

ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ «Робофест» по ФИЗИКЕ
ОТБОРОЧНЫЙ ЭТАП 2020-2021 года, вопросы по физике. 10 класс.
ПРИМЕР ВАРИАНТА: ВОЗМОЖНЫЕ РЕШЕНИЯ И КРИТЕРИИ

1. Два одинаковых шарика, выпущенных из катапульт, столкнулись «лоб в лоб» в тот момент, когда оба летели горизонтально. Непосредственно перед ударом величины скоростей шаров равнялись $v_1 = 5$ м/с и $v_2 = 2$ м/с. Какой после удара стала величина скорости второго шара (то есть того, который до удара двигался со скоростью 2 м/с)? Удар считайте упругим. Ответ запишите в м/с, с точностью до целого значения.

Возможное решение: После лобового упругого удара тела движутся вдоль той же прямой, что и перед ударом (ось x). Их скорости до и после удара (в проекциях на ось x) связаны законами сохранения энергии и импульса. При одинаковых массах эти законы приводят к уравнениям:

$$\left\{ \begin{array}{l} mv'_1 + mv'_2 = mv_1 + mv_2 \\ \frac{mv_1'^2}{2} + \frac{mv_2'^2}{2} = \frac{mv_1^2}{2} + \frac{mv_2^2}{2} \end{array} \right\} \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} v'_1 + v'_2 = v_1 + v_2 \\ v_1'^2 + v_2'^2 = v_1^2 + v_2^2 \end{array} \right.$$

Ясно, что эта система имеет два решения относительно «новых» скоростей, и они легко угадываются: это «старые» скорости $v'_1 = v_1$ и $v'_2 = v_2$ (соответствует отсутствию удара) или «обмен скоростями» $v'_1 = v_2$ и $v'_2 = v_1$ (если удар произошел). Таким образом, скорость второго шара после удара равна скорости первого шара до удара.

| МАКСИМАЛЬНЫЙ БАЛЛ | ОТВЕТЫ | СТОИМОСТЬ |
|-------------------|----------|-------------|
| 5 | 5 | 100% |

2. Рассмотрим случай, когда эти шары перед ударом летели горизонтально точно навстречу друг другу, но упругий удар не был лобовым, и первый шар (летевший со скоростью $v_1 = 5$ м/с) в результате удара отклонился от направления своего движения до удара на угол $\alpha = 60^\circ$. Скорость второго шара перед ударом по-прежнему $v_2 = 2$ м/с.

2.1. Найдите величину скорости первого шара сразу после удара. Ответ запишите в м/с, с точностью до десятых.

2.2. Найдите угол отклонения второго шара (от направления своего движения до удара). Ответ запишите в градусах, с точностью до целого значения.

Возможное решение: В этом случае движение уже не является одномерным, и уравнения для «новых» скоростей нужно записывать в векторной форме (или в проекциях на координатные оси). Например:

$$\left\{ \begin{array}{l} m\vec{v}'_1 + m\vec{v}'_2 = m\vec{v}_1 + m\vec{v}_2 \\ \frac{m\vec{v}_1'^2}{2} + \frac{m\vec{v}_2'^2}{2} = \frac{m\vec{v}_1^2}{2} + \frac{m\vec{v}_2^2}{2} \end{array} \right\} \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \vec{v}'_2 = \vec{v}_1 + \vec{v}_2 - \vec{v}'_1 \\ v_2'^2 = v_1^2 + v_2^2 - v_1'^2 \end{array} \right.$$

Учтем, что до удара шары летели навстречу друг другу: запишем, что $\vec{v}_2 = -0,4 \cdot \vec{v}_1$. Тогда $\vec{v}'_2 = 0,6 \cdot \vec{v}_1 - \vec{v}'_1$. Возведем это соотношение в квадрат (учитывая, что $\vec{v}_1 \cdot \vec{v}'_1 = v_1 v'_1 \cos(\alpha) = \frac{1}{2} v_1 v'_1$): $v_2'^2 = 0,36v_1^2 + v_1'^2 - 0,6v_1 v'_1$. Подставляя сюда выражение для $v_2'^2$ из закона сохранения энергии, получаем уравнение для скорости первого шара после удара: $v_1'^2 - 0,3v_1 v'_1 - 0,4v_1^2 = 0$. Положительный корень этого уравнения $v'_1 = 0,8v_1 = 4$ м/с.

| МАКСИМАЛЬНЫЙ БАЛЛ | ОТВЕТЫ | СТОИМОСТЬ |
|-------------------|------------|-------------|
| 10 | 4,0 | 100% |
| | 4 | 90% |

Найдем скорость второго шара после удара: $v_2'^2 = v_1^2 + v_2^2 - v_1'^2 = 0,52v_1^2$, то есть $v'_2 = \frac{\sqrt{13}}{5} v_1 = \frac{\sqrt{13}}{2} v_2$. Перепишем закон сохранения импульса в другом виде (ясно, что

$\vec{v}_1 = -2,5 \cdot \vec{v}_2$, $v_1'^2 = 4v_2'^2$): $\vec{v}_2' + 1,5\vec{v}_2 = -\vec{v}_1'$. Возведем его в квадрат $v_2'^2 + 2,25v_2'^2 + 3v_2v_2' \cos(\beta) = v_1'^2$ (где β – искомый угол поворота вектора скорости второго шара) и выразим β : $3\frac{\sqrt{13}}{2}v_2'^2 \cos(\beta) = -\frac{3}{2}v_2'^2$, то есть $\beta = \arccos\left(-\frac{1}{\sqrt{13}}\right) \approx 106^\circ$.

| МАКСИМАЛЬНЫЙ БАЛЛ | ОТВЕТЫ | СТОИМОСТЬ |
|-------------------|--------|-----------|
| 10 | 106 | 100% |

3. Перед соревнованиями зал, где они будут проходить, проветрили, закрыли окна и двери, и включили нагревательные приборы. Когда температура установилась, климатическое панно, висящее в зале, что она равна $t = 24^\circ\text{C}$, но воздух очень сухой – относительная влажность равнялась $r = 18\%$. Для создания более комфортных условий увлажнители воздуха испарили $m = 7$ кг воды. Температуру при этом сохранили неизменной. Какой стала относительная влажность воздуха в зале? Объем зала $V = 1000\text{ м}^3$, молярная масса воды $\mu = 18\text{ г/моль}$, универсальная газовая постоянная $R \approx 8,31\text{ Дж/(моль}\cdot\text{К)}$. Давление насыщенных паров воды при температуре зала $p_n = 2,99\text{ кПа}$. Ответ запишите в процентах, с точностью до целого значения.

Возможное решение: Из уравнения Менделеева-Клапейрона $pV = \frac{m_n}{\mu}RT$ можно выразить

давление водяного пара через массу пара в зале $p = \frac{RT}{\mu V}m_n$. Давление пара можно определить по

относительной влажности и давлению насыщенного пара $p = r \cdot p_n$. Поэтому $r = \frac{RT}{\mu p_n V}m_n$.

Следовательно, увеличение относительной влажности при увеличении массы водяного пара

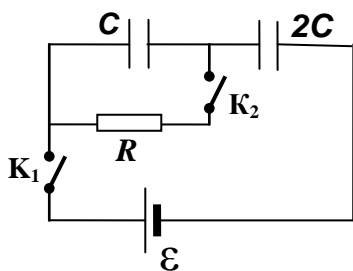
$$r' - r = (m'_n - m_n) \frac{RT}{\mu p_n V} \Rightarrow r' = r + m \frac{RT}{\mu p_n V} = 50\%.$$

| МАКСИМАЛЬНЫЙ БАЛЛ | ОТВЕТЫ | СТОИМОСТЬ |
|-------------------|--------|-----------|
| 10 | 50 | 100% |
| | 49 | 70% |
| | 51 | 70% |

4. Перед сборкой схемы, изображенной на рисунке, оба конденсатора были разряжены. После сборки сначала замкнули ключ K_1 , а затем, спустя некоторое время – K_2 . Величина $C = 30\text{ мкФ}$, ЭДС источника $\mathcal{E} = 50\text{ В}$, внутреннее сопротивление батареи и сопротивление соединительных проводов и контактов пренебрежимо мало.

4.1. Какой заряд будет у конденсатора с большей емкостью после замыкания K_1 (до замыкания K_2)? Ответ дайте в мкКл, с точностью до целого значения.

4.2. Какое количество теплоты выделится в резисторе R ? Ответ дайте в мДж, с точностью до целого значения.



Возможное решение: После замыкания K_1 батарея конденсаторов общей емкостью

$C_{\text{общ}} = \frac{2C \cdot C}{2C + C} = \frac{2}{3}C$ заряжается от источника до напряжения \mathcal{E} . Заряд каждого из конденсаторов

$q = \frac{2}{3}C\mathcal{E} = 1000\text{ мкКл}$. На этой стадии ток через резистор не течет, и тепло в нем не выделяется.

| МАКСИМАЛЬНЫЙ БАЛЛ | ОТВЕТЫ | СТОИМОСТЬ |
|-------------------|-------------|-------------|
| 5 | 1000 | 100% |
| | 1 | 50% |

После замыкания K_2 конденсатор емкостью C разряжается через резистор, а конденсатор емкостью $2C$ дозаряжается до напряжения \mathcal{E} через тот же резистор. Поскольку все прочие сопротивления малы, практически все тепло выделяется именно в резисторе, и выделившееся количество теплоты равно разности работы источника и изменения энергии конденсаторов после замыкания K_2 : $Q_R \approx Q = A_{ист} - \Delta E_C$. Работа источника вычисляется по величине протекшего через

него на второй стадии заряда: $\Delta q = 2C\mathcal{E} - \frac{2}{3}C\mathcal{E} = \frac{4}{3}C\mathcal{E}$, и поэтому $A_{ист} = \mathcal{E} \cdot \Delta q = \frac{4}{3}C\mathcal{E}^2$.

Изменение энергии конденсаторов $\Delta E_C = (2C - C_{общ}) \frac{\mathcal{E}^2}{2} = \frac{2}{3}C\mathcal{E}^2$. Таким образом, в резисторе

выделяется количество теплоты $Q_R \approx \frac{2}{3}C\mathcal{E}^2 = 50 \text{ мДж}$.

| МАКСИМАЛЬНЫЙ БАЛЛ | ОТВЕТЫ | СТОИМОСТЬ |
|-------------------|-----------|-------------|
| 10 | 50 | 100% |
| | 5 | 50% |