

**Список необходимых физических величин, констант и математических формул.**

Атмосферное давление  $p_0 = 1,01 \cdot 10^5$  Па.

Давление насыщенного водяного пара при температуре  $t_0 = 100^\circ\text{C}$ :  $p_0 = 1,01 \cdot 10^5$  Па.

Давление насыщенного водяного пара при температуре  $t = 103^\circ\text{C}$ :  $p = 1,13 \cdot 10^5$  Па.

Молярная масса воды  $\mu = 18 \cdot 10^{-3}$  кг/моль.

Универсальная газовая постоянная  $R = 8,31$  Дж/(моль  $\cdot$  К).

Теплоемкость воды  $c = 4200$  Дж/(кг  $\cdot$   $^\circ\text{C}$ ).

Удельная теплота испарения воды  $L = 2,26 \cdot 10^6$  Дж/кг.

Ускорение свободного падения  $g = 9,81$  м/с<sup>2</sup>.

Элементарный заряд  $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл.

Масса электрона  $m_e = 9,11 \cdot 10^{-31}$  кг.

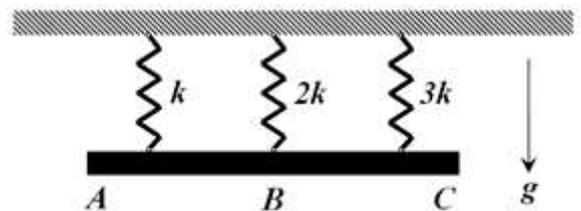
Электрическая постоянная  $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$  Ф/м.

**Задача 1. «Солянка» (10.0 баллов)**

Эта задача состоит из трех независимых частей.

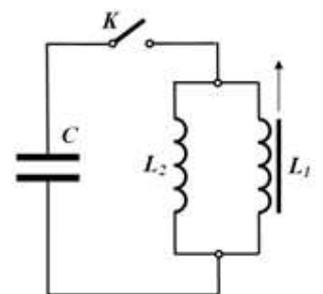
**Часть 1А (3.0 балла)**

Три пружины, которые в недеформированном состоянии имеют одинаковую длину, прикреплены к горизонтальному потолку на одинаковом расстоянии друг от друга. На них подвешивают однородную балку ABC массой  $M$  так, что центр балки B совпадает с центральной пружиной. Жесткости пружин достаточно велики и равны  $k$ ,  $2k$  и  $3k$  соответственно. Найдите силы растяжения каждой пружины. Ускорение свободного падения равно  $g$ .



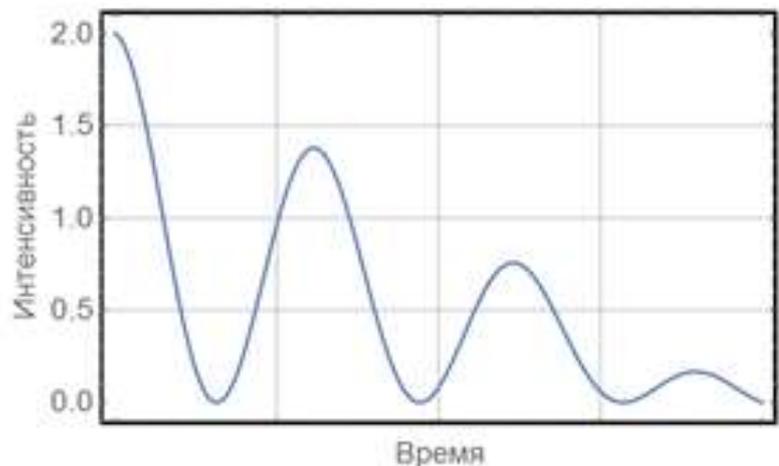
**Часть 1В (3.5 баллов)**

В колебательном контуре конденсатор емкостью  $C$  заряжен до некоторого напряжения (см. рисунок). После замыкания ключа  $K$  в контуре происходят свободные незатухающие колебания, при которых амплитудное значение тока в катушке индуктивностью  $L_2$  равно  $I_{2m}$ . Когда ток в катушке индуктивностью  $L_1$  достигает максимального значения, из нее быстро (за время, малое по сравнению с периодом колебаний) выдвигают сердечник, что приводит к уменьшению ее индуктивности в  $\mu$  раз. Найдите максимальное напряжение на конденсаторах при колебаниях в контуре после выдвигания сердечника.



**Часть 1С (3.5 баллов)**

Радиотелескоп имеет две антенны, расположенные на экваторе на расстоянии  $L = 150$  м вдоль линии восток-запад. В полдень 21 марта, когда Солнце было прямо над головой, был записан его радиосигнал на длине волны  $\lambda = 1,75$  м. Запись производится следующим образом: сигнал, принимаемый каждой антенной, усиливается и передается через кабели одинаковой длины на сумматор, в котором сигналы складываются. На рисунке показана



**Продолжительность тура 5 часов.**

**РЕСПУБЛИКАНСКИЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЦЕНТР «ДАРЫН»**  
**Республиканская олимпиада. Теоретический тур, 11 класс. г. -----, 2017**

зависимость интенсивности результирующего сигнала от времени. Определите интервал времени  $\Delta t$  между двумя соседними максимумами.

**Задача 2. Фазовое равновесие (10.0 баллов)**

В цилиндр с внутренним диаметром  $D = 24$  см вставлен невесомый поршень, под которым в равновесии содержится только вода и пар при температуре  $t_0 = 100^\circ\text{C}$ . В начальный момент времени высота поршня над поверхностью воды составляет  $h_0 = 20$  см, а масса воды —  $m_0 = 8$  г.

**Часть 1.**

В данной части считайте, что температура в цилиндре поддерживается постоянной и равной  $t_0$  с помощью термостата.

**1.1** Найдите начальное давление пара под цилиндром  $p_i$ .  
Поршень вдвигают внутрь цилиндра так, что его высота над уровнем воды составляет  $h = 10$  см.

**1.2** Найдите конечное давление пара под цилиндром  $p_f$ .

**1.3** Найдите молярную теплоемкость  $C_V$  водяного пара при постоянном объеме.

**1.4** Найдите работу  $A$ , которая была совершена над газом, чтобы вдвинуть поршень.

**1.5** Найдите количество теплоты  $Q$ , переданное термостату в этом процессе.

**1.6** Внешнее атмосферное давление возросло на величину  $\Delta p = 10$  кПа. Найдите новую температуру термостата, при которой под поршнем будет находиться водяной пар.



**Часть 2.**

Систему приводят в начальное состояние, но при этом ее адиабатически изолируют от внешней среды, то есть материал стенок цилиндра и поршня больше не проводят тепло. На цилиндр сверху ставят груз массой  $m = 100$  кг.

**2.1** Найдите конечное давление пара под цилиндром  $p_f$ .

**2.2** Найдите конечную температуру пара под цилиндром  $T_f$ .

**2.3** Найдите конечную массу воды под цилиндром  $m_{wf}$ .

**2.4** Найдите конечную высоту поршня  $h$  над уровнем воды.

### **Задача 3. Заряженные частицы в магнитных полях (10.0 баллов)**

**Часть 1.** В природе существует материя и антиматерия, то есть у каждой частицы существует античастица. Например, для электрона античастицей является позитрон, который имеет все характеристики электрона, за исключением электрического заряда, который положителен и равен по абсолютной величине заряду электрона.

**1.1** Атом позитрония состоит из электрона и позитрона, вращающихся по круговым орбитам. Полная энергия позитрония в системе центра масс составляет  $E = -3,6$  эВ. Найдите и рассчитайте угловую частоту вращения частиц  $\omega_0$  и расстояние  $r$  между ними.

**1.2** Атом позитрония помещают в однородное магнитное поле с индукцией  $B = 150$  Тл, направленной перпендикулярно плоскости их орбит. Считая при этом, что момент импульса позитрония остался неизменным, найдите и вычислите относительное изменение угловой частоты вращения частиц  $(\omega - \omega_0)/\omega_0$  в присутствии магнитного поля.

#### **Часть 2.**

Назовем семейством траекторий частицы совокупность всех круговых орбит разного радиуса с совпадающим общим центром и одинаковым моментом импульса относительно него. Истинная траектория частицы называется устойчивой, если при небольшом ее возмущении в пределах семейства, к которому она относится, возникают силы, старающиеся восстановить начальную траекторию. Если восстанавливающая сила равна нулю, то такая траектория называется безразличной по отношению к малым возмущениям, а если суммарная сила старается дальше изменить радиус траектории в семействе, то она называется неустойчивой.

**2.1** Электрон вращается по круговой орбите в однородном магнитном поле. Докажите, является ли устойчивой или неустойчивой круговая орбита электрона.

**2.2** Электрон вращается в магнитном поле по круговой орбите радиуса  $r_0$  и имеет момент импульса  $L$  относительно ее центра. Известно, что индукция магнитного поля вблизи орбиты линейно зависит от расстояния до ее центра, то есть  $B = C_1 r + C_2$ , и что траектория электрона является безразличной по отношению к малым возмущениям. Определите константы  $C_1$  и  $C_2$ .

**2.3** Электрон вращается в магнитном поле по круговой орбите и имеет момент импульса  $L$  так, что любая круговая траектория из семейства траекторий является безразличной по отношению к малым возмущениям. Найдите зависимость индукции магнитного поля от расстояния до центра орбиты  $r$ .

#### **Часть 3.**

Частицу с удельным зарядом  $\gamma$  помещают в вертикальное гравитационное поле с ускорением свободного падения  $g$  и горизонтальное магнитное поле с индукцией  $B$ . В начальный момент времени частица отпускается из состояния покоя, а ее дальнейшая траектория представляет собой периодически повторяющийся участок, называемый циклоидой.

**3.1** Найдите максимальную высоту  $h$ , на которую опускается частица относительно начального положения.

**3.2** Найдите шаг  $s$  циклоиды, то есть расстояние между двумя соседними точками остановки.

#### **Часть 4.**

В вершинах равностороннего треугольника со стороной  $a_0$  удерживаются три одинаковых частицы с зарядом  $q$  и массой  $m$ . Система находится в однородном магнитном поле индукции  $B$ , перпендикулярном плоскости треугольника. Заряды одновременно отпускают.

**4.1** Найдите максимальное расстояние  $r_{max}$  между двумя частицами в процессе движения.

**4.2** Найдите максимальный момент импульса  $L_{max}$  системы в процессе движения.