
ФИЗИКА

PHYSICS

УДК 524.354
ББК 22.632.5
X 70

Хоконов А.Х.

Доктор физико-математических наук, профессор кафедры физики конденсированного состояния физического факультета, заведующий лабораторией астрофизики и физики нейтрино Кабардино-Балкарского государственного университета им. Х.М. Бербекова, тел. (8662) 77-51-11, e-mail: apcr@kbsu.ru

Масаев М.Б.

Ведущий инженер кафедры физики конденсированного состояния физического факультета Кабардино-Балкарского государственного университета им. Х.М. Бербекова, тел. (8662) 77-51-11

Конов М.З.

Студент 5 курса физического факультета Кабардино-Балкарского государственного университета им. Х.М. Бербекова, тел. (8662) 77-51-11

Результаты двухлетнего экспонирования эмульсионной камеры высокогорного Эльбрусского спектрометра (Рецензирована)

Аннотация

Представлен результат двухлетней экспозиции малой эмульсионной камеры на высоте 3850 м («Ледовая база», склон Эльбруса). На основе подсчета количества треков, образованных космическими лучами в эмульсии определено, что поток протонов на данном уровне составляет $3,410^{-5} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$.

Ключевые слова: *протоны, космические лучи, ядерные излучения, ядерная эмульсия, камера.*

Khokonov A.Kh.

Doctor of Physics and Mathematics, Professor of the Department of Physics of Condensed State at Physics Faculty, Head of Astrophysics and Physics of Neutrino Laboratory of Kabardin-Balkar State University named after Kh.M. Berbekov, ph. (8662) 77-51-1, e-mail: apcr@kbsu.ru

Masaev M.B.

Leading engineer of Department of Physics of the Condensed Condition of Physical Faculty, Kabardin-Balkar State University named after Kh.M. Berbekov, ph. (8662) 77-51-11

Konov M.Z.

Fifth-year student of Physical Faculty, Kabardin-Balkar State University named after Kh.M. Berbekov, ph. (8662) 77-51-11

Results of two-year exposition of emulsion chamber of Elbrus high-mountainous spectrometer

Abstract

The paper discusses the result of a two-year exposition of a small emulsion chamber at an elevation of 3850 m («Ice Base», a slope of Elbrus). On the basis of calculation of quantity of the tracks formed by space beams in an emulsion, the stream of protons at this level was determined to be $3,410^{-5} \text{ cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$.

Key words: *protons, space beams, nuclear radiations, a nuclear emulsion, the chamber.*

Метод регистрации ядерных излучений с помощью специальных фотоэмульсий имеет широкое применение в исследовании космических лучей [1]. Так, в эксперименте «Памир» [2] используется рентгеновская эмульсия большой площади для регистрации космических лучей в диапазоне энергий 10^{13} – 10^{17} эВ. В 2007 году в лаборатории Астрофизики и физики космических лучей КБГУ была разработана и изготовлена малая ядерная эмульсионная камера весом 5 кг. Камера была установлена на высоте 3850 м над уровнем моря («Ледовая база»). В сентябре 2009 года пластинки с эмульсией были извлечены из камеры и проявлены. Результат обработки двухлетнего экспонирования представлен в настоящей работе.

С целью прямого измерения интегрального потока адронной компоненты космических лучей (КЛ) на склонах Эльбруса, была изготовлена эмульсионная камера малого объема, показанная на рисунке 1.

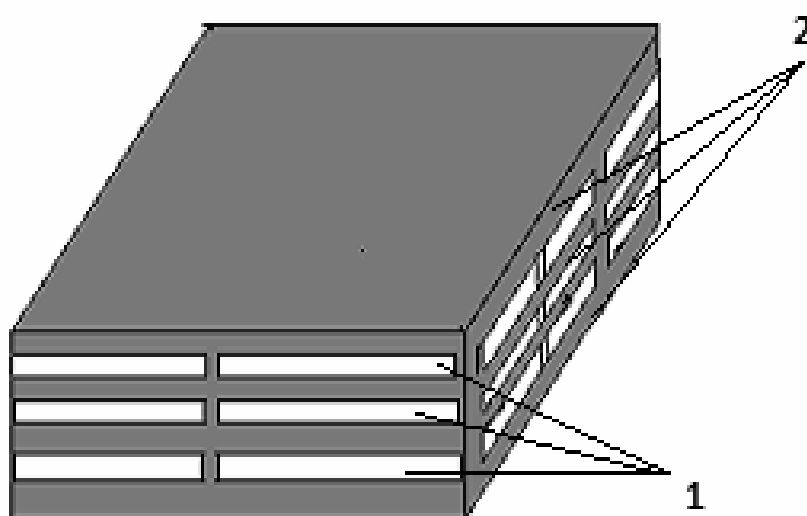


Рис. 1. Схема эмульсионной камеры: 1 – пластинки с ядерной эмульсией; 2 – листы свинца (локальные генераторы вторичных протонов)

Камера состоит из 4-х свинцовых листов толщиной 0,5 см площадью $12 \times 18 \text{ см}^2$, переложенных тремя слоями стеклянных пластинок с ядерной эмульсией толщиной 10 мкм. Свинец выполняет роль локального генератора вторичных протонов.

Для определения потока протонов, падающих на эмульсионную камеру, анализировалось количество треков на единицу площади в самом нижнем слое фотопластинок, над которым находилось 1,5 см свинца. С помощью бинокулярного микроскопа АУ-26 было просмотрено 900 полей зрения. При увеличении в 440^{\times} раз площадь ΔS одного поля зрения составила $220 \times 150 \text{ мкм}^2$. Характерная микрофотография представлена на рисунке 2.

Вероятность взаимодействия протона КЛ с ядрами мишени, ведущая к образованию адронного каскада связана с сечением σ соотношением

$$w = \frac{N_1}{N} = n\sigma x, \quad (1)$$

где N_1 – число провзаимодействовавших протонов, n – плотность ядер мишени, N –

полное количество протонов падающих на мишень площадью S за время экспозиции T .

$$N = jST, \quad (2)$$

где j – плотность потока протонов КЛ, S – поперечная площадь мишени.

$$n = \frac{\rho}{\mu} N_A. \quad (3)$$

Длина ядерного взаимодействия протона с материалом мишени связана с σ и n соотношением

$$\lambda = \frac{1}{n\sigma}. \quad (4)$$

Для свинца $\lambda=9$ см (80 г/см²), что соответствует сечению $\sigma=3,2$ барна.

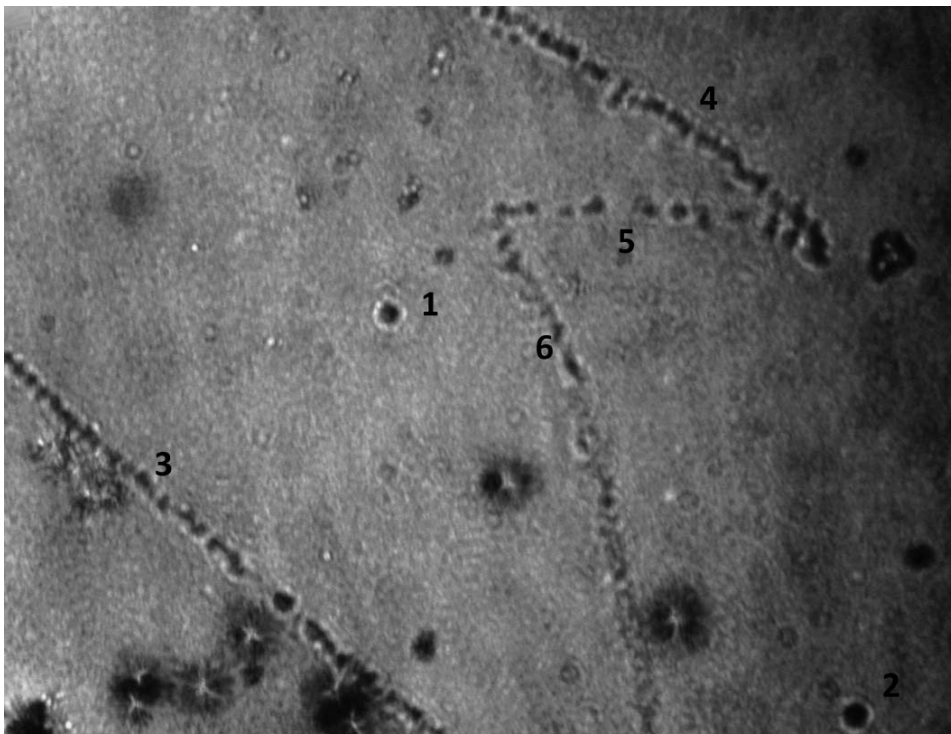


Рис 2. Фотография одного поля зрения микроскопа:
1, 2 – следы протонов, прошедших по нормали к плоскости пластинки;
3, 4 – треки протонов в плоскости пластинки

Из соотношения 1 следует, что число провзаимодействовавших протонов N_1 равно

$$N_1 = j\sigma MT, \quad (5)$$

где M – масса мишени, μ – молярная масса.

Таким образом, плотность потока протонов КЛ равна

$$j = \frac{N_1 \mu}{TM} \cdot \frac{1}{N_A \sigma}. \quad (6)$$

Установим приближенно связь между полным количеством треков N_t на фотопластинке и числом протонов, провзаимодействовавших с материалом мишени N_1 . Результатом взаимодействия протона с ядром мишени будут вторичные протоны и нейтроны, α -частицы и более тяжелые фрагменты ядра, а также π -мезоны. Сквозь толщину свинца до фотопластинки дойдут протоны, нейтроны и π -мезоны. При этом нейтроны и π^0 -мезоны треков в эмульсии не оставят. Плотность почернения для протонов будет заметно выше, чем для π^\mp -мезонов.

Это означает, что достаточно знать среднюю кратность \bar{m} образования вторичных протонов. Для толщины свинцового генератора h средняя по энергии КЛ кратность $\bar{m}(h)$ определяется сверткой множественности $m(E, h)$ с энергетическим спектром КЛ $f(E)$.

$$\bar{m}(h) = \frac{\int m(E, h) f(E) dE}{\int f(E) dE}. \quad (7)$$

Плотность треков протонов на единицу площади фотопластинки можно оценить из соотношения

$$\rho = \frac{N_t}{S} = \frac{\tilde{N}_t}{\tilde{S}}, \quad (8)$$

где N_t – полное количество треков протонов на фотопластинке площадью S , \tilde{N}_t – число треков приходящихся на просмотренную в микроскоп площадь \tilde{S} . Обозначим через N_f – полное количество просмотренных полей зрения, а через ΔS – площадь одного поля зрения. Тогда, просмотренная площадь равна

$$\tilde{S} = N_f \Delta S. \quad (9)$$

Полное количество треков \tilde{N}_t получается суммированием по всем просмотренным полям зрения.

$$\tilde{N}_t = \sum_{i=1}^{N_f} k_i, \quad (10)$$

где k_i – количество треков найденных в i -м поле зрения.

Таким образом, полное количество треков приближенно равно

$$N_t = \frac{\tilde{N}_t}{\tilde{S}} S = \left(\frac{1}{N_f} \sum_{i=1}^{N_f} k_i \right) \frac{S}{\Delta S}. \quad (11)$$

Количество первичных протонов, провзаимодействовавших со слоем свинца, связано с полным количеством треков на пластинке N_t приближенным соотношением

$$N_1 = \frac{N_t}{\bar{m}} = \left(\frac{1}{\bar{m}} \cdot \frac{\tilde{N}_t}{N_f} \right) \cdot \frac{S}{\Delta S}. \quad (12)$$

Плотность потока протонов j , падающих на эмульсионную камеру, получается подстановкой соотношения (12) для количества ядерных взаимодействий N_1 в формулу для потока (6). Проведем подстановку, полагая что средняя кратность \bar{m} [3] для толщины свинца 1,5 см равна 2, масса M вещества над одной пластинкой площадью $S=54 \text{ см}^2$ составляет 912 г, площадь одного поля зрения равна $\Delta S = 3 \cdot 10^{-4} \text{ см}^2$, количество просмотренных полей $N_f = 900$, число зарегистрированных протонов $N_t = 945$. В результате подстановки получаем, что поток протонов, падающих на камеру на высоте 3850 м, составляет $j = 3,4 \cdot 10^{-5} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$.

Применяемый метод позволяет определить интегральный поток протонов, при этом точность метода зависит от правильности оценки величины средней кратности протонов для заданной толщины свинца, находящегося над экспонируемой пластиной.

Примечания:

1. Пауэлл С., Фаулер П., Перкинс Д. Исследование элементарных частиц фотографическим методом. М.: Изд-во иностр. лит., 1962. 750 с.
2. Ракобольская И.В., Копенкин В.В., Мангадзе А.К. Особенности взаимодействия адронов космических лучей сверхвысоких энергий. М.: Изд-во МГУ, 2000. 256 с.
3. Дорман Л.И. Экспериментальные и теоретические основы астрофизики космических лучей. М.: Наука, 1975. 402 с.

References:

1. Powell C., Fowler P., Perkins D. The research of elementary particles by means of photographic method. M.: Foreign Literature Publishing house, 1962. 750 p.
2. Rakobolskaya I.V., Kopenkin V.V, Mangadze A.K. The special features of hadron interaction of ultrahigh energy space rays. M.: MSU Publishing house, 2000. 256 p.
3. Dorman L.I. The experimental and theoretical bases of astrophysics of space rays. M.: Nauka, 1975. 402 p.