Приложение

ЕДИНИЦЫ ИЗМЕРЕНИЯ И РАЗМЕРНОСТИ

Вопрос об единицах измерения и размерностях в электродинамике уже давно занимал многих физиков и инженеров. Положение здесь заметно отличается от почти единодушного согласия в выборе основных единиц длины (сантиметр или метр), массы (грамм или килограмм) и времени (средняя солнечная секунда). По-видимому, это можно объяснить тем, что механические единицы были определены в то время (сразу после 1800 г.), когда появилась идея «абсолютных» стандартов и они были внедрены в научном и промышленном мире группой научных гигантов (Борда, Лаплас и другие). Наоборот, проблема выбора электромагнитных единиц возникла уже в то время, когда появилось множество специалистов в этой области. В настоящем приложении мне хотелось бы без излишних дискуссий внести ясность в указанный вопрос.

§ 1. Единицы измерения и размерности. Основные и производные единицы

Произвол в выборе *числа* основных единиц и *размерности* любой физической величины, выражаемой в этих единицах, подчеркивали еще Абрагам, Планк, Бриджмен [20], Бэрдж [12] и другие ученые. Читателю, специально интересующемуся этим вопросом, целесообразно познакомиться с серией прекрасных статей Бэрджа. Система единиц в любой области науки должна быть удобной и ясной. Так, физики-теоретики, работающие в области релятивистской квантовой теории поля и теории элементарных частиц, считают удобным *принять* такие универсальные постоянные, как квант действия Планка и скорость света в свободном пространстве *равными единице* и *безразмерными*. Получающаяся при этом система единиц (называемая естественной системой единиц) имеет лишь *одну* основную единицу, в качестве которой обычно выбирается единица длины. Все осталь-

ные величины — будь то длина, или время, или сила, или энергия и т. д. — выражаются через эту единственную единицу и имеют размерность, определяющуюся как некоторая степень размерности основной единицы. В такой системе нет ничего надуманного или менее физичного, чем в системе, использующей в качестве основных единиц метр, килограмм и секунду (система МКС). Все это — лишь вопрос удобства [1]).

Необходимо сказать несколько слов об основных единицах (стандартах), рассматриваемых как независимые величины, и о производных единицах, размерность и величина которых определяются теоретически и экспериментально через основные единицы. По традиции принято считать основными единицы массы (m), длины (l) и времени (t). В выборе единиц электрических величин установившейся традиции еще нет. Рассмотрим, например, единицу тока. «Международный» ампер (долгое время считавшийся практической единицей тока) определяется количеством серебра, отлагающегося за единицу времени при электролизе в стандартном серебряном вольтаметре. Эту единицу тока следует рассматривать как основную единицу, независимую от единиц массы, длины и времени, так как единица силы тока находится из независимого эксперимента с электролизом, допускающего повторное воспроизведение.

Наоборот, принятый в настоящее время стандарт тока «абсолютный» ампер определяется как ток, при прохождении которого по двум бесконечно длинным параллельным прямолинейным проводникам, имеющим пренебрежимо малое поперечное сечение и расположенным на расстоянии 1 *м* в вакууме, проводники взаимодействуют с силой, равной $2\cdot 10^{-7}$ *н/м* (ньютон/метр) на единицу длины. Очевидно, что «абсолютный» ампер — производная единица, так как ее определяют по механической силе, действующей между проводниками, в соответствии с приводимым ниже выражением (П.4)[2]). Согласно этому определению, «абсолютный» ампер равен точно $^1/_{10}$ от электромагнитной единицы тока. С 1948 г. применяется Международная система электромагнитных единиц, в которой за

[1]) В квантовой теории поля роль основных единиц, входящих в теорию размерностей, играют степени константы связи.

[2]) Коэффициент пропорциональности k_2 в формуле (П.4) принимает, таким образом, значение 10^{-7} в системе МКС. *Размерность* «абсолютного» ампера в отличие от его численной величины зависит от выбора размерности коэффициента k_2. В обычной системе МКС при определении единиц электродинамических величин в качестве *четвертой* основной единицы произвольно выбирают электрический заряд (q). В результате размерность ампера оказывается равной (qt^{-1}), а коэффициент k_2 имеет размерность (mlq^{-2}). Если же считать k_2 безразмерным, то для тока получаем размерность ($m^{1/2}l^{1/2}t^{-1}$). Вопрос о том, вводить ли четвертую основную единицу (например, единицу заряда) или же определять размерности электродинамических величин в виде степеней (в ряде случаев дробных) трех основных механических единиц, не имеет существенного значения и является делом вкуса.

основные единицы приняты метр, килограмм, секунда и определенный выше «абсолютный» ампер, а соответствующие производные единицы сопротивления, напряжения и т. д. выражаются через основные. Такое решение представляется удовлетворительным.

При этом устраняются трудности, подобные, например, тем, которые возникли при попытке ввести три независимые единицы тока, напряжения и сопротивления [1]), определяемые в трех независимых экспериментах (стандартный вольтаметр, стандартный элемент Кларка и стандартный столбик ртути). Именно такая попытка была сделана в 1894 г. в акте Конгресса США, основанном на рекомендациях Международной комиссии инженеров и ученых. В результате принятия этого акта вскоре оказалось, что закон Ома «нарушается» из-за того, что систематические ошибки эксперимента превышают необходимую точность.

§ 2. Единицы измерения и уравнения электродинамики

При рассмотрении единиц и размерностей в теории электромагнетизма мы будем придерживаться традиции и примем в качестве основных независимых величин длину (l), массу (m) и время (t). Кроме того, воспользуемся общепринятым определением тока как скорости изменения заряда во времени ($I = dq/dt$). Это означает, что отношение заряда к току имеет размерность времени [2]). Уравнение непрерывности, связывающее плотности заряда и тока, принимает при этом вид

$$\operatorname{div} \mathbf{J} + \frac{\partial \varrho}{\partial t} = 0. \qquad (\text{П}.1)$$

Для простоты мы будем вначале рассматривать лишь электромагнитные явления в свободном пространстве в отсутствие зарядов и токов.

Основным физическим законом электростатики является закон Кулона, определяющий силу взаимодействия двух точечных зарядов q и q', расположенных на расстоянии r друг от друга. Этот закон можно записать в виде

$$F_1 = k_1 \frac{qq'}{r^2}. \qquad (\text{П}.2)$$

Величину и размерность постоянного коэффициента k_1 можно либо определить из уравнения, если независимо определена величи-

---

[1]) См., например, [65].

[2]) С точки зрения специальной теории относительности более естественно в качестве размерности тока принять размерность отношения заряда к длине. При этом плотность тока J и плотность заряда ϱ будут иметь одинаковую размерность и образуют 4-вектор. Такой выбор единиц принят в модифицированной гауссовой системе (см. стр. 681).

на и размерность единицы заряда, либо выбирать произвольным образом, задав тем самым единицу заряда. Требуется лишь, чтобы произведение k_1qq' имело размерность (ml^3t^{-2}).

Напряженность электрического поля **E** — производная величина, определяемая обычно как сила, действующая на единичный заряд. Можно было бы определить напряженность электрического поля более общим образом, считая ее пропорциональной силе, действующей на единичный заряд, с коэффициентом пропорциональности, являющимся универсальной постоянной. При этом коэффициент пропорциональности может, вообще говоря, быть размерным, так что напряженность электрического поля не будет иметь размерности силы на единичный заряд. Однако, принимая такое чересчур общее определение **E**, мы ничего не выигрываем, так как **E** представляет собой *первую* производную характеристику поля, подлежащую определению. Лишь при определении последующих характеристик поля может оказаться удобным ввести в определяющие формулы размерные постоянные коэффициенты, с помощью которых можно согласовать величины и размерности этих характеристик поля с соответствующими свойствами напряженности электрического поля. Следовательно, без потери общности можно определить напряженность электрического поля точечного заряда q как силу, действующую на единичный заряд, так что, согласно (П.2),

$$E = k_1 \frac{q}{r^2}. \qquad (\text{П.3})$$

Во всех известных автору системах единиц используется это определение напряженности электрического поля.

В магнитостатике взаимодействие токов и определение магнитной индукции рассматривают исходя из закона Ампера. Согласно закону Ампера, приходящаяся на единицу длины сила взаимодействия двух бесконечно длинных параллельных проводов, находящихся на расстоянии d и несущих токи I и I', равна

$$\frac{dF_2}{dl} = 2k_2 \frac{II'}{d}. \qquad (\text{П.4})$$

Здесь k_2 — коэффициент пропорциональности, аналогичный k_1 в формуле (П.2). Безразмерный численный множитель 2 введен в формулу (П.4) для большего удобства при определении коэффициента k_2 в дальнейшем. При связи размерностей тока и зарядов, устанавливаемого соотношением (П.1), соотношение между размерностями коэффициентов k_2 и k_1 уже определено. Как легко видеть из (П.2) и (П.4), отношение k_1/k_2 имеет размерность квадрата скорости (l^2t^{-2}). Далее, путем сравнения величин механических сил (П.2) и (П.4) при известных зарядах и токах можно найти значение отношения k_1/k_2 для свободного пространства.

Численная величина этого отношения оказывается очень близка к квадрату скорости света в свободном пространстве. Таким образом,

$$\frac{k_1}{k_2} = c^2, \tag{П.5}$$

где c по величине и размерности совпадает со скоростью света [$c = (2{,}997930 \pm 0{,}000003) \cdot 10^{10}$ *см/сек*].

Вектор магнитной индукции **B** может быть определен на основании закона взаимодействия токов Ампера как величина, пропорциональная силе, действующей на единичный ток, причем постоянный коэффициент пропорциональности α может быть выбран размерным, если это окажется удобным. Таким образом, величина (и размерность) магнитной индукции на расстоянии d от длинного прямолинейного проводника, несущего ток I, определяется формулой

$$B = 2k_2\alpha\frac{I}{d}. \tag{П.6}$$

Размерность отношения напряженности электрического поля к магнитной индукции можно найти из соотношений (П.1), (П.3) (П.5) и (П.6). Легко видеть, что отношение E/B имеет размерность $(l/t\alpha)$.

Третьим и последним соотношением, на основании которого определяются единицы и размерности электродинамических величин, является закон электромагнитной индукции Фарадея, устанавливающий связь электрических и магнитных явлений. Дифференциальная форма этого экспериментально установленного закона, согласно которому электродвижущая сила, наведенная в контуре, пропорциональна скорости изменения магнитного потока через него, имеет вид

$$\operatorname{rot}\mathbf{E} + k_3\frac{\partial\mathbf{B}}{\partial t} = 0, \tag{П.7}$$

где k_3 — коэффициент пропорциональности. Так как связь между размерностями **E** и **B** установлена, размерность k_3 можно выразить через размерности ранее определенных величин, потребовав, чтобы оба члена в (П.7) имели одинаковую размерность. В результате оказывается, что k_3 имеет размерность α^{-1}. В действительности, коэффициент k_3 точно *равен* α^{-1}. Это было установлено в гл. 6, § 1, на основе инвариантности относительно преобразований Галилея. Но проще всего убедиться в этом, исходя из уравнений Максвелла для определенных выше полей:

$$\begin{aligned}
&\operatorname{div}\mathbf{E} = 4\pi k_1\varrho,\\
&\operatorname{rot}\mathbf{B} = 4\pi k_2\varkappa\mathbf{J} + \frac{k_2\alpha}{k_1}\frac{\partial\mathbf{E}}{\partial t},\\
&\operatorname{rot}\mathbf{E} + k_3\frac{\partial\mathbf{B}}{\partial t} = 0,\\
&\operatorname{div}\mathbf{B} = 0.
\end{aligned} \tag{П.8}$$

Для областей без источников можно, комбинируя второе и третье уравнения, получить волновое уравнение

$$\nabla^2\mathbf{B} - k_3 \frac{k_2\alpha}{k_1} \frac{\partial^2\mathbf{B}}{\partial t^2} = 0. \qquad (\text{П}.9)$$

Скорость распространения волн, описываемых уравнением (П.9), определяется входящей в уравнение комбинацией констант. Как известно, эта скорость должна быть равна скорости света, так что

$$\frac{k_1}{k_3 k_2 \alpha} = c^2. \qquad (\text{П}.10)$$

Из (П.5) и (П.10) следует равенство

$$k_3 = \frac{1}{\alpha}, \qquad (\text{П}.11)$$

определяющее связь как размерностей, так и численных величин этих коэффициентов.

§ 3. Различные системы электромагнитных единиц

Системы электромагнитных единиц отличаются выбором величин и размерностей различных введенных выше констант. Из-за наличия соотношений (П.5) и (П.11) лишь две константы (например, k_1 и k_3) могут (и должны) выбираться произвольно. Целесообразно, однако, свести в таблицу все четыре константы (k_1, k_2, α, k_3) для наиболее употребительных систем единиц. Это и сделано в табл. 1. Заметим, что, за исключением размерностей величин, единицы в электромагнитной системе и системе МКС очень похожи: они различаются лишь степенями десяти. Гауссова система и система Хевисайда — Лоренца отличаются лишь множителями 4π. Лишь в гауссовой системе и в системе единиц Хевисайда — Лоренца коэффициент k_3 имеет размерность. Как очевидно из соотношения (П.7), если k_3 имеет размерность обратной скорости, то размерность векторов **E** и **B** одинакова. Более того, из соотношения (П.7) следует, что при $k_3 = c^{-1}$ для электромагнитных волн в свободном пространстве **E** и **B** равны по величине.

До сих пор рассматривались лишь электромагнитные поля в свободном пространстве. Поэтому мы ограничивались лишь двумя полями **E** и **B**. Остается еще определить характеристики макроскопических полей **D** и **H**. Если усредненные электромагнитные свойства материальной среды описывать макроскопической поля-

Таблица 1

Величины и размерности электромагнитных констант для различных систем единиц

Размерность константы указана в скобках после ее численного значения. Через c обозначена скорость света в свободном пространстве ($c = 2{,}998 \cdot 10^{10}$ *см/сек* $= 2{,}998 \cdot 10^{8}$ *м/сек*). В четырех первых системах единиц в качестве основных единиц (l, m, t) приняты сантиметр, грамм и секунда. В системе МКС используются четыре основные единицы: метр, килограмм, секунда и единица заряда (q).

Система	k_1	k_2	a	k_3
Электростатическая	1	c^{-2} $(t^2 l^{-2})$	1	1
Электромагнитная	c^2 $(l^2 t^{-2})$	1	1	1
Гауссова	1	c^{-2} $(t^2 l^{-2})$	c (lt^{-1})	c^{-1} (tl^{-1})
Хевисайда—Лоренца	$\frac{1}{4\pi}$	$\frac{1}{4\pi c^2}$ $(t^2 l^{-2})$	c (lt^{-1})	c^{-1} (tl^{-1})
Рационализированная МКС	$\frac{1}{4\pi\varepsilon_0} = 10^{-7} c^2$ $(ml^3 t^{-2} q^{-2})$	$\frac{\mu_0}{4\pi} = 10^{-7}$ (mlq^{-2})	1	1

ризацией **P** и намагниченностью **M**, то векторы **D** и **H** определяются общими формулами

$$\mathbf{D} = \varepsilon_0 \mathbf{E} + \lambda \mathbf{P},$$
$$\mathbf{H} = \frac{1}{\mu_0} \mathbf{B} - \lambda' \mathbf{M}, \qquad (\text{П}.12)$$

где ε_0, μ_0, λ, λ' — постоянные коэффициенты. Мы не получим никакого преимущества, если будем считать размерности величин **D** и **P** или **H** и **M** различными. Поэтому коэффициенты λ и λ' следует считать безразмерными числами (в рационализированных системах $\lambda = \lambda' = 1$, в нерационализированных $\lambda = \lambda' = 4\pi$). Что же касается выбора коэффициентов ε_0 и μ_0, то **D** и **P** можно считать отличающимися по размерности от **E**, а **H** и **M** отличающимися от **B**. Окончательный выбор коэффициентов производится, исходя из соображений удобства и простоты. Обычно стремятся придать макроскопическим уравнениям Максвелла относительно простую и изящную форму. Прежде чем перечислить возможные варианты указанного выбора, принятые в различных системах единиц, напом-

Таблица 2

Величины ε_0, μ_0, D, H, макроскопические уравнения Максвелла и силы Лоренца в различных системах единиц

В скобках указывается размерность величин. Через c обозначена скорость света, имеющая размерность (lt^{-1}).

Система	ε_0	μ_0	D, H	Макроскопические уравнения Максвелла	Сила Лоренца, действующая на единичный заряд
Электростатическая	1	c^{-2} (t^2l^{-2})	$\mathbf{D}=\mathbf{E}+4\pi\mathbf{P}$ $\mathbf{H}=c^2\mathbf{B}-4\pi\mathbf{M}$	$\operatorname{div}\mathbf{D}=4\pi\varrho,\ \operatorname{rot}\mathbf{H}=4\pi\mathbf{J}+\frac{\partial\mathbf{D}}{\partial t}$, $\operatorname{rot}\mathbf{E}+\frac{\partial\mathbf{B}}{\partial t}=0,\ \operatorname{div}\mathbf{B}=0$	$\mathbf{E}+\mathbf{v}\times\mathbf{B}$
Электромагнитная	c^{-2} (t^2l^{-2})	1	$\mathbf{D}=\frac{1}{c^2}\mathbf{E}+4\pi\mathbf{P}$ $\mathbf{H}=\mathbf{B}-4\pi\mathbf{M}$	$\operatorname{div}\mathbf{D}=4\pi\varrho,\ \operatorname{rot}\mathbf{H}=4\pi\mathbf{J}+\frac{\partial\mathbf{D}}{\partial t}$, $\operatorname{rot}\mathbf{E}+\frac{\partial\mathbf{B}}{\partial t}=0,\ \operatorname{div}\mathbf{B}=0$	$\mathbf{E}+\mathbf{v}\times\mathbf{B}$
Гауссова	1	1	$\mathbf{D}=\mathbf{E}+4\pi\mathbf{P}$ $\mathbf{H}=\mathbf{B}-4\pi\mathbf{M}$	$\operatorname{div}\mathbf{D}=4\pi\varrho,\ \operatorname{rot}\mathbf{H}=\frac{4\pi}{c}\mathbf{J}+\frac{1}{c}\frac{\partial\mathbf{D}}{\partial t}$, $\operatorname{rot}\mathbf{E}+\frac{1}{c}\frac{\partial\mathbf{B}}{\partial t}=0,\ \operatorname{div}\mathbf{B}=0$	$\mathbf{E}+\frac{\mathbf{v}}{c}\times\mathbf{B}$
Хевисайда — Лоренца	1	1	$\mathbf{D}=\mathbf{E}+\mathbf{P}$ $\mathbf{H}=\mathbf{B}-\mathbf{M}$	$\operatorname{div}\mathbf{D}=\varrho,\ \operatorname{rot}\mathbf{H}=\frac{1}{c}\left(\mathbf{J}+\frac{\partial\mathbf{D}}{\partial t}\right)$, $\operatorname{rot}\mathbf{E}+\frac{1}{c}\frac{\partial\mathbf{B}}{\partial t}=0,\ \operatorname{div}\mathbf{B}=0$	$\mathbf{E}+\frac{\mathbf{v}}{c}\times\mathbf{B}$
Рационализированная МКС	$\frac{10^7}{4\pi c^2}$ $(q^2t^2m^{-1}l^{-3})$	$4\pi\times10^{-7}$ (mlq^{-2})	$\mathbf{D}=\varepsilon_0\mathbf{E}+\mathbf{P}$ $\mathbf{H}=\frac{1}{\mu_0}\mathbf{B}-\mathbf{M}$	$\operatorname{div}\mathbf{D}=\varrho,\ \operatorname{rot}\mathbf{H}=\mathbf{J}+\frac{\partial\mathbf{D}}{\partial t}$, $\operatorname{rot}\mathbf{E}+\frac{\partial\mathbf{B}}{\partial t}=0,\ \operatorname{div}\mathbf{B}=0$	$\mathbf{E}+\mathbf{v}\times\mathbf{B}$

ним, что для линейных изотропных сред материальные соотношения имеют вид

$$\mathbf{D} = \varepsilon \mathbf{E}, \qquad \mathbf{B} = \mu \mathbf{H}. \tag{П.13}$$

Таким образом, постоянные ε_0 и μ_0 в уравнениях (П. 12) представляют собой значения ε и μ для свободного пространства. Относительная диэлектрическая проницаемость вещества (часто называемая диэлектрической постоянной) определяется как безразмерное отношение $\varepsilon/\varepsilon_0$, а относительная магнитная проницаемость (часто называемая просто проницаемостью) определяется как μ/μ_0.

В табл. 2 приведены значения ε_0 и μ_0, формулы, определяющие **D** и **H**, макроскопическая форма уравнений Максвелла и выражение для силы Лоренца в пяти наиболее употребительных системах единиц, перечисленных в табл. 1. Для каждой из систем единиц уравнение непрерывности, связывающее плотности токов и зарядов, имеет вид (П.1), как легко проверить, используя в каждом случае первые два уравнения Максвелла [1]). Закон Ома также записывается в одинаковом виде $\mathbf{J} = \sigma \mathbf{E}$ (σ — проводимость) во всех системах единиц.

§ 4. Перевод формул и численных значений величин из гауссовой системы единиц в систему МКС

В настоящее время наибольшее распространение получили две системы электромагнитных единиц: гауссова и рационализированная система МКС. Система МКС весьма удобна при рассмотрении практических крупномасштабных явлений, особенно в различных технических приложениях. Гауссова система более пригодна при исследовании микроскопических проблем, в том числе электродинамики отдельных заряженных частиц. Так как настоящая книга посвящена в основном микроскопическим релятивистским проблемам, мы считали целесообразным использовать в ней гауссову систему единиц. В гл. 8, посвященной волноводам и полым резонаторам, была предпринята попытка умиротворить и инженеров, для чего основные формулы записывались в таком виде, чтобы, опустив множители в квадратных скобках, мы сразу получали бы эквивалентное уравнение в системе МКС (при этом все величины следует, конечно, понимать выраженными в единицах системы МКС).

---

[1]) Иногда используют модифицированную гауссову систему единиц, в которой ток определяется соотношением $I = (1/c)(dq/dt)$. При этом плотность тока **J** в таблице следует заменить на $c\mathbf{J}$, а уравнение непрерывности принимает вид $\operatorname{div} \mathbf{J} + (1/c)(\partial\varrho/\partial t) = 0$ (см. также примечание к табл. 4).

Перевод из одной системы единиц в другую в общем случае может быть осуществлен с помощью табл. 3 и 4. Табл. 3 дает схему перевода *выражений* и *уравнений* и позволяет перевести любое уравнение из гауссовой системы в систему МКС, и наоборот. Имеются и более простые схемы, предназначенные лишь для перехода из системы МКС в гауссову; возможны также и другие общие схемы. Однако табл. 3 позволяет при неизменности всех механических величин сразу, без всякого добавочного рассмотрения, осуществлять перевод величин, встречающихся в электродинамике и механике (например, постоянной тонкой структуры $e^2/\hbar c$ или плазменной частоты $\omega_p^2 = 4\pi n e^2/m$).

В табл. 3 при переходе от одной системы к другой масса, длина, время и другие неэлектродинамические величины не изменяются.

Таблица 3

Таблица перевода выражений и формул из одной системы единиц в другую

Величина	Гауссова система	Рационализированная система МКС
Скорость света	c	$(\mu_0\varepsilon_0)^{-1/2}$
Напряженность электрического поля (потенциал, напряжение)	$\mathbf{E}$ (Φ, V)	$\sqrt{4\pi\varepsilon_0}\,\mathbf{E}$ (Φ, V)
Электрическая индукция	$\mathbf{D}$	$\sqrt{\frac{4\pi}{\varepsilon_0}}\,\mathbf{D}$
Плотность заряда (заряд, плотность тока, ток, поляризация)	ϱ (q, $\mathbf{J}$, I, $\mathbf{P}$)	$\frac{1}{\sqrt{4\pi\varepsilon_0}}\,\varrho$ (q, $\mathbf{J}$, I, $\mathbf{P}$)
Магнитная индукция	$\mathbf{B}$	$\sqrt{\frac{4\pi}{\mu_0}}\,\mathbf{B}$
Напряженность магнитного поля	$\mathbf{H}$	$\sqrt{4\pi\mu_0}\,\mathbf{H}$
Намагниченность	$\mathbf{M}$	$\sqrt{\frac{\mu_0}{4\pi}}\,\mathbf{M}$
Проводимость	σ	$\frac{\sigma}{4\pi\varepsilon_0}$
Диэлектрическая проницаемость	ε	$\frac{\varepsilon}{\varepsilon_0}$
Магнитная проницаемость	μ	$\frac{\mu}{\mu_0}$
Сопротивление (импеданс)	R (Z)	$4\pi\varepsilon_0 R$ (Z)
Индуктивность	L	$4\pi\varepsilon_0 L$
Емкость	C	$\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\,C$

Чтобы с помощью табл. 3 преобразовать любое уравнение, записанное в гауссовой системе единиц, в уравнение в системе МКС, следует в обеих частях уравнения заменить символы, перечисленные в столбце «гауссова система», на соответствующие символы системы МКС, помещенные в правом столбце. Допустимо и обратное преобразование. Так как длина и время не изменяются при переходе к другой системе, величины, размерности которых отличаются лишь степенями длины и времени, по возможности сгруппированы вместе.

Табл. 4. для перевода единиц позволяет перевести численное значение любой физической величины из системы единиц МКС в гауссову и обратно. Табл. 4 составлена так, что по известному значению рассматриваемой физической величины, выраженной в единицах МКС или в гауссовых единицах, можно определить ее значение в единицах другой системы. Таким образом, значения, приводимые в каждой строке, представляют одно и то же количество, выраженное в различных единицах. Множители 3 (кроме входящих в показатели степени) следует при уточненных расчетах заменить на (2,997930 $\pm$ $\pm$ 0,000003) в соответствии с точным значением скорости света. Так, например, в строке «электрическая индукция» точное значение приведенной величины $12\pi \cdot 10^5$ в действительности равно ($2{,}99793 \times$ $\times 4\pi \cdot 10^5$). В тех случаях, когда существует общепринятое наименование единиц, оно приведено в таблице. В остальных случаях говорят просто о числе единиц МКС или гауссовых единиц.

Таблица 4

Таблица перевода численных значений физических величин

Физическая величина	Обозначение	Рационализированная система МКС	Гауссова система
Длина	l	1 метр (*м*)	10^2 *см*
Масса	m	1 килограмм (*кг*)	10^3 *г*
Время	t	1 секунда (*сек*)	1 *сек*
Сила	F	1 ньютон (*н*)	10^5 *дин*
Работа Энергия	W U	1 джоуль (*дж*)	10^7 *эрг*
Мощность	P	1 ватт (*вт*)	10^7 *эрг·сек*$^{-1}$
Заряд	q	1 кулон (*к*)	$3 \cdot 10^9$ *статкулон*
Плотность заряда	ϱ	1 кулон·метр$^{-3}$	$3 \cdot 10^3$ *статкулон·см*$^{-3}$
Ток	I	1 ампер (*а*) (*к·сек*$^{-1}$)	$3 \cdot 10^9$ *статампер*
Плотность тока	J	1 ампер·метр$^{-2}$	$3 \cdot 10^5$ *статампер·см*$^{-2}$
Напряженность электрического поля	E	1 вольт·метр$^{-1}$	$\frac{1}{3} \cdot 10^{-4}$ *статвольт·см*$^{-1}$

Продолжение табл. 4

Физическая величина	Обозначение	Рационализированная система МКС	Гауссова система
Потенциал	Φ, V	1 вольт (*в*)	$\frac{1}{300}$ *статвольт*
Диэлектрическая поляризация	P	1 кулон·метр$^{-2}$	$3\cdot10^5$ *статкулон·см*$^{-2}$ (*статвольт·см*$^{-1}$)
Электрическая индукция	D	1 кулон·метр$^{-2}$	$12\pi\cdot10^5$ *статвольт·см*$^{-1}$ (*статкулон·см*$^{-2}$)
Проводимость	σ	1 *ом*$^{-1}$·*м*$^{-1}$	$9\cdot10^9$ *сек*$^{-1}$
Сопротивление	R	1 *ом*	$\frac{1}{9}\cdot10^{-11}$ *сек·см*$^{-1}$
Емкость	C	1 фарада (*ф*)	$9\cdot10^{11}$ *см*
Магнитный поток	φ, F	1 вебер (*вб*)	10^8 *гаусс·см*^{2} (*максвелл*)
Магнитная индукция	B	1 вебер·метр$^{-2}$	10^4 *гаусс*
Напряженность магнитного поля	H	1 ампер-виток·метр$^{-1}$	$4\pi\cdot10^{-3}$ *эрстед*
Намагниченность	M	1 вебер·метр$^{-2}$	$\frac{1}{4\pi}\cdot10^4$ *гаусс*
Индуктивность	L	1 генри (*гн*)	$\frac{1}{9}\cdot10^{-11}$

Примечание. В определении единицы измерения индуктивности в гауссовой системе существует некоторая путаница. Она связана с тем, что ряд авторов использует модифицированную гауссову систему единиц, в которой ток измеряется в электромагнитных единицах. При этом заряд и ток связаны соотношением $I_m=(1/c)(dq/dt)$.

Индуктивность определяется соотношением для наведенного напряжения $V=L\,dI/dt$ или для энергии $U={}^1/_2LI^2$ При принятом в § 2 определении единицы тока гауссова единица индуктивности по величине и размерности (t^2l^{-1}) совпадает с электростатической единицей индуктивности. Ток в электромагнитных единицах I_m связан с током в I гауссовой системе соотношением $I_m=(1/c)\,I$. Из энергетического определения индуктивности мы видим, что электромагнитная индуктивность L_m связана с гауссовой индуктивностью L соотношением $L_m=c^2L$. Таким образом, L_m имеет размерность длины. В модифицированной гауссовой системе обычно используются электромагнитные единицы индуктивности (*см*) и тока. При этом соотношение, связывающее индуктивность и напряжение, имеет вид $V=(L_m/c)(dI_m/dt)$.

Между различными единицами индуктивности существует следующее соотношение: 1 *гн* $={}^1/_9\cdot10^{-11}$ гауссовых единиц $=10^9$ *см*.