

Н. Л. ГРИГОРОВ, Ю. С. КЛИНЦОВ, В. Е. НЕСТЕРОВ, И. Д. РАПОПОРТ,  
И. А. САВЕНКО и Б. М. ЯКОВЛЕВ

### ИЗУЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОНОВ ВЫСОКОЙ ЭНЕРГИИ НА ИСЗ ПРОТОН-1 И ПРОТОН-2

В состав аппаратуры искусственных спутников Земли Протон-1 и Протон-2 входил спектрометр электронов — прибор СЭЗ-12 [1, 2], предназначенный для регистрации электронов первичного космического излучения с энергиями  $E_e \geq 0,3 \text{ Бэв}$  и измерения спектра электронов.

Прибор состоит из следующих основных элементов.

Телескоп из двух сцинтилляционных счетчиков. Геометрический фактор равен  $5 \text{ см}^2 \cdot \text{стер}$  и  $2,5 \text{ см}^2 \cdot \text{стер}$  для приборов, установленных на спутниках Протон-1 и Протон-2 соответственно. Анод одного фотоумножителя соединен с дифференциальным амплитудным анализатором, пропускающим лишь те сигналы, которые возникают при прохождении через телескоп только одной релятивистской частицы с зарядом  $Z = 1$ .

Газовый черенковский счетчик (баллон, наполненный фреоном-13 до давления  $11 \text{ атм}$ ) выполняет две функции. Во-первых, он регистрирует только те частицы, энергия которых не ниже  $E_{\text{мин}} \approx \approx 7 m_0 c^2$  (эффективный порог регистрации  $E_{\text{порог}} \approx 10 m_0 c^2$ , т. е. для протонов он равен примерно  $10 \text{ Бэв}$ ). Во-вторых, черенковский счетчик регистрирует лишь частицы, проходящие прибор в направлении от первого счетчика телескопа ко второму, и не регистрирует частицы, идущие в обратном направлении.

Сцинтилляционный детектор энергии электронов представляет собой упрощенный вариант ионизационного калориметра, пригодный для измерений вне атмосферы [3]. Он состоит из четырех свинцовых пластин толщиной по  $1,5 \text{ см}$ , между которыми расположены сцинтилляторы из пластмассы толщиной по  $1 \text{ см}$ . Импульсы с детектора энергии подаются на интегральный амплитудный дискриминатор с шестью порогами, причем значение первого порога подбирается равным наиболее вероятной величине амплитуды импульса, возникающего при прохождении через детектор одной релятивистской частицы с  $Z = 1$ .

Под детектором энергии находится толстый ( $12 \text{ см}$ ) свинцовый фильтр со сцинтилляционным счетчиком. Этот детектор служит для определения проникающей способности частиц, регистрируемых прибором. Полная толщина вещества на пути частиц, проходящих в телесном угле прибора, достаточна для поглощения всей лавины частиц, порожденных первичным электроном с энергией  $E_e \leq 3 \cdot 10^{11} \text{ эв}$ .

Сцинтилляционный детектор ливней служит для исключения ливней, которые могут генерироваться первичными протонами в верхней части прибора и имитировать электроны. Оценка вероятности имитации электрона протоном или продуктами его взаимодействий позволяет заключить, что поток электронной компоненты космических лучей можно надежно измерить таким прибором, даже если он составляет на высоких широтах  $0,2-0,3\%$  от потока протонов.

Прибор регистрирует следующие события, которые после предварительного пересчета выводятся на запоминающее устройство телеметрии:

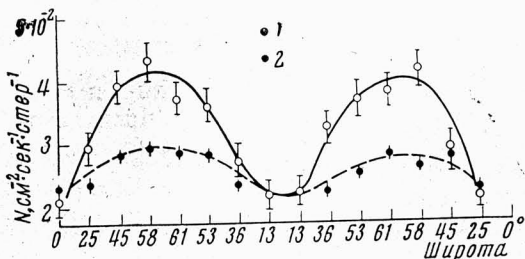
1)  $C_2E_i + O$  — частица с  $Z = 1$  прошла в телесном угле прибора, выделила в детекторе энергии энергию  $E_i$  ( $i = 2, 3, 4, 5, 6$ ), и она (или ее продукты) прошла через фильтр;

2)  $C_2E_i - O$  — то же, что и в п. 1), но сама частица и все вторичные частицы поглотились в фильтре;

3)  $C_3E_i + O$  — то же, что и в п. 1), но, кроме того, частица с энергией  $E \geq E_{\text{порог}}$  (есть сигнал от газового черенковского счетчика) проходит прибор в заданном направлении в телескопе;

4)  $C_3E_i - O$  — то же, что и в п. 3), но сама частица и все вторичные частицы поглотились в фильтре.

В результате обработки небольшой части информации, накопленной после запусков спутников Протон-1 и Протон-2, получены предварительные данные об интенсивности электронной компоненты за пределами атмосферы. Наиболее неожиданный результат был получен для электронов с  $E_e \geq 0,3 \text{ Бэв}$ .



Широтная зависимость интенсивности электронов (1) и протонов (2); интенсивность протонов нормирована к интенсивности электронов на экваторе

На рисунке представлена широтная зависимость интенсивности электронов с энергией, большей  $0,3 \text{ Бэв}$ , и протонов, регистрируемых прибором СЭЗ-12. Даже на экваторе, куда не допускаются магнитным полем Земли частицы с импульсами меньше  $7 \text{ Бэв}/c$ , обнаружены электроны с импульсами  $0,3 \text{ Бэв}/c$ . Следовательно, все эти электроны (по крайней мере в экваториальных районах) не являются первичными электронами, достигшими данной точки около земного пространства прямым проникновением через магнитное поле Земли. Существенно различная широтная зависимость регистрируемых протонов и электронов исключает предположение о возможной имитации электронов протонами.

Регистрируемые электроны не могут возникнуть в обшивке приборного контейнера, так как его толщина со стороны входа частиц в прибор  $\sim 1 \text{ г} \cdot \text{см}^{-2}$ , т. е. составляет  $\sim 1\%$  от пробега ядерного взаимодействия первичных протонов, поток которых равен  $10^{-2} \text{ см}^{-2} \cdot \text{сек}^{-1} \cdot \text{стер}^{-1}$  в районе экватора. Следовательно, в стенке приборного контейнера может возникнуть поток электронов, составляющих всего  $\sim 1\%$  от наблюдаемого потока.

Измеряемые электроны не могут быть также и вторичными частицами, генерируемыми в толще вещества, расположенного под прибором, так как газовый черенковский счетчик не регистрирует частицы, идущие с этой стороны. Не оправдывается и предположение о том, что измеренный поток обусловлен электронами альbedo, т. е. электронами, которые рождаются в верхней части атмосферы Земли первичными космическими лучами, достигают орбиты ИСЗ, а затем снова попадают в атмосферу, пересекая горизонтальную плоскость не более двух раз (при выходе из атмосферы и входе в нее). Поток таких альбедных электронов должен быть не более потока альбедных фотонов той же энергии. По измерениям, выполненным на ИСЗ Протон-1 с помощью прибора ГГ-1, поток альбедных  $\gamma$ -квантов с энергией  $\geq 300 \text{ Мэв}$  составляет  $\sim 2 \cdot 10^{-4} \text{ см}^{-2} \cdot \text{сек}^{-1} \cdot \text{стер}^{-1}$  [4], т. е. в 100 раз меньше зарегистрированного потока электронов. Кроме того, электроны таких энергий с примерно такой же интенсивностью должны были бы регистри-

роваться в деле не об

Сопоста даемые эле достаточно

Интерес стрированн вторичного

При эо 1,2 раза бо

В те же ная асимме

ность в за Если счита тальная ас

и  $Z = 2$ ), СЭЗ-1 име щих азиму

Таким ного в рай ром СЭЗ-1,

Обнару сравнению 200%), по не учитыва

электронов Авторы А. В. Смир

бора и обра

1. Григор дународ

2. Григор ния элект

3. Григор следован

4. Григор щий ном

5. Меуер Р

6. Неугеи

7. Володи номер ж

роваться в верхней части атмосферы на высотах 30—35 км, чего на самом деле не обнаружено (см., например, [5—6]).

Сопоставление всех этих фактов приводит к заключению, что наблюдаемые электроны захвачены магнитным полем Земли и существуют в нем достаточно долгое время.

Интересно, что прибором СЭЗ-1 на ИСЗ Протон-1 также были зарегистрированы в районе экватора релятивистские частицы с зарядом  $Z = 1$  вторичного происхождения [7].

При этом интенсивность этих частиц в западном направлении была в 1,2 раза больше, чем в восточном (азимутальная асимметрия).

В те же моменты времени этим же прибором была измерена азимутальная асимметрия для частиц с зарядом  $Z = 2$ . Оказалось, что их интенсивность в западном направлении была в 2,1 раза больше, чем в восточном. Если считать, что для первичных протонов должна быть такая же азимутальная асимметрия (в силу подобия спектров первичных частиц с  $Z = 1$  и  $Z = 2$ ), то легко получить, что в районе экватора по данным прибора СЭЗ-1 имеется поток частиц, равный  $2,6 \cdot 10^{-2} \text{ см}^{-2} \cdot \text{сек}^{-1} \cdot \text{стер}^{-1}$ , не имеющих азимутальной асимметрии и являющихся вторичными.

Таким образом, существование потока электронов с  $E_e \geq 300 \text{ Мэв}$ , равного в районе экватора  $2,2 \cdot 10^{-2} \text{ см}^{-2} \cdot \text{сек}^{-1} \cdot \text{стер}^{-1}$ , подтверждается прибором СЭЗ-1, давшим поток  $2,6 \cdot 10^{-2} \text{ см}^{-2} \cdot \text{сек}^{-1} \cdot \text{стер}^{-1}$ .

Обнаруженный очень большой поток высокоэнергичных электронов (по сравнению с первичными протонами он составляет на экваторе около 200%), по-видимому, не может быть объяснен тривиальными процессами, не учитывающими возможности захвата и длительного удержания таких электронов ловушками геомагнитного поля.

Авторы выражают благодарность О. Б. Беньковскому, В. А. Лабутину, А. В. Смирнову и Ю. В. Тригубову за участие в разработке и наладке прибора и обработке результатов.

#### Литература

1. Григоров Н. Л., Нестеров В. Е., Рапопорт И. Д. и др., Доклад на XVI Международном астронавтическом конгрессе, Афины, сентябрь, 1965.
2. Григоров Н. Л., Клинецов Ю. С., Нестеров В. Е. и др., Прибор для изучения электронов высокой энергии на ИСЗ Протон-1 (в печати).
3. Григоров Н. Л., Рапопорт И. Д., Савенко И. А. и др., Космические исследования, 2, вып. 5, 724 (1964).
4. Григоров Н. Л., Калинин Л. Ф., Мелиоранский А. С. и др., см. настоящий номер журнала, стр. 1765.
5. Meyer P., Vogt R., Phys. Rev. Lett., 6, 193 (1961).
6. Neugeux J. L., Meyer P., Phys. Rev. Lett., 15, 93 (1965).
7. Володичев Н. Н., Григоров Н. Л., Нестеров В. Н. и др., см. настоящий номер журнала, стр. 1763.