

Классификация и терминология зарядов физического поля

СОДЕРЖАНИЕ.

1. Слова, дополняющие слово "заряд".
2. Что такое полеобразующий заряд и полевой заряд?
3. Статический заряд как причина возникновения центрального поля.
4. Динамический заряд как причина возникновения вихревого поля.
5. О недостатках терминологии, связанной с движущимся зарядом.
6. Новое понятие – токовый заряд.
7. Токовый заряд как одна из причин возникновения магнитного и гравидинамического поля
8. Заряд системы, движущейся по криволинейной орбите
9. Классификации зарядов.
10. Классификация заряженных систем по количеству зарядов.
11. Закон сохранения заряда системы.

1. Слова, дополняющие слово "заряд".

К понятию "заряд" в физике добавляют различные прилагательные, которые уточняют физическое содержание этого понятия. Напомним, что под термином заряд системы (заряд тела), обычно сокращаемым в физике до одного слова "заряд", понимается количество элементарных зарядов в заряженной системе.

При взаимодействии двух заряженных систем с существенно различающимися значениями зарядов этих систем применяются такие понятия, как **полеобразующий заряд** и **полевой заряд**, **точечный заряд** и **пробный заряд**.

Физическое поле имеет две формы его математического описания: центральное поле и вихревое поле. Соответственно этому должны существовать и два разных термина: для центрального поля – **статический заряд**, а для вихревого поля – **динамический заряд**.

В качестве статического заряда электрического поля применяют понятие **электрический заряд**, а для гравистатического поля – понятие **гравитационный заряд**.

Динамический заряд, существует в двух вариантах: **движущийся заряд** (заряд системы, движущийся вместе с заряженной системой) и **токовый заряд** (неподвижная заряженная система, внутри которой движутся элементарные заряды).

Как видим, термин "заряд" без дополняющих слов выглядит неопределенно, и это создает серьезные затруднения при преподавании.

2. Что такое полеобразующий заряд и полевой заряд?

Если значение одного из двух зарядов взаимодействующих заряженных физических систем существенно больше, чем значение другого заряда, то первый из них следует называть **полеобразующим зарядом**, а второй – **полевым зарядом**.

С точки зрения взаимодействия полеобразующий заряд и полевой заряд равноправны, оба они создают физические поля, описывающие состояние среды, окружающей заряженные системы, и эти участки среды часто называют **оболочками** заряженной системы. Когда говорят о взаимодействии заряженных систем, то речь идет о взаимодействии оболочек этих систем. Но разделение указанных двух понятий позволяет четче представлять себе, что от чего зависит, и неуклонно придерживаться принципа причинности.

О необходимости применения для этих двух понятий разных терминов говорят разные физики. Например, А.Пуанкаре еще в 1900 г. классифицировал полеобразующий гравитационный заряд как активную массу, а гравитационный полевой заряд как

пассивную массу. Для полевого заряда в справочнике по физике Б.Яворского и А.Детлафа (1990) применяют термин “заряд в поле“, похожий по звучанию на термин полевой заряд. Автор полевой физики О.Репченко (2008) ввел для полеобразующего заряда термин “частица-источник“, а для полевого заряда – термин “частица регистрации“.

Если значение полевого заряда ничтожно мало по сравнению с полеобразующим зарядом, то его в современной физике называют **точечным зарядом**, определяя его, как “заряд, сосредоточенный на теле, линейные размеры которого пренебрежимо малы по сравнению с расстоянием до других заряженных тел, с которыми он взаимодействует“. Другими словами, точечный заряд – это заряд материальной точки. Применяется также понятие **пробный заряд**, которым называется такой точечный заряд, который условно не искажает исследуемое физическое поле. Однако термины “точечный заряд“, “пробный заряд“ и “материальная точка“ отражают математические. Поэтому при систематизации физических величин их не следует применять.

3. Статический заряд как причина возникновения центрального поля.

Если элементарные заряды неподвижны относительно системы отсчета, то их следует называть **статическими зарядами**. Правда, следует понимать только взаимную неподвижность статических зарядов, а не отсутствие движения зарядов вообще. В общем случае в движении может находиться сама система отсчета. Статический полеобразующий заряд создает центральное поле, и его называют также **зарядом центрального поля**. В электромагнитном поле им является **электрический заряд**.

Статический заряд системы состоит из определенного количества элементарных зарядов. Если система однородна и находится в равновесном состоянии, то все элементарные заряды неподвижны относительно центра системы. При нарушении равновесия отдельные элементарные заряды становятся подвижными относительно центра системы на тот период, пока в системе происходит переходный процесс, после завершения которого заряженная система вновь приходит к равновесному состоянию.

Статический заряд системы является скалярной величиной. Полеобразующий статический заряд будем обозначать символом Q , а полевой статический заряд – символом q . Изменение количества элементарных зарядов в системе также является скалярной векторной (dQ/dt или dq/dt), его нельзя считать электрическим током проводимости.

4. Динамический заряд как причина возникновения вихревого поля.

Если элементарные заряды движутся, то независимо от того, движутся ли они вместе с заряженной системой или относительно неподвижной заряженной системы, но внутри нее, заряд системы следует называть **динамическим зарядом**.

Динамический заряд создает вихревое поле. В частности, в электродинамике динамический заряд является причиной возникновения магнитного поля, а в гравитинамике – гравитинамического поля. К вихревому полю понятие “источник поля” не применимо принципиально.

Определим вид математической записи динамического заряда. Для этого рассмотрим произведение $[(dq \mathbf{n}) l]$, где dq – элементарное количество элементарных зарядов в системе, l – расстояние, пройденное элементарным зарядом по прямой линии, \mathbf{n} – орт направления, нормального к потоку элементарных зарядов. Частное от деления этого произведения на бесконечно малый промежуток времени dt будет выглядеть так:

$$[(dq \mathbf{n}) l]/dt = [(dq \mathbf{n})/dt]l + q [(dl \mathbf{n})/dt] = \mathbf{i}l + q\mathbf{v}, \quad (1)$$

где $\mathbf{i} = dq/dt$ – ток энергоносителей внутри неподвижной системы, $\mathbf{v} = (dl \mathbf{n})/dt$ – скорость движущейся заряженной системы.

Из уравнения (1) следует важный вывод о том, что причина возникновения вихревого поля (динамический заряд) может иметь две формы записи: $(i\mathbf{l})$ и $(q\mathbf{v})$, объединяемые общим термином "динамический заряд". В современной физике применяется лишь одна форма записи $(q\mathbf{v})$, называемая **движущимся зарядом**.

Выражение $(q\mathbf{v})$ под названием "движущийся заряд" хорошо знакомо в электромагнетизме, хотя точнее было бы название "движущаяся заряженная система", она создает как центральное, так и вихревое поле. Заметим, что в движущейся заряженной системе элементарные заряды неподвижны относительно движущейся системы (то есть внутри нее ток $\mathbf{i} = 0$).

В физике часто рассматривают и другой вариант динамического заряда в виде неподвижного участка токопроводящего контура ($\mathbf{v} = 0$), по которому движется поток элементарных зарядов \mathbf{i} (например, электрический ток). Причиной возникновения вихревого поля в этом случае служит физическая величина $(i\mathbf{l})$.

Если элементарные заряды перемещаются через неподвижную систему, то их перемещение внутри этой системы называют потоком элементарных зарядов, сокращенно **потоком зарядов**. В современной физике в термине "поток зарядов" отсутствует слово "элементарных", и это вводит в заблуждение, так как неясно, что именно движется. В поясняемом случае разновидность динамического заряда следует называть **токовым зарядом**. В современной физике понятие "токовый заряд" пока отсутствует, и это создает немалые методологические затруднения.

Оба вида динамического заряда – $(q\mathbf{v})$ и $(i\mathbf{l})$ – являются самостоятельными векторными физическими величинами подобно количеству движения $(m\mathbf{v})$ в механике. Раскрытие скобок и тем более вынос за скобки любого сомножителя лишает эти величины своего физического содержания. Динамический заряд, как векторная величина, обозначается символом \mathbf{Q} для полеобразующего заряда и символом \mathbf{q} для полевого заряда.

5. О недостатках терминологии, связанной с движущимся зарядом.

В электродинамике с движением заряженной системы связано понятие "электрический ток переноса", который называют также "конвекционным током". Он определяется стандартом, как "электрический ток, осуществляемый переносом электрических зарядов телами". Термины "конвекционный ток" и "ток переноса" неверны в принципе, так как неверно применение слова "ток" по отношению к движущейся заряженной системе по следующим причинам:

1. Внутри движущейся заряженной системы тока элементарных зарядов нет. Ток проводимости связан с непрерывным потоком элементарных зарядов (электронов) через неподвижный проводник, тогда как в движущемся проводнике единичные заряды относительно проводника неподвижны.

2. Поток электронов через неподвижный проводник создает только вихревое поле. Центрального поля поток электронов не создает, потому что количество элементарных зарядов (электронов) в неподвижном проводнике постоянно. Тогда как движущийся заряженный проводник создает обе формы поля, поскольку в нем имеются нескомпенсированные элементарные заряды.

3. Поток зарядов через неподвижный проводник и движущийся проводник – разные физические величины.

По этим причинам и возникла неточность, допущенная в определении из БСЭ: "Источником магнитного поля является движущийся электрический заряд, то есть электрический ток". В этой фразе неуместны слова "то есть". Правильной была бы фраза "Причиной возникновения магнитного поля являются либо движущийся по проводнику поток элементарных электрических зарядов, либо движущееся электрически заряженное тело". К тому же, магнитные поля, создаваемые движущимся зарядом и потоком зарядов в неподвижном проводнике, существенно отличаются друг от друга по конфигурации.

6. Новое понятие – токовый заряд

При движении элементарных зарядов через прямолинейный участок неподвижной системы длиной l следует говорить о **токовом заряде прямого тока**, определяемом выражением $(i l)$, где i – электрический ток. Слова “прямого тока” обычно опускаются, так как предполагается прямолинейное элементарное перемещение элементарного заряда. Аналогичная скалярная величина под названием “токовый элемент” в виде выражения $(i l)$ была предложена А.Чуевым (2003). Появление такой физической величины обосновано еще и тем, что в электродинамике достаточно популярно понятие “**токовый диполь**”, само название которого предполагает наличие двух **токовых монополей**.

Определяющее уравнение для тока i в виде $i = dq/dt$, принятое в современной физике, неверно, так как скалярное выражение (dq/dt) может характеризовать только скорость изменения количества элементарных зарядов в неподвижной системе. Поэтому полеобразующий токовый заряд следует обозначать выражением (I) , а полевой токовый заряд – выражением $(i l)$.

Токовый заряд $(i l)$ имеет ту же размерность, что и движущийся заряд $(q v)$, но эти две величины имеют разное физическое содержание. И движущийся, и токовый заряды создают вихревое физическое поле, но движущийся заряд движется вместе с создаваемым им центральным полем, а токовый заряд центрального поля не создает.

Токовый заряд $(i dl)$ является самостоятельной физической величиной, и поэтому выносить за скобки любой из сомножителей этих произведений нельзя, не утратив при этом физического содержания токового заряда. Введение понятия “токовый заряд” приводит к необходимости изменения записи ряда важных законов электродинамики.

В частности, в современной записи закона Био-Савара-Лапласа $d\mathbf{B} = k i [d\mathbf{l} \mathbf{r}] / r^3$ элементарный токовый заряд $(i dl)$ присутствует в формуле неявно. Сомножители i и dl разделены и вынесены за скобки токового заряда. Правильна такая запись закона Био-Савара-Лапласа: $d\mathbf{B} = k [(i dl) \mathbf{r}] / r^3$.

Аналогичное происходит и при записи закона Ампера в виде $d\mathbf{F} = i [d\mathbf{l} \mathbf{B}]$. При такой записи физики вынуждены для определения силы взаимодействия двух токовых зарядов приводить закон Ампера в виде формулы для модуля силы взаимодействия. Правильна запись закона Ампера в виде $d\mathbf{F} = [(i dl) \mathbf{B}]$.

7. Токовый заряд как одна из причин возникновения магнитного и гравидинамического поля

Приведем определение магнитного поля из БСЭ: “*Магнитное поле - особая форма существования материи, посредством которой осуществляется взаимодействие между движущимися электрически заряженными частицами*”.

Из этого определения следует, что магнитное поле проводника взаимодействует только с магнитным полем движущейся электрически заряженной системы, но при этом не объясняется, почему оно не взаимодействует с покоящейся электрически заряженной системой. А это объяснение вытекает из особенностей системы, какой является неподвижный проводник.

В обесточенном проводнике присутствуют носители и положительного, и отрицательного зарядов, компенсирующие влияние друг друга, так что количество нескомпенсированных элементарных зарядов, создающих электрическое поле, у такого проводника равно нулю. При приложении к концам проводника разности потенциалов по проводнику начинает течь электрический ток, и проводник становится проточной системой. Но при этом количество нескомпенсированных элементарных зарядов, которые могут создать электрическое поле, остается равным нулю, независимо от значения электрического тока. (Сколько электронов входит в проводник, столько же из него и выходит, избытка нескомпенсированных электронов в проводнике нет.)

Электрический ток не создает в проводнике нескомпенсированные заряды, которые могут стать причиной возникновения электрического поля проводника. Поэтому взаимодействие между проводником с током и зарядом неподвижной полевой заряженной системы не возникает.

А вот в случае, когда относительно проводника с током движется заряженная система, которая создаёт, как всякий движущийся заряд, свое собственное магнитное поле, то это поле взаимодействует с магнитным полем, создаваемым проводником.

А.Чуев (2003) справедливо считает, что токовые заряды создают не только магнитные поля. Под словом “ток“ А.Чуев понимает не только электрический ток, но и ток вещества, имеющего гравитационную массу. Токовые гравитационные заряды создают гравитодинамические поля, хотя это понятие он не применяет. А.Чуев считает, что гравитодинамическое взаимодействие – это взаимодействие потоков гравитационных масс, когда пространственная протяженность и, соответственно, направление токовых зарядов не учитываются. Указанные параметры, по его мнению, учтены в электромагнитном взаимодействии, несравненно более сильном, чем гравитационное.

Заметим, что системы с одноименными токовыми электромагнитными зарядами притягиваются точно так же, как и системы с одноименными токовыми гравитодинамическими зарядами, только со значительно большей интенсивностью. Об этом, в частности, свидетельствует стягивание шнура электрической дуги (шнурование дуги), состоящей из одноименных элементарных электрических зарядов, движущихся в одном направлении.

В микромире, по мнению А.Чуева (2003), взаимодействие токовых зарядов называется сильным взаимодействием. Хотя в микромире заряды движущихся частиц очень малы, но зато чрезвычайно велики их скорости. Поэтому токовые заряды движущихся частиц достаточно велики. А если к тому же учесть весьма малые расстояния между токовыми зарядами частиц при том, что эти расстояния, возведенные в квадрат, находятся в знаменателе уравнения для определения силы взаимодействия, то эти взаимодействия могут соответствовать по своим значениям сильным взаимодействиям в ядерной физике.

Подробную картину взаимодействий токовых зарядов в микромире приводит В.Пакулин (2004, 2011), который тоже считает сильным взаимодействием взаимодействие токовых зарядов, образующихся в гравитонной среде, хотя понятие о токовом заряде у него отсутствует.

Приведем также точку зрения П.Пирната (2005). Он помещает в свою систему физических величин “магнитную массу“, подразумевая под ней токовый заряд в замкнутом контуре, хотя этот термин он не применяет. Ход его рассуждений таков: гравитационную массу составляют атомы, содержащие электроны, а каждый электрон, вращающийся по своей орбите, создает токовый контурный заряд. Между токовыми контурными зарядами, входящими в различные гравитационные массы и создающими гравитодинамическое поле (П.Пирнат отождествляет его с электромагнитным полем), должна существовать и сила взаимодействия, аналогичная силе Ампера. П.Пирнат считает, что эту силу можно трактовать как силу гравитационного взаимодействия.

Как видим, о токовых зарядах говорят разные авторы. Говорят, используя разную терминологию, но все они опираются на необходимость применения понятия, аналогичного тому, которое мы назвали “токовым зарядом“.

8. Заряд системы, движущейся по криволинейной орбите

Заряженную систему, движущуюся по криволинейной орбите, в каждый момент времени можно представить, как заряженную систему, движущуюся по окружности, соприкасающейся с орбитой, причем центр соприкасающейся окружности дополнительно может двигаться по собственной траектории. Радиус соприкасающейся окружности равен радиусу кривизны траектории R и является величиной, переменной во времени.

Математический анализ данной ситуации усложняется, если орбита не плоская, а пространственная.

Скорость движения заряженной системы \mathbf{v} из уравнения (1) при движении по орбите постоянно меняет свое направление, в результате чего меняют свою направленность и напряженности физических полей, создаваемых движущейся заряженной системой. С точки зрения математического описания линейная скорость \mathbf{v} при движении заряженной системы по замкнутой орбите заменяется секторной скоростью \mathbf{v}_s .

Движущаяся по криволинейной траектории заряженная система создает в каждый данный момент времени центральное поле и вихревое поле, ось симметрии которых совпадает по направлению с направлением вектора касательной скорости.

9. Классификации зарядов.

Представлена классификация зарядов физического поля в виде схемы, безотносительно к тому, является ли заряд системы электрическим или гравитационным. Заряды электромагнитного поля изучены лучше, но подобная классификация может быть распространена и на заряды гравитационного поля. В схеме везде под словом "заряд" понимается заряд системы или заряженная система, а не элементарный заряд.



Примечания к схеме классификации зарядов

1. Токовый контурный (дипольный) заряд – это заряд токового диполя, в котором токовыми зарядами разного знака являются два равных по модулю токовых заряда разного знака, расположенные на противоположных сторонах токового контура, а d – это модуль расстояния между этими зарядами (если контур – окружность, то d – это диаметр окружности).

2. Токовыми зарядами прямого соленоида можно оперировать, лишь пренебрегая концевыми эффектами.

3. В представленной схеме классифицируются полеобразующие заряды. Для полевых зарядов схема точно такая же, только вместо прописных букв в обозначениях зарядов следует ставить строчные. В необходимых случаях под названием заряда указывается в круглых скобках его название в современной электродинамике.

4. Стрелки сверху и снизу схемы говорят о том, что такая схема может быть применена к любому уровню структуры материи.

10. Классификация заряженных систем по количеству зарядов

Заряженные системы удобно также классифицировать по признаку того, каким количеством зарядов разного знака обладает заряженная система. Подобная классификация дополняет вышеприведенную схему следующей таблицей:

Количество зарядов	Порядок мультиполя	Название мультиполя
1	Мультиполь нулевого порядка (Монополь)	Статический заряд Движущийся заряд Токовый заряд прямого тока
2	Мультиполь первого порядка (Диполь)	Статический диполь Токовый диполь
3	-	Соленоид (винтовой диполь с прямой осью симметрии)
4	Мультиполь второго порядка (Квадруполь)	Тороид (винтовой диполь со свёрнутым в круг соленоидом)

11. Закон сохранения заряда системы.

Насколько известно автору, закон сохранения заряда обосновал А.Вейник (1968) со следующей формулировкой: *”В процессе взаимодействия системы и окружающей среды количество заряда, вышедшего (или вошедшего) из окружающей среды через контрольную поверхность, равно количеству заряда, вошедшего (или вышедшего) в систему через ту же поверхность”*. Из формулировки ясно, что речь идет лишь о движении заряда в [проточной системе](#).

Покажем, как выводится закон сохранения заряда. Приведем обобщенное уравнение динамики:

$$a_0 \Delta q + a_1 dq/dt + a_2 d^2q/dt^2 = - \Delta P, \quad (2)$$

где ΔP и Δq – разности между текущими значениями изменений [разности потенциалов системы](#) и [координаты состояния](#), под которой А.Вейник понимал заряд системы, и их значениями в момент начала переходного процесса; a_0 , a_1 и a_2 – коэффициенты пропорциональности при производных от координаты состояния системы по времени t (жесткость, сопротивление и инертность системы).

Рассмотрим состояние динамического равновесия между физической системой и окружающей средой, когда $\Delta P = 0$. Это возможно при равенстве нулю Δq и всех его производных по времени. Из $dq/dt = 0$ следует вывод о том, что при динамическом равновесии системы модуль $q = \text{const}$. Это и есть **закон сохранения заряда системы**.

В современной физике закон сохранения заряда системы в его обобщенном виде не приводится. Существуют лишь его частные случаи, из которых чаще всего рассматривают **закон сохранения электрического заряда**. Другим частным случаем является **закон сохранения массы**. Поскольку масса является зарядом гравитационного поля, то следует говорить о **законе сохранения гравитационного заряда**.

Литература

1. Бондаренко О.Я., 2005, Уровневая физика. Что это? – Сборник статей, Бишкек, 96 с.
2. Вейник А.И., 1968, Термодинамика. 3-е изд. – Минск, Высшая школа, 464 с.
3. Пакулин В.Н., 2012, Развитие материи (Вихревая модель микромира). – СПб, НПО "Стратегия будущего", 121 с., а также Структура материи. 2004– <http://www.valpak.narod.ru>
4. Репченко О.Н, 2008, Полевая физика или Как устроен мир? Изд. 2-е – М.: Галерея, 320 с.
5. Чуев А.С., 2003, О существующих и теоретически возможных силовых законах, обнаруживаемых в системе физических величин. – <http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/5811.html>
6. Яворский Б.М., Детлаф А.А., 1990, Справочник по физике. 3-е изд. М.: Наука, Физматгиз, 624 с.
7. Pirnat P., 2005, Physical Analogies. – <http://www.ticalc.org/cgi-bin/zipview?89/basic/science/physanal.zip;physanal.txt>