

ИССЛЕДОВАНИЕ ВАРИАЦИЙ КОСМИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ**С. Н. Вернов, Ю. И. Логачев, А. Е. Чудаков, Ю. Г. Шафер**

В настоящей статье предполагается рассмотреть вопрос об использовании искусственного спутника Земли для изучения вариаций космического излучения. С помощью относительно несложной аппаратуры, состоящей из счетчика и ионизационной камеры, могут быть изучены следующие явления:

- а) вариации первичного космического излучения,
- б) вариации многозарядной компоненты первичного космического излучения, состоящей из ядер атомов гелия и более тяжелых элементов,
- в) геомагнитное поле на больших расстояниях от Земли,
- г) альbedo Земли для космического излучения,
- д) структура потоков, испускаемых Солнцем.

Известно, что за последние годы исследование вариаций космического излучения приобрело большое научное значение. Для изучения вариаций были созданы установки с непрерывной регистрацией интенсивности космического излучения, при помощи которых удалось обнаружить многочисленные вариации как периодические, так и непериодические. Амплитуда этих вариаций измеряется на уровне моря процентами и долями процентов, за исключением случаев больших вспышек интенсивности, при которых возрастание ионизации на уровне моря достигало даже 200—500%, как это имело место при вспышке 23 февраля 1956 г.

Одни из этих вариаций обусловлены изменениями состояния атмосферы, другие связаны с солнечной активностью, третьи — с магнитными возмущениями. Более подробная классификация вариаций дана в работе¹. Тесная связь гео- и гелио-физических явлений с вариациями интенсивности космического излучения и обусловила тот интерес к вариациям, который появился в последние годы среди ученых многих стран.

1. ВОЗМОЖНОСТИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ВАРИАЦИЙ, ПРЕДОСТАВЛЯЕМЫЕ ИСКУССТВЕННЫМИ СПУТНИКАМИ ЗЕМЛИ

Все непрерывные измерения интенсивности космического излучения проводятся сейчас или на уровне моря, или на высотах гор. В обоих случаях над регистрирующими приборами находится большая толща атмосферы, что приводит к двоякого рода трудностям.

Во-первых, желательно изучать вариации интенсивности первичного космического излучения, а после прохождения атмосферы первичное излучение поглощается и до регистрирующих приборов доходит вторичное излучение, вариации которого сильно отличаются от вариаций первичного излучения. Вариации, регистрируемые приборами вблизи уровня моря, обычно много меньше вариаций первичного излучения. Это происходит потому, что излучение, достигающее поверхности земли,

в основном обусловлено первичными частицами, обладающими большой энергией. Между тем, наиболее подвержена изменениям та часть космического излучения, которая состоит из первичных частиц наименьших энергий.

Во-вторых, атмосфера сама является источником вариаций. Эти вариации атмосферного происхождения часто затушевывают истинный эффект, а для их исключения необходимо знать состояние атмосферы до высот 25—30 км. В связи с отсутствием достаточно точных данных о температуре атмосферы на больших высотах эти, так называемые метеорологические вариации могут быть учтены лишь весьма неточно.

Исследования в верхних слоях атмосферы и за ее пределами свободны от этих недостатков: влияние атмосферы исключается, измеряются вариации первичного излучения. Кроме того, с помощью аппаратуры, находящейся в верхних слоях атмосферы или за ее пределами, можно наблюдать вариации многозарядной компоненты первичного космического излучения, что невозможно ни на уровне моря, ни на высотах гор.

Измерения, проводимые с помощью аппаратуры, поднимаемой на ракетах, обладают малой точностью ввиду кратковременности пребывания ракеты на большой высоте.

Эксперименты, проводимые с помощью аппаратуры, поднимаемой в верхние слои атмосферы на шарах-зондах, дают значительно больший статистический материал, однако и в этом случае невозможна непрерывная регистрация интенсивности первичного излучения.

Искусственный спутник Земли предоставляет очень большие возможности для исследования вариаций космического излучения. Спутник, вообще говоря, может существовать в течение нескольких лет и позволяет в течение всего этого времени проводить непрерывные измерения интенсивности первичного космического излучения.

Одновременное проведение измерений при помощи счетчиков и ионизационных камер может предоставить возможность сопоставления вариаций интенсивности первичных протонов с вариациями интенсивности более тяжелых ядер, входящих в состав первичного космического излучения.

Для анализа природы тех явлений, которые вызывают вариации первичного излучения, необходимо знать вариации в различных областях энергетического спектра космических лучей. Для этой цели сопоставляют результаты измерений, выполненных на различных геомагнитных широтах. Однако точность таких сопоставлений весьма невелика, так как приходится сравнивать результаты измерений, полученных при помощи различных приборов, распределенных к тому же крайне неравномерно по земному шару. Поэтому даже весьма большое число наземных станций для регистрации космических лучей не дает полной картины распределения космической радиации по различным широтам и долготам. Эта задача может быть решена лишь с помощью приборов, установленных на спутниках, орбиты которых выбраны подходящим образом.

Для изучения вариаций интенсивности космического излучения наиболее благоприятной орбитой является орбита, проходящая через полюсы. Так как один оборот вокруг Земли на высотах порядка 1000 км спутник будет совершать приблизительно за 90 минут, то при орбите через полюсы спутник в течение суток будет проходить полярные области 32 раза (16 северные и 16 южные). Измерение интенсивности в полярных областях представляет существенный интерес по трем причинам:

- а) в полярную область могут проходить частицы малых энергий,
- б) в районе широт 60—70° интенсивность космического излучения перестает расти с увеличением широты. Систематические измерения ши-

ротного эффекта в указанной области могут вскрыть причины отсутствия в космическом излучении частиц малых энергий.

в) в полярных зонах было обнаружено сильное увеличение интенсивности космического излучения на высотах порядка 80—100 км. Это увеличение интенсивности возможно объясняется появлением в некоторые моменты времени на этих высотах и широтах частиц малой энергии, которые совершают циклические движения вдоль силовых линий земного магнитного поля и потому имеют возможность многократно пересекать регистрирующий прибор.

II. РАЗЛИЧНЫЕ ЯВЛЕНИЯ, КОТОРЫЕ МОЖНО ИЗУЧАТЬ С ПОМОЩЬЮ АППАРАТУРЫ, УСТАНОВЛЕННОЙ НА СПУТНИКЕ

Рассмотрим случай, когда орбита проходит через полюсы, спутник половину времени находится в тени Земли и передаются сведения за все время существования спутника.

В этом случае только за одни сутки будет известна интенсивность космического излучения и создаваемая им ионизация более, чем в 1000 точках, распределенных над всей поверхностью земного шара, при условии, что измерения проводятся приблизительно каждую минуту. Каждое измерение с помощью аппаратуры приемлемых размеров может быть выполнено со статистической точностью не ниже 3% для измерения числа космических частиц в районе экватора и около 1% на средних и высоких широтах и не ниже 5% для измерения ионизации на всех широтах.

Материал, полученный только за одни сутки полета спутника, намного перекроет весь тот запас экспериментальных данных об интенсивности и ионизирующей способности космического излучения за пределами атмосферы, который имелся до сих пор. За следующие сутки будут получены данные еще в 1000 точках и т. д. Сравнивая данные за разные обороты, за разные сутки, можно будет судить о вариациях интенсивности космического излучения. В случае необходимости данные за разные сутки можно усреднить, что позволит повысить статистическую точность наблюдений.

Имея в распоряжении данные об интенсивности и ионизирующей способности космического излучения над всей поверхностью земного шара, можно сделать интересные выводы о следующих явлениях:

1. Временные вариации интенсивности первичного космического излучения

а) Эффект больших вспышек интенсивности космического излучения в связи с хромосферными извержениями на Солнце

Наблюдавшиеся за последние 20 лет пять очень больших возрастаний в интенсивности космического излучения произошли одновременно с солнечными хромосферными извержениями. Во время этих вспышек на Солнце происходит ускорение частиц (протонов или более тяжелых ядер) и последующее их испускание. В случае, если подобное извержение произойдет во время полета одного из спутников, можно будет провести достаточно полный анализ этого явления, так как будут известны за короткий период времени увеличения интенсивности на большом участке поверхности над атмосферой. Такие большие увеличения интенсивности бывают крайне редко, поэтому вероятность их появления во время

полета одного из спутников невелика. Однако вариации первичного излучения во время вспышек в десятки раз превосходят вариации, наблюдаемые на уровне моря. По этой причине возрастания в интенсивности первичного излучения на десятки процентов заведомо не регистрируются наземными станциями.

Есть основания предполагать, что эти малые увеличения интенсивности происходят сравнительно часто. К такому выводу приводят опыты по изучению космического излучения в верхних слоях атмосферы³, во время которых ряд авторов⁴ наблюдал увеличения интенсивности. Таким образом, вероятность регистрации вспышки интенсивности за пределами атмосферы может оказаться значительной.

В настоящее время проведены расчеты движения заряженных частиц разных энергий в магнитном поле Земли. Применяя эти расчеты для частиц, испущенных Солнцем, можно рассчитать место их попадания на Землю. Подобные расчеты были выполнены, и были получены так называемые «зоны вхождения» частиц⁵. В этих зонах увеличения интенсивности во время вспышки космического излучения должны быть максимальными по сравнению с другими районами Земли. Экспериментальная проверка правильности этих расчетов и заложенных в них предположений требует точного очерчивания этих «зон вхождения» частиц, испущенных Солнцем. Так как наземные станции расположены далеко друг от друга, точное очерчивание «зон вхождения» оказывается практически невозможным. С помощью аппаратуры на спутнике эти зоны вхождения могут быть зарегистрированы достаточно точно. Вместе с тем, определение зависимости величины возрастания интенсивности космических лучей от широты даст возможность получить энергетический спектр добавочного потока частиц, приходящих на землю во время вспышки в интервале энергии от 2 до 15 *Бэв*.

б) Уменьшения интенсивности во время магнитных бурь

Известно, что во время некоторых магнитных бурь интенсивность космического излучения уменьшается. Это уменьшение для сильных бурь иногда достигает нескольких процентов. По всей вероятности, это уменьшение обусловлено рассеянием частиц малых энергий в магнитном поле потока, испущенного Солнцем и вызвавшего магнитную бурю на Земле.

Регистрация связанного с магнитной бурей уменьшения интенсивности во время полета спутника позволит с хорошей точностью определить спектр отсеченного излучения, что позволит оценить напряженность магнитного поля, несомого потоком, и ширину потока.

В настоящее время структура потоков, испущенных Солнцем, совершенно неизвестна. Ширина этих потоков очень грубо может быть определена из продолжительности магнитной бури, хотя не ясно, сколько времени может длиться магнитная буря после выхода Земли из потока (сколько времени может существовать возникший кольцевой ток). Многократные измерения интенсивности космического излучения с помощью аппаратуры, установленной на спутнике, возможно, позволят по изменениям интенсивности космического излучения судить не только о размерах этих потоков, но и об их структуре, о местах локализации магнитных полей, несомых этими потоками. Следует отметить, что вероятность наблюдения, связанного с магнитными бурями, уменьшения интенсивности космического излучения во время полета спутника значительно больше, чем вероятность регистрации увеличения интенсивности, связанного с солнечным извержением.

в) Периодическая вариация, связанная с вращением спутника вокруг Земли (1,5-часовая вариация)

Эта вариация является аналогом суточной вариации, регистрируемой прибором, жестко связанным с Землей. На уровне моря амплитуда этой вариации составляет 0,3%. За пределами атмосферы амплитуда суточного эффекта до сих пор остается неизвестной.

Прибор, находящийся на земной поверхности, будет периодически через каждые 24 часа возвращаться на прежнее место (отвлекаясь от движения Земли вокруг Солнца). Движение спутника будет происходить в 16 раз быстрее и, следовательно, за одни сутки интенсивность 16 раз пройдет через минимум и максимум. Следовательно, точность, с которой будет зарегистрирован суточный эффект, будет значительно выше точности, получаемой земными приборами, так как всевозможные побочные флуктуации интенсивности в случае спутника будут усредняться, а в случае земного прибора они могут затушевывать истинный эффект. В случае спутника мы имеем многократное повторение одних и тех же измерений, а в случае земного прибора это повторное измерение провести невозможно.

Известно, что суточный эффект во время магнитной бури увеличивается. Это объясняется дополнительным ускорением частиц, проходящих через корпускулярный поток в одном направлении, и замедлением частиц, идущих в противоположном направлении. При этом фаза дополнительного эффекта несколько смещается. В случае попадания Земли в испущенный Солнцем корпускулярный поток во время полета спутника этот дополнительный суточный эффект может быть подробно исследован.

Амплитуда дополнительных суточных вариаций должна зависеть от скорости перемещения магнитного поля, несомого корпускулярным потоком, т. е. от скорости потока. Поэтому, исследовав дополнительную суточную вариацию, можно будет определить скорость испущенных Солнцем корпускулярных потоков вблизи Земли¹.

г) Вариации интенсивности тяжелых ядер первичного космического излучения

Как известно, было опубликовано несколько работ⁶, указывающих на существование значительных вариаций (в 2—3 раза) интенсивности первичных тяжелых ядер в зависимости от времени суток. Во этот же период было опубликовано несколько других работ⁷, отрицающих существование заметных суточных вариаций потока тяжелых ядер первичного излучения. Авторы этих последних статей считают выводы, полученные вышеупомянутыми авторами, ошибочными или вызванными неизвестными пока причинами. Этот вопрос остается открытым до сих пор.

Может быть поставлен более общий вопрос о том, в какой мере вариации многозарядной компоненты первичного излучения совпадают с вариациями потока первичных протонов.

Одновременная регистрация интенсивности космического излучения и создаваемой им ионизации позволяет регистрировать вариации многозарядной компоненты. Это является вполне возможным, так как около 50% всей ионизации за пределами атмосферы обусловлено многозарядными частицами. Прямое измерение вариаций разных компонент первичного излучения во время различных флуктуаций первичного излучения может дать ценный материал для проверки гипотез о происхождении космических лучей.

д) Долговременные периодические вариации

Неером⁸ были выполнены очень интересные исследования зависимости малоэнергичного участка спектра первичного космического излучения от времени цикла солнечной активности (11-летняя вариация).

Показано, что в период максимума солнечной активности (1937—1938 гг.) интенсивность первичного потока становится минимальной, зато ее флуктуации — значительные и, наоборот, в годы, когда Солнце менее активное (1951 г.), интенсивность космических лучей увеличивается, но их вариации в этот период значительно снижаются. В 1954 г. ионизация, создаваемая первичным излучением вблизи полюсов, увеличилась по сравнению с 1937 г. в 1,5 раза (рис. 1).

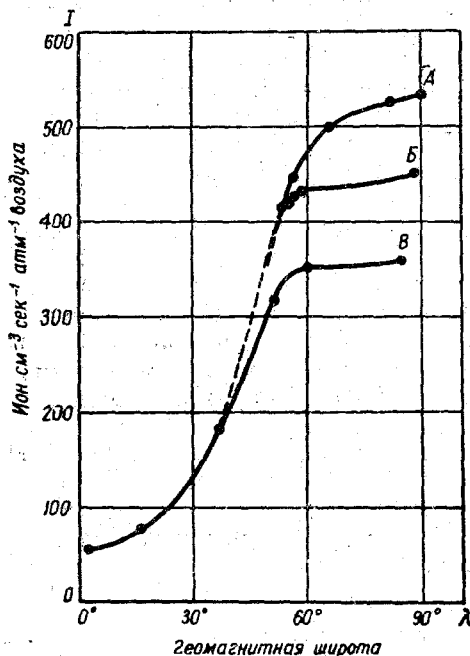


Рис. 1.

Обратная зависимость между солнечной деятельностью и интенсивностью потока частиц, приходящих к Земле, указывает на Солнце не как на источник космических лучей, а как на фактор, влияющий на частицы, движущиеся к Земле из мирового пространства. Исходя только из этого предположения, можно обосновать факт увеличения притока частиц низкой энергии в период минимума солнечной активности, когда им удастся более или менее беспрепятственно пройти к Земле. В годы усиленной солнечной активности эта возможность исчезает.

Эти случаи рассеяния частиц первичного излучения можно приписать модулирующему эффекту потоков, испускаемых Солнцем⁹ и генетически связанных с различными образованиями на Солнце. В период максимальной активности Солнце более беспорядочно и более интенсивно испускает эти корпускулярные потоки, несущие «замороженные» магнитные поля, поэтому вариации космических лучей, особенно потока частиц низкой энергии, наблюдаемых на больших широтах, будут более значительными.

Предполагая, что в дальнейшем спутники будут запускаться периодически, можно надеяться, что будет положено начало более основательных исследований годовых, 11-летних и, может быть, других, пока еще неизвестных долгопериодических вариаций интенсивности космического излучения.

Предполагая, что в дальнейшем спутники будут запускаться периодически, можно надеяться, что будет положено начало более основательных исследований годовых, 11-летних и, может быть, других, пока еще неизвестных долгопериодических вариаций интенсивности космического излучения.

е) Экспериментальная проверка теории связи первичных вариаций со вторичными

Одновременные наблюдения вариаций интенсивности на спутнике и на большой сети наземных станций, организованных во многих странах, даст возможность сравнить вариации первичного космического излучения с вариациями различных вторичных компонент, регистрируемых на

уровне моря, под Землей и на высотах гор, и экспериментально проверить теорию связи первичных и вторичных вариаций в разных участках энергетического спектра¹.

2. Земное и межпланетное магнитные поля

В случае дипольного магнитного поля Земли должна наблюдаться северо-южная симметрия широтного эффекта космического излучения. Зная интенсивность над всей поверхностью планеты, это легко будет проверить. По минимуму интенсивности можно определить эффективный геомагнитный экватор и исследовать его изменения во время магнитных бурь.

Следует отметить, что в отличие от прямых методов измерения магнитного поля, с помощью космического излучения магнитное поле прощупывается на больших расстояниях от места расположения регистрирующего прибора и поэтому общий характер этого поля может быть определен более точно, ибо местные аномалии в этом случае практически не сказываются.

Подобные определения геомагнитного поля являются весьма существенными, так как все теории движения космических частиц исходят из дипольного магнитного поля Земли, а уже сейчас имеются предположения, опирающиеся на последние данные¹⁰, что широтный эффект космического излучения не может быть объяснен только дипольным магнитным полем Земли. Анализ зависимости интенсивности космических лучей от широты и долготы может позволить обнаружить межпланетное магнитное поле.

3. Измерение альbedo Земли для космического излучения

В работах с использованием ракет было обнаружено, что интенсивность космического излучения не зависит от высоты вплоть до 200 км. При дальнейшем увеличении высоты нужно ожидать появления некоторой высотной зависимости. Для этого имеются три причины:

а) минимальная энергия частиц, допускаемых земным магнитным полем на данную широту, уменьшается с увеличением высоты, что должно приводить к увеличению интенсивности,

б) геометрическое экранирование Земли уменьшается с увеличением высоты, что тоже приведет к увеличению интенсивности,

в) альbedo Земли для космического излучения уменьшается с увеличением высот, что должно привести к уменьшению интенсивности. Зная магнитное поле, определяющее поведение частиц космических лучей вблизи Земли (с теми оговорками, которые были сделаны в разделе 2-м этой главы), можно вычислить первые два эффекта. Остальная высотная зависимость будет обусловлена только земным альbedo для космического излучения. Таким образом, возможно, удастся получить эту важную характеристику и расширить наши знания о первичном спектре космического излучения.

4. Поиски электронов и фотонов в первичном космическом излучении

Поиски месторасположения источников космического излучения в мировом пространстве при помощи изучения анизотропии первичного потока заряженных частиц представляют большие трудности из-за влияния перемешивающих космические лучи межзвездных магнитных полей.

Можно ожидать, что даже частицы с энергией порядка $10^{15} \div 10^{17}$ эв запутываются в этих полях и приходят к наблюдателю не из направления на источник, а чаще всего из других, возможно даже противоположных направлений. По этой причине до сих пор не обнаружена анизотропия частиц, обладающих энергией $10^{15} - 10^{17}$ эв, хотя уже ряд лет проводится регистрация широких атмосферных ливней, вызываемых заряженными частицами таких энергий.

Можно ожидать, что более ценные результаты в поисках месторасположения источников космического излучения можно получить, изучая направление потока фотонной компоненты первичного космического излучения при помощи направленного детектора, установленного на ориентированном в пространстве спутнике. Таким детектором фотонов может служить стопка фотопластинок, в которой можно надежно определить электронно-позитронные пары, созданные фотонами, и направление их движения. При помощи двух детекторов с коллиматорами, направленными — один на предполагаемый источник космического излучения (или на центр Галактики), а другой в перпендикулярном направлении, возможно, удастся обнаружить анизотропию потока фотонов и определить направление на их источник.

Эти исследования возможно выполнить только с помощью аппаратуры, находящейся на искусственном спутнике Земли, так как измерения фотонов в верхних слоях атмосферы невозможны из-за маскирующего влияния вторичных фотонов, рождаемых в атмосфере.

При помощи аппаратуры, установленной на спутнике, по-видимому, можно обнаружить в первичном потоке космического излучения присутствие электронов. В этом случае детектором также может служить стопка фотопластинок, так как в фотопластинках след электрона можно надежно выделить среди следов других частиц.

III. АППАРАТУРА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ВАРИАЦИЙ КОСМИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ЗА ПРЕДЕЛАМИ АТМОСФЕРЫ

Изучение вариаций первичного космического излучения можно проводить двумя методами: измерением вариаций ионизации, создаваемой космическим излучением, и измерением вариаций числа частиц, проходящих через счетчик заряженных частиц.

Измерения широтного эффекта над атмосферой ¹¹ показали, что интенсивность первичного космического излучения меняется в 10 раз от минимального значения на экваторе до максимального на высоких широтах. Как отмечалось в первой части, возможны как увеличения интенсивности, так и ее уменьшения. Таким образом, минимальным динамическим диапазоном аппаратуры для измерения вариаций интенсивности необходимо принять 100-кратный диапазон.

Очень важным является вопрос о той точности измерения вариаций, которая может быть достигнута с помощью аппаратуры, установленной на искусственном спутнике. Имеются две причины, приводящие к вариациям измеренной интенсивности и ионизации при постоянстве первичного космического излучения. Одна из причин связана с изменением высоты полета спутника. Как уже отмечалось, в этом случае следует ожидать увеличения интенсивности с высотой из-за уменьшения экранировки Землей и снижения минимальной энергии, допускаемой на данную широту магнитным полем Земли.

С другой стороны, интенсивность должна уменьшаться за счет уменьшения альбедо. Первые два эффекта могут быть теоретически рас-

считаны, третий может быть оценен после проведения эксперимента и получения результатов.

Вторая причина связана с собственным вращением спутника. Действительно, если вещество спутника расположено не симметрично относительно регистрирующих приборов, то вращение спутника приведет к тому, что это вещество будет экранировать прибор то со стороны Земли, то со стороны открытого пространства. Грубая оценка этого эффекта показывает, при некоторых предположениях относительно расположения регистрирующих приборов и вещества спутника, что возникающая вариация будет порядка 5%.

Если прибор не является сферически симметричным, как это имеет место в случае счетчика, то возникает еще одна вариация, связанная с вращением спутника. Действительно, легко видеть, что даже в предположении изотропности первичного космического излучения число заряженных частиц, регистрируемых счетчиком, будет зависеть от ориентации счетчика в пространстве.

Рассмотрим этот вопрос подробнее.

Число частиц, приходящих из верхней полусферы и пересекающих поверхность счетчика, не зависит от ориентации счетчика относительно границы полусферы при изотропном распределении частиц в этой полусфере. Если прибор находится от поверхности Земли на высотах порядка нескольких сотен километров, то счетчики регистрируют не только излучение из верхней полусферы, но частично и из нижней полусферы

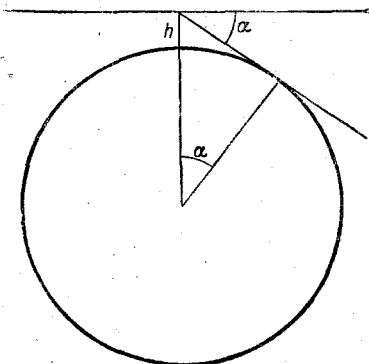


Рис. 2.

(рис. 2). Число этих добавочных частиц из нижней полусферы будет зависеть от ориентации счетчика относительно поверхности Земли, а именно: вертикально расположенный счетчик будет считать больше, чем счетчик, расположенный горизонтально.

Подсчеты показывают, что отношение числа частиц, сосчитанных вертикально расположенным счетчиком, к числу частиц, сосчитанных горизонтально расположенным счетчиком, составляет около 5% для счетчика с отношением $l/d=3$ и 8% для счетчика с отношением $l/d=6$, где l — длина счетчика, а d — его диаметр. В действительности космическое излучение не является изотропным из-за наличия магнитного поля Земли, что еще несколько увеличит этот эффект.

Таким образом, имеется ряд причин, приводящих к 5—8%-ным вариациям числа регистрируемых частиц и ионизации при неизменной интенсивности первичного космического излучения. Так как теоретически рассчитать эти вариации очень трудно (необходимо знать ориентации спутника, высоты спутника, геомагнитных координат и реальное рас-

пределение веществ вокруг счетчиков и камеры), то имеет смысл поставить два счетчика, расположенных перпендикулярно один по отношению к другому, причем один из счетчиков необходимо поместить как можно дальше от основного вещества спутника.

При таком расположении счетчиков вращение спутника будет влиять на работу одного счетчика значительно меньше, чем другого, а так как во всех остальных отношениях счетчики одинаковы, то систематическая разница между числами частиц, зарегистрированных счетчиками, может дать возможность оценить влияние экранировки счетчика веществом спутника. Это расхождение, по крайней мере, даст экспериментальную оценку нижнего предела точности измерений.

Идеальным с этой точки зрения являлся бы спутник, ориентированный в пространстве так, чтобы ось спутника совпадала с направлением, проведенным из центра Земли на спутник. В этом случае экранировка Земли и влияние вещества оставались бы постоянными (в предположении круговой орбиты спутника).

Установка двух счетчиков с независимой передачей числа разрядов каждого счетчика является также хорошим контролем правильности работы аппаратуры в полете.

Для передачи по радио результатов опытов возникает задача уменьшения числа передаваемых импульсов от счетчика, что приводит к необходимости применения пересчетной радиосхемы. Требование экономичности накладывает ограничение на выбор радиосхемы. Как неэкономичные отпадают все радиосхемы, выполненные на электронных лампах. Приемлемыми оказываются схемы на полупроводниковых триодах и тиратронах с холодным катодом.

В случае применения пересчетной схемы с кратностью пересчета 1024:1, каждый 1024-й импульс будет поступать на телеметрию (при средней интенсивности космических лучей) на высоких широтах через 20 сек., а в районе экватора через 200 сек.

Рассмотрим отдельные элементы аппаратуры.

а) Счетчики заряженных частиц

Целесообразно использование счетчиков, имеющих низкое рабочее напряжение и обладающих большим временем жизни.

Питание счетчика может быть осуществлено с помощью собранного на полупроводниках преобразователя низкого постоянного напряжения в высокое постоянное напряжение. Для уменьшения колебаний выходного напряжения этих преобразователей следует его стабилизировать с помощью газового стабилизатора. Высокое напряжение после газового стабилизатора очень мало зависит от тока нагрузки и входного напряжения преобразователя. Изменение напряжения при изменении температуры от -20° до $+50^{\circ}\text{C}$ не превышает 5 вольт, что приводит к изменению числа отсчетов не больше чем на 0,25%.

б) Счетная схема на полупроводниковых триодах

Импульсы со счетчика поступают на формирующую ячейку (рис. 3), собранную на полупроводниковых триодах. Импульс с формирующей ячейки запускает первую ячейку счетной схемы, импульс с выхода первой ячейки запускает вторую ячейку счетной схемы и т. д. Схема одной ячейки приведена на рис. 4. Выходной каскад представляет собой эмиттерный повторитель, в цепь эмиттера которого включены обмотки реле. Пересчетная схема при напряжении на коллекторе 15 в потребляет ток

около 20 мА, т. е. потребляемая мощность составляет около 300 мВт. Схема способна работать в широком интервале коллекторных напряжений: от 6 в до 20 в.

Ячейка пересчета на 2, собранная по приведенной выше схеме, способна считать импульсы, поступающие на ее вход с частотой до 50 кГц при широком диапазоне температур: от -20°C до $+50^{\circ}\text{C}$. Мертвое

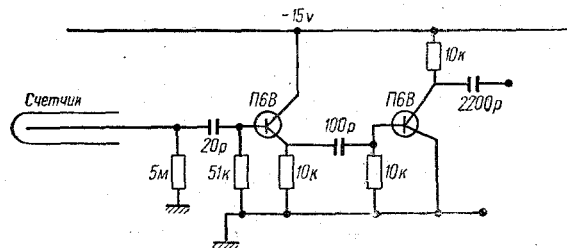


Рис. 3.

время счетчика 10^{-4} сек. Следовательно, импульсы со счетчика разделены интервалом времени, большим чем 10^{-4} сек., и при такой разрешающей способности счетной схемы (50 кГц) все они сосчитаются счетной схемой.

Просчет за счет мертвого времени счетчика не превышает 0,5% в районе высоких широт и 0,05% в районе экватора.

Опишем аппаратуру, разработанную для измерения ионизации с помощью ионизационной камеры.

Размеры камеры определяют статистическую точность полученных результатов. При расчете статистических ошибок необходимо учитывать

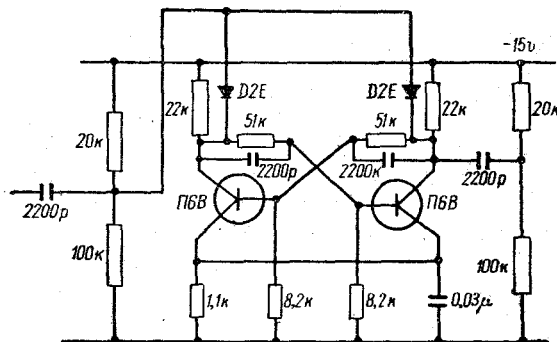


Рис. 4.

ионизацию, создаваемую многозарядными частицами. Большую часть первичного потока представляют протоны. Их, по-видимому, около 80% от всего числа частиц. В значительно меньшем количестве обнаружены ядра гелия (20%). Совсем небольшую долю от полного потока составляют ядра C, N, O (1,0%) и других элементов с $Z > 10$ (0,2%).

Расчет возможной величины флуктуаций ионизационного тока в камере диаметром 270 мм показывает, что при помощи такой камеры можно проводить измерения глобальной интенсивности над экватором со статистической точностью не лучше 4% за минуту наблюдения. Эта ошибка обусловлена многозарядными частицами в связи с тем, что ионизационный вклад каждой частицы весьма велик.

Наиболее подходящим способом измерения ионизации является метод, разработанный одним из авторов (А. Е. Чудаковым). Этот метод состоит в следующем (рис. 5): заряд, накопленный за счет ионизационного тока на центральном электроде ионизационной камеры, периодически снимается путем замыкания контактов и при этом создается импульс, амплитуда которого пропорциональна ионизации. Замыкания производятся через определенные промежутки времени с помощью реле. Возникает вопрос, через какие промежутки времени наиболее целесообразно производить замыкание реле. Эти промежутки времени не могут быть больше

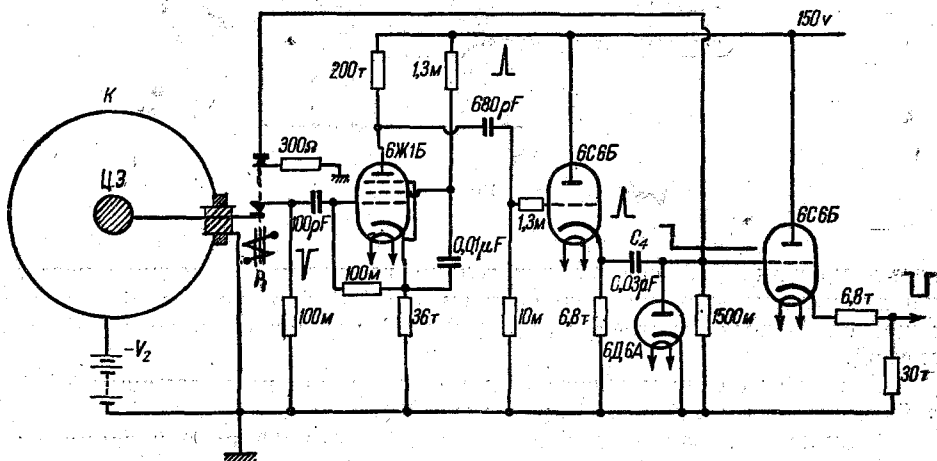


Рис. 5.

нескольких минут, так как в противном случае возникнут ошибки вследствие утечки заряда за время его накопления. Для получения детальных сведений о зависимости интенсивности космического излучения от широты желательно сокращение интервала времени между замыканиями реле. Однако чрезмерное сокращение указанного интервала снижает точность измерений. Следует особо отметить, что выходной импульс, даваемый радиосхемой, не может быть больше определенной величины. Поэтому если импульс от камеры чрезмерно велик, то его измерение становится невозможным. Между тем, подлежащая измерению ионизация космических лучей изменяется в 10 раз только за счет пиротного эффекта. Вариации в интенсивности космического излучения еще больше увеличат диапазон ионизации, в пределах которого должны быть выполнены измерения с хорошей точностью при любом значении ионизации.

В связи с этим невозможно выбрать единый интервал между замыканиями реле для измерений ионизации на спутнике. Наиболее универсальным методом измерений является следующий.

Время полета спутника делится на равные, примерно двухминутные интервалы T . Каждый такой интервал состоит из нескольких, следующих друг за другом в возрастающей последовательности рабочих интервалов времени.

Применение этого метода позволяет осуществить двухсоткратный динамический диапазон измерительного устройства при его ограниченной шкале; точность измерений также будет достаточно высокой на всех широтах, при значительном увеличении интенсивности во время солнечных вспышек и при ее уменьшении во время магнитных бурь. Моменты возникновения и спада этих явлений также могут быть определены с высокой точностью при использовании описанного временного делителя.

На рис. 5 представлена схема камеры с электронным блоком. Сферическая камера, наполняемая спектрально чистым аргоном до $5 \div 10$ атмосфер, может быть изготовлена из тонкой стали. Виброустойчивый электрод в виде полого тонкостенного шара укреплен на ножке, проходящей через изолятор с заземленным охранным кольцом. Материал этого изолятора должен обладать достаточной механической прочностью, высокими удельными объемным и поверхностным сопротивлениями. На камеру подается стабилизированное напряжение, обеспечивающее работу в режиме насыщения. Радиотехнический тракт является линейным для сигналов на его входе от 0,5 вольта до 10 вольт. Описанная схема применялась во многих опытах и оправдала себя¹².

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Описанные выше конструкции приборов позволяют уже в ближайшее время осуществить на спутнике измерения числа первичных космических частиц и создаваемой ими ионизации. Не подлежит сомнению, что со временем измерения на спутниках станут основным методом исследования вариаций космического излучения. Когда число находящихся одновременно в полете спутников будет достаточно велико, окажется возможным регистрировать вариации космических лучей путем приборов, установленных на спутниках, лучше, чем с помощью всей сети наземных станций. Во время Международного геофизического года число станций на всем земном шаре будет доведено до 130. Эти станции будут оснащены сложным оборудованием, регистрирующим мезонную и нейтронную компоненты космических лучей. Тем не менее, неравномерное распределение этих станций по земному шару делает невозможным полный анализ явлений, приводящих к изменению интенсивности космического излучения. Измерения на спутнике покрывают весь земной шар. Поэтому даже на начальной стадии исследований приборы, установленные на спутнике, помимо непосредственных измерений вариаций, позволят проградуйровать всю наземную сеть станций непрерывной регистрации космических лучей.

Одновременные измерения полной ионизации и потока всех заряженных частиц позволят сравнительно просто выделить интенсивность сильно ионизирующих частиц и тем самым впервые изучить вариации многозарядной компоненты космических лучей, состоящей из гелия и более тяжелых элементов.

В дальнейшем исследования, поставленные на спутнике, позволят непосредственно измерить число первичных частиц вплоть до весьма больших энергий (порядка 10^{15} эв).

Особое внимание должно быть обращено на поиски в составе первичного космического излучения фотонов большой энергии, так как эти фотоны, двигаясь прямолинейно сквозь межзвездную среду, смогут лучше, чем какое-либо иное излучение, указать, где происходит образование космических лучей. Если поиски фотонов большой энергии увенчаются успехом, то возможно, что впоследствии, помимо радиоастрономии, возникнет специальная область гамма-астрономии.

Одновременно с постановкой опытов по обнаружению фотонов высокой энергии может быть решен вопрос о наличии электронов в составе первичного космического излучения.

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Л. И. Дорман, Е. Л. Фейнберг, УФН 59, 189 (1956).
2. L. H. Meredith, M. B. Gottlieb, J. A. Van Allen, Phys. Rev. 97, 201 (1955).
3. H. V. Neher, V. Z. Peterson, E. A. Stern, Phys. Rev. 90, 655 (1952).

4. A. T. Bichl, R. A. Montgomery, H. V. Neher, W. H. Pickering, W. C. Roesch, *Rev. Mod. Phys.* **20**, 360 (1948); M. A. Pomerantz, *Phys. Rev.* **81**, 731 (1951); J. J. Lord, A. W. Elston, M. Schein, *Phys. Rev.* **79**, 540 (1950).
 5. J. Firor, *Phys. Rev.* **94**, 1017 (1954).
 6. J. J. Lord, M. Schein, *Phys. Rev.* **80**, 304 (1950); J. J. Lord, M. Schein, *Phys. Rev.* **78**, 484 (1950); E. P. Ney, D. M. Thon, *Phys. Rev.* **81**, 1068 (1951); V. H. Yngve, *Phys. Rev.* **92**, 428 (1953).
 7. P. S. Freier, G. W. Anderson, J. E. Naugle, E. P. Ney, *Phys. Rev.* **84**, 322 (1951); G. W. McClure, M. A. Pomerantz, *Phys. Rev.* **84**, 1252 (1951); G. W. Anderson, P. S. Freier, J. E. Naugle, *Bull. Am. Phys. Soc.* **28**, № 3, 7 (1953).
 8. H. V. Neher, *Phys. Rev.* **103**, 228 (1956).
 9. Х. Альфвен, *Космическая электродинамика*, ИЛ, Москва, 1952.
 10. J. A. Simpson, K. B. Fenton, *Phys. Rev.* **102**, 1648 (1956).
 11. L. H. Meredith, J. A. Van Allen, M. B. Gottlieb, *Phys. Rev.* **99**, 198 (1955).
 12. С. Н. Вернов, Н. Л. Григоров, Г. Т. Зацепин, А. Е. Чудаков. *Изв. АН СССР, сер. физ.* **19**, 493 (1955).
-