

**МУНИЦИПАЛЬНЫЙ ЭТАП ВСЕРОССИЙСКОЙ ОЛИМПИАДЫ
ШКОЛЬНИКОВ ПО ФИЗИКЕ
2019/2020 УЧЕБНЫЙ ГОД
11 класс (решения)**

1. (10 баллов) Исследователь в лаборатории держится за провод, подсоединённый к электрометру (электроскопу) стрелка которого находится около нуля в неподвижном состоянии. Исследователь подпрыгивает. При этом стрелка электрометра отклоняется и возвращается назад после приземления. Объясните наблюдаемое явление. Отклонение стрелки от механического сотрясения пола и электрометра в опыте исключено.

Решение. На поверхности соприкосновения подошв и пола имеется небольшая контактная разность потенциалов и соответственно заряды противоположного знака. Заряд возникает из-за электризации при ходьбе. Заряд небольшой и соответственно небольшая разность потенциалов, которую электрометр не фиксирует. Система подошвы – пол можно рассматривать как воздушный конденсатор. При подпрыгивании расстояние резко возрастает и в соответствии с формулой ёмкости плоского конденсатора уменьшается ёмкость системы подошвы – пол и соответственно увеличивается разность потенциалов между обкладками, что и фиксирует электрометр. При приземлении всё приходит в начальное состояние.

2. (10 баллов) Грузик массой $m = 0,1$ кг, подвешенный на пружине, совершает вертикальные гармонические колебания. Расстояние между двумя крайними положениями грузика $S = 16$ см. Минимальное время, за которое грузик проходит это расстояние, равно $\tau = 0,2$ с. Найдите потенциальную энергию пружины в момент её максимального растяжения. Считать потенциальную энергию недеформированной пружины равной нулю. Ускорение свободного падения принять равным $g = 10$ м/с².

Решение. Прежде всего, отметим, что момент максимального растяжения пружины соответствует нижнему положению груза в процессе его вертикальных колебаний. В этот момент пружина растянута на величину $\Delta x = x_0 + A$, где A – амплитуда колебаний грузика. Здесь учтено важное обстоятельство, что в положении равновесия системы пружина уже растянута.

Величина этого растяжения x_0 соответствует равенству сил тяжести и упругости: $0 = mg - kx_0$.

Потенциальная энергия пружины в интересующий нас момент равна

$$E_n = \frac{k\Delta x^2}{2}.$$

Чтобы найти эту величину, необходимо, таким образом, найти параметры A и k . Амплитуда колебаний A , очевидно равна половине расстояния S между двумя крайними положениями грузика:

$$A = \frac{S}{2}.$$

Жёсткость пружины связана с периодом колебаний грузика T соотношением:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}.$$

В свою очередь период колебаний равен удвоенному времени движения грузика между двумя крайними положениями:

$$T = 2\tau.$$

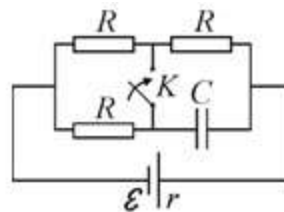
Решая записанную систему уравнений, получим:

$$E_n = \frac{m(2g\tau^2 + \pi^2 S)^2}{8\pi^2\tau^2} \approx 0,2 \text{ Дж.}$$

Ответ. 0,2 Дж.

3. (10 баллов) В цепи, схема которой изображена на рисунке, конденсатора после замыкания ключа K ?

сопротивления резисторов одинаковы и равны $R = 4$ Ом, внутреннее сопротивление источника $r = 2$ Ом. Во сколько раз n изменится энергия электрического поля

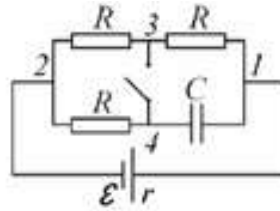


Решение. Энергия электрического поля конденсатора равна

$$W_{1,2} = \frac{CU_{1,2}^2}{2},$$

где U – разность потенциалов между обкладками конденсатора ёмкостью C , а индексы 1 и 2 соответствуют исходному и замкнутому состоянию ключа K . Разность потенциалов U проще всего найти, если учесть, что она равна падению напряжения на параллельном с конденсатором однородном участке цепи, по которому протекает постоянный ток (используя закон Ома для однородного участка цепи).

При разомкнутом ключе (см. рисунок) – это участок 1–3–2, имеющий сопротивление $2R$.



По нижней ветви 1–4–2, включающей конденсатор, ток не течёт. Поэтому сила тока, протекающего по участку 1–3–2, определяется законом Ома для полной цепи:

$$I_1 = \frac{\varepsilon}{2R + r},$$

а интересующая нас разность потенциалов равна:

$$U_1 = I_1 \cdot 2R = \frac{\varepsilon}{2R + r} 2R.$$

После замыкания ключа полное сопротивление внешней цепи становится равным $1,5R$. Параллельно конденсатору теперь подключен участок 3–1 с сопротивлением R . Сила тока и разность потенциалов на этом участке равны, соответственно:

$$I_2 = \frac{\varepsilon}{1,5R + r}, \quad U_2 = I_2 \cdot R = \frac{\varepsilon}{1,5R + r} R.$$

Подставляя найденные значения разностей потенциалов в выражение для энергии конденсатора и беря отношение соответствующих величин, получаем:

$$n = \frac{W_2}{W_1} = \left(\frac{U_2}{U_1} \right)^2 = \left(\frac{2R + r}{3R + 2r} \right)^2 \approx 0,4.$$

Ответ. В 0,4 раза.

4. (10 баллов) Сферическая планета радиусом R , состоящая из однородного вещества плотностью ρ , имеет атмосферу, основная часть которой сосредоточена вблизи поверхности планеты. Атмосферное давление на поверхности планеты равно p_0 . Пренебрегая вращением планеты вокруг её оси, найдите массу её атмосферы. Гравитационная постоянная G .

Решение. Мысленно выделим на поверхности планеты небольшую площадку площадью ΔS . Так как основная часть атмосферы сосредоточена вблизи поверхности планеты (по условию атмосфера тонкая), то атмосферное давление равно $p_0 = \frac{\Delta m g}{\Delta S}$, где Δm – масса столба атмосферного газа,

находящегося над выделенной площадкой, g – ускорение свободного падения на поверхности планеты. Следовательно, полная масса атмосферы m пропорциональна площади S поверхности планеты, то есть

$$m = \frac{Sp_0}{g} = \frac{4\pi R^2 p_0}{g}.$$

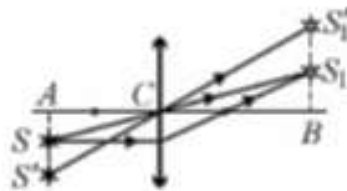
Учитывая, что $g = \frac{GM}{R^2}$, где $M = \frac{4}{3}\pi R^3 \rho$ – масса планеты, получаем:

$$m = \frac{3p_0 R}{\rho G}.$$

Ответ. $m = \frac{3p_0 R}{\rho G}$.

5. (10 баллов) Действительное изображение точечного источника в тонкой собирающей линзе движется по плоскому экрану, перпендикулярному её главной оптической оси и расположенному на расстоянии b от линзы. Вектор скорости изображения лежит в плоскости, проходящей через главную оптическую ось линзы. Модуль скорости изображения v . Найдите модуль V скорости источника, если фокусное расстояние линзы равно F .

Решение. Пусть в момент времени t источник находится в точке S , а его изображение – в точке S_1 (см. рисунок).



За время Δt источник и изображение переместятся и в момент времени $t + \Delta t$ займут положения S' и S_1' , соответственно, причём $S'S = V\Delta t$, а $S_1'S_1 = v\Delta t$.

Так как ΔASC подобен ΔS_1BC , а $\Delta S'SC$ подобен $\Delta S_1'S_1C$, справедливо равенство $\frac{S'S}{S_1'S_1} = \frac{AC}{BC}$. В соответствии с формулой линзы

$$\frac{1}{AC} + \frac{1}{BC} = \frac{1}{F},$$

где $BC = b$. Отсюда следует, что

$$\frac{AC}{BC} = \frac{F}{b - F}.$$

Объединяя записанные выражения, получаем: $V = \frac{Fv}{b - F}$.

Ответ. $V = \frac{Fv}{b - F}$.

Максимальное количество баллов – 50.