

Исследованы изменения сопротивления за счет различия в уровнях Ферми между слоями. Найденный эффективный потенциал имеет скачок в точке контакта слоев, т. е. контакт имеет конечное сопротивление, даже если электроны зеркально отражаются от границы раздела двух металлов. Интересно отметить, что величина контактного сопротивления определяется разностью импульсов Ферми двух металлов.

Рассмотрен случай, при котором нельзя пренебречь процессами рассеяния с переворотом спина. Получено уравнение для спин-зависимой части эффективного потенциала. Найдено дополнительное сопротивление.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант 01-02-17378).

Литература

1. Vedyayev A., Cowache C., Ryzhanova N., Diény B. // Phys. Lett. 1995. **A198**. P. 267.
2. Vedyayev A., Ryzhanova N., Diény B. // Physica A. 1998. **184**. P. 145.
3. Levy M., Camblong E., Zhang S. // J. Appl. Phys. 1994. **75**. P. 10.
4. Camblong E., Zhang S., Levy M. // Phys. Rev. 1995. **B51**. P. 16052.
5. Kane C.L., Serota R.A., Lee P.A. // Phys. Rev. 1988. **B37**. P. 6701.
6. Falet T., Fert A. // Phys. Rev. 1993. **B48**. P.7099.

Поступила в редакцию
22.05.02

ГЕОФИЗИКА

УДК 550.383:523.4 – 845:523.038

ОБ ЭЛЕКТРИЗАЦИИ, ВЫЗВАННОЙ ТЯГОТЕНИЕМ МАССИВНЫХ ТЕЛ

В. И. Григорьев

(кафедра квантовой теории и физики высоких энергий)

E-mail: sibaev@goc.msu.ru

Полемическая заметка, имеющая целью показать ошибочность мнения о несущественности гравитационно-поляризационных эффектов в астрофизике.

Под таким же названием в журнале «Астрофизика» была опубликована полемическая заметка [1], имевшая целью, говоря словами авторов, «доказать безнадежность попыток» объяснять магнетизм планет и звезд перераспределением зарядов в этих небесных телах, создаваемым действием их гравитации.

Идея объяснения магнетизма планет и звезд такой электрической поляризацией, порождаемой действием гравитационных сил (и вращением этих тел), имеет уже почти вековую историю; она была выдвинута еще в начале XIX в. Сазерлендом [2]. Гипотеза Сазерленда была встречена довольно скептически, так как она не имела ни надежной теоретической, ни экспериментальной базы.

Преодолеть последнюю трудность попытался П. Н. Лебедев, понявший, что гравитационная поляризация должна быть родственна центробежной, и поставивший опыты по экспериментальному обнаружению эффекта «намагничивание вращением» [3].

Но ни в опытах П. Н. Лебедева, ни в более поздних близких по замыслу экспериментах Сванна и Лангакра [4] искомый эффект обнаружить не удалось, что дало дополнительную пищу для скептицизма. Поэтому когда Лармор выдвинул идею

динамо-генерации магнетизма небесных тел, поляризационно-вращательный механизм был оттеснен на задний план, а вскоре почти и вовсе забыт. Лишь в начале девяностых годов было показано [5], что отрицательные результаты опытов вызваны не отсутствием эффекта, а недостаточной чувствительностью измерений^{*)}. Интерес к этому кругу вопросов вновь наметился в конце шестидесятых годов, когда было опубликовано несколько работ, касающихся воздействия гравитации на заряды в твердом теле (см., напр., [7–13]). Появился даже термин «Поле Барнхилла–Шиффа». Пояснить, что это за поле и какова его напряженность, можно на простейшей модели атома.

Пусть в центре атома в отсутствии гравитации находится ядро заряда Ze , окруженное облаком электронов. Благодаря тому что давление Ферми обратно пропорционально массе, а масса ядер M более

^{*)} Был и такой «аргумент против»: даже если в Земле происходит перераспределение зарядов (внутренние области заряжаются положительно, а поверхность — отрицательно), то вращающийся вместе с Землей наблюдатель не обнаружит магнитного поля, так как по отношению к нему все заряды покоятся, «а покоящийся заряд магнитного поля не порождает» [6], что в действительности относится лишь к зарядам, покоящимся относительно инерциальных систем отсчета.

чем на три порядка превосходит массу электрона, электронное распределение в твердом теле обладает значительной жесткостью*), так что если ядро атомной ячейки смещается под действием гравитационного поля напряженности \mathbf{g} , этому перемещению препятствует электрическое поле, порождаемое электронами. Равновесие наступает, когда гравитационная сила, действующая на ядро $M\mathbf{g}$, уравновешивается электрической силой $Ze\mathbf{E}$, где \mathbf{E} — напряженность электрического поля, создаваемого окружающими ядро электронами. Отсюда — элементарная оценка для величины напряженности этого поля:

$$E = \frac{Mg}{Ze}. \quad (1)$$

Если подставить для численной оценки значения $M \approx 10^{-24}$; $g \approx 10^3$; $Ze \approx 10^{-9}$ (все в единицах системы СГС), то получаем $E \approx 10^{-12}$ СГСЕ.

Это — ничтожно малая напряженность, и если опираться на такую оценку, то было бы действительно «безнадежно» ожидать заметного вклада поляризационных эффектов в формирование магнитных полей планет и звезд, как то совершенно справедливо говорится в работе [1].

Однако, обсуждая вопрос о бароэлектрическом поле, имеют в виду не это «микроскопическое» поле, проявляющееся в областях атомных размеров, а макроскопическое электрическое поле, порождаемое макроскопическим перераспределением зарядов.

При помощи (1) оценивается напряженность того «микроскопического» поля, которое действует на сместившееся под действием гравитации ядро атомной ячейки, а вовсе не то макроскопическое электрическое поле, которое вызывается действием гравитации.

Пусть ядро в атомной ячейке перемещается под действием гравитации на расстояние h , зависящее от напряженности гравитационного поля и электронной структуры атомной ячейки. (Как показывают оценки в [15], h существенно зависит от квантовых чисел электронов ячейки. В работе [16] доказано, что даже в тех физических условиях, которые реализуются внутри белых карликов «...ядро находится в осцилляторной потенциальной яме», как и в веществе при менее экзотических условиях.)

Ячейка приобретает электрический дипольный момент порядка Zeh , а величина вектора поляризации \mathbf{P} оказывается $|\mathbf{P}| \approx NZeh$, где N — число атомных ячеек в единице объема.

Если и вещество, и гравитационное поле однородны, т. е. ни N , ни h , определяемое напряженностью гравитационного поля, не зависят от координат, и макроскопическая, т. е. усредненная по физически бесконечно малым объемам плотность заряда $\rho = -\operatorname{div} \mathbf{P} = 0$, из-за чего и напряженность

*) Достаточно напомнить, что значения упругих модулей металлов, вычисленные в рамках модели невзаимодействующих электронов, близки к наблюдаемым на опыте [14].

макроскопического электрического поля, порождаемого такой поляризацией под действием гравитации, оказывается нулевой. Это позволяет подчеркнуть, что не само по себе гравитационное поле, а порождаемые им физические неоднородности в веществе приводят к появлению макроскопических (т. е. имеющих масштабы, значительно превосходящие атомные) электрических полей.

Приведем в качестве иллюстрации еще одну простую оценку. Перепад напряженности гравитационного поля между поверхностью Земли и ее центром $\delta g \approx 10^3$. Примем, что $Ze \approx 10^{-9}$, $h \approx 10^{-9}$, среднее число атомов в единице объема $N \approx 10^{24}$ (все в гауссовой системе единиц); тогда для $\mathbf{E} = 4\pi\mathbf{P}$ получается значение, близкое к 10^6 , которое было найдено в работе [17] совершенно иным способом.

Хорошо известны примеры полей, которые можно назвать «градиентными»: химические неоднородности порождают контактные разности потенциалов, градиенты температур — термоэлектрические поля. К числу таких полей относятся и бароэлектрические поля, порождаемые перепадами давлений.

Последнее, впрочем, заслуживает особого обсуждения, так как в литературе нередко встречаются об этом ошибочные утверждения. Даже в таком признанном авторитетном руководстве по электродинамике, как [18], можно прочесть, что «...неоднородность давления (или плотности) при постоянной температуре не может привести к возникновению поля (или тока) в проводнике...».

Та часть этого утверждения, которая относится к токам, правильна. Что же касается электрических полей, то с тем, что все бароэлектрические явления разом объявляются несуществующими, нельзя согласиться.

Процитированное выше утверждение в [18] аргументируется так: существование электрических полей, создаваемых перепадами давлений, противоречило бы закону возрастания энтропии «...в подынтегральном выражении (26,5)**» появились бы члены со знакопеременными произведениями $\mathbf{j}\nabla p$ и $\nabla T\nabla p$, в результате чего интеграл не смог бы быть существенно положительным» [18].

Здесь — очевидное недоразумение: равновесие в замкнутой системе подразумевает, что никаких потоков, в том числе и потоков зарядов, нет, так что действительно $\mathbf{j} = 0$, а в начале цитируемого абзаца указано к тому же, что температура подразумевается постоянной, $\nabla T = 0$, так что «знакопеременные произведения» попросту равны нулю, и оснований говорить о возрастании энтропии нет.

Если имеются градиенты как давлений, так и температур (а также и других физических и химических параметров), то происходит сложение напряженностей электрических полей, обязанных всем таким градиентам.

**) В интеграле, через который выражается производная по времени от энтропии.

Зависимость химического потенциала от давления с неизбежностью приводит к возникновению электрических полей (но не электрических токов!) в неоднородно напряженных проводниках.

Если распределение давлений в проводнике неоднородно, то электроны переходят из областей, где их энергия больше, в области, где она меньше. Такое перераспределение электронов и порождает бароэлектрические поля.

Этот вывод имеет и прямые экспериментальные подтверждения. Здесь можно указать на эксперименты Крейга [19], выполненные еще в 1969 г.

Таким образом, вопреки тому, что утверждается в работе [1], поляризационный механизм формирования бароэлектрического (и «баромагнитного», образующегося при движении обзанных бароэлектрическому эффекту зарядов) полей играет существенную роль.

Бароэлектрические эффекты тем более заметны, чем значительнее перепады давлений. Важным примером являются такие объекты, как планеты и звезды.

Порождаемые их гравитационным полем перепады давлений вызывают перераспределение зарядов. Как показывают оценки (см., напр., [20]), около 10% магнитного момента планет Земной группы обязано такому перераспределению и вращению.

Та же часть давлений, которая обязана действию приливных сил, ответственна за создание электрических полей над поверхностью планет. В частности, наблюдаемые черты поля ясной погоды над поверхностью Земли [21, 22] (не только качественно, но и количественно) объясняются не как результат «грозового механизма», а как следствие действия приливных сил со стороны Луны и в меньшей мере — Солнца.

Из сказанного выше следует вывод о наличии электрических полей над поверхностями таких небесных тел, которые лишены атмосферы, но испытывают приливные воздействия, например над Луной [23].

Думается, тезис, высказанный в работе [1], порожден недоразумением: авторы не учли различия между микроскопическим электрическим внутриатомным полем и электрическим полем, порождаемым макроскопическим перераспределением зарядов. Это наше разъяснение представляется тем более уместным, что оно касается не каких-то малознача-

щих мелочей, а важных и доступных экспериментальной проверке явлений.

Литература

1. Киржниц Д.А., Шацкий А.А. // Астрофизика. 1996. **39**, № 3. С. 467.
2. Sutherland W. // *Terrest. Magn. Atm. Elec.* 1903. **8**. P. 49; 1904, **9**. P. 167.
3. Лебедев П.Н. // Журн. Русск. физ.-хим. о-ва, часть физ. 1911. **43**, № 4. С. 484.
4. Swann W., Langacre F.G.J. // *Franklin Inst.* 1928. **205**, No. 4. P. 421.
5. Григорьев В.И., Григорьева Е.В., Ростовский В.С. // *Вестн. Моск. ун-та. Физ. Астрон.* 1989. **30**, № 5. С. 45 (*Moscow University Phys. Bull.* 1989. **44**, No. 5. P. 43).
6. Яновский Б.М. *Земной магнетизм*. Л., 1978.
7. Shiff L.I., Barnhill M.V. // *Phys. Rev.* 1966. **151** P. 1067.
8. Dressler L.I., Michel F.C., Rorschach H.E. // *Phys. Rev.* 1968. **162**. P. 737.
9. Herring C. // *Phys. Rev.* 1968. **171**. P. 1361.
10. Harrison W.A. // *Phys. Rev.* 1969. **180**. P. 1806.
11. Rigel I.J. // *Phys. Rev.* 1970. **2**, № 4. P. 825.
12. Leung M.C. // *Nuovo Cimento*. 1972. № 2. P. 220.
13. Kumar N., Nadini R. // *Phys. Rev.* 1973. **D7**, № 12. P. 3586.
14. Ашкрофт Н., Мермин Н. *Физика твердого тела*, М., 1979. Т. I.
15. Григорьев В.И., Григорьева Е.В. // *Вестн. Моск. ун-та. Физ. Астрон.* 1984. **25**, № 3. С. 40.
16. Киржниц Д.А. // *ЖЭТФ*. 1960. **38**, № 2. P. 503.
17. Григорьев В.И., Григорьева Е.В. *Бароэлектрический эффект и электромагнитные поля планет и звезд*. М., 1995.
18. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. *Электродинамика сплошных сред*. М., 1992.
19. Craig P. // *Phys. Rev. Lett.* 1969. **22**, № 14. P. 700.
20. Григорьев В.И., Григорьева Е.В. // *Вестн. Моск. ун-та. Физ. Астрон.* 1991. **32**, № 5. С. 68 (*Moscow University Phys. Bull.* 1991. **46**, No. 5. P. 66).
21. Григорьев В.И., Григорьева Е.В. // *Вестн. Моск. ун-та. Физ. Астрон.* 1995. **36**, № 1. С. 61 (*Moscow University Phys. Bull.* 1995. **50**, No. 1. P. 56).
22. Григорьев В.И., Григорьева Е.В., Ростовский В.С. // *Прикл. Физика*. 1995. № 3–4. С. 154.
23. Григорьев В.И., Григорьева Е.В. // *Вестн. Моск. ун-та. Физ. Астрон.* 1999. № 2. С. 50 (*Moscow University Phys. Bull.* 1999. No. 2. P. 65).

Поступила в редакцию
07.06.02