

**ИССЛЕДОВАНИЕ
С ПОМОЩЬЮ ЯДЕРНОЙ ЭМУЛЬСИИ РЕАКЦИИ $C^{12}(n, n')3\alpha$,
ВЫЗЫВАЕМОЙ НЕЙТРОНАМИ С ЭНЕРГИЕЙ 14 Мэв**

*

Л. СЕН-ПЬЕР

Монреальский университет, Канада
(Представлено П. Демерсом)

Ядерные эмульсии являются прекрасным средством регистрации изучавшейся нами ядерной реакции расщепление углерода на три α -частицы $C^{12}(n, n')3\alpha$ под действием нейтрона с энергией порядка 14 Мэв. Исследуемые пластинки предварительно загружались торием с целью их калибровки как с точки зрения тормозной способности, так и с точки зрения коэффициента ослабления.

Источником нейтронов служил ускоритель Кокрофта — Уолтона физического факультета Монреальского университета, ускоряющий дейтоны до энергии 480 кэв. При использовании тритиевой мишени энергия нейтронов меняется с изменением угла между детектором и пучком дейтонов. Расщепление углерода на три составные части было исследовано при двух значениях энергии падающих нейтронов, т. е. при 15,7 Мэв (0°) и при 13,95 Мэв (110°).

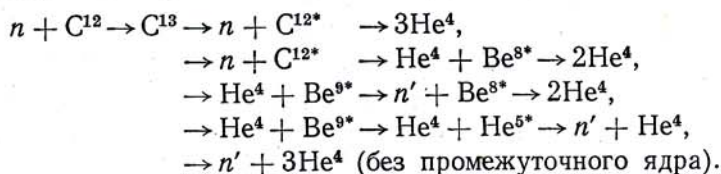
Следует отметить, что в последнем случае (110°) энергия нейтронов почти не зависит от энергии дейтонов, и поэтому получается моноэнергетический пучок нейтронов. Классическая динамика столкновений позволяет установить следующие соотношения, если известно направление падающего нейтрона (он направлен вдоль оси x):

$$\begin{aligned} E_n &= [E_\alpha - Q + P_{\alpha x}^2 + P_{\alpha y}^2 + P_{\alpha z}^2] / 4P_{\alpha x}^2, \\ E_{n'} &= [P_{\alpha x} - P_n]^2 + P_{\alpha y}^2 + P_{\alpha z}^2, \\ \operatorname{tg} \theta_{n'} &= [P_{\alpha y}^2 + P_{\alpha z}^2]^{1/2} / [P_{\alpha x} - P_n], \end{aligned}$$

причем $Q = -7,2$ Мэв; n — падающий нейтрон; n' — испускаемый нейтрон; P — импульс.

Было исследовано 200 случаев, которые можно разбить на две группы. С экспериментальной точки зрения между этими двумя группами существует два радикальных различия. Первое состоит в отличии энергии падающих нейтронов, второе обусловлено принципом отбора звезд, подлежащих измерению: в первой группе, полученной при облучении под углом 0° , измерению подвергались все зарегистрированные звезды, в то время как во второй группе измерялись лишь звезды, измерение которых не представляет затруднений, а именно, не слишком глубоко расположенные и имеющие не слишком короткие и не слишком длинные, прямые, без рассеяния лучи. Первая серия измерений дает более растянутый спектр, чем вторая серия. Это понятно, так как при измерении всех зарегистрированных звезд ошибки будут гораздо большими.

Спектры испускаемых нейтронов обнаруживают преобладание низких энергий в соответствии с теорией составного ядра. Нет никакой сколько-нибудь заметной разницы в спектрах для обоих значений энергии падающих нейтронов. При энергии выше 1,5 Мэв спектры согласуются с формулой испарения, если температура ядра будет принята близкой к 2 Мэв. Если допустить существование промежуточных ядер, например, C^{12} , Be^9 , Be^8 , He^5 , то получится несколько вариантов деления, а именно:



Поэтому возбужденные уровни можно изучать, пользуясь оболочечной моделью этих промежуточных ядер, однако, следует отметить, что в случаях, когда образуется Be^{8*} , с помощью ядерных эмульсий нельзя отличить альфа-частицы, образующиеся из Be^8 , от альфа-частиц, образованных C^{12} . Формулы для возбужденных ядер имеют следующий вид:

$$\begin{aligned} E_{C^{12}}^{возб} &= E_\alpha - Q - (1/12) [P_{\alpha x}^2 + P_{\alpha y}^2 + P_{\alpha z}^2], \quad Q = -7,2 \text{ Мэв}, \\ E_{Be^8}^{возб} &= E_{\alpha_1} + E_{\alpha_2} - Q' - (1/8) [(P_{\alpha_1 x} + P_{\alpha_2 x})^2 + (P_{\alpha_1 y} + P_{\alpha_2 y})^2 + \\ &\quad + (P_{\alpha_1 z} + P_{\alpha_2 z})^2], \quad Q' = 0,09 \text{ Мэв}. \end{aligned}$$

Две построенные гистограммы для возбужденных состояний углерода обнаружили наличие уровня 10,1 Мэв, который является довольно широким. Однако второй уровень, по-видимому, смещается при изменении энергии падающего нейтрона, так как при энергии падающих нейтронов 15,7 Мэв второй уровень соответствует 12,7 Мэв, в то время как при энергии падающих нейтронов 13,9 Мэв этот уровень соответствует 11,2 Мэв. Но эти два уровня для углерода уже известны (Айзенберг и Лауритцен, 1959 г.).

Таким образом, можно сделать такое же заключение, какое было сделано Розеном с сотрудниками, которые в 1955 г. обнаружили аналогичное смещение второго уровня C^{12} .

Что касается гистограмм для возбужденных уровней Be^8 , то здесь была видна заметная разница между двумя сериями. При энергии падающих нейтронов 15,7 Мэв на сплошном фоне можно различить уровень энергии 2,2 Мэв и гораздо меньше событий при нулевом уровне энергии. Напротив, при энергии падающих нейтронов 13,9 Мэв обнаруживается тот же возбужденный уровень 2,2 Мэв и наряду с ним преобладание способа распада из основного состояния Be^8 . Для Be^8 известен уровень 2,9 Мэв, но он слишком велик.

Можно повысить точность обеих гистограмм возбужденных состояний Be^8 , вычисляя в системе центра тяжести атома Be^8 угол испускания двух α -частиц, который должен составлять 180° .

В ближайшем будущем намечено выполнить эти расчеты.

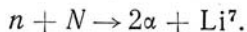
Наибольшая разница между двумя сериями измерений заметна в угле испускания нейтрона в системе центра тяжести C^{13} . Гистограмма для падающего нейтрона с энергией 15,7 Мэв подчинялась лучше всего линейному закону вида:

$$dN/d\Omega = 1 - a \cos \theta, \quad a = 0,6,$$

в то время как для энергии падающих нейтронов 13,9 Мэв получается зависимость от $\cos^2 \theta$ (с указаниями на наличие, сверх того, члена, содержащего $\cos^4 \theta$):

$$y = 1 - b \cos^2 \theta - (c \cos^4 \theta), \quad b = 0,73.$$

В изученных фотопластинках встречаются трехлучевые звезды, которые соответствуют не реакции $C^{12}(n, n')3\alpha$, а скорее реакции захвата



Как и Розен, авторы нашли, что 2% зарегистрированных событий обусловлены этим делением.

Для упрощения вычислений была использована электронно-вычислительная машина (типа Бендикс L.G.P.-30). Вместо того, чтобы пользоваться таблицей соотношений пробег — энергия для α -частиц, что требует большого напряжения памяти, авторы выразили это соотношение в виде уравнения $R = E^B$. С помощью метода наименьших квадратов и таблиц, представленных в книге «Ионография» Демерса были найдены для коэффициентов следующие значения: $2,7155$ $B = 1,19464$.

Оценка точности измерений

Интересно оценить точность измерений в ядерных эмульсиях, рассматриваемых в данной работе. При определении энергии падающих нейтронов было найдено значение $\sigma = 1,8$ Мэв, составляющее 12,2% от энергии возбуждения C^{12} . Наблюдаемое значение получается, очевидно, в результате наложения нескольких соседних уровней.

Для отдельного уровня разумно допустить значение $\sigma = 1,5$ Мэв или 12,5%. Для Be^8 точность измерения составляет около 1 или 2 Мэв (от 100 до 50%).

Для оценки энергии испускаемых нейтронов можно рассуждать следующим образом: допустим, что справедлива формула испарения, тогда число нейтронов с энергией между 0 и 1 Мэв будет определяться в основном статистическими отклонениями для нейтронов с более высокими энергиями. Из этого условия получили σ от 1 до 2 Мэв. Это значение является вполне правдоподобным и соответствует сделанному выше допущению.

Оценить точность измерения угла испускания нейтронов затруднительно.

Были выполнены также систематические расчеты по оценке влияния ошибки эксперимента на определение каждого из 9 наблюдаемых параметров, служивших основой расчета, а именно, длин и величины углов. Наиболее серьезным источником ошибки является, по-видимому, ошибка в определении длины. Поэтому важно точно знать коэффициент усадки, что и было учтено при измерениях.

В заключение следует указать на возможность измерения энергетического и углового распределений неупруго рассеянных нейтронов в изученной реакции.

Автор выражает благодарность Ж. Карро за помощь в измерениях.