

шением типа (8):

$$j_T = -\lambda \frac{dT}{dr}, \quad (9)$$

где  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности среды.

И это еще не все. Представим себе, что казан «равномерно дырявый», и некий добрый человек поддерживает в нем постоянный уровень супа. Тогда содержимое казана плотностью  $\rho_{\text{супа}}$  будет диффундировать через почву, и рано или поздно установится стационарное распределение этого вещества в пространстве. Ясно, что около казана почва плотностью  $\rho$  будет больше насыщена супом, а чем дальше – тем меньше. Тут уместно ввести понятие массовой доли диффундирующего вещества  $C = \rho_{\text{супа}}/\rho$ . Будем считать, что эта величина всюду много меньше единицы («слабый раствор»), хотя и меняется в пространстве. Тогда, по аналогии с двумя ранее рассмотренными случаями, можно сказать, что поток диффундирующего вещества обеспечивается разностью потенциалов  $C_a - C_\infty$ , а в каждой его точке плотность потока  $j_m$  выражается соотношением типа (8) и (9):

$$j_m = -D \frac{dC}{dr}, \quad (10)$$

где  $D$  – коэффициент диффузии (или, если угодно, *массопроводности*) среды.

И вот теперь – самое замечательное. Все рассмотренные распределения так называемых потенциалов можно записать совершенно одинаково (!):

$$\frac{\varphi(r) - \varphi_\infty}{\varphi_a - \varphi_\infty} = \frac{T(r) - T_\infty}{T_a - T_\infty} = \frac{C(r) - C_\infty}{C_a - C_\infty} = \frac{a}{r}. \quad (11)$$

И суммарные потоки соответствующей физической субстанции – заряда  $I$ , тепловой энергии  $Q_T$ , массы  $Q_m$  – тоже можно записать одинаково:

$$I = \frac{1}{R}(\varphi_a - \varphi_\infty),$$

$$Q_T = \frac{1}{R_T}(T_a - T_\infty),$$

$$Q_m = \frac{1}{R_m}(C_a - C_\infty),$$

где видны уже знакомое суммарное сопротивление электрическому току

$$R = \frac{1}{2\pi a \sigma},$$

а также сопротивления потоку тепла и массы

$$R_T = \frac{1}{2\pi a \lambda} \text{ и } R_m = \frac{1}{2\pi a D}.$$

А какая из всего этого польза? Очень большая. Например, вы хотите узнать

распределение температуры или концентрации вещества в гораздо более сложной ситуации, чем рассмотренная нами (достаточно симметричная). Скажем, в случае слоистой земли, в которой встречаются к тому же полости, валуны и другие неоднородности. Тогда, пользуясь *электро-тепло-массовой аналогией*, рассмотренной нами, можно распределение температуры или концентрации смоделировать распределением электрического потенциала в среде с таким же распределением коэффициента электропроводности, как и пространственные распределения коэффициентов теплопроводности или диффузии (массопроводности). Измерение токов и разностей потенциалов – более простая проблема, чем измерение температур и концентраций, да и установление электрических полей происходит быстрее. И такое экспериментальное оборудование можно собрать «на столе». Подобные «аналоговые» установки использовались в прикладной физике до развития мощной вычислительной техники. Но и с ее развитием аналогии физических процессов не потеряли смысла – только теперь они понимаются как *одинаковость уравнений и их решений при одинаковых граничных условиях*. Лучше всего эту мысль иллюстрирует цепочка равенств (11).

Итак, если у вас есть старый котел или казан – не выбрасывайте, а ... подумайте о физике.

# Изотопные источники энергии

О.ЕГОРОВ

ОДНИМ ИЗ КРИТЕРИЕВ УЛУЧШЕНИЯ условий жизни человека является количество электроэнергии, которое он потребляет. Большая часть электроэнергии, вырабатываемой сейчас, получается из невозобновляемых источников: угля, нефти, газа. Выработка электроэнергии на атомных электростанциях также требует затрат невозобновляемых ресурсов, в частности

*Эта заметка является авторским вариантом статьи, опубликованной в научно-популярном журнале «Электричество и жизнь» (№3, 2000 г.).*

сти урана-235. В процессе работы реакторов на этом топливе идет захват тепловых нейтронов ядрами урана-238, при этом «нарабатывается» плутоний-239 и множество других радиоизотопов. Само название «радиоизотопы» означает, что эти вещества радиоактивны, т.е. распадаются с выбросом  $\alpha$ -частиц, электронов или  $\gamma$ -квантов; при этом выделяется энергия, которую также хотелось бы использовать.

В этой заметке мы рассмотрим некоторые радиоизотопные источники

электроэнергии, нашедшие широкое и разнообразное применение в самых разных сферах жизнедеятельности человека.

В настоящее время накоплено огромное количество радиоактивных изотопов. При их распаде выделяется тепловая энергия, которую при желании можно преобразовать в электрическую. Тепловая энергия – это конечный продукт торможения в веществе частиц, образующихся при радиоактивных распадах. Первоначально такие источники получили распространение в космосе в обитаемых кораблях, поскольку не надо было беспокоиться о радиационной защите. В дальнейшем они нашли применение и в иных областях человеческой деятельности, где использование других источников энергии либо невозможно, либо совершенно нерентабельно.

В 1999 году исполнилось 40 лет со времени разработки первого в мире

(Окончание см. на с. 34)