

## ЭНЕРГИЯ ГЕНЕРАЦИИ НЕЙТРОНОВ ЛЕГКИМИ ЯДРАМИ В СВИНЦОВОМ БЛОКЕ

В.А.Воронко\*, В.М.Дьяченко, В.Я.Костин\*, В.Я.Мигаленя\*,  
В.И.Нагайченко\*, В.В.Сидоренко\*, К.Д.Толстов

На синхрофазотроне ОИЯИ проведено исследование генерации нейтронов в свинцовом блоке  $50 \times 50 \times 80$  см ядрами  $^2\text{H}$ ,  $^4\text{He}$ ,  $^7\text{Li}$  и  $^{12}\text{C}$ . Энергия ядер находилась в интервале  $1,5 \div 2,2$  ГэВ/нукл. Внутри блока регистрировалось число делений в камерах КНТ-8 с естественным ураном и число реакций  $(n, \gamma)$  в детекторах из урана. Вылетающие из блока нейтроны регистрировались КНТ-8 и детекторами, помещенными в ванну с водой, которая устанавливалась на поверхности блока. Сопоставляемые результаты обоих методов позволили получить значение энергии, затрачиваемой на генерацию одного нейтрона. Усредненная по всем ядрам энергия равна  $(32 \pm 5)$  МэВ.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

### The Energy of Neutron Generation by Light Nuclei in the Lead Target

V. A. Voronko et al.

The neutron generation by  $^2\text{H}$ ,  $^4\text{He}$ ,  $^7\text{Li}$  and  $^{12}\text{C}$  nuclei with the energy of  $1.5 \div 2.2$  GeV per nucleon has been investigated in the lead target  $50 \times 50 \times 80$  cm on the JINR synchrophasotron. Inside the target the number of fission reactions in the KNT-8 chambers and  $(n, \gamma)$  in the detectors with natural uranium have been registered. The neutrons emitted from the target were detected by the KNT-8 and uranium detectors inside the water bath on the top of the target. The compatible results of general methods have permitted to obtain the value of the energy for generation of one neutron; the mean value of the energy for nuclei is equal to  $(32 \pm 5)$  MeV.

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

Для целей радиационной защиты, создания импульсных нейтронных генераторов и для решения проблем электроядерного способа получения атомной энергии необходимо знание энергии, затрачиваемой на генерацию одного нейтрона в столкновениях ускоренных частиц с мишенями из различных ядер.

---

\*Харьковский физико-технический институт

Сопоставление затрат энергии при варьировании атомного веса снарядов и мишеней интересно и для выяснения механизма взаимодействия релятивистских ядер.

Эксперименты были проведены на синхрофазотроне ОИЯИ в пучках ядер:  ${}^2\text{H}$  с энергией 1,5 ГэВ/н;  ${}^4\text{He}$  — 2,2 ГэВ/н;  ${}^7\text{Li}$  — 2,2 ГэВ/н и  ${}^{12}\text{C}$  — 1,87 ГэВ/н.

Ускоренные ядра вводились в свинцовый блок  $50 \times 50 \times 80$  см через канал глубиной 20 см. В объеме блока размещались камеры КНТ-8 диаметром 7 мм с естественным ураном (эффективная масса радиатора камер КНТ-8 равна  $(1,5 \pm 0,2)$  мг<sup>1/1/</sup>) и урановые детекторы в виде дисков диаметром 8 мм и толщиной 1 мм, в которых реакции  $(n, \gamma)$  регистрировались по распадам  ${}^{239}\text{Np} \rightarrow {}^{239}\text{Pu}$ . Разработанная методика, включая мониторингирование пучков ядер, описана в работах<sup>12-6/</sup>. Для регистрации нейтронов, вылетающих из блока, на его поверхности устанавливалась ванна площадью  $40 \times 40$  см и высотой 30 см, в которой на высоте  $h = 3,9 \div 15$  см от дна помещались камеры КНТ-8 и урановые детекторы. Экранировка их кадмием показала, что вкладом надкадмиевых нейтронов можно пренебречь уже на высоте 3 см. Если нейтроны излучаются в поглощающую среду бесконечной плоской поверхностью, то спад их плотности как функция расстояния от поверхности происходит по экспоненте. В нашем случае из свинцового блока вылетали не замедлившиеся нейтроны и в результате в трех точках на указанных расстояниях  $h$ , в пределах точности измерений 10—15%, был получен линейный спад плотности нейтронов, экстраполяция которой дала нулевую плотность нейтронов при  $h_m = 17$  см, причем в пределах статистической точности измерений, как и следовало ожидать,  $h_m = \text{const}$  для всех ядер.

Вследствие этого отношение макроскопического сечения поглощения нейтронов в столбике воды к сечению  $\sigma_{n,F}$  в камерах КНТ-8 при эффективном слое урана 1,5 мг составит  $1,2 \cdot 10^4$ . Для урановых детекторов массой 1 г отношение макроскопических сечений в воде и реакции  $(n, \gamma)$  в детекторах составит 27,4, и суммарное сечение равно  $28,4 \cdot 10^{-24}$  см<sup>2</sup>.

Результаты экспериментов при установке КНТ-8 и детекторов на расстоянии  $h = 3$  см приведены в табл. 1.

Определение абсолютного числа генерированных в блоке нейтронов проведено в предположении, что практически все они вылетают из блока, т.к. очень малым сечением поглощения можно пренебречь. Вследствие осевой симметрии пучка по отношению к центру блока очевидно, что генерация нейтронов и их вылет через боковые грани также симметричны, и на координатах  $z$  вдоль пучка поток нейт-

ронов пропорционален распределению плотности нейтронов внутри блока по  $z$ . Последняя была определена по реакциям  $(n, \gamma)$  и  $(n, F)$  в работах<sup>/4-6/</sup>.

Таблица 1

Снаряд	Энергия на нуклон, ГэВ	Поток ядер	Число реакций	
			$(n, \gamma)$	$(n, F)$
$^2\text{H}$	1,5	$(2,25 \pm 0,17) \cdot 10^{12}$	$(5,23 \pm 0,27) \cdot 10^8$	-
$^4\text{He}$	2,2	$(4,41 \pm 1,16) \cdot 10^9$	$(3,40 \pm 0,86) \cdot 10^6$	$(9,0 \pm 1,0) \cdot 10^3$
$^7\text{Li}$	2,2	$(1,29 \pm 0,28) \cdot 10^{10}$	$(1,74 \pm 0,3) \cdot 10^7$	$(3,65 \pm 0,40) \cdot 10^4$
$^{12}\text{C}$	1,87	$(2,58 \pm 0,41) \cdot 10^{10}$	$(4,97 \pm 0,42) \cdot 10^7$	$(11,3 \pm 1,0) \cdot 10^4$

Для расчета числа вылетающих из блока нейтронов необходимо экстраполировать ко дну ванны число реакций  $(n, \gamma)$  и  $(n, F)$  в табл.1. В соответствии с линейным спадом плотности нейтронов это увеличивает число реакций в 1,2 раза. Вылет нейтронов через торцевые грани блока, по распределению плотности нейтронов вдоль и поперек пучка, на основании<sup>/4-6/</sup> оценен равным 0,1 от вылета через боковые грани. В соответствии с этим из данных табл. 1 были получены величины энергии, необходимой для генерации одного нейтрона. Вследствие дефекта аппаратуры для КНТ-8 в опыте с дейтронами в табл. 1 нет данных по реакции  $(n, F)$ , однако высокая статистическая точность данных по урановым детекторам позволила получить данные по реакции деления  $^{235}\text{U}$ , используя известный кумулятивный выход изотопов:  $^{132}\text{Te}$ ,  $^{143}\text{Ce}$ ,  $^{131}\text{I}$  и других. Этот результат находится в хорошем согласии с данными по реакции  $(n, \gamma)$  и приведен в табл. 2.

Таблица 2

Снаряд	Энергия на нуклон, ГэВ	Энергия генерации нейтронов, МэВ		
		$(n, \gamma)$	$(n, F)$	средняя
$^2\text{H}$	1,5	$34,7 \pm 3$	$30,0 \pm 4$	$32,4 \pm 3$
$^4\text{He}$	2,2	$30,6 \pm 10$	$27,5 \pm 6$	$29,0 \pm 8$
$^7\text{Li}$	2,2	$31,0 \pm 8$	$34,7 \pm 5$	$32,1 \pm 6$
$^{12}\text{C}$	1,87	$31,5 \pm 5$	$32,7 \pm 4$	$32,1 \pm 4$

Наименьшее расстояние в блоке от оси пучка равно 25 см, а минимальное усредненное число рассеяний нейтрона до вылета больше 100, поэтому они замедляются, и мала вероятность реакции  $(n, 2n)$ .

Следовательно, найденное среднее значение энергозатрат на генерацию одного нейтрона можно считать приемлемым и для свинцового блока неограниченного размера.

Результаты обоих методов показывают, что усредненное для всех ядер значение энергии равно  $(32 \pm 5)$  МэВ.

### Литература

1. Дьяченко В.М. и др. — См. наст. сборник, с.45.
2. Гусаков Ю.В. и др. — Сообщение ОИЯИ, 13-87-240, Дубна, 1987.
3. Damdinsuren C. et al. — Nucl. Instr. Meth., 1990, A288, p.319.
4. Воронко В.А. и др. — АЭ, 1989, 66, с.215.
5. Дьяченко В.М. и др. — АЭ, 1989, 67, с.291.
6. Воронко В.А. и др. — АЭ, 1990, 68, с.449.

Рукопись поступила 6 февраля 1992 года.