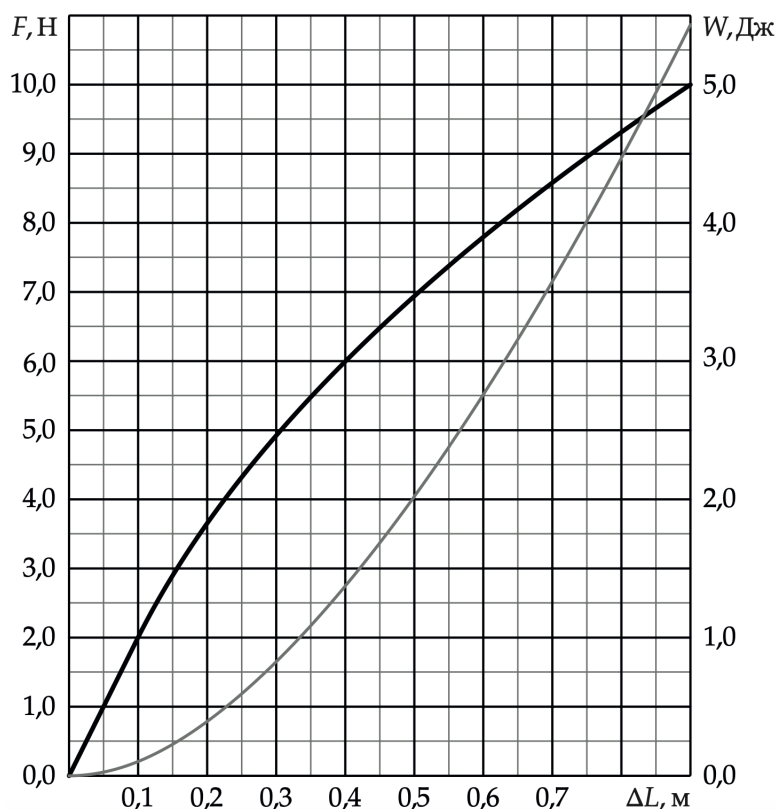


# Московская олимпиада школьников по физике

11 класс, второй тур, 2024 год

**Задача 1. Нелинейный шнур.** Графики зависимостей  $F(\Delta L)$  и  $W(\Delta L)$  упругой силы и энергии деформации нелинейного резинового шнура от его удлинения  $\Delta L$  изображены на рисунке, представленном ниже. Зависимости  $F(\Delta L)$  соответствует чёрная линия увеличенной толщины, при этом значения считываются с левой шкалы. Зависимости  $W(\Delta L)$  соответствует серая линия, значения считываются со шкалы справа.



Пусть один конец шнура закреплён на потолке, а к другому концу присоединён груз массой  $M$ . Сначала шнур имеет форму прямой линии, не провисает, но и не деформирован, груз удерживается внешней силой. В некоторый момент времени груз освобождают. Найдите максимальное удлинение шнура  $\Delta L_{\max}$ , равновесное удлинение  $\Delta L_0$ , устанавливающееся спустя длительное время после начала процесса, когда колебания прекращаются, а также период  $T$  малых колебаний груза на шнуре вблизи положения равновесия для двух значений массы  $M$ .

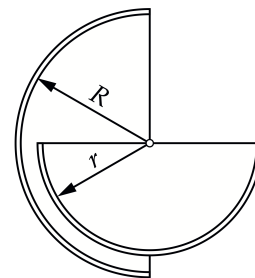
А.  $M = 0,1$  кг;

Б.  $M = 0,6$  кг.

Ускорение свободного падения равно  $10 \text{ м/с}^2$ .

□

**Задача 2. Полусферы.** Имеются две диэлектрические равномерно заряженные полусферы с радиусами  $R$  и  $r$  и зарядами  $Q$  и  $q$  соответственно. Полусферы имеют общий центр и расположены относительно друг друга так, что плоскость, закрывающая одну полусферу, перпендикулярна плоскости, закрывающей другую полусферу (см. рис.). Найдите энергию электростатического взаимодействия полусфер.

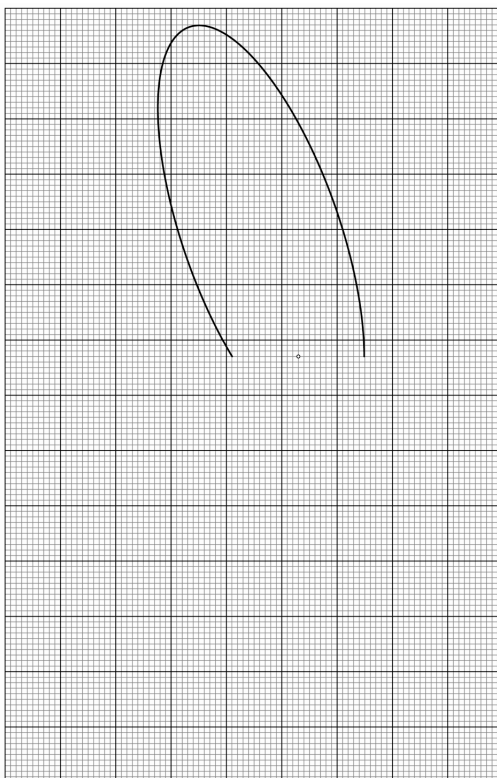


$$\frac{W}{\epsilon_0 Q q} = M$$

**Задача 3. Неоднородное поле.** Между областью пространства, в которой нет магнитного поля, и областью, в которой есть однородное магнитное поле с направлением вектора индукции  $B$  параллельным границе раздела этих областей, имеется «переходный участок» ширины  $L$ , в котором поле линейно нарастает. В этот переходный участок перпендикулярно границе раздела влетел протон со скоростью  $v$ . Максимальная глубина «проникновения» протона туда, где поле есть, как раз равна толщине «переходного участка». «Разворот» протона длился  $\tau_p = 1$  секунду. В точности с такой же скоростью и тоже перпендикулярно границе раздела в эту же область влетел электрон. Сколько времени длился «разворот» электрона? На какую глубину электрон проник в область, где имеется магнитное поле? Масса электрона в 1838 раз меньше массы протона.

$$\frac{\tau_e}{\tau_p} \approx \frac{e \tau_p L \sqrt{1838}}{L} = e \tau_p \approx 0,023 \approx e \frac{e \tau_p L \sqrt{1838}}{L} = e \tau_p$$

**Задача 4. Построение.** На выданном вам дополнительном листе вы видите кривую, которая является действительным увеличенным изображением половины окружности в тонкой линзе, а также точку (точнее говоря, маленький кружок, лежащий на отрезке, стягивающей концы кривой), являющуюся изображением центра этой окружности. Постройте оптический центр линзы. Найдите фокусное расстояние и радиус окружности. Единицей измерения длины считайте длину стороны маленькой клетки на рисунке.



Построения следует делать на выданном вам дополнительном листе. Учтите, что при оценивании вашего решения будет учитываться только конечный результат, поэтому точность построений и вычислений в этой задаче критически важна.

**ЗАДАЧА 5. Сжатие насыщенного.** В теплопроводящем цилиндре под поршнем при температуре окружающей среды  $T_0$  находится один моль насыщенного пара воды. Жидкой воды в сосуде нет. Универсальная газовая постоянная и молярная масса воды равны  $R = 8,3 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К})$  и  $\mu = 18 \text{ г}/\text{моль}$ . Плотность жидкой воды равна  $1 \text{ г}/\text{см}^3$ .

**А.** Пусть объём под поршнем очень медленно уменьшается на 10% при постоянной температуре  $T_0$ . Пренебрегая объёмом образующейся жидкой воды, определите работу внешних сил, действующих на поршень  $A_{\text{ext}}^{(T)}$ , а также изменение внутренней энергии содержимого сосуда  $\Delta U^{(T)}$ . Удельная теплота парообразования воды равна  $L$ . В этой части задачи предполагается ответ в общем виде.

Зависимость давления насыщенного пара от температуры в некотором диапазоне температур даётся в таблицах, представленных ниже. Значения, указанные в этих таблицах можно считать известными во всех следующих частях задачи.

|                             |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-----------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| $t, \text{ }^\circ\text{C}$ | 23   | 24   | 25   | 26   | 27   | 28   | 29   | 30   |
| $p, \text{ кПа}$            | 2,81 | 2,99 | 3,17 | 3,36 | 3,57 | 3,78 | 4,01 | 4,25 |

|                             |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-----------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| $t, \text{ }^\circ\text{C}$ | 31   | 32   | 33   | 34   | 35   | 36   | 37   | 38   |
| $p, \text{ кПа}$            | 4,50 | 4,76 | 5,03 | 5,32 | 5,63 | 5,95 | 6,28 | 6,63 |

**Б.** Определите значение удельной теплоты парообразования  $L$  при температуре  $27 \text{ }^\circ\text{C}$ .

**В.** Пусть состояние моля насыщенного пара воды, взятого при температуре  $27 \text{ }^\circ\text{C}$ , изменяется таким образом, что пар всё время остаётся насыщенным, при этом его объём уменьшается на 10%. Определите работу внешних сил, действующих на поршень  $A_{\text{ext}}^{(\text{нас})}$ , а также изменение внутренней энергии содержимого сосуда  $\Delta U^{(\text{нас})}$  в этом случае.

**Г.** Представим, что объём моля насыщенного пара, взятого при температуре  $27 \text{ }^\circ\text{C}$  уменьшается на 10% адиабатически. Найдите работу внешних сил, действующих на поршень  $A_{\text{ext}}^{(Q)}$ , а также изменение внутренней энергии содержимого сосуда  $\Delta U^{(Q)}$  для этого случая.

*Указание.* На линии насыщения справедливо уравнение Клапейрона-Клаузиуса

$$\frac{dp}{dT} = \frac{L}{T \left( \frac{1}{\rho_{\text{г}}} - \frac{1}{\rho_{\text{ж}}} \right)},$$

где  $dP$  и  $dT$  изменения давления и температуры на линии насыщения,  $L$  — удельная теплота парообразования,  $\rho_{\text{г}}$  и  $\rho_{\text{ж}}$  — плотность газовой фазы и плотность жидкой фазы вблизи линии насыщения при температуре  $T$ .

|   |
|---|
| $A_{\text{ext}}^{(T)} = 0,1 \nu_0 R T; \Delta U^{(T)} = -0,1 \nu_0 (\mu L - RT); B. T = (2,45 \pm 0,10) \cdot 10^6 \text{ Дж/кг};$  |
| $B. \Delta U^{(\text{нас})} = (50,0 \pm 5,0) \text{ Дж}; A_{\text{ext}}^{(\text{нас})} = (278,0 \pm 12,0) \text{ Дж}; C. A_{\text{ext}}^{(Q)} = \Delta U^{(Q)} = (266,0 \pm 12,0) \text{ Дж}$ |