

Городская открытая олимпиада школьников по физике 2022/23 года

Заключительный этап Экспериментальный тур

Задача 10.1. Элемент Пельтье

Оборудование: элемент Пельтье, прищепка, мультиметр с термопарой, регулируемый источник напряжения, амперметр, весы, 2 стаканчика (кофейный и бумажный), холодная вода по требованию.

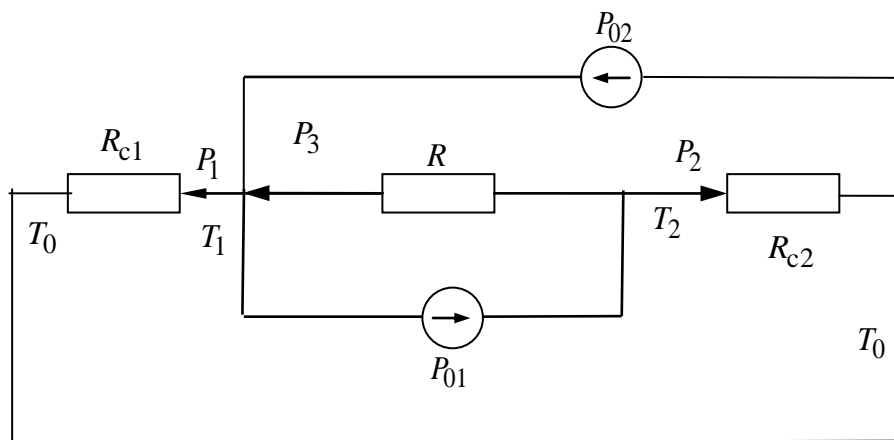
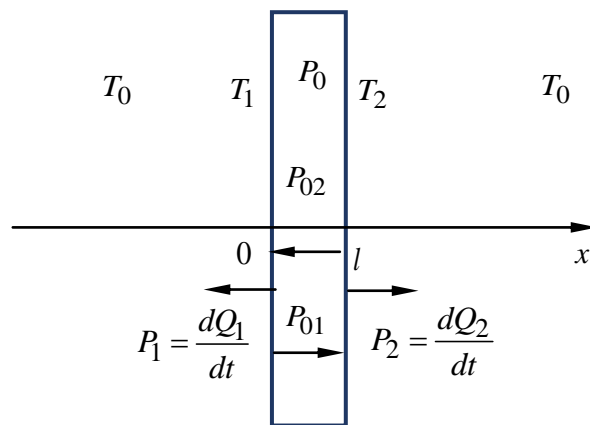
Элемент Пельтье представляет собой термоэлектрический преобразователь, принцип действия которого основан на эффекте Пельтье – возникновении разности температур при протекании электрического тока. Наряду с полезным эффектом перекачки тепла от одной стороны преобразователя к другой, возникает также паразитный эффект нагрева первой (более холодной) стороны преобразователя. При наличии теплоотвода от горячей стороны элемент Пельтье может работать как холодильник.

Подавая на находящийся в воздухе элемент Пельтье напряжение не более 5 В, измерьте установившиеся разности температур сторон элемента. Следите, чтобы температура нагретой стороны не превысила 90° , иначе элемент может выйти из строя.

1. Определите полезную мощность P_{01} элемента Пельтье.
2. Определите КПД η элемента Пельтье.
3. Определите теплоемкость C элемента Пельтье.
4. Определите термическое сопротивление R элемента Пельтье. Для справки: термическим сопротивлением называется отношение между разностью температур и проходящей через элемент тепловым потоком (мощностью).

Решение

Обозначим P_{01} полезную мощность, обеспечивающую перекачку тепла от более холодной стороны элемента с температурой T_1 к более горячей с температурой T_2 , P_{02} – паразитную мощность, разогревающую элемент (можно считать, что она подведена к более холодной стороне), P_3 – тепловой поток, протекающий через элемент от более горячей к более холодной стороне, P_1 и P_2 – тепловые потоки от стенок элемента к окружающей среде с температурой T_0 , обусловленные конвекцией.



Эквивалентная схема теплопередачи в элементе Пельтье

Согласно закону Ньютона – Рихмана, теплотери от стенок могут быть найдены как:

$$P_1 = \frac{dQ_1}{dt} = \alpha S(T_1 - T_0), \quad P_2 = \frac{dQ_2}{dt} = \alpha S(T_2 - T_0), \quad (1)$$

$$P_1 = P_3 + P_{02} - P_{01}, \quad (2)$$

$$P_{01} = P_3 + P_2, \quad (3)$$

$$P_3 R = T_2 - T_1. \quad (4)$$

Выразим P_3 из (3) и подставим в (2): $P_1 + P_2 = P_{02}$. Тогда

$$P_{02} = \alpha S(T_1 - T_0) + \alpha S(T_2 - T_0) = \alpha S(T_1 + T_2 - 2T_0)$$

При выключенном нагретом элементе:

$$C \left(\frac{dT_1 + dT_2}{2} \right) = \alpha S(T_1 + T_2 - 2T_0) dt$$

Узнать теплоемкость C можно, поместив нагретый элемент Пельтье в калориметр с водой.

$$C \frac{T_1 + T_2}{2} + c_{\text{в}} m_{\text{в}} T_{\text{в0}} = (C + c_{\text{в}} m_{\text{в}}) T_{\text{вк}}.$$

$$C = \frac{c_{\text{в}} m_{\text{в}} (T_{\text{вк}} - T_{\text{в0}})}{\left(\frac{T_1 + T_2}{2} - T_{\text{вк}} \right)}.$$

Тогда

$$\alpha S = \frac{C(dT_1 + dT_2)}{2(T_1 + T_2 - 2T_0) dt}.$$

Или можно найти αS методом логарифмирования зависимости полусуммы температур от времени и нахождения углового коэффициента.

$$P_{02} = P_1 + P_2 = \alpha S(T_1 + T_2 - 2T_0)$$

$$P_{01} = P_0 - P_{02} = IU - P_{02}$$

$$\eta = \frac{P_{01}}{IU}$$

Выразим P_3 из (3) и подставим в (4):

$$(P_{01} - P_2)R = T_2 - T_1,$$

$$(P_{01} - \alpha S(T_2 - T_0))R = T_2 - T_1,$$

$$R = \frac{T_2 - T_1}{P_{01} - \alpha S(T_2 - T_0)}.$$

Критерии оценивания 10.1

1. Проведены измерения при стационарном нагреве	1
2. Проведены измерения при остывании на воздухе	2
3. Проведены измерения при погружении элемента в воду	1
4. Найдено C	2
5. Найдено αS	2
6. Найдено P_{02}	2
7. Найдено P_{01}	2
8. Найдено η	1
9. Найдено R	2

Задача 10.2. Испарение воды

Определите скорость испарения воды (мг/с) в зависимости от ее температуры. Удельная теплота парообразования воды при температуре кипения равна $L = 2300$ кДж/кг. Испарением воды сквозь слой масла пренебречь.

Оборудование: кофейная чашка, бумажный стакан, горячая вода по требованию, подсолнечное масло по требованию, термометр или мультиметр с термопарой, секундомер, весы по требованию.

Решение

Непосредственное измерение зависимости массы от температуры не является оптимальным методом из-за недостаточной точности весов и чувствительности показаний весов к нагреву.

Из кофейной чашки и стаканчика сделаем калориметр. Рассмотрим два случая: когда поверхность воды открыта и с нее происходит испарение, и когда на поверхности воды имеется масляный слой, который существенно замедляет процесс испарения.

Запишем уравнение теплового баланса, считая, что скорость теплообмена подчиняется закону Ньютона–Рихмана. Для открытой поверхности с испарением:

$$cm\Delta T_1 + L\Delta m = -\alpha(T_1 - T_0)\Delta t$$

Для закрытой поверхности без испарения:

$$cm\Delta T_2 = -\alpha(T_2 - T_0)\Delta t.$$

$$\alpha = -\frac{cm}{(T_2 - T_0)} \frac{\Delta T_2}{\Delta t} \quad (1)$$

Их разность:

$$cm\Delta(T_1 - T_2) + L\Delta m = -\alpha(T_1 - T_2)\Delta t$$

$$\frac{\Delta m}{\Delta t} = \frac{1}{L} \left(\alpha(T_2 - T_1) + cm \frac{\Delta(T_2 - T_1)}{\Delta t} \right). \quad (2)$$

Критерии оценивания 10.2

1. Измерена температура окружающей среды	1
2. Измерена зависимость температуры воды от времени без масла (данные сведены в таблицу)	2
3. Измерена зависимость температуры воды от времени с маслом (данные сведены в таблицу)	2
4. Построен график зависимости T_2 от t	2
5. Выведена формула для α	1
6. Определен α	1
7. Построен график зависимости $T_2 - T_1$ от t	2
8. Выведена формула для скорости испарения воды	2
9. Определена скорость испарения воды – построен график $\Delta m/\Delta t$ от T_1	2