Решение теоретического тура по физике
10 класс

Задача_1. Платформа движется равноускоренно с ускорением:

1 балл $a = \frac{mgsin\alpha - F_{mp}}{m} = gsin\alpha - \frac{\mu N}{m} = g(sin\alpha - \mu cos\alpha)$

В системе отсчёта связанной с платформой, на шарик действует сила инерции:

1 балл $\overrightarrow{F_{ин}} = -m\vec{a}$

Введём эффективную силу тяжести в системе платформы:

1 балл $m\overrightarrow{g'} = m(\vec{g} - \vec{a})$

1 балл

$\overrightarrow{g'}$ составляет угол $\beta = arctg(\frac{gsin\alpha - a}{gcos\alpha}) = arctg\mu$ с нормалью к плоскости, и в этом же направлении направлена нить маятника в положении равновесия

Когда платформа удерживалась неподвижно, нить находилась в вертикальном положении и составляла с этим положением равновесия угол $(\alpha - \beta)$.

Проскочив положение равновесия нить маятника отклонится на такой же угол в другую сторону, таким образом, от первоначального положения нить отклонится на угол $\gamma =$

1 балл $2(\alpha - \beta) = 2(\alpha - arctg\mu)$

Задача_2. При остывании на ΔT вода отдает количество теплоты

$$Q = c_в m_в \Delta T.$$

Это количество теплоты переносится молекулами газа в колбе, попеременно соударяющимися с холодной и горячей стенками. При каждом столкновении со стенкой средняя кинетическая энергия поступательного движения молекулы становится равной средней кинетической энергии молекулы при температуре стенки. При пролете от горячей стенки к холодной каждая молекула переносит энергию

1 балл $$\Delta E = E - E_0 = \frac{3}{2}kT - \frac{3}{2}kT_0 = \frac{3}{2}k(T - T_0).$$

Теперь нужно оценить число пролетов молекул между стенками колбы в единицу времени. Для этого нужно знать концентрацию молекул

1 балл $$n = \frac{p}{kT_{ср}} = \frac{2p}{k(T + T_0)}$$

и среднюю скорость теплового движения молекул в направлении, перпендикулярном стенкам. Вообще говоря, средняя скорость теплового движения различна для молекул, летящих в направлении холодной и горячей стенок. При оценках этой разницей можно пренебречь и принять за $(\upsilon_{ср})_x$ величину

1 балл $$(\upsilon_{ср})_x = \sqrt{\overline{\upsilon_x^2}} = \sqrt{\frac{k(T + T_0)}{2m}},$$

где m – масса молекулы гелия.

Так как в направлении одной стенки летит половина молекул, то число ударов ν молекул о стенку колбы площадью S в единицу времени равно:

1 балл $$\nu = \frac{1}{2} n S (v_{\text{ср}})_x = \frac{1}{2} \cdot \frac{2p}{k(T+T_0)} \cdot S \sqrt{\frac{k(T+T_0)}{2m}} = Sp \sqrt{\frac{1}{2mk(T+T_0)}}.$$

Таким образом, за единицу времени молекулами газа переносится энергия

1 балл $$q = \Delta E \cdot \nu.$$

Из условия $q \cdot t = Q$, найдем:

1 балл

$$t = \frac{Q}{q} = \frac{2c_{\text{в}} m_{\text{в}} \Delta T}{3pS(T - T_0)} \sqrt{\frac{2m(T+T_0)}{k}}$$

Подставляя $\frac{m}{k} = \frac{\mu}{R}$ получим

1 балл $$t = \frac{2c_{\text{в}} m_{\text{в}} \Delta T}{3pS(T - T_0)} \sqrt{\frac{2\mu(T+T_0)}{R}}$$

Задача_3. Несмотря на то что внутреннее сопротивление батарей r мало, в первоначальных расчётах его придётся ввести.

Законы Кирхгофа для контуров

1 балл $$\begin{cases} \mathcal{E} = I_1 r + IR \\ 2\mathcal{E} = 2I_2 r + IR \end{cases}$$

для узла

$$I_1 + I_2 = I$$

Совместное решение уравнений дает

1 балл $I = \frac{4\mathcal{E}}{2r+3R}$, или с учетом малости r

1 балл $$I = \frac{4\mathcal{E}}{3R}$$

На шарах появятся заряды одинаковой величины и разных знаков

Потенциалы шаров будут равны $\varphi_1 = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 a}$ и $\varphi_2 = -\frac{q}{4\pi\varepsilon_0 b}$ 2 балла

А их разность будет равна напряжению на резисторе

1 балл $$\varphi_1 - \varphi_2 = IR$$

$$\frac{q}{4\pi\varepsilon_0 a} + \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 b} = \frac{4\mathcal{E}}{3}$$

1 балл $$q = \frac{4\mathcal{E}}{3} 4\pi\varepsilon_0 \frac{ab}{a+b}$$

Задача_4.

a) Пусть ток идёт по часовой стрелке при взгляде сверху (Когда мы определим направления сил, то увидим что направление тока влияет лишь на направление в котором момент стремится вращать рамку, но не на его величину и не на направление оси вращения).

z-составляющая магнитного поля порождает силы действующие на каждую сторону рамки в её плоскости «внутрь» рамки, которые стремятся её деформировать, но не могут создать момент сил. 1 балл

y-составляющая магнитного поля воздействует только на стороны, перпендикулярные ей. Эти силы направлены по нормали к плоскости «вверх» и «вниз»

1 балл $F_{1z} = -F_{2z} = IBa$

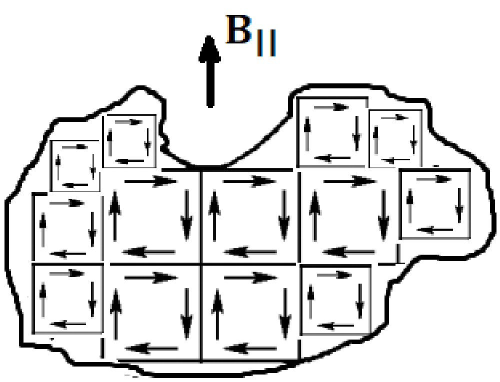
Такая пара сил будет закручивать рамку вокруг её центральной оси, параллельной x.

Момент этой пары сил можно отсчитать относительно неё, но он не зависит от выбора оси относительно которой отсчитываем плечи сил:

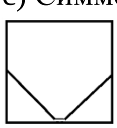
1 балл $M = F_{1z}y_1 + F_{2z}y_2 = IBa(y_2 - y_1) = IBab = IBS$

b) Контур сложной формы можно разбить на такое количество прямоугольных контуров разной величины с одной из сторон ориентированной вдоль $B_{||}$, какое необходимо для заданной точности вычислений, а момент будет определяться суммой моментов действующих на них. 1 балл

$M = IB\sum\Delta S = IBS$



c) Симметрия схемы позволяет разъединить точки.



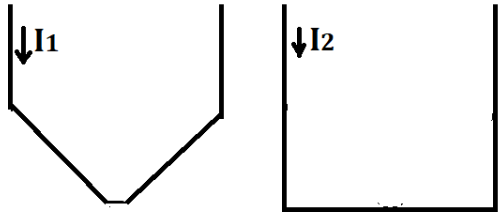
Ток разделяется по ветвям в пропорции к их сопротивлениям (и соответственно к длинам)

1 балл $I = I_1 + I_2$

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1} = \frac{l_2}{l_1} = \frac{2a}{\sqrt{2}a} = \sqrt{2}$$

1 балл Откуда: $I_1 = \frac{I\sqrt{2}}{\sqrt{2}+1}$; $I_2 = \frac{I}{\sqrt{2}+1}$

А сам контур можно представить в виде суммы двух контуров (это не единственный вариант разбиения контура) с площадями $S_1 = \frac{3}{4}a^2$ и $S_2 = a^2$: 1 балл



При отклонении рамки на угол α от вертикали

$B_{||} = Bcos\alpha$

1 балл $M = M_1 + M_2 = (I_1S_1 + I_2S_2)Bcos\alpha = \frac{3\sqrt{2}+4}{4(\sqrt{2}+1)}IBcos\alpha$

Момент силы тяжести рамки удобно выразить ввиде суммы моментов сил тяжести отдельных звеньев.

1 балл $M = \left(2\rho a * \frac{a}{2} + \rho a * a + 2\rho\frac{a\sqrt{2}}{2} * \frac{3}{4}a\right) * gsin\alpha = (2 + \frac{3}{4}\sqrt{2})\rho a^2 sin\alpha$

Равенство моментов

1 балл $\frac{3\sqrt{2}+4}{4(\sqrt{2}+1)}IBcos\alpha = (2 + \frac{3}{4}\sqrt{2})\rho a^2 sin\alpha$

даёт

1 балл $tan\alpha = \frac{3\sqrt{2}+4}{11\sqrt{2}+14}\frac{IB}{\rho a^2} \approx 1.74$

$\alpha = atan1.74 \approx 60°$

Марк-схема

10 класс, 1 тур

Задача 1:

1.1)Верно найдено ускорение платформы – 1б

1.2)Верно найдена сила инерции– 1б

1.3)Верно записаны уравнения Ньютона для шарика – 1б

1.4)Верно найден угол равновесия шарика – 1б

1.5)Верно найден максимальный угол отклонения (ответ) – 1б

Задача 2:

2.1)Верно найдено значение переносимой энергии одной молекулы – 1б

2.2)Верно найдена концентрация молекул – 1б

2.3)Верно найдена средняя скорость молекул – 1б

2.4)Верно найдено количество соударений о стенку в единицу времени – 1б

2.5)Верно найдена общая переносимая энергия в единицу времени – 1б

2.6)Верно приравнена потеря энергии воды к общей переносимой энергии – 1б

2.7)Ответ – 1б

Задача 3:

3.1)Верно записаны законы Кирхгофа – 1б

3.2)Верно пренебрежены внутренние сопротивления батарей – 1б

3.3)Правильно найден ток через резистор – 1б

3.4)Верно записаны потенциалы шаров (учтено $q1 = -q2$) – 2б

3.5)Приравнена разность потенциалов шаров и резистора – 1б

3.6)Ответ – 1б

Задача 4:

4.1)Учтено, что z составляющая поля не создает момент – 1б

4.2)Верно найдена сила от y составляющей поля – 1б

4.3)Ответ – 1б

4.4)Верно доказано утверждение – 1б

4.5)Верно записана формула Кирхгофа – 1б

4.6)Верно найдены токи – 1б

4.7)Верно найдены площади – 1б

4.8)Верно найден момент сил магнитного поля – 1б

4.9)Верно найден момент силы тяжести – 1б

4.10)Приравнял моменты – 1б

4.11)Ответ – 1б