About information redundancy in the international system of units
Strekalov V.
Об информационной избыточности международной системы единиц
Стрекалов В. Н.

Стрекалов Владимир Николаевич / Strekalov Vladimir – доктор физико-математических наук, профессор, кафедра физики,
Московский государственный технологический университет «СТАНКИН», г. Москва

Аннотация: *обсуждены особенности международной системы единиц СИ. Предложена расшифровка некоторых вспомогательных электрических и магнитных единиц измерения и указана их связь с механическими единицами. Результаты имеют методическое значение и позволяют сопоставлять единицы измерений, относящихся к различным областям физики.*
Abstract: *the characteristic features of the international system of units (SI) discuss. The explanation of some of the subsidiary electric and magnetic units proposed, and indicated their relationship to mechanical units. The results have a methodological significance and can be used to associate units of measurements related to different fields of physics.*

Ключевые слова: *система СИ, сопоставление «несопоставимых» единиц, механические единицы измерения электрических единиц.*
Keywords: *SI system, a comparison of «incomparable» units, the unit of electrical, mechanical units.*

Основные и дополнительные физические единицы СИ, обязательные для использования в науке и технике, определены международными договорами и действующими в России нормативными документами [1]. Эти документы неоднократно уточнялись и дополнялись (см., например, [2, 3]), что, впрочем, не затрагивало числа основных единиц и их физической сути.

Однако иногда встречаются ситуации, когда сопоставление различных экспериментальных и теоретических величин требует повышенного внимания к используемым единицам и их физического смысла. Это касается, в частности, сопоставления электрических и механических единиц. Конкретным примером является случай связи механической характеристики электронного газа – вязкости и удельного сопротивления. На первый взгляд эти величины нельзя сравнивать, т.к. удельное сопротивление включает размерности Ом и Кл, тогда как в вязкости они отсутствуют. С другой стороны обе эти величины имеют одну причину – они связаны с потерями энергии электронами, взаимодействующими с решеткой.

По-видимому, впервые необходимость подобного сопоставления, появилась еще при изучении механических сил взаимодействия электрических зарядов (работы Шарля Кулона). После экспериментального обоснования закона Кулона

$$\vec{F} = \frac{q_1^* q_2^*}{r^2}\frac{\vec{r}}{r} \qquad (1)$$

принималось представление о точечных зарядах. Некоторое время для измерения зарядов q^* использовались разные системы единиц, в частности, вводилась абсолютная электростатическая система единиц заряда или CGSE-единица заряда. Рассматривалась также практическая система, где за единицу взят заряд, равный $3\cdot 10^9$ CGSE. Физический смысл этих единиц был несколько искусственным. После принятия системы СИ заряды начали измерять в кулонах, и при этом закон Кулона получил современную форму записи

$$\vec{F} = k_0 \frac{q_1 q_2}{r^2}\frac{\vec{r}}{r}, \qquad (2)$$

$$k_0 \equiv \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} = 9\cdot 10^9\ \frac{\text{Íì}^2}{\text{Êë}^2}. \qquad (3)$$

Здесь k_0 – «новая» мировая константа для вакуума. Именно она даёт возможность сопоставить единицы силы (Н) с единицами заряда (Кл), то есть начать сопоставлять механические и электрические явления.

Дальнейшее описание электрических, магнитных и механических величин потребовало введения таких единиц измерений, как В и В/м (потенциал и напряженность электростатического поля), силы тока А, емкости С (фарада), магнитной индукции Тл (тесла) и многих других.

В современных учебниках [4 - 6], как правило, поясняют физический смысл упомянутых величин. Этот смысл обычно ясен, но несколько формален. Так, например, говорят, что напряженность электростатического поля есть его силовая характеристика. Очевидно, что коэффициент связи между силой

и напряженностью должен содержать величину, учитывающую «ньютоны» и «кулоны». Но причем здесь «вольты»?

Обратимся к первичному определению $\vec{E}$. Экспериментальный факт состоит в том, что сила, действующая на заряд $\vec{F} \sim q$. Для получения равенства вводят векторный множитель $\vec{E}$, величину, которая и называется напряженностью поля. Теперь из полученного уравнения

$$\vec{F} = q\vec{E}, \quad q = q_1, \qquad (4)$$

сопоставленного с законом (2), следует, что напряженность статического поля точечного заряда равна

$$\vec{E} = k_0 \frac{q_2}{r^2} \frac{\vec{r}}{r}. \qquad (5)$$

В (5) вошел множитель k_0, связывающий электрические и механические силы.

Равенства (5) и (3) приводят к размерности напряженности поля

$$[E] = \frac{\acute{I}}{\hat{E}\ddot{e}}, \qquad (6)$$

которую и называют «В/м». Физический смысл размерности (6) более прозрачен, чем стандартная единица «вольт на метр».

Аналогичным образом из определения потенциала (энергетическая характеристика поля)

$$E_{\ddot{I}\hat{I}\grave{O}} = q\varphi, \qquad (7)$$

следует, что размерность потенциала и напряжения

$$[\varphi] = [U] = \frac{\ddot{A}æ}{\hat{E}\ddot{e}} = \hat{A}. \qquad (8)$$

Емкость С есть коэффициент пропорциональность между зарядом и потенциалом уединенного проводника, т.е.

$$Q = C\varphi, \qquad (9)$$

откуда следует, что

$$[\tilde{N}] = \frac{\hat{E}\ddot{e}^2}{\ddot{A}æ}. \qquad (10)$$

Сила Лоренца позволяет ввести единицы магнитной индукции. Поскольку

$$\vec{F}_{\ddot{E}} = q[\vec{v}\vec{B}], \qquad (11)$$

то легко заметить, что размерность магнитной индукции (тесла) есть просто

$$[\vec{B}] = \frac{\acute{I} \cdot \tilde{n}}{\hat{E}\ddot{e} \cdot \grave{i}}. \qquad (12)$$

Сила Ампера позволяет определить размерность и создать эталон силы тока [7]. Похожим способом можно определить размерность индуктивности контура (взамен «генри»), магнитного потока и других электрических, магнитных, термодинамических, кинетических величин и проводить их сопоставления, что важно для прикладных задач.

Уменьшение числа основных и дополнительных физических единиц системы СИ могло бы иметь заметное методическое значение, облегчая создание эталонной базы и увеличивая её точность. В частности, определить вязкость электронного газа (трудновыполнимый эксперимент) по хорошо известному удельному сопротивлению.

Литература

1. ГОСТ 8.417 – 2002.
2. Supplement 2014: Updates to the 8th edition (2006) of the SI Brochure.
3. Международный словарь по метрологии: основные и общие понятия и соответствующие термины – СПб.: НПО «Профессионал», 2010, 82 с.
4. *Сивухин Д. В.*. Общий курс физики. Т. III Электричество и магнетизм. – М.: ФИЗМАТЛИТ; ЛАНЬ, 2005, 232 с.
5. *Орир Дж.* Физика. М.: Книжный дом Университет, 2010.
6. *Калашников С. Г.* Электричество. М.: Наука, 1977, 591 с.
7. Эталон силы тока. http://window.edu.ru/resource/978/53978/files/stup332.pdf (26.04.2016).