

§ 16. ТЕПЛОВА ДІЯ СТРУМУ. ЗАКОН ДЖОУЛЯ—ЛЕНЦА



Із власного досвіду вам добре відомо, що під час проходження електричного струму спіраль лампи розжарювання нагрівається настільки, що починає випромінювати видиме світло. Завдяки дії електричного струму нагріваються праска й електрична плита. Однак вентилятор і пилосос нагріваються незначно, так само не стають дуже гарячими (звичайно, якщо все гаразд) і підвідні проводи. Про те, від чого залежить теплова дія струму, ви дізнаєтеся, вивчивши матеріал цього параграфа.



Розмірковуємо про теплову дію струму

Уже йшлося про те, що проходження струму завжди супроводжується виділенням теплоти. Цей факт неважко пояснити.

Коли по провіднику йде струм, то вільні заряджені частинки, рухаючись напрямлено під дією електричного поля, зіштовхуються з іншими частинками (електрони в металах — з йонами, розташованими у вузлах кристалічної ґратки, йони в електролітах — з іншими йонами, атомами або молекулами) і передають їм частину своєї енергії. У результаті середня швидкість хаотичного (теплого) руху частинок речовини збільшується — провідник нагрівається. За законом збереження енергії кінетична енергія, набута вільними зарядженими частинками в результаті дії електричного поля, перетворюється на внутрішню енергію.

Очевидно, що чим частіше зіштовхуються частинки, тобто чим більший опір провідника, тим більше енергії передається провіднику і тим більше він нагрівається. Можемо, таким чином, припустити, що *кількість теплоти, яка виділяється у провіднику під час проходження струму, пропорційна опору провідника.*

Неважко здогадатися, що зі збільшенням у провіднику сили струму кількість виділюваної в ньому теплоти теж збільшується. Адже чим більше частинок проходить через поперечний переріз провідника за одиницю часу, тим більше зіткнень частинок відбувається.



Відкриваємо закон Джоуля—Ленца

Теплову дію струму вивчали на дослідах англійський учений *Дж. Джоуль* (рис. 16.1) і російський учений *Е. Х. Ленц* (рис. 16.2). Незалежно один від одного вони дійшли однакового висновку, що згодом отримав назву закону Джоуля—Ленца.



Рис. 16.1. Джеймс Прескотт Джоуль (1818–1889) — англійський фізик, один із засновників сучасної теорії теплових явищ. У 1841 р. встановив залежність кількості теплоти, що виділяється в провіднику зі струмом, від сили струму та опору провідника

можна скористатися законом Ома. Справді, $Q = I^2 R t$, а $I = \frac{U}{R}$. Тоді $Q = \left(\frac{U}{R}\right)^2 R t = \frac{U^2}{R^2} R t$. Після скорочення на R одержимо:

$$Q = \frac{U^2 t}{R}.$$

Однак цією формулою, втім, як і формулою $Q = U I t$, можна користуватися тільки в тому випадку, коли вся електрична енергія витрачається на нагрівання.

Якщо ж на ділянці кола є споживачі енергії, в яких виконується механічна робота або відбуваються хімічні реакції, формулами $Q = \frac{U^2 t}{R}$ і $Q = U I t$ користуватися не можна. У таких випадках застосовують складні математичні вирази, які враховують усю сукупність явищ, що відбуваються.

4 Учимся розв'язувати задачі

Задача. Якої довжини треба взяти ніхромовий дріт, щоб виготовити нагрівник, яким можна за 5 хв довести до кипіння 1,5 кг води, узятої за температури 20°C ? Площа поперечного перерізу дроту $0,1 \text{ мм}^2$. Напруга в мережі дорівнює 220 В, ККД кип'ятильника становить 90 %.

Дано:

$$\tau = 300 \text{ с}$$

$$m = 1,5 \text{ кг}$$

$$t_1 = 20^\circ\text{C}$$

$$t_2 = 100^\circ\text{C}$$

$$S = 0,1 \text{ мм}^2$$

$$U = 220 \text{ В}$$

$$\eta = 0,9$$

$$\rho = 1,1 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$$

$$c = 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$$

l — ?

Аналіз фізичної проблеми

При проходженні в нагрівнику електричного струму виділяється кількість теплоти $Q_{\text{повна}}$. Частина її ($Q_{\text{кор}}$) витрачається на нагрівання води. Отже, $\eta Q_{\text{повна}} = Q_{\text{кор}}$.

Виразивши $Q_{\text{повна}}$ і $Q_{\text{кор}}$ через подані в умові задачі величини, знайдемо шукану величину.

Пошук математичної моделі, розв'язання

$$\eta Q_{\text{повна}} = Q_{\text{кор}}. \quad (1)$$

$$Q_{\text{кор}} = c m (t_2 - t_1); \quad (2)$$

$$Q_{\text{повна}} = \frac{U^2 \tau}{R}. \quad (3)$$

Опір дроту знайдемо зі співвідношення

$$R = \frac{\rho l}{S}. \quad (4)$$

Підставивши формулу (4) у формулу (3), маємо:

$$Q_{\text{повна}} = \frac{U^2 \tau}{\frac{\rho l}{S}} = \frac{U^2 \tau S}{\rho l}. \quad (5)$$

Підставимо формули (5) і (2) у формулу (1):

$$\frac{\eta U^2 \tau S}{\rho l} = c m (t_2 - t_1). \text{ Звідси } l = \frac{\eta U^2 \tau S}{c m (t_2 - t_1) \rho}.$$

Значення питомого опору ρ ніхрому й питомої теплоємності c води знайдемо у відповідних таблицях.

Визначимо значення шуканої величини:

$$[l] = \frac{\frac{\text{В}^2 \cdot \text{с} \cdot \text{мм}^2}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{С}} \cdot \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}}{\frac{\text{Дж} \cdot \text{Ом}}{\text{В} \cdot \text{А} \cdot \text{с} \cdot \frac{\text{В}}{\text{А}}}} = \frac{\text{В}^2 \cdot \text{с} \cdot \text{м}}{\text{Дж} \cdot \text{Ом}} = \text{м};$$

$$\{l\} = \frac{0,9 \cdot 220 \cdot 220 \cdot 300 \cdot 0,1}{4200 \cdot 1,5 \cdot 80 \cdot 1,1} = 2,36; \quad l = 2,36 \text{ м.}$$

Відповідь: потрібно взяти ніхромовий дріт завдовжки 2,36 м.

! Підбиваємо підсумки

Проходження струму в провіднику супроводжується виділенням теплоти. Кількість теплоти, яка виділяється у провіднику зі струмом, прямо пропорційна квадрату сили струму, опору провідника й часу проходження струму: $Q = I^2 R t$ (закон Джоуля—Ленца).

Існують ще дві формули для розрахунку кількості теплоти: $Q = \frac{U^2 t}{R}$ і $Q = U I t$, однак цими формулами можна користуватися тільки в тому випадку, коли вся електрична енергія йде на нагрівання.

? Контрольні запитання

1. Чому нагріваються провідники, в яких тече електричний струм?
2. Сформулюйте закон Джоуля—Ленца. Чому він має таку назву?
3. Як математично записується закон Джоуля—Ленца?
4. Які формули для розрахунку кількості теплоти, що виділяється під час проходження струму в провіднику, ви знаєте? Чи завжди можна користуватися ними?

Вправа № 16

1. Чому електричні проводи, по яких подається напруга до електричної лампи розжарювання, не нагріваються, а волосок лампи нагрівається та яскраво світиться?
2. Скільки теплоти виділиться за 10 хв в електричній печі, увімкнутій в мережу, якщо опір нагрівального елемента печі становить 30 Ом, а сила струму в ньому дорівнює 4 А?
3. Два провідники опорами 10 і 20 Ом увімкнуті в мережу, що має напругу 100 В. Яка кількість теплоти виділиться за 5 с в кожному провіднику, якщо їх з'єднати паралельно?
4. Скільки часу буде нагріватися 1,5 л води від 20 до 100°C в електричному чайнику потужністю 600 Вт, якщо ККД чайника становить 80%?
5. Електорокип'ятильник за 5 хв нагріває 0,2 кг води від 14°C до кипіння за умови, що по його обмотці протікає струм силою 2 А. Визначте, на яку напругу розрахований електрокип'ятильник. Витратами енергії знехтувати.
- 6*. Якої довжини ніхромовий дріт треба взяти, щоб виготовити електричний камін, який працюватиме при напрузі 120 В і виділятиме 1 МДж теплоти за годину? Діаметр дроту 0,5 мм.