

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА

3 753

P1-88-294

В.А.Воронко,<sup>2</sup> В.М.Дьяченко,<sup>1</sup> В.Я.Костин,<sup>2</sup>  
В.Я.Мигаленя,<sup>2</sup> Н.М.Никитюк, В.В.Сидоренко,<sup>2</sup>  
К.Д.Толстов

**ГЕНЕРАЦИЯ НЕЙТРОНОВ  
В СВИНЦОВОЙ МИШЕНИ ПРОТОНАМИ,  
ДЕЙТРОНАМИ И АЛЬФА-ЧАСТИЦАМИ  
С ИМПУЛЬСОМ 4,5 ГэВ/с НА НУКЛОН**

Направлено в журнал "Атомная энергия"

---

<sup>1</sup> Московский государственный университет  
им. М.В.Ломоносова

<sup>2</sup> Харьковский физико-технический институт  
АН УССР

В ранее выполненной работе<sup>1/</sup> исследовалось взаимодействие протонов с импульсом 9 ГэВ/с и ядер  $^{12}\text{C}$  с импульсом 9 ГэВ/с на единицу заряда в протяженной свинцовой мишени. Были получены распределения числа деления и реакций ( $n, \gamma$ ) в детекторах из естественного урана, установленных в объеме мишени размерами 50х50х80 см. В настоящей работе проведены аналогичные исследования при облучении этой мишени протонами, дейтронами и  $\alpha$ -частицами с импульсом 4,5 ГэВ/с на нуклон, ускоренных на синхрофазотроне ОИЯИ. Нейтроны регистрировались с помощью стандартных камер деления КНТ-8 диаметром 7 мм со слоем естественного урана  $\sim 10$  мг, относительная эффективность которых измерялась в стандартном нейтронном поле от источника  $^{252}\text{Cf}$  в парафине и нормировалась. Вторым методом регистрации нейтронов являлись реакции радиационного захвата ( $n, \gamma$ ) в урановых фольгах по  $\gamma$ -излучению, сопровождавшему  $\beta$ -распад образовавшегося нептуния. Отсчеты нормировались по весу фольг к 1 грамму. Камеры и фольги устанавливались по объему мишени в продольном и поперечном направлениях относительно пучка ускоренных частиц, который вводился в канал мишени сечением 10х10 см и глубиной 20 см. При малой интенсивности пучка его мониторинг проводилось с помощью фотоэмульсии, что позволяло получить интегральный поток ядер с погрешностью  $\sim 2\%$ . Одновременно этот поток регистрировался камерами КНТ-8, откуда выводился коэффициент пересчета для измерения большой интенсивности при облучении урановых фольг. Подробнее методика описана в<sup>2/</sup>.

В сеансе с дейтронами мониторинг пучка проводилось также по реакции  $^{27}\text{Al}(d, X)^{24}\text{Na}$ , сечение которой при данной энергии составляет 14,8 мб, величина интегрального потока —  $(9,1 \pm 0,7) 10^{11}$ , что хорошо согласуется с результатом  $(9,2 \pm 0,2) 10^{11}$ , полученным по описанному выше методу.

Интегральный поток протонов был равен  $4,5 \cdot 10^{11}$ , а  $\alpha$ -частиц —  $6,8 \cdot 10^{10}$ .

Измерения  $\gamma$ -спектров облученных урановых фольг проводились на  $\text{GeLi}$ -спектрометре с эффективностью регистрации  $(4,38 \pm 0,08) 10^{-3}$  для  $E = 1332,5$  кэВ. Контрольное измерение числа ядер нептуния на другом спектрометре дало значение, отличающееся от ранее полученного на величину, меньшую ошибок измерения. В табл. 1 и 2 даны значения выхода ядер нептуния на один дейтрон и  $\alpha$ -частицу для распределений

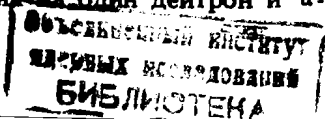


Таблица 1  
Число реакций  $(n, \gamma)$  в урановых фольгах в расчете на 1 г и на одну падающую частицу как функция расстояния  $Z$  вдоль первичного пучка

$Z$ , см	Дейтроны	Частицы
27	$(2,3 \pm 0,23) \cdot 10^{-4}$	$(4,54 \pm 0,64) \cdot 10^{-4}$
35	$(2,3 \pm 0,22) \cdot 10^{-4}$	$(3,85 \pm 0,58) \cdot 10^{-4}$
44	$(1,90 \pm 0,19) \cdot 10^{-4}$	—
52	$(1,60 \pm 0,17) \cdot 10^{-4}$	$(2,23 \pm 0,34) \cdot 10^{-4}$
60	$(1,37 \pm 0,13) \cdot 10^{-4}$	$(2,10 \pm 0,25) \cdot 10^{-4}$
69	$(8,0 \pm 0,8) \cdot 10^{-5}$	$(1,66 \pm 0,2) \cdot 10^{-4}$
77	$(4,67 \pm 0,48) \cdot 10^{-5}$	$(8,7 \pm 1,1) \cdot 10^{-5}$
за мишенью	$(3 \pm 0,4) \cdot 10^{-5}$	$(6,4 \pm 1,3) \cdot 10^{-5}$

Таблица 2  
Число реакций  $(n, \gamma)$  (аналогично таблице 1) как функция расстояния  $R$  в поперечном направлении при  $Z = 27$

$R$ , см	Дейтроны	Частицы
0	$(2,3 \pm 0,23) \cdot 10^{-4}$	$(4,54 \pm 0,64)$
3	$(2,13 \pm 0,21) \cdot 10^{-4}$	$(3,85 \pm 0,58) \cdot 10^{-4}$
7	$(1,77 \pm 0,17) \cdot 10^{-4}$	$(3,47 \pm 0,5) \cdot 10^{-4}$
10	$(1,75 \pm 0,17) \cdot 10^{-4}$	—
14	$(1,18 \pm 0,12) \cdot 10^{-4}$	$(2,25 \pm 0,35) \cdot 10^{-4}$
17	$(1,22 \pm 0,12) \cdot 10^{-4}$	—
20	$(7,3 \pm 0,74) \cdot 10^{-5}$	—
24	$(4,86 \pm 0,5) \cdot 10^{-5}$	$(1,06 \pm 0,2) \cdot 10^{-4}$

вдоль и поперек пучка. Как следует из таблиц, число образуемых ядер нептуния вдвое больше в случае  $\alpha$ -частиц в соответствии с удвоенной энергией по сравнению с дейтронами.

Генерация нейтронов в мишени происходит за счет взаимодействия ускоренного ядра и столкновений вторичных частиц с ядрами мишени. При первом столкновении дейтрона согласно  $^{3/3}$  с вероятностью  $\sim 2/3$  один из нуклонов пролетает без взаимодействия, а для  $\alpha$ -частиц один нуклон пролетает без взаимодействия с вероятностью  $\sim 0,6$

и два нуклона — с вероятностью  $0,07^{4/}$ . Кроме того, при первом неупругом столкновении с ядром нуклоны теряют не всю энергию. Следовательно, генерация нейтронов в свинцовой мишени происходит на длине, значительно превышающей длину экспоненциального спада интенсивности пучка. Это показывают приведенные на рис. 1 распределения реакций  $(n, F)$  и  $(n, \gamma)$  вдоль оси пучка (координата  $Z$ ), нормированные на одно падающее ядро, которые совмещены в точке  $Z = 27$  см. При меньших значениях  $Z$  (см рис. 1), когда происходит более интенсивная генерация новых быстрых нейтронов, кривые  $(n, F)$  и  $(n, \gamma)$  близки друг к другу. При дальнейшем увеличении  $Z$  первичный пучок и каскад вторичных взаимодействий ослабевают и кривая  $(n, F)$  спадает быстрее, чем кривая  $(n, \gamma)$ . Такое поведение кривых объясняется перераспределением вклада быстрых и резонансных нейтронов при их замедлении. Еще более этот эффект заметен в поперечном направлении по отношению к пучку (координата  $R$ ), что отражает рис. 2. Это согласуется с теорией замедления нейтронов в свинце. Действительно, принимая длину рассеяния в свинце постоянной и равной  $\sim 3$  см, получим, что энергия нейтронов при рассеянии от оси пучка до боковой

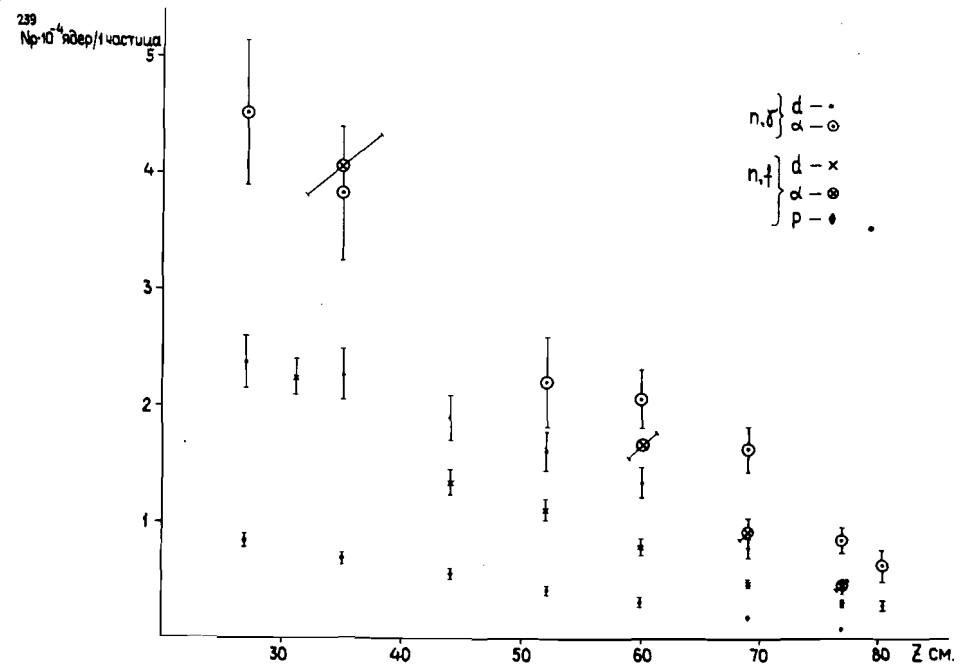


Рис. 1. Распределение реакции  $(n, \gamma)$  вдоль пучка (координата  $Z$ ) на 1 частицу и 1 г, совмещенное с  $(n, A)$  в точке  $Z = 27$  см.

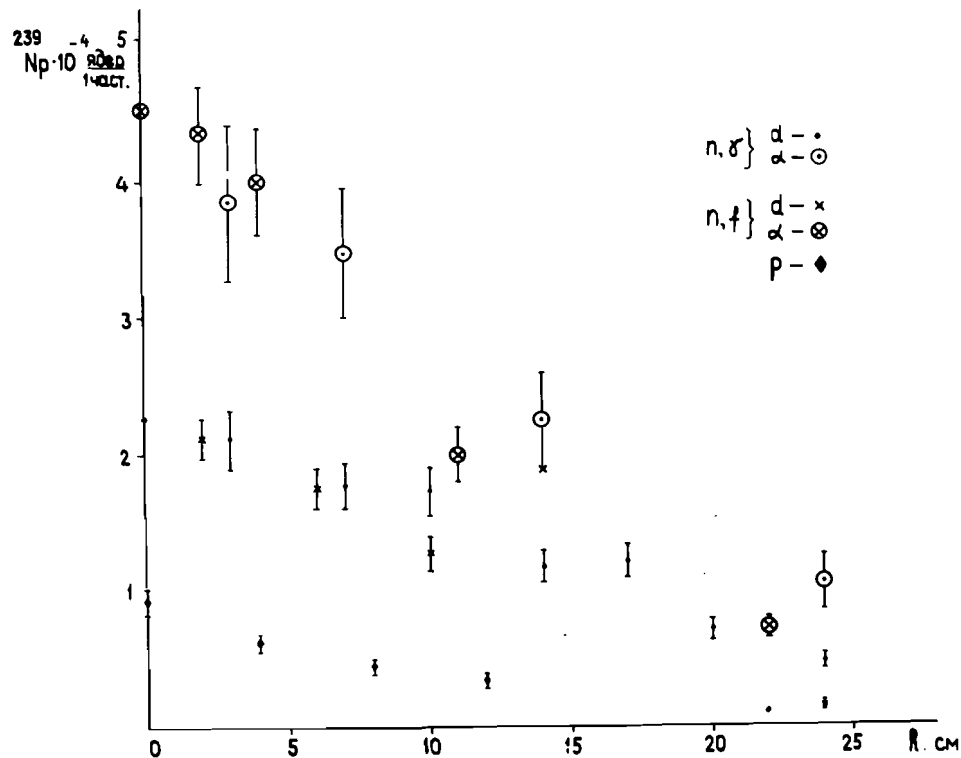


Рис. 2. Распределение реакции  $(n, \gamma)$  в поперечном к пучку направлении на 1 частицу и 1 г, совмещенное с  $(n, \alpha)$  в точке  $R = 0$ .

границ мишени (25 см) уменьшится в среднем почти в 3 раза. Следовательно, с ростом  $Z$  и  $R$  число реакций  $(n, \gamma)$  должно превышать число делений, так как уменьшается доля нейтронов с энергией выше порога деления основного изотопа естественного урана, а, с другой стороны, энергия нейтронов остается много выше величины, соответствующей существенному вкладу в суммарное число делений  $^{235}\text{U}$ .

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Гусаков Ю.В. и др. Сообщение ОИЯИ 13-87-240, Дубна, 1987.
2. Дьяченко В.М. и др. Сообщение ОИЯИ 13-87-371, Дубна, 1987.
3. Адамович М.И. и др. Сообщение ОИЯИ P1-6386, Дубна, 1972.
4. Толстов К.Д. и др. Сообщение ОИЯИ P1-8313, Дубна, 1974.

Рукопись поступила в издательский отдел  
29 апреля 1988 года.

Воронко В.А. и др.

P1-88-294

Генерация нейтронов в свинцовой мишени протонами, дейтронами и альфа-частицами с импульсом 4,5 ГэВ/с на нуклон

Излагаются результаты опытов, проведенных на синхротроне ОИЯИ, по генерации нейтронов в свинцовой мишени размерами 50x50x80 см, которая облучалась протонами, дейтронами и альфа-частицами с импульсом 4,5 ГэВ/с на нуклон. Нейтроны регистрировались с помощью детекторов реакций  $n, F$  и  $n, \gamma$ , устанавливаемых в объеме мишени.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1988

Перевод О.С.Виноградовой

Dyachenko V.M. et al.

P1-88-294

Generation of Neutrons in A Lead Target by Protons, Deuterons, Alpha-Particles with 4.5 GeV/c per Nucleon Momentum

The results of experiments performed at the JINR synchrotron on neutron generation in a lead target of 50x50x80 cm size irradiated with protons, deuterons and alpha-particles with 4.5 GeV/c per nucleon momentum are presented. Neutrons were registered by detectors of  $n, F$  and  $n, \gamma$  reactions installed in a target volume.

The investigation has been performed at the Laboratory of High Energies, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1988