

ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ  
«ПЕРВЫЕ ШАГИ В ЭНЕРГЕТИКЕ»  
ПО ПРЕДМЕТУ «ФИЗИКА»

Методическое пособие для школьников по подготовке к Олимпиаде «Первые  
шаги в энергетике»

О.П. Попкова

Пособие содержит материал, который может дать ориентиры для потенциальных участников Олимпиады школьников «Первые шаги в энергетике» по предмету физика. На примерах продемонстрированы некоторые принципы, которыми полезно руководствоваться при решении олимпиадных задач.

Подготовлено в методической комиссии Олимпиады школьников «Первые  
шаги в энергетике» по предмету физика.

© Олимпиада школьников «Первые шаги в энергетике», 2022.

Олимпиадные задачи, как правило, не требуют знания такого материала, который не предусмотрен в школьной программе по физике, однако требуют знаний дополнительных разделов. Также для их решения в первую очередь необходимо уметь строить физические модели, глубоко понимать физические законы, самостоятельно применять их в различных ситуациях, а также безупречно владеть математическим аппаратом.

Рассмотрим примеры решения задач по основным разделам.

## Механика

1. Кольцевая цепочка массы  $m$  надета на горизонтальный диск радиуса  $R$ . Сила натяжения надетой цепочки  $T$ . Найдите коэффициент трения между диском и цепочкой, если при вращении диска с угловой скоростью  $\omega$  цепочка с него соскальзывает.

Решение:

Рассмотрим малый элемент цепочки массой

$$dm = \frac{m}{2\pi} d\alpha$$

Покажем действующие на него силы (рис. 1).

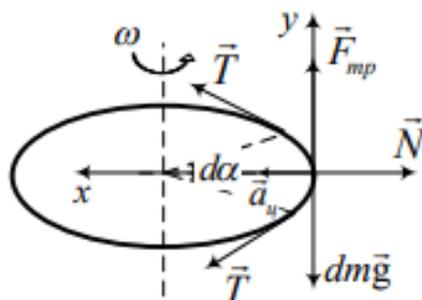


Рис.1

Сила трения покоя компенсирует силу тяжести и не дает упасть, пока не достигнет максимального значения, равного силе трения скольжения  $dm \cdot g = \mu N$ .

Центростремительное ускорение

$$a_{ц} = \omega^2 \cdot R$$

элементу  $dm$  сообщает равнодействующая сил натяжения  $2T \sin \frac{d\alpha}{2}$  и силы реакции  $N$ .

Запишем условие соскальзывания цепочки:

$$dm \cdot \omega^2 R = 2T \sin \frac{d\alpha}{2} - N.$$

Учитывая, что угол  $d\alpha$  мал, можно считать  $\sin \frac{d\alpha}{2} \approx \frac{d\alpha}{2}$ .

После замены

$$dm = \frac{m}{2\pi} \cdot d\alpha$$

$$N = \frac{dm \cdot g}{\mu} = \frac{mg d\alpha}{2\pi\mu}$$

Получим

$$\frac{md\alpha}{2\pi} \cdot \omega^2 \cdot R = T d\alpha - \frac{md\alpha \cdot g}{2\pi\mu}$$

Откуда выражение для искомого коэффициента трения

$$\mu = \frac{mg}{2\pi T - m\omega^2 \cdot R}$$

Ответ:  $\mu = \frac{mg}{2\pi T - m\omega^2 \cdot R}$

2. Частица движется вдоль положительной полуоси  $Ox$  под действием силы  $F$ , проекция которой на эту ось представлена на рис. 2. Одновременно на частицу действует сила трения. В начале координат установлена идеально отражающая стенка, перпендикулярная оси  $Ox$ . Частица стартует из точки  $x_0 = 2$  м с кинетической энергией  $E=30$  Дж. Частица до полной остановки проходит путь  $S=50$  м. Найдите величину силы трения, действующей на частицу. После первого удара о стенку действие силы  $F$  прекращается.

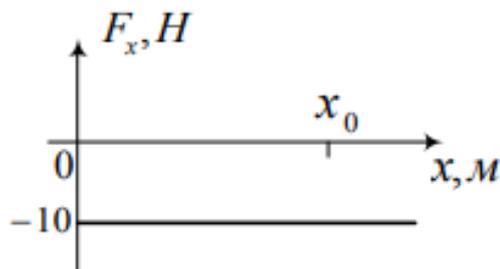


Рис.2

### Решение

Так как проекция силы  $F_x$  отрицательна, то при движении тела вдоль оси  $Ox$  сила  $F$  вместе с силой трения совершает отрицательную работу и приводит к остановке частицы в некоторой точке  $x$ . После чего приводит тело к движению против оси  $Ox$  и действует до столкновения со стенкой. После отскока на частицу уже действует только сила трения (рис. 3).

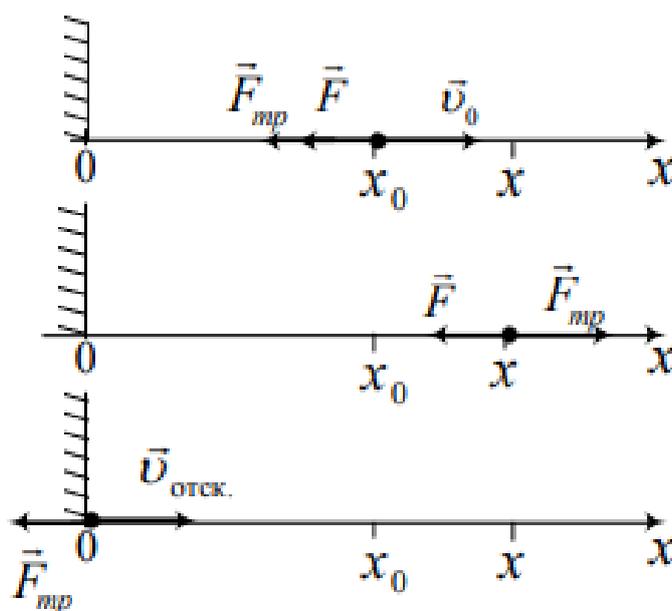


Рис.3

Работа всех сил равна сумме работ силы трения и силы  $F$ , действующей на тело  $A=A_{тр}+A_F$ . Работа силы трения на всем пути отрицательна и равна

$$A_F = -F_{тр} S.$$

Полная работа этой сил  $F$  равна

$$A_F = -F(x-x_0) + F(x-x_0) + Fx_0 = Fx_0.$$

Работа всех сил, согласно теореме о кинетической энергии, равна изменению кинетической энергии тела  $A=\Delta E$ . Так как тело в конце остановилось, то изменение энергии равно  $\Delta E = -E$ .

Таким образом,

$$A = Fx_0 - F_{тр}S = -E.$$

Откуда

$$F_{\text{тр}} = \frac{F_{x0} + E}{S} = 1\text{Н}$$

Ответ: 1Н

## МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА И ТЕРМОДИНАМИКА

1. Найдите массу воздуха, находящегося между двойными рамами окна. Считайте, что температура воздуха там меняется по линейному закону от наружной  $T_{\text{н}}$  до внутренней  $T_{\text{вн}}$ , а давление всюду одно и то же и равно наружному  $p_0$ . Толщина воздушной прослойки  $L$ , площадь рамы  $S$ .

Решение

Температура в тонком сечении воздушной прослойки толщиной  $dx$ , находящейся на расстоянии  $x$  от наружного стекла:

$$T_x = T_{\text{н}} + \frac{T_{\text{вн}} - T_{\text{н}}}{L} x$$

Запишем уравнение состояния идеального газа для малого объема воздуха

$$dV = Sdx$$

заклученного в рассматриваемой воздушной прослойке,

$$p_0 S dx = \frac{dm}{M} RT_x$$

Откуда  $dm = \frac{MSdx}{RT_x}$ .

Теперь массу воздуха, находящегося между двойными рамами окна найдем путем интегрирования:

$$m = \int dm = \int_0^L \frac{MSdx}{RT_x} = \int_0^L \frac{MSdx}{R(T_{\text{н}} + \frac{T_{\text{вн}} - T_{\text{н}}}{L} x)} = \frac{Mp_0SL}{R(T_{\text{вн}} - T_{\text{н}})} \ln \frac{T_{\text{вн}}}{T_{\text{н}}}$$

Ответ:  $m = \frac{Mp_0SL}{R(T_{\text{вн}} - T_{\text{н}})} \ln \frac{T_{\text{вн}}}{T_{\text{н}}}$

2. Воздушный шар наполняется горячим воздухом при нормальном атмосферном давлении. Абсолютная температура  $T$  горячего воздуха в 2 раза больше температуры  $T_0$  окружающего воздуха. При каком отношении массы оболочки к массе наполняющего ее газа шар начнет подниматься? Оболочка шара нерастяжима и имеет в нижней части небольшое отверстие.

Условие воздухоплавания .

$$F_A \geq Mg + mg$$

Подставляя выражения для выталкивающей силы, получим

$$\begin{aligned}\rho_0 gV &\geq (M + m)g \\ \rho_0 V &\geq (M + m)\end{aligned}$$

где  $\rho_0$  – плотность окружающего воздуха.

Уравнение состояния идеального газа

$$pV = \frac{m}{M}RT$$

Получим выражение для плотности окружающего воздуха

$$\rho_0 = \frac{M_{\text{возд}}p}{RT_0}$$

а также массы газа внутри шара

$$m = \frac{M_{\text{возд}}pV}{RT}$$

$$\frac{M_{\text{возд}}pV}{RT_0} = M + \frac{M_{\text{возд}}pV}{RT}$$

Откуда масса оболочки равна

$$M = \frac{M_{\text{возд}}pV}{R} \left( \frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right) = \frac{M_{\text{возд}}pV}{2RT_0}$$

Чтобы шар начал подниматься, отношение массы оболочки к массе наполняющего ее газа должно быть равным

$$\frac{M}{m} = \frac{M_{\text{возд}} pV}{2RT_0} : \frac{M_{\text{возд}} pV}{RT} = \frac{T}{2T_0} = 1$$

Ответ: 1.

### ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ

1. Есть «черный ящик» с двумя парами выводов. Если на первую пару выводов подать напряжение 10 В, то вольтметр, подключенный к другой паре, показывает 5 В. Если на другую пару выводов подать напряжение 10 В, то вольтметр, подключенный к первой паре, покажет напряжение 10 В. Начертите схему, собранную в «черном ящике» (источников тока в «ящике» нет).

Решение

Условию задачи соответствует простая цепь, собранная по схеме на рис. 4. Она состоит из двух резисторов.

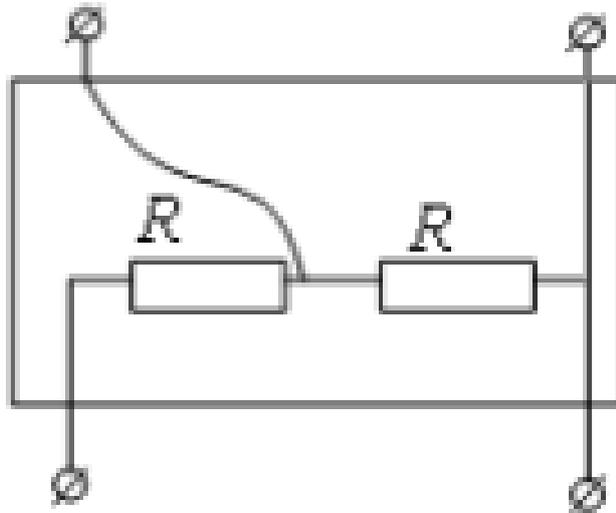


Рис. 4

2. На рис.5 изображена электрическая цепь, состоящая из шести одинаковых звеньев. Все резисторы в цепи В первое и последнее звенья цепи включены амперметры А и одинаковы и имеют сопротивление  $R = 1 \text{ Ом}$ .

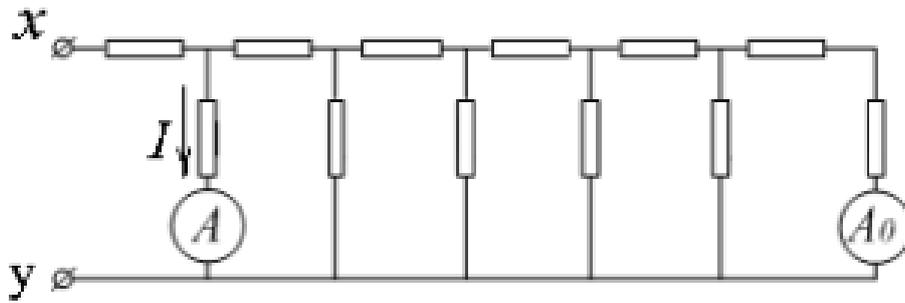


Рис. 5

На входные клеммы  $x$  и  $y$  цепи подано постоянное напряжение  $U_{xy}$ , при этом амперметр  $A$  показывает ток  $I = 89A$ . Какой ток показывает амперметр  $A_0$ ? Определите напряжение  $U_{xy}$ , поданное на входные клеммы цепи.

Решение:

Обозначим силу тока через амперметр  $A_0$  как  $I_0$ . Покажем на схеме распределение токов (рис. 6), учитывая законы последовательного и параллельного соединения.

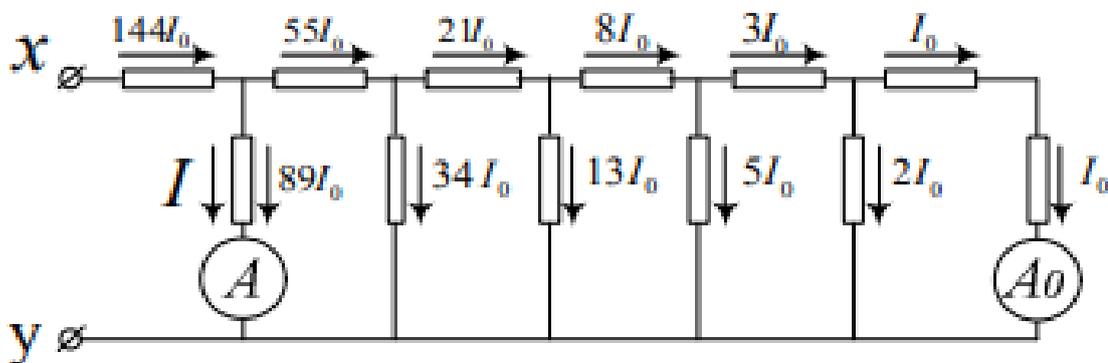


Рис. 6

Видим, что  $I = 89 I_0$ , значит  $I_0 = 0,1A$ . Напряжение  $U_{xy}$ , поданное на входные клеммы цепи, найдем по закону Ома:

$$U_{xy} = I_{xy}R_{xy} = (144 + 89)I_0R = 23,3B.$$

Ответ: 0,1 А и 23,3 В.

3. Две студентки, Алиса и Василиса, решили изготовить самодельные вольтметры из миллиамперметров. Алиса соединила миллиамперметр

последовательно с резистором сопротивлением  $R_1 = 1$  кОм и приклеила на прибор шкалу напряжений, показывающую произведение текущего через миллиамперметр тока на  $R_1$ . Василиса собрала ту же схему, используя другой резистор, с сопротивлением  $R_2 = 2$  кОм и приклеила шкалу напряжений, показывающую произведение  $I_2 R$ . Студентки решили испытать свои приборы, подключив их к схеме, показанной на рис. 7, с неизвестным напряжением батарейки и неизвестными сопротивлениями резисторов.

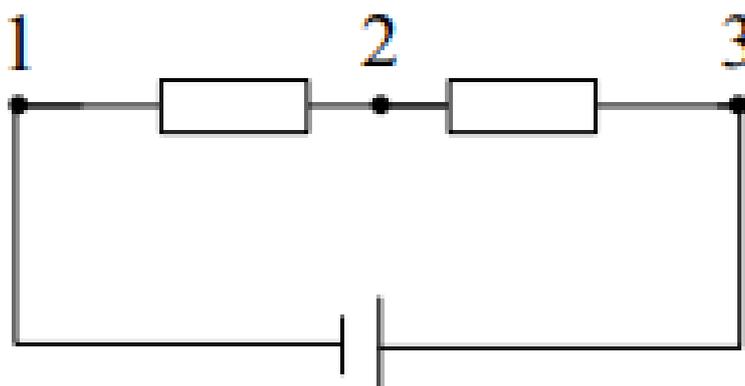


Рис. 7

Прибор Алисы при подключении к контактам 1 и 2 показал напряжение  $U_{12} = 18$  В, к контактам 2 и 3 - напряжение  $U_{23} = 18$  В, к контактам 1 и 3 - напряжение  $U_{13} = 45$  В. Что покажет прибор Василисы при подключении к тем же парам контактов? Внутренним сопротивлением батарейки и миллиамперметров пренебречь.

Решение

При подключении приборов к контактам 1 и 3 и первый, и второй прибор покажут одинаковое напряжение, равное напряжению батарейки (сопротивлением батарейки по условию задачи можно пренебречь). Таким образом,

$$U'_{13} = U_{13} = 45 \text{ В}.$$

Подключение прибора Алисы к контактам 1 и 2 показано на рис. 8. Так как, показания прибора Алисы в случаях подключения к контактам 1 и 2 и к контактам 2 и 3 одинаковы, можно сделать вывод, что неизвестные сопротивления равны  $R_{x1} = R_{x2} = R_x$ .

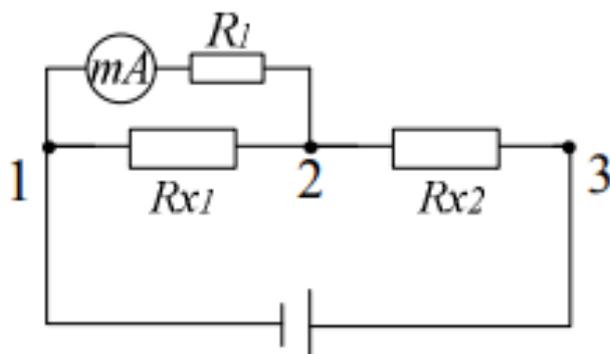


Рис. 8

Учитывая, что через участки 1-2 и 2-3 течет один и тот же ток, можно составить пропорцию:

$$\frac{U_{x2}}{U_{12}} = \frac{R_{x2}}{R_{12}} = \frac{R_x(R_1 + R_x)}{R_1 R_x} = 1 + \frac{R_x}{R_1}$$

где  $U_{x2} = U_{13} - U_{12} = 2,7$  В.

Тогда неизвестное сопротивление составит

$$R_x = \left( \frac{U_{x2}}{U_{12}} - 1 \right) R_1 = 500 \text{ Ом}$$

При подключении прибора Василисы к контактам 1 и 2, рассуждая аналогично, можно получить соотношение

$$1 + \frac{R_x}{R_1} = 2,25$$

Тогда  $U''_{12} = 2$  В. При подключении к контактам 2 и 3 показания будут также равны 2 В.

Ответ: 2 В, 2 В, 4,5 В.

## Литература

1. Трофимова, Т. И. Курс физики: учеб. пособие для вузов / Т. И. Трофимова. – М.: Академия, 2018. – 560 с.
2. Трофимова, Т. И. Курс физики: учеб. пособие для вузов / Т. И. Трофимова. – М.: Академия, 2018. – 560 с.
3. Варламов, С. Д. Задачи Московских городских олимпиад по физике. 1986-2005: учеб. издание / С. Д. Варламов [и др.] ; под ред. М. В. Семёнова. – М.: МЦНМО, 2007. – 624 с.
4. Воробьёв, И. И. Задачи по физике : учеб. пособие / И. И. Воробьёв [и др.]; под ред. О. Я. Савченко. - 4-е изд. – СПб.: Издательство «Лань», 2001.– 368 с.
5. Кабардин, О. Ф. Международные физические олимпиады школьников / О. Ф. Кабардин, В. А. Орлов; под ред. В. Г. Разумовского. – М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1985. – 160 с