

Школьный этап Всероссийской олимпиады школьников по физике

2012/13 учебный год

11 класс

Типовой вариант

1. («Вагончик тронется, перрон останется ...») Представьте себе, что выбежав на железнодорожную платформу, Вы увидели, что мимо Вас как раз проезжает начало 9-го вагона Вашего поезда. Уже спустя время $t_1 = 3$ с мимо Вас проехало начало следующего вагона, а спустя время $t_2 = 18$ с после Вашего появления на платформе мимо Вас проехал хвост всего состава. Считая, что от самого начала движения и до последнего момента поезд двигался равноускоренно, определите время Вашего опоздания (то есть время от начала движения поезда до момента Вашего появления на платформе). В поезде 16 вагонов.

Решение

Обозначим длину одного вагона через L , ускорение поезда – через a , а искомое время опоздания – через t . Тогда $9L = \frac{a(t+t_1)^2}{2}$, $16L = \frac{a(t+t_2)^2}{2}$. Разделив эти соотношения одно на другое, получим:

$$\frac{16}{9} = \frac{(t+t_2)^2}{(t+t_1)^2} \Rightarrow 3(t+t_2) = 4(t+t_1).$$

Решая это уравнение относительно t , находим:

$$t = 3t_2 - 4t_1 = 42 \text{ с.}$$

Ответ: $t = 3t_2 - 4t_1 = 42$ с.

2. («Где-то далеко ...») В августе 2011 года на небосклоне была обнаружена Сверхновая – очень ярко вспыхнувшая звезда, расположенная достаточно близко от Земли, на расстоянии $L \approx 2 \cdot 10^{20}$ км (примерно 21 миллион световых лет). Телескоп с диаметром входного отверстия трубы $d = 2$ м принимал от Сверхновой сигнал мощностью $P = 0,8$ мкВт. Пренебрегая всеми возможными потерями, оцените, во сколько раз мощность излучения Сверхновой превосходит среднюю мощность, вырабатываемую Красноярской ГЭС $P_1 \approx 6000$ МВт.

Решение

Так как энергия излучения Сверхновой распределяется по площади сферы $S = 4\pi L^2$, а доля энергии, попадающей во входное отверстие телескопа, пропорциональна его площади $s = \frac{\pi d^2}{4}$,

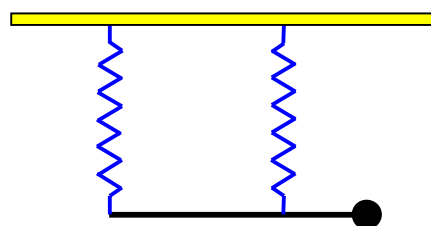
то $\frac{P_0}{P} = \frac{S}{s} = 16 \left(\frac{L}{d} \right)^2$. Поэтому мощность излучения Сверхновой

$$P_0 = 16 \left(\frac{L}{d} \right)^2 P \approx 3,7 \cdot 10^{41} \text{ Вт.}$$

Таким образом, $\frac{P_0}{P_1} = 16 \left(\frac{L}{d} \right)^2 \frac{16P}{P_1} \approx 6 \cdot 10^{31}$.

Ответ: примерно в $6 \cdot 10^{31}$ (шестьдесят тысяч миллиардов миллиардов миллиардов) раз.

3. («Сожмется-разожмется ...») Однородный тонкий стержень подвешен на двух одинаковых очень жестких пружинах, одна из которых прикреплена к его левому концу, а другая – к точке, находящейся на расстоянии трети длины стержня от его правого конца (см. рисунок). К правому концу стержня прикрепили маленький груз, масса которого в два раза больше массы стержня. Система находится в равновесии, причем оси обеих пружин при этом вертикальны. Во сколько раз отличаются величины деформаций пружин?



Решение

Будем считать, что деформации пружин малы, и к ним применим закон Гука. Тогда, поскольку пружины одинаковы, то отношение величин деформаций равно отношению величин сил упругости: $\frac{|\Delta L_2|}{|\Delta L_1|} = \frac{F_2}{F_1}$. Поскольку все силы, действующие на стержень: силы упругости пружин, сила тяжести стержня и вес груза – направлены вертикально, то условие равновесия сил в проекции на ось, направленную вертикально вверх, имеет вид (здесь m – масса стержня):

$$F_1 + F_2 = 3mg.$$

Теперь запишем правило моментов относительно центра масс стержня (L – длина стержня):

$$2mg \frac{L}{2} + F_1 \frac{L}{2} - F_2 \frac{L}{6} = 0 \Rightarrow F_2 - 3F_1 = 6mg.$$

Решая полученную систему относительно сил натяжения, находим: $F_1 = -\frac{3}{4}mg$, $F_2 = \frac{15}{4}mg$.

Как видно, первая пружина сжата (ее сила упругости направлена вниз), а вторая растянута, причем $\frac{|\Delta L_2|}{|\Delta L_1|} = 5$.

Ответ: $\frac{|\Delta L_2|}{|\Delta L_1|} = 5$.

4. («То в жар, то в холод ...») Одному молю гелия сообщили количество теплоты $Q_1 = 800$ Дж в процессе, при котором его теплоемкость была равна $C_1 = 2R$ (здесь $R \approx 8,31$ Дж/(моль·К) – универсальная газовая постоянная). Затем у него отняли количество теплоты $Q_2 = 400$ Дж в процессе, при котором его теплоемкость была равна $C_2 = \frac{3}{2}R$. Найдите суммарную работу гелия в обоих процессах.

Решение

Сразу заметим, что второй процесс – изохорический (гелий – одноатомный газ, и $C_2 = \frac{3}{2}R$ – в точности его теплоемкость при постоянном объеме), поэтому в этом процессе гелий работу не совершает. Таким образом, с учетом первого начала термодинамики, $A = A_1 = Q_1 - \Delta U_1$. Заметим, что $Q_1 = C_1 \cdot \Delta T = 2R \cdot \Delta T$, $\Delta U_1 = \frac{3}{2}R \cdot \Delta T$. Из этих соотношений находим:

$$\Delta U_1 = \frac{3}{4}Q_1 \Rightarrow A = \frac{Q_1}{4} = 200 \text{ Дж.}$$

Ответ: $A = \frac{Q_1}{4} = 200$ Дж.

5. («Клад – это то, что зарыто ...») Однажды некий любознательный школьник обнаружил два торчащих из земли конца изолированного медного провода с поперечным сечением $S = 0,34$ мм². Он предположил, что это концы одного закопанного провода. У школьника с собой были: батарейка с неизвестными характеристиками, резистор с сопротивлением $R = 100$ Ом и хороший амперметр. Произведя измерения, школьник обнаружил следующее:

- если подключить амперметр к полюсам батареи, он показывает величину силы тока $I_0 = 0,60$ А;
- если подключить к батарее последовательно амперметр и резистор, то показания амперметра $I_1 = 0,10$ А;
- если подключить к батарее последовательно амперметр и закопанный провод, то показания амперметра $I_2 = 0,24$ А;

Чему равна длина закопанного провода? Удельное сопротивление меди $\rho \approx 0,017$ Ом·мм²/м.

Решение

Из закона Ома для полной цепи легко получить, что:

$$I_0 = \frac{E}{r}, \quad I_1 = \frac{E}{r+R}, \quad I_2 = \frac{E}{r+R_{\text{пр}}},$$

где E – ЭДС батареи, а r – сумма внутренних сопротивлений батареи и амперметра (поскольку амперметр назван в условии «хорошим», участник имеет моральное право считать эту величину просто внутренним сопротивлением батареи), а $R_{\text{пр}}$ – сопротивление закопанного провода. Из этих соотношений находим:

$$\frac{I_0}{I_1} = 1 + \frac{R}{r} \Rightarrow r = R \frac{I_1}{I_0 - I_1}$$

и

$$\frac{I_0}{I_2} = 1 + \frac{R_{\text{пр}}}{r} \Rightarrow R_{\text{пр}} = r \frac{I_0 - I_2}{I_2} = R \frac{I_1(I_0 - I_2)}{I_2(I_0 - I_1)}.$$

Поскольку $R_{\text{пр}} = \rho \frac{l}{S}$, то длина закопанного провода

$$l = \frac{S}{\rho} R_{\text{пр}} = \frac{SR}{\rho} \frac{I_1(I_0 - I_2)}{I_2(I_0 - I_1)} \approx 600 \text{ м.}$$

Ответ: $l = \frac{SR}{\rho} \frac{I_1(I_0 - I_2)}{I_2(I_0 - I_1)} \approx 600 \text{ м.}$