

## ГЕОФИЗИКА

УДК 539.038

**МАГНИТНЫЕ И ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ПОЛЮСЫ ЗЕМЛИ  
И ЗАПАДНЫЙ ДРЕЙФ КОНТИНЕНТОВ****В. И. Григорьев, Е. В. Григорьева, В. С. Ростовский***(кафедра квантовой теории и физики высоких энергий)***Обсуждается влияние движения объемных зарядов в планете, возникающих вследствие бароэлектрического эффекта, на положение магнитных полюсов и на дрейф континентов.**

Обсуждение физического механизма формирования магнитного поля Земли (а также и других небесных тел) выделило два подхода.

Первый из них связан с «динамо-процессами», т. е. магнитогидродинамическими процессами перехода части кинетической энергии дифференциальных потоков вещества в планетах или звездах в энергию магнитного поля. (По этому вопросу существует много литературных данных: см., напр., [1] и указанные там публикации.)

Благодаря процессам, основанным на явлении электромагнитной индукции Фарадея, может происходить усиление некоторого «затравочного» магнитного поля. По идее, выдвинутой Лармором [2] в начале XX в., этим может определяться магнетизм небесных тел. Эта идея была развита в многочисленных трудах ряда исследователей, в частности Я. И. Френкеля [3], и в настоящее время она является доминирующей. Так, в обзорной статье Я. Б. Зельдовича и А. А. Рузмайкина [4] утверждается: «По нашему убеждению, главные проблемы земного, солнечного и галактического магнетизма могут быть решены только с помощью теории динамо».

Динамо-механизм, безусловно, играет существенную роль в формировании магнитных полей небесных тел. В частности, ему обязаны относительно быстрые и весьма значительные вариации и даже инверсии геомагнитного поля. Однако из-за нерегулярности дифференциальных внутрипланетных потоков объяснение на основе этого механизма ряда наблюдаемых черт магнитного поля Земли вызывает затруднения.

Некоторые из них отпадают при подходе, связанном с бароэлектрическим эффектом. Это касается, в частности, вопросов о дрейфе континентов, положении и перемещении магнитных полюсов Земли<sup>\*)</sup>. Данный подход исторически восходит к работам В. Сазерленда [5], который в 1904 г. выдвинул гипотезу, согласно которой под действием гравитации происходит перераспределение зарядов: электроны вытесняются из центральных областей планет и

звезд к их поверхностям, что из-за вращения этих тел и приводит к появлению магнитного поля.

Гипотеза Сазерленда в ее первоначальном виде уступила место теории бароэлектрического эффекта. Этой теории посвящен ряд публикаций, объединенных в монографию [6].

Перейдем непосредственно к напоминанию основных положений этой теории.

Хорошо известно, что физические или химические неоднородности в проводниках порождают перераспределение зарядов и, как следствие, возникновение электрических полей. Так, перепады температур порождают термоэлектрические поля, химические неоднородности — контактные разности потенциалов. Бароэлектрический эффект связан с неоднородным распределением механических напряжений в веществе.

Поля, возникающие из-за не зависящих от времени градиентов давлений механических напряжений (в простейшем варианте — от давлений) — бароэлектрические поля — являются безваттными, т. е. для их поддержания не требуется постоянных затрат энергии (но они соответственно не могут и передавать энергии зарядам).

Выводы о появлении таких полей и связанных с ними распределений плотности зарядов  $\rho = \frac{1}{4\pi} \operatorname{div} \mathbf{E}$  возникают уже при рассмотрении простейшей модели планеты как химически однородного, холодного и не испытывающего внешних воздействий шара (даже если в нем существуют достаточно медленные и потому не оказывающие заметного влияния на распределение давлений потоки вещества).

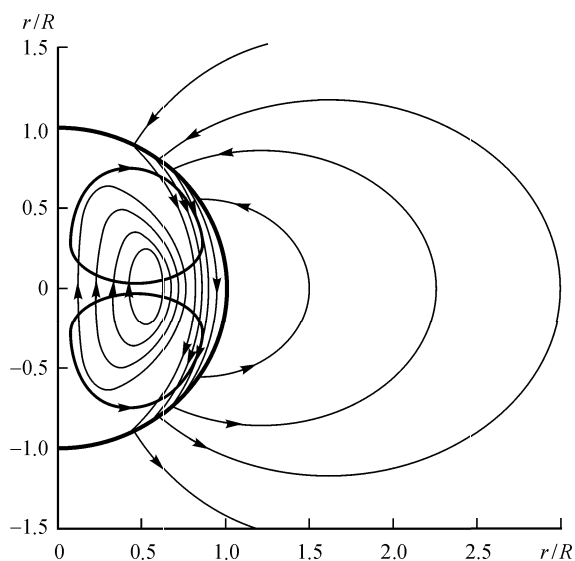
Как правило, при рассмотрении планет и звезд априорно предполагается, что объемная плотность зарядов равна нулю. Учет бароэлектрического эффекта вынуждает отказаться от этого предположения. Объемная плотность заряда оказывается положительной. Если полный заряд планеты равен нулю, то положительный объемный заряд полностью компенсируется отрицательным поверхностным зарядом.

Благодаря вращению планеты как целого, вместе с ее объемными и поверхностными зарядами, и создается то магнитное поле, которое можно назвать

<sup>\*)</sup> В рамках теории динамо в объяснении нуждается даже сам факт близости их местоположения к географическим полюсам.

«главным баромагнитным». За пределами планеты оно является дипольным. Во внутренней области его структура более сложна, и она зависит от распределения давлений.

Ограничиваясь упрощенным качественным рассмотрением, примем изображенный на рисунке вариант этой структуры, который был использован нами в статье [7], посвященной не только традиционно обсуждаемой в теории «динамо» задаче о генерации магнитного поля благодаря дифференциальным потокам, но и вопросу о влиянии магнитных полей небесных тел на механические потоки. Это влияние проявляется в том, что перемещение вещества, несущего объемные электрические заряды, происходит преимущественно вдоль линий магнитного поля.



Упрощенная усредненная схема распределения силовых линий главного баромагнитного поля во внутренней и внешней областях планеты. Направления напряженностей магнитного поля указаны стрелками на силовых линиях. Более жирные — линии токов. Вся картина дрейфует на запад

Началом возникновения конвективного потока является флуктуационное образование в горячем ядре планеты локальной области пониженной плотности. Под действием архимедовой силы движение направлено к поверхности планеты, причем, как уже было замечено, «направляемое» той силовой линией магнитного поля, на которой она возникла. Таким образом формируется конвекционный канал, и благодаря закону Бернулли (внутри этого канала скорость вещества больше, чем вне его, а значит, давление, а потому и плотность — несколько меньше) этот канал оказывается относительно устойчивым.

Усредненная по времени упрощенная схема циркулярных конвективных потоков в «модельной планете» изображена на рисунке жирными линиями.

Пространственная ориентация каждого конкретного замкнутого конвекционного потока определяется положением флуктуационного центра его зарождения.

Приведенный рисунок нуждается в некотором уточнении. Если бы планета не вращалась, цирку-

лярные конвективные потоки, порождаемые градиентами температур, лежали бы в меридиональных плоскостях, как то изображено на рисунке. Магнитное поле, которое бы порождалось такими не возмущенными вращением планеты механическими (а значит, и электрическими) потоками, условимся называть «первичным».

Учет вращения планеты вносит в картину потоков, приведенную выше, важные перемены. Рассмотрим две из них.

1) Возникновение дополнительного перемещения приповерхностных участков планеты, скорость которого имеет направленную на запад (и зависящую от широты) составляющую, с которой, как естественно предположить, и связан известный «западный дрейф» континентов<sup>\*)</sup>.

2) Поскольку благодаря бароэлектрическому эффекту с потоками вещества связаны и потоки объемных электрических зарядов, вызывающих изменения геомагнитного поля, изменения этих потоков, обусловленные вращением Земли, должны сказываться и на положении геомагнитных полюсов. Наиболее интересны для нас потоки, порождающие добавки к такому первичному баромагнитному полю.

Если бы Земля не вращалась, то картина бароэлектрического перераспределения зарядов была бы осесимметричной, магнитный момент, обусловленный вращением планеты, был бы направлен по оси этого вращения (если, конечно, сама планета обладает симметрией), и географические полюсы совпадали бы с магнитными. Поднимающиеся из центральных областей планеты, а затем растекающиеся по ее приповерхностным частям потоки также не нарушили бы этой симметрии, если бы не силы Кориолиса. Они вызывают появление горизонтальных компонент скорости этих потоков, так что их суммарная скорость приобретает некоторое направление, промежуточное между меридиональным и широтным.

Нужно еще раз напомнить, что потоки вещества сосуществуют с потоками положительных зарядов. Если бы эти потоки лежали только в плоскостях меридианов, то порождаемая такими токами добавка к магнитному полю имела бы только широтное направление. А если бы потоки были направлены только перпендикулярно к оси вращения планеты, то обязанные им магнитные поля были бы параллельны этой оси. Таким образом, в обоих случаях положение магнитного и географического полюса осталось бы совпадающим. Если же реализуется указанный выше промежуточный вариант, то положения этих полюсов должны быть различными. При этом из-за роли флуктуационных процессов в физических причинах, влияющих на формирование приосевых восходящих потоков, а значит, и приповерхностных

<sup>\*)</sup> Из намеченной выше картины приповерхностных потоков вытекает, что должен существовать и направленный на юг в Северном и на север в Южном полушарии дрейф. Признаки этого дрейфа, который можно назвать экваториальным, действительно имеются.

потоков, направляющихся затем к экваториальной плоскости, положение магнитных полюсов также оказывается флуктуирующим. Над географическими полюсами у вектора напряженности магнитного поля кроме вертикальной появляется и (хотя и небольшая) горизонтальная компонента, и нужно несколько переместиться в ее направлении, чтобы достичь того места, где эта компонента обращается в нуль. Эти места и являются магнитными полюсами. Их удаленность от географических полюсов пока не удается рассчитать теоретически, хотя представляется очевидным, что она связана со скоростью западного дрейфа 0.1 см/с и (пока еще неизвестной) скоростью приповерхностного потока в направлении к экватору.

Остается заметить, что как исследование западного дрейфа, так и тщательное количественное изучение перемещений магнитных полюсов дают возможность пополнить наши знания о внутриземных потоках.

#### Литература

1. Прист Э.Р. Солнечная магнитогидродинамика. М., 1985.
2. Larmor J. // Rev. Brit. Assoc. Adv. Sci. 1910. P. 159.
3. Френкель Я.И. Теория явлений атмосферного электричества. М.: Л., 1949.
4. Зельдович Я.Б., Рузмайкин Ф.Ф. // УФН. 1982. **152**, № 2. С. 263.
5. Sutherland W. // Terrest. Magn. Planet Sci. 1903. **2**. P. 249; Atm. Electr. 1903. **8**. P. 49.
6. Григорьев В.И., Григорьева Е.В., Ростовский В.С. Баро-электрический эффект и электромагнитные поля планет и звезд. М., 2003.
7. Григорьев В.И., Ростовский В.С. // Вестн. Моск. ун-та. Физ. Астрон. 2000. № 3. С. 41 (Moscow University Phys. Bull. 2000. N 3. P. 46).

Поступила в редакцию  
16.02.04