

**СТРАТОСФЕРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭФФЕКТА
ВЫСТРОЕННОСТИ В ЯДЕРНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ
ЧАСТИЦ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ ПРИ $\sqrt{s} > 6$ ТЭВ**

А. С. Борисов¹, В. Г. Денисова¹, К. А. Котельников¹, В. С. Пучков¹,
Ю. А. Трубкин¹, А. В. Варгасов², Р. А. Мухамедшин²

Обсуждается проект эксперимента по облучению частицами первичных космических лучей во время циркулярных полетов вокруг Северного полюса стратосферных фотоэмульсионных камер для изучения химического состава первичных космических лучей и изучения эффекта выстроенности при энергиях $\sim 10^{16}$ эВ.

Ключевые слова: эффект выстроенности в ядерных взаимодействиях, рентгеноэмульсионные камеры, стратосферные исследования в космических лучах.

Регистрация на ЛНС коррелированных пар частиц в ядерных взаимодействиях протонов высокой энергии [1] и теоретический анализ таких событий, возможно, позволит понять наблюдаемую в космических лучах при высоких энергиях ($> 10^{16}$ эВ) азимутальную анизотропию в разлете вторичных частиц [2]. Этот эффект в последующем получил название выстроенность [3–5]. Эффект выстроенности (alignment) вторичных частиц при столь высоких энергиях состоит в том, что разлет генерированных в ядерном взаимодействии частиц происходит в очень узком диапазоне азимутальных углов, т.е. наблюдается труднообъяснимая очень жесткая корреляция в разлете возбужденной ядерной материи. На рис. 1 приведена фотография рентгеновской пленки экспериментальной стратосферной установки, на которой видны каскады центральной части воздушного семейства вторичных частиц [2], образованных в результате неупругого взаимодействия с ядром атома воздуха первичной частицы космического излучения с энергией, равной приблизительно $2 \cdot 10^{16}$ эВ. На фотографии отчетливо видна азимутальная асимметрия разлета частиц узкого конуса события. Критерий выстроенности

¹ Институт ядерных исследований РАН.

² Учреждение Российской академии наук Физический институт им. П. Н. Лебедева РАН, 119991, Москва, Ленинский пр-т, 53.

Λ [3–6], рассчитанный для данного события, оказался больше 0.9, а вероятность наблюдения такой анизотропии из-за возможных флуктуаций в углах разлета вторичных частиц не превышает 0.03% [7].

Как было показано в работах [3, 4], выстроенность начинает проявляться при энергиях первичных частиц космических лучей выше 10^{16} эВ, и этот эффект определяется вторичными частицами, имеющими большие энергии и большие поперечные импульсы.

Существующие теоретические модели ядерных взаимодействий не в состоянии в сколько-нибудь полной мере дать физическое объяснение наблюдаемому эффекту. Скорее всего в данном случае проявляется неизвестное до настоящего времени фундаментальное свойство материи. Поэтому представляется весьма целесообразным в ближайшие 2–3 года провести в стратосфере исследования, нацеленные на получение экспериментальных данных по воздушным семействам, в которых фон от каскадных процессов в атмосфере не мешал бы анализировать эффект выстроенности.

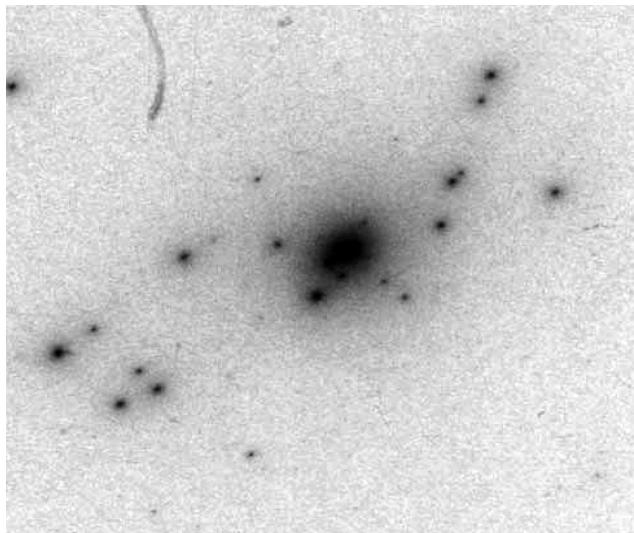


Рис. 1: В центральной части фотографии рентгеновской пленки видна азимутальная асимметрия каскадов от частиц узкого конуса ядерного взаимодействия с энергией $\sim 2 \cdot 10^{16}$ эВ, которое произошло в стратосфере на расстоянии ~ 50 метров над установкой. Рентгеновская пленка при экспозиции находилась под свинцом на глубине 8 каскадных единиц. На оси ливня видно большое пятно от гало, созданного лидирующей частицей события.

В настоящее время вся мировая статистика так называемых “чистых” семейств содержит всего 2 события – одно стратосферное событие зарегистрировано сотрудниками

ФИАН [2], другое – физиками Франции [5]. В рамках обсуждаемой программы предполагается провести ~ 10 месячных полетов аэростатов по циркумполярным трассам вокруг Северного полюса. Высота полета должна быть небольшой, около 20 км, с тем, чтобы можно было получить достаточную для физического анализа статистику ядерных взаимодействий частиц первичного космического излучения.

На рис. 2 схематично показана стратосферная установка, которая представляет собою тонкую рентген-эмульсионную камеру (РЭК). Камеры предполагается облучать ядрами сверхвысоких энергий первичных космических лучей в стратосфере при проведении циркумполярных полетов аэростатов вокруг Северного полюса.

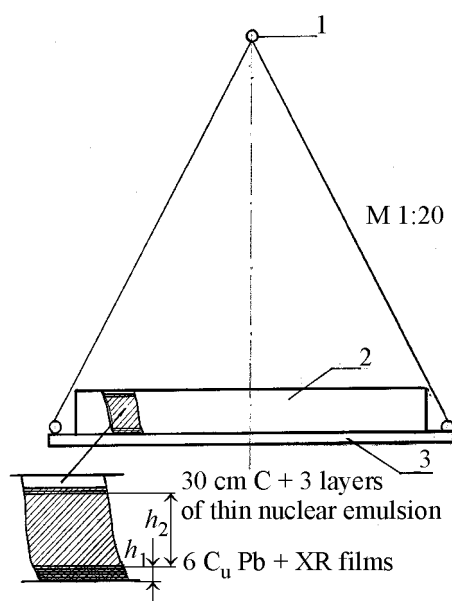


Рис. 2: 1 – узел подвески; 2 – РЭК; в разрезе рентген-эмульсионной камеры показано легкое вещество (оргстекло) толщиной $h_2 = 30$ см ($\sim 0.3 \lambda_{j.b.}$), в верхней части которого расположены 3 слоя тонкослойной ядерной эмульсии. Под оргстеклом – 6 слоев свинца, переложенных рентгеновской пленкой толщиной $h_1 = 3$ см; 3 – платформа.

Исходные параметры, которые были использованы для оценки вероятности регистрации стратосферных семейств:

1. $I(> 10^{16} \text{eV}) = 4 \cdot 10^{-5} 1/m^2 \text{h ster}$;
2. $S = 7 \text{ m}^2$;
3. $P = 5000 \text{ kg}$;
4. $\rho_1 = 11 \text{ g/cm}^3 - \text{Pb}$;
5. $h_1 = 3 \text{ cm} - 6 C_u$;

6. $\rho_2 = 1 \text{ g/cm}^3$ – light material;
7. $h_2 = 30 \text{ cm} \approx 0.3\Lambda_{\text{in}} - 0.5 C_u$;
8. $\Delta\Omega = 2$;
9. $T = 1 \text{ месяц} \approx 700 \text{ h}$.

При таких исходных параметрах расчета для одномесечного циркумполярного полета аэростата вероятность регистрации стратосферного семейства, энергия первичной частицы которого выше $> 10^{16}$ эВ, составляет всего $2 \cdot 10^{-1}$. Если окажется возможным провести 10 полетов камер проекта, то можно рассчитывать на то, что будет зарегистрировано 2 стратосферных семейства, энергии которых выше 10^{16} эВ. Кроме этого, в камерах будет зарегистрировано около 200 семейств с энергиями выше 10^{15} эВ. Такая статистика событий позволит не только подтвердить или опровергнуть гипотезу существования выстроенности, но в случае ее подтверждения определить энергетический порог этого эффекта.

Кроме выстроенности, экспериментальный материал, полученный при проведении 10 полетов стратосферных рентген-эмульсионных камер, позволит определить химический состав первичных космических лучей в области перегиба энергетического спектра (при энергиях $\approx 10^{15}$ эВ). Такие измерения можно проводить для ядер первичного излучения, проскочивших до камер без взаимодействия в остаточной атмосфере и испытавших взаимодействие в слое легкого вещества, который располагается над свинцовыми пластинами. Если окажется возможным проложить верхние слои легкого вещества камеры 2–3 пленками тонкослойной ядерной фотоэмульсии, то можно будет определять Z первичных ядер прямым методом по производимой ими ионизации.

Характеристики аэростатов, которые были заложены в расчете статистики событий, являются практически штатными. Но для проведения запусков было бы полезно воспользоваться стартовым оборудованием центра Кируна (Швеция). Проводить такие работы в Кируне, по-видимому, вполне реально, учитывая тот факт, что между Россией и Швецией существует межправительственное рамочное соглашение о совместных исследованиях в стратосфере.

Л И Т Е Р А Т У Р А

- [1] The CMS Collaboration Observation of Long-Range, Near-Side Angular Correlation in Proton-Proton Collisions at the LHC. arXiv:1009.4122v1 [hep-ex] 21Sep 2010.
- [2] А. В. Апанасенко, Н. А. Добротин, Л. А. Гончарова и др., Proc. 15th ICRC **7**, 220 (1977); А. В. Апанасенко, В. В. Гусева, А. А. Горячих, Изв. АН СССР, сер. физич. **44**, 463 (1980).

- [3] V. S. Puchkov, *IL Nuovo Cimento* **19**, 1011 (1996).
- [4] A. S. Borisov, V. M. Maximenko, and V. S. Puchkov, *Физика Элементарных Частиц и Атомного Ядра* **36**(5), 1227 (2005).
- [5] J. N. Capdevielle, *J. Phys. G* **14**, 503 (1988).
- [6] J. N. Capdevielle et al., in *Proc. 30th Int. Cosmic Ray Conf., HE Merida* **120**, 651 (2007).
- [7] А. К. Манагадзе, В. И. Оседло, В. И. Галкин и др., *Письма в ЭЧАЯ*, № 3[112], 19 (2002).

Поступила в редакцию 13 декабря 2010 г.