

ЕРЕВАНСКИЙ
ФИЗИЧЕСКИЙ
ИНСТИТУТ

ЕРФИ-МЭ-8(68)

Д.А. ГАЛСТЯН

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ЗВЕЗД С СЕРЫМ
И БЕЗ СЕРОГО СЛЕДОВ, ОБРАЗОВАННЫХ
ПРОТОНАМИ С ИМПУЛЬСОМ 24 Гэв/с ПРИ
ВЗАИМОДЕЙСТВИИ СО СВОБОДНЫМИ И КВАЗИ-
СВОБОДНЫМИ НУКЛОНАМИ ЯДЕР ЭМУЛЬСИИ

Заказ 200

ВФ 03310

Тираж 200

Множительно - копировальный сектор, Ереванского физическо-
го института, Ереван 36, Маркаряна 2

ЕРЕВАН
1968

Д.А.ГАЛСТЯН

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ЗВЕЗД С СЕРЫМ И БЕЗ
СЕРОГО СЛЕДОВ, ОБРАЗОВАННЫХ ПРОТОНАМИ С
ИМПУЛЬСОМ 24 Гэв/с ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ СО
СВОБОДНЫМИ И КВАЗИСВОБОДНЫМИ НУКЛОНАМИ
ЯДЕР ЭМУЛЬСИИ

Изучаются взаимодействия протонов с импульсом 24 Гэв/с со свободными и квазисвободными нуклонами ядер эмульсии с точки зрения повторного взаимодействия протона в ядрах. Как показывает исследование, звезды с серым следом есть, по видимому, взаимодействия с образованием внутриядерного каскада.

SOME PROPERTIES OF THE STAR WITH GRAY
AND WITHOUT GRAY PRONGS FORMED BY PROTONS WITH
THE 24Gev/c PULSE OF THE INTERACTION WITH FREE
AND QUASIFREE NUCLEONS OF THE EMULSION NUCLEUS.

G.A.Galstian

A B S T R A C T

The interactions of protons with momentum 24 Gev/c with free and quasifree nucleons of the emulsion nucleus are studying by means of multiple interactions of protons into nucleus. As shows investigation the stars with gray prong are. perhaps; interactions with forming of the internucleus cascades.

Изучению взаимодействий высокоэнергичных протонов с нуклонами и ядрами посвящен ряд теоретических и экспериментальных работ [1] - [14]. Выделить взаимодействие протона с нуклоном или каким-либо определенным ядром фотозэмульсии трудно в связи с преобладанием в составе эмульсии тяжелых элементов и сложностью состава эмульсии. Поэтому взаимодействия протон-нуклон отбираются по малому числу следов медленных частиц n_k , $n_k \leq 1$ [1], [2] или $n_k \leq 3$ [3].

Однако, даже при таком отборе нет уверенности, что первичная частица и вторичные продукты взаимодействия не взаимодействуют повторно внутри того же ядра. В работе [4] авторы приходят к выводу, что число серых следов в звезде, n_g является индикатором числа столкновений внутри ядра, причем события с $n_g = 0$ представляют собой взаимодействия, когда имеет место одно столкновение - наиболее чистые взаимодействия протон-нуклон. Что касается событий с $n_g = 1$, то одна треть их числа, возможно, является взаимодействиями с однократным соударением, в среднем же события с $n_g = 1$ есть взаимодействия, в которых наряду с первичными столкновениями происходят вторичные с небольшим возбуждением ядра.

В настоящей работе подтверждается этот вывод: кроме того, приводятся некоторые соображения относительно звезд с $n_g = 0$.

Круглые фотопластины Илфорд G-5, толщиной 600 мк, диаметром 6 см облучались протонами с импульсом 24 Гэв/с от протонного синхротрона ЦЕРНа. В момент облучения пластинок пучком в объеме эмульсии создавалось сильное импульсное магнитное поле напряженностью ≈ 180 кгс. Импульс и знак заряда вторичных частиц определялись по кривизне трека, а идентификация вторичных частиц проводилась по измерению ионизации. Было обработано $\geq 80\%$ следов частиц из взаимодействий, вследствие чего при расчете средних значений различных физических величин поправка на геометрический фактор не вводилась [3].

В анализе используются 180 звезд, отобранных по критериям $n_s \leq 3, n_g \leq 1$, в том числе 116 звезд с $n_g = 0$ (без серого следа - тип I) и 64 звезды с $n_g = 1$ (с серым следом - тип II). На рис. I приводится распределение по числу лучей $n = n_s + n_g$; звезда I типа - крестики - и II типа - кружочки. Как видно из рисунка, среди звезд I типа преобладают взаимодействия с малой множественностью; наблюдается максимум на значении $n = 3$, то есть $n_s = 3$. Средние характеристики взаимодействий приводятся в таблице I.

Таблица I

| | $\langle n_s \rangle$ | $\langle n_g \rangle$ | Ссылки |
|---------------------|--|-----------------------|----------------------|
| Тип I $n_g = 0$ | $4,1 \pm 0,2$ $4,0 \pm 0,1$ ^{x)} | $0,801 \pm 0,11$ | Данная работа [7] |
| Тип II $n_g = 1$ | $5,3 \pm 0,3$ $4,9$ ^{xx)} | $0,98 \pm 0,10$ | Данная работа [9] |

Как видно из таблицы I средняя множественность взаимодействий (II типа), с одним серым следом, $\bar{n} \sim (1,3 \pm 0,1)$ раз больше, чем средняя множественность взаимодействий I типа без серого следа, при примерно, неизменном значении среднего числа медленных частиц, n^b , связанных с возбуждением ядра. Множественность $\langle n_s \rangle_1$ согласуется с множественностью $(p-p)$ соударений при той же энергии налетающего

x) p-p взаимодействие в водородной пузырьковой камере
xx) Расчетное значение

протона, 24 Гэв, по экспериментам в водородной пузырьковой камере [7], а $\langle n_s \rangle_{II}$ с расчетным значением множественности для 25 Гэв взаимодействий P - легкое ядро в предположении каскада внутри ядра [9] (оба значения приводятся в таблице I). Таким образом, исходя только из среднего числа релятивистских следов, звезды первого типа можно приписать взаимодействию p-N, а звезды второго типа - взаимодействию P - легкое ядро.

Звезды I и II типов различаются также энергетическими и угловыми характеристиками. Средние коэффициенты неупругости для взаимодействий I и II типов получены: для звезд с $n_g = 0$, $I - K_p = 0,30$, а для $n_g = 1$ $I - K_p = 0,50$, где $K_p = \frac{E}{E_0}$, где E и E_0 - энергия провзаимодействовавшего налетающего протона в л.с.к. По среднему квадрату четырехмерного передаваемого импульса Δ^2 и среднему коэффициенту неупругости взаимодействия $I - K_p$ можно проверить кратность столкновения налетающего протона внутри того же ядра. Согласно кинематике ψ - кратного соударения налетающего протона имеем:

$$\Delta^2 = \frac{[(1 - K_p)^\psi - 1]^2}{(1 - K_p)^\psi} M_p^2 + \frac{P_\perp^2}{(1 - K_p)^\psi}$$

где M_p и P_\perp - масса покоя и поперечный импульс протона, Δ^2 и $(I - K_p)$ - квадрат четырехмерного передаваемого импульса и коэффициент неупругости взаимодействий; ψ - число соударений внутри ядра. Кривые зависимости Δ^2 от K_p при $\psi = 1$ и $\psi = 2$ приводятся на рис. 2 (принимается $P_\perp = \langle P_\perp \rangle$, $\langle P_\perp \rangle = (0,39 \pm 0,06)$ Гэв/с, полученное в данной работе для протонов). На том же рисунке отложены значения $\langle \Delta^2 \rangle$ и $\langle K_p \rangle$, полученные для звезд I и II типов. Как видно из рис. 2, точка I согласуется с кривой с $\psi = 1$, а точка II с кривой с $\psi = 2$. Таким образом, звезды с серым следом образуются при повторном соударении налетающего протона внутри ядра.

На рис. 3 приводятся гистограммы углового распределения π -мезонов в л.с.к., генерированных во взаимодействиях II типа - сплошная гистограмма, и углового распределения частиц при каскаде внутри легкого ядра - пунктирная гистограмма [10]. Как видно из рисунка, угловые распределения совпадают между собой.

Распределения частиц по углам вылета в СЦМ приводятся на рис.4 а, б, и 5 а, б для малых (4 а,б) и больших (5 а,б) множественностей взаимодействий а) и б) есть тип I и тип II. На рис. 4 а распределение протонов и π^- -мезонов ассиметрично, с преимущественным вылетом вперед. Из рис.4 б видно, что распределение протонов и π^- -мезонов симметрично, но анизотропно. Ниже приводятся соответствующие коэффициенты ассиметрии.

| | |
|--|---|
| <u>Тип I $N_2 = 0$ (рис.4а)</u> | <u>Тип II $N_2 = 1$ (рис.4б)</u> |
| $\alpha_p = + (0,60 \pm 0,06)$ | $\alpha_p = - (0,21 \pm 0,08)$ |
| $\alpha_{\pi^-} = + (0,33 \pm 0,05)$ | $\alpha_{\pi^-} = - (0,05 \pm 0,06)$ |

Знаки "+" и "-" означают преимущественный вылет частиц в переднюю и заднюю полусферы соответственно.

Распределение протонов и π^- -мезонов во взаимодействиях с большой множественностью симметричны и изотропны, (рис.5а,5б).

Вследствие симметрии исходной системы ($p - N$), распределение вторичных частиц должно быть симметричным и изотропным в системе столкновения. Ассиметрия вылета вторичных протонов и π^- -мезонов в звездах I типа может быть вызвана механизмом, отличным от механизма взаимодействия протона со свободным протоном. Частицы попавшие в угловой интервал $\cos \theta^{u,u} = (0,8 \pm 1,0)$ (рис.4а) высокоэнергичны и образуются во взаимодействиях типа $0 + 0 + 3$ с лабораторным углом $\lesssim 7^\circ$. Эффективная масса тройки частиц $p\pi^+\pi^-$ лежит в интервале $1,5 \pm 1,7$ Гэв/с² и суммарная энергия или видимая энергия взаимодействия в лабораторной системе координат близка к первичной. Такие взаимодействия могут быть образованы вследствие механизма дифракционной диссоциации быстрых частиц в поле ядра. Имеются как теоретические, так и экспериментальные работы [11], [12], [14] по изучению событий указанного типа: налетающая частица взаимодействует с ядром, как с целым, посредством обмена виртуальной частицей - вакуумным реджионом. Доля указанных взаимодействий в общей статистике составляет $\approx 4,5\%$, что при полном сечении взаимодействий $(p-p)$, $\sigma_t \approx 40$ мбн, дает сечение дифракционной диссоциации, примерно, 1,7 мбн. Близкие значения получены в

экспериментах [11]. Надо сказать, что события типа $0 + 0 + 3$ были подробно изучены Г.Б. Кдановым и др. [14].

Увеличение средней множественности релятивистских частиц во взаимодействиях с одним серым следом (звезды II типа) и согласие экспериментального углового и энергетического распределения вторичных частиц с расчетным в предположении каскада внутри ядра, повидимому, свидетельствует о том, что звезды второго типа образуются вследствие внутриядерного каскада. Резкая ассиметрия вылета вторичных частиц из звезд типа I связана с генерацией в $\approx 4,5\%$ случаев узких струй с эффективной массой $1,5 \pm 1,7$ Гэв/с² без возбуждения ядер. Такие взаимодействия, повидимому, объясняются дифракционным механизмом генерации частиц.

Настоящая работа выполнена на основе материала, полученного в лаборатории Космических лучей Физического Института АН СССР, при участии автора при обработке фотоэмульсионных слоев, облученных на протонном синхротроне в ЦЕРНе. Автор выражает благодарность Г.Б. Кданову и М.И. Третьяковой за разрешение воспользоваться этим материалом, а также всем сотрудникам лаборатории принимавшим участие в его обработке. Интерпретация этого материала лежит целиком на ответственности автора.

Автор считает своим приятным долгом поблагодарить В.М.Харинова за интерес и поддержку в работе над статьей.

Приложение:

Основные особенности звезд, образованных протонами с энергией 8,7 Гэв с ядрами фотоэмульсии НИКФИ Р толщиной 400 мк подробно изучены в работе [13]. В приложении приводятся данные относительно роли числа серых следов n_g в процессе повторного взаимодействия налетающего протона внутри ядра (таблица II).

Таблица II

| n_g | 0 | I | 2 | 3 | 4 | 5 | Средн. харак. Р-ядро | Расчет по каскаду [9] |
|-----------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------------|-----------------------|
| $\langle n_s \rangle$ | $2,72 \pm 0,16$ | $3,56 \pm 0,22$ | $4,02 \pm 0,30$ | $5,25 \pm 0,35$ | $5,02 \pm 0,45$ | $5,28 \pm 0,62$ | $3,28 \pm 0,32$ | $3,4 \pm 0,2$ |
| $\langle n_b \rangle$ | $2,72 \pm 0,16$ | $3,32 \pm 0,21$ | $5,30 \pm 0,35$ | $8,10 \pm 0,43$ | $9,10 \pm 0,6$ | $9,7 \pm 0,83$ | $5,72 \pm 0,33$ | $5,4 \pm 0,4$ |
| N | 109 | 72 | 46 | 44 | 25 | 14 | | |

Значения $n_g > 5$ не приводятся в связи с малой статистикой. Как видно из таблицы, средняя множественность возрастает от значения $\langle n_s \rangle = 2,72 \pm 0,16$ при $n_g = 0$ до значения $\langle n_s \rangle = 5,25 \pm 0,36$ при $n_g = 3$, т.е., примерно, в 1,3 раза на каждую единицу увеличения n_g . Такое же возрастание наблюдалось для первичной энергии 24,0 гэв (табл. I). При дальнейшем увеличении, n_g , $\langle n_s \rangle$ остается, примерно, постоянным. Среднее значение $\langle n_s \rangle$ взаимодействия получено $\langle n_s \rangle = 3,28 \pm 0,32$ и приводится в 7-ом столбце. Значение согласуется с расчетным, полученным в предположении каскада внутри среднего ядра эмульсии.

Как известно, n_b есть число протонов, вылетевших из возбужденного ядра. Из таблицы видно, что среднее число следов испарения $\langle n_b \rangle$ возрастает с увеличением числа серых следов вплоть до $n_g \leq 3$, затем остается постоянным в пределах ошибок. Такая зависимость также подтверждает каскадность взаимодействия налета-

тающего протона внутри ядра. Среднее значение $\langle n_b \rangle = 5,72 \pm 0,33$ и согласуется с расчетным.

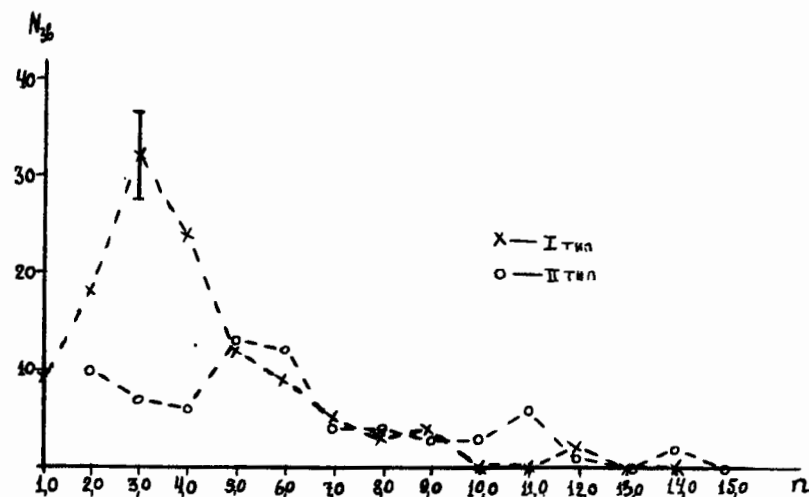


Рис. I Распределение по числу лучей $n = n_s + n_g$ звезд I (крестики) и II (кружочки) типов. В данный анализ не вошли события типа $n_b + 1 + 0$, поэтому точка $n = 1$ для звезд II типа отсутствует.

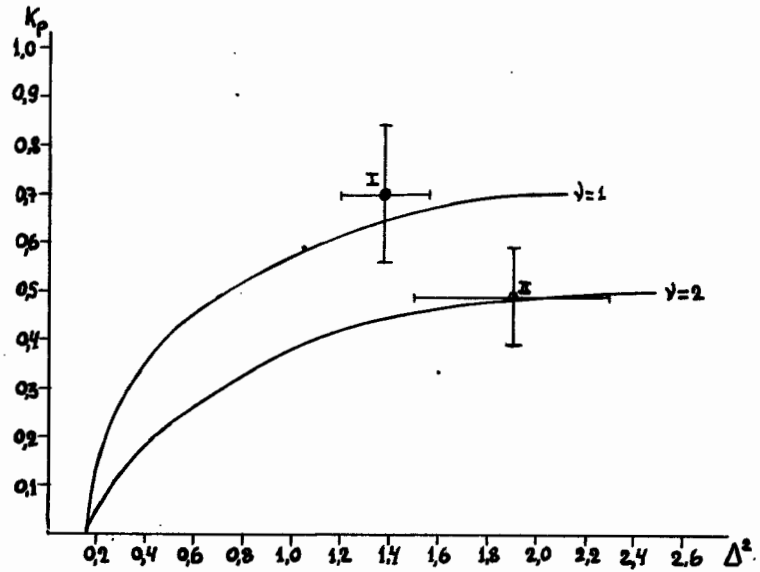


Рис.2 Кривые зависимости Δ^2 от K_p при $\nu=1,0$ и $\nu=2,0$

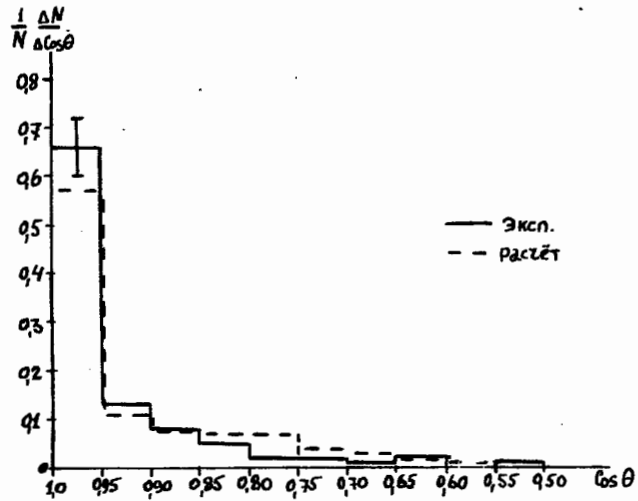


Рис.3 Угловое распределение частиц из звезд II типа совместно с теоретическим расчетом.

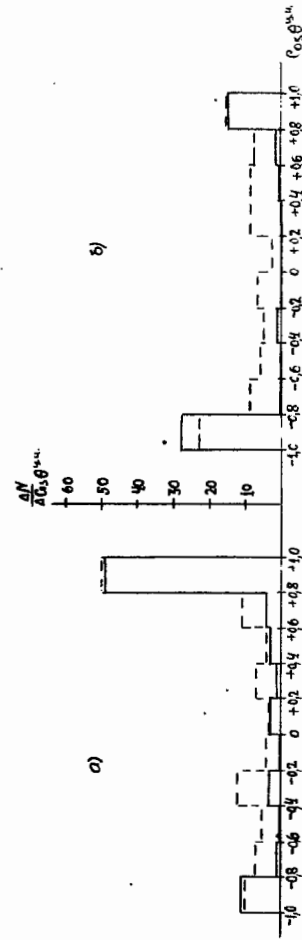


Рис.4 Угловое распределение протонов (сплошная гистограмма) и π -мезонов (пунктирная гистограмма) в СЦМ для звезд с $\eta \leq 5$; а) I тип; б) II тип.

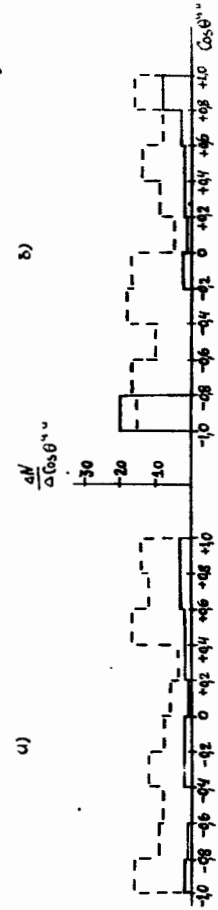


Рис.5 Угловое распределение протонов (сплошная гистограмма) и π -мезонов (пунктирная гистограмма) в СЦМ для звезд с $\eta > 5$; а) I тип; б) II тип.

ЛИТЕРАТУРА

- I. H. Winzeler, Nuclear Phys., 69, 661 (1965).
2. G. Cvijanovich, B. Dayton, et al., N.C., 20, 1012 (1961).
3. Д.А. Галстян, Г.Б. Жданов, М.И. Третьякова, М.Р. Щербакова
М.М. Чернявский, ЖЭТФ, 51, 417 (1966).
4. P.I. Fenney and I.V. Mayor, Nuovo Cim. 41A, 77 (1966).
5. Y.K. Lim, N.C., 26, 1221 (1962); Y.K. Lim, N.C. 28, 1228 (1963).
6. A. Barbaro-Galtieri, et al., N.C., 21, 469 (1961).
7. W. O. Lock Труды Международной конференции по Космическим лучам, Джайпур 1964г.
8. A. Mergari-Chiese, et al., Nuovo Cim., 27, 155 (1963).
9. В.С. Барашенков и др. Ат. Энергии 16 вып. 6 1964;
М.З. Артыков, В.С. Барашенков, С.М. Елисеев Я.Ф. 4 вып. I
1966г.
10. H. Meyer, Teucher, Nuovo Cim., 28, 3 (1963).
11. Saforio, Ferraro, et al., 32, 6 (1964).
Г. Бозовки, Э. Надь Я.Ф. 2 945 (1965);
Ш. Абдуамилов, С.А. Азимов и др. Я.Ф. 3 657 (1966)
С.А. Азимов, Е.К. Бетер и др. Я.Ф. 2, 1043 (1965)
12. E.L. Feinberg, I. Ia. Pomeranchuk, N.C., 3, 652 (1956).
Е.Л. Фейнберг УФН 58, 193 (1956)
13. Г.Б. Жданов, М.В. Максименко и др. ЖЭТФ 37, 620 (1959)
К.И. Алексеева, Г.Б. Жданов, М.И. Третьякова и др.
ЖЭТФ 40 вып. 6 (1961).
14. И.М. Дремин. Г.Б. Жданов, М.И. Третьякова, М.М. Чернявский,
"Письма в ЖЭТФ" 4, № 4, 152 (1967)

Рукопись поступила 4 сентября 1968г.