

C345.0

3-58

3/XII-65

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

P-2424



Ю.Д. Зернин, В.И. Мороз, В.А. Никитин,  
В.А. Свиридов, Ю.А. Троян

НЕКОТОРЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПУЧКА НЕЙТРОНОВ,  
ОБРАЗУЮЩИХСЯ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ  
ПРОТОНОВ С КИНЕТИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИЕЙ 9 ГЭВ  
С МИШЕНЬЮ ИЗ  $^{238}\text{U}$  НА СИНХРОФАЗОТРОНЕ ОИЯИ

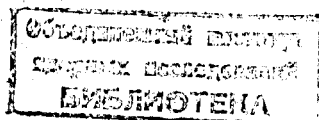
ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

1965

P-2424

Ю.Д. Зернин, В.И. Мороз, В.А. Никитин,  
В.А. Свиридов, Ю.А. Троян

НЕКОТОРЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПУЧКА НЕЙТРОНОВ,  
ОБРАЗУЮЩИХСЯ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ  
ПРОТОНОВ С КИНЕТИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИЕЙ В ГЭВ  
С МИШЕНЬЮ ИЗ  $^{90}\text{Zr}$  НА СИНХРОФАЗОТРОНЕ ОИЯИ



Для оценки энергии нейтронов использована зависимость от энергии нуклона числа быстрых вторичных частиц  $\bar{n}_n(E)$ , образованных при взаимодействии этого нуклона с ядрами эмульсии. Быстрыми считались частицы, треки которых имеют ионизацию  $\Gamma \leq I_0$ , где  $I_0$  - минимальная ионизация.

Градуировка ионизационных измерений проводилась по следам электронно-позитронных пар. Для изучения углового выхода нейтронов измерялась плотность нейтронных взаимодействий в одиночных фотоэмульсионных слоях, расположенных под различными углами к направлению движения первичных протонов. Ниже показано, что средняя энергия нейтронов мало меняется с углом вылета, следовательно, сечение взаимодействия нейтронов с ядрами эмульсии можно принять постоянным. Тогда распределение плотности "нейтронных звезд" подобно угловому распределению нейтронов. К нейтронным взаимодействиям относились все звезды, не имеющие релятивистского луча в направлении заданного конуса с углом раствора  $+20^\circ$ .

#### а) Определение средней энергии нейтронов

В работе <sup>/1/</sup> по данным ряда авторов построена экспериментальная кривая зависимости  $\bar{n}_n(E)$  для звезд, образованных протонами в эмульсии. Считаем, что для взаимодействия нейтронов с ядрами эмульсии кривая аналогична. Аналитически в интервале энергий от 2-х до 9-ти Гэв она хорошо описывается формулой

$$\bar{n}_n(E) = 0,6 - 0,045E + 0,0395E^2 \dots \quad (1)$$

На рис. 2 приведены измеренные значения  $\bar{n}_n$  для звезд, образованных нейтронами, вылетающими из мишени под разными углами. Однако нельзя прямо из рис. 2 и формулы (1) определить энергию нейтронов: формула (1) справедлива для монохроматических по энергии первичных нуклонов, нейтроны же распределены по энергии неизвестным образом от  $E_1$  до  $E_2$  ( $E_1$  и  $E_2$  - границы энергетического спектра  $f(E)$ ). В этом случае формула (1) справедлива для средних значений

$$\bar{n}_n = 0,6 - 0,045\bar{E} + 0,0395\bar{E}^2 \quad (2)$$

Для определения  $\bar{E}$  одного этого уравнения недостаточно. Однако можно указать  $\bar{E}$  в Мэв.

зять на границы, в которые заключены возможные значения  $\bar{E}$ . Известно, что для любого вида спектра  $f(E)$

$$\sqrt{\bar{E}^2} \geq \bar{E} \quad (3)$$

где знак равенства сохраняется в случае монохроматического спектра  $f(E) = \delta(E - E^*)$ . Для монохроматического спектра из равенств 2-3 сразу же определяются величины  $\bar{E} = \sqrt{\bar{E}^2} = E^*$ . Нетрудно показать, что для спектра любого вида значения  $\bar{E}$  и  $\bar{E}^2$  заключены в пределах

$$\bar{E}_{\min} \leq \bar{E} \leq E^*$$

$$\bar{E}_{\min}^2 \leq \bar{E}^2 \leq E^{*2}$$

( $E^*$  определяется из условия  $\bar{n}_s = 0,6 - 0,045E^* + 0,0395E^{*2}$ ),

Здесь  $\bar{E}_{\min}$  и  $\bar{E}_{\min}^2$  обозначают среднюю и среднеквадратичную энергии спектра вида  $f(E) = \delta(E - E_1) + \delta(E - E_2)$ . Для такого спектра при  $E_1 = 0$  существует соотношение

$$\bar{E}_{\min} = \frac{\bar{E}^2}{E_2} \quad (4)$$

Из уравнений (2) и (4) легко получить

$$\bar{E}_{\min}^2 = E_2 \cdot \frac{\bar{n}_s - 0,6}{E_2 \cdot 0,0395 - 0,045}$$

$$\bar{E}_{\min} = \frac{\bar{n}_s - 0,6}{E_2 \cdot 0,0395 - 0,045}$$

Для  $\psi = 0$   $\bar{n}_s = 2,3 \pm 0,2$ <sup>x/</sup>, что приводит к значению (ошибки в значении  $\bar{n}_s$  не учтены)

$$5,5 \text{ Гэв} \leq \bar{E} \leq 7,1 \text{ Гэв},$$

$$7,0 \text{ Гэв} \leq \bar{E}^2 \leq 7,1 \text{ Гэв}.$$

Можно, однако, уменьшить интервал возможных значений  $\bar{E}$  и  $\bar{E}^2$ , если считать, что реальный спектр нейтронов описывается функцией  $f(E)$  с  $\frac{d^2f}{dx^2} \leq 0$ .

<sup>x/</sup> Здесь и далее ошибки статистические.

Экспериментальные данные для энергий первичных протонов в 2,2 Гэв и 6 Гэв в<sup>/2/</sup> оправдывают это допущение. Тогда вместо соотношения (4) будем иметь равенство

$$\bar{E}^2 = \frac{4}{3} \bar{E} \quad (4a)$$

и после вычислений получим:

$$6,1 \text{ Гэв} \leq \bar{E} \leq 7,1 \text{ Гэв},$$

$$7,0 \text{ Гэв} \leq \bar{E}^2 \leq 7,1 \text{ Гэв}.$$

Отсюда с учетом ошибок в величине  $\bar{n}_s$

$$\bar{E} = (6,6 \pm 0,8) \text{ Гэв},$$

$$\bar{E}^2 = (7,1 \pm 0,5) \text{ Гэв}.$$

На рис. 2а приведена зависимость  $E(\psi_{\text{лаб}})$  для нейтронов. Там же треугольниками обозначены точки, соответствующие средней энергии протонов в неупругих (pN) - столкновениях, рассчитанные по данным работ<sup>/3/</sup>.

б) Угловое распределение нейтронного пучка представлено на рис. 3а

Здесь же треугольниками нанесены точки, соответствующие потоку заряженных частиц<sup>x/</sup> (с точностью до равенства сечений взаимодействия нейтронов и этих заряженных частиц с ядрами эмульсии).

На рис. 3 точками обозначено угловое распределение "быстрых" (дающих звезды с  $\bar{n}_s \geq 2$ ) нейтронов после внесения поправок на поглощение в стенке камеры ускорителя и на вклад вторичных нейтронов: треугольниками обозначено угловое распределение нейтронов, образующихся в неупругих протон-нуклонных соударениях при энергии 9 Гэв, которое при некоторых предположениях<sup>xx/</sup> следует из работ<sup>/3/</sup>. Кривые построены с нормирующим условием

$$\int_0^{\pi/2} \left( \frac{d\sigma}{d\Omega} \right)_{pN} \sin \psi d\psi = \int_0^{\pi/2} \left( \frac{d\sigma}{d\Omega} \right)_{p\pi} \sin \psi d\psi$$

<sup>x/</sup> Без электронов и  $\mu$ -мезонов.

<sup>xx/</sup> В<sup>/3/</sup> надежно получено угловое распределение протонов, вылетающих в с.п.м. (pN) в заднюю полусферу. Угловое распределение нейтронов, обозначенное на рис. 3 треугольниками, получено нами из данных работ<sup>/3/</sup> в предположении, что в с.п. (pN) угловые распределения нуклонов, вылетающих вперед и назад, подобны.

где  $(\frac{d\sigma}{d\Omega})_{pN}$  и  $(\frac{d\sigma}{d\Omega})_{pBe}$  - дифференциальные сечения образования нейтрона в (pN) - и (pBe) - столкновениях. Из рисунка видно, что нейтроны распределены несколько шире, чем нуклоны в неупругих (pN) - столкновениях. Различие в полуширинах угловых распределений объясняется, по-видимому, дифракционным рассеянием нейтронов в мишени и в стенке камеры ускорителя, неточным учетом вклада вторичных нейтронов. Следует также иметь в виду, что нейтронный пучок получается при взаимодействии протонов не со свободным нуклоном, а с ядром бериллия.

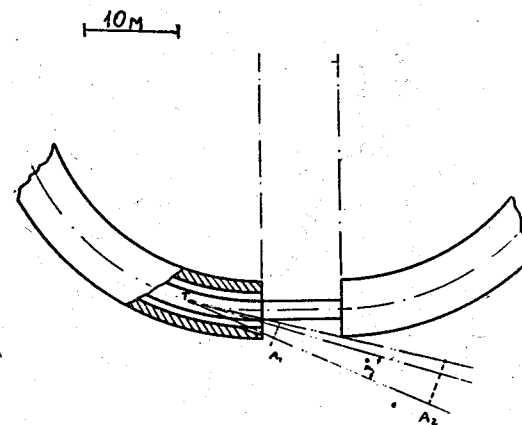
Мы очень признательны авторам работ /3/ за предоставленную нам возможность пользоваться рабочими таблицами.

Мы благодарим И.В. Чувилу, М.И. Подгорецкого и К.Д. Толстова за внимание к работе.

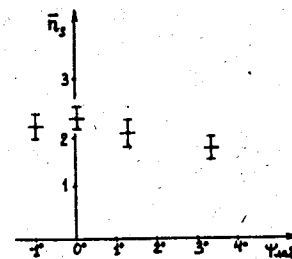
### Л и т е р а т у р а

1. Н.П. Богачев, Ван Шу-фень, И.М. Граменицкий, Л.Ф. Кириллова, Р.М. Лебедев, В.Б. Любимов, П.К. Марков, Ю.П. Мереков, М.И. Подгорецкий, В.М. Сидоров, К.Д. Толстов, М.Г. Шафранова. Атомная энергия, т. 4, 281 (1958).
2. W.B. Fowler, R.P. Shutt, A.M. Thorndike and W.L. Whittemore. Phys. Rev., 95, 1026 (1954); Marles O. Dechand. Phys. Rev., 115, 1730 (1959).
3. Ван Шу-фень, Т. Вишки, И.М. Граменицкий, В.Г. Гришин, Н. Далхажав, Р.М. Лебедев, А.А. Номофилов, М.И. Подгорецкий, В.Н. Стрельцов. ЖЭТФ, 39, 957-960 (1960).  
Н.П. Богачев, С.А. Бунятов, Ю.П. Мереков, В.Н. Сидоров, В.Я. Ярба. ЖЭТФ, 38, 1346 (1960).
4. В.С. Барашенков, В.М. Мальцев. Препринт ОИЯИ, Р-433, Дубна, 1959.  
Н.П. Богачев, С.А. Бунятов, И.М. Граменицкий, В.Б. Любимов, Ю.П. Мереков, М.И. Подгорецкий, В.М. Сидоров, Д. Тувлендорж. Препринт ОИЯИ Р-358, Дубна, 1959.

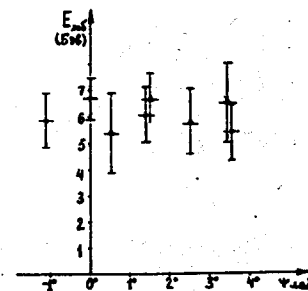
Рукопись поступила в издательский отдел  
8 ноября 1965 г.



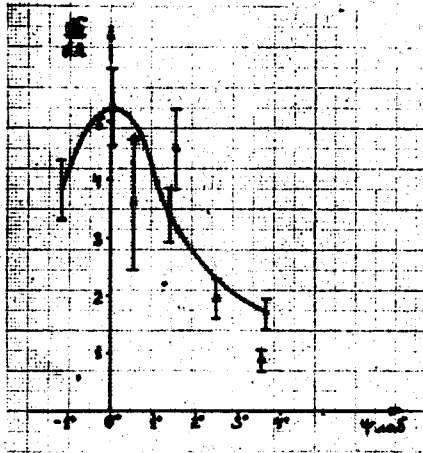
Р и с. 1. Схема эксперимента, T - мишень из Be. A<sub>1</sub> и A<sub>2</sub> - линии расположения эмульсий.



Р и с. 2. Зависимость среднего числа быстрых заряженных частиц в "нейтронной звезде" от угла вылета нейтрона из мишени.

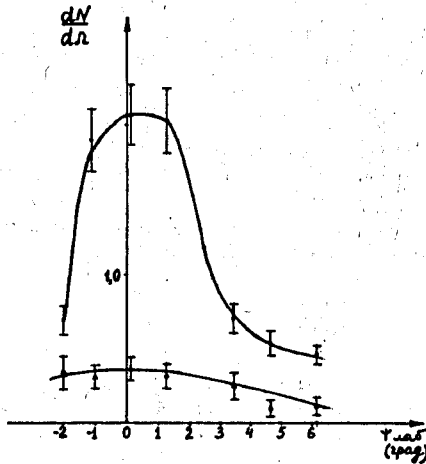


Р и с. 2а. Соотношение угол - энергия для:  
● - нейтронов, образованных во взаимодействии pBe,  
▲ - нуклонов в неупругом (pN) - взаимодействии (по данным работ /3/).



Р и с. 3. Угловое распределение нейтронов:

- - быстрые нейтроны, образующие звезды с  $\bar{p}_n \geq 2$ ,
- ▲ - нуклоны в неупругих (pN) - столкновениях (по данным работ [3]).



Р и с. 3а. Угловое распределение нейтронного пучка:

- - нейтроны,
- ▲ - заряженные частицы.