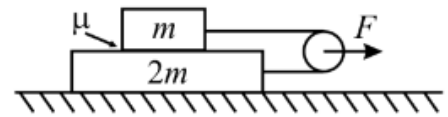


**Муниципальный этап Всероссийской олимпиады школьников  
2020-2021 учебный год  
ФИЗИКА 11 класс  
Критерии оценивания**

**Задача 1**

Систему грузов, имеющих массу  $m$  и  $2m$ , тянут с помощью подвижного блока по гладкой горизонтальной поверхности (см. рисунок). При каких значениях модуля силы  $F$ , направленной горизонтально, грузы не будут проскальзывать друг по другу, если коэффициент трения между ними равен  $\mu$ ? Массой блока и нити можно пренебречь. Участки нити, не лежащие на блоке, горизонтальны.



**Возможное решение**

Если бы трение отсутствовало, тогда ускорение груза  $m$  было бы больше ускорения груза  $2m$ , значит, сила трения, действующая на груз  $m$ , направлена влево. В момент начала проскальзывания возникает пограничная ситуация: в системе действует максимально возможная сила трения, но ускорения грузов одинаковы. Ввиду невесомости нити и блока сила натяжения нити равна  $F/2$ . Запишем второй закон Ньютона для груза  $m$  и груза  $2m$  соответственно:

$$\begin{cases} \frac{F}{2} - \mu mg = ma, \\ \frac{F}{2} + \mu mg = 2ma, \end{cases} \Rightarrow F = 6\mu mg.$$

Значит, проскальзывание отсутствует при  $F \leq 6\mu mg$ .

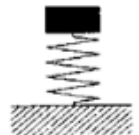
**Критерии оценивания:**

1. Определено направление сил трения, действующих между грузами.....2 балла
2. Указано условие начала проскальзывания грузов.....2 балла
3. Определена сила реакции со стороны нити.....1 балл
4. Записан 2-й закон Ньютона для верхнего груза.....2 балла
5. Записан 2-й закон Ньютона для нижнего груза.....2 балла
6. Указан диапазон значений модуля силы, когда проскальзывание отсутствует.....1 балл

**Максимум за задачу 10 баллов**

**Задача 2**

На легкой вертикально установленной пружине уравновешена гиря. Деформация пружины при этом составляет  $см$ . Чтобы увеличить деформацию пружины вдвое, медленно надавливая на груз в вертикальном направлении, надо совершить работу  $A = 1$  Дж. Найдите жёсткость пружины.



**Возможное решение**

Условие равновесия гири в начальный момент:  $mg = kx$ , где  $m$  – масса гири,  $k$  – жёсткость пружины. Запишем закон сохранения энергии, приняв «нулевой» уровень потенциальной энергии силы тяжести в начальном положении гири:

$$\frac{kx^2}{2} + A = -mgx + \frac{k(2x)^2}{2} \Rightarrow A = \frac{3}{2}kx^2 - kx^2 \Rightarrow k = \frac{2A}{x^2} \cong 556 \text{ Н/м.}$$

**Критерии оценивания:**

1. Условие равновесия гири в начальный момент.....2 балла
2. Выражение потенциальной энергии силы упругости.....1 балл
3. Выражение потенциальной энергии силы тяжести.....1 балл
4. Записан закон сохранения энергии.....3 балла
5. Найдено выражение для коэффициента жёсткости пружины.....2 балла
6. Получено численное значение коэффициента жёсткости пружины.....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  $\alpha$  – некоторая неизвестная константа). На сколько градусов поднялась температура гелия, если газу передали количество теплоты  $Q = 300$  Дж?

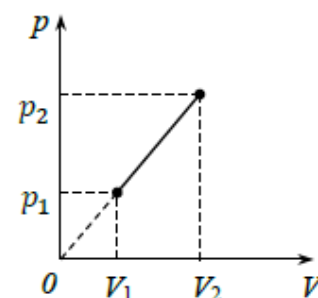
**Возможное решение**

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:

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

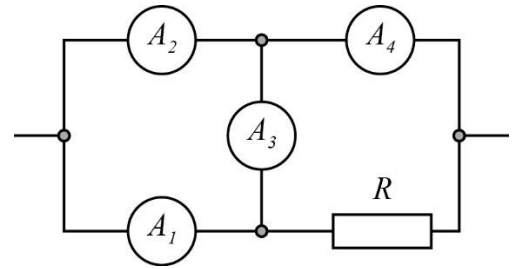
**Критерии оценивания**

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

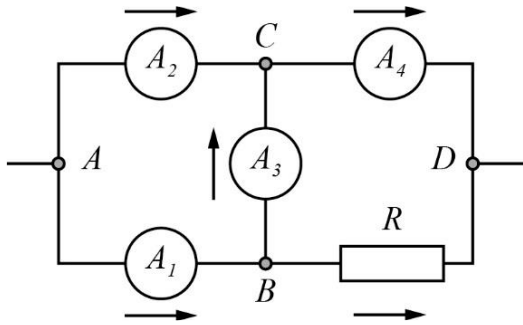
**Максимум за задачу 10 баллов.**

### 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.