

Закон Кулона и размерности электромагнитных величин

А.К. Юхимец E-mail: Anatoly.Yuhimec@Gmail.com

Как известно, первым законом, установленным экспериментально при исследовании электрических явлений, был закон Кулона (1785г.). С его помощью можно определять силу взаимодействия, возникающую между двумя неподвижными точечными электрическими зарядами. Для зарядов в вакууме сегодня в системе СИ он записывается

$$\text{как} \quad F = \frac{q_1 q_2}{4\pi \epsilon_0 r^2}, \quad (1)$$

где: q_1 и q_2 – величина зарядов; r – расстояние между ними; ϵ_0 – электрическая постоянная вакуума.

Для одноимённых зарядов – это сила отталкивания, существующая между ними, а для разноимённых зарядов – это сила притяжения.

Этот закон мы узнаём ещё в школе. Именно от него исторически и получил своё развитие весь последующий электромагнетизм. Но самое главное, на что хотелось бы обратить особое внимание, – все размерности величин в истинно *физической* системе единиц (системе Гаусса), определяющие электромагнитные явления, берут своё начало именно от этого закона.

Так как вначале величина $\frac{1}{4\pi \epsilon_0}$ была записана просто как k , закон Кулона в таком виде

был удивительно похож на давно уже известный к тому времени закон Ньютона для силы взаимодействия между двумя телами с определёнными массами (1687г.). И хотя сами электрические явления были известны уже давно, электрические заряды, с которыми велись исследования, были всё же чем-то новым и специфическим, их нельзя было увидеть, но можно было измерить количественно. Однако они не имели никакой *физической* размерности. Поэтому зарядам физическую размерность решили просто *назначить*, исходя из закона Кулона и его схожести с законом Ньютона, приняв величину k безразмерной. А чтобы придать зарядам какое-то *численное* значение, величину k приняли за единицу. Отсюда закон Кулона получил вид

$$F = \frac{q_1 q_2}{r^2}, \quad (2)$$

а заряды – размерность $\frac{c^{1/2} \text{см}^{3/2}}{\text{сек}}$ в гауссовской системе СГСЭ_q.

Такая размерность электрического заряда с физической точки зрения выглядит совершенно *противоестественно*. Ведь, действительно, невозможно понять какой физический смысл может иметь длина или масса с дробным показателем степени. Однако от этой размерности зарядов получили свои размерности и все другие *физические* величины всей разработанной впоследствии электромагнитной теории. Это делает совершенно непостижимой саму *физическую сущность* электромагнитных явлений. Но учёные почему-то не придали этому серьёзного значения и отнесли всё к самой специфике явлений, а не к тому произволу, который допустили сами.

Когда устанавливался закон Кулона, то, что было сделано вначале, можно было принять как нечто временно неизбежное. Однако после того, как была установлена *дискретность* электрических зарядов (1897 г.), значительно логичнее выглядит несколько иной подход к установлению физических размерностей в электромагнитной теории. А это, в свою очередь, открывает дорогу и для новой трактовки, как самой теории, так и для прояснения физической сущности самих её явлений.

Анализируя размерности различных физических величин, мы будем использовать систему СГС, как наиболее полно выражающую *физическую суть* самой величины. Её единиц будет вполне достаточно для выражения любого физического параметра при

описании любых движений материи, так как ничего кроме *массы и её движений* в мире, вероятнее всего, просто не существует. По крайней мере, об этом свидетельствуют все известные сегодня науке факты.

После необходимых предварительных общих замечаний приступим непосредственно к рассмотрению величин электромагнитных.

Напомним, прежде всего, о том, что уже в 1897г. был открыт электрон как носитель некоторого элементарного и неделимого заряда. И так как было известно, что заряды бывают двух знаков, то заряд электрона назвали отрицательным. В общем же случае, когда знак заряда нас интересовать не будет, элементарный заряд мы будем обозначать просто как e . Все остальные заряды, с которыми приходится иметь дело, кратны некоторому целому числу элементарных зарядов.

Как было ясно ещё М. Фарадею, электрический заряд сообщает окружающему его пространству определённое локальное свойство. Мы говорим, что он создаёт вокруг себя физическое поле электрической напряжённости. Так как это поле по-разному действует на положительные и отрицательные заряды, то оно по своей сути является полем электрической *поляризации эфира*. В веществе и в вакууме это поле проявляется не одинаково. Поэтому далее мы будем рассматривать лишь электромагнитные явления в вакууме.

Сегодня в физике электрическая напряжённость чаще всего обозначается буквой E и для какого-либо заряда q определяется по формуле

$$E = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2}, \quad (3)$$

где r – расстояние от заряда до точки, в которой определяется создаваемая им напряжённость.

В соответствии с принятой размерностью заряда, размерность E записывается как $\frac{г}{см^{1/2}}$. Тогда сила, действующая от заряда q на элементарный заряд e , определяется

через E как

$$F = Ee = \frac{qe}{4\pi\epsilon_0 r^2}. \quad (4)$$

И тогда *физическая* размерность E должна быть

$$\frac{\text{дина}}{\text{размерность_заряда}} = \frac{\text{гсм}}{\text{сек}^2 \cdot \text{размерность_}e} = \frac{\text{гсм}}{\text{сек}^2 e}. \quad (5)$$

Для простоты и удобства в (5) мы выражение «размерность e » заменили просто символом e . И он означает не численное значение заряда, а именно то, что сила отнесена к элементарному заряду (иначе, действует на элементарный единичный заряд).

Из формул (1) и (3) видно, что размерность заряда и электрической постоянной вакуума взаимосвязаны. При этом и размерность e и размерность ϵ_0 должны выражать их определённую физическую суть. Размерность заряда должна выражать лишь то, что непосредственно связано с ним, а размерность ϵ_0 должна быть связана со свойствами среды вакуума. Поэтому принимать величину ϵ_0 за безразмерную, ничего не оговаривая при этом, было со стороны физиков большой оплошностью. Правда, было сказано, что это и является определением размерности заряда. Но то, что и ϵ_0 оказалась при этом как бы лишённой физического смысла и размерность заряда абсурдной, должно было физиков насторожить. Однако после создания Д.К. Максвеллом электромагнитной теории (1867г.) и полной увязки в ней размерностей всех получившихся при этом величин, ведущие физики того времени решили, что больше ничего и не надо. И хотя в дальнейшем заряду присвоили размерность *кулон (Кл)*, а величине ϵ_0 – размерность *фарада*, делённая на *метр (Ф/м)*, это несколько не изменило сложившегося положения, так как это не есть *физические* размерности. Это замечание относится и к другим электромагнитным величинам, таким как *ампер (А)*, *вольт (В)*, *тесла (Тл)* и другим.

Так как эфир обладает плотностью и напряжённостью, то уже это говорит о том, что в размерность e_0 должны входить и g , и $см$, и $сек$. А в соответствии с изложенным выше, можно сразу же сказать, что заряд, конечно же, не может быть точечным, ибо при этом возникает масса неувязок. Это обязательно должно быть некоторое *объёмное состояние движения* физической среды.

Хорошо известно также, что сила электрического взаимодействия между заряженными частицами не зависит от их массы, а зависит лишь от количества взаимодействующих зарядов. Поэтому размерность массы может и не входить в размерность заряда. А так как и величина заряда и создаваемое им статическое поле электрической напряжённости не изменяется во времени, то и размерность времени также может не входить в размерность заряда. Отсюда легко можно сделать вывод, что собственно неотъемлемым качественным параметром заряда могла бы быть лишь его некоторая *геометрическая* характеристика, например, $см^2$ или $см^3$. И это уже могло бы иметь довольно чёткий физический смысл. Но рассмотрим вопрос всё же несколько детальнее.

Заряд поляризует окружающее его пространство, т.е. создает вокруг себя *объёмное силовое поле* электрической напряжённости. Оно, как сегодня считается, как бы растекается сферически *от объёма* или *от поверхности* самого заряда. И так как неподвижный заряд создаёт, опять же как сегодня считается, стационарное электрическое поле и сам при этом полностью сохраняется, то, следовательно, он ничего и не отдаёт от себя вовне. Поэтому ни масса, ни время, действительно, могут и не входить в его размерность. Заряд, действительно, как бы действует на окружающую его среду или своим объёмом, или от своей поверхности. Но всё же правильнее будет сказать, что он действует на своё окружение *своим внутренним движением*, при этом количественно сохраняя его в себе.

Лишь условно мы можем считать заряд как нечто целое неподвижным, так же, как и его поле стационарным. И хотя он внешне может быть в покое, «внутри» его происходит определённое *структурированное движение*. Являясь открытой *динамической структурой*, он, в то же время, находится в динамическом равновесии с окружением. Именно это и позволяет заряду сохраняться. А квазистатическая поляризация среды вокруг заряда и есть внешнее динамическое воздействие на структуру движения самого заряда. Это реакция среды на внутреннее движение в «объёме заряда». Но так как ни заряд не существует без своего внешнего поля, ни оно без своего внутреннего источника, то с необходимостью следует признать, что они составляют некоторое диалектическое единство, которое мы только и вправе назвать зарядом.

Обратимся снова к формуле (5). Теперь, казалось бы, мы можем подставить в неё размерность заряда в $см^2$ или в $см^3$, но это будет неправильно, и вот почему. Электрическая напряжённость, хотя и создаётся как бы во всём объёме пространства вокруг заряда, но это всё же есть некоторая структурированная *форма движения* эфира вокруг заряда. И мы пока ничего не знаем о структуре, о форме этого движения. К тому же это структурированное движение, создающее то, что мы называем поляризованной напряжённостью, действует не просто на $см^2$ или $см^3$ пространства как такового. Оно действует как бы через поверхность на объём, занятый *движением* внесённого в электрическое поле заряда, а ещё точнее - *непосредственно на само движение* «внутри» внесённого заряда, изменяя структуру его движения. В результате этого у внесённого заряда появляется внешнее движение.

Из новой трактовки СТО [1] стало понятно, что любая частица или тело своей возбуждённой (активной) массой участвует в некотором структурированном движении. В общем случае оно состоит из некоторой *абсолютной формы* как его внутреннего движения, так и его внешнего движения в неподвижном в целом эфире. Именно изменение всей в целом *формы движения* заряда, находящегося в поле другого заряда, и заставляет внесённый заряд смещаться в ту, или иную сторону в зависимости от

поляризованной напряжённости поля и, как мы считаем, знака внесенного заряда. Это и есть проявление силового *взаимодействия* поля и заряда.

Здесь уместно будет добавить, что, так как все формы элементарных движений в природе носят волновой характер, то, следовательно, взаимодействие полевого движения и внутреннего движения заряда есть результат *суперпозиции* этих волновых движений. Кроме того, нетрудно также сделать вывод, что знак самого электрического заряда прямо зависит от *формы движения* «внутри» его. Поляризация среды, её направленность также определяется той *формой её движения*, которая окружает заряд и находится в динамическом равновесии с *формой движения* «внутри» самого заряда. Поэтому вполне логично предположить, что понятие заряда, прежде всего, должно говорить о некоторой единичной элементарной *структуре* того *движения*, которое создаёт вокруг себя поляризованную напряжённость в среде, а также реагирует на неё определённым образом. Исходя из этого, будем считать, что когда мы имеем дело с *зарядом*, то мы просто имеем дело с некоторой *безразмерной фундаментальной единичной структурой локализованного волнового движения некоторой массы и её окружением*.

Чтобы только что сказанное было ещё более понятным, приведём такой пример. Мы можем взять в руки яблоко, теннисный мяч, бильярдный шар и тому подобное. Любое из этих понятий не имеет какой-то определённой размерности. Оно характеризует вещь или его структуру *в целом*, хотя все они имеют и определённую поверхность, и объём, и массу, и другие характеристики. Точно так же понятие заряда характеризует некоторую *сложную структуру* пространственно локализованных, самосохраняющихся, взаимозависимых *движений* среды в целом. Именно поэтому загадка заряда так долго не поддавалась разрешению. А теперь мы изменим подход к этому понятию *принципиально*. И это открывает для нас новые возможности в познании его *физической сущности*.

Здесь интересно также отметить то, что, как показала СТО, заряд является инвариантом. То-есть, его численное значение не изменяется при переходе от одной системы отсчёта к другой. И это тоже говорит в пользу того, что элементарный заряд является некоторой единичной *структурой* движения среды. Неделимость заряда также говорит об этом. Не может быть половины или полторы единичной структуры. Она или есть целиком или её нет.

Сегодня мы со всей очевидностью должны осознать, что в истинно *физической* системе электромагнитных величин самым *естественным* будет принять численное значение заряда электрона (*элементарного заряда*) просто за единицу. Тогда закон

Кулона для вакуума можно записать как

$$F = \frac{n_1 e \cdot n_2 e}{4\pi e_0 r^2}, \quad (6)$$

где: $n_1 e$ и $n_2 e$ – взаимодействующие заряды, выраженные через количество *элементарных зарядов* в них; e_0 – электрическая постоянная вакуума; r – расстояние между зарядами. А сила взаимодействия между двумя *единичными* зарядами запишется просто как

$$F = \frac{1e^2}{4\pi e_0 r^2}. \quad (7)$$

Только нужно оговориться, что величина e_0 не есть той же, что в системе единиц СИ. Для такой записи закона Кулона её нужно определить заново, что мы и сделаем чуть позже в системе СГС. При этом мы раскроем и её физический смысл. А пока продолжим рассмотрение вопроса о размерностях различных электромагнитных величин.

Исходя из сказанного выше, размерность напряжённости E , создаваемой зарядом на расстоянии r от него, можно записать как $\frac{2 \cdot \text{см}}{\text{сек}^2 e}$. И это следует понимать так, что в поле напряжённости E , созданной зарядом, сила действует на другой заряд, выраженный через *единичный* (элементарный) заряд, на структуру его движения в целом.

Определившись с тем, что заряд следует считать величиной *безразмерной*, из формулы (7) найдём, что *электрическую постоянную* правильнее записывать как $1/e_0$ и её размерность будет $\frac{гсм \cdot см^2}{сек^2 e^2} = \frac{дина \cdot см^2}{e^2}$. И сразу же становится понятным её физический смысл. Это некоторый *квант потока поляризованной силы от одного единичного заряда к другому единичному заряду*. А закон Кулона говорит, что этот поток убывает обратно пропорционально квадрату расстояния между зарядами, т.е. по закону обратных квадратов.

Так как скорость света мы определяем как $c = \frac{1}{e_0 m_0}$, где величина m_0 есть *магнитная постоянная* вакуума, то, исходя из этого, её размерность будет $г \cdot см / e^2$. И она характеризует способность эфира индуцировать в своём движении на фундаментальном уровне вращательное движение от заряда к заряду. Как мы увидим далее, обе эти величины напрямую связаны с постоянной Планка.

Размерности остальных величин, используемых в электродинамике Максвелла, найдём непосредственно из уравнений этой теории. Например, размерность магнитной индукции B можно найти из уравнения $rot E = -\frac{\partial B}{\partial t}$. И так как размерность ротора E в нашем случае будет равна $\frac{г}{сек^2 e}$, то размерность B будет $\frac{г}{сек \cdot e}$. Эта величина характеризует интенсивность возбуждения (вращения) массы эфира, исходящей от единичной зарядовой структуры или приходящейся на неё. Магнитная индукция распространяется, как мы увидим далее, потоками. Сами же потоки, связанные с вещественной массой, также носят квантовый характер, а элементарный поток B (квант потока магнитной индукции Φ_0 , приходящийся на единичный заряд) как раз имеет размерность $\frac{г \cdot см^2}{сек \cdot e}$ и численно равен величине $h/2$, где h и есть постоянная Планка.

Далее из уравнения $c^2 rot B = \frac{j}{e_0}$ находим, что плотность электрического тока j имеет размерность $e / сек \cdot см^2$. А сам электрический ток i имеет размерность $e / сек$. Таким образом, *физическая* размерность принятой единицы тока *ампер (А)* должна быть прежде всего $e / сек$, т.е. *элементарных зарядов* в секунду.

Определим размерности и численное значение всех электромагнитных величин.

Начнём с единицы электричества. И так как заряд электрона в системе СИ численно равен $1e = 1,6021892 \cdot 10^{-19} Кл$, то отсюда $1Кл = 6,24146 \cdot 10^{18} e$, т.е. содержит столько

элементарных зарядов. А 1 заряд в СГСЭ равен $\frac{1Кл}{3 \cdot 10^9} = 2,0804866 \cdot 10^9 e$.

Тогда единица силы тока $1А = \frac{1Кл}{1сек} = 6,24146 \cdot 10^{18} \frac{e}{сек}$.

Далее $1Дж = 1 \frac{кг \cdot м^2}{сек^2} = 10^7 \frac{г \cdot см^2}{сек^2}$ (эрг), $1Вт = 1 \frac{Дж}{сек} = 1 \frac{кг \cdot м^2}{сек^2 \cdot сек} = 10^7 \frac{эрг}{сек}$.

А так как $1Вт = 1В \cdot 1А$, то отсюда

$1В = 1,6021892 \cdot 10^{-12} \frac{г \cdot см^2}{сек^2 e}$ (эрг / e) = $1,6021892 \cdot 10^{-19} Дж / e = 1Дж / Кл$.

Ёмкость выражается в *фарадах (Ф)* и

$1Ф = \frac{1Кл}{1В} = 3,8955823 \cdot 10^{30} \frac{сек^2 \cdot e^2}{г \cdot см^2} (e^2 / эрг) = 3,8955823 \cdot 10^{37} e^2 / Дж = 1Кл^2 / Дж$.

Электрическое сопротивление

$$1Oм = \frac{1B}{1A} = 2,56701 \cdot 10^{-31} \frac{г \cdot см^2}{сек \cdot e^2} = 2,56701 \cdot 10^{-38} \frac{кг \cdot м^2}{сек \cdot e^2} = 1 \frac{кгм^2}{сек \cdot Кл^2}.$$

Поток магнитной индукции выражается в *вебер* ($Bб$) и

$$1Bб = 1B \cdot 1сек = 1Кл \cdot 1Oм = 1,6021892 \cdot 10^{-12} \frac{г \cdot см^2}{сек \cdot e} = 1,6021892 \cdot 10^{-19} \frac{кг \cdot м^2}{сек \cdot e} = 1 \frac{кгм^2}{секКл}.$$

Кроме того, магнитный поток иногда выражают в *максвеллах* ($Mкс$) и при этом

$$1Bб = 10^8 Mкс.$$

Сама же магнитная индукция в *тесла* ($Tл$) будет

$$1Tл = 1Bб / 1м^2 = 1,6021892 \cdot 10^{-8} \frac{г}{сек \cdot e} = 1,6021892 \cdot 10^{-11} \frac{кг}{сек \cdot e} = 10^4 Гс (гаусс).$$

$$\text{Откуда } 1Гс = 1,6021892 \cdot 10^{-12} \frac{г}{сек \cdot e} = 1,6021892 \cdot 10^{-15} \frac{кг}{сек \cdot e} = 10^4 \frac{кг}{секКл}.$$

Индуктивность выражается в *генри* ($Гн$) и

$$1Гн = \frac{1Bб}{1A} = 2,56701 \cdot 10^{-31} \frac{гсм^2}{e^2} = 2,56701 \cdot 10^{-38} \frac{кгм^2}{e^2} = 1 \frac{кгм^2}{Кл^2}.$$

Магнитная напряжённость выражается в *эрстед* (\mathcal{E}) и

$$1\mathcal{E} = (1/4\pi) \cdot 10^3 \frac{A}{м} = 4,9668 \cdot 10^{18} \frac{e}{сек \cdot см} = 4,9668 \cdot 10^{20} \frac{e}{сек \cdot м} = 79,5775 \frac{Кл}{сек \cdot м}.$$

Электрическая проводимость выражается в *сименс* ($См$) и

$$1См = 1A/1B = 3,8955823 \cdot 10^{30} \frac{сек \cdot e^2}{г \cdot см^2} = 3,8955823 \cdot 10^{37} \frac{сек \cdot e^2}{кг \cdot м^2} = 1 \frac{секКл^2}{кг \cdot м^2}.$$

Сегодня в физике элементарных частиц широко используется внесистемная единица измерения энергии *электронвольт* ($\mathcal{E}B$, eV). И так как $1B = 1,6021892 \cdot 10^{-19} \text{ Дж} / e$, то отсюда $1\mathcal{E}B = 1,6021892 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$.

Но вернёмся ещё раз к тому простому факту, что так как элементарный заряд является *структурой движения* среды, то он не имеет никакой физической размерности. Он просто равен единице. Но эту единицу в виде символа e нужно вносить в размерность той или иной электромагнитной величины, чтобы был ясен её физический смысл и чтобы не ошибиться в размерностях. Кроме того, когда в формуле присутствует величина заряда, то символ e иногда следует вносить и в запись самой формулы, как это сделано в (6) и (7).

Но вернёмся ещё раз к формуле (6) и распишем её как

$$F = \frac{n_1 e \cdot n_2 e}{4\pi e_0 r^2} = \frac{n_1 n_2 e^2 \mathbf{hca}}{r^2}. \quad (8)$$

Из последней записи видно, что в нашем случае электрическая постоянная для

$$\text{вакуума равна } e_0 = \frac{1}{4\pi \cdot \mathbf{hca}}, \text{ или } \frac{1}{e_0} = 8\pi \cdot m_e r_0 c^2 \left[\frac{\text{дин} \cdot \text{см}^2}{e^2} \right], \quad (9)$$

где m_e - масса электрона в $г$, а $r_0 = r_e a$, где r_e - радиус спинового вращения массы в электроне в $см$. Скорость света c также в $см/сек$.

Если снова посмотреть на формулу (1), где записан закон Кулона в СИ, то теперь её тоже можно записать как

$$F = \frac{q_1 q_2}{4\pi e_0 r^2} = \frac{n_1 Кл \cdot n_2 Кл}{4\pi e_0 r^2}, \quad (10)$$

где заряды выражаются в *кулонах* ($q = nКл$), r в $м$, а e_0 выражена в $\Phi/м$. Её численное значение равно $e_0 = 8,85418782 \cdot 10^{-12} [\Phi/м]$. Но выше мы нашли, что $1\Phi = 1Кл^2 / \text{Дж}$. Тогда $1\Phi/м = 1Кл^2 / \text{Дж} \cdot м = 1Кл^2 / Н \cdot м^2$ и $e_0 = 8,85418782 \cdot 10^{-12} [Кл^2 / Н \cdot м^2]$.

Численное значение электрической постоянной в формуле (8)

$e_0 = 3,4492217 \cdot 10^{17} [e^2 / \text{дин} \cdot \text{см}^2]$. А так как $1e = 1,6021892 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$, $1\text{дина} = 10^{-5} \text{ Н}$ и $1\text{см}^2 = 10^{-4} \text{ м}^2$, то отсюда

$$e_0 = 3,4492217 \cdot 10^{17} \frac{e^2}{\text{дин} \cdot \text{см}^2} \cdot (1,6021892 \cdot 10^{-19})^2 \frac{\text{Кл}^2}{e^2} \cdot 10^9 \frac{\text{дин} \cdot \text{см}^2}{\text{Н} \cdot \text{м}^2} = 8,85418782 \cdot 10^{-12} \frac{\text{Кл}^2}{\text{Н} \cdot \text{м}^2}$$

Мы тем самым сделали перевод значения e_0 из одной системы размерностей в другую.

Выводы.

Таким образом, мы наглядно убедились, что природной единицей заряда является безразмерная величина *элементарный заряд* ($1e$). Величина 1Кл является искусственно привнесенной нами. А размерности всех электромагнитных величин говорят нам о том, что все они, в конечном счёте, действуют между элементарными зарядами.

Так как заряд является структурой движения физической среды, то это говорит о том, что в природе не существует никаких кварков с дробным зарядом. А то, что сегодня разработана целая кварковая теория говорит о том, что чисто математическим путём можно разработать псевдофизическую теорию о том, чего в природе просто не существует. И при этом придать ей некоторый правдоподобный вид.

В статье говорится о физической среде вакуума. Но в принципе речь идёт о некоторой мировой среде в целом. Этой среде следует вернуть её историческое название *эфир*. Сегодня уже многие физики склоняются к тому, что *вакуум физический* (ВФ) и эфир практически означают одно и то же. Но это не совсем правильно, так как ВФ является всего лишь некоторым *состоянием движения* эфира. Поэтому он никак не может заменить собой весь эфир в целом.

Ссылки.

1. Физическая сущность СТО (общедоступное изложение без противоречий и парадоксов) <http://sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/9641.html>