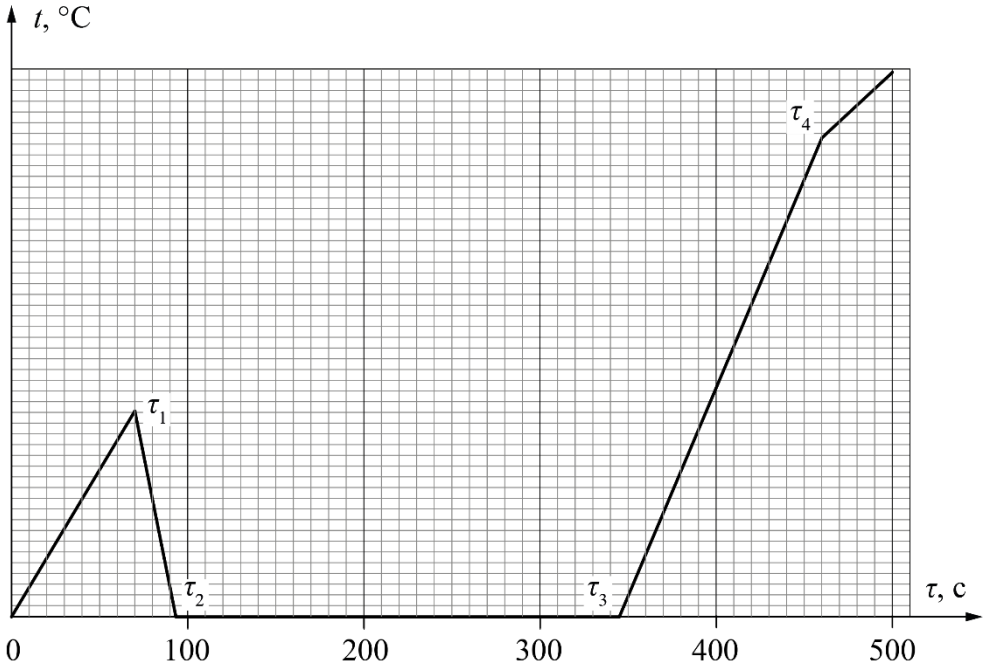
Задача 1.8.2. Соревнование калориметров (10 баллов). В два калориметра положили по куску льда и в течение $\tau_К = 10$ минут стали нагревать их содержимое с одинаковой мощностью. Известно, что первый кусок льда легче второго на $\Delta m = 100$ г. На рисунке приведена зависимость разности температур t в калориметрах от времени τ.



К сожалению, шкала оси разности температур не сохранились, а изломам графика соответствуют времена τ_1, τ_2, τ_3, τ_4.

Объясните, какие физические процессы соответствуют каждому линейному участку графика.

Определите:

1) мощность P нагревателя;
2) массы m_1 и m_2 кусков льда;
3) начальные и конечные температуры кусков льда;
4) разность температур Δt в момент времени τ_1.

Справочные данные: удельная теплоемкость льда $c_Л = 2\,100$ Дж/кг°С, удельная теплоемкость воды $c_В = 4\,200$ Дж/кг°С, удельная теплота плавления льда $\lambda = 330$ КДж/кг.

Решение (А. Евсеев). Из графика находим: $\tau_1 = 70$ с, $\tau_2 = 93$ с, $\tau_3 = 345$ с, $\tau_4 = 460$ с. Поскольку график начинается из нуля, температуры кусков льда вначале равны. Первые 70 с разность температур растет. Потом, более легкий кусок начинает плавиться, и разность температур уменьшается в течение 23 с. Третий участок графика соответствует плавлению обоих кусков льда, когда их температура неизменна (0°С). Это происходит в течение 252 с. Четвертый участок соответствует нагреву воды в том калориметре, где был кусок меньшей массы, а в другом – продолжает плавится лед (115 с). На пятом – в обоих калориметрах нагревается вода.

Разница во времени плавления обусловлена разницей в массе кусков льда. Т.е. время, которое ушло на плавление дополнительных 100 г льда – это $[(\tau_4 - \tau_2) - (\tau_3 - \tau_1)] = 91{,}7$ с. Отсюда мощность нагрева: $P = \dfrac{\lambda \Delta m}{\tau} \approx 360$ Вт.

Разница во времени нагрева до температуры плавления обусловлена разницей в массе кусков льда. Т. е. дополнительные 23,3 с – это время, которое ушло на нагрев 100 г льда от температуры вначале до 0°С. Откуда, $t_{01} = t_{02} = t_0 = \dfrac{-P\tau_1}{c_л \Delta m} = -40\ ^\circ\text{C}$.

За 70 с легкий кусок льда нагревается до 0°С. Значит его масса: $m_1 = \dfrac{-P\tau_1}{c_л t_0} \approx 0{,}3$ кг. Масса второго куска $m_2 \approx 0{,}4$ кг.

За те же 70 с второй кусок успеет нагреться до $t_{21} = \dfrac{c_л m_2 t_0 + P\tau_1}{c_л m_2} \approx -10\ ^\circ\text{C}$,

то есть температуры кусков льда будут отличаться от $\Delta t = 10$ °С.

К концу нагрева в первом калориметре установится температура:

$$t_{1К} = \frac{P(\tau_К - \tau_3)}{c_в m_1} \approx 73\ ^\circ\text{C}, \text{ а во втором } t_{2К} = \frac{P(\tau_К - \tau_4)}{c_в m_2} \approx 30\ ^\circ\text{C}.$$

№	Задача 1.8.2. Критерии оценивания (10 баллов)	Баллы
1	Верно интерпретирован график:	2
	указано, что происходит в каждом калориметре на участках от 0 до τ_2 (1 балл)	
	указано, что происходит в каждом калориметре на участках после τ_3 (1 балл)	
2	Указано, что начальная температура кусков льда одинакова	0,5
3	Определена мощность нагревателя	2
4	Определена начальная температура в калориметрах	1,5
5	Определены исходные массы кусков льда (по 0,5 за каждую массу)	1
6	Определена разность температур в момент времени τ_1	1
7	Определены конечные температуры в калориметрах (по 1 баллу за каждую)	2