

УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУК

533.9

ИЗ ТЕКУЩЕЙ ЛИТЕРАТУРЫ**ВЫХОД ХОЛОДНОЙ ПЛАЗМЫ ИЗ МАГНИТОСФЕРЫ**

В измерениях на спутнике ИМП-2<sup>1</sup> (конец 1964 г. — начало 1965 г.) получен важный экспериментальный результат — плотность холодной ( $T_e \leq 1-2 \text{ эв}$ ) плазмы оказалась значительной не только у Земли, в ионосфере, но и во всей магнитосфере и даже за ее пределами, в магнитном пограничном слое между магнитосферой и ударной волной.

До сих пор был установлен лишь такой факт: плазма солнечного ветра с температурой 20—30 эв проникает внутрь магнитосферы. Механизм этого явления еще не ясен. Результаты Сербу и Майера о существовании потока обратного направления — потока холодной плазмы ( $T_e < 2 \text{ эв}$ ), уходящей из магнитосферы наружу, никем не предвиделись и были неожиданны. Они не только расширяют знания о приземной плазме (геофизический аспект), но и дополняют наши сведения об удержании плазмы в магнитном поле (физический аспект).

Измерительный прибор Сербу и Майера — обычная ловушка (цилиндр Фарадея) с задерживающим потенциалом, применявшаяся неоднократно на советских (Грингауз) и американских (Бридж и др.) ракетах.

В рабочем цикле на сетку ловушки подавались поочередно различные потенциалы от +45 в до -45 в и по величине тока на электрод рассчитывались плотность электронов и ионов различных энергий. Длительность цикла — 648 сек.

Аналогичная аппаратура того же автора (Сербу) стояла на предыдущем спутнике — ИМП-1. На следующих ниже рисунках собраны результаты с обоих спутников: ИМП-1 и ИМП-2, и кроме того, нанесены измерения канадского спутника Алуэтт («Жаворонок»), полученные путем радиозондирования ионосферы сверху, с высот, больших высоты максимума ионизации.

На рис. 1 показана траектория спутника в плоскости, перпендикулярной эклиптике. Спутник был запущен к Солнцу, но его орбита наклонена к плоскости эклиптики на 20°. На рис. 2 показаны плотность (рис. 2, а) и температура (2, б) холодных электронов в функции геоцентрического расстояния  $R_E$ , измеренного в радиусах Земли.

1. Магнитосфера. По измерениям электронной плотности косвенными методами (например, по распространению свистящих атмосфериков<sup>2</sup>) на расстояниях в 3—4 земных радиуса концентрация холодной земной плазмы резко падает («колелено») и дальше с удалением от Земли уже мало меняется. Результаты Сербу показывают совсем иную, монотонную зависимость плотности от расстояния, «колелено» отсутствует. Рис. 2 описывает «снокообразную» магнитосферу. В качестве условного критерия снокообразного состояния магнитосферы авторы выбрали достаточно большое ( $\sim 10$ ) отношение тока холодных электронов к току энергичных (0,1—10 кэв) электронов. В возмущенные дни плотность холодных электронов испытывает сильные вариации ( $\Delta n \sim n$ ), которые, однако, не коррелируют с геомагнитной активностью, т. е. непосредственно не связаны с процессами в межпланетной среде.

2. Магнитный пограничный слой. С удалением от Земли больше чем на 5 радиусов ловушки<sup>1</sup> регистрировали быстрый рост потока энергичных частиц. Однако, концентрация холодных электронов ( $T_e < 2 \text{ эв}$ ) при этом не менялась. На рис. 3 показан ход плотности этих электронов у границы между пограничным слоем и невозмущенным солнечным ветром (т. е. на фронте ударной волны). Мы видим, что плотность плавно убывает с расстоянием.

Из рис. 1 ясно, что спутник на каждой орбите проводил не менее 10 часов на расстояниях, больших 15  $R_E$ , так что авторы<sup>1</sup> накопили информацию о невозмущенном солнечном ветре за 120 час. И среднее значение плотности электронов с энергиями от 1 до 2 эв равнялось все это время 50 электрон/см<sup>3</sup>. Средняя плотность электронов солнечного ветра с энергиями 50, 100 эв и выше неоднократно измерялась:  $n = 1-10 \text{ см}^{-3}$ .

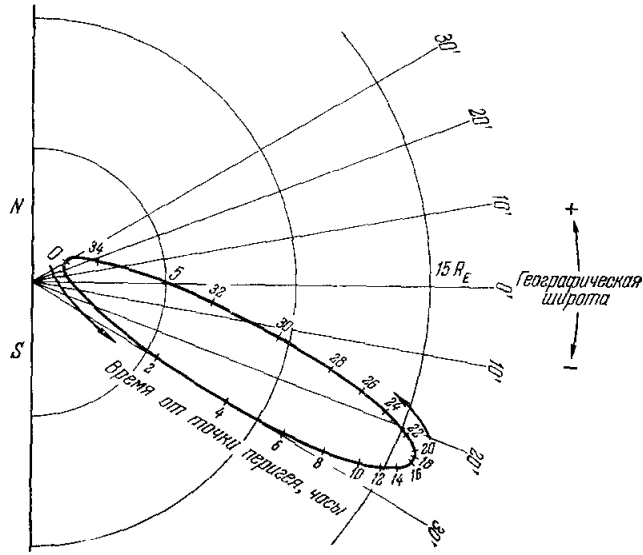


Рис. 1.

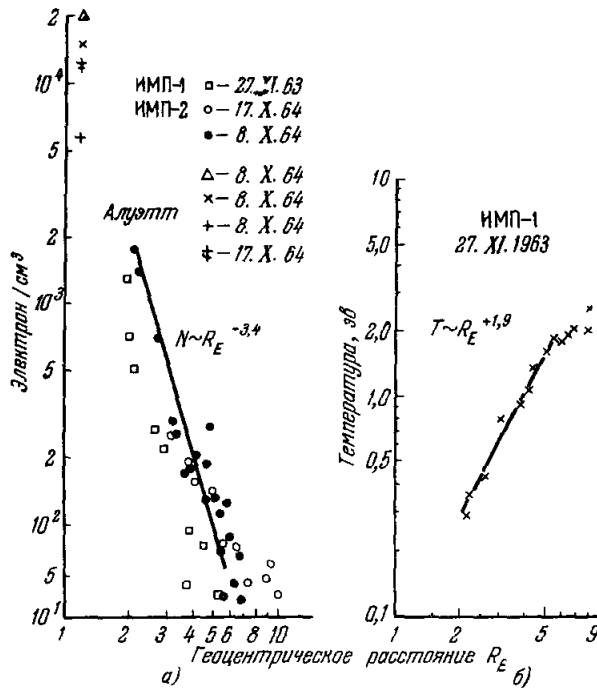


Рис. 2. Зависимость температуры и плотности холодных электронов от геоцентрического расстояния.

Авторы<sup>1</sup> впервые измерили концентрацию электронов значительно меньших энергий ( $T_e \leq 1-2$  эв). Весьма интересно, что их плотность оказалась на порядок

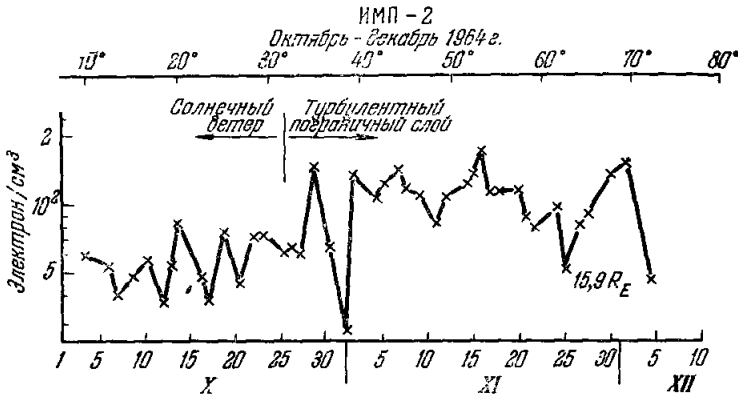


Рис. 3. Изменение плотности малоэнергичных электронов при переходе через границу между межпланетной средой и пограничным слоем.

выше плотности солнечного ветра. Плотность энергии этой мало энергичной компоненты при  $T_e = 2$  эв и  $n = 50$  см<sup>-3</sup> порядка  $3 \times 10^{10}$  эрг/см<sup>3</sup>, т. е. равна плотности энергии магнитного поля в 9γ. Между тем среднее межпланетное поле равно 5γ. Таким образом движение холодной (1-2 эв) плазмы должно существенно влиять на структуру магнитного поля.

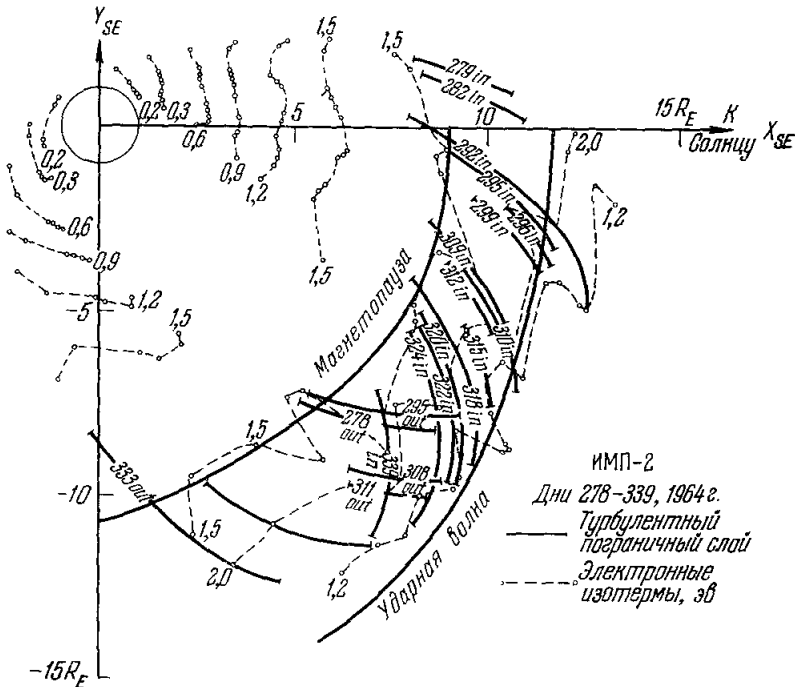


Рис. 4. Проекция на плоскость эклиптики результатов измерения по отдельным орбитам.

Рис. 4 суммирует результаты спутника ИМП-2. Пунктиром показаны изотермы для электронов 0,2-2 эв, отрезками сплошных кривых — область с повышенным потоком более энергичных частиц, т. е. магнитный пограничный слой с горячей

турбулентной плазмой. Надпись out означает, что спутник двигался от Земли к апогею, in — нисходящая ветвь орбиты (от апогея к перигею). Цифры указывают число дней, протекших с момента запуска.

Повышение температуры малоэнергичной компоненты (1—2 эв) не коррелирует с плотностью энергичных частиц, т. е. холодная и солнечная плазма управляются разными механизмами.

Описанные выше результаты не согласуются с общепринятой моделью солнечного ветра у Земли, как состоящего только из одной солнечной плазмы и притом сравнительно горячей ( $T_e \sim 10$  эв). Такие работы<sup>2</sup> уже появились и требуют, с одной стороны, включения их в теорию околоземной плазмы, а с другой стороны, в силу их новизны и неожиданности, дальнейшей экспериментальной проверки.

М. Г.

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. G. Serbu, E. Maier, J. Geophys. Res. **71**, 3755 (1966).
2. D. Carpenter, J. Geophys. Res. **71**, 693 (1966).