



## Сказка о ДЖЕЙМСЕ МАКСВЕЛЛЕ и его РУЧНОМ ДЕМОНЕ

Ник. ГОРЬКАВЫЙ.

— Никки, расскажи про электричество, — попросила Галатея. — А то Андрей мне плохо объяснил, что такое ток.

— Я хорошо объяснил, это ты плохо поняла, — возразил старший брат.

— Электрический ток — не простая штука, — усмехнулась королева Никки, которая приехала в гости к принцессе Дзинтаре и по традиции рассказывала новую историю её детям. — Двадцатый век часто называют эпохой электричества, потому что появившиеся тогда бесчисленные электрические устройства сыграли в развитии человечества более значительную роль, чем даже компьютеры, космические ракеты и атомная энер-

гия, которых без электричества, впрочем, не было бы.

В двадцатом веке электричество превратилось из диковинки в движущую силу цивилизации. Важнейшую роль в достижении этой цели сыграл один человек, о котором я сейчас вам расскажу.

Природные электрические явления были хорошо известны даже первобытным людям. Например, молния и гром: молния — это световая вспышка из-за разряда атмосферного электричества, а гром — его акустическое сопровождение.

— А какие ещё природные явления связаны с электричеством? — полюбопытствовала Галатея.

Другие научные сказки Ник. Горькавого печатались в журнале «Наука и жизнь» в 2010—2013 гг. и в №№ 1—3, 7, 8, 10, 12, 2014 г.

● РАССКАЗЫ О НАУКЕ

◀ Полярное сияние возникает в северных широтах, когда космические токи взаимодействуют с земной атмосферой. Фото Любови Трифионовой (г. Североморск).

— Ну, например, полярные сияния. Они генерируются потоками электронов и протонов, летящих от Солнца и попадающих в ловушку магнитосферы Земли. Свечение рождается в воздухе, когда облака заряженных солнечных частиц, накопленных в радиационных поясах Земли, переполняют их и врезаются в атмосферу Земли.

А вы сами можете вспомнить какой-нибудь природный электрический феномен?

Дети задумались.

— Компас! — воскликнул Андрей. — Его стрелка всегда «смотрит» на северный магнитный полюс.

— Верно, — согласилась Никки. — Магнитные свойства металлической стрелки связаны с движением электронов в её атомах, а магнитное поле нашей планеты вызвано электрическими токами в потоках расплавленного ме-

талла в центре Земли. И когда маленькая стрелка в прозрачной коробочке поворачивается на север, её движение соединяет в себе эффекты микромира и планетарные процессы.

Андрей победно посмотрел на Галатею:

— Вот какой прекрасный пример я нашёл!

Та покраснела и сердито выпалила: — А меня часто «жалят» электрические разряды, когда я надеваю шерстяной свитер или берусь за металлическую ручку.

— Отлично! — Никки похвалила Галатею. — Это происходит разряд статического электричества, накапливающегося при трении одних предметов о другие. Электризацию вызывает, например, трение янтаря о шерсть, из-за чего к янтарию притягиваются мелкие бумажки. На основе этого явления

Портрет великого Джеймса Максвелла и страница из его трактата по электродинамике. Фото из двухтомного сочинения Максвелла. Издательство «Наука», 1989 год.

140 Часть I. Электростатика

101 ж. Следовательно, выражение для энергии можно представить в любой из следующих форм:

$$W_e = \frac{1}{8\pi} \iiint [K_{xx}P^2 + K_{yy}Q^2 + K_{zz}R^2 + 2K_{xy}QR + 2K_{yz}RP + 2K_{zx}PQ] dx dy dz,$$

или

$$W_e = 2\pi \iiint [k_{xx}x^2 + k_{yy}y^2 + k_{zz}z^2 + 2k_{xy}yz + 2k_{yz}zx + 2k_{zx}xy] dx dy dz,$$

где индекс указывает на вектор, через который выражается  $\Psi$ . Если индекс не указан, то подразумевается, что энергия выражена через оба вектора.

Таким образом, мы имеем всего шесть различных выражений для энергии электрического поля. Три из них содержат заряды и потенциалы поверхностей проводников и приведены в п. 87. Три других выражения являются объемными интегралами по всему электрическому полю и содержат составляющие электродвижущей напряженности, или электрического смещения, или те и другие.

Потому первые три интеграла относятся к теории взаимодействия на расстоянии, а три последних — к теории взаимодействия через посредство промежуточной среды. Их можно представить в виде

$$W = -\frac{1}{2} \iiint S \cdot \mathcal{D} \mathcal{D} \mathcal{d}\tau,$$

$$W_e = -\frac{1}{8\pi} \iiint S \cdot \mathcal{E} \mathcal{E} \mathcal{d}\tau, \quad W_m = -2\pi \iiint S \cdot \mathcal{D} \mathcal{F}^{-1}(\mathcal{D}) \mathcal{d}\tau.$$

101 а. Чтобы обобщить Теорему Грина на случай неоднородной анизотропной среды, достаточно лишь положить в Теореме III, п. 21,

$$X = \Psi \left[ K_{xx} \frac{\partial \Phi}{\partial x} + K_{xy} \frac{\partial \Phi}{\partial y} + K_{xz} \frac{\partial \Phi}{\partial z} \right],$$

$$Y = \Psi \left[ K_{yx} \frac{\partial \Phi}{\partial x} + K_{yy} \frac{\partial \Phi}{\partial y} + K_{yz} \frac{\partial \Phi}{\partial z} \right], \quad Z = \Psi \left[ K_{zx} \frac{\partial \Phi}{\partial x} + K_{zy} \frac{\partial \Phi}{\partial y} + K_{zz} \frac{\partial \Phi}{\partial z} \right],$$

и мы получим

$$\begin{aligned} & \iiint \Psi \left[ (K_{xx}l + K_{yy}m + K_{zz}n) \frac{\partial \Phi}{\partial x} + (K_{xy}l + K_{yx}m + K_{zz}n) \frac{\partial \Phi}{\partial y} + \right. \\ & \left. + (K_{xz}l + K_{yz}m + K_{zz}n) \frac{\partial \Phi}{\partial z} \right] ds - \iiint \Psi \left[ \frac{\partial}{\partial x} \left( K_{xx} \frac{\partial \Phi}{\partial x} + K_{xy} \frac{\partial \Phi}{\partial y} + K_{xz} \frac{\partial \Phi}{\partial z} \right) + \right. \\ & \left. + \frac{\partial}{\partial y} \left( K_{yx} \frac{\partial \Phi}{\partial x} + K_{yy} \frac{\partial \Phi}{\partial y} + K_{yz} \frac{\partial \Phi}{\partial z} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( K_{zx} \frac{\partial \Phi}{\partial x} + K_{zy} \frac{\partial \Phi}{\partial y} + K_{zz} \frac{\partial \Phi}{\partial z} \right) \right] dx dy dz = \\ & = \iiint \left[ K_{xx} \frac{\partial^2 \Phi}{\partial x^2} + K_{yy} \frac{\partial^2 \Phi}{\partial y^2} + K_{zz} \frac{\partial^2 \Phi}{\partial z^2} + K_{xy} \left( \frac{\partial^2 \Phi}{\partial y \partial x} + \frac{\partial^2 \Phi}{\partial x \partial y} \right) + \right. \\ & \left. + K_{yz} \left( \frac{\partial^2 \Phi}{\partial z \partial y} + \frac{\partial^2 \Phi}{\partial y \partial z} \right) + K_{zx} \left( \frac{\partial^2 \Phi}{\partial z \partial x} + \frac{\partial^2 \Phi}{\partial x \partial z} \right) \right] dx dy dz = \\ & = \iiint \Phi \left[ (K_{xx}l + K_{yy}m + K_{zz}n) \frac{\partial^2 \Phi}{\partial x^2} + (K_{xy}l + K_{yx}m + \right. \\ & \left. + K_{zz}n) \frac{\partial^2 \Phi}{\partial y^2} + (K_{xz}l + K_{yz}m + K_{zz}n) \frac{\partial^2 \Phi}{\partial z^2} \right] ds - \\ & - \iiint \Phi \left[ \frac{\partial}{\partial x} \left( K_{xx} \frac{\partial \Phi}{\partial x} + K_{xy} \frac{\partial \Phi}{\partial y} + K_{xz} \frac{\partial \Phi}{\partial z} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( K_{yx} \frac{\partial \Phi}{\partial x} + K_{yy} \frac{\partial \Phi}{\partial y} + K_{yz} \frac{\partial \Phi}{\partial z} \right) + \right. \\ & \left. + \frac{\partial}{\partial z} \left( K_{zx} \frac{\partial \Phi}{\partial x} + K_{zy} \frac{\partial \Phi}{\partial y} + K_{zz} \frac{\partial \Phi}{\partial z} \right) \right] dx dy dz, \end{aligned}$$

### ДЖЕЙМС КЛЕРК МАКСВЕЛЛ ТРАКТАТ ОБ ЭЛЕКТРИЧЕСТВЕ И МАГНЕТИЗМЕ

J. Clerk Maxwell