

Практична робота 10, 11:
Вимірювання температури

Приклади розв'язання задач

Задача 1. Розрахувати істинну температуру T розжареної вольфрамової стрічки, якщо радіаційний пірометр показує температуру $T_{рад} = 2,5 \text{ кК}$. Прийняти, що поглинальна здатність для вольфраму не залежить від частоти випромінювання і дорівнює $a_T = 0,35$.

Розв'язання.

Радіаційною температурою $T_{рад}$ називається температура при якій енергетична світність R_e^* абсолютно чорного тіла дорівнює енергетичній світності R_e тіла, що досліджується при його справжній температурі T :

$$R_e^*(T_{рад}) = R_e(T). \quad (1)$$

Енергетичні світності чорного та сірого тіл знайдемо з закону Стефана-Больцмана:

$$R_e^*(T_{рад}) = \sigma T_{рад}^4. \quad (2)$$

$$R_e^*(T_{рад}) = a\sigma T^4. \quad (3)$$

Підставивши вирази (2) (3) у (1), одержимо

$$\sigma T_{рад}^4 = a\sigma T^4. \quad (4)$$

З цього співвідношення істинна температура вольфрамової стрічки дорівнює

$$T = \frac{1}{\sqrt{a}} T_{рад}. \quad (5)$$

Після підставлення числових значень фізичних величин отримаємо

$$T = \frac{1}{\sqrt{0.35}} 2500 = 3250(K). \quad (6)$$

Відповідь: $T=3250 \text{ К}$.

Задача 2. Визначте силу струму, що протікає по вольфрамовому дроті діаметром $d = 0,8 \text{ мм}$, температура якої у вакуумі підтримується постійною і рівною $t = 2800 \text{ }^\circ\text{C}$. Поверхню дроту вважати сірою з поглинальною здатністю $a_r = 0,343$. Питомий опір дроту при даній температурі $\rho = 0,92 \cdot 10^{-4} \text{ Ом} \cdot \text{см}$. Температура оточуючого дрот середовища $t_0 = 17 \text{ }^\circ\text{C}$.

Розв'язання.

Потужність електричного струму визначається за виразом

$$P_e = I^2 R. \quad (1)$$

Опір провідника можна знайти наступним чином

$$R = \rho \frac{l}{S}. \quad (2)$$

Так як дрот має в поперечному перерізі форму кола то його площу знайдемо наступним чином

$$S = \frac{\pi d^2}{4}. \quad (3)$$

Підставивши вирази (2) (3) у (1), одержимо

$$P_e = I^2 \rho \frac{4l}{\pi d^2}. \quad (4)$$

З іншого боку тепла потужність яка випромінюється сірим тілом визначається

$$P_{\text{випр}} = a\sigma T^4 S. \quad (5)$$

Теплова потужність яка поглинається сірим тілом визначається

$$P_{\text{погл}} = a\sigma T_0^4 S. \quad (6)$$

Загальна тепла потужність сірого тіла буде дорівнювати

$$P_{\text{тепл}} = P_{\text{випр}} - P_{\text{погл}} = a\sigma T^4 S - a\sigma T_0^4 S. \quad (7)$$

Прирівнюємо (7) та (4)

$$I^2 \rho \frac{4l}{\pi d^2} = a\sigma T^4 S - a\sigma T_0^4 S. \quad (8)$$

З (8) величина струму буде дорівнювати тоді

$$I = \sqrt{\frac{a\sigma T^4 S - a\sigma T_0^4 S}{\rho 4l}} \pi d^2. \quad (9)$$

Після підставлення числових значень фізичних величин отримаємо $I = 48.8 \text{ А}$.

Відповідь: $I = 48.8 \text{ А}$.

Задача 3. Опір котушки, намотаної мідним провідником, при температурі $t_0 = 22\text{ }^\circ\text{C}$ дорівнює $R_0 = 10,6\text{ Ом}$. Коли її опустили в рідкий азот, який знаходився у відкритому термосі, опір провідника зменшився до $R_1 = 0,7\text{ Ом}$. Чому дорівнює температура азоту t ?

Розв'язання.

Для більшості металевих провідників залежність опору від температури є лінійною і розраховується за формулою

$$R = R_0 (1 + \alpha(t - t_0)). \quad (1)$$

де R_0 – опір при початковій температурі t_0 , R – опір при довільній температурі t , α – термічний коефіцієнт опору провідника.

З виразу (1) отримаємо вираз який дозволяє розрахувати температуру на яку потрібно охолодити провідник

$$(t - t_0) = \frac{R - R_0}{\alpha R_0}. \quad (2)$$

Остаточний вираз для знаходження температури азоту буде мати вигляд

$$t = t_0 + \frac{R - R_0}{\alpha R_0}. \quad (3)$$

Після підставлення числових значень фізичних величин отримаємо $t = -195\text{ }^\circ\text{C}$.

Відповідь: $t = -195\text{ }^\circ\text{C}$.

Інформаційна довідка

Задача 3 показує, як можна використовувати залежність опору провідника від температури для вимірювання температури. Термометри такого типу називають термометрами опору. Цікаво, що напівпровідникові матеріали, які застосовують для створення мікроелектронних пристроїв, зовсім по-іншому реагують на зміну температури. Їхній опір зі зниженням температури не зменшується, а збільшується, причому дуже сильно. Якщо напівпровідниковий резистор із германію, опір якого при кімнатній температурі дорівнює 1 Ом, опустити в рідкий азот, то його опір зросте до 26 кОм, тобто в 26 000 разів. Термометри опору на основі напівпровідникових матеріалів мають дуже велику чутливість.

Термічний коефіцієнт опору деяких матеріалів

| матеріал | α, K^{-1} | матеріал | α, K^{-1} | матеріал | α, K^{-1} |
|----------|------------------|----------|------------------|------------|------------------|
| Нікель | 0,0065 | Залізо | 0,006 | Вольфрам | 0,005 |
| Мідь | 0,0043 | Срібло | 0,0041 | Алюміній | 0,0042 |
| Золото | 0,004 | Платина | 0,0039 | Ртуть | 0,001 |
| Ніхром | 0,0001 | Манганін | 0,00001 | Константан | 0,000005 |

Завдання для самостійного опрацювання

Задача №1. Розрахувати істинну температуру T розжареної вольфрамової стрічки, якщо радіаційний пірометр показує температуру $T_{рад}$. Прийняти, що поглинальна здатність для вольфраму не залежить від частоти випромінювання і дорівнює a_T .

| Варіант | $T_{рад}, \text{кК}$ | a_T |
|---------|----------------------|-------|
| 1 | 1,5 | 0,35 |
| 2 | 1,3 | 0,45 |
| 3 | 5,5 | 0,55 |
| 4 | 3,5 | 0,65 |
| 5 | 4,1 | 0,75 |
| 6 | 2,3 | 0,85 |
| 7 | 1,0 | 0,95 |
| 8 | 7,6 | 1,06 |
| 9 | 6,6 | 0,65 |
| 10 | 5,6 | 0,7 |

Задача 2. Визначте силу струму, що протікає по дроті діаметром d , температура якої у вакуумі підтримується постійною і рівною t . Поверхню дроту вважати сірою з поглинальною здатністю a_T . Питомий опір дроту при даній температурі ρ . Температура оточуючого дрот середовища t_0 .

| Варіант | $t, ^\circ\text{C}$ | $t_0, ^\circ\text{C}$ | $d, \text{мм}$ | a_T | $\rho, \text{Ом}\cdot\text{см}$ |
|---------|---------------------|-----------------------|----------------|-------|---------------------------------|
| 1 | 2000 | 17 | 0.8 | 0,35 | $0,92 \cdot 10^{-4}$ |
| 2 | 1000 | 10 | 0.7 | 0,45 | $0,92 \cdot 10^{-4}$ |
| 3 | 1500 | 5 | 0.6 | 0,55 | $0,92 \cdot 10^{-4}$ |
| 4 | 1500 | 0 | 0.8 | 0,65 | $0,92 \cdot 10^{-4}$ |
| 5 | 2350 | -5 | 0.7 | 0,75 | $0,92 \cdot 10^{-4}$ |
| 6 | 1200 | 100 | 0.6 | 0,85 | $0,92 \cdot 10^{-4}$ |
| 7 | 1000 | 1000 | 1.0 | 0,95 | $0,92 \cdot 10^{-4}$ |
| 8 | 2000 | 16 | 1.5 | 1,06 | $0,92 \cdot 10^{-4}$ |
| 9 | 2000 | 17 | 1.0 | 0,65 | $0,92 \cdot 10^{-4}$ |
| 10 | 2000 | 18 | 1.5 | 0,7 | $0,92 \cdot 10^{-4}$ |

Задача 3. Опір котушки, намотаної з деякого матеріалу, при температурі t_0 дорівнює R_0 . Коли її опустили в рідкий азот, який знаходився у відкритому термосі, опір провідника зменшився до R_1 . Чому дорівнює температура азоту t ?

| Варіант | $t_0, ^\circ C$ | $R_0, Ом$ | $R_1, Ом$ | Матеріал |
|---------|-----------------|-----------|-----------|------------|
| 1 | 22 | 10 | 0.8 | Нікель |
| 2 | 22 | 11 | 0.7 | Мідь |
| 3 | 23 | 12 | 0.6 | Золото |
| 4 | 21 | 13 | 0.8 | Ніхром |
| 5 | 20 | 14 | 0.7 | Залізо |
| 6 | 20 | 15 | 0.6 | Срібло |
| 7 | 20 | 16 | 1.0 | Платина |
| 8 | 19 | 17 | 1.5 | Манганін |
| 9 | 18 | 18 | 1.0 | Вольфрам |
| 10 | 22 | 19 | 1.5 | Константан |