Доклады Академии Наук СССР
1954. Том XCIX, № 5

ГЕОФИЗИКА

Б. Е. БРЮНЕЛЛИ

О ВОЗМОЖНОЙ ПРИЧИНЕ ВОЗМУЩЕННОЙ СОЛНЕЧНО-СУТОЧНОЙ ВАРИАЦИИ ЗЕМНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ

(Представлено академиком Г. А. Гамбурцевым 7 VIII 1954)

Происхождение возмущенной солнечно-суточной вариации S_D земного магнитного поля принято приписывать системе токов ([1], [2]), текущей в ионосфере и образующей два вихря. Центры вихрей находятся на геомагнитной широте примерно 75° и на меридиане, сдвинутом от направления на Солнце на угол порядка 30° к востоку (к вечерней стороне Земли). Вихрь, расположенный на ночной — утренней стороне Земли, интенсивнее вихря, расположенного на дневной — вечерней.

Исследование отдельных флуктуаций, составляющих магнитную бурю ([3]), привело к выводу, что и они часто вызываются системой токов, похожей на систему S_D.

Рассмотрим механизм, который может привести к образованию подобной системы токов. Примем, что от Солнца со скоростью v летит корпускулярный поток, на который вблизи Земли действует электрическое поле

$$E = [v/c, H]. \tag{1}$$

Так как H создано диполем с моментом M, то его составляющие равны:

$$\begin{aligned} E_r &= vMc^{-1} r^{-3} \sin\vartheta \sin\lambda; \\ E_\vartheta &= -2vMc^{-1} r^{-3} \cos\vartheta \sin\lambda; \\ E_\lambda &= -2vMc^{-1} r^{-3} (1 - {}^3/_2 \sin^2\vartheta)\cos\lambda. \end{aligned} \tag{2}$$

Здесь λ — долгота к востоку от направления на Солнце, ϑ — коширота.

До тех пор, пока поток находится на большом расстоянии от Земли, действие на него магнитного поля мало. Движение потока при этом мало возмущено, вектор скорости почти постоянен.

Ближе к Земле возрастание H приводит к увеличению частоты гиромагнитной прецессии $h = eHm^{-1}c^{-1}$. При h, сравнимом с частотой соударений ν, газ переходит в область длинных пробегов; электропроводность его в направлениях, перпендикулярных магнитному полю, убывает как $(1 + (h/\nu)^2)^{-1}$, а в направлении вдоль силовых линий остается постоянной. Силовые линии поэтому начинают играть роль проводников, находящихся в непроводящей среде. Вместе с тем магнитное поле тормозит движение газа, вследствие чего поток замедляется и начинает обтекать Землю; вектор скорости потока уже не является постоянным. Область длинных пробегов занимает простран-

ство вплоть до Земли; в пределах атмосферы на высоте слоя E область длиных пробегов вновь переходит в область коротких пробегов вследствие возрастания числа частиц в газе и числа соударений ν.

Рассмотрим следующую упрощенную схему явления. Примем, что магнитное поле вокруг Земли создается земным диполем, т. е. пренебрежем магнитным полем движущегося потока. Допустим, что электрические свойства потока меняются скачком при переходе через границы, за которые мы примем сферы радиусов r и R, концентричные с Землей. Примем, что поток на расстояниях больше r является изотропным проводником с конечной проводимостью, движущимся с постоянной скоростью v; на расстояниях от r до R поток представляет собой непроводящую среду, пронизанную сетью совершенных проводников, вытянутых вдоль силовых линий магнитного поля, и на расстоянии R расположен неподвижный изотропный проводник конечной проводимости. Вследствие высокой проводимости силовых линий в такой схеме электрическое поле, возникшее во внешней проводящей области (в потоке, движущемся мимо Земли), будет передано по силовым линиям в ионосферу. Для того чтобы такая передача электрического поля была возможна, необходимо, чтобы частицы имели возможность из внешней области попадать во внутреннюю, проходя весь путь вдоль силовой линии. Такая возможность не очевидна: заряженная частица, вращающаяся вокруг магнитной силовой линии, диамагнитна и выталкивается из магнитного поля. Поэтому силовая линия играет роль проводника с потенциальным барьером, и движение вдоль линии возможно, если частица в состоянии преодолеть этот барьер.

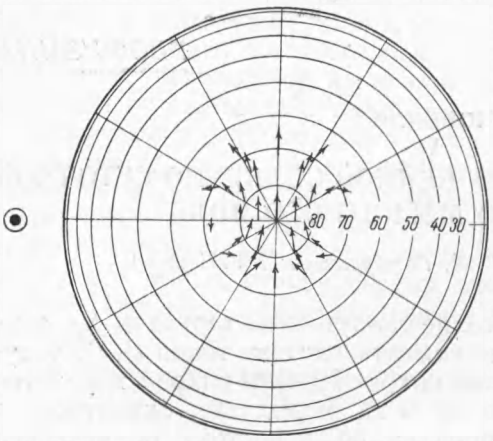


Рис. 1

То, что фактически корпускулы попадают на Землю, свидетельствует о преодолимости в природных условиях этого барьера. Если при этом он одинаков для различных силовых линий, то его существование не скажется на передаче электрического поля.

Рассмотрим контур, состоящий из двух силовых линий и двух промежутков между ними: Δl во внешней и ΔL во внутренней области коротких пробегов. Применяя закон индукции и считая силовые линии совершенными проводниками, получим:

$$\oint E_l\, dl = E_L\, \Delta L - E_l \Delta l = 0. \tag{3}$$

Выбирая Δl и ΔL в меридиональном или широтном направлении, т. е. принимая

$$\Delta l = r\Delta\vartheta \quad \text{или} \quad \Delta l = r \sin\vartheta \Delta\lambda, \tag{4}$$

из уравнения силовой линии диполя

$$r^{-1/2} \sin\vartheta = \text{const} \tag{5}$$

найдем связь между ΔL и Δl для обоих случаев:

$$\left(\frac{\Delta L}{\Delta l}\right)_\Theta = \frac{R\Delta\Theta}{r\Delta\vartheta} = \left(\frac{R}{r}\right)^{3/2} \frac{\cos\vartheta}{\cos\Theta}; \quad \left(\frac{\Delta L}{\Delta l}\right)_\Lambda = \left(\frac{R}{r}\right)^{3/2}. \tag{6}$$

При помощи (2), (3) и (6) найдем электрическое поле в ионосфере:

$$E_\Theta = -2vMc^{-1}(rR)^{-3/2}\cos\Theta\sin\Lambda;$$

$$E_\Lambda = -2vMc^{-1}(rR)^{-3/2}\left(1-\frac{3}{2}\left(\frac{r}{R}\right)\sin^2\Theta\right)\cos\Lambda. \qquad (7)$$

Распределение векторов этого поля для случая $r = 10R$ дано на рис. 1. Электрическое поле создается только в полярной области и направлено в основном к утренней стороне Земли. Если токовые линии этого поля замкнуть в более южных широтах, то получим систему, подобную системе токов S_D: вихрь на дневной стороне Земли, созданный приближающимся потоком, и вихрь на ночной, созданный удаляющимся.

По данным геомагнитных вариаций, ночной вихрь должен быть интенсивнее дневного. Объяснение этому надо искать в том, что между системой токов в приближающемся и удаляющемся проводнике и земным магнитным полем будут существовать силы взаимодействия, приводящие к отталкиванию приближающейся части потока и притяжению удаляющейся. Эти силы приведут к нарушению симметрии приближающихся и удаляющихся частей потока: при отсутствии сил поток в плоскости, проходящей через направление на Солнце, тек бы параллельно поверхности Земли. Действие магнитного поля приведет к удалению от Земли потока, текущего над освещенной частью, и приближению потока к Земле над неосвещенной частью. Поэтому части потока над дневной стороной Земли будут течь на высоте большей, чем над соответствующими точками ночной стороны. Приближение к Земле потока, текущего над ночной стороной, и вызывает усиление ночного токового вихря.

Экстремумы вариаций S_D, как указывалось выше, приходятся на послеполуденное и послеполуночное время. Объяснение этому можно искать во влиянии токов дрейфа, возникающих в слое, где отношение длины свободного пробега к радиусу закругления существенно различно для положительно и отрицательно заряженных частиц. Система токов дрейфа, смещенная на 90° относительно системы токов проводимости, может объяснить изменение фазы вариации в нужном направлении.

Ленинградский государственный университет
им. А. А. Жданова

Поступило
30 VII 1954

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] Б. М. Яновский, Земной магнетизм, 1953. [2] Н. П. Бенькова, Тр. НИИЗМ, в. 10 (1953). [3] T. Nagata, M. Fukushima, Report of Ionospheric Research in Japan, **6**, No. 2 (1952).