

НАБЛЮДЕНИЕ В СТРАТОСФЕРЕ ЗНАЧИТЕЛЬНОГО ПОТОКА НЕЙТРАЛЬНЫХ ГАЛАКТИЧЕСКИХ ЧАСТИЦ В ИНТЕРВАЛЕ ЭНЕРГИЙ 10^{13} – 10^{15} эВ

© 2019 г. И. С. Заярная*, Т. А. Ирхина

Физический институт им. П. Н. Лебедева РАН, Москва, Россия

Поступила в редакцию 15.04.2019 г.; после доработки 15.04.2019 г.; принята к публикации 15.04.2019 г.

Повторная обработка экспериментальных данных российско-японского баллонного эмульсионного эксперимента RUNJOB, выполненная с применением новой методики поиска галактических первичных частиц в событиях, идентифицированных как нуклон-ядерные взаимодействия, подтвердила первоначальный результат: отсутствие большого количества ($\sim 50\%$) треков налетающих частиц. Проведен сравнительный анализ событий с обнаруженным и необнаруженным первичным треком (по энергии, угловому распределению, глубине проникновения в РЭК). Обсуждается гипотеза о нейтральной компоненте в космических лучах на уровне экспонирования РЭК.

DOI: 10.1134/S0044002719050143

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день исследование состава и спектров галактических частиц в энергетической области, близкой к “излому” в спектре космических лучей, продолжается как в экспериментах, использующих наземные установки, так и “прямыми” наблюдениями в стратосфере и в околоземном космическом пространстве [1–4]. До сих пор нет ясного понимания природы “излома” спектра галактических частиц. Данные “прямых” экспериментов имеют особую ценность, поскольку в них ядра первичного космического излучения непосредственно регистрируются детекторами. Однако статистика протонных событий в “прямых” экспериментах в области энергии 10^{13} – 10^{15} эВ невелика. Российско-японский баллонный эксперимент RUNJOB (RUssia–Nippon JOint Balloon) проводился с 1995 г. по 1999 г. и был последним баллонным эмульсионным экспериментом, в котором накопленная статистика протонных событий сравнима с данными настоящих экспериментов в области энергии, примыкающей к “излому”. Общий фактор экспозиций рентгено-эмульсионных камер (РЭК) по 10 успешным полетам в стратосфере — $575 \text{ м}^2 \text{ ч}$. Количество событий для представления окончательного результата по спектру протонов в RUNJOB — 360 [5].

Детекторами в эксперименте были двусторонние ядерные и рентгеновские эмульсионные пленки размером $(40 \times 50) \text{ см}^2$ производства Fuji,

экспонировавшиеся примерно 6–7 сут на высоте $\sim 32 \text{ км}$ по трассе Камчатка–Вольск. Ядерная эмульсия является лидером среди детекторов заряженных релятивистских частиц по пространственному разрешению (2 частицы различимы на расстоянии 1 мкм). Это свойство ядерных эмульсий позволяет с высокой точностью проследить ядерно-электромагнитные каскады, первичные и вторичные частицы в нуклон-ядерных и ядро-ядерных взаимодействиях, зарегистрированных в РЭК. Заряд релятивистских частиц определяется по ионизации, производимой частицами в ядерной эмульсии. Зарядовое разрешение эмульсий составляет 0.2e и 1e для группы легких и тяжелых ядер соответственно, что в совокупности с точностью локализации треков позволяет надежно исследовать состав первичного космического излучения. В эксперименте было отмечено, что наблюдается только примерно 50% треков первичных протонов [6]. Предполагалось, что причиной этого может быть большой фон частиц, набираемый эмульсией за длительное время экспозиции РЭК, который затрудняет идентификацию однозарядных треков. Кроме того, входными частицами в нуклон-ядерных взаимодействиях могут быть вторичные нейтроны, образуемые первичными галактическими частицами в остаточной атмосфере на уровне экспозиции камеры. Однако детальный анализ этих факторов при повторной обработке данных по двум камерам RUNJOB’97 не объяснил отсутствия почти половины треков первичных частиц в событиях, отнесенных к протонным взаимодействиям [7], что привело к необходимости уве-

*E-mail: zayar@sci.lebedev.ru

личить статистику анализируемых взаимодействий, в том числе за счет мало энергичных событий, не вошедших в окончательный спектр протонов эксперимента RUNJOB. Для этого был разработан новый метод поиска и прослеживания частиц в ядерно-эмульсионных пленках, при использовании которого искались первичные частицы в событиях, зарегистрированных в камерах RUNJOB-3B, 6A, XI-A, B. В настоящей работе мы представляем суммарный результат повторной обработки взаимодействий, идентифицированных в эксперименте как нуклон-ядерные с энергией первичной частицы $E_0 > 12$ ТэВ и $E_0 > 20$ ТэВ, зарегистрированных в РЭК RUNJOB-3B, 6A, XI-A и РЭК RUNJOB-XI-B соответственно, с зенитным углом частицы в единицах $\text{tg}(\theta) \leq 5$, а также сравнительный анализ данных взаимодействий с найденным и необнаруженным треком первичной частицы.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ДАННЫЕ

Экспериментальный материал для повторного поиска первичной частицы был получен при обработке ядерных и рентгеновских эмульсионных пленок площадью 40×50 см² четырех РЭК — RUNJOB-3B, 6A, XI-A, B, экспонировавшихся в атмосфере на глубине ~ 10 г/см² в течение ~ 6 –7 сут в 1996, 1997, 1999 гг. соответственно. Геомагнитный порог обрезания космических частиц на широте экспонирования установки ~ 3 ГВ.

Конструкции камер отличались друг от друга (см. рис. 1), что позволяло использовать не только фотометрический метод для определения энергии первичной частицы, но и методы, связанные с углами разлета вторичных частиц. В эксперименте основным методом определения энергии, выделившейся в нейтральную компоненту во взаимодействиях галактических частиц в РЭК, был наиболее разработанный к тому времени фотометрический: по измерениям почернений (D) пятен на рентгеновских пленках, образованных частицами электромагнитного каскада, инициированного вторичными π^0 -мезонами, строились зависимости почернений от глубины проникновения каскада $D(t)$ в калориметре РЭК; экспериментальные зависимости $D(t)$ аппроксимировались расчетными каскадными кривыми, по максимуму которых определялась суммарная энергия электромагнитного каскада $\sum E_\gamma$ [6]. Переход к энергии первичной частицы E_0 осуществлялся по формуле $E_0 = C_\gamma \sum E_\gamma$, где C_γ — фактор конверсии, рассчитанный с использованием программы моделирования FRITIOF [6].

Глубина РЭК в единицах длины пробега взаимодействия протонов (λ_p) примерно около $0.4\lambda_p$. Толщина калориметра по вертикали около пяти каскадных единиц (t). Площадь каждой установки,

состоящей из двух одинаковых по структуре РЭК, 0.4 м².

При неупругом взаимодействии галактической частицы с ядрами вещества рентгено-эмульсионной камеры образуется струя вторичных частиц, в основном состоящая из пионов. Нейтральные π^0 -мезоны образуют в РЭК электрон-фотонный ливень, который регистрируется рентгеновскими пленками, расположенными в нижней части камеры — калориметре. Отбор событий для исследования состава и спектров галактических частиц, из всех зарегистрированных нуклон-ядерных и ядро-ядерных взаимодействий, осуществлялся по следующим критериям:

1. Суммарная энергия ($\sum E_\gamma$), выделившаяся в нейтральную компоненту вторичных частиц, превышает некоторое пороговое значение. Например, самый низкий энергетический порог отбора событий был для камер экспозиции RUNJOB'96 — $\sum E_\gamma \geq 1$ ТэВ, а самый высокий $\sum E_\gamma \geq 5$ ТэВ для RUNJOB'99.

2. Зенитный угол первичной частицы $\text{tg}(\theta) \leq 5$.

3. Траектория первичной частицы проходит через самую нижнюю эмульсионную пленку в калориметре.

4. Глубина камеры в каскадных единицах (t) от вершины взаимодействия до самой нижней пленки калориметра не меньше $4t$.

5. Вершина взаимодействия находится внутри РЭК.

Ядерно-электрон-фотонные каскады в виде пятен почернения, обнаруженные невооруженным глазом на рентгеновских пленках в калориметре, прослеживались снизу-вверх до вершины взаимодействий по ядерно-эмульсионным пленкам с использованием микроскопа с большим увеличением. В подавляющем большинстве событий вершина взаимодействия первичной частицы находилась либо в слоях пластика или железа, расположенных в мишени, либо в слоях свинца — в калориметре, что согласуется с общей толщиной различных слоев рентгено-эмульсионной камеры в единицах длины пробега взаимодействия нуклона (см. табл. 1).

Первичная частица искалась в ядерно-эмульсионной пленке, находящейся непосредственно над вершиной взаимодействия, по площади круга, радиус которого определялся ошибкой метода. Трек кандидата на первичную частицу прослеживался несколько слоев (2–3) вверх и должен был удовлетворять нескольким требованиям:

1. Отклонение измеренного значения азимутального и зенитного углов частицы, определяемых по величинам длин проекций трека в эмульсионных пленках, не должно превышать 3° .

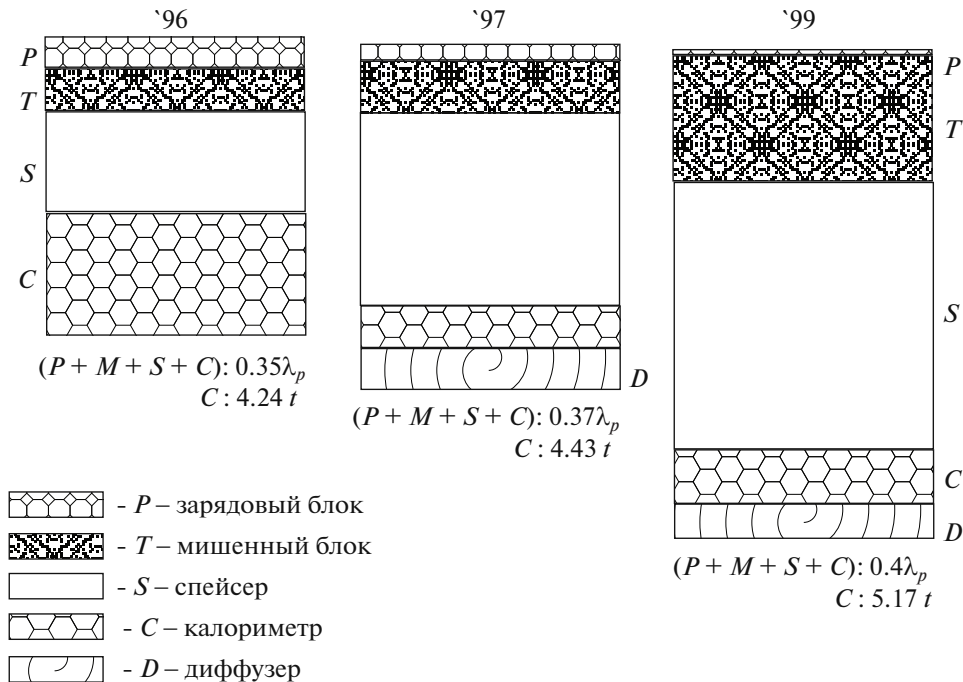


Рис. 1. Схема РЭК RUNJOB'96–99.

2. Ионизация, производимая частицей, на всех рассматриваемых слоях примерно одинакова.

3. Не должно быть систематического отклонения траектории движения частицы-кандидата за пределы точности рассчитанной траектории ядерно-электромагнитного каскада.

4. В слоях, где уже виден ливень, частица-кандидат ($Z > 2$) должна отсутствовать.

Координаты первичной частицы для отдельных событий определялись с точностью до нескольких микрон.

В рентгено-эмульсионных камерах RUNJOB-3B, 6A, XI-A и RUNJOB-XI-B зарегистрировано 58 событий, удовлетворяющих вышеприведенным критериям, с энергией первичной частицы $E_0 > 12$ ТэВ и $E_0 > 20$ ТэВ соответственно, зенитным углом первичной частицы в единицах $\text{tg}(\theta) < 5$, идентифицированных как нуклон-ядерные взаимодействия. Примерно в 50% данных взаимодействий трек однозарядной частицы не был обнаружен.

МЕТОДЫ ПОИСКА ПЕРВИЧНЫХ ЧАСТИЦ

Для всех 58 событий, составляющих протонную группу, применялись два метода поиска и прослеживания первичных галактических частиц в РЭК. Первоначально использовался метод триангуляции [7], основанный на измерении треков по крайней мере двух фоновых многозарядных ядер, расположенных близко к вершине взаимодействия,

на расстоянии нескольких сантиметров друг от друга. Точность локализации первичной частицы этого метода 20–50 мкм была достаточной, чтобы на фоне частиц, набираемых ядерной эмульсией при длительной экспозиции, однозначно идентифицировать ядра космического излучения с заря-

Таблица 1. Состав вещества РЭК RUNJOB-XI-A

| Секции РЭК RUNJOB-XI-A | Вещество пластин РЭК | Толщина, см | Пробег взаимодействия протона |
|------------------------|----------------------|-------------|-------------------------------|
| Первичный блок | 2 EmQ | 0.14 | 0.0027 |
| | 16 EmM | 1.472 | 0.0254 |
| | 2 EmH | 0.124 | 0.0023 |
| | 36 X(#200) | 0.81 | 0.0168 |
| Спейсер | 18 lucite 5.0 | 9 | 0.1389 |
| | 6 styro | 10.5 | 0.0017 |
| | 6 EmH | 0.372 | 0.0068 |
| Калориметр | 13 EmH | 0.806 | 0.0147 |
| | 1 EmI | 0.062 | 0.0011 |
| | 28 gl. paper | 0.084 | 0.0008 |
| | 14 Pb 2.0 | 2.8 | 0.1621 |
| | 28 X(#200) | 0.63 | 0.0131 |

дом $Z \geq 2$. Считалось, что если в области поиска первичной частицы нет ядер гелия (He) или более тяжелых ядер, то налетающей частицей во взаимодействии должен быть протон или нейтрон, образованный в процессе перезарядки в остаточной атмосфере над РЭК. Такие события идентифицировались как нуклон-ядерные взаимодействия и образовывали группу для исследования протонной компоненты космических лучей. В эксперименте наблюдалось примерно 50% треков первичных протонов. Нейтронов по расчетам [8], проведенным методом Монте-Карло с использованием моделей взаимодействия MC0 [9] и QGSJET (CORSIKA, версия 5.20)[10], в общем потоке протонов, пионов, каонов и нейтронов на наблюдаемом уровне должно быть не более 4% в интервале углов от 0° до 78° с энергией $E_0 > 20$ ТэВ. Отсутствие большого количества треков однозарядных первичных частиц в событиях, отнесенных к протонным, инициировало работу повторного поиска первичных частиц новым методом поиска и прослеживания галактических частиц в рентгено-эмульсионной камере.

В новом методе, подробно описанном в работе [11], также используются измерения треков вспомогательных многозарядных ($Z \geq 8$) фоновых ядер, но их близость к траектории первичной частицы по площади не более 1 см^2 . Привязка ядерно-эмульсионных слоев, где наблюдаются струя вторичных заряженных частиц и трек первичной частицы из взаимодействия, осуществляется в системе координат, связанной с одним из фоновых ядер, что позволяет автоматически учитывать поправки на смещения и повороты слоев в горизонтальной плоскости установки. Координаты и величины проекций трека первичной частицы рассчитываются по формулам (1) и (2) (см. ниже), выведенным в [11], в предположении, что толщина эмульсионного слоя, основы ядерной пленки и расстояние между эмульсионными пленками в пределах малой локальной области ($\sim 1 \text{ см}^2$) постоянны. Следует отметить, что измерения проводятся, как правило, на двух соседних ядерных пленках, поскольку в этом случае максимально удовлетворяется данное предположение.

$$\begin{cases} X_{\text{pr},j+1} = X_{\text{jet},j} + \frac{\Delta X_n P_{\text{jet},j} \sin(\beta_j)}{P_{n,j} \sin(\alpha_j)}, \\ Y_{\text{pr},j+1} = Y_{\text{jet},j} + \frac{\Delta Y_n (P_{b,j} - P_{\text{jet},j} \cos(\beta_j))}{(P_{b,j} - P_{n,j} \cos(\alpha_j))}, \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} L_{\text{pr},j+1} = \frac{L_{n,j+1} L_{\text{jet},j}}{L_{n,j}}, \\ P_{\text{pr},j+1} = \frac{P_{n,j+1} P_{\text{jet},j}}{P_{n,j}}, \end{cases} \quad (2)$$

где индекс i указывает на тип частицы (первичная частица (pr), струя вторичных частиц (jet), фоновые ядра (b, n)); j — номер эмульсионной пленки; $(X_{i,j}; Y_{i,j})$, $L_{i,j}$, $P_{i,j}$ — координаты треков измеряемых частиц и длины их проекций в эмульсии и основе ядерных эмульсионных пленок соответственно; α_j — азимутальный угол одного из фоновых ядер; β_j — азимутальный угол струи вторичных частиц; ΔX_n , ΔY_n — разница между измеренными значениями координат трека фонового ядра в j и $j + 1$ эмульсионных пленках.

Поиск первичной частицы проводится сканированием ядерной эмульсии по площади круга с центром в точке с предсказанными координатами частицы по формулам (1) и радиусом $R = 3\delta = 3((\delta_x)^2 + (\delta_y)^2)^{1/2}$, где δ_x , δ_y — индивидуальные ошибки предсказания координат первичной частицы. Частица-кандидат на первичную должна удовлетворять тем же требованиям, что и в первоначальном методе.

Экспериментальная среднеквадратичная ошибка (σ) нового метода предсказания координат первичной частицы составляет $\sigma = 31 \text{ мкм}$ [12].

РЕЗУЛЬТАТЫ ПОИСКА ТРЕКОВ ПЕРВИЧНЫХ ПРОТОНОВ

По суммарной обработке четырех рентгено-эмульсионных камер RUNJOB-3B, 6A, XI-A, В экспозиций 1996–1999 гг. получено:

1. Из 58 событий, идентифицированных как нуклон-ядерные взаимодействия, с энергией, выделившейся в электромагнитную компоненту $\sum E_\gamma \geq 3$ ТэВ и $\sum E_\gamma \geq 5$ ТэВ, зарегистрированных в РЭК RUNJOB-3B, 6A, XI-A и RUNJOB-XI-B соответственно, обработанных с применением двух независимых методов поиска и прослеживания треков галактических частиц в ядерных эмульсиях РЭК, трек первичного протона наблюдается в 28 событиях. В 26 событиях трек первичной частицы не обнаружен. Соотношение между количеством найденных треков первичных частиц и отсутствующих для каждой РЭК RUNJOB-3B, 6A, XI-A, В следующее: 12/8, 6/8, 7/7, 3/3. В четырех событиях определенно сказать о наличии или отсутствии трека однозарядной частицы нельзя из-за дисторсии в эмульсии, однако кандидат с зарядом $Z \geq 2$ отсутствует в области поиска.

2. Зенитно-угловые распределения частиц $dN/d(\cos(\theta))$ в группах с найденным и отсутствующим в области поиска треком первичной частицы различаются по форме. Как видно из рис. 2, угловое распределение с наблюдаемыми треками протонов, как и ранее полученное на меньшей статистике [13], близко к изотропному, что

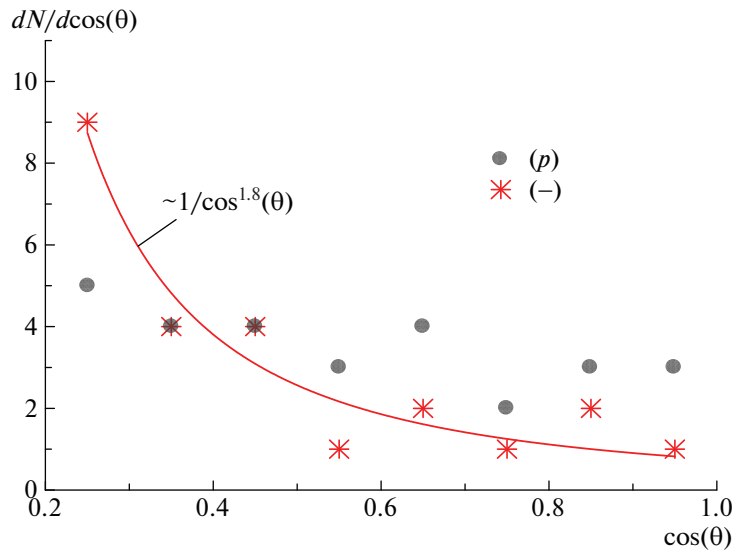


Рис. 2. Зенитно-угловые распределения событий, идентифицированные как нуклон-ядерные взаимодействия. Точки: * — события с необнаруженным входящим треком (-), • — события с наблюдаемым треком протона (p).

ожидаемо на уровне экспозиции РЭК. Для событий с отсутствующим треком первичной частицы угловое распределение аппроксимируется функцией, близкой к $\sim 1/\cos^{1.8}(\theta)$.

3. Средние значения энергии, выделившейся в электромагнитную компоненту, для событий с наблюдаемым треком $\langle \sum E_\gamma(p) \rangle$ и отсутствующим $\langle \sum E_\gamma(-) \rangle$ различаются примерно в 1.5 раза: $\langle \sum E_\gamma(p) \rangle \cong 9.29$ ТэВ, $\langle \sum E_\gamma(-) \rangle \cong 14.73$ ТэВ.

4. Средние значения глубины проникновения первичной частицы в РЭК в единицах пробега взаимодействия нуклона для событий с наблюдаемым треком $\langle \lambda_p \rangle$ и отсутствующим $\langle \lambda_{(-)} \rangle$ различаются примерно в 2 раза: $\langle \lambda_p \rangle \cong 0.14$, $\langle \lambda_{(-)} \rangle \cong 0.3$.

ОБСУЖДЕНИЕ

В эксперименте зенитно-угловое распределение космических частиц на уровне наблюдения (t) описывается функцией [6]

$$F(\theta)d \cos \theta = \cos \theta e^{-\left(\frac{1}{\cos \theta}-1\right)t/\lambda} d \cos \theta,$$

где λ — пробег взаимодействия частицы. Поскольку глубина экспонирования РЭК RUNJOB в стратосфере примерно 10 г/см², то для первичных протонов, падающих на установку, $F(\theta) \sim \cos(\theta)$. Число наблюдаемых частиц N_{obs} в рентгено-эмульсионной камере площадью S за время T в единице телесного угла Ω равно [6]:

$$N_{\text{obs}} = I_{\perp}(t) T \iint_S dx dy \iint_{\Omega \leq 2\pi} P(x, y; \theta; \varphi) \times \cos \theta e^{-\left(\frac{1}{\cos \theta}-1\right)t/\lambda} d \cos \theta d \varphi,$$

где $I_{\perp}(t) = I_0 e^{-t/\lambda}$ — интенсивность космических частиц на глубине атмосферы t в вертикальном направлении к плоскости камеры; $P(x, y; \theta, \varphi)$ — вероятность регистрации частиц в РЭК, падающих на нижнюю поверхность установки в точке с координатами (x, y), зенитным и азимутальным углами θ и φ.

По расчетам зенитно-угловое распределение регистрируемых протонов почти не зависит от cos(θ), что мы и видим на рис. 2 для событий с наблюдаемым треком протона. Для потока нейтронов, падающих на установку, распределение по зенитному углу почти константа [8]. Если оценить зависимость числа регистрируемых установкой нейтронов от зенитного угла по формуле

$$N_{\text{reg}} = I_0 T \iint_S dx dy \iint_{\Omega \leq 2\pi} P_{\text{reg}}^n \cos \theta \times \left(1 - e^{-\frac{t}{\lambda \cos \theta}}\right) \left(1 - e^{-\frac{H}{\Lambda \cos \theta}}\right) d \cos \theta d \varphi,$$

где H — глубина установки, Λ — пробег для взаимодействия частицы в РЭК, P_{reg}^n — вероятность регистрации нейтронов установкой,

то

$$\frac{dN_{\text{reg}}^n}{d \cos \theta} \sim \frac{1}{\cos \theta},$$

поскольку

$$\left(1 - e^{-\frac{t}{\lambda \cos \theta}}\right) \frac{\lambda}{t} \approx \frac{1}{\cos \theta}$$

и

$$\left(1 - e^{-\frac{H}{\Lambda \cos \theta}}\right) \frac{\Lambda}{H} \approx \frac{1}{\cos \theta}.$$

При аппроксимации экспериментальных точек зенитно-углового распределения событий с ненаблюдаемым входящим треком степенной функцией вида $y = ax^b$ с использованием метода наименьших квадратов получается зависимость $\sim \cos^{-1.8}(\theta)$, которая отличается от оценочной и может объясняться недостаточной статистикой данных.

Как было сказано выше, расчетный поток вторичных нейтронов на уровне экспонирования рентгено-эмульсионных камер не объясняет всего количества событий с отсутствующим треком налетающей частицы. Следует отметить, что в одном событии, зарегистрированном в камере RUNJOB-XI-A с энергией, выделившейся в электромагнитную компоненту $E_\gamma = 4.11$ ТэВ, вершина взаимодействия оказалась в основе двухсторонней ядерно-эмульсионной пленки. В этом случае первичная частица должна наблюдаться на верхнем эмульсионном слое без вычисления поправок на расстояние между слоями камеры. Однако трек первичной частицы отсутствовал в области поиска. Если предположить, что первичная частица в этом взаимодействии — нейтрон, то с учетом угла падения частицы на РЭК относительный поток нейтронов на уровне экспонирования камеры $P_n < 9\%$. Вероятность взаимодействия нуклона в основе ядерно-эмульсионной пленки на порядок меньше, чем в других слоях РЭК (см. табл. 1), поэтому вероятность наблюдения нейтрона по данной экспозиции РЭК близка к нулю. Возможно, первичная нейтральная частица в этом событии принадлежит к значительному потоку нейтральных частиц на уровне экспонирования установки.

Распределение вершин нуклон-ядерных взаимодействий внутри камеры должно быть равномерным, поскольку общая толщина РЭК около 0.4 длины пробега взаимодействия нуклона. Однако при сравнении глубины проникновения первичных частиц до взаимодействия в РЭК в исследуемых группах событий получилось различие примерно в 2 раза: частицы с ненаблюдаемым треком глубже проникли в камеру по сравнению с протонами. Этот результат сохраняется, если выделить события с углами больше 60° , где имеется самое большое различие в зенитно-угловом распределении групп.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Статистика обработанных новым методом взаимодействий, идентифицированных как нуклон-ядерные, невелика, но результат повторной обработки подтверждает отсутствие треков налетающих частиц в большом количестве событий ($\sim 50\%$). Т.е. при применении двух независимых методик получен одинаковый результат, что согласуется с ранее полученным в работе [7] выводом: ненахождение большого количества

треков первичных частиц в событиях, отнесенных в эксперименте в протонную группу, не объясняется методическими причинами. В частности, гипотеза о значительном влиянии фона частиц, набираемого ядерной эмульсией при ее длительной экспозиции, на идентификацию однозарядной первичной частицы не подтвердилась, поскольку вторичные заряженные пионы из зарегистрированных нуклон-ядерных и ядро-ядерных взаимодействий прослеживаются в ядерно-эмульсионных камерах РЭК с эффективностью, близкой к 100%.

Первичная частица должна наблюдаться в пределах области поиска, определяемой ошибкой метода, но экспериментальная точность предсказания координат трека первичной частицы в двух методах (20–50 мкм) достаточна, чтобы выделить из фона ядра с зарядом $Z \geq 2$, т.е. надежно идентифицировать нуклон-ядерные взаимодействия. В эксперименте наблюдается повторяемость отсутствия большого количества первичных однозарядных треков в событиях, идентифицированных как нуклон-ядерные взаимодействия, зарегистрированных в РЭК всех экспозиций, что может указывать на физическую причину экспериментального результата.

По характеристикам групп взаимодействий с наблюдаемым треком протона и отсутствующим входящим треком (энергия, глубина проникновения первичной частицы в камеру, зенитно-угловое распределение частиц) наблюдается различие, которое требует дополнительного теоретического анализа и статистики событий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. W. D. Apel, J. C. Arteaga-Velázquez, K. Bekka, M. Bertaina, J. Blümer, H. Bozdog, I. M. Brancus, P. Buchholz, E. Cantoni, A. Chiavassa, F. Cossavella, K. Daumiller, V. de Souza, F. Di Pierro, P. Doll, R. Engel, *et al.*, *Astropart. Phys.* **36**, 183 (2012).
2. Y. S. Yoon, T. Anderson, A. Barrau, N. B. Conklin, S. Coutu, L. Derome, J. H. Han, J. A. Jeon, K. C. Kim, M. H. Kim, H. Y. Lee, J. Lee, M. H. Lee, S. E. Lee, J. T. Link, A. Menchaca-Rocha, *et al.*, *ApJ* **839**, 5 (2017).
3. E. Atkin, V. Bulatov, V. Dorokhov, S. Filippov, N. Gorbunov, V. Grebenyuk, D. Karmanov, I. Kovalev, I. Kudryashov, A. Kurganov, M. Merkin, A. Panov, D. Podorozhny, D. Polkov, S. Porokhovoy, V. Shumikhin, *et al.*, *Astropart. Phys.* **90**, 69 (2017).
4. E. S. Seo, T. Anderson, D. Angelaszek, S. J. Baek, J. Baylon, M. Buènerd, M. Copley, S. Coutu, L. Derome, B. Fields, M. Gupta, J. H. Han, I. J. Howley, H. G. Huh, Y. S. Hwang, H. J. Hyun, *et al.*, *Adv. Space Res.* **53**, 1451 (2014).
5. V. A. Derbina *et al.* (RUNJOB Collab.), in *Proceedings of 29th ICRC, Pune, India* (2005), 3, 101.

6. A. V. Apanasenko, V. A. Sukhadolskaya, V. A. Derbina, M. Fujii, V. I. Galkin, G. G. Getsov, M. Hareyama, M. Ichimura, S. Ito, E. Kamioka, T. Kitami, T. Kobayashi, V. D. Kolesnikov, V. Kopenkin, N. M. Kotunova, S. Kuramata, *et al.*, *Astropart. Phys.* **16**, 13 (2001).
7. И. С. Заярная, *ЯФ* **71**, 299 (2008) [*Phys. At. Nucl.* **71**, 280 (2008)].
8. В. А. Березовская, В. И. Галкин, Р. А. Мухамедшин, И. В. Ракобольская, Т. М. Роганова, Л. Г. Свешникова, И. В. Яшин, Препринт НИИЯФ МГУ-97-43/494 (Москва, 1997) [V. A. Berezovskaya, V. I. Galkin, R. A. Mukhammedshin, I. V. Rakobolskaya, T. M. Roganova, L. G. Sveshnikova, I. V. Yashin, Preprint INP MSU 97-43/494 (Moscow, 1997)].
9. R. A. Mukhammedshin and G. F. Fedorova, *Bull. Soc. Sci. Lett. Lodz, Ser. Rech. Def XVI*, 137 (1994).
10. Н. Н. Калмыков, С. С. Остапченко, *ЯФ* **56**(3), 105 (1993) [*Phys. At. Nucl.* **56**, 346 (1993)].
11. И. С. Заярная, Препринт № 1, ФИАН (Москва, 2010).
12. И. С. Заярная, Краткие сообщения по физике ФИАН **11**, 29 (2013) [*Bull. Lebedev Phys. Inst.* **40**(11), 322 (2013)].
13. I. S. Zayarnaya and T. A. Irkhina, in *Proceedings of ISVHECRI, Moscow, 2017*; *EPJ Web Conf.* **145**, 19011 (2017).

THE OBSERVATION IN THE STRATOSPHERE OF THE SIGNIFICANT FLOW OF NEUTRAL GALACTIC PARTICLES AT THE ENERGY RANGE 10^{13} – 10^{15} eV

I. S. Zayarnaya and T. A. Irkhina

P. N. Lebedev Physical Institute of RAS, Moscow, Russia

The retreatment of data from the RUNJOB experiment (RUSSIA–NIPPON JOINT BALLOON) by using the new method for searching for galactic primary particles in events identified as nucleon–nuclear interactions, confirmed the initial result: the absence of a large number (~50%) of the tracks of incident particles. A comparative analysis of these events with the observed and absent incident track (in terms of energy, angular distribution, depth of penetration into the stratospheric X-ray emulsion chambers (REC)) was carried out. The hypothesis of a neutral component in cosmic rays at the level of exposure of REC is discussed.