

**ИНЕРЦИОННО-ПЛАЗМЕННАЯ ГИПОТЕЗА  
СОБСТВЕННОГО МАГНИТНОГО  
И ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЕЙ ЗЕМЛИ**

А. А. ВОРОБЬЕВ

**§ 1. Введение**

Общепринято, что общее магнитное поле нашей планеты создается вследствие электромагнитных процессов, протекающих в недрах Земли [1]. Геомагнитное поле в первом приближении является полем диполя, расположенного в центре Земли. Его дипольный момент составляет  $P = 8,1 \cdot 10^{25}$  гс·см<sup>3</sup>. Напряженность поля у полюса составляет 0,62 гс. Ось диполя пересекает поверхность Земли в точках 78°,3 с. ш., 69°,0 з. д. и 78°,3 ю. т., 111°,0 в. д. Известны и другие приближения (рис. 1).

Общее поле Солнца до 1958 г. было антипараллельно геомагнитному. Оно изменило свою полярность так, что с 1958 года оба поля стали параллельными. Пока измерения общего магнитного поля Солнца не надежны, что затрудняет создание теоретической схемы описания образования магнитного поля Солнца. Наблюдения за перемещениями зоны солнечных пятен указывают на существование в области между фотосферой и центром общего магнитного поля с магнитным моментом источника:

$$P = 2,1 \cdot 10^{33} \text{ гс} \cdot \text{см}^3 \text{ [2].}$$

Магнитные поля являются общим свойством быстровращающихся звезд класса А с конвективным ядром. Известны звезды с переменными магнитными полями. Существует магнитное поле в плоскости Галактики и на больших расстояниях от нее. Возможное значение напряженности магнитного поля галактики  $10^{-6}$ — $10^{-5}$  гс приводится в [2]. Магнитные поля небесных тел являются распространенными их свойствами. Делалась попытка объяснить магнетизм как свойство вращающихся масс. Однако не каждая вращающаяся масса имеет магнитное поле. Например, Луна и, вероятно, Меркурий не имеют магнитных полей. Юпитер же, обладающий большей массой, имеет собственное магнитное поле [2].

Нами сделано предположение, что возникновение магнитных свойств небесных тел связано с такими фундаментальными их свойствами, как вращение и наличие плазмы в составе ядра небесного тела. Для обоснования этой гипотезы привлечены закономерности магнитной гидродинамики и сейсмологии [4]. При рассмотрении сейсмических явлений в первом приближении планету обычно считают упругой средой. В материально-идеально упругой среде распространяются два типа упругих волн: продольные волны Р-типа со скоростью

$$\alpha = \sqrt{\frac{\lambda + 2\mu}{\rho}} \quad \sqrt{\frac{K + \frac{4}{3}\mu}{\rho}} \quad (1)$$

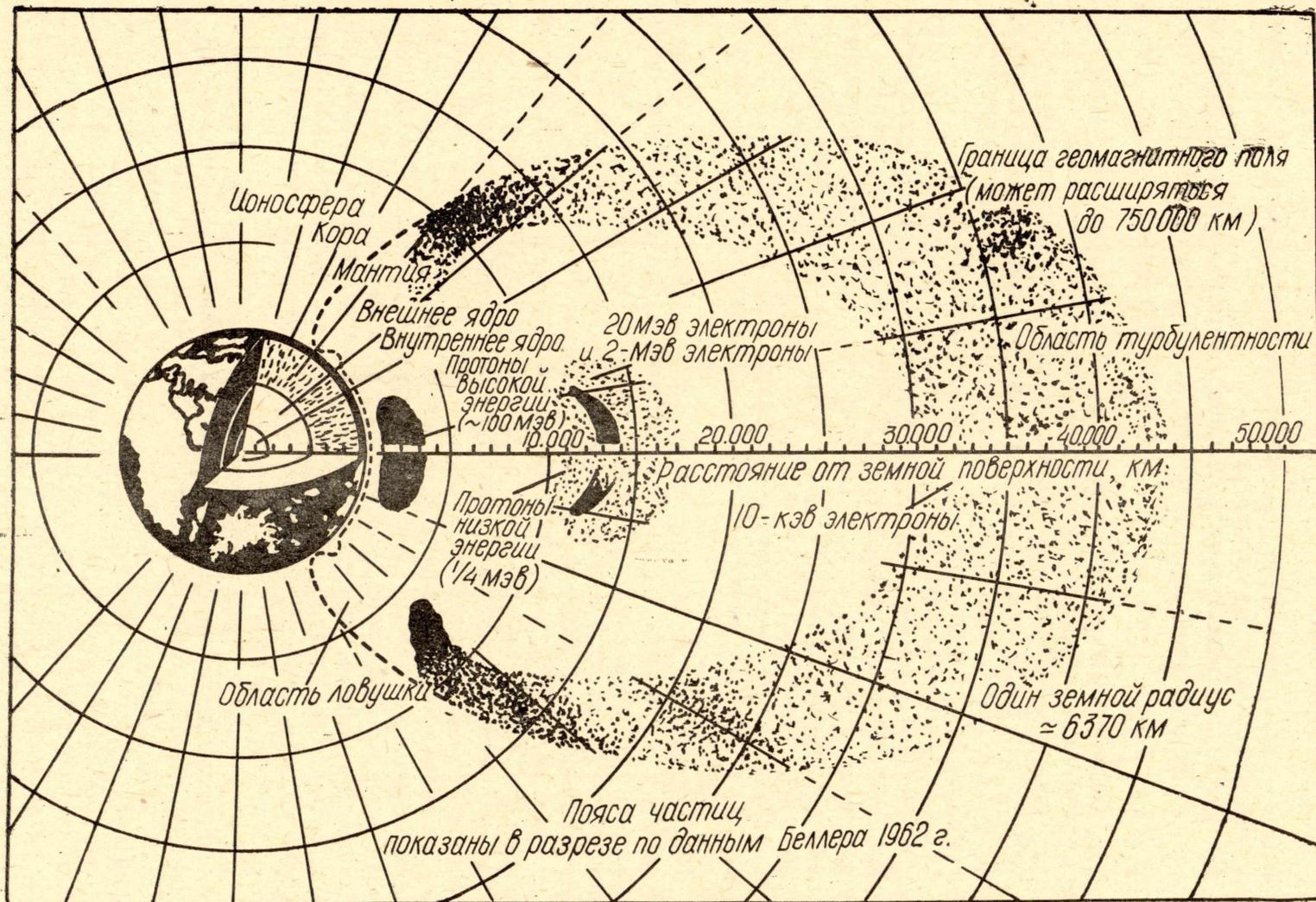


Рис. 1. Основные слои Земли и околоземное пространство

и поперечные  $S$ -типа со скоростью

$$\beta = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}}, \quad \beta < \alpha,$$

где  $\rho$  — плотность среды, а  $\lambda = K - \frac{2}{3}\mu$ ,

$\lambda$  и  $\mu$  — постоянные Ляме,  $K$  — параметр упругой изотропной среды,  $\mu$  — жесткость или модуль сдвига.

Если  $\mu \neq 0$ , то среда является идеально твердой, при  $\mu = 0$  среда является идеально жидкой, для которой  $\beta = 0$  и поперечные волны  $S$ -типа не проходят. Если  $\frac{K}{\rho} \rightarrow \infty$ , а  $\frac{\mu}{\rho}$  — конечная величина, то через такую среду проходят только поперечные волны, имеющие конечную скорость в несжимаемом твердом теле. Отношение давления к произведенному им сжатию измеряет сжимаемость или объемный модуль сжатия  $K$  в точке  $P_1$ . Модуль сжатия  $K$ , плотность  $\rho$  и модуль сдвига  $\mu$  являются теми тремя параметрами, значения которых определяют физико-механические свойства глубинного материала как непрерывной среды.

Оба типа волн  $P$  и  $S$  могут быть плоско поляризованы. В сейсмологии приняты обозначения:  $S$ -волна, в которой все частицы движутся в горизонтальной плоскости, обозначается  $SH$ ;  $S$ -волна, в которой все частицы колеблются в вертикальной плоскости, содержащей направление распространения волны, обозначается  $SV$  [1] (в случае падения на горизонтальную границу). Физико-механическое состояние оболочки Земли позволяет проходить волнам  $P$  и  $S$ -типа. Это доказывает, что она находится в твердом состоянии вплоть до границы внешнего ядра на глубине 2900 км.

Из данных по изучению сейсмограмм следует, что через внешнее ядро  $E$  могут проходить только волны  $P$ -типа, а волны  $S$ -типа (поперечные колебания) не проходят. Из этих данных был сделан вывод, что внешнее ядро находится в жидком состоянии. Выводы о малой жесткости большей части ядра Земли находятся в согласии и с астрономическими измерениями. Данные о движении земных полюсов, наблюдения приливов в теле Земли дают сведения о жесткости Земли в целом.

Теоретические вычисления показывают, что жесткость внешнего ядра составляет малую долю от его модуля сжатия или близка к нулю [1]. Из наблюдений за прохождением  $P$ -волн в 1936 г. Леман сделала вывод, что существует внутреннее ядро, в котором скорость  $P$ -волн значительно выше, чем в окружающей его области внешнего ядра [1]. Из выражения для величины  $\alpha$  следует, что ее увеличение может произойти или при уменьшении плотности вещества  $\rho_1$ , но такое предположение должно быть исключено, или вследствие увеличения параметра  $K$  и  $\mu$  — жесткости системы.

Если считать, что ядро является жидким, то тогда модуль сдвига  $\mu$  с увеличением давления не будет расти, следовательно, возрастание  $\alpha$  должно будет определяться весьма большим возрастанием  $K$ . Поэтому К. Е. Буллен в 1946 г. пришел к выводу, что ядро следует считать находящимся в твердом состоянии. Через твердое ядро могут проходить  $S$ -волны, но они не пройдут и не выйдут через жидкое внешнее ядро  $E$ . Таким образом, данных о прохождении  $P$ - и  $S$ -волн через внутреннее ядро нет и не может быть получено. Данные Калаи, как будто бы наблюдавшего на сейсмограммах фазу, присущую  $P$ - и  $S$ -волнам, Буллен взял под сомнение [1].

На рис. 2 представлено изменение величин скоростей  $P$  и  $S$ -волн в зависимости от радиуса. Как видно, на границе внешнего ядра не наблюдается распространения  $S$ -волн. Интересно отметить, что по мере

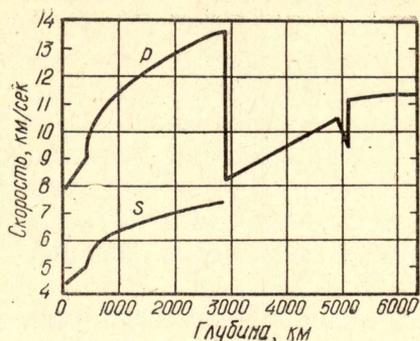


Рис. 2. Распределение скоростей  $P$  и  $S$ -волн в недрах Земли

приближения к ядру скорость волн  $P$ -типа растет. По данным Джеффриса, между внутренним и внешним ядрами существует переходная область  $F$ , мощность которой около 150 км и которая характеризуется отрицательным значением градиента скорости. Из условия, что поперечные  $S$ -волны не проникают глубже, чем на 2900 км, сделан вывод, что эта глубина является нижней границей вещества земных недр в твердом состоянии (мантии) и верхней границей вещества в жидком состоянии, образующего внешнее ядро Земли. Иногда допускают, что на этой границе в некоторой области шириной около 150 км скорость  $P$ -волн падает, затем несколько возрастает и остается постоянной.

Излагаемая ниже плазменная гипотеза объясняет наблюдаемый ход изменения скорости сейсмических волн в ядре Земли без приведенных допущений.

## § 2. Гипотеза плазменного состояния ядра планеты

По А. Ф. Капустинскому [4], во внешнем ядре при температуре  $2000^{\circ}\text{C}$  и давлении около  $1,4 \cdot 10^6$  атм невозможны какие-либо химические превращения атомов, проявления различий в химических свойствах атомов и образования химических соединений. Вещество при этих условиях по А. Ф. Капустинскому практически тождественно чистому кристаллу при  $0^{\circ}\text{K}$ .

По нашему мнению, в области ядра при высоком давлении атомы ионизируются, их электронные оболочки перестраиваются таким образом, что атомы теряют свои химические свойства. Вследствие этого химические связи нарушаются. Образуется плазма с концентрацией частиц  $10^{23} - 10^{25} \text{ см}^{-3}$ .

Обычно плазма представляет газ заряженных частиц. В данном случае получается высокая концентрация частиц, превышающая на один-два порядка концентрацию частиц в твердом теле. Плазма, заполняющая недра Земли, будет описываться уравнениями магнитогидродинамики, иметь свойства проводящей жидкости, поэтому ее можно назвать плазменной жидкостью, что согласуется с макроскопическими закономерностями, установленными Робертсом [5]. Вязкость вещества ядра Земли мала. Это обстоятельство позволило считать его жидким, металлическим. Это же обстоятельство позволяет предполагать плазменное состояние вещества, заполняющего ядро Земли. Такая жидкость, состоящая из заряженных частиц, должна обладать высокой электропроводностью. Являясь квантовой системой, плазменная жидкость будет иметь малую вязкость, как это установлено для жидкого гелия при температуре вблизи абсолютного нуля. Вследствие малой вязкости плазменного заполнения ядра возможно допустить, что угловая скорость его вращения будет отличной от скорости вращения планеты. Плазменная жидкость, состоящая из ионизированных частиц и электронов, будет

иметь температуру, присущую ядру Земли. В ядре Земли плазма находится под действием возможного электрического поля Земли, о котором ничего не известно, и магнитного поля. Поэтому параметры плазмы надо рассматривать с учетом этих полей. В плазменной жидкости имеется высокая концентрация свободных электронов и положительно заряженные остатки атомов. Даже в металле равновесие между положительными и отрицательными зарядами нарушается из-за воздействия гравитационного поля, смещающего электроны вниз. В куске металла концентрация свободных электронов внизу будет больше, чем в верхней части [6].

По [6] гравитационное изменение массы электрона составляет не более чем 9%. Измеренная сила притяжения электрона к Земле приблизительно равна силе электростатического притяжения электрона к протону, удаленному от него на расстояние 5 м. По принципу относительности магнитное поле зарядов, находящихся в ядре, не может быть обнаружено на поверхности Земли, если все геосферы вращаются с одинаковой угловой скоростью. По гипотезе Булларда [1] скорости вращения геосфер планеты могут быть разными. Вследствие малой вязкости плазмы, ядро будет вращаться с угловой скоростью, отличной от скорости вращения планеты. Поэтому частицы, находящиеся в разных геосферах, будут смещаться друг относительно друга. Магнитное поле, создаваемое круговыми токами заряженных частиц, вращающихся вместе с ядром, будет ощущаться в других геосферах.

Рассмотрев поведение сжимаемой электрически проводящей среды, помещенной в однородное магнитное поле и сжимаемой в направлении перпендикулярно магнитному потоку, приходим к следующему выводу.

При поперечном сжатии среды магнитное поле  $H$  создает восстанавливающую силу, так называемое магнитное давление, равное  $H^2/8\pi$ . По этой причине возникают в плазме волны сжатия или магнитозвуковые волны. Они распространяются перпендикулярно магнитному полю в результате одновременного действия гидростатического и магнитного давления [2, 7, 8, 9].

Движение плазмы в магнитном поле, которое будет вынуждаться, например, падающей сейсмической волной, приводит к разделению зарядов в плазме и возникновению электрического поля и электростатических колебаний. В случае движения различных участков плазмы с разными скоростями возникшие электрические поля создают токи. Взаимодействие магнитных полей и этих токов с магнитным полем Земли приводит к возникновению сил, которые при определенных условиях изменяют характер движения самой среды. Таким образом, гидродинамическое движение и электромагнитные (в плазме ядра) явления будут связаны. Для описания процессов при прохождении сейсмических волн через ядро, заполненное плазмой, находящейся в магнитном поле, следует пользоваться уравнениями магнитной гидродинамики. В обычном газе или жидкости незначительные колебания распространяются в виде продольных волн сжатия и растяжения  $P$  (волн давления). В проводящей плазме или плазменной жидкости в магнитном поле могут еще распространяться и поперечные магнито-гидродинамические волны (МГД), открытые Х. Альвеном [2].

Рикитаки [11, 10] в 1952 г., изучая сейсмические волны, отраженные от поверхности ядра, пытался обнаружить возникновение в нем МГД-волн, что ему не удалось. Однако использование при этом лучей с малыми углами падения и динамических амплитудных соотношений вызывает возражения. Результат Рикитаки противоречит данным Робертса [5], доказавшего, что, по крайней мере, для волн сейсмического частотного диапазона ядро можно считать идеальным проводником.

Вероятно, для обнаружения МГД-волн и магнито-звуковых следует

использовать не амплитудные соотношения отраженных, а статистический анализ кинематических особенностей (кажущихся скоростей) волн, прошедших через ядро. Волны, электрический вектор которых является параллельным или перпендикулярным к внешнему магнитному полю, могут рассматриваться независимо друг от друга. Волна, электрический вектор которой направлен вдоль внешнего магнитного поля, является плазменной при распространении вдоль поля и электромагнитной, когда она распространяется поперек поля. Для волн, распространяющихся вдоль внешнего магнитного поля, собственное магнитное поле будет параллельно внешнему, приложенному [8]. В общем случае распространения волн в плазме электрические и магнитные векторы будут ориентированы под произвольным углом по отношению к внешнему магнитному полю. Такие волны названы косыми. Электрический вектор косой волны обязательно будет иметь составляющую вдоль и поперек внешнего магнитного поля. Известно, что в таких случаях возникает эллиптическая поляризация.

При распространении волн в плазме, в которой газовое давление значительно меньше магнитного, возникающие обыкновенная и необыкновенная волны могут быть низкочастотными магнито-гидродинамическими с разными направлениями круговой поляризации или высокочастотными электромагнитными волнами [7, 8]. При распространении волны поперек поля необыкновенной волной является магнито-звуковая, а обыкновенной — электромагнитная волна, электрический вектор которой направлен параллельно внешнему магнитному полю. Колебания в плазме малой концентрации, находящейся в магнитном поле, хорошо изучены. Некоторые общие закономерности возможно перенести на процессы, которые могут протекать в плазме высокой концентрации. Плазменные волны распространяются в направлении действующего электрического поля. В этом же направлении происходит и колебание частиц. С увеличением плотности плазмы растет затухание плазменных колебаний. Механизм колебаний в плазме, распространяющихся вдоль магнитного поля, заключается в изгибании магнитных силовых линий вместе с «приклеенной» к ним плазмой. Скорость движения вещества в этом случае оказывается перпендикулярной к направлению распространения, и образуются магнито-гидродинамические или альвеновские поперечные волны. Магнито-гидродинамические волны в проводящей жидкой плазме Г. Альвен предложил рассматривать как колебания магнитных силовых линий по аналогии с поперечными колебаниями струи [9]. В механизме обычной жидкости или газа такие поперечные колебания не имеют аналогии. Вообще поперечные колебания свойственны только упругому твердому телу и поверхности жидкости. Таким образом, магнитное поле сообщает плазме упругость формы, делая ее до некоторой степени подобной твердому телу [7, 8].

При низких частотах скорость распространения магнито-гидродинамических поперечных колебаний вдоль поля равна скорости магнитного звука в холодной плазме, которую называют альвеновской скоростью. Если в плазме распространяется волна вдоль магнитного поля, а колебания совершаются в произвольной плоскости, то такую волну удобно разложить на две независимые. Электрический вектор одной волны направим параллельно, а у другой — перпендикулярно магнитному полю. Для таких волн можно будет применить отдельный способ рассмотрения. При малых частотах колебаний плазма в магнитном поле ведет себя как проводящая жидкость, и ее свойства описываются уравнениями магнитной гидродинамики.

В области малых частот (меньше частоты колебания ионов без магнитного поля) параллельно магнитному полю распространяются магнито-гидродинамические волны, а перпендикулярно к нему — магнито-

звуковые. Магнито-звуковые волны являются продольными в гидродинамическом смысле. В плазме распространяются волны расширения и сжатия. С плазмой связаны «вмороженные» силовые линии магнитного поля. Ток и электрическое поле волны направлены перпендикулярно магнитному полю и гидродинамической скорости движения вещества, совпадающей по направлению с направлением распространения. Следовательно, магнито-звуковые МГД-волны в гидродинамическом смысле являются продольными волнами, а в электродинамическом — поперечными. Скорость распространения продольных магнито-звуковых волн определяется так же, как и скорость распространения звука, но только дополнительно к значению давления  $P$  следует добавить магнитное давление  $H^2/8\pi$  и записать уравнение в виде

$$U_{зв}^2 = \gamma \frac{P}{\rho} + \gamma_M \frac{H^2}{8\pi\rho}, \quad (1)$$

где  $\rho = n \cdot m$  — плотность плазмы,  
 $n$  — концентрация ионов,  
 $m$  — масса ионов,

$\gamma$  и  $\gamma_M$  — показатели адиабаты для давления в выражении (1).

При «вмороженном» магнитном поле плотность  $\rho$  пропорциональна  $H$ , а магнитное давление  $P_M \sim H^2 \sim \rho^2$ , откуда  $\gamma = 2$ . Поэтому скорость звуковых продольных волн в плазме поперек магнитного поля определится

$$U_{зв}^2 = C^2 + \frac{H^2}{4\pi n m}, \quad (2)$$

где  $C$  — скорость звука без магнитного поля.

$$C = \gamma \frac{P}{\rho} = \gamma \frac{T}{m}, \quad (3)$$

где  $T$  — температура.

Из [1] следует, что скорость продольных волн в плазме, находящейся в магнитном поле, растет пропорционально его напряженности. Такая закономерность наблюдается в области внешнего ядра. Скорость уменьшается с ростом плотности плазмы. Скорость распространения магнито-гидродинамических волн вдоль магнитного поля будет определяться той же формулой (1). В магнито-гидродинамических волнах гидродинамическая скорость вещества и вектор электрического поля направлены поперек магнитного поля, поэтому эти волны являются поперечными в гидродинамическом и электродинамическом смысле. При низких частотах в магнитоакустической области скорости распространения как магнито-гидродинамических волн, так и магнито-звуковых стремятся к альвеновской скорости

$$U_A = \frac{H_0}{\sqrt{4\pi\rho}}, \quad (4)$$

получаемой из (1) в предположении, что магнитное давление превосходит газовое давление, то есть плазма является холодной. Так как при «вмороженном» магнитном поле плотность плазмы и напряженность магнитного поля изменяются пропорционально, то из (4) следует, что альвеновская скорость  $U_A$  будет расти несколько медленнее, чем напряженность магнитного поля. Внутри ядра действует сравнительно сильное магнитное поле, создаваемое круговым током. Поэтому скорость распространения волн будет отличаться от скорости распространения волн в плазме без магнитного поля.

Предполагается, что на границе внешнего ядра происходит не уменьшение скорости  $P$ -волн или возрастание скачком скорости  $S$ -волн, а под действием продольных волн типа  $S$  или поперечных типа  $P$  возни-

кают в ядре магнито-звуковые или магнитогидродинамические волны, свойственные плазме в определенных условиях [9]. Распространение магнито-звуковых волн сопровождается явлением дисперсии, то есть возрастанием показателя преломления вследствие уменьшения фазовой скорости волн. При некоторой частоте показатель преломления равняется бесконечности, фазовая скорость равна нулю, то есть наступает явление аномальной дисперсии. При переходе через данную частоту  $n^2$  — квадрат показателя преломления скачком меняется от  $+\infty$  до  $-\infty$  и в области более высоких частот становится мнимым. Следовательно, магнито-звуковые волны с частотой выше электронно-ионной плазменной не могут проникать в плазму поперек магнитного поля, и волна отражается от границы плазмы. При еще более высоких частотах распространение поперечных волн становится вновь возможным.

В области аномальной дисперсии и отражения магнито-звуковые волны могут распространяться в виде косых волн, фронт которых направлен под углом  $\Theta^\circ$  к магнитному полю. Если учесть магнитное давление в плазме, то появляются новые типы волн, а ее свойства усложняются. Рассмотрение распространения малых колебаний в проводящей сжимаемой среде с магнитным полем, которое складывается из сильного однородного внешнего поля  $H$  и слабого поля волны  $h$  в пренебрежении затухания волн при адиабатическом сжатии, привело к следующим интересным результатам [7].

Скорость волны определяется условием:

$$U_{1,3}^2 = \frac{1}{2} (V_A^2 + C^2) \pm \frac{1}{2} \sqrt{V_A^4 + C^4 - 2V_A^2 C^2 \cos \Theta}, \quad (5)$$

где

$$V = \pm \frac{H_0}{\sqrt{4\pi\rho_0}},$$

$V_A$  — альвеновская скорость волны,

$C$  — скорость звука,

$\rho_0$  — плотность,

$\Theta^\circ$  — угол между  $\vec{H}$  и скоростью  $C$ .

Этим волнам в общем случае соответствует движение вещества в плоскости  $(\vec{K}, \vec{H})$ , при котором происходит изменение плотности, где  $K$  — волновой вектор.

В частном случае при  $\Theta \neq 0$ , когда распространение волны происходит вдоль магнитного поля:

$$U_{1,3}^2 = \frac{1}{2} (U_A^2 + C^2), \quad (6)$$

если  $V_A > C$ , то  $U_1 = V_A$ ;  $U_3 = C$ ; (7)

при  $V_A < C$ ,  $U_1 = C$  и  $U_3 = V_A$ . (8)

Движение плазмы вдоль  $\vec{H}_0$  не дает электромагнитных эффектов, поэтому и не возникает электромагнитных волн.

В рассмотренном предельном случае распространяются обычная альвеновская, магнитогидродинамическая и звуковая волны. При слабом поле  $H_0$  звуковой является волна, которая распространяется со скоростью  $U_1$ , альвеновская — со скоростью  $U_3$ . При сильном поле получается обратное соотношение. Следовательно, при распространении в неоднородной среде, какой является плазма в магнитном поле, сейсмическая падающая волна может распространяться или в виде магнито-звуковой волны, то есть сейсмической же, или в виде магнитогидродинамической. Последняя является по существу электромагнитной волной, не-

смотря на то, что ее скорость на много порядков ниже скорости света. Переход волны из одного вида в другой происходит, когда изменяется знак неравенства между  $C$  и  $V_A$ . При

$$\Theta^\circ = \frac{\pi}{2}; \quad U_1 = \pm \sqrt{V_A^2 + C^2}; \quad U_3 = 0. \quad (9)$$

Движение вещества в рассматриваемом частном случае происходит вдоль направления распространения, поэтому волна в плазме является продольной, как и звуковая.

Представляет интерес общий случай прохождения упругих колебаний через плотную плазму, находящуюся в магнитном поле при условии движения волны в любом направлении, когда угол  $|\vec{H} \cdot \vec{C}| = \Theta^\circ$ . В этом случае степень сжатия плазмы

$$\frac{P'}{P_0} = \frac{1}{U_1} V_z \quad (10)$$

будет меньше, чем при распространении звуковой волны со скоростью  $V_z$  в отсутствие магнитного поля, так как  $U_1 > C$ . Это явление происходит потому, что в передаче импульса участвует собственная упругость среды и дополнительная упругость формы среды, возникшая за счет магнитного поля. По этой причине при меньшем сжатии возникает квазиупругая сила, достаточная для передачи колебаний дальше.

С уменьшением значения  $\Theta^\circ$  уменьшается также и  $U_1$ , волна переходит в более быструю из двух возможных типов волн: альвеновскую или звуковую, которая называется ускоренной магнито-звуковой волной ( $U_1 > C$ ). Ускоренная волна образуется вследствие действия более мощного из двух факторов — давления и магнитной силы, которые влияют на колебания в одном и том же направлении. Величина  $U_3$  растет с уменьшением  $\Theta^\circ$ , и волна переходит в более медленную из двух упомянутых волн. Так как  $U_3 \leq C$ , то такая волна называется замедленной магнито-звуковой волной. Она распространяется вследствие действия менее мощного из двух упомянутых выше факторов, причем другой фактор действует против первого. Интересно отметить, что в магнито-звуковых

волнах вещество движется в плоскости  $(K, H_0)$  под действием электромагнитных сил и упругих сил среды (плазмы). Когда эти силы складываются, то волна движется быстрее скорости звука в среде в отсутствие магнитного поля, если вычитаются, то медленнее. В общем случае, когда волна движется под углом к магнитному полю, сами движения вещества не являются ни продольными, ни поперечными, а имеется одно общее движение и одна общая волна. Для случая, когда магнитное давление превосходит давление среды (случай низкой температуры) и  $V_A \gg C$ , то  $U_1 = V_A$ ,  $U_3 = 0$ . Таким образом, для «холодной» плазмы, в которой можно пренебречь тепловыми движениями частиц, остается только ускоренная магнито-звуковая волна, скорость которой равна альвеновской. В отличие от обычной магнитогидродинамической волны Альвена скорость такой волны не зависит от направления, так как она не умножается на  $\cos \Theta^\circ$ , но линейно зависит от напряженности магнитного поля согласно (4), что объясняет результаты наблюдений, представленные на рис. 2, о линейном возрастании скорости волн в области внешнего ядра [7].

Гипотезу о существовании внутреннего твердого ядра Земли также можно рассмотреть, пользуясь выводами теории распространения магнитогидродинамических волн. На границе раздела двух сред, в которых скорости волн будут разными, произойдет частичное отражение и частичное преломление падающей волны.

В случае простых, свободных от диссипации волн, когда граница

между проводящими средами  $Z=0$  и перпендикулярна невозмущенному магнитному полю, магнитогидродинамические скорости будут равны  $V_1$  в области  $Z<0$  и  $V_2$  в области  $Z>0$ . При отражении от поверхности твердого проводящего тела скорость преломленной волны относительно падающей сдвигается по фазе на  $180^\circ$ . Индуцированное магнитное поле преломленной волны сдвига фазы не имеет. Следовательно, на границе твердого тела должно происходить полное внутреннее отражение волн. Этот вывод также согласуется с тем, что индуцированное магнитное поле сдвига по фазе не имеет. На рис. 2 в предположении твердого внутреннего ядра должно было наблюдаться отражение волн на его границе. По данным наблюдений, представленным на рис. 2, следует, что волны проходят через ядро. Обычно предполагается, что это первичные волны  $P$ , а не вторичные  $S$ . Следовательно, по плазменной гипотезе внутреннее ядро не может быть в твердом состоянии.

При отражении от свободной поверхности, наоборот, сдвиг фазы на  $180^\circ$  наблюдается у магнитного поля, а у скорости волны сдвига фазы не наблюдается.

В случае, когда  $\rho$  и  $V$  изменяются непрерывно вдоль магнитной силовой линии, то так же, как при прохождении электромагнитных или звуковых волн, отражение от последовательно расположенных слоев является незначительным. Амплитуда волны будет изменяться  $A \approx \rho^{1/4}$ , а скорость  $V \approx \rho^{-1/4}$  (10). Для ядра Земли наблюдается увеличение  $\rho$  по мере приближения к центру планеты. Поэтому следовало бы ожидать возрастания амплитуды колебаний, что не наблюдалось, и уменьшения скорости распространения волны в соответствии с зависимостью (10) скорости от плотности среды, что не подтверждается результатами наблюдений, представленных на рис. 2.

Приведенные на рис. 1 данные удовлетворительно согласуются с выводами теории распространения магнитогидродинамических волн в плазме, плотность которой растет по мере приближения к центру, как это дано на рис. 3. Если предполагать, что на границе внешнего ядра располагается положительный заряд, образованный тяжелыми заряженными частицами, которые сместились на это расстояние вследствие центробежной силы, то магнитное поле  $H$  кругового тока, образуемое при вращении Земли, определяет магнитные, а распределение плотности — гидродинамические условия возникновения магнитогидродинамических волн и линейное изменение их скорости в этом поле. Плотность среды в области, обогащенной тяжелыми частицами, возрастает скачком. Изменение скорости сейсмических волн на границе геосферы  $E$  позволяет определить значение напряженности магнитного поля и провести некоторые вычисления по инерционно-плазменной гипотезе собственного магнитного поля Земли.

Аналогичным образом скачок в изменении скорости на второй границе, ближе к центру, можно объяснить влиянием магнитного поля электронного кругового тока и распределения плотности вещества. Как сле-

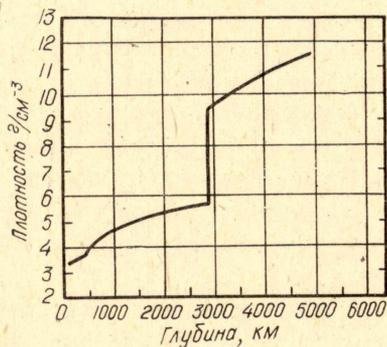


Рис. 3. Распределение плотности вещества в зависимости от глубины

дует из формулы (10), с увеличением плотности вещества скорость волн уменьшается пропорционально  $\rho^{-1/4}$ , с увеличением напряженности поля  $H$  скорость должна линейно расти. В результате действия этих двух противоположных факторов скорость сохраняет постоянное значение. Эти соотношения позволяют также провести некоторые определения параметров инерционно-плазменной гипотезы, качественно объясняющей ход зависимости, представленной на рис. 2. При определении скорости вращения ядра  $E$  следует учесть изменение вязкости плазмы в магнитном поле.

### § 3. Инерционно-плазменная гипотеза существования и сохранения собственных внешних магнитных и электрических полей планеты

Рассмотрены разные модели магнитогидродинамических генераторов при условии плазменного заполнения геосферы. Предлагаемая инерционно-плазменная гипотеза основана на учете постоянно действующих факторов: центростремительной силы гравитации, действующей на частицы в плазме; вращения Земли и возникновения центробежных сил; **плазменного** заполнения ядра Земли и образования магнитного поля токами частиц, движущихся в экваториальной области по окружности вместе с геосферой, включающей ядро; действия кулоновских сил.

После некоторого разделения зарядов по массе, а также энергии их носителей, возникает раздельное электрическое поле, образованное положительными зарядами и электронами, сосредоточенными в геосферах различного радиуса. Поле между так расположенными зарядами будет препятствовать дальнейшему разделению зарядов, которое происходило бы под действием инерционных и гравитационных сил. В результате совместного действия сил, разделяющих заряды, и силы электрического поля, притягивающей заряды, а также влияния вязкости среды и диффузионных процессов установится некоторая постоянная повышенная разность концентраций электронов и положительных зарядов во внутренней части зоны и во внешней ее части.

В приведенном ниже примере расчета мы пренебрежем действием гравитационных сил, так как при учете последних, по-видимому, всегда можно подобрать характер бальмановского распределения, обеспечивающий согласие расчетов с основными явлениями, известными в геомагнетизме.

Вращение частиц плазмы происходит с линейной скоростью, величина которой растет с увеличением радиуса сферы, что дает некоторый эффект центробежного разделения частиц по массам, энергиям и зарядам. Тяжелые положительно заряженные остатки атомов в плазме ядра будут отесняться на периферию зоны  $E$ . Таким образом, вследствие вращения Земли можно ожидать разделение зарядов в плазме с глубиной в слое  $E$ , возникновения электростатических зарядов и колебаний. После центробежного разделения зарядов в плазме в слое  $E$  и некоторого рассеяния электронов на остатках атомов создается на внутренней круговой орбите электронный заряд, вращающийся в аксиальном магнитном поле Земли. Аксиальная симметрия магнитного поля, в свою очередь, стабилизирует нахождение ионов и электронов на круговых орбитах, способствует их смещению к экваториальной плоскости. Если имеется ускоряющее напряжение вдоль такой орбиты, то будет проходить ускорение зарядов и увеличение тока на орбите, а следовательно, и повышение напряженности магнитного поля аксиальной симметрии [11].

Магнитные поля круговых токов положительных и отрицательных зарядов, складываясь, дают результирующее поле линейного магнита

(диполя). Допустим, что скорость относительного смещения геосфер соизмерима с угловой скоростью  $\omega = 73 \cdot 10^{-6}$  радиан/сек, с которой Земля вращается вокруг своей оси. Линейные скорости зарядов, находящихся на расстоянии  $R_1 = 1400$  км от центра и  $R_2 = 3500$  км, то есть на границах слоя  $E$ , равны соответственно  $V_1 = 102$  м/сек и  $V_2 = 255$  м/сек, причем ток  $i_1$  образуется легкими зарядами — электронами и протекает во внутренней сфере меньшего радиуса  $R_1$ , а ток  $i_2$  протекает по внешней сфере зоны  $E$ , радиус которой  $R_2$  и образуется положительными зарядами, связанными с большой массой.

Плотность тока переноса  $\delta = \rho V$ , где  $\rho$  — объемная плотность заряда,  $V$  — их линейная скорость.

Принимая, что по орбитам радиусов  $R_1$  и  $R_2$  движутся численно равные заряды, а каналы тока имеют одинаковое по величине сечение  $S$ -витков, можно записать

$$q_1 = \rho_1 \cdot 2\pi R_1 S = q_2 = \rho_2 \cdot 2\pi R_2 S. \quad (1)$$

Отсюда

$$R_1 \rho_1 = R_2 \rho_2. \quad (2)$$

С учетом того, что линейная скорость пропорциональна радиусу, получим

$$\delta_1 = \rho_1 V_1 = \delta_2 = \rho_2 V_2, \quad (3)$$

то есть токи  $i_1 = i_2 = i$  оказываются равными. Следовательно,

$$i = \delta_1 \cdot S = \rho V \pi r^2,$$

где  $r$  — радиус сечения, принятый равным для обоих витков. Различны будут лишь радиусы витков, по которым они протекают.

Магнитный поток, создаваемый токами  $i_1$  и  $i_2$ , составляет

$$\Phi = L_2 i_2 - L_1 i_1 = (L_2 - L_1) i, \quad (4)$$

где  $L_1$  и  $L_2$  — индуктивности круговых контуров с радиусами  $R_1$  и  $R_2$ . Учитывая только внешнюю индуктивность, получаем

$$L_1 = \mu_0 R_1 \left( \ln \frac{8R_1}{r} - 2 \right); \quad L_2 = \mu_0 R_2 \left( \ln \frac{8R_2}{r} - 2 \right).$$

Поток магнитной индукции образуется в результате суперпозиции потоков, даваемых токами  $i_1$  и  $i_2$ :

$$\Phi = i(L_2 - L_1) = \mu_0 i [R_2 \ln 8R_2 - R_1 \ln R_1 - (R_2 - R_1) \ln r - 2(R_2 - R_1)]. \quad (5)$$

При подстановке численных значений получим

$$\Phi = i(4r - 6,08 \lg r) \text{ вебер}. \quad (6)$$

Для  $r = 1000$  М получается  $\Phi = 23,76 i$  вб.

Рассмотренная модель магнитогидродинамического генератора является самовозбуждающейся.

Полагая в соответствии с принципом Больцмана, что число частиц системы, находящихся в силовых полях в соответствии с энергией и пропорционально  $e^{-\frac{U}{kT}}$ , при различных распределениях  $\frac{U}{T}$  можно получить любое распределение объемного заряда вида

$$n = A e^{-\frac{U_+}{kT}} + B e^{-\frac{U_-}{kT}},$$

где  $U_+$  и  $U_-$  — относятся к зарядам различного знака.

Константы  $A$  и  $B$  определяются условиями ионизации и рекомбинации. Величина  $U$  складывается из трех слагаемых

$$U = mV_g + eV_e + mV_i,$$

где  $e$ ,  $m$  — заряд и масса частицы,  $V_g$ ,  $V_e$ ,  $V_i$  — потенциалы соответственно гравитационных, электростатических и инерционных полей.

Электродинамическими соображениями для малых промежутков времени можно пренебречь.

Придавая величинам  $V_e$ ,  $V_g$ ,  $V_i$  различные значения и подбирая соответствующим образом скорости смещения геосфер, можно подсчитать любые значения напряженности. Приведенный пример показывает, что при пренебрежении какими-либо видами сил можно (в нашем случае гравитационных) подсчитать поле, соизмеримое с наблюдаемым, как это, например, имеет место в гипотезе дрейф-токов.

Ограничения на действительную величину ожидаемой напряженности поля накладывают не произвольные оценки силовых полей, а опытные данные о скорости смещения геосфер относительно друг друга. Например, приняв в вышеприведенном расчете угловые скорости, соизмеримые с их значениями для западного дрейфа до  $3-5^\circ$  в столетие или линейные по [12], получаем оценки на  $6-8$  порядков ниже. Однако и в этом случае рассчитанные поля оказываются в  $100-10000$  раз больше, чем обусловленные гидромагнитным эффектом. Это значит, что оно является постоянно действующим и довольно интенсивным.

В современных магнитогидродинамических гипотезах предполагается самовозбуждение земного динамо в слабом магнитном поле. Я. И. Френкель считал, что источник такого поля не заслуживает физического рассмотрения [13]. Следует предполагать, что вероятность возбуждения динамо, длительность становления его режима пропорциональны интенсивности поля. Выяснение природы этого поля считают одной из кардинальнейших задач теории [12]. Такие поля могут давать, по-видимому, флуктуации токов в плазме, возмущения космического происхождения, гидромагнитный эффект Эйнштейна-Де Гааза и, наконец, дифференциацию частиц плазмы в силовом поле.

Флуктуационные токи имеют весьма малые времена релаксации, что приводит к неизбежному противоречию с длительностями процессов становления. Кроме того, их средние плотности и магнитные моменты (при гауссовом распределении) в макроскопических объемах и интервалах времени равны нулю. Это создает огромные трудности в построении корректной теории на основе флуктуационных явлений.

Гидромагнитный эффект дает, напротив, постоянную намагниченность, однако напряженность соответствующего поля значительно меньше (в  $10^{10}$  раз) наблюдаемого и этим полем следует просто пренебрегать в сравнении с полем, порождаемым дифференциацией зарядов в плазме.

Заманчиво связывать самовозбуждение динамо с космическими факторами. Поля этого происхождения могут быть и достаточно интенсивны и длительное время оставаться стационарными. Однако в этом случае мы заведомо отказываемся от изучения истории изменений магнитных полей, так как нет путей восстановления последовательности изменения космических полей в прошлом. Именно это соображение, видимо, и породило вышеупомянутый взгляд Я. И. Френкеля.

Дифференциация в плазме остается, таким образом, в настоящее время наиболее вероятным источником возбуждающего поля для динамо Герценберга-Булларда, с его изменениями, при вариантах скоростей геосфер, следует связывать явления геомагнетизма (вариации дипольного момента, инверсии и т. п.) Не исключено, хотя и маловероятно,

что магнитный эффект дифференциации сам по себе формирует основной дипольный момент Земли. Однако совершенно невероятно допущение, что плазма в ядре остается недифференцированной. Это по меньшей мере противоречило бы теоретическим и опытным данным о состоянии плазмы во внешней магнитосфере.

В предлагаемой модели МГДГ используется движение и по радиусу, и по касательной, причем то и другое определяется постоянно действующими факторами: вращением Земли и действием центробежной силы тяжести. Рассмотренный пример приводит к выводу о направлении магнитного поля Земли в околоземном пространстве, противоположном наблюдаемому. Это противоречие снимается введением второй гипотезы, вытекающей из принятой позиции, что околоземное магнитное поле создается магнитными материалами коры, которые намагничиваются в поле токов, протекающих в ядре Земли. При этих условиях магнитный поток ядра будет замыкаться в земной коре. Магнитное поле в околоземном пространстве будет иметь направление потока, обратное потоку, замыкающемуся в мантии и коре, и соответствовать наблюдаемому в природе.

Из гипотезы вытекают некоторые следствия, допускающие их сопоставления с наблюдениями и имеющие теоретическое и прикладное значение. На них мы остановимся в следующем параграфе.

Можно видеть, что введение в рассмотрение гравитационных сил, отличающихся от инерционных только по направлению, может дать два противоположных по полярности разделения зарядов по радиусу, причем при предположении об их преобладании над инерционными (как это имеет, например, место на поверхности Земли) можно избежать введения гипотезы о роли намагничивания земной коры в формировании геомагнитного поля. В предложенных ранее гипотезах рассмотрены возможности образования магнитного поля Земли за счет суперпозиции магнитных полей токов, текущих или по радиусу, или по окружности Земли. Третьей возможностью является суперпозиция магнитных полей токов, текущих и по радиусу и по окружности.

В рассматриваемой модели генератора получается наличие внутренней магнитной системы (ядро) — якоря и наружной системы (мантия и кора) — статора, на которую замыкается поток из якоря. В такой системе возможны свои внутренние процессы, связанные с потреблением энергии; реакцией якоря, влиянием этих процессов на скорость вращения якоря, различные другие переходные процессы.

Материалы мантии являются полупроводниками [14, 13]. На границе полупроводящей мантии и вышележащих диэлектрических слоев Земли может происходить скопление электрических зарядов и возникновение электрического поля в диэлектрике, где и может начаться электрический разряд. Таким путем может быть произведена оценка глубины, на которой происходит образование электрических разрядов в земных недрах и возможные грозовые явления в породах.

Между вращением Земли и ее магнитным полем имеется связь [16]. Изменение продолжительности дня, измеренное астрономически как дрейф центров вариаций магнитного поля, а также соответствующие ускорения в мантии нельзя объяснить только изменениями уровня моря, электрическими токами в атмосфере или процессами горообразования. Эти явления могут быть связаны с обменом угловыми моментами между мантией и ядром Земли. Такое объяснение предусматривает наличие связи между ядром и мантией, осуществляемое посредством электромагнитной индукции, что не противоречит нашей модели якоря (ядро) — статора (мантия и кора) и наличию разных угловых скоростей вращения геосфер. Величина индукции зависит от электропроводности материалов мантии и ядра и от протяженности тороидального магнитного поля в

ядре. Эти явления могут быть согласованы с моделью, изложенной выше, рассматривающей ядро как внутренний генератор магнитных полей, а мантию и кору как тело, воспринимающее воздействие магнитных потоков из ядра.

Во время повышенной активности Солнца наблюдается уменьшение скорости вращения Земли. Известно, что в это же время имеет место также повышение концентрации зарядов в ионосфере, значительное возрастание величин токов, протекающих в атмосфере, и возникновение магнитных бурь. Эти явления можно связать между собой, если рассматривать контур, образованный токами в ионосфере (плазма низкого давления) и токами в сфере  $E$ , заполненной плотной плазмой при высоком давлении. Так как плазма в ядре Земли образуется вследствие высокого давления, то следует считать, что магнитное поле Земли образовалось после сжатия Земли и возникновения плазмы.

Источники энергии, поддерживающие необходимое движение в ядре Земли, учитывались гравитационные и флотационные. В предлагаемой нами гипотезе источником энергии являются гравитация и вращение Земли.

Б. Гутенберг [16] считал, что перемещение магнитных полюсов Земли относительно континентов могло произойти либо в результате дрейфа земной оси внутри Земли, либо вследствие движения крупных блоков коры и частей верхней мантии относительно главной части внутреннего тела Земли, либо под действием обеих этих причин. Влияние движений в ядре Земли на смещение полюсов считается пренебрежимо малым.

Можно высказать еще возможную гипотезу о смещении земной оси и магнитных полюсов, которые вообще, по изложенным выше соображениям, должны совпадать. Взаимодействие магнитных полей орбитальных токов в плазме с магнитными полями в околоземном пространстве может сместить орбитальный виток с током без изменения положения земной оси. Предлагаемая инерционно-плазменная гипотеза вводит в рассмотрение большое число параметров, изменение которых может сопровождаться изменением значений круговых ионного и электронного токов даже при постоянной скорости вращения  $\omega$ . В их числе укажем изменение линейной скорости, концентрации и значения зарядов ионов, концентрации электронов на орбите и др. Большее число параметров позволяет полнее объяснить наблюдаемые явления смещения магнитных полюсов по отношению к географическим.

Согласно основному уравнению нашей гипотезы, магнитное поле Земли образуется в результате намагничивания разностью магнитных потоков, создаваемых круговым током ионов по орбите большего (меньшего) радиуса и встречным потоком кругового электронного тока по орбите меньшего (большого) радиуса. Изменение знака этой разницы потоков может произойти в результате изменения величины круговых токов, значения которых определяются величиной и направлением скорости вращения зарядов и соотношением гравитационных и центробежных сил. Замеченное смещение положения магнитных полюсов в пределах  $30^\circ$  объяснимо при учете известного смещения географических полюсов Земли и положения оси вращения Земли в пространстве. Перемена местами географического положения северного и южного магнитного полюсов Земли, имевшая место за ее геологическую эволюцию, в таком случае связывается с изменением направления вращения Земли или соотношения между центробежными и центростремительными силами ориентации географических полюсов и оси вращения Земли, а не конвекцией потоков вещества в мантии, обуславливающих местные линейные аномалии магнитного поля, обнаруженные, например, в восточной части Тихого океана.

В качестве причины изменения положения магнитных полюсов Земли могут быть рассмотрены ее столкновения с другими телами. Механические и электромагнитные эффекты, возникающие при этом, могут нарушить гидродинамические условия и повлиять на магнитное поле Земли.

Гипотеза о существовании в зоне внешнего ядра Земли плазмы позволяет рассмотреть и объяснить следующие вопросы: существование магнитного поля Земли, непостоянную скорость вращения Земли во время магнитных бурь и повышенной солнечной активности и другие явления. Планеты, размеры которых недостаточны, чтобы обеспечить приведенные выше значения давления (1,4 мгбар и выше в ее недрах, не будут иметь плазменного ядра.

Небесные тела очень большой массы, имеющие холодную оболочку при внутреннем давлении в много миллионов бар, будут иметь плазменные ядра, внутри которых возможны и ядерные процессы под влиянием давления. Вследствие ядерных процессов, особенно при высоком содержании активных ядер, температура внутри тела большой массы повышается до значения, при котором становится возможным протекание термоядерных реакций, разогревание тела и переход вещества в плазменное состояние во всем объеме.

Высокое давление и радиоактивное облучение, обуславливающие ионизацию и образование плазмы в ядре, — это постоянно действующие факторы. Условия рекомбинации также, вероятно, сохраняются постоянными, поэтому можно считать, что в рассматриваемой зоне будет поддерживаться высокая постоянная концентрация зарядов в плазме. В рассматриваемой схеме в плазме возникает слой, внешняя поверхность которого заряжена, например, положительно, а внутренняя — отрицательно. Поляризованный слой плазмы, расположенный в области экватора, образует своеобразный электрет большого размера. В образовавшемся поляризованном слое — электрете имеются электрические силы притяжения, поэтому в таком слое возможны поперечные сейсмические колебания, как на поверхности воды при участии поверхностного натяжения.

Постоянство магнитного поля Земли определяется тем, что разделение зарядов в плазме происходит до того момента, когда электрическое поле, образованное положительным зарядом на периферии ядра и отрицательным электрическим зарядом в центральных частях, уравнивает центробежные усилия. При выполнении такого условия разделение зарядов в плазме прекратится. Тем самым определяется постоянный заряд на орбите, постоянная величина тока вращающихся зарядов и напряженности магнитного поля Земли. Между отрицательным зарядом в центре Земли и положительным на периферии через плазму установятся линии сильного электрического поля. Рассматривая мантию как проводник, а кору как диэлектрик, мы придем к рассмотрению двухслойного конденсатора и двойных слоев у поверхности обкладок. Если на внутренней стороне границы ядра и мантии (в зоне  $E$ ) считать сосредоточенным положительный заряд, то рассмотрение явлений электростатической индукции в проводнике и диэлектрической поляризации приводит к выводу относительно знака заряда на границе кора—атмосфера, находящемуся в противоречии с практикой. Эта трудность снимается при преобладающем влиянии на процесс дифференциации плазмы ядра гравитационных сил и образования периферийного электрического заряда.

Другой путь, ориентирующийся на чисто опытные проверки результатов, заключается в отказе от рассмотрения двойных электрических слоев и учета реальных соотношений диэлектрических свойств и проводимости геосфер, доступных изучению (верхние горизонты коры и мантии, атмосфера).

Рассмотренное выше состояние плазмы в ядре не будет характеризоваться тепловым равновесием при данной температуре и одинаковой концентрацией положительных и отрицательных зарядов, как это нормально присуще невозмущенной плазме. Периферия ядра Земли обогащена положительными зарядами, а его центральные области — электронами. Равновесие в системе при заданной температуре и распределении концентрации в объеме достигается при определенном соотношении электростатических, гравитационных, центробежных и магнитных сил, действующих на частицы. Объемный отрицательный, некомпенсированный заряд в центре Земли в экваториальной области образует внешнее электрическое поле, силовые линии которого распространяются сквозь полупроводниковую, магнитную и диэлектрическую кору Земли, образуя внешнее электрическое поле. В рассматриваемой схеме на основе плазменного ядра Земли и центробежной сепарации зарядов объясняется и сохранение остаточного отрицательного заряда Земли. Экранирующее действие сильного положительного электрического заряда, вращающегося в экваториальной плоскости, должно значительно ослабить или погасить электрическое поле объемного отрицательного заряда. На земной поверхности в плоскости экватора должна быть тень от этого экрана. Поэтому можно ожидать, что постоянное электрическое поле Земли в области экватора нормально должно быть меньше, чем в полярных областях. Поскольку упомянутое выше больцмановское распределение частиц необязательно должно быть симметрично, то в общем случае следует предполагать наличие теней сходного происхождения.

#### § 4. Теоретическое и прикладное значение, пути обоснования и проверки гипотезы

Теория происхождения магнитного поля Земли должна описывать механизм возникновения и систему движения зарядов в ядре Земли, основываясь на свойствах его вещества. Правильная теория геомагнетизма позволяет делать выводы о процессах в ядре, его составе и физическом состоянии вещества.

Инерционно-плазменная гипотеза удовлетворяет этим требованиям. В настоящее время в ее рамках удалось качественно объяснить происхождение основного дипольного источника магнитного поля Земли либо непосредственно магнитным эффектом дифференциации плазмы в силовом поле, либо путем рассмотрения этого эффекта как источника магнитного поля, в котором происходит самовозбуждение динамо типа Герценберга-Булларда [3]. Удалось также качественно объяснить такие явления, как дрейф магнитных полюсов, западный дрейф центров вековых вариаций, инверсии происхождения недипольной слагающей.

Вследствие взаимодействия недр и космоса происходит переход энергии из области околоземного пространства в земные недра, разогревание плазмы в зоне  $E$  и в конечном счете подогревание нашей планеты за счет энергии Солнца и энергии из околоземного пространства.

Следует думать, что плазменному соотношению вещества во внешнем ядре  $E$  и переходном слое  $F$  будут свойственны плазменные колебания с частотой, определяемой концентрацией электронов. Эти слои должны обладать также радиоволновыми свойствами. Поэтому зондирование плазменного слоя  $E$  и  $F$  возможно было бы с помощью электромагнитных волн. Под действием колебательных движений плазмы частицы в плазме могут образовывать внутренние электрические поля. Под действием токов, протекающих по границе плазмы, будут возникать внутренние и внешние магнитные поля. Падение упругих продольных волн типа  $P$  на слой  $E$ , заполненный плазмой, должно сопровождаться

возникновением рассмотренных выше магнито-гидродинамических колебаний низкой частоты, малопоглощаемых в горных породах. Можно поставить опыты по улавливанию таких электромагнитных волн, излучаемых плазмой из слоя E, когда на нее падают упругие волны. В этом заключается и один из путей проверки гипотезы.

Измерения напряженности магнитного поля вблизи Луны с помощью советских автоматических станций серии «Луна» позволили сделать вывод об отсутствии собственного магнитного поля и магнитных полюсов у Луны. Поэтому не было и изменений магнитной напряженности с расстоянием около этого тела. По своей природе слабое магнитное поле Луны, которое составляет 24—38 гамм, в то время как у Земли оно меняется от 30000 до 74000 гамм, можно считать межпланетным полем, деформированным Луной [18].

В результате исследования околопланетного пространства у планеты Венера с помощью автоматической станции «Венера-4» установлено, что собственное магнитное поле у планеты Венера практически отсутствует. По этой причине у планеты Венера отсутствуют и радиационные пояса [19]. Отсутствие собственного магнитного поля у малых небесных тел, например, у Луны, позволяет сделать вывод об отсутствии плазменного ядра у этих небесных тел. По этой причине следует ожидать, что собственного электрического и магнитного поля не будет и у планеты Меркурий, имеющей малую массу.

В кристаллических породах и брекчиях, доставленных «Аполлоном-11», обнаружена природная остаточная намагниченность. Эти данные свидетельствуют, что в прошлые эпохи Луна могла иметь магнитное поле с напряженностью, составляющей несколько процентов от земного поля. Магнитное поле Луны, существовавшее 3,7 млрд. лет назад, могло возникнуть в результате токов при движении жидких недр Луны, воздействия земного магнитного поля в те времена, когда Луна была ближе к Земле [20]. Отсутствие собственного магнитного поля, вероятно, не исключает наличия плазменного ядра у более крупных небесных тел. Не противоречит инерционно-плазменной гипотезе, например, отсутствие магнитного поля у планеты Венера, имеющей размеры и массу, почти равные размерам и массе Земли. В самом деле, по нашей гипотезе, внешнее магнитное поле Земли создается намагниченными породами коры. У Венеры кора горячая: она находится при температуре выше точки Кюри. Второе обстоятельство, обуславливающее малое значение магнитного поля Венеры, определяется тем, что эта планета вращается почти в двести раз медленнее, чем Земля. Это определяет соответственно уменьшение значений тока и магнитного потока вдоль оси этой планеты не меньше, чем на два порядка, по сравнению с земными. Значение магнитного потока, получаемое при этих условиях, мало и оно, вероятно, трудноизмеримо приборами, предназначенными для этих целей.

С помощью космических аппаратов «Венера-4» и «Маринер-5», запущенных в сторону Венеры в 1967 г., было установлено, что у этой планеты нет заметного магнитного поля дипольной природы [21]. Наличие собственного магнитного поля Солнца также является следствием возникновения магнитного поля при регулярном круговом движении частиц плазмы и наложения магнитных полей нерегулярных токов в теле Солнца. Следует ожидать наличия сильных собственных электрических и магнитных полей у Юпитера, большая масса которого обуславливает наличие условий для возможности существования плазменного ядра планеты большого радиуса.

Вероятно, можно высказать и обратное положение, что наличие собственного электрического и магнитного полей планеты позволяет думать, что тело состоит из плазмы или у такого небесного тела имеется вращающееся с большой скоростью плазменное ядро.

Существуют две основные космологические гипотезы эволюции небесных тел. Одна из них исходит из гравитационного сжатия и нагрева тел, другая — из расширения и охлаждения тел. В предполагаемой гипотезе рассматривают исходное сжатие и разогревание до температур, при которых начинаются термоядерные реакции на ядрах атомов, протекание реакции и перевод вещества в плазменное состояние. Таким образом, обе гипотезы могут быть приложены для объяснения определенных стадий развития небесного тела.

Малые небесные тела, не имеющие плазменного ядра, будут остывать и сжиматься. Тела большой массы, имеющие плазменное ядро, будут развиваться по более сложному закону, определяемому массой тела и запасами гравитационной энергии системы.

Под действием высокого давления возможны ядерные процессы, например,  $K$  — захват [22], образование радиоактивных ядер в плазменном центре планеты. Ядра радиоактивных атомов мигрируют на периферию, захватывая на границе плазмы необходимое для равновесного состояния системы число электронов и образуя атом. Потоками вещества в мантии радикальные атомы разносятся по объему небесного тела. Радиоактивный распад этих атомов поддерживает тепловой баланс небесного тела на определенном уровне. Предполагается, что образование радиоактивных ядер атомов является непрерывным процессом до тех пор, пока масса тела создает в центре давление в миллионы атмосфер, необходимое для образования плазмы и протекания внутриядерных процессов.

Гипотеза об эволюции планеты должна ответить на многие вопросы, но главное — это тепловой баланс небесного тела. Тепловой баланс объясняет физические свойства тела, его строение и химический состав, дальнейшую эволюцию охлаждения и разогревания тела. Описываемая гипотеза исходит только из объективных предпосылок существования массы планеты и гравитации как свойства материи.

Показано, что энергии, выделяющейся при сжатии, недостаточно, чтобы объяснить тепловую эволюцию Земли. Следует дополнить эту величину энергией ядерного деления и термоядерной, которая выделяется при сжатии. Возможно говорить о флуктуации плотности в плазме. При высокой местной плотности плазмы такой, как на Солнце, происходят термоядерные процессы и выделение энергии в этом объеме. Давление и температура изменяют химические свойства элементов, могут обусловить протекание ядерных и термоядерных процессов, которые изменяют химический состав планеты и поддерживают высокую температуру небесного тела. Эти процессы возможны при необходимом условии, чтобы масса планеты была не меньше определенного значения  $M_x$ . Если масса планеты меньше  $M_x$ , то тело остывает, когда в нем закончатся процессы радиоактивного распада.

Когда масса тела будет больше  $M_x$ , но меньше  $M_y$ , то в плазменном ядре планеты будут идти ядерные процессы и образование новых химических элементов, мигрирующих на периферию. Когда масса тела будет очень велика, больше  $M_y$ , как у Солнца или Юпитера, то в плазменном ядре тела будут протекать бурные процессы разогревания.

Нами была разработана связь представлений о плазменном строении ядра с учением о происхождении электризации земных недр, электрических разрядов в Земле, распределение радиоактивных изотопов и излучений, а также тепловых полей планеты. Указано прикладное значение этих проблем и пути обоснования и проверки гипотезы на этой основе.

В дальнейшем необходимо рассмотреть строго количественное описание процессов в ядре небесного тела на основе плазменных представлений. Необходимо также опытное подтверждение этих представлений.

Плазменное ядро вследствие неоднородности локализующихся в нем магнитных полей представляет собой среду неоднородную и анизотропную в отношении скорости распространения сейсмических (магнито-гидродинамических и магнито-звуковых) волн. Последнее должно проявиться в зависимости для больших эпицентральных расстояний времени пробега волны по пути угла выхода лучей и кажущейся скорости от геомагнитных широт и долгот очага землетрясения и точки наблюдения. Существование такой зависимости весьма вероятно, ибо известно, что для больших эпицентральных расстояний эти величины испытывают значительные вариации [3].

Если бы удалось на основе инерционно-плазменных представлений ввести в уравнение сейсмического луча для коаксиально сферически неоднородной среды магнито-гидродинамические поправки, уменьшающие вышеупомянутые разборы опытных данных и соответственно снижающие погрешности определения положения очагов удаленных землетрясений, то это явилось бы и надежнейшим доказательством гипотезы. Такая работа имела бы прикладное значение. Прямой луч волны, распространяющийся через ядро для больших эпицентральных расстояний, будет являться брахистохроной. Использование этих волн имеет преимущества перед работой с поверхностными волнами, так как при этом получается большой выигрыш во времени прихода сигнала и оперативности учета сейсмической информации. Последнее весьма важно при проектировании автоматических систем (регистрации) и обработки сейсмических сигналов, в частности «больших сейсмических групп».

В одном из последних исследований с помощью ЭВМ рассмотрено пять миллионов моделей Земли [23]. Полученные результаты сопоставлялись с параметрами планеты: моментом инерции, массой Земли, скоростью продольных и поперечных сейсмических волн, распределением плотности в мантии, плотностью ядра и проч., что позволило отобрать три правдоподобных модели. Согласно этим трем моделям радиус ядра определен 1280 км, т. е. на 18—22 км больше общепринятого. Плотность внутреннего ядра достигает 13,3—13,7 г/см<sup>3</sup> вместо принятых 12 г/см<sup>3</sup>.

Значение плотности вещества в наружном ядре, которое исследователь Ф. Пресс считает жидким, находится в пределах 9,4—10,0 г/см<sup>3</sup>. По этим результатам верхняя мантия сильно неоднородна как в вертикальном, так и в горизонтальном направлениях, что, по мнению Ф. Пресса, является следствием нестабильности, вызываемой вулканизмом, сейсмическими волнами, вариацией теплового и магнитных потоков. Модель Земли с плазменным ядром, видимо, не рассматривалась. Плазменная гипотеза ядра нуждается в дальнейшем теоретическом обосновании, количественном описании явлений, объясненной пока лишь качественно, и в опытной проверке ее следствий, путем сопоставления с данными сейсмологии и наблюдения электромагнитного поля Земли.

Автор благодарен Т. Ю. Могилевской за помощь в выполнении математических вычислений и доц. Л. А. Защинскому за обсуждение материалов и предложений по работе, часть из которых отражена в этой статье.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Т. Рикитак. Электромагнетизм и внутреннее строение Земли. Л., «Недра», 1968.
2. Г. Альвен, К. Г. Фельтхаммер. Космическая электродинамика. М., «Мир», 1967.
3. К. Е. Буллен. Введение в теоретическую сейсмологию. М., «Мир», 1966.
4. А. Ф. Капустинский. Геосферы и химические свойства атомов. «Геохимия», 1956, № 1.

5. P. H. Roberts. Frozen fields, core motions and the secular variation. «Magnetism and Cosmos». Edinburg — London, Oliver and Boyd., 1967.
  6. F. C. Witteborn, W. M. Fairbanks. «Phys. rev.». Lett, 19, 18, 10, 1946.
  7. Д. А. Франк-Каменецкий. Лекции по физике плазмы. Атомиздат, 1964.
  8. Д. А. Франк-Каменецкий. Плазма — четвертое состояние вещества. М., Атомиздат, 1968.
  9. С. Б. Пикельнер. Основы космической электродинамики. М., «Наука», 1966.
  10. M. Rikitake. Electrical conductivity and temperature Bull. Earthquake res. inst. Tokyo univ, 30, 13, 1952.
  11. А. А. Воробьев. Ускорители заряженных частиц. М.—Л., ГЭИ, 1949.
  12. G. Venezian. Magnetohydrodynamics of the Earth's magnetic field. Internat. Shipbuilding Progr. 14, 151, 120—126, 1967.
  13. Я. И. Френкель. Земной магнетизм. Изв. АН СССР. Сер. физ., 1947, 11, 17.
  14. Сб. «Физика земной коры и верхней мантии», М., «Мир», 1966.
  15. И. И. Ханмурзин. Бурение на верхнюю мантию. М., «Недра», 1967.
  16. Б. Гутенберг. Физика земных недр. М., ИЛ., 1963.
  17. Г. Н. Петрова, А. Н. Храмов. Физика Земли. Изв. АН СССР. 1970, 4, 65.
  18. А. Виноградов, Ю. Липский. Советские искусственные спутники Луны. «Правда», 1968, 12 апреля.
  19. М. Р. Келдыш. Идущим дорогами вселенной. (Речь на торжественном собрании, посвященном Дню космонавтики). «Известия», 1968, 13 апреля.
  20. Новые подробности о лунных образцах. «Природа», 1970, № 5.
  21. Природа магнитного поля Венеры. «Природа», 1970, № 5.
  22. Г. Холл. Исследования в области сверхвысоких давлений. УФН, 67, вып. 4, 1959.
  23. «Природа», 1969, № 2.
-