

О термоэлектричестве, анизотропных термоэлементах и ... английской королеве

А. СНАРСКИЙ, А. ПАЛЬТИ

С САМОГО начала термоэлектричеству не везло. В своих знаменитых опытах по «животному электричеству», лежащих в основе науки об электрических явлениях, А. Вольта (1745—1827) его просто не заметил. Никаких амперметров в то время, конечно, не было, и для индикации тока в своих опытах он использовал препарированную лягушку. В одном из опытов лапки лягушки помещали в один сосуд, а позвоночник — в другой. При соединении сосудов металлическим стержнем, один из которых предварительно нагревали в кипятке, другими словами, при замыкании электрической цепи, мышцы лягушки начинали сокращаться. В опытах с использованием гальванических элементов сокращение наблюдали и без нагрева стержня. Вот почему Вольта и не обратил внимания на возникновение тока в цепи при нагреве мест контакта проводников до разных температур.

В другой раз термоэлектричеству не повезло, когда в 1821 году Т. Зеебек (1770—1831) на заседании Берлинской академии наук объявил об открытии нового эффекта — термомагнетизма. Решающий опыт был очень простым. Внутри контура, состоящего из висмутового стержня и соединяющей его концы медной проволоки, помещали магнитную стрелку (рис. 1). При нагреве одного из контактов стрелка отклонялась. Это означало появление магнитного поля. Но какова причина его возникновения? Зее-

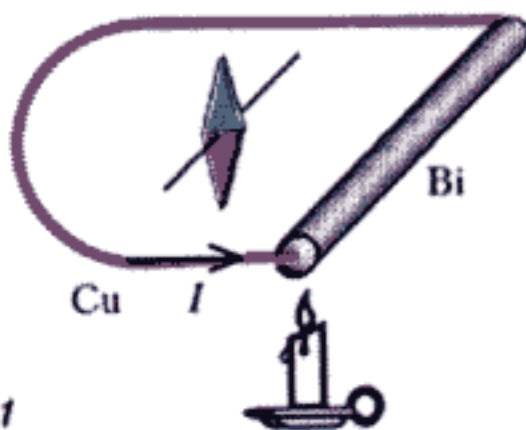


Рис. 1

бек был противником гипотезы о единой природе электрических и магнитных явлений. Он считал, что «разность температур в местах соприкосновения металлических проводников цепи является источником освобождающегося магнетизма, причиной магнитных воздействий». Поэтому возникновение земного магнетизма Зеебек связывал с «термомагнетизмом» — ведь между полюсом и экватором существует разность температур.

Правильное объяснение предложил Х. Эрстед (1777—1851), который к этому времени провел опыты по изучению действия проводника с током на магнитную стрелку. Он связал природу эффекта с электричеством. Именно электрический ток порождал магнитное поле. Между тем, эффект носит имя Зеебека. Такова уж история науки — на первом месте открытие, а уж потом объяснение. Исходя из правильного объяснения, Эрстед предложил более точное название явления — «термоэлектричество».

Дальнейшие исследования показали, что термоэлектродвижущая сила (термоэдс) \mathcal{E} зависит от перепада температур ΔT между местами контакта проводников из разных материалов и от термоэлектрических свойств этих проводников. Указанные свойства проводников характеризуют коэффициентом термоэдс α , который численно равен термоэдс, вырабатываемой при перепаде температур в один градус. Из опытов также следовало, что термоэдс \mathcal{E} не зависит от распределения температур между контактами. Таким образом, если α_1 и α_2 — коэффициенты термоэдс контактирующих материалов, то

$$\mathcal{E} = (\alpha_1 - \alpha_2)\Delta T. \quad (1)$$

Заметим, что не для каждой пары различных проводников $\alpha_1 - \alpha_2$ отлично от нуля.

Какова же физическая природа явления термоэлектричества? Рассмотрим проводящий стержень. Один из основных механизмов возникновения термоэдс состоит в том, что при нагреве какого-нибудь из его концов растет как средняя энергия, так и (в случае полупроводников) число носителей тока. Возникает диффузионный поток носителей в сторону холодного конца стержня. Но диффузия свободных носителей, т.е. их направленное движение от горячего к холодному концу стержня, — это электрический ток, так как носители заряжены. Таким образом, полный ток в стержне есть сумма обычного тока и тока, связанного с разностью температур. Как известно, обычный ток, в соответствии с дифференциальным законом Ома, связан с электрическим полем соотношением $\vec{j} = \sigma \vec{E}$, где \vec{j} — плотность тока, σ — удельная проводимость, \vec{E} — напряженность поля. Аналогично и в нашем случае току \vec{j}_T принято сопоставлять так называемое термоэлектрическое поле \vec{E}_T . Тогда полное выражение для плотности тока принимает вид

$$\vec{j} = \sigma(\vec{E} + \vec{E}_T). \quad (2)$$

Подобно тому, как при наложении разности потенциалов $\Delta\phi$ в проводнике длиной L возникает электрическое поле $E = -\Delta\phi/L$, новое поле E_T зависит от перепада температур на единицу длины $\Delta T/L$ и коэффициента термоэдс однородного материала α :

$$E_T = -\alpha(\Delta T/L). \quad (3)$$

Нетрудно видеть, что формулу (1) можно получить, применив выражение (3) к разомкнутой цепи, состоящей из двух разнородных проводников с коэффициентами термоэдс α_1 и