

Соотношения между электромагнитными и механическими характеристиками электрона

Томилин А.К.¹, Мисюченко И.Л.², Викулин В.С.³

¹Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Российская Федерация.

E-mail: aktomilin@gmail.com

²Научно-исследовательский центр «Алгоритм», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

E-mail: ruberoid2101@yandex.ru

³ООО «Лаборатория высокопропускных СБИС», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

E-mail: v_vikulin@mail.ru

На основе энергетических соотношений, установлена связь между зарядом и массой электрона. Полученное выражение соответствует релятивистскому преобразованию массы. Сделан вывод об исключительно электромагнитной природе массы. Учтено, что векторный потенциал движущейся заряженной частицы обладает двумя компонентами: вихревой и потенциальной. Соответственно обобщенное магнитное поле имеет вихревую (векторную) и потенциальную (скалярную) составляющие. Установлено, что энергия потенциального магнитного поля является отрицательной и составляет $1/3$ кинетической энергии частицы. При этом успешно решается известная «проблема $4/3$ ».

Ключевые слова: масса, заряд, поле, радиус электрона, радиус протона, физический вакуум, векторный потенциал, обобщенная электродинамика, энергия магнитного поля, проблема $4/3$.

1. Введение

Исследование взаимосвязей и аналогий между механикой и электродинамикой представляется актуальной и перспективной научной задачей. Такой подход позволяет не только расширить и дополнить каждую из этих наук, но и установить новые соотношения между фундаментальными константами, определить физическую суть понятий и постулатов, лежащих в основе естествознания, решить существующие проблемы и объяснить некоторые парадоксы.

Весьма перспективной считается идея представить массу электрона как чисто электромагнитный эффект [1]. Однако эту идею до сих пор не удавалось реализовать до конца и получить самосогласованную теорию электромагнитной массы. На наш взгляд причина заключается в неадекватной модели электрона и не достаточно полных представлениях об электромагнитном поле.

Обычно уединенный электрон представляется как находящаяся в пустоте сфера, по поверхности которой распределен заряд [1]. Такая модель требует введения сил, которые удерживают заряды на поверхности частицы. По этой причине используются «напряжения Пуанкаре», которые должны иметь неэлектромагнитную природу. Как заметил Фейнман, в такой модели «красота всей картины тотчас исчезает, все становится слишком сложным» [1]. Иначе, говоря, Фейнман считал чисто электромагнитное объяснение массы самым красивым, но не смог его обосновать.

Очевидно, объяснение массы, как электромагнитного феномена, возможно только на основе полных и адекватных представлений о природе двух взаимосвязанных феноменов: электрического заряда и электромагнитного поля.

Понятие «вакуум» в смысле абсолютно пустого пространства противоречит принципу близкодействия, на который опирались Фарадей, Максвелл, Томсон и Стокс [2-4]. Согласно представлениям основоположников электромагнетизма все физические взаимодействия совершаются не иначе, как при обязательном участии сплошной среды, окружающей взаимодействующие центры [5]. Эти аналогии в полной мере использованы в работе Жилина П. А. [6]. С их помощью установлено, что в общем случае магнитное поле обладает как вихревой, так и потенциальной компонентами. Аналогичные выводы сделали К. J. van Vlaenderen [7], Woodside D.A. [8], Arbab I. A., Satti Z. A. [9], Podgainy D.V., Zaimidoroga O.A. [10]. Результаты этих исследований легли в основу обобщенной электродинамической теории [11-14].

Классическая трактовка электромагнетизма, не является полной. Использование калибровок Кулона и Лоренца привело к исключению потенциальных электромагнитных процессов. В результате возник ряд известных парадоксов: нарушение третьего закона Ньютона при электромагнитном взаимодействии [11], «проблема $4/3$ » [15] и другие.

Цели настоящей работы:

- сформировать для элементарной заряженной частицы модель, позволяющую установить соотношение между ее зарядом и массой;

- на основе обобщенной электромагнитной теории устранить несоответствие между кинетической энергией электрона и полной энергией его магнитного поля, известное как «проблема 4/3».

2. Связь между зарядом и массой элементарной частицы.

Научная дискуссия по поводу структуры электрона остается актуальной много десятилетий [16-21]. Достаточно полный обзор моделей устройства микромира содержится в статье Кирьяко А. Г. [21]. Рассмотрены три гипотезы происхождения массы: электронная теория, механизм Хиггса Стандартной Модели и принцип генерации массы в нелинейной теории элементарных частиц. Показаны достоинства и недостатки каждой из них, а также наличие тесных связей между ними.

Модель Пуанкаре развивается в некоторых современных исследованиях [18-19]. В частности предлагается рассматривать электрон как множество одинаковых частиц, образующих гравитационно связанную систему и заполняющих некоторый сферический объем [18]. При рассмотрении внутренних взаимодействий учитывается не только электромагнитное, но и гравитационное поле, а также поле ускорений и поле давлений. Считается, что все свойства электрона и связанные с ним феномены можно объяснить исключительно внутренними процессами.

На наш взгляд, модель Пуанкаре и ее модификации обладают принципиальным недостатком. Применительно к элементарной частице невозможно использовать функции распределения заряда и массы. Поэтому нельзя выделять внутренние структурные объекты, обладающие зарядом меньше элементарного. Такую модель невозможно использовать для объяснения природы элементарного электрического заряда и связанного с ним электромагнитного поля.

Однако, у модели Пуанкаре есть приоритетное достоинство: отказ от точечной идеализации и использование определенного радиуса r_e . Заметим, что он отличается от известного классического радиуса электрона $R_e = 2,81 \cdot 10^{-15} \text{ м}$, который определяет размер его эффективного электрического поля. Понятно, что в такой модели должно выполняться соотношение: $r_e < R_e$.

Другая модель представляет электрон электромагнитным процессом, происходящим в области с нечеткими границами [20-21]. При таком подходе нет необходимости вводить в рассмотрение силы неэлектромагнитной природы – в этом его достоинство. За пределами указанной области возникает электрическое поле. Эту модель можно развивать и использовать для изучения процесса, происходящего внутри частицы, с целью объяснения природы элементарного электрического заряда. Трудность использования этой модели заключается в отсутствии четкой границы области, в которой

генерируется заряд [20]. Кроме того, остается открытым вопрос об окружающей среде и ее свойствах.

Предложим гибридную модель электрона. Будем считать, что его заряд генерируется электромагнитным процессом, локализованным в сфере определенного радиуса r_e . Значение r_e предстоит определить. Таким образом, электрон представляется локализованной частицей сферической формы с четкой границей. Частице присущи заряд и масса. За пределами сферической частицы создается собственное электромагнитное поле.

Вопрос о сути электромагнитного поля уже затрагивался во Введении. Он связан с концептуальными основами естествознания. Материалистическая концепция близкодействия отрицает вакуум как абсолютную пустоту. Пустое пространство, не обладающее ни какими физическими свойствами, не может использоваться при описании физического взаимодействия даже в качестве абстракции. Поэтому физики используют «физический вакуум» - материальную сплошную среду с известными электромагнитными свойствами. Предложенная нами модель электрона предполагает, что он образован процессом, происходящим в этой среде (возможно, тороидальным квантовым вихрем) [21]. Таким образом, электрон является порождением материальной вакуумной среды, всегда находится в ней и неразрывно с ней связан. В рамках такой концепции электромагнитное поле представляется в виде возмущений этой среды: течений, деформаций, волн. Всех свойств этой среды мы не знаем, даже сама ее природа остается неизвестной. Поэтому предлагаемая модель не претендует на полноту, поскольку детально не описывает электромагнитный процесс, происходящий внутри электрона, а, следовательно, и саму природу заряда. Она не может объяснить, например, всех его квантовых свойств и проблему устойчивости. Тем не менее, она позволяет оперировать понятиями «заряд», «масса», «поле», и соотносить эти понятия с определенными материальными объектами. Взаимосвязь этих объектов должна выражаться в виде определенных соотношений между их физическими характеристиками.

Рассмотрим заряженную частицу радиуса r_e , движущуюся прямолинейно и равномерно со скоростью v . Для определенности будем считать ее положительной. Поместим наблюдателя в некоторую условно неподвижную точку. Весь заряд q частицы пройдет мимо наблюдателя за время, равное отношению ее продольного размера к скорости движения:

$$t = \frac{l}{v}.$$

В общем случае линейный размер частицы определяется с учетом релятивистского сокращения:

$$l = l_0 \sqrt{1 - v^2/c^2}. \quad (1)$$

где $l_0 = 2r_e$.

Наблюдатель фиксирует локальный ток:

$$I = \frac{qv}{l}.$$

Току соответствует энергия:

$$W = \frac{LI^2}{2}, \quad (2)$$

Обычно индуктивность L приписывается проводнику, но здесь ее следует отнести к заряженной частице. Такая характеристика известна под названием «кинетическая индуктивность» [23]. Определим величину кинетической индуктивности сферической частицы радиуса r_e .

В научно-технической литературе нет формулы для расчета индуктивности сферического проводника, однако имеется формула для цилиндрического проводника [23]:

$$L = \frac{\mu_0 h}{8\pi} + \frac{\mu_0 h}{2\pi} \left(\ln \frac{2h}{r} - 1 \right), \quad (3)$$

где r - радиус цилиндра, h - его высота.

В приведенных выше рассуждениях было рассмотрено движение частицы на отрезке длиной $l = 2r_e$. Следовательно, в (3) $h = 2r_e$. То есть надо рассмотреть и сравнить индуктивности сферы диаметром $2r_e$ и цилиндра с такой же высотой. Иными словами, рассматриваются цилиндр и вписанная в него сфера. Однако такое сравнение представляется не вполне корректным, так как объем цилиндра и его поверхность больше соответствующих параметров вписанной сферы.

Встает вопрос о критерии, при котором разность индуктивностей сферы и цилиндра минимальна. В качестве такого критерия предлагается взять равенство поверхностей сферы и цилиндра. В этом случае между радиусами цилиндра и сферы имеет место соотношение:

$$r = \sqrt{\frac{2}{3}} r_e = 0,8165 r_e.$$

При этом кинетическую индуктивность сферической частицы можно с высокой точностью вычислять по формуле:

$$L = \frac{\mu_0 l}{4\pi} = \frac{\mu_0 r_e}{2\pi}. \quad (4)$$

Заметим, что при моделировании частицы материальной точкой, теряется ее кинетическая индуктивность и исчезает возможность определить ее электромагнитную энергию.

Записав (2) с учетом (4), получим выражение для энергии тока:

$$W = \frac{\mu_0 q^2 v^2}{8\pi l}. \quad (5)$$

С другой стороны движущаяся частица с массой m имеет кинетическую энергию:

$$K = \frac{mv^2}{2}. \quad (6)$$

Изменение каждой из этих энергий представляет собой работу сил, вызывающих разгон (торможение) частицы. По существу, формулы (5) и (6) выражают одну величину, поэтому их можно приравнять. Отсюда получим выражение, связывающее заряд и массу:

$$m = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{q^2}{l}. \quad (7)$$

Пренебрегая релятивистским эффектом, примем $l = l_0 = 2r_e$, и получим значение, которое принято называть «массой покоя» заряженной частицы:

$$m_0 = \frac{\mu_0}{8\pi} \cdot \frac{q^2}{r_e}. \quad (8)$$

Из (7) и (8) видно масса частицы не зависит от знака ее заряда. В частности эти формулы можно применить к электрону. С учетом известного значения массы покоя электрона, получим его собственный радиус:

$$r_e = \frac{\mu_0}{8\pi} \cdot \frac{q^2}{m_0} = 1,4 \cdot 10^{-15} \text{ м}, \quad (9)$$

где $m_0 = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$ - масса покоя электрона, $q = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$ - элементарный заряд, $\mu_0 = 1,256 \cdot 10^{-6} \text{ Н/А}^2$ - магнитная постоянная.

Получившийся собственный радиус электрона оказался вдвое меньше, чем его классический радиус $R_e = 2,81 \cdot 10^{-15} \text{ м}$. Заметим, что предельная точность измерений геометрических размеров ограничена планковской длиной $l_P = 1,6 \cdot 10^{-35} \text{ м}$ [24]. Очевидно что, квантовые свойства электрона существенно не влияют на точность определения его собственного радиуса (9).

Учитывая использованный способ определения массы (7), ее следует назвать инерционной. Однако встает вопрос о гравитационной (тяжелой) массе и самом явлении гравитации. Этот вопрос, как и проблему эквивалентности инерционной и тяжелой масс, обсудим в одном из последующих разделов.

Обсудим полученный результат и его достоверность. Мы рассмотрели процесс разгона отдельного электрона и приравняли работу разгоняющей силы к кинетической энергии, которую приобретает электрон. При разгоне электрона, конечно, изменяется энергия его взаимодействия с физическим вакуумом и возникает магнитное поле. Встает вопрос об энергии электромагнитного поля: надо ли к кинетической энергии электрона прибавлять еще и энергию его поля? Такой вопрос предполагает гипотетическое разделение процесса движения: сначала рассматривается электрон, движущийся в пустоте, и определяется его кинетическая энергия, а потом вводится в рассмотрение внешняя среда и определяется энергия ее возмущения за счет движения электрона. Такой подход используется, например, при рассмотрении движения тел в вязкой среде. Но дело в том, что известное выражение кинетической энергии получено для движения материальных объектов в физическом вакууме, а не в пустоте. Поэтому оно учитывает изменение энергии связи объекта с этой средой. В нашем случае кинетическая энергия электрона и энергия его поля суть одно и то же. Формулы механики и электродинамики для энергии выглядят различно, но выражают одну и ту же

суть. Поэтому эти энергии в нашей задаче не суммируются, а приравниваются.

Масса частицы, как известно, зависит от скорости ее движения:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}. \quad (10)$$

Величина заряда (в отличие от массы) не зависит от скорости движения частицы. Заряд – релятивистский инвариант [25]. Полученное соотношение (10) отвечает этим свойствам заряда и массы. Релятивистское возрастание массы связано с сокращением размеров частицы в направлении ее движения в соответствии с (1).

Рассмотрим другую элементарную частицу – протон. Известно, что масса протона в 1836 раз больше массы электрона:

$$m_p = 1,672 \cdot 10^{-27} \text{ кг}.$$

При этом его радиус примерно в 3.2 раза меньше классического радиуса электрона. Обычно используется значение:

$$R_p = 0,8751 \cdot 10^{-15} \text{ м}.$$

Наблюдается обратная нелинейная зависимость между массой и размером элементарных частиц. Соответственно, истинный радиус протона, вычисленный по формуле (9), значительно меньше радиуса электрона:

$$r_p = \frac{\mu_0}{8\pi} \cdot \frac{q^2}{m_p} = 0,761 \cdot 10^{-18} \text{ м}.$$

Вычислим отношение:

$$\frac{R_p}{r_p} = 1150.$$

Аналогичное отношение для электрона равно 2.

Эти соотношения подтверждают изложенный выше взгляд на природу массы: чем меньше размер элементарной частицы, тем сильнее она связана с физическим вакуумом.

Естественно встает вопрос о массе электрически нейтральных частиц, например, нейтрона [15]. Известно, что в свободном состоянии нейтрон распадается с образованием электрона, протона и антинейтрино. Следовательно, можно представить нейтрон как комплекс разноименно заряженных частиц и определить их общую массу с учетом взаимодействия между собой. Проблему массы фотона тоже можно решить на основе полных представлений об электромагнитной волне [13].

Выводы:

1. Предложенная модель уединенного электрона позволяет адекватно описывать его движение в среде физического вакуума и устанавливать электромеханические аналогии.

2. Масса заряженной частицы однозначно определяется ее зарядом и собственным размером, который вычисляется в выбранной системе отсчета.

3. Масса движущейся заряженной частицы в выбранной системе отсчета возрастает в зависимости от

скорости исключительно вследствие релятивистского сокращения ее размера в направлении движения.

3. Инерция и гравитация.

Рассмотрим случай ускоренного движения заряженной частицы. Конвекционный ток уже не будет постоянным, следовательно, его производная по времени отлична от нуля:

$$\dot{i} = \frac{\partial I}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{qv}{2r_e} \right) = \frac{q}{2r_e} a, \quad (11)$$

где $a = \frac{\partial v}{\partial t}$ – ускорение частицы.

Согласно закону электромагнитной индукции, такой ток вызывает ЭДС самоиндукции, которая препятствует изменению порождающего ее тока:

$$U = -L\dot{i}.$$

С учетом (4), можно записать:

$$U = -\frac{\mu_0 r_e}{2\pi} \cdot \frac{q}{2r_e} a = -\frac{\mu_0 q}{4\pi} a. \quad (12)$$

При перемещении заряда совершается работа:

$$Uq = -\frac{\mu_0 q^2}{4\pi} a. \quad (13)$$

При положительном ускорении работа имеет отрицательный знак, наоборот, при торможении частицы совершается положительная работа. Определим силу, совершающую эту работу на перемещении $2r_e$:

$$F = \frac{Uq}{2r_e} = -\frac{\mu_0 q^2}{4\pi} \cdot \frac{1}{2r_e} a = -ma. \quad (14)$$

Сила (14) направлена противоположно ускорению независимо от знака заряда, следовательно, это – сила инерции. Таким образом, происхождение силы инерции объясняется электродинамическим процессом.

Известно, что силы возникают в результате взаимодействия материальных объектов. Силы инерции не должны быть исключением. Одним из участников взаимодействия выступает заряженная частица. Возникает вопрос о втором объекте взаимодействия. Используемая нами модель предполагает, что частица движется не в абсолютной пустоте, а в материальной среде с физическими свойствами. Подобная концепция в различных вариациях давно используется в физике [26]. Получается, что силы инерции возникают в результате взаимодействия тел с вакуумной средой. В рамках такой научной концепции силы инерции перестают быть «особым» классом сил, для которых не применим закон «действия-противодействия».

Из (14) следует, что инерция проявляется только при ускоренном движении заряженной частицы относительно физического вакуума. При равномерном и прямолинейном движении частицы относительно физического вакуума инерция не проявляется. Это соответствует закону инерции Ньютона.

Обсудим вопрос о возможности использования системы отсчета, связанной с физическим вакуумом.

Поскольку физический вакуум представляется сплошной средой, в которой могут происходить «течения» и «деформации», то, понятно, что связать с ним единую систему отсчета, и принять ее в качестве абсолютной, невозможно. Но всегда можно ввести и использовать условно неподвижную «местную» систему отсчета, в которой достаточно большой объем физического вакуума остается практически неподвижным хотя бы в одном из направлений.

Описанное выше представление о массе определяет только ее инерционные свойства. Однако концепция физического вакуума, открывает путь и к объяснению гравитации. В монографии [27] показано, что причиной инерции и гравитации является один и тот же физический процесс: взаимодействие заряженных частиц с ускоренными потоками физического вакуума. При этом не важно, какой из объектов взаимодействия рассматривается как подвижный, а какой считается условно неподвижным. Если предположить, что вблизи звезд и планет существуют радиальные ускоренные потоки физического вакуума, то причина гравитации становится очевидной. При использовании этой концепции вопрос об эквивалентности инертной и тяжелой масс получает свое естественное объяснение: они эквивалентны, т. к. обусловлены одним и тем же физическим явлением.

Можно сделать вывод: явления инерции и гравитации единообразно объясняются взаимодействием заряженных частиц с физическим вакуумом при их относительном ускоренном движении.

4. Электромагнитное поле заряженной частицы.

Как следует из полученных выше результатов, механические явления и величины связаны с электродинамикой, которая описывает состояние и эволюцию вакуумной среды. Обратимся к электродинамическим величинам с целью уточнения их характеристик и возможных трактовок.

Электрическое поле условно неподвижной заряженной частицы является сферически симметричным и полностью определяется скалярным потенциалом. Если в выбранной системе отсчета заряженная частица совершает движение, то вокруг нее создается еще и магнитное поле. Оно характеризуется векторным электродинамическим потенциалом A . В качестве основной характеристики электромагнитного поля движущегося заряда принимается 4-вектор $(A, \varphi/c)$.

В соответствие с теоремой Гельмгольца [28] любое неограниченное в пространстве физическое поле обладает двумя компонентами: потенциальной и вихревой. Обычно считается, что потенциальная составляющая электромагнитного поля полностью определяется скалярным потенциалом φ , поэтому векторный потенциал считается сугубо вихревым. В работах [11-14] показано, что такой подход приводит к потере физически содержательной части поля движущейся заряженной частицы. В общем случае векторный электродинамический потенциал следует представлять в виде суперпозиции двух составляющих:

$$A = A_r + A_g, \quad (15)$$

где $A_r = A_{rot}$ - вихревая (соленоидальная) компонента, $A_g = A_{grad}$ - потенциальная компонента.

Соответственно можно записать:

$$\nabla \times A = \nabla \times A_r = B, \quad (16)$$

$$\nabla \cdot A = \nabla \cdot A_g = -B^*, \quad (17)$$

где B – вектор индукции вихревого магнитного поля, B^* – скалярная функция, характеризующая потенциальную компоненту магнитного поля.

Последнюю компоненту принято называть скалярным магнитным полем (СМП). Она обычно исключается при помощи калибровок Кулона и Лоренца. Теория, учитывающая обе компоненты магнитного поля, называется обобщенной электродинамикой [11-14].

В системе отсчета K_0 , сопровождающей заряженную частицу, имеется только электрическое поле: $E_0 \neq 0$, $B_0 = 0$, $B_0^* = 0$. Для потенциалов соответственно имеем: $\varphi_0 \neq 0$, $A_0 = 0$.

Нам предстоит определять компоненты 4-потенциала и характеристики электромагнитного поля в условно неподвижной системе отсчета K , относительно которой частица движется прямолинейно со скоростью v . В системе отсчета K будем использовать обозначения:

$$E \neq 0, \quad B \neq 0, \quad B^* \neq 0 \text{ и } \varphi \neq 0, \quad A \neq 0.$$

С использованием преобразований Лоренца в СИ [29] для положительной частицы имеем:

$$\varphi = \gamma(\varphi_0 - v \cdot A), \quad (18)$$

$$A = A_0 - \gamma \frac{v}{c^2} \varphi_0 + (\gamma - 1) \frac{v}{v^2} (v \cdot A_0), \quad (19)$$

где $\gamma = (1 - v^2/c^2)^{-2}$.

В случае прямолинейного и равномерного движения частицы ее поле в K имеет характеристики:

$$E = \gamma[E_0 - v \cdot \nabla A - v \times (\nabla \times A)] = \gamma(E_0 + v \cdot B^* - v \times B), \quad (20)$$

$$B = \frac{\gamma}{c^2} v \times E_0, \quad (21)$$

$$B^* = \frac{\gamma}{c^2} v \cdot E_0. \quad (22)$$

При малых скоростях используются преобразования Галилея:

$$E = E_0 + v \cdot B^* - v \times B, \quad (23)$$

$$B = \frac{1}{c^2} v \times E_0 = \frac{\mu_0 q}{4\pi} \frac{v \times r}{r^3}, \quad (24)$$

$$B^* = \frac{1}{c^2} v \cdot E_0 = \frac{\mu_0 q}{4\pi} \frac{v \cdot r}{r^3}. \quad (25)$$

Формула (24) выражает закон Био-Савара-Лапласа, а (25) представляет аналог такого же закона для СМП. Распределение векторного и скалярного магнитных полей движущейся частицы определяются формулами (24) и (25).

На рис. 1 схематично представлено обобщенное магнитное поле положительно заряженной движущейся частицы.

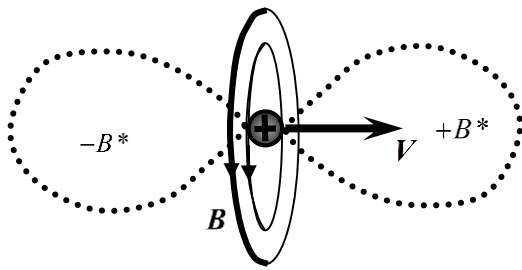


Рис. 1. Схематичное представление магнитного поля положительно заряженной движущейся частицы

Если положительно заряженная частица движется вдоль оси Ox ($v \ll c$), то вихревое магнитное поле в сферических координатах представляется функцией:

$$B(r, \varphi, \theta, t) = \frac{\mu_0 q v}{4\pi r^2} \sqrt{\sin^2 \theta \sin^2 \varphi + \cos^2 \theta}. \quad (26)$$

Распределение СМП происходит по закону:

$$B^*(r, \varphi, \theta, t) = \frac{\mu_0 q}{4\pi} \frac{v}{r^2} \sin \theta \cos \varphi. \quad (27)$$

Здесь $r = r(t)$ – расстояние от центра подвижной частицы до точки пространства, в которой определяется поле. Углы θ и φ – тоже функции времени. Поэтому магнитное поле отдельной подвижной заряженной частицы всегда является нестационарным.

Из (25) и (27) следует, что в плоскости, проходящей через центр частицы, ортогонально вектору скорости ее движения $B^*\left(r, \frac{\pi}{2}, \theta, t\right) = 0$. Перед движущейся

положительной частицей функция B^* имеет положительный знак, позади частицы СМП имеет отрицательный знак (Рис.1). Для отрицательной движущейся частицы полярность СМП будет обратной.

Производная по времени $\partial B^*/\partial t$ имеет размерность плотности заряда. В [11] и [13] теоретически и экспериментально обосновано явление безвихревой электромагнитной индукции: нестационарное СМП порождает потенциальное электрическое поле. Соответствующий закон записывается в виде:

$$\nabla \cdot \mathbf{D} = \frac{\partial B^*}{\partial t},$$

где \mathbf{D} – вектор электрической индукции. Иными словами, точка пространства, в которой в выбранной системе отсчета создается нестационарное СМП аналогична точечному электрическому заряду. Будем называть его квазизарядом.

Получается, что движущаяся заряженная частица приобретает дополнительно свойства электрического диполя. Перед движущейся положительной частицей (по

ходу ее движения) возникает положительный квазизаряд, а сзади – отрицательный.

Для отрицательной частицы в формулах (18)-(25) знак скорости следует изменить на противоположный. При этом знаки квазизарядов диполя тоже изменятся на противоположные.

Таким образом, электрическое поле движущегося заряда в системе отсчета K имеет сложную конфигурацию. Оно представляет собой суперпозицию эллипсоидального поля Хэвисайда [1] и поля электрического диполя. Поскольку квазизаряды, образующие диполь, имеют различные знаки, потенциальная энергия их взаимодействия является отрицательной. Отсюда следует, что энергии СМП необходимо приписать отрицательный знак. По этой причине Андреев В.Д. [30] предложил описывать СМП мнимой функцией.

Если при рассмотрении взаимодействия подвижных зарядов оперировать электрическими полями такой сложной конфигурации, то математические выражения будут громоздкими. Поэтому эту задачу обычно структурируют: рассматривают суперпозицию сферически симметричного (кулоновского) электрического поля и дополнительного электрического поля, не обладающего сферической симметрией. Эта последняя компонента электрического поля и называется магнитным полем. Она, как известно, зависит от выбора системы отсчета.

Рассмотрим электрон в сопровождающей системе отсчета K_0 . Он считается неподвижным, а вакуумная среда обтекает его с постоянной скоростью. При этом электрон ощущает «вакуумный ветер». Значит, его электрическое поле деформируется и возникает магнитное поле. Чтобы его детектировать, нужен еще один пробный заряд. Расположим и его неподвижно относительно электрона в K_0 . Пробный заряд тоже ощущает «вакуумный ветер», и у него возникнет магнитное поле. Суммарный результат электрического и магнитного взаимодействий электрона и пробного заряда будет выражаться обычной кулоновской силой. Следовательно, в этом эксперименте не удастся детектировать магнитное поле, даже если заряды находятся в потоке вакуумной среды.

Изменим условия эксперимента. Пусть электрон по-прежнему покоится в сопровождающей системе отсчета K_0 . А пробный заряд расположен неподвижно в системе отсчета K , связанной с местным потоком физического вакуума. Такую систему отсчета принято называть инерциальной. Если K_0 движется относительно K поступательно и равномерно, то она тоже является инерциальной. Пробный заряд не ощущает «вакуумного ветра», его электрическое поле не деформируется. В этом случае в любой из систем отсчета K_0 или K происходит взаимодействие подвижного заряда с неподвижным. Пробный заряд имеет сферически симметричное (кулоновское) поле, а электрическое поле электрона деформировано «вакуумным ветром». Сила взаимодействия этих зарядов отличается от кулоновской. Следовательно, в этом эксперименте можно определить

энергию взаимодействия электрона с физическим вакуумом. Это и есть энергия магнитного поля. Из приведенных мысленных экспериментов становится понятно, что магнитное поле обнаруживается только при условии относительного движения основного и пробного зарядов. При этом оба заряда необходимо связать с инерциальными системами отсчета.

Таким образом, сам феномен магнитного поля доказывает существование физического вакуума. Если представить заряженную частицу, движущуюся в абсолютной пустоте, то невозможно указать фактор, приводящий к описанному выше искажению ее электрического поля. Релятивистский эффект в соответствие с (1) для отдельного электрона, конечно проявляется, хотя при дрейфовой скорости в несколько миллиметров в секунду он крайне мал. Интегральное выражение этого эффекта для тока в проводнике способно дать представление лишь о вихревом магнитном поле. Вторую компоненту магнитного поля – потенциальную – релятивистский эффект не способен описать.

Выводы:

1. Магнитное поле возникает при движении заряженной частицы относительно вакуумной среды.
2. Магнитное поле уединенного заряда имеет две компоненты: вихревую (векторную) и потенциальную (скалярную).
3. Энергия скалярного магнитного поля имеет отрицательный знак.

5. Энергия магнитного поля электрона.

Используя (26), запишем выражение для распределения плотности энергии векторного магнитного поля подвижного электрона:

$$w_B = \frac{B^2}{2\mu_0} = \frac{\mu_0}{2} \left(\frac{qv}{4\pi} \right)^2 \cdot \frac{(\sin^2 \theta \sin^2 \varphi + \cos^2 \theta)}{r^4}, \quad (28)$$

Принимаем пределы интегрирования в радиальном направлении от r_e до ∞ . Используя сферические координаты (r, φ, θ) , получим энергию векторного магнитного поля:

$$W_B = \frac{\mu_0 q^2 v^2}{32\pi^2} \int_0^\pi (\sin^2 \theta \sin^2 \varphi + \cos^2 \theta) d\theta \int_0^{2\pi} d\varphi \int_{r_e}^\infty \frac{1}{r^2} dr = \frac{\mu_0 q^2 v^2}{12\pi e}. \quad (29)$$

Используя выражение (7) для массы частицы при $l = 2r_e$, получим:

$$W_B = \frac{\mu_0 q^2 v^2}{24\pi e} = \frac{4}{3} \frac{mv^2}{2} = \frac{4}{3} K. \quad (30)$$

Этот результат известен под названием «проблема 4/3» [1]. Энергия вихревого магнитного поля превышает кинетическую энергию частицы.

Вычислим энергию скалярного магнитного поля этой частицы, используя (27). Как показано выше, эта энергия является отрицательной:

$$W_{B^*} = - \int_V \frac{B^{*2}}{2\mu_0} dV = - \frac{\mu_0 q^2 v^2}{32\pi^2} \int_0^\pi d\theta \int_0^{2\pi} d\varphi \int_{r_e}^\infty \left(\frac{\sin \theta \cos \varphi}{r^2} \right)^2 r^2 \sin \theta dr.$$

С учетом (7) получим значение:

$$W_{B^*} = - \frac{\mu_0 q^2 v^2}{48\pi e} = - \frac{1}{3} \frac{mv^2}{2} = - \frac{1}{3} K. \quad (31)$$

В результате сложения (30) и (31) находим энергию обобщенного магнитного поля, которая в точности равна кинетической энергии электрона:

$$W_{B+B^*} = \frac{4}{3} K - \frac{1}{3} K = K.$$

Вывод: проблема 4/3 решается при определении массы как сугубо электромагнитного явления с учетом вихревой и потенциальной компонент магнитного поля.

Такой же результат можно получить, не используя характеристики напряженности магнитного поля \mathbf{B} и B^* . Пусть частица с зарядом q и радиусом r_e разгоняется в системе отсчета K , связанной с местной вакуумной средой. Ограничимся случаем, когда конечная скорость существенно меньше скорости света. Взаимодействие движущейся частицы со средой определяется векторным потенциалом:

$$\mathbf{A}(t) = \frac{\mu_0 q \mathbf{v}(t)}{4\pi r_e}. \quad (32)$$

Здесь используется расстояние r_e , так как воздействие среды на частицу происходит на ее сферической поверхности. Считаем, что сферическая частица движется поступательно, поэтому при описании ее движения можно использовать дифференциальное уравнение динамики точки. При разгоне во внешней среде частица испытывает внешнее тормозящее воздействие (силу инерции):

$$\mathbf{F} = -q \frac{d\mathbf{A}}{dt}. \quad (33)$$

Сила, разгоняющая частицу, имеет такой же модуль, но противоположный знак:

$$\mathbf{F} = q \frac{d\mathbf{A}}{dt}. \quad (34)$$

В случае торможения частицы $d\mathbf{A}/dt < 0$, поэтому знаки сил в уравнениях (33) и (34) изменятся на противоположные.

Представим (34) в форме теоремы об изменении количества движения точки:

$$\mathbf{F} dt = q d\mathbf{A}.$$

Правая часть представляет собой дифференциал количества движения точки:

$$d\mathbf{Q} = q d\mathbf{A},$$

где $\mathbf{Q} = m_0 \mathbf{v}$.

С учетом (32), запишем:

$$d\mathbf{Q} = \frac{\mu_0 q^2}{4\pi e} d\mathbf{v}.$$

Помножив скалярно обе части этого уравнения на $v/2$, получим слева дифференциал кинетической энергии:

$$dK = \frac{\mu_0 q^2}{4\pi_e} \frac{v}{2} \cdot dv.$$

В результате интегрирования с учетом (8) приходим к выражению:

$$K = \frac{\mu_0 q^2}{8\pi_e} \frac{v^2}{2} = \frac{m_0 v^2}{2}.$$

Как видно, при таком подходе не возникает проблем с энергетическим соотношением, так как вектор A полностью учитывает взаимодействие подвижной заряженной частицы с вакуумной средой.

Заключение.

Элементарные частицы и связанные с ними поля невозможно наблюдать визуально, поэтому проблема моделирования частиц и полей приобретает концептуальное значение. Эволюция наших представлений о микромире напрямую связана с развитием этих моделей и оценкой их адекватности на каждом этапе познания. Поэтому научная дискуссия по этой проблематике всегда актуальна.

Одна из возможных концепций, истоки которой связаны с именами Ньютона, Фарадея и Максвелла, обоснована и развита в данной работе. Она создает единую научную платформу для механики и электродинамики. Можно сказать: механика является макроскопическим обобщением электродинамики физического вакуума [31]. Этот тезис позволяет сформировать адекватную модель электрона и логически обосновать следующие результаты:

1. Масса электрона имеет сугубо электромагнитную природу.

2. Инерция и гравитация возникают за счет взаимодействия заряженной частицы с вакуумной средой при их относительном ускоренном движении.

3. Магнитное поле возникает при движении заряженной частицы относительно вакуумной среды. Энергия магнитного поля уединенной заряженной частицы соответствует ее кинетической энергии.

Дальнейшее развитие связей и аналогий между механикой и электродинамикой на основе адекватных моделей микромира позволит естественному выйти на качественно новый уровень развития.

Авторы благодарны профессору Андрееву В.Д. за полезные советы, высказанные в ходе предварительного обсуждения результатов работы.

Литература

1. Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М. Фейнмановские лекции по физике. Том 6: Электродинамика. Перевод с английского (издание 3). – М.: «Мир», 1977. – 347 с.
2. Thomson J. J. On the Electric and Magnetic Effects produced by the Motion of Electrified Bodies// Philosophical Magazine, 5 11 (68): 229–249. [10.1080/14786448108627008](https://doi.org/10.1080/14786448108627008)
3. Максвелл Дж. Трактат об электричестве и магнетизме. В двух томах. – М.: Наука, 1989.

4. Stokes G. G. On some cases of fluid motion on Internet Archive// Transactions of the Cambridge Philosophical Society 8 (1): 105–137 (Read May 29, 1843).
5. Миткевич В. Ф. О «физическом» действии на расстоянии. Известия Академии наук СССР. VII серия. Отделение математических и естественных наук, 1933, выпуск 10, 1391–1409. <http://books.e-heritage.ru/book/10081581>
6. Жилин П.А. Реальность и механика// Труды XXIII школы-семинара «Анализ и синтез нелинейных механических колебательных систем», С.-Пб., 1-10 июля, 1995 г. ИПМаш АН, 1996 г., с. 6-49. http://teormeh.spbstu.ru/Zhilin_New/pdf/Zhilin_Reality_rus.pdf
7. K. J. van Vlaenderen, Waser A. Generalization of classical electrodynamics to admit a scalar field and longitudinal waves// Hadronic Journal 24, 609-628 (2001).
8. Woodside D.A. Three-vector and scalar field identities and uniqueness theorems in Euclidean and Minkowski spaces// Am. J. Phys., Vol.77, № 5, pp.438- 446, May 2009.
9. Arbab A. I., Satti Z. A. On the Generalized Maxwell Equations and Their Prediction of Electroscalar Wave// Progress in physics, 2009, v.2.- s. 8-13.
10. Podgajny D.V., Zaimidoroga O.A. Nonrelativistic theory of electroscalar field and Maxwell electrodynamics// Available (2013): <http://arxiv.org/pdf/1005.3130.pdf>
11. Томилин А.К. Основы обобщенной электродинамики. – Интернет-журнал СПбГТУ "Математика в ВУЗе" № 17. http://www.spbstu.ru/publications/m_v/N_017/frame_17.html
12. Нефедов Е.И. Электромагнитные поля и волны.- Учебное пособие. – М.: «Академия», 2014.- 368 с.
13. Tomilin A.K. The potential-vortex theory of electromagnetic waves// Journal of Electromagnetic Analysis and Applications, 2013, v.5, № 9. P. 347-353. <http://dx.doi.org/10.4236/jemaa.2013.59055>
14. Николаев Г.В. Современная электродинамика и причины её парадоксальности. - Томск: Твердыня, 2003.- 149 с. http://doverchiv.narod.ru/Nikolaev/Nikolaev_modern_electrodyn_amics.htm
15. Мисюченко И., Викулин В. Электромагнитная масса и решение проблемы 4/3. http://electricaleather.com/d/358095/d/em43_1.pdf
16. Rohrlich F. The dynamics of a charged sphere and the electron// American Journal of Physics 65 (11): 1051–1056, [1997AmJPh..65.1051R](https://doi.org/10.1119/1.18719), doi :10.1119/1.18719
17. Schwinger J. Electromagnetic mass revisited// Foundations of Physics, 13 (3): 373-383, 1983. [10.1007/BF01906185](https://doi.org/10.1007/BF01906185)
18. Fedosin S. G. The Integral Energy-Momentum 4-Vector and Analysis of 4/3 Problem Based on the Pressure Field and Acceleration Field// American Journal of Modern Physics. Vol. 3, No. 4, 2014, pp. 152-167.
19. Fedosin S.G. 4/3 Problem for the Gravitational Field// Advances in Physics Theories and Applications, 2013, Vol. 23, P. 19 – 25.
20. Кирьяко А. Г. О классическом радиусе электрона// http://kyriak.socionet.ru/files/About_electron_size.pdf
21. Кирьяко А. Г. Теории происхождения и генерации массы// <http://electricaleather.com/d/358095/d/massorigin.pdf>
22. Арцимович Л.А. Элементарная физика плазмы.- М. 1963.- 98 с.
23. Сарапулов Ф. Н. Расчет параметров цепей электротехнологических установок. - Учебное пособие. - Екатеринбург. 1999. Уральский государственный технический университет. <http://window.edu.ru/resource/485/28485/files/ustu092.pdf>
24. Томилин К. А. Планковские величины// 100 лет квантовой теории. История. Физика. Философия : Труды

- международной конференции. — М.: НИИ-Природа, 2002. — С. 105—113.
25. Парселл Э. Электричество и магнетизм. Берклевский курс физики. Т.2. - М. «Наука», 1975. - 439 с.
26. Chang D. C., Lee Y.-K. Study on the Physical Basis of Wave-Particle Duality: Modelling the Vacuum as a Continuous Mechanical Medium// Journal of Modern Physics, 2015, 6, 1058-1070. <http://dx.doi.org/10.4236/jmp.2015.68110>
27. Мисюченко И. Последняя тайна бога. – С.-Петербург, 2009. - 266 с. <http://electricaleather.com/d/358095/d/poslednyaya-tayna-boga.pdf>
28. Helmholtz H. Uber Integrale der hydrodynamischen Gleichungen, welche den Wirbelbewegungen entsprechen// Crelles J. 55, 25 (1858).
29. Фок В.А. Теория пространства, времени и тяготения.- ГИТТЛ, Москва, 1955.- 504 с.
30. Андреев В.Д. Избранные проблемы теоретической физики.- «Аванпост-Прим», Киев, 2012. - 272 с. <http://www.twirpx.com/file/1135625/>
31. Николаев Г.В. Электродинамика физического вакуума. Новые концепции физического мира. – Томск, Изд-во НТЛ, 2004 г., 700 с. <http://electricaleather.com/d/358095/d/nikolayevg.v.elektrodinamika-fizicheskogovakuuma.pdf>

Relationships between electromagnetic and mechanical Characteristics of electron

Tomilin A.K¹, Misiucenko I.², Vikulin V.C.³

¹ National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russian Federation

E-mail: aktomilin@gmail.com

² Research Center "Algorithm", St. Petersburg, Russian Federation

E-mail: ruberoid2101@yandex.ru

³ "High pass VLSI Laboratory" Ltd, St. Petersburg, Russian Federation

E-mail: v_vikulin@mail.ru

A relationship between electron charge and electron mass was established based on energy relations. The obtained expression corresponds to relativistic transformation of mass. A conclusion was drawn about solely electromagnetic nature of mass. The authors take into account that vector potential of moving charged particle possesses two components – vortex components and potential component. Hence, the generalized magnetic field has vortex (vector) components and potential (scalar) component. It was also established that energy of potential magnetic field is negative and constitutes 1/3 of kinetic energy of particle. Besides, the well-known “problem 4/3” is solved successfully.

Keywords: mass, charge, field, electron radius, proton radius, physical vacuum, vector potential, generalized electrodynamics, energy of magnetic field, problem 4/3.

1. Introduction

The study of interrelations and analogies between mechanics and electrodynamics appears to be a currently relevant and promising scientific problem. Such an approach not only allows to develop and update each of those branches of science, but also to find out new relationships between fundamental constants, to determine the physical essence of notions and postulates that lie at the basis of natural science, to solve the existing problems and explain certain paradoxes.

An idea to present mass of an electron as a purely electromagnetic effect is considered to be very promising [1]. However, up to the present day this idea couldn't be completely worked out, and it was not possible to obtain a self-consistent theory of electromagnetic mass. In our opinion the reason lies in an inadequate model of electron and incomplete knowledge about the electromagnetic field.

Usually a lone electron is considered as a sphere, which is surrounded by vacuum and along the surface of which the charge is spread [1]. Such model calls for the introduction of forces that retain charges on particle surface. Due to this reason “Poincare stresses” are used, which must have a nonelectromagnetic nature. As Feynman noticed, “the beauty of the whole picture disappears at once, everything becomes too complex” [1] in such a model. In other words, Feynman deemed purely electromagnetic explanation to be the most beautiful, but he failed to substantiate it.

Apparently, the explanation of mass as an electromagnetic phenomenon is only possible based on complete and adequate knowledge on the nature of two

interrelated phenomena – namely, electric charge and electromagnetic field.

The notion of “vacuum” in the sense of a totally empty space is in contradiction with the close-range interaction principle, on which Faraday, Maxwell, Thomson and Stokes relied upon [2-4]. According to perceptions of the electromagnetism theory founders, all physical interactions take place only under the conditions of compulsory participation of a continuous medium that surrounds the interacting centers [5]. These analogies are used in the published work of P.A. Zhilin to the full extent [6]. With the help of these analogies he has found out that in the general case magnetic field possesses both vortex and potential components. Similar conclusions were drawn by K. J. van Vlaenderen [7], Woodside D.A. [8], Arbab I. A., Satti Z. A. [9], Podgainy D.V., and Zaimidoroga O.A. [10]. Results of their studies formed the basis for the generalized electrodynamic theory [11-14].

The traditional interpretation of electromagnetism is not complete. The usage of Coulomb and Lorentz gages led to the exclusion of potential electromagnetic processes. A number of well-known paradoxes arose as a result: the violation of Newton's third law in the case of electromagnetic interaction [11], the “4/3 problem” [15] and some others.

The goals of the present article are:

- to develop a model for an elementary charged particle that would allow to determine the correlation between its charge and mass;

- to eliminate the discrepancy between the kinetic energy of an electron and total energy of its magnetic field (also known

as “4/3 problem”) on the basis of generalized electrodynamic theory.

2. The correlation between charge and mass of an elementary particle.

The scientific discussion concerning the structure of an electron continues to be of vital importance for many decades [16-21]. A sufficiently complete overview of microcosm structure models is given in the article of A.G. Kiryako [21]. Three hypotheses of mass origin are examined – namely, electron theory, Higgs mechanism of the Standard Model and the principle of mass generation in the nonlinear theory of elementary particles. Strengths and shortcomings of each of them are shown as well as the existence of strong connections between them.

Poincare model is further elaborated in several modern researches [18-19]. In particular, it is proposed to view an electron as a multitude of similar particles forming a gravitationally bound system and filling up a certain spherical space [18]. In the process of viewing the internal interactions not only electromagnetic field but also gravitational field are taken into account, as well as acceleration field and pressure field. It is generally thought that all electron properties and all phenomena related to electron can be explained solely by endogenous processes.

In our opinion, Poincare model and its modifications have a critical weakness. It is impossible to use the functions of charge and mass distribution with regard to an elementary particle. This is why internal structural objects that have a charge less than that of an elementary charge cannot be isolated. Such a model cannot be used for the interpretation of nature of an elementary electric charge and electromagnetic field related to it.

Nevertheless, Poincare model has a high-priority advantage – namely, rejection of pointwise idealization and use of certain radius r_e . Let us note that it differs from a well-known traditional electron radius $R_e = 2,81 \cdot 10^{-15} \text{ m}$, which determines the size of its effective electric field. It is apparent that in such a model the relation $r_e < R_e$ should be valid.

Another model deems electron to be an electromagnetic process taking place within an area with indistinct boundaries [20-21]. Under this approach there is no need to introduce forces of non-electromagnetic nature into consideration, and therein its advantage lies. Electric field appears beyond the boundaries of the above-indicated area. This model can be developed and applied for studying the process, which occurs inside the particle, in order to explain the nature of elementary electric charge. The difficulty in the usage of this model lies in the lack of a distinct boundary of the area where the charge is generated [20]. Besides, the issue of surrounding environment and its properties remains open.

Let us come up with a hybrid electron model. Let us deem that electron charge is generated by an electromagnetic process localized in the sphere of a certain radius r_e . The value r_e is to be determined. Thus, an electron is deemed to be a localized particle of a spherical shape with a well-defined

boundary. The particle has its own charge and mass. Self-electromagnetic field is generated beyond the spherical particle.

The issue of electromagnetic field nature has already been mentioned in the Introduction. This issue is connected with conceptional foundations of natural science. Materialistic concept of close-range interaction denies that vacuum represents absolute emptiness. Empty space that has no physical properties cannot be used in the description of physical interaction even as an abstract term. This is why physicists use term “physical vacuum” - a material continuous medium with known electromagnetic properties. The electron model (suggested by us) assumes that electron is formed by a process going on in this medium (e.g., a toroidal quantum vortex) [21]. Thus, an electron is generated by the material vacuum medium, it is always inside the latter and is inseparable from the latter. Within the framework of such theory, the electromagnetic field is presented as a series of disturbances of this medium – namely, currents, deformations and waves. We do not know all medium properties, and even the medium nature itself remains uncertain. That’s why the suggested model does not claim to be complete – because it does not describe the electromagnetic process ongoing inside an electron in detail, and, therefore, it does not describe the nature of the charge itself. Our model cannot explain all its quantum properties and stability problem. Nevertheless, it allows to use the notions “charge”, “mass”, and “field” and to correlate these terms to certain material objects. The interrelation between these objects should be expressed in the form of certain correlations between their physical characteristics.

Let us study a charged particle with radius r_e moving linearly and steadily with velocity v . For the sake of definiteness, let us deem it as positive and place the observer at a certain point assumed to be unmoving. Entire particle charge q will pass by the observer in a time equal to the ratio of its longitudinal size to its motion velocity:

$$t = \frac{l}{v}.$$

In the general case the linear size of a particle is determined taking into account the relativistic contraction:

$$l = l_0 \sqrt{1 - v^2/c^2}. \quad (1)$$

where $l_0 = 2r_e$.

The observer records the local current:

$$I = \frac{qv}{l}.$$

The energy corresponds to recorded current:

$$W = \frac{LI^2}{2}, \quad (2)$$

Usually inductance L is ascribed to a conductor, but here it should be applied to the charged particle. Such a characteristic is known under the name of “kinetic inductance” [23]. Let us determine the value of kinetic inductance of a spherical particle with radius r_e .

There is no formula for the calculation of spherical conductor inductance in scientific and technical literature, but there is a formula for cylindrical conductor [23]:

$$L = \frac{\mu_0 h}{8\pi} + \frac{\mu_0 h}{2\pi} \left(\ln \frac{2h}{r} - 1 \right), \quad (3)$$

where r - cylinder radius, and h - its height.

In the arguments given above we have studied the particle motion on a segment with length $l = 2r_e$. Hence, $h = 2r_e$ in (3). This means that we need to consider and compare the inductances of a sphere with diameter $2r_e$ and cylinder with the same height. In other words, we consider the cylinder and the sphere inscribed into it. However, such a comparison is not quite correct as the cylinder volume and its surface is larger than the corresponding parameters of the inscribed sphere.

This gives rise to an issue of a criterion for which the difference between the inductances of the sphere and cylinder is minimal. We propose to take the equality of sphere and cylinder surfaces as such criterion. In this case the following relationship between the cylinder radius and sphere radius is valid:

$$r = \sqrt{\frac{2}{3}} r_e = 0,8165 r_e.$$

The inductance of spherical particle in this case can be calculated with high accuracy according to the following formula:

$$L = \frac{\mu_0 l}{4\pi} = \frac{\mu_0 r_e}{2\pi}. \quad (4)$$

It's worth noting that in the case of modeling a particle with material point, kinetic inductance of this point is lost and it becomes impossible to derive its electromagnetic energy.

After writing down (2) taking (4) into account, we will obtain an expression for current energy:

$$W = \frac{\mu_0 q^2 v^2}{8\pi}. \quad (5)$$

On the other hand, moving particle with mass m has kinetic energy:

$$K = \frac{mv^2}{2}. \quad (6)$$

Changes in the value of each of these energies represents work of forces that cause accelerating (decelerating) of particle. In essence, formulas (5) and (6) give one and the same value - therefore, they could be equated. Hence we will obtain an expression correlating charge with mass:

$$m = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{q^2}{l}. \quad (7)$$

Neglecting the relativistic effect, let's assume that $l = l_0 = 2r_e$, and we will derive a value, which is generally agreed to call "rest mass" of charged particle:

$$m_0 = \frac{\mu_0}{8\pi} \cdot \frac{q^2}{r_e}. \quad (8)$$

It is obvious from (7) and (8) that particle mass does not depend on the sign of its charge. In particular, these formulas can be applied to electron. Taking into account the known value of electron rest mass, we will obtain electron radius:

$$r_e = \frac{\mu_0}{8\pi} \cdot \frac{q^2}{m_0} = 1,4 \cdot 10^{-15} \text{ m}, \quad (9)$$

where $m_0 = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$ - rest mass of electron, $q = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ - elementary charge, $\mu_0 = 1,256 \cdot 10^{-6} \text{ H/A}^2$ - magnetic permeability of vacuum.

The obtained own radius of electron turned out to be half as large than classical electron radius $R_e = 2,81 \cdot 10^{-15} \text{ m}$. It's worth noting here that the limiting accuracy of measurements for geometric dimensions is restricted by Planckian length $l_p = 1,6 \cdot 10^{-35} \text{ m}$. [24]. Obviously, quantum properties of electron don't exert significant influence on accuracy of electron radius determination (9).

Taking into consideration the used method for mass determination (7), the mass should be called inertial. However, this leads to an issue of gravitational mass and phenomenon of gravitation proper. This issue (plus the problem of equivalence of inertial mass and gravitational mass) will be discussed in one of the subsequent sections.

Let's discuss the obtained result and its validity. We have analyzed the process of acceleration of a single electron and equated the work of accelerating force to kinetic energy acquired by electron. Of course, the energy of electron interaction with physical vacuum changes when an electron is accelerated, and magnetic field is generated. This gives rise to the following question regarding electromagnetic field energy - should we add the energy of electron field to the kinetic energy of electron or not? Such a question involves hypothetical separation of the motion process: at first an electron moving in emptiness is considered (and its kinetic energy is determined), and then an ambient environment is included in consideration and energy of ambient environment disturbance resulting from electron motion is determined. Such an approach is used/ for instance, when analyzing the motion of bodies in a viscous medium. However, the thing is that the known expression for kinetic energy was derived for motion of material objects in physical vacuum - not in emptiness. That's why it takes into account the change in energy of object relation with this medium. In our case kinetic energy of electron and energy of electron field are one and the same. Formulas for mechanics and electrodynamics for energy look differently, but they reflect one and the same essence. That's why these energies in our case are equated, rather than being summed up.

As is well-known, particle mass depends on velocity of particle motion:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}. \quad (10)$$

The value of charge does not depend on particle motion velocity (in contrast to mass). The charge is a relativistic invariant [25]. Obtained relationship (10) is in conformity with these properties of charge and mass. Relativistic increase in

mass stems from reduction in particle dimensions in the direction of its motion according to (1).

Let's analyze another elementary particle – namely, proton. It is well-known that proton mass is 1836 times greater than electron mass:

$$m_p = 1,672 \cdot 10^{-27} \text{ kg}.$$

At the same time proton radius is approximately 3.2 times less than the classical electron radius. Usually the following value is used:

$$R_p = 0,8751 \cdot 10^{-15} \text{ m}.$$

Reverse nonlinear dependence between mass and size of elementary particles is observed. Hence, true radius of proton calculated using formula (9) is significantly smaller than electron radius:

$$r_p = \frac{\mu_0}{8\pi} \cdot \frac{q^2}{m_p} = 0,761 \cdot 10^{-18} \text{ m}.$$

Let's calculate the relationship:

$$\frac{R_p}{r_p} = 1150.$$

The similar relationship for electron is equal to 2.

These relationships verify the above-described standpoint regarding nature of mass – namely, the smaller is the size of elementary particle, the stronger it is connected with physical vacuum.

Of course, this gives rise to an issue of mass of electrically neutral particles – e.g. neutron [15]. It is well known that in free state neutron breaks down to form electron, proton and antineutrino. Hence, it is possible to represent neutron as a set of oppositely charged particles and to determine their total mass taking their interactions with one another into account. The problem of photon mass can be also solved on the basis of comprehensive picture about electromagnetic wave [13].

Conclusions:

1. The suggested model of lone electron enables to adequately describe its motion in the physical vacuum medium and determine electromechanical analogies.

2. The mass of a charged particle is unambiguously determined by its charge and own size, which is calculated in the chosen frame of reference.

3. The mass of moving charged particle in the chosen frame of reference grows depending on velocity solely due to relativistic contraction of its size in the motion direction.

3. Inertia and gravitation

Let us analyze a case of accelerated motion of a charged particle. The convection current won't be direct anymore; therefore its time derivative will be different from zero:

$$\dot{I} = \frac{\partial I}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{qv}{2r_e} \right) = \frac{q}{2r_e} a, \quad (11)$$

where $a = \frac{\partial v}{\partial t}$ – is particle acceleration.

According to the law of electromagnetic induction, such current causes EMF of self-induction that hinders the change of the current that generates it:

$$U = -L\dot{I}.$$

Taking into account (4), it's possible to put down the following:

$$U = -\frac{\mu_0 r_e}{2\pi} \cdot \frac{q}{2r_e} a = -\frac{\mu_0 q}{4\pi} a. \quad (12)$$

The following work is done as a result of charge motion:

$$Uq = -\frac{\mu_0 q^2}{4\pi} a. \quad (13)$$

In the case of positive acceleration work has a negative sign, while in the case of particle deceleration positive work is performed. Let us determine the force that performs this work for motion distance being $2r_e$:

$$F = \frac{Uq}{2r_e} = -\frac{\mu_0 q^2}{4\pi} \cdot \frac{1}{2r_e} a = -ma. \quad (14)$$

Force (14) is directed opposite to the acceleration direction regardless of the charge sign. Hence, that is the inertia force. Thus, the inertia force origin is explained by electrodynamic process.

It is well known that forces emerge as a result of the interaction between material objects. The inertia forces must not be an exception. A charged particle is one of the interacting participants. A question arises about a second participant of this interaction. The model (used by us) assumes that the particle does not move in absolute vacuum, but that it moves in a material medium with physical properties. Such concept has been used in physics in different variations for a long time [26]. The conclusion is that the inertia forces emerge as a result of interaction between bodies and vacuum medium. Within the frames of such scientific concept, the inertia forces cease to be a "special" class of forces, to which the "action and reaction" law cannot be applied.

It follows from (14) that inertia appears only in the case of accelerated motion of a charged particle relative to physical vacuum. In the case of uniform and rectilinear motion of the particle relative to physical vacuum inertia does not appear. This corresponds to Newton first law.

Let us discuss the issue of usability of a frame of reference related to physical vacuum. Since physical vacuum seems to be as a continuous medium, in which "currents" and "deformations" may take place, it is clear that it is impossible to associate a single frame of reference to it and accept this frame of reference as absolute. But it is always possible to introduce and apply a conditionally motionless "local" frame of reference, in which a sufficiently large volume of physical vacuum stays practically motionless at least in one of the directions.

The above-described notion of mass determines its inertial properties only. However, the concept of physical vacuum opens the way to explanation of gravitation. It is shown in monograph [27] that one and the same physical process represents a reason for inertia and gravitation – namely, interaction of charged particles with accelerated fluxes of physical vacuum. And it is not important, which of the objects of interaction is regarded to be in motion and which is considered to be conditionally motionless. If we assume that

there are radial accelerated fluxes of physical vacuum close to stars and planets, then the reason behind the gravitation becomes obvious. When using this concept, it becomes possible to give natural explanation to the issue of equivalence of inertial mass and gravitational mass - they are equivalent because they are preconditioned by one and the same physical phenomenon.

A conclusion can be drawn that the phenomena of inertia and gravitation are equally explained by the interaction of charged particles with physical vacuum in the course of their relative accelerated motion.

4. Electromagnetic field of charged particle

As follows from the results obtained and described above, mechanical phenomena and values are connected with electrodynamics that describes the state and evolution of the vacuum medium. Let us advert to electrodynamic values with the aim to clarify their characteristics and possible interpretations.

The electrical field of a conditionally motionless charged particle is spherically symmetrical. It is completely determined by scalar potential. If a charged particle is in motion within a chosen frame of reference, magnetic field also is generated around it. This field is characterized by electrodynamic vector potential A . 4-vector $(A, \varphi/c)$ can be adopted as the main characteristic of an electromagnetic field of moving charge.

According to Helmholtz theorem [28], any physical field (that is unlimited in space) has two components: potential component and vortex one. It is usually considered that the potential component of the electromagnetic field is fully determined by scalar potential φ , and this is why vector potential is deemed to be purely vortex. It is shown in [11-14] that such an approach leads to the loss of the physically substantial part of the field of moving charged particle. In the general case, electrodynamic vector potential should be presented as a superposition of two components:

$$\mathbf{A} = \mathbf{A}_r + \mathbf{A}_g, \quad (15)$$

where $\mathbf{A}_r = \mathbf{A}_{rot}$ - is the vortex (solenoidal) component, $\mathbf{A}_g = \mathbf{A}_{grad}$ - is the potential component.

Hence it is possible to put down the following:

$$\nabla \times \mathbf{A} = \nabla \times \mathbf{A}_r = \mathbf{B}, \quad (16)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{A} = \nabla \cdot \mathbf{A}_g = -B^*, \quad (17)$$

where \mathbf{B} - is the vector of vortex magnetic field induction, B^* - scalar function that characterizes the potential component of the magnetic field.

The last component is usually called scalar magnetic field (SMF). It is usually excluded with the use of Coulomb and Lorentz gauges. The theory that takes into account both components of the magnetic field is called generalized electrodynamics [11-14].

Within the frame of reference K_0 that accompanies the charged particle, there is only electrical field: $\mathbf{E}_0 \neq 0$, $\mathbf{B}_0 = 0$, $B_0^* = 0$. Correspondingly, for the potentials we have: $\varphi_0 \neq 0$, $\mathbf{A}_0 = 0$.

We need to determine the 4-potential components and characteristics of electromagnetic field in a conditionally motionless frame of reference K , relative to which the particle moves rectilinearly with velocity \mathbf{v} . We will use the following notations in the frame of reference K :

$$\mathbf{E} \neq 0, \quad \mathbf{B} \neq 0, \quad B^* \neq 0 \text{ и } \varphi \neq 0, \quad \mathbf{A} \neq 0.$$

After using Lorentz transformations in the SI system [29] for a positive particle we have:

$$\varphi = \gamma(\varphi_0 - \mathbf{v} \cdot \mathbf{A}), \quad (18)$$

$$\mathbf{A} = \mathbf{A}_0 - \gamma \frac{\mathbf{v}}{c^2} \varphi_0 + (\gamma - 1) \frac{\mathbf{v}}{v^2} (\mathbf{v} \cdot \mathbf{A}_0), \quad (19)$$

where $\gamma = (1 - v^2/c^2)^{-1/2}$.

In the case of rectilinear and uniform motion of particle, its field in K has the following characteristics:

$$\mathbf{E} = \gamma[\mathbf{E}_0 - \mathbf{v} \cdot \nabla \mathbf{A} - \mathbf{v} \times (\nabla \times \mathbf{A})] = \gamma(\mathbf{E}_0 + \mathbf{v} \cdot \mathbf{B}^* - \mathbf{v} \times \mathbf{B}), \quad (20)$$

$$\mathbf{B} = \frac{\gamma}{c^2} \mathbf{v} \times \mathbf{E}_0, \quad (21)$$

$$B^* = \frac{\gamma}{c^2} \mathbf{v} \cdot \mathbf{E}_0. \quad (22)$$

Galilean transformations are used at low velocities:

$$\mathbf{E} = \mathbf{E}_0 + \mathbf{v} \cdot \mathbf{B}^* - \mathbf{v} \times \mathbf{B}, \quad (23)$$

$$\mathbf{B} = \frac{1}{c^2} \mathbf{v} \times \mathbf{E}_0 = \frac{\mu_0 q}{4\pi} \frac{\mathbf{v} \times \mathbf{r}}{r^3}, \quad (24)$$

$$B^* = \frac{1}{c^2} \mathbf{v} \cdot \mathbf{E}_0 = \frac{\mu_0 q}{4\pi} \frac{\mathbf{v} \cdot \mathbf{r}}{r^3}. \quad (25)$$

Formula (24) represents Bio-Savart Law (Laplace's law), while (25) represents an analogue of the same law for SMF. The distribution of vector and scalar magnetic fields of a particle in motion is determined by formulas (24) and (25). Fig. 1 shows a schematic generalized magnetic field of a positively charged particle in motion.

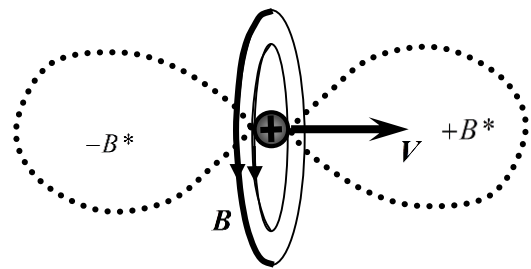


Fig. 1. Schematic representation of magnetic field of a positively charged particle in motion

If a positively charged particle moves along axes Ox ($v \ll c$), the vortex magnetic field in spherical coordinates is represented by function:

$$B(r, \varphi, \theta, t) = \frac{\mu_0 q v}{4\pi r^2} \sqrt{\sin^2 \theta \sin^2 \varphi + \cos^2 \theta}. \quad (26)$$

Distribution of SMF takes place according to law:

$$B^*(r, \varphi, \theta, t) = \frac{\mu_0 q}{4\pi} \frac{v}{r^2} \sin \theta \cos \varphi . \quad (27)$$

Here $r = r(t)$ – is the distance from the center of moving particle to a point in space, in which the field is determined. Angles θ and φ – are also functions of time. Therefore, magnetic field of a lone charged particle in motion is always nonstationary.

It follows from (25) and (27) that in the plane going through the particle center orthogonally to the vector of its motion velocity $B^*\left(r, \frac{\pi}{2}, \theta, t\right) = 0$. Ahead of the positive

particle in motion, function B^* has positive sign, while behind the particle SMF has negative sign (Fig.1). For a negative particle in motion, polarity of SMF will be reverse.

Time derivative $\partial B^*/\partial t$ has a dimension of charge density. The phenomenon of vortex-free electromagnetic induction is theoretically and experimentally substantiated in [11] and [13] – nonstationary SMF generates potential electrical field. The corresponding law is written down in the following form:

$$\nabla \cdot \mathbf{D} = \frac{\partial B^*}{\partial t} ,$$

where \mathbf{D} – vector of electric induction. In other words, a point in space, in which nonstationary SMF is created within the chosen frame of reference, is similar to the point electric charge. We will call it quasi-charge.

It turns out that charged particle in motion additionally acquires properties of electric dipole. A positive quasi-charge arises ahead of the positively charged particle in motion (in the direction of its motion), while behind it – negative.

For a negatively charged particle, the sign for the velocity should be changed to the opposite in formulas (18)-(25). In this case the signs of dipole quasi-charges also will change to the opposite ones.

Thus, the electric field of a moving charge has a complex configuration in the frame of reference K . The electric field represents a superposition of Heaviside's ellipsoidal field [1] and electric dipole field. Since the quasi-charges that make up the dipole have different signs, the potential energy of their interaction is negative. It follows from here that negative sign must be attributed to SMF energy. Due to this reason, V.D.Andreev [30] proposed to describe SMF as an imaginary function.

If we use electrical fields of such complex configuration when studying the interaction of mobile charges, mathematical expressions will be lengthy. That's this problem is usually presented in a structured form – namely, superposition of a spherically symmetric (Coulomb) electric field and superposition of an additional electrical field that does not spherical symmetry are subjected to consideration. This last component of the electrical field is called the magnetic field. As is well-known, it depends on the choice of the frame of reference.

Let's analyze an electron in an accompanying frame of reference K_0 . It is considered to be motionless, while the

vacuum medium flows around it with a constant velocity. In this case the electron experiences a "vacuum wind". Hence, its electric field is deformed, and magnetic field appears. To detect it, another trial charge is needed. Let's place it motionless relative to the electron in K_0 . The trial charge also experiences "vacuum wind", and its magnetic field appears. The overall result of electric and magnetic interactions of electron and trial charge will be expressed by usual Coulomb force. Hence, it won't be possible to detect magnetic field in this experiment even if the charges are located in a flux of vacuum medium.

Let's change the conditions of experiment. Let the electron still be in an accompanying frame of reference K_0 , while the trial charge is located motionlessly in the frame of reference K_0 connected with the local flux of physical vacuum. Such a frame of reference is usually called inertial. If K_0 moves translationally and uniformly relative to K , it is also inertial. The trial charge does not feel the "vacuum wind", and its electric field is not deformed. In this case within any of the frames of reference K_0 or K interaction of a mobile charge with the motionless charge takes place. The trial charge has a spherically symmetric (Coulomb) field, while the electric field of electron is deformed by the "vacuum wind". The interaction force of these charges is different from Coulomb force. Hence, it is possible to determine the energy of interaction between electron and physical vacuum in this experiment. This is the energy of the magnetic field. It can be deduced from the given imaginary experiments that magnetic field can only be detected only in the case of relative motion of the main and trial charges. Besides, both charges should be connected with inertial frames of reference.

Thus, the phenomenon of magnetic field itself proves the existence of physical vacuum. If one imagines a charged particle moving through absolute vacuum, it would be impossible to specify a factor that leads to distortion (described above) of the electric field of this particle. Of course, relativistic effect for a lone electron is manifested in accordance with (1), although in the case of charge-drift velocity of several millimeters per second, it is very small. Integral expression for this effect for the current in a conductor can only give an idea about the vortex magnetic field. Relativistic effect is incapable of describing the second component of the magnetic field – namely, potential component.

Conclusions:

4. Magnetic field emerges in the course of charged particle motion relative to vacuum medium.
5. Magnetic field of a lone charge has two components – vortex (vector) component and potential (scalar) component.
6. Energy of scalar magnetic field has negative sign.

5. Energy of electron's magnetic field

Using (26) let's write down expression for energy density distribution of the vector magnetic field of mobile electron:

$$w_B = \frac{B^2}{2\mu_0} = \frac{\mu_0}{2} \left(\frac{qv}{4\pi} \right)^2 \cdot \frac{(\sin^2 \theta \sin^2 \varphi + \cos^2 \theta)}{r^4} , \quad (28)$$

We assume that limits of integration in radial direction are from r_e to ∞ . Using spherical coordinates (r, φ, θ) , we derive energy of vector magnetic field:

$$W_B = \frac{\mu_0 q^2 v^2}{32\pi^2} \int_0^\pi (\sin^2 \theta \sin^2 \varphi + \cos^2 \theta) d\theta \int_0^{2\pi} d\varphi \int_{r_e}^\infty \frac{1}{r^2} dr = \frac{\mu_0 q^2 v^2}{12\pi r_e} \quad (29)$$

Using expression (7) for particle mass at $l = 2r_e$, we obtain:

$$W_B = \frac{\mu_0 q^2 v^2}{24\pi r_e} = \frac{4}{3} \frac{mv^2}{2} = \frac{4}{3} K. \quad (30)$$

This result is known under the name ‘‘problem 4/3’’ [1]. The energy of vortex magnetic field exceeds kinetic energy of a particle.

Let’s calculate the energy of scalar magnetic field of this particle using (27). As is shown above, this energy is negative:

$$W_{B^*} = - \int_V \frac{B^{*2}}{2\mu_0} dV = - \frac{\mu_0 q^2 v^2}{32\pi^2} \int_0^\pi d\theta \int_0^{2\pi} d\varphi \int_{r_e}^\infty \left(\frac{\sin \theta \cos \varphi}{r^2} \right)^2 r^2 \sin \theta dr.$$

Taking into account (7), we obtain the following value:

$$W_{B^*} = - \frac{\mu_0 q^2 v^2}{48\pi r_e} = - \frac{1}{3} \frac{mv^2}{2} = - \frac{1}{3} K. \quad (31)$$

After adding (30) to (31), we derive energy of generalized magnetic field, which is exactly equal to kinetic energy of electron:

$$W_{B+B^*} = \frac{4}{3} K - \frac{1}{3} K = K.$$

Conclusion: problem 4/3 is solved when mass is defined as purely electromagnetic phenomenon taking into account vortex and potential components of magnetic field.

The same result can be obtained without using characteristics of magnetic field intensity \mathbf{B} and B^* . Let particle having charge q and radius r_e accelerates in the frame of reference K connected with local vacuum medium. We restrict ourselves to the case when final velocity is significantly less than light velocity. The interaction of moving particle with the medium is determined by vector potential:

$$\mathbf{A}(t) = \frac{\mu_0 q \mathbf{v}(t)}{4\pi r_e}. \quad (32)$$

Distance r_e is used here because the action of medium upon the particle takes place on its spherical surface. We believe that spherical particle moves translationally. Therefore, when describing its motion, one can use differential equation for particle dynamics. In the case of acceleration in an external medium a particle is subjected to external decelerating action (force of inertia):

$$\mathbf{F} = -q \frac{d\mathbf{A}}{dt}. \quad (33)$$

The force that accelerates a particle is characterized by the same modulus, though having an opposite sign:

$$\mathbf{F} = q \frac{d\mathbf{A}}{dt}. \quad (34)$$

In the case of particle deceleration $d\mathbf{A}/dt < 0$, that’s why signs of forces in equations (33) and (34) will be changed to opposite ones.

Let’s imagine (34) as momentum theorem for particle:

$$F dt = q d\mathbf{A}.$$

The right side represents differential for momentum of particle:

$$d\mathbf{Q} = q d\mathbf{A},$$

where $\mathbf{Q} = m_0 \mathbf{v}$.

Taking (32) into account, let’s write down:

$$d\mathbf{Q} = \frac{\mu_0 q^2}{4\pi r_e} d\mathbf{v}.$$

After multiplying scalarly both sides of this equation by $\mathbf{v}/2$, we obtain differential of kinetic energy (in the left side):

$$dK = \frac{\mu_0 q^2}{4\pi r_e} \frac{\mathbf{v}}{2} \cdot d\mathbf{v}.$$

As a result of integration (taking into account (8)) we derive the following expression:

$$K = \frac{\mu_0 q^2}{8\pi r_e} \frac{v^2}{2} = \frac{m_0 v^2}{2}.$$

As can be seen, with such an approach one does not encounter any problem with energy relationship because vector \mathbf{A} completely takes into account the interaction of moving charged particle with vacuum medium.

Conclusion

It is impossible to visually observe elementary particles and fields (related to these particles). That’s why the problem of modeling particles and fields becomes of conceptual importance. Evolution of our ideas and notions about microcosm is directly connected with the development of such models and evaluation of their adequacy at each stage of knowledge gaining. Therefore scientific discussion on issues related to this problem is always important.

One of the possible concepts (the roots of each are connected with the names of Newton, Faraday and Maxwell) is substantiated and developed in this article. It forms a unified scientific platform for mechanics and electrodynamics. It can be stated that mechanics represents macroscopic generalization of electrodynamics of physical vacuum [31]. This thesis enables to work out an adequate model for electron and logically substantiate the following results:

4. Electron mass has solely electromagnetic nature.
5. Inertia and gravitation arise due to interaction of charged particle with vacuum medium in the course of their relative accelerated motion.
6. Magnetic field emerges when a charged particle moves relative to vacuum medium. The energy of magnetic field of a sole charged particle is equal to kinetic energy of this particle.

Further development of relationships and analogies between mechanics and electrodynamics on the basis of

adequate models of microcosm would allow natural science to move to a totally new level.

The authors are grateful to professor V.D.Andreyev for his helpful advices given in the course of preliminary discussion of research results.

List of References

32. Feynman R., Layton R, Sands M. Feynman Lectures on Physics. Volume 6: Electrodynamics. Translated from English (edition 3). – Moscow: “Mir”, 1977.- 347 pp.
33. Thomson J. J. On the Electric and Magnetic Effects produced by the Motion of Electrified Bodies// Philosophical Magazine, 5 11 (68): 229–249. [10.1080/14786448108627008](https://doi.org/10.1080/14786448108627008)
34. Maxwell J. Treatise on Electricity and Magnetism. In two volumes. – Moscow: Nauka, 1989.
35. Stokes G. G. On some cases of fluid motion on Internet Archive// Transactions of the Cambridge Philosophical Society 8 (1): 105–137 (Read May 29, 1843).
36. Mitkevich V.F. “Physical” action at a distance. Proceedings of the Russian Academy of Science. Series VII. Division of mathematical and natural science, 1933, issue 10, 1391–1409. <http://books.e-heritage.ru/book/10081581>
37. Zhilin P.A. Reality and Mechanics // Proceedings of XXIII school-seminar “Analysis and synthesis of nonlinear mechanical oscillating systems”. Saint Petersburg, July 1 –10, 1995. IPMash of Academy of Science, 1996, pp. 6-49. http://teormeh.spbstu.ru/Zhilin_New/pdf/Zhilin_Reality_rus.pdf
38. K. J. van Vlaenderen, Waser A. Generalization of classical electrodynamics to admit a scalar field and longitudinal waves// Hadronic Journal 24, 609-628 (2001).
39. Woodside D.A. Three-vector and scalar field identities and uniqueness theorems in Euclidean and Minkowski spaces// Am. J. Phys., Vol.77, № 5, pp.438- 446, May 2009.
40. Arbab A. I., Satti Z. A. On the Generalized Maxwell Equations and Their Prediction of Electroscalar Wave// Progress in physics, 2009, v.2.- s. 8-13.
41. Podgainy D.V., Zaimidoroga O.A. Nonrelativistic theory of electroscalar field and Maxwell electrodynamics// Available (2013): <http://arxiv.org/pdf/1005.3130.pdf>
42. Tomilin A.K. Foundations of generalized electrodynamics. – Internet-Journal of Saint Petersburg State Technological University “Mathematics at universities”, No. 17. http://www.spbstu.ru/publications/m_v/N_017/frame_17.html
43. Nefedov E.I. Electromagnetic fields and waves. – Learning Guide. – Moscow: “Academia”, 2014.- 368 pp.
44. Tomilin A.K. The potential-vortex theory of electromagnetic waves// Journal of Electromagnetic Analysis and Applications, 2013, v.5, № 9. P. 347-353. <http://dx.doi.org/10.4236/jemaa.2013.59055>
45. Nikolaev G.V. Modern Electrodynamics and Reasons for its Paradoxicality. – Tomsk: Tverdinya, 2003.- 149 pp. http://doverchiv.narod.ru/Nikolaev/Nikolaev_modern_electrodynamics.htm
46. Misyuchenko I., Vikulin V. Electromagnetic mass and solution for problem 4/3. http://electricaleather.com/d/358095/d/em43_1.pdf
47. Rohrlich F. The dynamics of a charged sphere and the electron// American Journal of Physics 65 (11): 1051–1056, 1997AmJPh..65.1051R, doi :10.1119/1.18719
48. Schwinger J. Electromagnetic mass revisited// Foundations of Physics, 13 (3): 373-383, 1983. [10.1007/BF01906185](https://doi.org/10.1007/BF01906185)
49. Fedosin S. G. The Integral Energy-Momentum 4-Vector and Analysis of 4/3 Problem Based on the Pressure Field and Acceleration Field// American Journal of Modern Physics. Vol. 3, No. 4, 2014, pp. 152-167.
50. Fedosin S.G. 4/3 Problem for the Gravitational Field// Advances in Physics Theories and Applications, 2013, Vol. 23, P. 19 – 25.
51. Kiryako A.G. Classical radius of electron.// http://kyriak.socionet.ru/files/About_electron_size.pdf
52. Kiryako A.G. Theories of origin and generation of mass// <http://electricaleather.com/d/358095/d/massorigin.pdf>
53. Artsimovich L.A. Elementary Physics of Plasma. – Moscow: 1963.- 98 pp.
54. Sarapulov F.N. Calculation of parameters for circuits of electro-technological installations. – Learning Guide. – Ekaterinburg. 1999. Ural State Technological University. <http://window.edu.ru/resource/485/28485/files/ustu092.pdf>
55. Tomilin K.A. Planckian values// 100 years to quantum theory. History, Physics. Philosophy: Proceeding of International Conference. — Moscow: NIA-Priroda, 2002. — pp. 105—113.
56. Parcell E. Electricity and Magnetism. Berkeley course of physics. V..2. – Moscow: “Nauka”, 1975. - 439 pp.
57. Chang D. C., Lee Y.-K. Study on the Physical Basis of Wave-Particle Duality: Modeling the Vacuum as a Continuous Mechanical Medium// Journal of Modern Physics, 2015, 6, 1058-1070. <http://dx.doi.org/10.4236/jmp.2015.68110>
58. Misyuchenko I. Last Secret of God – Saint Petersburg, 2009. - 266 pp. <http://electricaleather.com/d/358095/d/poslednyaya-tayna-boga.pdf>
59. Helmholtz H. Uber Integrale der hydrodynamischen Gleichungen, welche den Wirbelbewegungen entsprechen// Crelles J. 55, 25 (1858).
60. Fock V.A. Theory of space, time and gravitation. – GITTL, Moscow: 1955.- 504 pp.
61. Andreev V.D. Selected problems of theoretical physics. - “Avanpost-Prim”, Kiev, 2012. - 272 pp. <http://www.twirpx.com/file/1135625/>
62. Nikolaev G.V. Electrodynamics of physical vacuum. New concepts of physical world. – Tomsk, Publishing House NTL, 2004, 700 pp. <http://electricaleather.com/d/358095/d/nikolayevg.v.elektroindinamikafizicheskogovakuuma.pdf>