

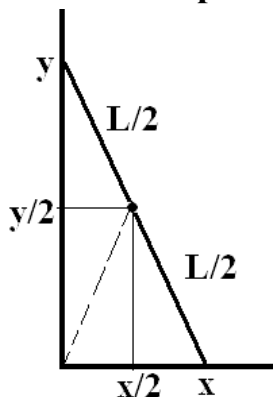
**Муниципальный этап
всероссийской олимпиады школьников
по физике
2019/20 учебный год
11 класс**

Возможные решения и критерии оценивания

Задача 1

Стержень длиной L касается своими концами вертикальной стенки и горизонтального пола. Он движется, оставаясь всё время в одной и той же вертикальной плоскости, без отрыва от стенки и пола. В некоторый момент времени модуль скорости верхнего конца стержня равен V , а нижнего конца – $2V$. Найдите модуль скорости середины стержня в этот момент, а также направление этой скорости относительно горизонтали. На какой высоте от пола находится в этот момент верхний конец стержня?

Возможное решение



Пусть x и y – расстояния от нижнего и верхнего концов стержня до вершины прямого угла, образуемого стенкой и полом. Тогда координаты середины стержня $x/2$ и $y/2$, а горизонтальная и вертикальная составляющая скорости середины стержня равны по модулю половинам модулей скоростей нижнего и верхнего концов стержня: $u_x=V$; $u_y=V/2$.

Модуль скорости середины стержня $u = \sqrt{u_x^2 + u_y^2} = \frac{\sqrt{5}}{2}V$ находится при помощи теоремы Пифагора.

Вектор скорости середины стержня расположен в плоскости движения стержня и направлен от стены и к полу. Для угла α , который этот вектор составляет с горизонталью, находим: $\operatorname{tg}\alpha = u_y/u_x = 1/2$, то есть $\alpha = \operatorname{arctg}(0,5)$.

Найдём угол между стержнем и стенкой в рассматриваемый момент времени. Легко доказать, что середина стержня движется по окружности радиусом $L/2$. Этот радиус изображён на рисунке штриховой линией. Вектор скорости

середины стержня перпендикулярен радиусу, и поэтому угол между стержнем и стенкой равен определённому выше углу α (тангенс этого угла можно найти из условия неизменности длины стержня – это альтернативный способ получения ответа для угла α).

Так как $H = L \cos \alpha$, то искомая высота $H = \frac{2L}{\sqrt{5}}$.

Критерии оценивания

1. Координаты середины стержня связаны с координатами его концов 1 балл
2. $u_x=V; u_y=V/2$ 2 балла
3. $u = \frac{\sqrt{5}}{2}V$ 2 балла
4. Вектор \vec{u} направлен от стены и к полу под углом $\alpha = \arctg(0,5)$ к горизонтали 1 балл
5. Найден угол между стержнем и стенкой 2 балла
6. $H = \frac{2L}{\sqrt{5}}$ 2 балла

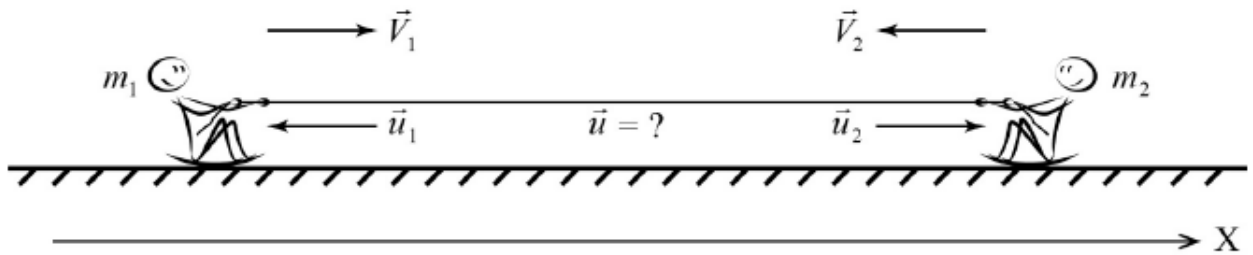
Максимум за задачу 10 баллов.

Задача 2

Двое физиков сидят в круглых санках-ледянках, которые покоятся на гладкой горизонтальной поверхности замёрзшего озера, и держат в руках концы длинной невесомой нерастяжимой верёвки. Они начинают «выбирать» верёвку руками и таким образом едут навстречу друг другу. В некоторый момент сила натяжения выпрямленной (то есть не провисающей) между физиками верёвки становится равной нулю. После этого они продолжают «выбирать» верёвку так, что она движется относительно первого физика со скоростью $u_1=1$ м/с, а относительно второго – со скоростью $u_2 = 0.6$ м/с. Масса первого физика $m_1 = 60$ кг, а масса второго физика $m_2 = 78$ кг. Найдите модуль скорости каждого физика и горизонтального участка верёвки относительно озера.

Возможное решение

Пусть \vec{V}_1 и \vec{V}_2 – скорости первого и второго физиков относительно озера, \vec{u}_1 и \vec{u}_2 – скорости верёвки относительно физиков, \vec{u} – скорость верёвки относительно озера.



Запишем закон сохранения импульса системы в векторном виде:

$$0 = m_1 \vec{V}_1 + m_2 \vec{V}_2. \quad (1)$$

Запишем для верёвки закон сложения скоростей:

$$\vec{u} = \vec{u}_1 + \vec{V}_1, \quad (2)$$

$$\vec{u} = \vec{u}_2 + \vec{V}_2 \quad (3)$$

Запишем теперь закон сложения скоростей (2) и (3) в проекции на ось X (учтём, что направление \vec{u} заранее не известно):

$$u_x = -u_1 + V_1, \quad (4)$$

$$u_x = u_2 - V_2. \quad (5)$$

Из (1) следует, что $0 = m_1 V_1 - m_2 V_2$. Тогда с учётом (4) и (5) получаем:

$$V_1 = \frac{m_2(u_1 + u_2)}{m_1 + m_2} \approx 0,9 \text{ м/с}; \quad V_2 = \frac{m_1(u_1 + u_2)}{m_1 + m_2} \approx 0,7 \text{ м/с}; \quad u = |V_1 - u_1| \approx 0,1 \text{ м/с}.$$

Критерии оценива

1. $0 = m_1 V_1 - m_2 V_2$ 2 балла
2. $u_x = -u_1 + V_1$ 2 балла
3. $u_x = u_2 - V_2$ 2 балла
4. $V_1 = \frac{m_2(u_1 + u_2)}{m_1 + m_2} \approx 0,9 \text{ м/с}$ 1,5 балла
5. $V_2 = \frac{m_1(u_1 + u_2)}{m_1 + m_2} \approx 0,7 \text{ м/с}$ 1,5 балла
6. $u = |V_1 - u_1| \approx 0,1 \text{ м/с}$ 1 балл

Максимум за задачу 10 баллов.

Задача 3

При нагревании трёх молей гелия давление p газа изменялось прямо пропорционально его объёму V ($p = \alpha V$, где α – некоторая неизвестная константа). На сколько градусов поднялась температура гелия, если газу передали количество теплоты $Q = 300$ Дж?

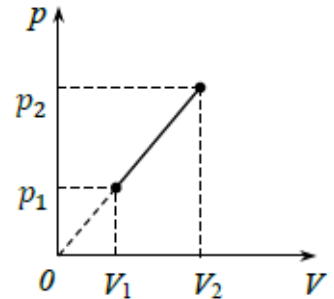
Возможное решение

Запишем уравнения Клапейрона-Менделеева для начального и конечного состояний газа:

$$p_1 V_1 = \nu R T_1, p_2 V_2 = \nu R T_2.$$

Совершённая газом работа численно равна площади под графиком (см. рис.):

$$A = \frac{1}{2}(p_2 V_2 - p_1 V_1) = \frac{1}{2} \nu R (T_2 - T_1) = \frac{1}{2} \nu R \Delta T.$$



Из первого начала термодинамики следует:

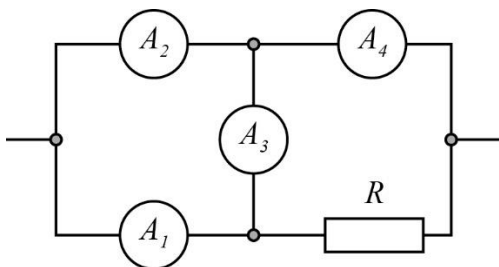
$$Q = \Delta U + A = \frac{3}{2} \nu R \Delta T + \frac{1}{2} \nu R \Delta T = 2 \nu R \Delta T \Rightarrow \Delta T = \frac{Q}{2 \nu R} \approx 6 \text{ К.}$$

Критерии оценивания

1. $p_1 V_1 = \nu R T_1$ и $p_2 V_2 = \nu R T_2$ 1 балл
2. $A = \frac{1}{2} \nu R \Delta T$ 4 балла
3. $Q = \Delta U + A$ 2 балла
4. $\Delta U = \frac{3}{2} \nu R \Delta T$ 2 балла
5. $\Delta T = \frac{Q}{2 \nu R} = 6 \text{ К}$ 1 балл

Максимум за задачу 10 баллов.

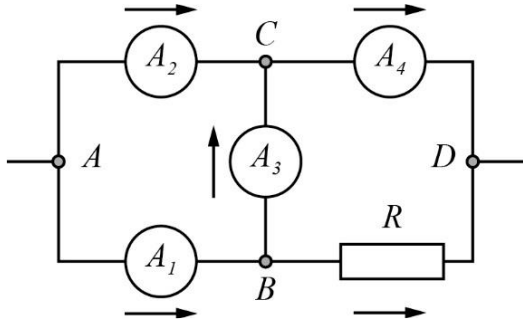
Задача 4



Электрическая цепь состоит из резистора с сопротивлением R и четырёх одинаковых амперметров с внутренними сопротивлениями r . Показания

амперметров A_1 и A_2 равны $I_1=3\text{A}$ и $I_2=5\text{A}$. Найдите отношение сопротивлений R/r .

Возможное решение



На рисунке стрелками указаны выбранные нами положительные направления токов в ветвях цепи.

Поскольку в контуре ACB отсутствуют источники ЭДС, то

$$I_2 r = I_3 r + I_1 r \Rightarrow I_3 = I_2 - I_1 = 2 \text{ A.}$$

Запишем закон сохранения электрического заряда для узла B :

$$I_1 = I_3 + I_R \Rightarrow I_R = I_1 - I_3 = 1 \text{ A.}$$

Аналогично находим ток $I_4 = I_2 + I_3 = 7 \text{ A}$.

Для контура CDB , в котором также отсутствуют источники ЭДС:

$$I_3 r + I_4 r = I_R R \Rightarrow \frac{R}{r} = \frac{I_3 + I_4}{I_R} = 9.$$

Критерии оценивания

- | | |
|----------------------------------|---------|
| 1. $I_2 r = I_3 r + I_1 r$ | 2 балла |
| 2. $I_1 = I_3 + I_R$ | 2 балла |
| 3. $I_4 = I_2 + I_3$ | 2 балла |
| 4. $I_3 r + I_4 r = I_R R$ | 2 балла |
| 5. $\frac{R}{r} = 9$ | 2 балла |

Максимум за задачу 10 баллов.

Задача 5

По закреплённому в вакууме тонкому проволочному кольцу радиусом R равномерно распределён отрицательный заряд Q . Электрон с массой m и зарядом e приближается к кольцу по прямой, перпендикулярной плоскости

кольца и проходящей через его центр. Какому условию должна удовлетворять скорость электрона в точке, находящейся на расстоянии $d = \sqrt{3}R$ от центра кольца, чтобы электрон смог пролететь сквозь него? Силой тяжести можно пренебречь.

Возможное решение

Потенциал на оси равномерно заряженного кольца на расстоянии d от центра равен:

$$\varphi_1 = k \frac{Q}{\sqrt{R^2 + d^2}} = k \frac{Q}{2R}.$$

Потенциал в центре равномерно заряженного кольца:

$$\varphi_2 = k \frac{Q}{R}.$$

Из закона сохранения энергии следует:

$$\frac{mV_{\min}^2}{2} + e\varphi_1 = e\varphi_2 \Rightarrow V_{\min} = \sqrt{\frac{2e(\varphi_2 - \varphi_1)}{m}} = \sqrt{\frac{keQ}{mR}} = \sqrt{\frac{eQ}{4\pi\epsilon_0 mR}}.$$

Значит, $V \geq \sqrt{\frac{eQ}{4\pi\epsilon_0 mR}}.$

Критерии оценивания

1. $\varphi_1 = k \frac{Q}{2R}$ 3 балла
2. $\varphi_2 = k \frac{Q}{R}$ 2 балла
3. $\frac{mV_{\min}^2}{2} + e\varphi_1 = e\varphi_2$ 3 балла
4. $V \geq \sqrt{\frac{keQ}{mR}}$ 2 балла

Максимум за задачу 10 баллов.

Всего за работу 50 баллов.