

ГИПОТЕЗА САЗЕРЛЕНДА–ЭЙНШТЕЙНА О ПРОИСХОЖДЕНИИ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ АСТРОФИЗИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

И.А. Бабенко

*Институт гравитации и космологии РУДН
Российская Федерация, 115419, Москва, ул. Орджоникидзе, 3*

Аннотация. В статье обсуждаются теоретические и экспериментальные основания гипотезы о происхождении магнитных полей Земли и других астрофизических объектов, выдвинутой в начале XX века Сазерлендом, а затем Эйнштейном. Согласно этой гипотезе, электрические заряды электрона и протона слегка отличаются, что благодаря вращению Земли (астрономических объектов) приводит к возникновению магнитного поля. Обсуждены эксперименты в земных условиях, нацеленные на определение разницы электрических зарядов электрона и протона.

Ключевые слова: магнитное поле Земли, теория динамо, гипотеза Сазерленда–Эйнштейна, геометрическая и реляционная парадигмы, экспериментальные проверки разницы зарядов.

1. Теории генерации магнитного поля Земли

В настоящее время одним из принципиальных вопросов современной астрофизики является выяснение природы магнитных полей планет (в частности Земли), Солнца и других астрофизических объектов. Попытки объяснить происхождение земного магнетизма предпринимались давно, начиная с работ У. Гильберта 1600 г., где Земля трактовалась как большой постоянный магнит. Сейчас наиболее разработанной представляется теория магнитного динамо. Данная теория позволяет объяснить основные характеристики магнитного поля Земли, но только на качественном уровне. Как отмечает А.С. Арсеньев: «Хотя модели динамо позволяют качественно объяснить основные особенности главного магнитного поля, окончательная теория, дающая метод расчета и прогноза магнитного поля Земли до сих пор не построена» [1].

Основные трудности теории связаны с решением полной системы уравнений магнитной гидродинамики, которые состоят из уравнений гидродинамики и уравнений Максвелла. Для приближенного решения этой довольно трудной задачи исследователи прибегают к ряду упрощений, порождающих большое количество моделей динамо, обзор которых можно найти в работах [2–6]. В итоге к настоящему времени нет единой теоретической модели динамо, а существует ряд не очень согласующихся друг с другом моделей

динамо, таких как динамо Рикитаке, диск Фарадея и т.д., вызывающих сомнения в правильности данного подхода к обоснованию магнитного поля Земли.

На сегодняшний день также существует идея о наличии во внешнем ядре сильного тороидального поля. По некоторым моделям интенсивность тороидального поля больше дипольного в 500 раз. Тем не менее тороидального поля на поверхности Земли не обнаружено. Его можно было бы обнаружить на земной поверхности, если бы, например, в ядре был обнаружен сверхпроводящий экран. Но электромагнитное зондирование дает отрицательный результат на этот счет [7].

Рядом авторов высказывались иные гипотезы возникновения магнитного поля, основанные на так или иначе происходящем разделении электрических зарядов электронов и заряда ядра элементов. Так, идея генерации поля за счет возникновения тока Хола развивалась Вестином (1954). Известны и другие идеи: использование эффекта Нернста предлагалось Ганном (1936), возбуждение электрических токов под воздействием давлений – Инглисом (Inglis, 1955) и т.п. Следует отметить, что данные модели также основывались на не всегда ясном механизме образования и разделения электрических зарядов, суточное вращение которых обеспечивало бы начальное поле, впоследствии усиленное гальваномангнитным эффектом (эффектом Холла). В настоящее время идеи о наличии неких физико-химических процессов, которые приводят к разделению зарядов, представлены в работах В.В. Кузнецова (термодиффузионное разделение) [9], а также работах В.И. Григорьева с соавт. (бароэлектрический эффект) [10].

2. Гипотеза Сазерленда–Эйнштейна

Особое внимание привлекает гипотеза, высказанная в начале XX века В. Сазерлендом [11] и А. Эйнштейном [12; 13]. Сазерленд в ряде своих работ (1900–1908 гг.) [11] выдвинул необычную, на первый взгляд, гипотезу о происхождении магнитного поля Земли. Он предположил считать, что наблюдаемое магнитное поле Земли производится вкладами двух противоположно направленных магнитных полей, генерируемых вращениями: 1) объемного положительного заряда Земли и 2) поверхностных отрицательных зарядов. Полагалось, что создаваемые ими электрические поля скомпенсированы, но это не означало, что скомпенсированы и их магнитные поля. Предполагалось также, что результирующее поле ответственно и за разницу между осью вращения Земли и магнитной осью, а также за движение полюсов. При этом наклон магнитной оси объяснялся несимметричным распределением проводящего материала. Этим же объяснялись и вековые вариации магнитного поля Земли. Но самое важное в гипотезе Сазерленда состояло в том, что происхождение двух видов зарядов внутри Земли связывалось с различием электрических зарядов электрона и протона.

А. Шустер в 1912 и Брэнт в 1913 году подробно исследовали теорию, основанную на гипотезе Сазерленда о неравенстве сил, действующих между одинаковыми и неодинаковыми частицами атома. В их работах утверждалось,

что различие положительного и отрицательного зарядов не может полностью объяснить магнитное поле Солнца [14].

В 1925 году А. Эйнштейн (неизвестно был ли он знаком с работами Сазерленда) высказал предположение об очень малом (вне пределов разрешимости современной аппаратурой в лабораторных условиях) различии значений зарядов по абсолютной величине тяжелых положительно заряженных протонов и легких отрицательно заряженных электронов. Это приводит к возникновению значительного избытка заряда у достаточно массивных астрофизических объектов, а вращение астрофизических объектов приводит к генерации магнитного поля, которое частично компенсируется поверхностными отрицательными зарядами. Очевидно, что гипотеза Эйнштейна полностью соответствовала гипотезе Сазерленда [12; 13; 15].

В том же 1925 году А. Пиккард и Е. Кесслер показали, что значения зарядов протона и электрона одинаковы до 19-го знака [15] и тем самым поставили под сомнение гипотезу Эйнштейна [12; 13; 15].

Однако гипотеза Сазерленда и Эйнштейна окончательно не была забыта. Значительно позже гипотеза Сазерленда обсуждалась в трудах Б.М. Яновского, отмечавшего, что «гипотеза требует дополнительного предположения о причинах разделения зарядов». При этом он писал в полном согласии с Сазерлендом: «Существование предполагаемых зарядов также предполагает наличие электрических полей на земной поверхности, которые бы взаимно уничтожились, а магнитные поля, создаваемые каждым из них, по абсолютной величине оказались бы разными. Эти заряды, принимая участие в суточном вращении Земли, образуют замкнутые токи, которые в свою очередь создают магнитное поле. Поэтому при соответствующем выборе величины заряда магнитное поле могло быть равным наблюдаемому магнитному полю Земли» [6].

В 1965 году В. Хьюз в своей статье [16] подробно обсуждал вопрос о возможном различии электрических зарядов протона и электрона. Он писал: «Вопрос о том, в точности ли равны друг другу абсолютные величины зарядов электрона и протона, весьма интересен и имеет принципиальное значение в физике». И указал некоторые физические, астрономические и космологические следствия, связанные с возможным отклонением от равенства этих зарядов. Кроме того, он привел сведения о последних экспериментах по определению соотношения зарядов электрона и протона.

Далее он писал: «Идеальная теория элементарных частиц должна предсказывать весь наблюдаемый спектр элементарных частиц и отношения их зарядов и масс. Современная теория квантовых полей может описывать дискретные частицы, но не способна предсказывать величины масс и зарядов этих частиц, которые приходится определять опытным путем... Но теория не дает отношения абсолютных величин зарядов двух различных частиц, например электрона и протона». В его статье также отмечалось, что в «20 веке строилось много гипотез о проявлениях в больших масштабах малой разницы в абсолютных значениях зарядов электрона и протона. Рассматривалась возможная роль этой разницы для гравитации, для магнитных полей небесных тел и для космологии» [16].

Им упоминалось также участие Эйнштейна в обсуждении данной проблемы: «Эйнштейн отметил, что малая разница между абсолютными величинами зарядов электрона и протона привела бы, конечно, к появлению результирующего объемного заряда у объектов, содержащих одинаковое число протонов и электронов». Согласно В. Хьюзу при магнитном поле Земли, равном на полюсе 0,6 Э, и при этом полностью обусловленном неравенством зарядов, относительная разница зарядов электрона и протона должна быть порядка 10^{-19} [16].

3. Теоретическое обоснование магнитных полей астрофизических объектов с позиции геометрического подхода

Гипотезу Сазерленда–Эйнштейна, а именно формирование магнитного поля массивных астрофизических объектов вследствие малой разности заряда протона и электрона по абсолютной величине можно теоретически обосновать в рамках двух вариантов геометрического подхода: 1) в упрощенном варианте 6-мерной теории Калуцы–Клейна и 2) в рамках 5-мерной теории Калуцы со скаляризмом [17].

1. Упрощенный вариант 6-мерной теории Калуцы–Клейна

В упрощенном варианте 6-мерной теории Калуцы–Клейна взаимодействие частиц описывается через диадный оператор 4-мерного дифференцирования, инвариантного при преобразованиях двух дополнительных координат и ковариантного относительно 4-мерных преобразований. Выражение, описывающее вышесказанную комбинацию из пятимерного вектора монады, а также комбинацию, которая описывает еще одно калибровочное поле, можно отождествлять с векторным потенциалом электромагнитного поля. Данная интерпретация говорит о наличии чрезвычайно малых поправок в электромагнитную константу связи из-за того, что возникающий при дифференцировании по x^4 зарядовый вклад (фактически пропорциональный массе частицы) на много порядков меньше номинального значения заряда. Легко показать, что в рамках рассмотренного класса многомерных геометрических моделей масса m индуцирует дополнительный («массовый») электрический заряд

$$\Delta q = 2m G^{1/2}.$$

Этот вывод соответствует гипотезе А. Эйнштейна о наличии малой зарядовой асимметрии элементарных частиц [17].

Учитывая массу электрона, получаем отношение дополнительного заряда к основному

$$\Delta q/e \sim 10^{-21}.$$

Очевидно, что такая поправка в электромагнитное взаимодействие частиц лежит далеко за пределами точности эксперимента в лабораторных условиях. Однако для больших электрически квазинейтральных масс, когда электрические заряды частиц двух знаков в среднем компенсируются, «массовый вклад» в электромагнитное взаимодействие может оказаться существенным [17].

2. 5-мерная теория Калуцы со скаляризмом

Есть возможность обосновать разницу заряда в рамках 5-мерной теории Калуцы со скаляризмом. Этот вариант теории отличается от варианта с дополнительными условиями, которые применяются с целью соответствия теории Калуцы общепринятой ОТО с электромагнетизмом. Для перехода к этому варианту 5-мерия следует исключить условие постоянства 15-й компоненты 5-мерного метрического тензора G_{55} . В этом варианте теории появление напряженности скалярного поля играет важную роль в пятом (скалярном) уравнении геодезической, где оно оказывается ответственным за переменность отношения электрического заряда к массе.

Наличие скалярного поля геометрического происхождения сразу же вызывает следующую принципиальную проблему, связанную с тем, что, согласно монадному методу 1+4-расщепления, физическим смыслом наделяются величины, инвариантные при допустимых преобразованиях дополнительной координаты и ковариантные относительно допустимых преобразований четырех классических координат. Условие цилиндричности метрики по x^5 вызывает расширение множества таких величин, так как таковым становится и потенциал скалярного поля. Следовательно, таковыми являются все величины, получаемые из калибровочно инвариантных умножением на произвольную функцию от пятнадцатой компоненты метрического тензора G_{55} . В связи с этим возникает вопрос: какие конструкции из геометрических характеристик должны быть сопоставлены с физическими величинами, главным образом с метрическим тензором и тензором электромагнитного поля [17].

Это по-разному определялось в нескольких вариантах 5-мерных теорий со скаляризмом, где осуществлялся переход к 4-мерной (наблюдаемой) метрике посредством различных конформных преобразований.

Первый из них использовался в работах самого Калуцы [18], где физическая метрика непосредственно получается после процедуры 4+1-расщепления. Характерной чертой этого варианта является переменность гравитационной «постоянной» из-за множителя в 4-мерных уравнениях справа перед тензором энергии-импульса электромагнитного поля. Это обстоятельство использовал Дирак для подтверждения своей гипотезы о возможности изменения фундаментальных физических констант в процессе эволюции Вселенной.

Второй вариант исследовался в работах Э. Шмутцера [19] и некоторых других авторов, где осуществлялся переход к новой 4-мерной метрике посредством конформного фактора $(G_{55})^{-1/2}$. Основным моментом этого варианта 5-мерия со скаляризмом является отсутствие вторых производных в тензоре энергии-импульса скалярного поля в уравнениях Эйнштейна.

Третий вариант исследовался в работах Ю.С. Владимирова [17]. В этом варианте скалярное уравнение в вакууме, при равном нулю тензоре электромагнитного поля, представляет собой стандартное уравнение Клейна–Фока для безмассового скалярного поля.

Из решений 5-мерных уравнений Эйнштейна со скаляризмом было найдено, что скалярное поле зависит от массы гравитирующего источника

[17]. Из полученных решений следует, что в случае зависимости векторного электромагнитного потенциала от скалярного поля возникает зависимость также и от массы источника электромагнитного потенциала. Это означает, что электромагнитные поля, создаваемые электроном и протоном, оказываются отличными друг от друга, что может служить подтверждением разности их электрических зарядов, соответствующей гипотезам Сазерленда и Эйнштейна.

Исходя из изложенного, можно сделать вывод, что в рамках геометрической парадигм в 5-мерии со скаляризмом открывается возможность теоретически обосновать выдвинутую Сазерлендом и Эйнштейном гипотезу (из полуинтуитивных соображений) о разности электрических зарядов электрона и позитрона.

Особо следует отметить, что эта гипотеза позволяет обосновать также наблюдаемые изменения магнитного поля Земли: дрейф полюсов, изменение напряженности магнитного поля Земли и даже явление инверсии магнитных полюсов. Это может быть связано с изменением условий на планете.

4. Экспериментальная проверка неравенства зарядов

Первая экспериментальная попытка обнаружения различия модулей зарядов протона и электрона была предпринята Р.А. Милликеном в 1917 году [20]. Его опыт заключался в исследовании движения электрически заряженных капель различных жидкостей. Они заряжались различными способами (трением, под действием рентгеновских лучей, а также при захвате ионов из воздуха). Милликен исследовал движение таких капель под действием силы тяжести, вязкого трения и электрического поля и показал, что во всех наблюдаемых случаях заряд каждой капельки являлся целым, кратным некоторой наименьшей величине («единице»). Дж. Цорн и Г. Чамберлейн [22] истолковали этот результат обусловленным неравенством зарядов электрона и протона. В данной работе было рассчитано, исходя из данных, которыми пользовался Милликен, что относительная разность величин зарядов должна быть порядка 10^{-16} .

В 1925 году А. Пиккард и Е. Кесслер [15] для решения данной проблемы произвели эксперимент, состоящий в анализе истечения газа из металлического сосуда. Измерялся полный заряд большого числа молекул газа по изменению потенциала металлического сосуда относительно наружного электрода при истечении из него газа. Для этого они использовали установку, которая состояла из двух концентрических проводящих сфер, образующих сферический конденсатор с внутренней сферой, заполненной газом. Разность потенциалов между этими двумя сферами зависит от емкости, поверхностного заряда на внутренней сфере и объемного заряда, который переносится газом. Пиккард и Кесслер заполняли внутреннюю сферу углекислым газом до давления 20-30 атм. При истечении газа из внутренней сферы измерялось изменение потенциалов на обкладках конденсатора. Если газ нейтрален

и размеры сферы не изменяются, то разность потенциалов должна оставаться постоянной. В том случае, если газ несет какой-то заряд, вызванный неравенством зарядов электрона и протона, вследствие истечения газа из внутренней сферы ее потенциал должен изменяться. Проведенные измерения привели к выводу, что относительная разность зарядов должна быть порядка или менее 10^{-21} .

Ж. Кинг в 1960 году провел аналогичный опыт с водородом и гелием, результаты которого дали верхний предел заряда меньше 10^{-19} [21].

В 1960 году Ж. Цорн, Г. Чемберлен, В. Хьюз провели эксперимент с атомным пучком, где были исследованы отклонения молекулярного пучка в однородном электрическом поле. Суть эксперимента заключалась в том, что если атом нейтрален, то он не будет отклонен, а если атом заряжен вследствие разницы зарядов протона и электрона, то он отклонится [22]. В результате своих исследований они пришли к тому же выводу, что и Ж. Кинг: $\Delta q/e \sim 10^{-19}$.

В 2011 году группа экспериментаторов из университета в Падуе в Италии в составе Г. Бресса, Г. Гарунгно и др. повторила эксперимент с использованием акустического метода для оценки нейтральности материи [23], подобный тому, который использовали Х. Дула и Ж. Кинг [21] в 1973 году. Их эксперимент показал, что относительная разность зарядов должна быть порядка 10^{-21} . То есть на сегодняшний момент равенство зарядов по абсолютной величине между электроном и протоном сохраняется до 21-го знака.

Заключение

Исходя из изложенного, можно утверждать, что в рамках геометрического подхода имеется возможность обосновать гипотезу Сазерленда–Эйнштейна о формировании дипольного магнитного поля массивных астрофизических объектов вследствие зарядовой асимметрии протона и электрона. Для этого необходимо использовать либо пятимерный вариант теории Калуцы со скаляризмом, либо 6-мерную теорию Калуцы–Клейна.

Согласно этому подходу, массивные астрофизические объекты типа Земли, планет или звезд в среднем являются электрически нейтральными. Их дополнительный (объемный) электрический заряд, обусловленный разностью зарядов электрона и протона, компенсируется поглощенными (поверхностными) зарядами противоположного знака. Однако это не означает, что возникающие в результате вращения объектов их магнитные поля также будут скомпенсированы. Вокруг таких объектов появляется некоторое эффективное магнитное поле, слагающееся из двух противоположно направленных частей: 1) из первичного магнитного поля дополнительного электрического заряда, обусловленного массой и 2) вторичного магнитного поля, создаваемого поглощенными зарядами. Результирующее магнитное поле зависит от распределения поглощенных зарядов. Изменения условий на поверхности Земли и других астрофизических объектов могут быть

ответственными за наблюдаемые изменения положений магнитных полюсов, напряженностей магнитного поля и даже за эффект его инверсии.

Литература

1. *Арсеньев С.А.* Теоретическое моделирование главного магнитного поля Земли и планет // Международный научно-исследовательский журнал. 2015.
2. *Zeldovich Ya.B., Ruzmaikin A.A., Sokoloff D.D.* The Almighty Chance // World Scientific Lecture Notes in Physics. Vol. 20. Singapore: World Scientific, 1990.
3. *Moffatt H.K.* Magnetic Field Generation in Electrically Conducting Fluids. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1978.
4. *Cardin P.* Magnetohydrodynamics. 2002. V. 38.
5. *Parker E.N.* Conversations on Electric and Magnetic Fields in the Cosmos. Princeton: Princeton Univ. Press, 2007.
6. *Яновский Б.М.* Земной магнетизм. Ленинград: Изд-во Ленинградского университета, 1978.
7. *Семенов А.С.* Методология познания вулканизма Земли: геодинамика или геосинергетика? // Вулканизм и геодинамика. 2-й Всероссийский симпозиум по вулканологии и палеовулканологии. Екатеринбург, 2003.
8. *Жулавнова И.Л.* Электроразведка методом естественного электрического поля. Ленинград: Изд-во «Недра», 1980.
9. *Кузнецов В.В.* Введение в физику горячей Земли. Петропавловск-Камчатский: Изд-во КамГУ, 2008.
10. *Григорьев В.И., Григорьева Е.В., Ростовский В.С.* Бароэлектрический эффект и электромагнитные поля планет и звезд. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003.
11. *Sutherland W.* Solar magnetic fields and the cause of terrestrial magnetism // Terr. Mag. Planet. Sci. 1900. P. 73–83.
12. *Schwinger Julian.* Einstein's Legacy: The Unity of Space and Time, Paperback – December 13, 2002.
13. A Festschrift in Honor of Vernon W. Hughes / ed. M.E. Zeller. Yale University, 13 April 1991.
14. *Schuster Brit.* Recent total solar eclipses. 1891. Proc. R. Institution. 13. P. 273–276.
15. *Piccard A., Kessler E.* Archive des Sciences Physique et Naturelles (Gen'ève) 5me periode. Geneva, 1925. Vol. 7. P. 340.
16. *Хьюз В.* Мир Литтлтона – Бонди и равенство зарядов. Гравитация и относительность. Москва: Изд-во «Мир», 1965.
17. *Владимиров Ю.С.* Геометрофизика. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2005.
18. *Калуца Т.* К проблеме единства физики // Альберт Эйнштейн и теория гравитации: сборник. М.: Изд-во «Мир», 1979.
19. *Schmutzer E.* Projectiv unified field theory. I-V // Exp. Techn. Phys. 1980. P. 329–341.
20. *Millikan R.A.* The Electron. 1st ed. Chicago, 1917.
21. *King J.G.* Search for a Small Charge Carried by Molecules // Phys. Rev. Lett. 1960. 5. P. 562.
22. *Zorn J.C., Chamberlain G. E., Hughes V. W.* Experimental limits for the electron-proton charge difference and for the charge of the neutron // Phys. Rev. 1963. 129. 2566–2576.
23. *Bressi G., Carugno G., Valle Della F., Galeazzi G., Ruoso G., Sartori G.* Testing the neutrality of matter by acoustic means in a spherical resonator. URL: arXiv:1102.2766v2 [physics.atom-ph], 18 Mar 2011.

SUTHERLAND–EINSTEIN HYPOTHESIS ON THE ORIGIN OF MAGNETIC FIELDS IN ASTROPHYSICAL OBJECTS

I.A. Babenko

*Institute of Gravitation and Cosmology of RUDN University
3 Ordzhonikidze St., Moscow, 115419, Russian Federation*

Abstract. The article discusses the theoretical and experimental foundations of the hypothesis on the origin the magnetic field's the Earth's and other astrophysical objects, put forward at the beginning of the twentieth century by Sutherland and Einstein. According to this hypothesis, the different of the electric charge of the electron and proton and the rotation of the Earth (astronomical), leads to the appearance of a magnetic field. Experiments under terrestrial conditions aimed at determining the difference between the electric charges of an electron and a proton are discussed.

Keywords: Earth's magnetic field, dynamo theory, Sutherland – Einstein hypothesis, geometric and relational paradigms, experimental tests of the charge difference.