Доклады Академии наук СССР
1955. Том 103, № 3

ФИЗИКА

В. И. ОСТРОУМОВ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГИИ ВОЗБУЖДЕНИЯ ЯДЕР ПО ТРЕКАМ ЯДЕР ОТДАЧИ В ЗВЕЗДАХ ФОТОЭМУЛЬСИИ

(Представлено академиком А. Ф. Иоффе 18 III 1955)

Около 40% всех расщеплений, наблюдаемых в ядерной эмульсии при ее облучении протонами с энергией 460 Мэв, сопровождается появлением короткого трека (длиной до 10 μ), обязанного движению остаточного ядра. Импульс этого ядра складывается из эффекта отдачи испаряющихся частиц и импульса, обусловленного «застреванием» в ядре части кинетической энергию падающего протона, которая переходит в энергию нагревания ядра.

Разложим скорость движения ядра-остатка на две составляющие (в плоскости поля зрения): продольную (обозначив ее v) — по направлению движения бомбардирующего протона (по оси x) и поперечную w. Предположение о том, что скорость w обусловлена лишь испарением частиц и что на оси x имеется в среднем такой же эффект отдачи, будет, очевидно, недалеко от истины вследствие изотропного характера процесса испарения. Считая далее, что переносная скорость возбужденного ядра (назовем ее u), вызванная передачей импульса ядру пролетевшим первичным протоном, направлена по x, получим, что средние значения u, w, v связаны равенством:

$$\bar{u} \pm \bar{w} = \bar{v}. \qquad (1)$$

Двойной знак в (1) соответствует двум возможным ориентациям w относительно направления x. Наблюдение треков ядер отдачи в звездах позволяет, следовательно, определить средний передаваемый импульс и энергию возбуждения ядра.

Число вылетевших из ядра заряженных частиц (т. е. число лучей в звезде) есть функция энергии возбуждения U последнего (или скорости u):

$$n = n(U) \quad \text{или} \quad u = f_1(n).$$

Скорость w зависит от числа частиц испарения и, следовательно в конечном счете, от общего числа лучей:

$$w = f_2(n).$$

По (1) имеем:

$$f_1(n) + f_2(n) = f_3(n), \quad f_1(n) - f_2(n) = f_4(n), \qquad (2)$$

где $f_3(n)$ и $f_4(n)$ — опытные зависимости суммарной скорости v от числа лучей в звезде: первая для случая, когда в результате испарения ядро получило импульс в переднюю полусферу отрицательно падающего протона, вторая — при обратном направлении. Во втором случае величина v будет, вообще говоря, незначительна, и поэтому

большинство таких расщеплений не сопровождаются видимым треком ядра отдачи.

Из (2) можно получить зависимость числа вылетевших из ядра частиц от энергии его возбуждения.

Опыт ставился на пластинках с эмульсией НИКФИ, регистрирующей протоны с энергиями до 30—40 Мэв. Следовательно, в наблюдаемое число частиц войдут также протоны выбивания, имеющие энергию меньше этой величины. Скорость ядер отдачи определялась по кривой зависимости пробег — скорость для легкого осколка деления урана (1). Коэффициент перехода от пробега в воздухе к пробегу

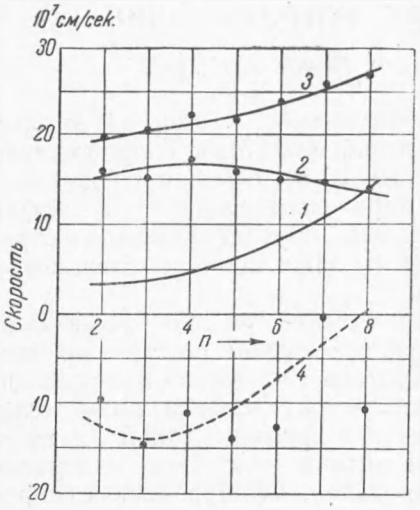


Рис. 1. $1 — u = f_1(n)$; $2 — w = f_2(n)$; $3 — v^+ = f_3(n)$; $4 — v^- = f_4(n)$. Нанесены экспериментальные точки для положительно направленной скорости v^+ (относительно падающего протона) и отрицательной скорости v^-

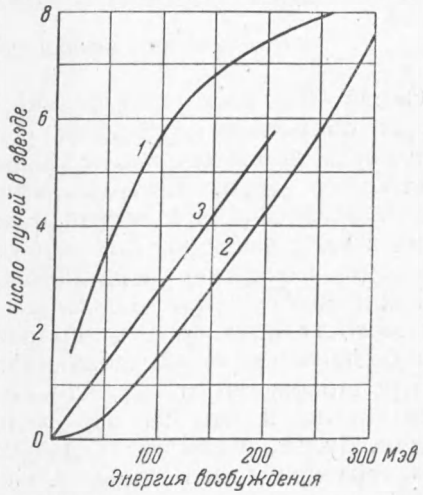


Рис. 2. *1* — зависимость общего числа лучей в звезде от энергии возбуждения ядер Ag и Br; *2* — зависимость числа заряженных частиц испарения от энергии U по (3); *3* — то же по (4)

в эмульсии был взят равным 1800. Всего исследовано 356 звезд с треком ядра отдачи. Из них 22 звезды были отнесены к случаям расщеплений легких ядер эмульсии и исключены при дальнейших расчетах. Было сделано предположение, что звезда с треком отдачи, направленным вперед по отношению к пучку, осуществляет случай зависимости $f_3(n) \equiv v^+$; звезды с обратным направлением короткого трека относились к функции $f_4(n) \equiv v^-$ (таких случаев было всего 49). Найдено среднее значение переносной скорости ядер Ag и Br $\bar{u} = 2{,}8 \cdot 10^7$ см/сек, что соответствует среднему возбуждению $U = 55$ Мэв, если считать, что среднее число нуклонов выбивания равно 3,3 (2).

Чтобы по величине $\bar{u}$ определить U, необходимо из величины потери кинетической энергии первичным протоном, соответствующей переданному ядру импульсу, вычесть суммарную энергию связи вторичных выбитых нуклонов Q. При этом предполагается, что бомбардирующий протон пролетает сквозь ядро без изменения направления.

Учет доли наблюдаемых ядер отдачи несколько снизит полученное значение U. Можно считать, что величина $U = 55$ Мэв определена с точностью до 20%.

На рис. 1 показаны полученные на опыте зависимости и вычисленные по (2) функции $u = f_1(n)$ и $v^- = f_4(n)$. Несовпадение экспериментальных точек зависимости $v^- = f_4(n)$ с вычисленной кривой в области боль-

ших n объясняется тем, что были отобраны для измерений только те случаи, которые соответствуют большим отклонениям величины v^- от среднего значения, поскольку лишь при этом будет заметен трек ядра отдачи.

Зависимость числа лучей в звезде от скорости u (функция, обратная $ku = f_1(n)$ должна быть пересчитана к величине $n(U)$, т. е. необходимо отделить влияние Q. Это было сделано сравнением полученной кривой $n(U+Q)$ с теоретической зависимостью числа частиц испарения от U, данной в работе (3). Результат показан на рис. 2. Дальнейшим сопоставлением кривой рис. 2 с данными испарительной теории (3) (кривая 2), а также с работой (4) (кривая 3) получено число протонов выбивания с энергиями ниже 30—40 Мэв для каждого вида звезд.

Число протонов выбивания, полученное как разность общего числа лучей в звезде и числа частиц испарения при данной энергии возбуждения, составляет: 2,4, если пользоваться кривой $n_{\text{испар}}(U)$ по (3), и 1,5 при использовании зависимости $n_{\text{испар}}(U)$, данной в (4).

Прибавив к определенному таким образом среднему числу выбитых протонов число протонов с энергиями больше 30 Мэв, составляющее, согласно (4), около 0,8, получим общее число протонов выбивания на одно расщепление, равное 3,2 по (3) и 2,3 по (4). Расчеты внутреннего каскадного процесса для случая взаимодействия протонов энергии 400 Мэв с ядрами $A = 100$ (2,4), приводят к значению этой величины, равному 1,4 (4) и 1,9 (2). Исходя из этого, можно считать, что теоретическая зависимость $n_{\text{испар}}(U)$ для испарительного процесса, данная в (3), повидимому, занижена и что авторы (4) дают более точное соотношение.

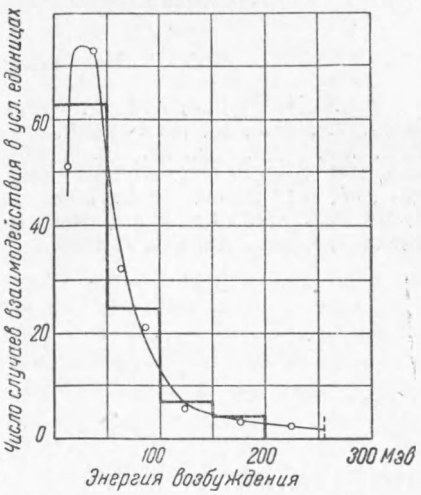


Рис. 3. Распределение числа случаев взаимодействия протонов с ядрами $A = 100$ по величине энергии возбуждения. Кривая построена по данным настоящей работы, гистограмма — согласно (4)

Приведенные данные показывают, следовательно, что среди заряженных частиц, вылетающих из звезд на Ag и Br с энергиями меньше 30—40 Мэв, компонента выбивания составляет около 40%.

По известному лучевому распределению звезд и полученной зависимости $n(U)$ была построена кривая распределения числа случаев взаимодействия протонов с энергией 460 Мэв с ядрами атомного веса 100, приводящих к определенной величине энергии возбуждения последних (см. рис. 3). На этом рисунке помещены результаты работы (4) для случая протонов с энергией 400 Мэв. Среднее возбуждение, вычисленное по данному распределению, составляет 55 Мэв. Эта величина хорошо совпадает с расчетом (2, 4, 6). (Подстановка в формулу, данную в работе (6), значений γ и ϑ, полученных в нашем опыте, приводит к значению U, равному 60 Мэв.)

Анализ звезд, не имеющих трека ядра отдачи, позволяет заключить, что процесс расщепления ядер Ag и Br приводит в среднем к одинаковому их нагреванию вне зависимости от того, наблюдается или нет трек остаточного ядра (для случаев с одним и тем же числом лучей).

Можно надеяться, что увеличение статистики опытов подобного типа и дальнейшее усовершенствование их методики будет способство-

вать выяснению ряда вопросов, связанных с возбуждением ядер частицами больших энергий.

Настоящее исследование проведено автором под руководством проф. Н. А. Перфилова в течение января — марта 1954 г. ([7]). Впоследствии автору стала известна работа ([5]), в которой произведен новый расчет процесса испарения. Даваемая в ([5]) зависимость $n_{\text{испар}}(U)$ близко подходит к прямой Бернардини и др. ([4]), располагаясь (вплоть до значения $U = 200$ Мэв) немного выше ее. Вычисленное по этой кривой среднее число протонов выбивания будет равно 1,7, т. е. находится в удовлетворительном согласии с расчетом.

Радиевый институт им. В. Г. Хлопина
Академии наук СССР

Поступило
15 III 1955

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] J. K. Böggild, K. J. Brostrom, T. Lauritsen, Danske Videnkab. Selskab. Mat.-fys. Medd., 18, No 4 (1940). [2] H. Mc Manus, W. T. Sharp, H. Gellman, Bull. Am. Phys. Soc., 28, No. 6, 20 (1953). [3] K. J. Le Couteur, Proc. Phys. Soc., 63A, 259 (1950). [4] G. Bernardini, E. T. Booth, S. J. Lindenbaum, Phys. Rev., 88, 1017 (1952). [5] Vorträge über kosmische Strahlung, 2. Aufl., Berlin, 1953, S. 201. [6] N. Hintz, Phys. Rev., 86, 1042 (1952). [7] В. И. Остроумов, Отчет Радиевого инст. АН СССР, 1954.