

АТОМНАЯ И ЯДЕРНАЯ ФИЗИКА

УДК 587.391.15

ИЗУЧЕНИЕ ЗА ПРЕДЕЛАМИ АТМОСФЕРЫ СПЕКТРА ЯДЕР ГРУППЫ ЖЕЛЕЗА В ОБЛАСТИ ЭНЕРГИЙ 100—1000 ГэВ/НУКЛОН

И. П. Иваненко, Н. Л. Григоров, Ю. В. Басина, П. В. Вакулов, Ю. Я. Васильев, Р. М. Гольнская, Л. Б. Григорьева, Д. А. Журавлев, В. И. Зацепин, Д. И. Ильичев, А. Е. Казакова, В. Д. Козлов, И. П. Кумпан, Ю. А. Лапутин, Л. Г. Мищенко, В. М. Никаноров, Л. П. Папина, В. В. Платонов, Д. М. Подорожный, И. Д. Рапорт, Г. А. Самсонов, Л. Г. Смоленский, В. А. Собиняков, В. К. Соколов, Г. Е. Тамбовцев, Ч. А. Третьякова, Ю. В. Тригубов, И. М. Фатеева, Л. А. Хейн, Л. О. Чикова, В. Я. Шестоперов, В. Я. Ширяева, Б. М. Яковлев, И. В. Ящин

(НИИЯФ)

На ИСЗ «Космос-1543» был установлен прибор «Сокол», предназначенный для изучения космических лучей высокой энергии ($\geq 10^{12}$ эВ) [1, 2]. Энергия частиц измерялась ионизационным калориметром (ИК), заряд — двумя черенковскими детекторами ДЗ-1 и ДЗ-2, расположенными над ним. Верхний детектор ДЗ-2 состоял из четырех одинаковых независимо работающих черенковских счетчиков из плексигласа толщиной 1 см и служил для измерения зарядов Z в диапазоне от $Z \approx 5$ до $Z \approx 50$. Ниже располагался блок детектора заряда ДЗ-1, предназначенный для измерения зарядов легких ядер в области $1 \leq Z \leq 5-6$. Он состоял из 11 независимо работающих черенковских счетчиков направленного действия из плексигласа толщиной около 5 см.

Благодаря большому числу детекторов в ИК (80 синцилляторов, расположенных в 10 рядах) имелась возможность восстановить положение лавины частиц, созданной первичной частицей, а затем определить угол прихода частицы θ и координаты ее входа в прибор. Эта информация позволяла в каждом индивидуальном случае убедиться, что счетчики детекторов ДЗ-2 и ДЗ-1, зарегистрировавшие заряд частицы, находятся на продолжении оси лавины, регистрируемой ИК, и вводить в их показания поправку, связанную с углом θ . Для анализа отбирались события с осью лавины, фиксируемой в двух проекциях ИК в пределах рабочей апертуры прибора.

При анализе распределения первичных тяжелых ядер по Z отбирались частицы, проходящие через счетчики детекторов ДЗ-2 и ДЗ-1. При этом по показаниям счетчиков ДЗ-1 были исключены возможные прохождения первичных частиц через ФЭУ, обслуживающие счетчики ДЗ-2, так как в этих случаях возможно искажение величины измеряемого заряда. При анализе результатов измерения зарядов частиц разными счетчиками детектора ДЗ-2 оказалось, что распределения частиц по Z , измеренные каждым счетчиком, подобны, но несколько сдвинуты друг относительно друга по оси Z . Количественно это различие выразилось в том, что средние значения заряда для интервала $21 \leq Z \leq 28$ оказались равными для первого счетчика $\langle Z_1 \rangle = 22,8$, для второго $\langle Z_2 \rangle = 23,7$, для третьего $\langle Z_3 \rangle = 25,3$ и для четвертого $\langle Z_4 \rangle = 21,6$ (статистические ошибки везде примерно $\pm 0,2$). Эти различия объясняются различием в коэффициентах усиления ФЭУ, которые подбирались по световому импульсу от светодиода, прокалиброванного на пучке ядер углерода с энергией 4 ГэВ/нуклон в лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Значение $\langle Z_3 \rangle = 25,33 \pm 0,26$ находится в хорошем согласии с ожидаемым значением (25,3), если учесть долю ядер с различными зарядами в рассматриваемом интервале [3] и считать ее не зависящей от энергии. Поэтому, чтобы объединить распределения, полученные разными счетчиками ДЗ-2, каждое значение Z , полученное j -м счетчиком, умножалось на коэффициент $K_j = \langle Z_3 \rangle / \langle Z_j \rangle$. После введения указанной поправки все данные были объединены в суммарное распределение частиц по Z , которое приведено на рис. 1. При построении распределения использовано 209 событий с $21 \leq Z \leq 30$. Полная энергия первичных частиц $E \geq 1$ ТэВ. Каждая точка на рис. 1 представляет число частиц в интервале $\Delta Z = 0,5$, ошибки — статистические. Гистограмма — ожидаемое распределение, рассчитанное с учетом состава первичных космических лучей в интервале $21 \leq Z \leq 30$, измеренного при энергиях в сотни МэВ/нуклон [3] в предположении гауссового распределения ошибок измерений с $\sigma(Z) = 1,0$. Это значение соответствует точности измерения заряда $\sim 4\%$, которая была получена при лабораторных исследованиях параметров детекторов ДЗ-2.

При определении абсолютных потоков ядер группы железа для увеличения статистической обеспеченности требования к отбору событий были несколько ослаблены. Выбиралась частица, которые проходили через детектор ДЗ-2 и лавины от которых пересекали нижнее основание ИК. Анализ показал, что средние значения $\langle Z \rangle$ в этом случае мало отличаются от приведенных выше значений. При таком отборе геометрический фактор прибора Γ близок к $0,035 \text{ м}^2 \cdot \text{ср}$. Использовались экспериментальные данные, полученные за время T , равное 257 ч работы аппаратуры в режиме ожидания события.

Энергия частиц определялась по известным формулам ионизационного калориметра. Коэффициент переходного эффекта поглотитель (железо) — сцинтиллятор принимался равным 1,5. В энергию была внесена поправка в 16%, учитывающая вынос энергии лавины через нижнее основание калориметра. Она была определена экспе-

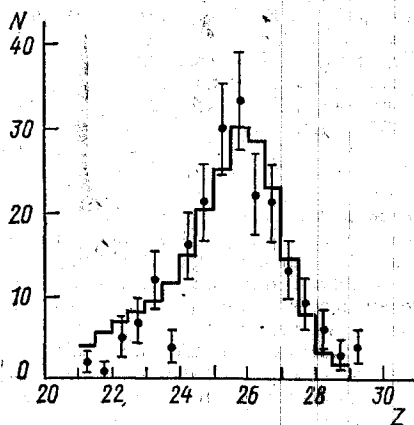


Рис. 1. Распределение по зарядам ядер группы железа. Точки — эксперимент, гистограмма — расчет.

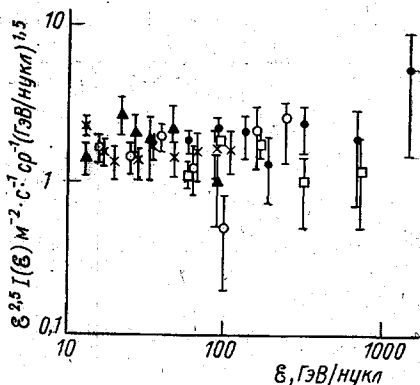


Рис. 2. Дифференциальный энергетический спектр ядер группы железа: \blacktriangle [5], \circ [6], \times [7]; данные настоящей работы с определением энергии по двум проекциям ИК (\bullet) и по одной проекции ИК (\square)

риментально на основе анализа средней каскадной кривой в калориметре для ядер группы железа. Была введена также поправка на не регистрируемую прибором энергию, идущую на ядерные расщепления. Для этого использовались экспериментальные данные [4], полученные на ускорителях при энергиях протонов в сотни ГэВ с применением калориметров, сходных с нашим.

Калибровка энергетической шкалы ИК осуществлялась на Земле по ионизационному эффекту от мюонов с учетом поглощения сцинтилляций в светофильтрах [1, 2], помещавшихся перед ФЭУ для приведения чувствительности измерительных каналов в соответствие с планируемым диапазоном энергетических измерений. Эта простая методика оказалась, однако, сопряженной с заметным ухудшением отношения рабочего сигнала от сцинтиллятора к паразитному, создаваемому непосредственно в ФЭУ лавиной вторичных частиц, если она проходит через его колбу. Для снижения возможной роли этого эффекта при определении энергии первичной частицы в таких случаях из кривой поглощения, получаемой по данным рядов ИК, исключались точки, соответствовавшие рядам, в одной из секций которых имелись локальные «выбросы». Энергия первичной частицы определялась также по ограниченной информации от 5 рядов в той проекции ИК, в которой ось ливня проходила на большем удалении от ФЭУ.

Интенсивность частиц с энергией \mathcal{E} ГэВ/нуклон определялась из выражения $I(\mathcal{E}) = n / (\Gamma \Delta \mathcal{E}) \text{ м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{ср}^{-1} (\text{ГэВ/нуклон})^{-1}$, где n — число частиц в интервале $\Delta \mathcal{E} = \mathcal{E}_2 - \mathcal{E}_1$ (ГэВ/нуклон), $\mathcal{E} = \left[\frac{\gamma(\mathcal{E}_2 - \mathcal{E}_1) \mathcal{E}_1^\gamma}{1 - (\mathcal{E}_1/\mathcal{E}_2)^\gamma} \right]^{1/(1+\gamma)}$, $(1+\gamma)$ — показатель дифференциального энергетического спектра частиц.

Полученные результаты приведены на рис. 2 в сравнении с данными других измерений [5—7]. Определение энергии производилось по данным ИК как в двух его проекциях, так и в одной, как указано выше.

Авторы выражают глубокую благодарность акад. А. М. Балдину за предоставленную возможность проведения калибровки детектора зарядов на ускорителе ЛВЭ ОИЯИ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Vernov S. N. et al.//Proc. 17th Intern. Cosmic Ray Conf. 1981. V. 8. P. 49—52. [2] Vernov S. N. et al.//Proc. 19th Intern. Cosmic Ray Conf. 1985. V. 2. P. 52—55. [3] Israel M. N. et al.//Proc. 16th Intern. Cosmic Ray Conf. 1979. V. 1. P. 323—328. [4] Iwata S.//DPNU-3-79, preprint Nagoya University. Nagoya, Japan, 1979. [5] Caldwell J. H.//Astrophys. J. 1977. 218. P. 269—285. [6] Chappel I.H., Webber W. R.//Proc. 17th Intern. Cosmic Ray Conf. 1981. V. 2. P. 59—62. [7] Simon M. et al.//Astrophys. J. 1980. 239. P. 712—724.

Поступила в редакцию
05.02.86

ВЕСТН. МОСК. УН-ТА. СЕР. 3, ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ. 1986. Т. 27, № 6

РАДИОФИЗИКА

УДК 621.373.51

СВЧ ГЕНЕРАТОР НА ДИОДЕ ГАННА, СТАБИЛИЗИРОВАННЫЙ ДИСКОВЫМ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИМ РЕЗОНАТОРОМ

И. И. Минакова, В. И. Панов, Б. Г. Симеонова (Болгария)

(кафедра физики колебаний)

Создание прецизионных СВЧ генераторов малой и средней мощности представляет собой актуальную задачу как научного, так и практического плана. Основным элементом, определяющим стабильность частоты автоколебаний при оптимальных параметрах схемы стабилизирующего генератора, является стабилизирующий резонатор.

Наилучшие результаты по стабильности и воспроизводимости частоты получены при использовании сверхпроводящих резонаторов с сапфировым наполнением при охлаждении до $T \approx 2$ К [1]. Добротности, реализованные на дисковых и кольцевых диэлектрических резонаторах (ДР) из сапфира $Q = 2,5 \cdot 10^5$ при 300 К и $Q = 10^8$ при $T = 77$ К для 8–10 ГГц, свидетельствуют о перспективности использования таких резонаторов в качестве стабилизирующих элементов генераторов.

Первые работы по созданию генераторов, стабилизированных ДР [2, 3], дали обнадеживающие результаты. Целью настоящей работы является детальное исследование процессов в генераторе СВЧ, стабилизированном по трехконтурной схеме [4, 5] с помощью многомодового ДР.

В предположении слабой связи между высокочастотными модами дискового резонатора эквивалентную схему генератора можно представить в виде, показанном на рис. 1, а.

При рассмотрении одночастотных автоколебаний движение в такой системе описывается уравнениями

$$\ddot{x}_1 + 2\delta_1(x_1)x_1 + \nu_1^2 x_1 + \alpha_{12}\ddot{x}_2 = 0,$$

$$\ddot{x}_2 + 2\delta_2\dot{x}_2 + \nu_2^2 x_2 + \alpha_{21}\ddot{x}_1 + \sum_{i=1}^n \alpha_{2i}\ddot{x}_{3i} = 0,$$

$$\ddot{x}_3 + 2\delta_3\dot{x}_{3i} + \nu_{3i}^2 x_{3i} + \alpha_{i2}\ddot{x}_2 = 0, \quad i = 1 \dots n,$$

где введены следующие эквивалентные сосредоточенные параметры: δ_2, δ_{3i} — эквивалентные коэффициенты затухания резонатора генератора и мод стабилизирующего ДР, $\delta_1(x_1)$ — нелинейное затухание активного элемента, ν_1, ν_2 — парциальные частоты резонатора генератора и промежуточного резонатора (ПР), ν_{3i} — парциальные частоты мод стабилизирующего резонатора.

Если расстройка между модами $\nu_{3k} - \nu_{3k \pm 1}$ больше полосы пропускания Δf_2 ПР или если Q_{3k} и $Q_{3k \pm 1}$ отличаются друг от друга больше чем на порядок, то можно ограничиться для каждой k -й моды резонатора рассмотрением обычной трехконтурной схемы. В таком приближении система (1) распадается на n независимых трехконтурных систем.