

О ВОЗМОЖНОСТИ СУЩЕСТВОВАНИЯ ПАССИВНОГО СОСТОЯНИЯ БАРИОНА

Ю.А.Сморodin

На Лондонской конференции 1965 г. группа физиков Токийского института ядерных исследований сообщила [1] о наблюдении ими широкого атмосферного ливня с числом частиц около 10^5 , упавшего под зенитным углом $86 \pm 1/2$ градуса. Ливень этот представляется крайне интересным, так как он наблюдается под слоем атмосферы около 12000 г/см^2 . Авторами показано, что этот ливень, имеющий энергию [3-5] 10^{14} эв, возникает при ядерном взаимодействии, происходящем над установкой в слое толщиной 200 - 400 г/см^2 .

Авторы указывают, что при экспоненциальном поглощении нуклоны могут создавать такие события при регистрации их прибором с площадью $S = 100 \text{ м}^2$ и телесным углом $\Omega = 1$ один раз за 10^{36} лет. Ливни, обусловленные тормозным излучением мюонов, должны регистрироваться один раз за 10^5 лет. Не исключенной считается и возможность интерпретировать данное событие как ядерное взаимодействие мюонов с энергией $\sim 5 \cdot 10^{14}$ эв, но и при этом при самых оптимальных оценках частота наблюдения составляет 1 раз за 10 лет, в то время как длительность эксперимента составляла всего 3500 час.

Экспериментальная ситуация становится совершенно естественной, если допустить возможность перехода нуклона после взаимодействия в пассивное состояние [2]. Нетрудно рассчитать с указанной точки зрения угловое распределение нуклонов. Рассматривая поток частиц, идущих в атмосфере под зенитным углом θ , можно, пренебрегая флуктуациями коэффициента неупругости K для взаимодействий нуклонов первого поколения с потоком N_1 , написать уравнения, дающие изменение с глубиной x потока пассивных барионов первого поколения S_1 и нуклонов второго поколения N_2 .

$$\frac{\partial^2 S_1}{\partial x \partial E} (E, x, \vartheta) = \frac{1}{1-K} \frac{\partial N_1}{\partial E} \left(\frac{E}{1-K}, 0 \right) e^{-x} - \frac{\partial S_1}{\partial E} (E, x, \vartheta) \frac{\beta}{x}, \quad (1)$$

$$\frac{\partial^2 N_2}{\partial x \partial E} (E, x, \vartheta) = \frac{\partial S_1}{\partial E} (E, x, \vartheta) \frac{\beta}{x} - \frac{\partial N_2}{\partial E} (E, x, \vartheta), \quad (2)$$

где

$$\beta = 1/\rho_0 c \tau_0 \cos \vartheta (E/Mc^2). \quad (3)$$

В согласии с [2] мы полагаем в дальнейшем время жизни и массу пассивного бариона $\tau = 2 \cdot 10^{-10}$ сек, $Mc^2 = 10^9$ эв, а плотность атмосферы на высоте, соответствующей одному ядерному пробегу, $\rho_0 = 1,2 \cdot 10^{-6}$ ядерных пробегов на пути 1 см.

Для уровня моря, где $x > 1$, решение для S_1 дается уравнением

$$\frac{\partial S_1}{\partial E} (E, x, \vartheta) = \frac{1}{1-K} \frac{\partial N_1}{\partial E} \left(\frac{E}{1-K}, 0 \right) \beta! x^{-\beta}. \quad (4)$$

При расчетах сферичность атмосферы была учтена согласно работе [3]. Были приняты следующие величины для x (в ядерных пробегях) и эффективного значения $\cos \vartheta_{\text{эф}}$.

ϑ°	0	53	66	72	78	84	87	90
$\cos \vartheta$	1,0	0,60	0,40	0,30	0,20	0,10	0,05	0,00
$\cos \vartheta_{\text{эф}}$	1,0	0,60	0,41	0,32	0,23	0,15	0,13	0,12
x	10,5	17,5	26,2	35,0	51,5	97,0	160,0	370,0

Согласно [4] использовано значение $1-K = 0,44$, а в соответствии с работами [5,6] первичный спектр нуклонов принят в виде

$$\frac{\partial N_1}{\partial E} (E, 0) = 1,0 \times 10^{-10} \left(\frac{E}{10^{15} \text{ эв}} \right)^{-2,8} \text{ нуклонов/см}^2 \text{ сек стерад } 10^{15} \text{ эв}$$

В случае, когда $\beta/x < 1$, т.е. для случая равновесия между потоками S_1 и N_2 имеем:

$$\frac{\partial N_2}{\partial E} (E, x, \vartheta) = \frac{\partial S_1}{\partial E} (E, x, \vartheta) \frac{\beta}{x}. \quad (5)$$

При вычислениях считалось, что отношение геометрической длины, соответствующей ядерному пробегу, к длине пробега баррона в пассивном состоянии $\frac{\beta}{x} = 1,2 \cdot 10^{-2} (10^{15} \text{ эв} / E)$, так как в этом случае процессы протекают в воздухе при нормальных условиях.

Нетрудно убедиться, что для углов $\geq 70^\circ$ поток нуклонов исчерпывается с хорошей точностью нуклонами второго поколения N_2 . Для меньших углов в той области энергий, где происходит переход от экспоненциального закона поглощения нуклонов (пунктирные кривые рис. 1) к закону, описываемому формулой (5), нужно учитывать вклад следующих поколений нуклонов. Такой учет выполнен для приведенного на рис. 1 вертикального потока нуклонов.

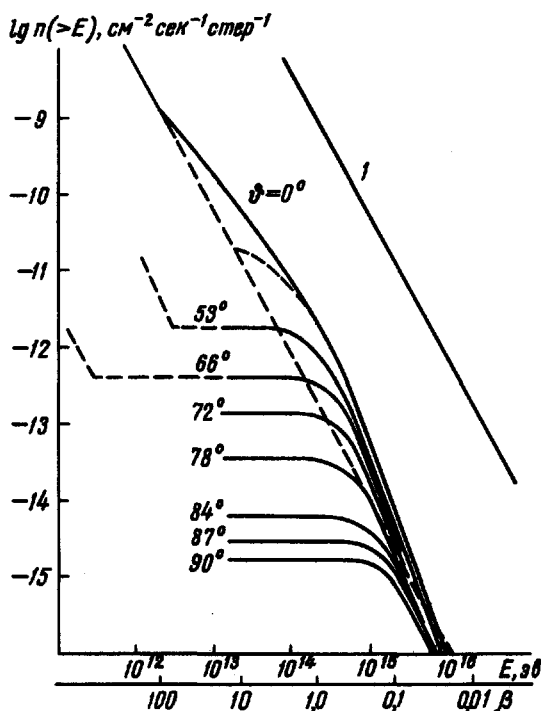


Рис. 1. Интегральные потоки нуклонов на уровне моря для различных зенитных углов. 1 - Спектр нуклонов первичного космического излучения

Из рис. 2 видно, что дифференциальные спектры нуклонов под углом $86-87^\circ$ имеют резкий максимум в области энергий $\sim 10^{15}$ эв. Это обстоятельство может объяснить отсутствие в опыте [1] событий с меньшей энергией. В соответствии с рис. 1 полный поток нуклонов под

углом 86° составляет $\sim 5 \cdot 10^{-15} \text{ см}^{-2} \cdot \text{сек}^{-1} \cdot \text{стер}^{-1}$. Если учесть, что наблюдаются ливни, рождающиеся в толще вещества, измеряемой 5 ядерными пробегами, то ожидаемое в токийском эксперименте число событий:

$$h = 5 N_2 \Omega S t = 0,25.$$

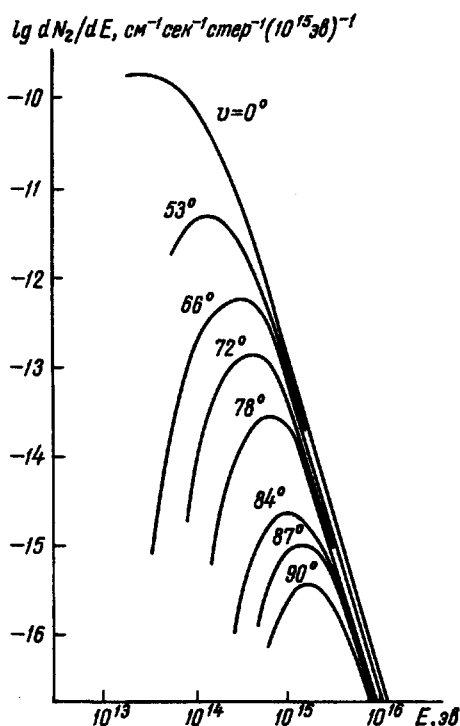


Рис. 2. Дифференциальный энергетический спектр нуклонов на уровне моря под различными зенитными углами

Подчеркнем, что с развиваемой точки зрения обе наблюдаемые на эксперименте величины — энергия нуклонов и их поток — определяются значением τ_0 — времени жизни бариона в пассивном состоянии.

Из полученных результатов следует, что сечение для ядерного взаимодействия бариона в пассивном состоянии не превышает по порядку величины 10^{-2} от нормального.

Для приведенных расчетов существенно, что при энергиях $\gg 10^{14}$ эв вероятность перехода нуклона при взаимодействии в пассивное состоя-

ние близка к 1. В [2] приведены данные, указывающие, что эта вероятность остается значительной при уменьшении энергии до 10^{11} эв. В настоящее время нельзя исключить возможность, что и при энергии 30 Гэв, доступной ускорителям, можно обнаружить некоторую, по-видимому, малую долю пассивных барионов.

Можно в заключение предсказать, что "горизонтальные" ливни будут наблюдаться и дальше с подобной частотой. Под меньшими зенитными углами частота наблюдения ливней будет расти в соответствии с рис. 1.

Физический институт

им. П.Н.Лебедева
Академии наук СССР

Поступило в редакцию

2 января 1966 г.

Литература

- [1] T. Matano, M. Nagano, S. Shibata, K. Suga, T. Kameda, Y. Toyoda, T. Maeda, H. Hasegawa. *Phys. Rev. Lett.*, **15**, 623, 1965.
- [2] Ю.А.Сморозин. *ЖЭТФ*, **50**, № 5, 1966. Препринт, ФИАН, № 161, 1966.
- [3] Г.Т.Зацепин, В.А.Кузьмин. *ЖЭТФ*, **39**, 1677, 1960.
- [4] Л.Т.Барадзей, В.И.Рубцов, Ю.А.Сморозин, М.В.Соловьев, Б.В.Толкачев. *Тр. ФИАН*, **26**, 224, 1964.
- [5] G. Clark, H. Bradt, M. La Pointe. *Proceedings Intern. Conf. on Cosmic Rays*, **4**, 65, 1963.
- [6] С.И.Никольский. *Успехи физ. наук*. **78**, 365, 1962.