

Векторный потенциал и природа электрического заряда

И. Мисюченко (ruberoid2101@yandex.ru)

Санкт-Петербург, 20.02.2015

Не секрет, что природа так называемого электрического заряда [2] до сих пор не раскрыта наукой и физика полагает заряд элементарных частиц неким «богом данным» загадочным свойством материи. С макроскопическими зарядами дело обстоит полегче – давно выяснено, что любой макроскопический заряд тела кратен «элементарному заряду» и, следовательно, образован просто тем или иным количеством элементарных заряженных частиц. Доселе физики не умеют создавать электрические заряды иначе как перемещая с одного тела на другое то или иное количество уже созданных природой микроскопических «элементарных» зарядов. Соответственно, любой, создаваемый сегодня заряд тел «квантован», т.е. обязательно кратен целому (пусть и огромному) числу элементарных зарядов. Но такова ли неизбежность? В самом ли деле нам не под силу проникнуть хоть чуть глубже в тайну природы электрического заряда и научиться создавать произвольный (не обязательно кратный «элементарному») заряд тел?

Рассмотрим простую электромеханическую систему, состоящую из положительного заряда, расположенного в начале координат и ровно такого же по величине отрицательного заряда, равномерно вращающегося по кругу вокруг положительного (рис.1). Не правда ли, напоминает Боровскую модель атома водорода?

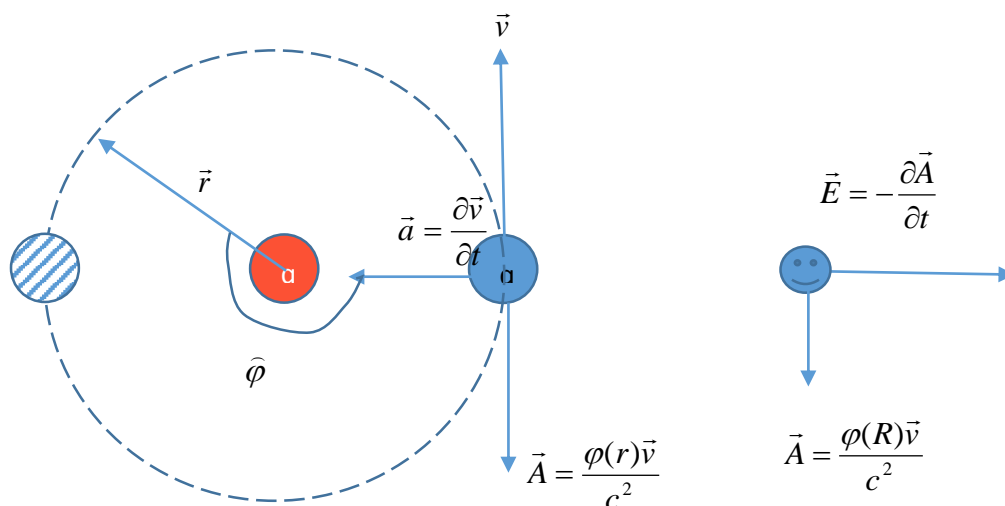


Рис. 1. Система из двух связанных противоположных зарядов и создаваемое ею в точке наблюдения электрическое поле

Пусть в нашей системе отрицательно заряженная зарядом q частица движется с тангенциальной скоростью \vec{v} по окружности радиуса r . Тогда эта частица является элементарным током и создаёт в окружающем её пространстве векторный потенциал:

$$(1) \quad \vec{A} = \frac{\phi \vec{v}}{c^2} = \frac{q \vec{v}}{4\pi\epsilon_0 r c^2}$$

Отметим попутно, что вторая частица, поскольку она неподвижна, током не является и не создаёт векторного потенциала. Зато она прекрасно компенсирует обычное электростатическое поле движущегося по кругу заряда. Известно, что изменение векторного потенциала во времени создаёт электрическое поле индукции по закону [3]:

$$(2) \quad \vec{E} = -\frac{\partial \vec{A}}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial t} \frac{q \vec{v}}{4\pi\epsilon_0 r c^2}$$

Поскольку для частицы в нерелятивистском приближении от времени зависят только две физические величины: скорость \vec{v} и расстояние r до точки наблюдения, то полная производная векторного потенциала по времени будет выглядеть как:

$$(3) \quad \frac{\partial \vec{A}}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{q \vec{v}}{4\pi\epsilon_0 r c^2} \right) = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r c^2} \frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + \frac{q \vec{v}}{4\pi\epsilon_0 c^2} \cdot \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{1}{r} \right) = \frac{\mu_0 q}{4\pi} \cdot \left(\frac{\vec{a}}{r} + \vec{v} \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{1}{r} \right) \right)$$

Рассмотрим пока только первый член в скобках, опуская второй, так как из общих соображений понятно, что он убывает с расстоянием быстрее, чем первый. Учтём, что производная скорости по времени есть просто-напросто ускорение $\frac{\partial \vec{v}}{\partial t} = \vec{a}$.

Тогда (2) с учётом вышесказанного преобразуется в дальней от системы зоне в вид:

$$(4) \quad \vec{E} = -\frac{\partial \vec{A}}{\partial t} = -\frac{\mu_0 q}{4\pi r} \frac{\partial \vec{v}}{\partial t} = -\frac{\mu_0 q}{4\pi r} \vec{a}$$

То есть видим, что электрическое поле индукции прямо пропорционально ускорению движущейся заряженной частицы и её заряду. Теперь вспомним, что по мере движения частица рано или поздно перейдёт из правого положения на рис. 1 в левое (заштрихованное) положение и её ускорение станет противоположно направленным. Это вызовет смену направления электрического поля индукции на противоположное, согласно (4). Но при этом и расстояние до точки наблюдения увеличится на диаметр орбиты частицы, что приведёт к некоторому ослаблению «противополя» индукции в левом положении частицы и в итоге к отличию от нуля *среднего* значения поля индукции (4) *за оборот*. В то же время самое верхнее (по рисунку 1) и самое нижнее положения создают ровно противоположное поле индукции и, следовательно, вклад в результирующее за оборот (среднее) поле не вносят. Уже из сказанного, даже не прибегая к расчётам можно сделать вывод, что результирующее поле индукции будет убывать по модулю как квадрат расстояния, а по направлению будет радиальным. Вспомним также, что система наша в электростатическом смысле представляет собой диполь, чьё электростатическое

поле убывает как куб расстояния [1]. Следовательно, есть и такое расстояние, на котором электростатическое поле становится исчезающе малым, а заметным остаётся только то самое поле индукции, которое мы только что обнаружили. Следовательно, построенная нами электромеханическая система издалека должна выглядеть просто как заряженное неким слабым зарядом тело. Хотя изначально полный заряд (сумма положительного и отрицательного зарядов частиц) этой системы был нулевым. Разумеется, поскольку мы не накладывали никаких ограничений на ускорение движущейся частицы в системе, то даже при квантованном заряде самих исходных частиц наш индуцированный движением «искусственный» заряд будет каким угодно, в т. ч. и некратным «элементарному».

Перейдем теперь от качественных рассуждений к более строгим и формальным и попытаемся получить вначале электрическое поле снаружи нашей системы и затем оценить «искусственный» заряд, возникающий в такой системе. Мы уже получили выражение (4) описывающее мгновенное значение электрического поля индукции. Вычислим теперь *среднее* значение этого поля за полный оборот вращающегося заряда. Для этого нам придётся сложить все, возникающие за период вращения поля $\vec{E}(\varphi)$ в точке наблюдения, пользуясь принципом суперпозиции, учитывая, что в (4) по мере вращения меняются и направления вектора ускорения, и расстояние до вращающегося по кругу заряда. За начальное положение примем крайне правое положение вращающегося заряда на рис. 1 и обозначим угол поворота от начального положения как φ . Тогда выражение (4) становится зависящим от угла поворота и принимает вид:

$$(5) \quad \vec{E}(\varphi) = -\frac{\mu_0 q}{4\pi r(\varphi)} \vec{a}(\varphi)$$

Из симметрии задачи очевидно, что ненулевой *суммарный* за оборот вклад в среднее поле индукции будет давать только *горизонтальная* проекция вектора ускорения $\vec{a}_h(\varphi) = |\vec{a}| \cdot \cos(\varphi)$, поскольку суммарный вклад вертикальных проекций за оборот будет равен нулю. При этом расстояние до точки наблюдения будет меняться по теореме косинусов (рис. 2, в треугольнике известны две стороны и угол между ними):

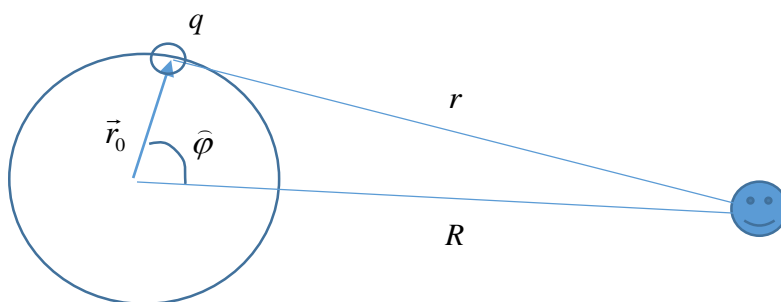


Рис. 2. К изменению расстояния до точки наблюдения при вращении заряда по окружности

$$(6) \quad r^2 = r_0^2 + R^2 - 2r_0 R \cos(\varphi)$$

Тогда выражение (5) преобразуется к виду:

$$(7) \quad E(\varphi) = -\frac{\mu_0 q}{4\pi} a \cdot \frac{\cos(\varphi)}{\sqrt{r_0^2 + R^2 - 2r_0 R \cos(\varphi)}}$$

Остаётся усреднить по углу за полный оборот, т.е. от нуля до двух «пи»:

$$(8) \quad E = -\frac{\mu_0 q}{4\pi} a \cdot \frac{1}{2\pi} \cdot \int_0^{2\pi} \frac{\cos(\varphi)}{\sqrt{r_0^2 + R^2 - 2r_0 R \cos(\varphi)}} d\varphi$$

Увы, этот интеграл не удалось взять даже системе Matcad 15. Мы попытались упростить подынтегральное выражение, пренебрегая заведомо малым членом r_0^2 и разлагая корень в ряд Тейлора до 2-го члена ряда. Получилось $\frac{\cos(\varphi)}{R - r_0 \cdot \cos(\varphi)}$.

Однако и с интегрированием этого упрощенного выражения Matcad 15 не справился, выдавая совершенно неправдоподобный результат. Пришлось численно промоделировать его в системе Matlab R13 при различных $R \gg r_0$ и таким образом установить, что

$$(9) \quad \frac{1}{2\pi} \cdot \int_0^{2\pi} \frac{\cos(\varphi)}{\sqrt{r_0^2 + R^2 - 2r_0 R \cos(\varphi)}} d\varphi \approx \frac{1}{2\pi} \cdot \int_0^{2\pi} \frac{\cos(\varphi)}{R - r_0 \cos(\varphi)} d\varphi \approx \frac{1}{2} \frac{r_0}{R^2}$$

Причём равенство тем точнее, чем больше расстояние до точки наблюдения. Тогда (8) с учётом (9) и того, что для кругового движения $a = \frac{v^2}{r_0}$, примет вид:

$$(10) \quad E = -\frac{\mu_0 q}{4\pi} a \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{r_0}{R^2} = -\frac{\mu_0 q}{4\pi} \frac{v^2}{r_0} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{r_0}{R^2} = -\frac{\mu_0 q}{8\pi} \frac{v^2}{R^2}$$

Соответственно, теперь, сопоставляя (10) с общеизвестным выражением для электрического поля заряда $E = \frac{q_{art}}{4\pi\epsilon_0 R^2}$ можно выразить искусственный заряд q_{art} , создаваемый этой системой как:

$$(11) \quad q_{art} = -\frac{\mu_0 q}{8\pi} \frac{v^2}{R^2} \cdot 4\pi\epsilon_0 R^2 = -\frac{q}{2} \cdot \frac{v^2}{c^2}$$

Т.е. видим по структуре выражения, что такой «искусственный заряд» является «релятивистским» эффектом. Убедимся теперь, что отброшенный нами член в (3) $\vec{v} \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{1}{r} \right)$ действительно можно не учитывать. При круговом движении (рис.1) угол

поворота φ изменяется со временем как $\varphi = \omega t = \frac{v}{r_0} t$. Соответственно $\frac{\partial}{\partial t} = \frac{v}{r_0} \frac{\partial}{\partial \varphi}$.

Тогда $\vec{v} \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{1}{r} \right) = \frac{\vec{v} \cdot v}{r_0} \frac{\partial}{\partial \varphi} \left(\frac{1}{R - r_0 \cos(\varphi)} \right) = -\vec{v} \cdot v \cdot \left(\frac{\sin(\varphi)}{(R - r_0 \cos(\varphi))^2} \right)$. Видим, что при

больших $R \gg r_0$ эта величина убывает как $1/R^2$, т.е. быстрее, чем первый член (3), убывающий в дальней зоне как $1/R$. Следовательно, её влияние на результат в дальней зоне будет действительно пренебрежимо малым и его в самом деле можно было не учитывать. Отметим, что вышеприведенные рассуждения годятся для нерелятивистских скоростей, но должны быть изменены при $v \rightarrow c$. Должна браться в расчёт также зависимость потенциала движущейся частицы от скорости. В этом случае множитель $\frac{1}{2}$ исчезает и (11) в пределе скорости света преобразуется к виду:

$$(12) \quad q_{art} = -q \frac{c^2}{c^2} = -q$$

Это указывает нам на то, что вращение *связанного* заряда со скоростью света вызовет появление вокруг него электрического поля индукции неотличимого от поля привычного нам Кулоновского заряда. Весь заряд электрона, весьма возможно является именно «искусственным». Выглядит это так, словно вращающийся *связанный* заряд становится электрически «прозрачным» и сквозь него словно «проглядывает» неподвижный в центре системы противоположный *связанный*, но неподвижный заряд. Ослабеваает и в пределе скорости света исчезает так называемая «экранировка». Следовательно, тайна «элементарного заряда» может оказаться весьма простой: *электрический заряд частицы — это просто характеристика замкнутого криволинейного тока смещения в вакууме, протекающего внутри частицы*. То есть действительно свободных зарядов (в классическом понимании) Природе не требуется, чтобы создавать заряженные частицы. Достаточно замкнутых токов смещения, протекающих в мировой диэлектрической среде (эфире, вакууме). Но на макроуровне мы вполне можем использовать токи проводимости или конвекционные токи, чтобы получать нужный нам «искусственный заряд». Так, например, давно и многократно установлено [7] что вращающийся вокруг оси намагниченности цилиндрический магнит создаёт вокруг себя электрическое поле, весьма похожее на Кулоновское. А мы показали [8] что система из двух вращающихся перпендикулярно друг другу таких магнитов вообще неотличима от Кулоновского заряда. Поскольку магниты обязаны своим магнитным свойствам молекулярным токам Ампера, то можно увидеть близкое родство рассмотренной нами системы и вращающегося вокруг оси намагниченности постоянного магнита. Вращение электромагнитов (уже совершенно похожих на вышерассмотренную систему) приводит ровно к тем же результатам [6], что и вращение постоянных магнитов. Даже протекание достаточно больших *постоянных* токов проводимости по *криволинейным* проводникам вызывает появление заметного электрического поля индукции вблизи мест их резких изгибов [5]. Можно предположить, что достаточно мощный постоянный магнит, будучи эквивалентен замкнутому току, производит слабое электрическое действие даже на *неподвижные* электроны. Обнаружить это явление будет весьма непросто, так как этот заряд много меньше чем поверхностные заряды, всегда присутствующие на макроскопических телах. Укажем для наглядности уже проведенные или вполне реализуемые опыты списком:

1. Постоянное электрическое поле вокруг вращающихся постоянных магнитов
2. Аналогичное поле появляется вокруг вращающихся *электромагнитов*

3. Существование стабильного атомарного водорода
4. Возникновение электрического поля вблизи резких изгибов проводника с большим током
5. Возникновение электрического поля вокруг аксиально вращающегося заряженного цилиндрического конденсатора (*ещё не поставлен*)

Таким образом, наши вышеприведенные рассуждения уже довольно широко подтверждены опытами. Соответственно, можно довольно уверенно сделать вывод о том, что и аксиальное вращение заряженного цилиндрического конденсатора также должно вызывать появление слабого электрического поля снаружи него. Такой опыт можно и нужно поставить. На микроуровне же можно сделать вывод и том, что и атом водорода, например, имеет слабый «искусственный заряд», вызванный орбитальным движением электрона. А коль так, то возможно длительное существование атомарного водорода при достаточно низких температурах и давлениях (слабый «искусственный заряд» одного знака заставляет атомы водорода слегка отталкиваться друг от друга). И такой водород действительно получен в лабораторных условиях [4]. Кроме того, можно вспомнить, что основное вещество Вселенной – как раз водород и что огромное количество атомарного водорода находится в межзвёздном пространстве при крайне низких температурах и давлениях. Соответственно весь этот водород должен стремиться «разбежаться», если только во Вселенной нет достаточного количества «антиводорода», компенсирующего этот эффект своим «искусственным зарядом» противоположного знака. Если и существует в реальности «расширение Вселенной», то не в этом ли его причина?

Литература

1. А. М, Л. А. Лунёва «Основы электромагнетизма» Т.3. МГТУ им. Баумана
http://fn.bmstu.ru/data-physics/library/physbook/tom3/ch2/texthtml/ch2_1.htm
2. Википедия, статья «Электрический заряд»
https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D0%B7%D0%B0%D1%80%D1%8F%D0%B4
3. Википедия, статья «Векторный потенциал электромагнитного поля».
https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%B5%D0%BA%D1%82%D0%BE%D1%80%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D0%BF%D0%BE%D1%82%D0%B5%D0%BD%D1%86%D0%B8%D0%B0%D0%BB%D1%8D%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BC%D0%B0%D0%B3%D0%BD%D0%B8%D1%82%D0%BD%D0%BE%D0%B3%D0%BE_%D0%BF%D0%BE%D0%BB%D1%8F
4. А. Ф. Сильвера, Ю. Валравен. «СТАБИЛИЗАЦИЯ АТОМАРНОГО ВОДОРОДА» УФН. 1983 г. Апрель Том 139, вып. 4.
http://ufn.ru/ufn83/ufn83_4/Russian/r834h.pdf
5. Патент РФ. Меньших Олег Федорович (RU) «Генератор шума (RU 2292110)»
6. Jozeph B. Tate «The scalar potential developed by a spinning current-carrying solenoid». Journal of Physics D: Applied Physics 1974-11-01
<http://arch.neicon.ru/xmlui/handle/123456789/1909523>
7. Тимофеев В. Б., Тимофеева Т. Е., НЕКОТОРЫЕ СВОЙСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ МАГНИТНОГО РОТАТОРА, Вестник Северо-

Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова, Выпуск№ 3 / том 9 / 2012, <http://cyberleninka.ru/article/n/nekotorye-svoystva-elektricheskogopolya-magnitnogo-rotatora-1>

8. Мисюченко И. «Экспериментальное исследование электрического поля вращающегося вокруг оси намагниченности кольцевого магнита». <http://electricalather.com/d/358095/d/elektricheskoe-pole-vraschayuschegosya-kolcevogo-magnita.pdf>