земле установлены маятниковые и пружинные часы. После подъема ракеты на высоту H двигатели выключаются. На сколько будут отличаться показания маятниковых и пружинных часов, когда ракета достигнет высоты максимального подъема? Изменением ускорения свободного падения g с высотой можно пренебречь.

Ответ: $\Delta t = \frac{\sqrt{2H}+\sqrt{200H}-\sqrt{220H}}{\sqrt{10g}}$.

Решение.

Если часы находятся в системе, которая движется с ускорением, период колебаний маятника будет отличаться от периода колебаний в неподвижной системе отсчета.

Первую часть пути ракета движется равноускоренно, значит маятниковые часы уходили вперед.

Отношение периодов на Земле и в ракете при равноускоренном движении

$$\frac{T_0}{T_1} = \sqrt{\frac{(g+a)}{g}} = \sqrt{11}.$$

Истинное время, за которое ракета поднялась на высоту H

$$t_0 = \sqrt{\frac{2H}{a}} = \sqrt{\frac{2H}{10g}}.$$

Маятниковые часы в ракете за то же время совершат больше в $\sqrt{\frac{(g+a)}{g}}$ раз колебаний чем на Земле, поэтому

$$t_1 = t_0\sqrt{\frac{(g+a)}{g}} = \sqrt{11}t_0 = \sqrt{11\,\frac{2H}{10g}} = \sqrt{\frac{2.2H}{g}}.$$

После выключения двигателя ракета начинает двигаться под действием силы тяжести с ускорением g. В ракете наступит «состояние невесомости». Поэтому маятниковые часы остановятся и в дальнейшем в любой точке траектории они будут показывать время

$$t_1 = \sqrt{\frac{2.2H}{g}}.$$

Что касается пружинных часов, то их ход не зависит от характера движения ракеты; поэтому в верхней точке траектории они покажут истинное время, равное $t_2 = t_0 + t$, где $t_0 = \sqrt{\frac{2H}{10g}}$, t– время, прошедшее с момента выключения двигателя до достижения ракетой высшей точки траектории. Так как скорость ракеты в момент выключения двигателя была

$$v = at_0 = 10g\sqrt{\frac{2H}{10g}} = \sqrt{20gH}.$$

Время движения ракеты с момента выключения двигателей

$t = \frac{v}{g} = \sqrt{\frac{20H}{g}}.$

Тогда

$t_2 = \sqrt{\frac{2H}{10g}} + \sqrt{\frac{20H}{g}} = \frac{\sqrt{2H}+\sqrt{200H}}{\sqrt{10g}}.$

$\Delta t = t_2 - t_1 = \frac{\sqrt{2H}+\sqrt{200H}}{\sqrt{10g}} - \sqrt{\frac{220H}{10g}} = \frac{\sqrt{2H}+\sqrt{200H}-\sqrt{220H}}{\sqrt{10g}}.$

Критерии оценивания:

Обоснование отличия показаний маятниковых часов на Земле и в ракете – 2 балла.

Обоснование отсутствия отличия показаний пружинных часов на Земле и в ракете – 2 балла

Уравнения для времени маятниковых часов в ракете и на Земле – 2 балл.

Истинное время пружинных часов – 1 балл.

Скорость ракеты к моменту конца разгона – 1 балл.

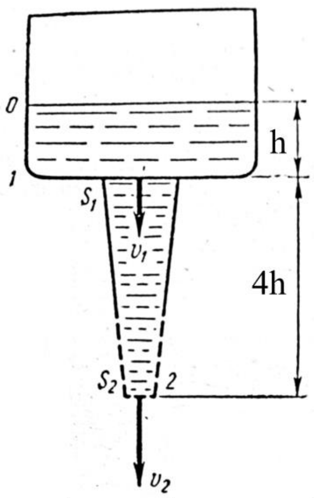
Время торможения ракеты – 1 балла.

Получено окончательное уравнение – 1 балл.

10.3. *(10 баллов)*

Струя воды

В цилиндрический сосуд налита вода до высоты h. В дне сосуда проделали отверстие сечением S_1. При этом уровень воды в сосуде поддерживается постоянным. Вода вытекает из сосуда, образуя не разбрызгиваемую струю, силы трения в струе отсутствуют. Определите площадь поперечного сечения струи, вытекающей из сосуда на расстоянии 4h от его дна. Изменением ускорения свободного падения g с высотой пренебречь.



Ответ: $S_1 = \sqrt{5}S_2 \approx 2{,}24S_2$.

Решение.

Если не учитывать сжимаемость жидкости, то за равные промежутки времени через сечения потока проходит одинаковое количество жидкости.

$S_1 v_1 = S_2 v_2$.

v_1 – скорость прохождения жидкости через сечение 1, v_2 – скорость прохождения жидкости через сечение 2.

Запишем закон сохранения энергии для различных уровней жидкости.

Уровни 0 и 1

$mgh = \frac{mv_1^2}{2}$ или $\rho gh = \frac{\rho v_1^2}{2}$, $v_1 = \sqrt{2gh}$

При переходе этого же объема через сечения 0 и 2

$mg5h = \frac{mv_2^2}{2}$, $v_2 = \sqrt{10gh}$.

Тогда $S_1\sqrt{2gh} = S_2\sqrt{10gh}$, $S_1 = \sqrt{5}S_2 \approx 2.24S_2$.

Критерии оценивания:

Равенства объемов жидкости через сечения в единицу времени– 2 балла.

Закон сохранения энергии для разных уровней жидкости– 4 балла.

Уравнения для скорости жидкости через разные сечения – 2 балл.

Получено окончательное уравнение – 2 балла.

10.4. *(10 баллов)*

Подъем воды

Насос за секунду перекачивает количество воды равное Q. Необходимо поднять воду по трубе сечением S на высоту 2h. Какова должна быть минимальная мощность насоса при этом, если его коэффициент полезного действия равен η? Плотность воды ρ, ускорение свободного падения g.

Ответ: $N = \frac{Q}{\eta}\left(\frac{Q^2}{2\rho^2 S^2} + gh\right)$.

Решение.

За счет работы насоса увеличивается потенциальная и кинетическая энергия каждого литра воды, перекачиваемого насосом. В результате вода наполняет трубу и приобретает такую скорость v, что за время t из трубы вытекает вода массой m.

По закону сохранения энергии работа насоса: $A = W_2 - W_1$.

Для минимальной мощности с учетом КПД: $\eta N = \frac{W_2 - W_1}{t}$.

Энергия системы в первом состоянии $W_1 = 0$, во втором состоянии равна сумме кинетической энергии всего столба воды и потенциальной энергии его центра тяжести:

$$W_2 = \frac{mv^2}{2} + mgh.$$

Тогда $\eta N = \frac{mv^2}{2t} + \frac{mgh}{t} = Q\left(\frac{v^2}{2} + gh\right)$, $Q = \frac{m}{t}$.

С другой стороны $Q = \frac{m}{t} = \frac{\rho Sh}{t} = \rho Sv$, $v = \frac{Q}{\rho S}$.

Тогда $N = \frac{Q}{\eta}\left(\frac{Q^2}{2\rho^2 S^2} + gh\right)$.

Критерии оценивания:

Записано выражение для работы через энергии состояний – 2 балла.

Указана или записана потенциальная энергия центра тяжести – 1 балл.

Записано выражение для работы через КПД – 1 балл.

Записаны выражения для энергии – 2 балла.

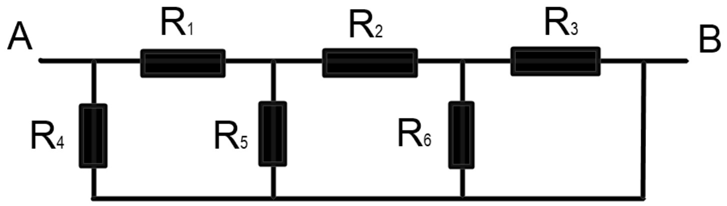
Получено выражение для скорости вытекания жидкости – 2 балла.

Получено окончательное уравнение – 2 балла.

10.5. *(10 баллов)*

Сопротивление участка

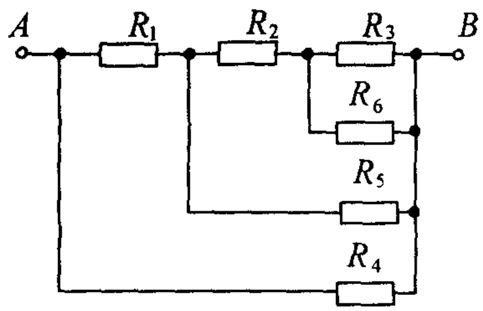
Определите сопротивление участка цепи, представленного на рисунке, если R_1 = 2 Ом, R_2 = 4 Ом, R_3 = 6 Ом, R_4 = 8 Ом R_5 = 10 Ом R_6 = 12 Ом.



Ответ: 3,57 Ом.

Решение.

Эквивалентная схема.



Тогда

$R_{36} = \frac{R_3 \cdot R_6}{R_3 + R_6} = \frac{6 \cdot 12}{6+12} = \frac{72}{18} = 4$ (Ом).

$R_{236} = R_2 + R_{36} = 4 + 4 = 8$ (Ом).

$R_{2365} = \frac{R_{236} \cdot R_5}{R_{236} + R_5} = \frac{8 \cdot 10}{8+10} = \frac{80}{18} = 4{,}44$ (Ом).

$R_{12365} = R_1 + R_{2365} = 2 + 4.44 = 6.44$ (Ом).

$R = \frac{R_{12365} \cdot R_4}{R_{12365} + R_4} = \frac{6{,}44 \cdot 8}{6{,}44+8} = \frac{51{,}52}{14{,}44} \approx 3{,}57$ (Ом).

Критерии оценивания:

Эквивалентная схема – 5 баллов.

Сопротивление при последовательном соединении – 1 балл.

Сопротивление при параллельном соединении – 1 балл.

Получено окончательное уравнение и ответ – 3 балла.