

ШИРОТНЫЙ ЭФФЕКТ КОСМИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ И МАГНИТНЫЙ МОМЕНТ СОЛНЦА

Существование широтного эффекта космического излучения было доказано около 20 лет назад¹. Этот эффект заключается в увеличении интенсивности космических лучей при перемещении точки наблюдения от геомагнитного экватора к полюсам. Он объясняется отклоняющим действием, которое магнитное поле Земли оказывает на первичное космическое излучение, падающее из мирового пространства на Землю. Наличие широтного эффекта в космическом излучении явилось первым доказательством того, что первичное космическое излучение электрически заряжено. Известно, что магнитное поле Земли в первом приближении описывается полем магнитного диполя обладающего магнитным моментом $M = 8,1 \cdot 10^{25} \text{ гаусс} \cdot \text{см}^3$. Заряженные частицы, падающие вертикально на Землю у её магнитных полюсов, двигаются вдоль силовых линий этого диполя и не испытывают отклоняющего действия магнитного поля. Частицы, падающие на Землю у экватора, в наибольшей степени подвергаются отклоняющему действию земного магнитного поля. Естественно ожидать поэтому, что интенсивность космических лучей будет увеличиваться при перемещении от экватора к полюсам. На рис. 1 приведены полученные ещё Комптоном кривые широтного эффекта на уровне моря и на высотах 2000 и 4360 м. Мы видим, что эти кривые действительно обнаруживают монотонное возрастание интенсивности ионизации от экватора к полюсам. При этом для приведённых кривых характерно наличие «насыщения», наступающего у широты 50° ; при широтах, больших 50° , интенсивность космического излучения не меняется с изменением широты. Отсутствие широтного эффекта между 50° и полюсом для значительно больших высот следовало из опытов Кармайкла и Даймонда², производивших свои измерения (телескопы из счётчиков Гейгера-Мюллера, подымавшиеся на шарах зондах) на различных широтах вплоть до 88° сев. широты, на которой была достигнута высота 22 км.

Они считали, что в пределах ошибок опыта их высотный ход интенсивности космических лучей совпадает с высотным ходом интен-

сивности, полученным Пфотцером на 49° сев. шир., т. е. что широтный эффект между 49° и 88° сев. шир. практически отсутствует. Из теории широтного эффекта известно, что для частиц, падающих вертикально на поверхность Земли, для каждой широты λ имеется некоторый критический импульс, $p_{кр}$

такой, что все заряженные частицы, обладающие меньшим импульсом, отклоняются магнитным полем и уходят обратно не попадая на Землю. Зависимость $p_{кр}$ от широты даётся выражением

$$p_{кр} = 15\,000 \cos^4 \lambda \text{ Мэв/с.}$$

Для 50° сев. шир. $p_{кр} \approx 3\,000$ Мэв/с. Первое объяснение «насыщения» кривой широтного эффекта заключалось в следующем. Предположим, что минимальная энергия, необходимая первичным частицам для проникновения через всю атмосферу, равна или больше чем 3000 Мэв. (Это предположение согласуется с действительностью: релятивистская частица теряет при прохождении через всю атмосферу более $2 \cdot 10^9$ эв.) Тогда все первичные частицы, ответственные за создание широтного эффекта на широте 50° и большей (и вторичные частицы, образованные ими) поглощаются в атмосфере и не могут участвовать в образовании широтного эффекта; иначе говоря, первичные частицы, чувствительные к магнитному полю Земли, не доходят до уровня моря на широте 50° и большей. Если бы эта гипотеза была справедливой, широта, на которой начинается «насыщение», менялась бы с высотой.

Между тем из данных Комптона и Козинса³ следовало, что насыщение на всех высотах начинается на одной и той же широте. В течение более чем десяти лет считалось общепризнанным другое объяснение «насыщения» кривой широтного эффекта, принадлежавшее Яносси, который предположил, что в первичном спектре излучения, падающего на Землю, частицы с энергией, меньшей чем 3000 Мэв, вообще отсутствуют. Он высказал гипотезу, что отсутствие таких энергий в первичном спектре вызвано отклоняющим действием магнитного поля Солнца. Следует заметить, что данные о магнитном поле Солнца весьма противоречивы. Хэл⁴ на основании изучения зеемановского расщепления линий солнечного спектра предположил, что Солнце имеет магнитный дипольный момент, равный примерно $1,7 \cdot 10^{34}$ гаусс·см³.

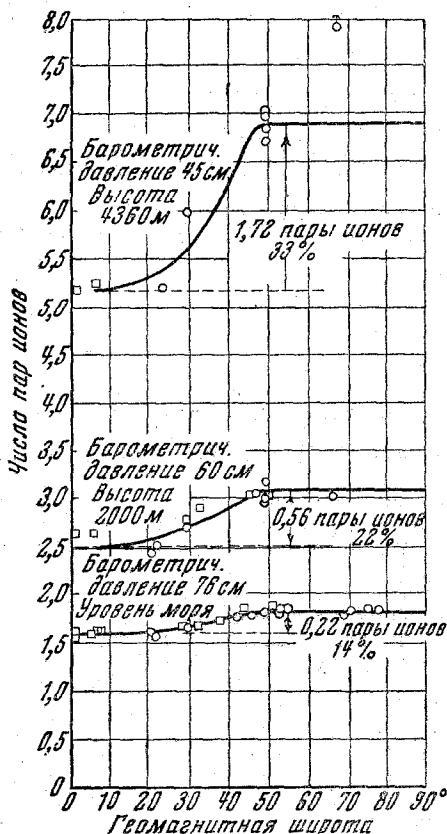


Рис. 1.

В то же время аналогичные исследования других авторов не обнаружили существования измеримого спектроскопическими методами магнитного поля Солнца. Расчёты Валларта и др. показали, что величина магнитного момента Солнца, равная $1,7 \cdot 10^{34}$, была бы достаточной для объяснения «насыщения» кривой широтного эффекта. Таким образом, существование «насыщения» могло считаться независимым подтверждением наличия у Солнца магнитного момента. В реферируемой работе

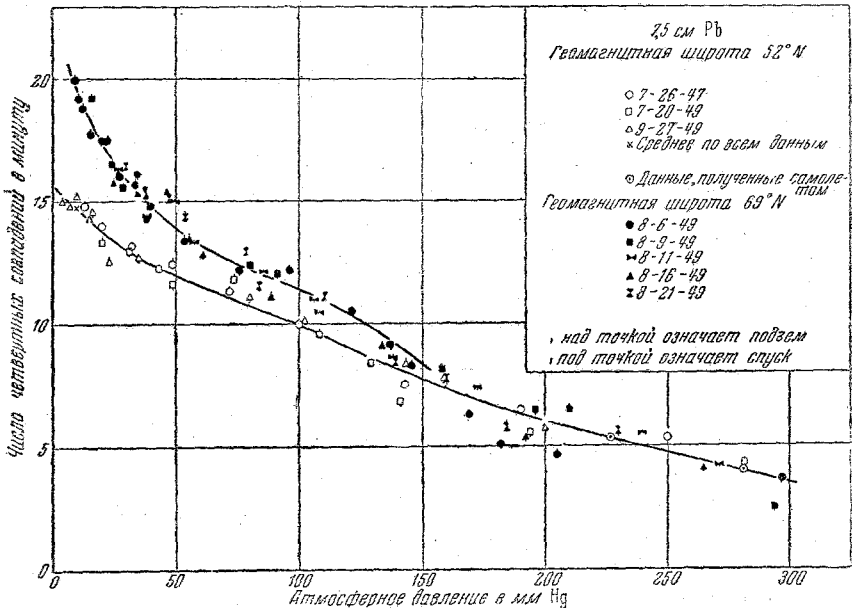


Рис. 2.

Померанца⁵, посвящённой измерению высотного хода космического излучения на 52 и 69° шир. показано, что широтный эффект на больших высотах имеет место и для этих широт. Этот результат означает, что «насыщение» у кривой широтного эффекта на больших высотах отсутствует. Он не согласуется с предыдущими измерениями, в частности измерениями Кармайкея и Даймонда и, если он верен, означает, что магнитный момент Солнца много меньше $1,7 \cdot 10^{34}$ гаусс·см³. Эксперимент, проведённый Померанцем, заключался в многократных подъёмах в стратосферу на шарах-пилотах совершенно идентичных телескопов из счётчиков Гейгера-Мюллера и радиотехнической аппаратуры, передававшей на землю сигналы об атмосферном давлении, температуре внутри гондолы, где размещалась аппаратура, и интенсивности космических лучей, фиксируемой телескопом. Автором было обращено особое внимание на то, чтобы отдельные комплекты телескопов и работающей с ними совместно радиопаратуры были идентичны. В качестве иллюстрации того, насколько этого удалось достичь, укажем, что в 20 полётах употреблялось 20 установок причём интенсивность, фиксируемая этими 20 установками, на уровне моря колебалась от $0,886 \pm 0,010$ до $0,920 \pm 0,014$ совпадений в час при

среднем значении $0,905 \pm 0,003$ совпадений в час. На рис. 2 приведены две из полученных автором кривых высотного хода интенсивности космических лучей. По оси ординат отложена интенсивность фиксируемая телескопом, когда между его рядами помещались 6,5 см свинца, по оси абсцисс давление в мм рт. ст. Верхняя кривая снята при полётах на 69° сев. шир., нижняя — при полётах на 52° сев. шир. Мы видим, что вплоть до высоты, отвечающей давлению 150 мм рт. ст. (12 км) ход интенсивности на обеих широтах практически одинаков, и это означает, что на этих высотах действительно между этими широтами интенсивность космического излучения не меняется. Однако с увеличением высоты начинает сказываться широтный эффект. На максимальной высоте, соответствующей давлению в 7,5 мм рт. ст., величина широтного эффекта, измеряемая отношением интенсивности на широте 69° , к интенсивности на широте 52° достигает значения 1,43. Автором измерен также высотный ход интенсивности для случая помещения между рядами телескопа свинцового фильтра толщиной в 1 см и для случая телескопа, свободного от всяких поглотителей (кроме стенок счётчиков). Обе эти серии кривых также однозначно указывают на существование значительного широтного эффекта, начинающегося с высоты порядка 150 мм рт. ст. Как мы уже указывали, это находится в противоречии со всеми предыдущими измерениями, производившимися на больших высотах. Тем не менее нет оснований сомневаться в приводимых автором данных. Но если «насыщение» кривой широтного эффекта отсутствует, отсюда следует, что магнитное поле Солнца значительно меньше чем $1,7 \cdot 10^{34}$ гаусс см³. Автор указывает, что максимальное значение магнитного момента, которое не противоречит наблюдаемому им широтному эффекту, равно $0,6 \cdot 10^{33}$ гаусс см³, т. е. почти в 30 раз меньше того значения, которое дано Хэлом.

A. B.

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Compton, Phys. Rev. **43**, 387 (1933).
2. Carmichael and Dymond, Proc. Roy. Soc. A **171**, 321 (1939).
3. Cosyns, Nature **137**, 616 (1936).
4. Hale, Astrophys. Journ. **47**, 206 (1918).
5. M. A. Pomerantz, Phys. Rev. **77**, 830 (1950).