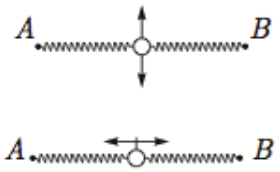
Всероссийская олимпиада школьников по физике

11 класс, заключительный этап, 2013/14 год



Задача 1. Тонкую невесомую пружину, растянутую на некоторую величину Δl_1, закрепили на гладком горизонтальном столе в точках A и B. Отношение периодов малых поперечных (верхний рисунок) и продольных (нижний рисунок) колебаний небольшого грузика, расположенного посередине пружины, равно $n_1 = 4$. После того как деформацию пружины увеличили на $\Delta x = 3{,}5$ см, отношение периодов стало равно $n_2 = 3$. Найдите длину нерастянутой пружины l_0, а также значение деформации Δl_1 в первом и деформации Δl_2 во втором случаях. Считайте, что пружина в условиях опыта подчиняется закону Гука.

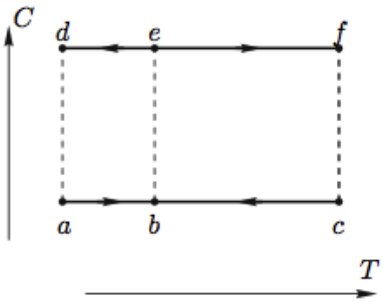
$l_0 = \frac{(n_1^2-1)(n_2^2-1)}{n_1^2-n_2^2}\Delta x = 60$ см; $\Delta l_1 = \frac{n_2^2-1}{n_1^2-n_2^2}\Delta x = 4$ см; $\Delta l_2 = \frac{n_1^2-1}{n_1^2-n_2^2}\Delta x = 7{,}5$ см

Задача 2. Температура плавления массивного образца олова $t_0 = 232\,^\circ$C. Температура плавления мельчайших оловянных шариков диаметром $d = 20$ нм оказывается на 25 градусов ниже и равна $t_d = 207\,^\circ$C. Это так называемый размерный эффект, причём экспериментально установлено, что температура плавления зависит не только от размеров, но и от формы образца. При какой температуре будет плавиться оловянная фольга толщиной $h = d$?

Считайте, что атомы олова в приповерхностном слое толщиной в 2–3 межатомных расстояния обладают некоторой избыточной энергией по сравнению с энергией атомов в объёме, а теплота плавления λ в пересчёте на один атом пропорциональна средней энергии связи U атомов в веществе и абсолютной температуре T фазового перехода (плавления): $\lambda \sim U \sim T$.

Молярная масса олова $\mu = 119$ г/моль. Плотность олова $\rho = 7{,}31$ г/см^3.

223,7 °C



Задача 3. В архиве лорда Кельвина нашли график циклического процесса, произведённого над неизвестным количеством ν азота. В координатах (C, T), где C — теплоёмкость газа, а T — температура, график цикла представляет собой четыре отрезка $abefcbeda$ (см. рисунок). К сожалению, положение начала координат оказалось утраченным. Пояснительные записи указывали, что $C_d = 1{,}000$ Дж/К, $C_a = 0{,}715$ Дж/К, а также что

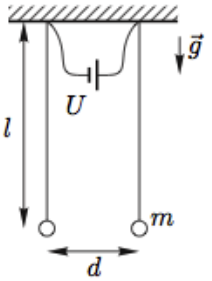
$$T_c - T_b = 2(T_b - T_a) = 200 \text{ К} \quad \text{и} \quad \frac{p_c}{p_a} = \frac{V_c}{V_a}.$$

1) Найдите работу газа A за цикл и КПД цикла η.
2) Определите значения температур T_a, T_b и T_c.
3) Нарисуйте график цикла в координатах (p, V) и определите количество вещества ν.

Примечание. Процесс с постоянной теплоёмкостью C называется политропным и для него справедливо соотношение $pV^n = \text{const}$, где n — постоянная (показатель политропы).

1) $A = 28{,}5$ Дж, $\eta = 0{,}105$; 2) $T_a = 100$ К, $T_b = 200$ К, $T_c = 400$ К; 3) см. конец листка

Задача 4. К горизонтальному непроводящему потолку на тонких металлических проволоках длиной $l = 1$ м на расстоянии $d = 10$ см друг от друга подвешены два одинаковых стальных шарика радиусом $r = 5$ мм и массой $m = 4$ г (см. рисунок). В начальный момент шарики не заряжены и покоятся. Ускорение свободного падения $g = 9{,}8$ м/с^2. Электрическая постоянная $\varepsilon_0 = 8{,}85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м.



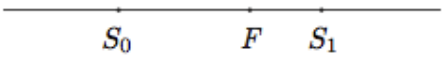
1) Определите период T малых свободных колебаний шариков.

2) К точкам крепления проволок подключают источник напряжения U с большим внутренним сопротивлением $R = 10^{15}$ Ом. При каком значении $U = U_{\min}$ шарики столкнутся через некоторое время?

3) Найдите время τ, через которое разность потенциалов между шариками достигнет значения $U_{\min}$, если $U = U_0 = 1{,}0 \cdot 10^6$ В.

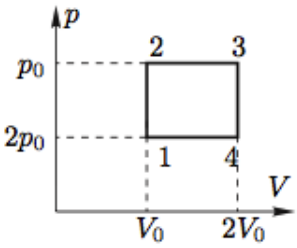
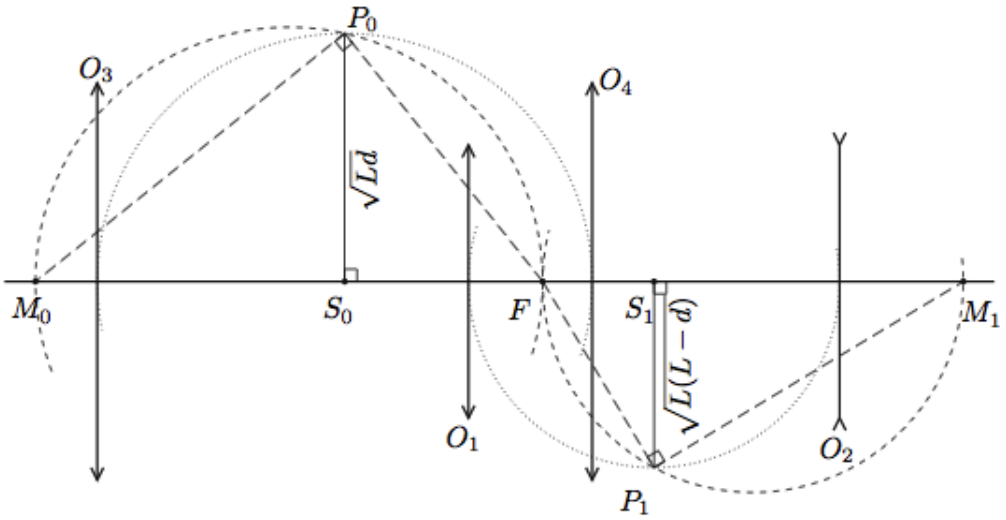
1) $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}} = 2$ с; 2) $U_{\min} = \sqrt{\frac{8km g d^3}{27 l r^2}} = 64{,}6$ кВ; 3) $\tau = \frac{U_{\min} r R}{2kU_0} = 18$ с

Задача 5. В архиве Снеллиуса нашли чертёж оптической схемы, на которой была изображена линза, положение точечного источника света S_0 и его изображения S_1. От времени чернила выцвели, и на схеме осталось видно только положение оптической оси линзы, источника S_0, изображения S_1 и одного из фокусов F (см. рисунок). Построением циркулем и линейкой без делений восстановите возможные положения линзы.



Существуют четыре решения; см. конец листка

Ответ к задаче 3



Ответ к задаче 5