полную работу:

$$A = A_1 + A_2 + A_3 = \frac{Q(T_1 - T_3)}{T_1} + \frac{(Q_1 - Q)(T_1 - T_2)}{T_1} +$$

$$+ \frac{(Q_2 + (Q_1 - Q)T_2/T_1)(T_2 - T_3)}{T_2} = \frac{Q_1(T_1 - T_2)}{T_1} +$$

$$+ \frac{(Q_2 + Q_1 T_2/T_1)(T_2 - T_3)}{T_2} +$$

$$+ Q\left(\frac{T_1 - T_3}{T_1} - \frac{T_1 - T_2}{T_1} - \frac{T_2}{T_1}\frac{T_2 - T_3}{T_2}\right).$$

Нетрудно увидеть, что множитель при Q в точности равен нулю. Это говорит о том, что необходимая работа вовсе не зависит от того, какие порции тепла мы забираем у конкретных тел. Результат будет во всех случаях одинаковым:

$$A = \frac{Q_1(T_1 - T_2)}{T_1} + \frac{(Q_2 + Q_1 T_2/T_1)(T_2 - T_3)}{T_2} \approx 672 \text{ Дж}.$$

А.Теплов

Ф1635. *Нелинейный двухполюсник имеет вольт-амперную характеристику, которая описывается формулой $U = 10I^2$, где ток измеряется в амперах, а напряжение — в вольтах. Два таких двухполюсника соединены последовательно и подключены к идеальной батарейке с напряжением E = 10 В. Параллельно одному из двухполюсников подключают резистор. При каком сопротивлении этого резистора тепловая мощность, которая на нем выделяется, окажется максимальной?*

Пусть напряжение на резисторе, подключенном параллельно одному из двухполюсников, равно U. Тогда на втором двухполюснике напряжение равно $\mathsf{E} - U$, а через резистор идет ток, равный разности токов двухполюсников:

$$I = \frac{\sqrt{\mathsf{E} - U} - \sqrt{U}}{\sqrt{\alpha}}$$

(вместо конкретного числового значения 10 $\text{В}/\text{А}^2$ мы используем букву α). Мощность, рассеиваемая на резисторе, равна

$$P = UI = \frac{U\left(\sqrt{\mathsf{E} - U} - \sqrt{U}\right)}{\sqrt{\alpha}}.$$

У нас получилась функция одной переменной – напряжения на резисторе, и мы можем обычным способом исследовать эту функцию на максимум. Нужно только учесть, что напряжение на параллельной цепочке обязательно получится меньше половины напряжения батарейки. Возьмем производную по U и приравняем ее к нулю, отбросив ненужный множитель $1/\sqrt{\alpha}$:

$$\sqrt{\mathsf{E} - U} - \frac{U\sqrt{\mathsf{E} - U}}{2} - \frac{3\sqrt{U}}{2} = 0.$$

После несложных преобразований мы получим квадратное уравнение

$$18U^2 - 21\mathsf{E}U + 4\mathsf{E}^2 = 0.$$

Выбирая нужный корень, найдем

$$U = \frac{\mathsf{E}\left(21 - \sqrt{153}\right)}{36} \approx 0{,}24\mathsf{E}.$$

Ток I мы уже выразили через U, теперь легко найти величину сопротивления нужного нам резистора:

$$R = \frac{U}{I} = \frac{U\sqrt{\alpha}}{\sqrt{\mathsf{E} - U} - \sqrt{U}} \approx 6{,}27 \text{ Ом}.$$

З.Рафаилов

Ф1636. *К идеальной батарейке подключены последовательно конденсатор емкостью C = 100 мкФ и амперметр, сопротивление которого составляет r = 10 Ом. При помощи быстродействующего переключателя конденсатор в этой цепи переключается n = 100 раз в секунду то в одной, то в другой полярности (выводы конденсатора все время меняются местами друг с другом); стрелка прибора при этом практически не дрожит. Обычный магнитоэлектрический амперметр показывает в таком случае силу тока I_1 = 0,01 А. Что покажет в такой цепи амперметр тепловой системы с тем же сопротивлением? Приборы были отградуированы в цепи постоянного тока.*

За время между переключениями $T = 1/n = 0{,}01$ с конденсатор успевает практически полностью перезарядиться (характерное время для цепи с конденсатором емкостью C = 100 мкФ и резистором сопротивлением R = 10 Ом составляет 0,001 с, что существенно меньше рассчитанного T). При каждом переключении по цепи протекает заряд $q = 2CU$, средний ток при этом составляет $I_1 = 2CUn$. Для расчета показаний теплового амперметра нам понадобится напряжение батарейки. Выразим его из полученного соотношения: $U = I_1/(2Cn)$.

При каждом переключении батарейка совершает работу $A = Uq = 2CU^2$, энергия конденсатора каждый раз одна и та же, значит, вся работа переходит в тепло. За секунду в резисторе (амперметре) выделяется в виде тепла энергия $2CU^2n$, и показание амперметра тепловой системы I_2 можно найти из соотношения

$$I_2^2 r = 2CU^2 n = \frac{I_1^2}{2Cn}.$$

Отсюда

$$I_2 = \frac{I_1}{\sqrt{2Cnr}} \approx 0{,}022 \text{А}.$$

А.Повторов

Ф1637. *Катушка индуктивностью L = 1 Гн присоединена параллельно конденсатору емкостью C = 10 мкФ, последовательно с получившимся контуром включен еще один такой же конденсатор и к получившейся цепи подключен генератор низкой частоты с амплитудой выходного напряжения U_0 = 1 В. На какой частоте ток, потребляемый от генератора цепью, получается очень малым? На какой частоте этот ток резко возрастает? Оцените максимальную амплитуду напряжения на катушке, если сопротивление провода ее обмотки R = 10 Ом. Остальные элементы цепи считайте идеальными.*

Для ответов на первые два вопроса будем считать элементы цепи идеальными – разница получится совсем небольшой, а рассуждения сильно упростятся. Очень малым ток получится на такой частоте ω_1, при которой параллельный контур имеет очень высокое (для иде-