Доклады Академии наук СССР
1955. Том 103, № 3

ФИЗИКА

В. И. ОСТРОУМОВ

ДЕЛЕНИЕ ЯДЕР УРАНА БЫСТРЫМИ ПРОТОНАМИ *

(Представлено академиком А. Ф. Иоффе 20 V 1955)

При наблюдении в фотопластинках случаев деления ядер частицами больших энергий было замечено, что осколки часто разлетаются под углами меньше 180° друг к другу, причем вершина угла направлена в сторону падающей частицы. Это связано, повидимому, с передачей импульса ядру бомбардирующей частицей. Можно считать без большой ошибки, что последняя теряет при своем прохождении сквозь ядро лишь часть своей энергии, идущей на выбивание вторичных нуклонов и возбуждение ядра в целом. С достаточным приближением можно принять, что остальная энергия уносится одним нуклоном, вылетающим в направлении первичной частицы. Измерив на опыте скорость ядра-мишени, легко затем определить величину энергии, затраченной на тепловое возбуждение ядра. Эта скорость вычисляется по углу между осколками и их пробегов в фотослое.

Из треугольника скоростей получаем выражение для скорости переносного движения ядра-мишени, принимая, что эта скорость направлена по движению падающего нуклона:

$$u = \frac{v_1 v_2 \sin(\varphi_1 + \varphi_2)}{v_1 \sin\varphi_1 + v_2 \sin\varphi_2}.$$

Здесь v_1 и v_2 — скорости осколков в лабораторной системе; φ_1 и φ_2 — углы, образуемые ими с направлением пучка.

Затем определяется конечный импульс бомбардирующего нуклона и связанная с ним кинетическая энергия:

$$p_к = p_0 - Mu;\ E_к = \sqrt{p_к^2 c^3 + m^2 c^4} - mc^2$$

(p_0 — начальный импульс нуклона массы m; M — масса ядра-мишени).

Энергия возбуждения (плюс суммарная энергия связи нуклонов, выбитых в каскадной стадии процесса взаимодействия) будет равна:

$$U + Q = E_0 - E_к$$

(E_0 — энергия бомбардирующего нуклона).

На движение ядра может, разумеется, налагаться также скорость, приобретаемая возбужденным ядром при испарении частиц. Последний процесс, однако, носит изотропный характер и не может дать большого вклада в величину u, вызывая лишь появление «хвоста» у кривой распределения случаев по u.

Опыт ставился на пластинках с ядерной особо мелкозернистой эмульсией, метод получения которой разработан Н. А. Перфиловым с сотр. Эту эмульсию можно приготовить таким образом, что она будет регистрировать лишь тяжелые частицы типа осколков, позволяя, следовательно,

* Статья, в основном, написана по опытным данным, полученным в 1953 г. (1).

ставить опыт при длительных экспозициях на протонном пучке. Пластинки пропитывались в водном растворе урановой соли и облучались протонами с энергией 450 Мэв. Фон делений на рассеянных частицах составлял около 10%.

Было проанализировано около 400 случаев «угловых» делений. Для уменьшения ошибок, связанных с измерением углов, случаи, имеющие наклон по отношению к пучку меньше 50°, были отброшены. Скорость осколков определялась по кривой пробег — скорость, данной в [2].

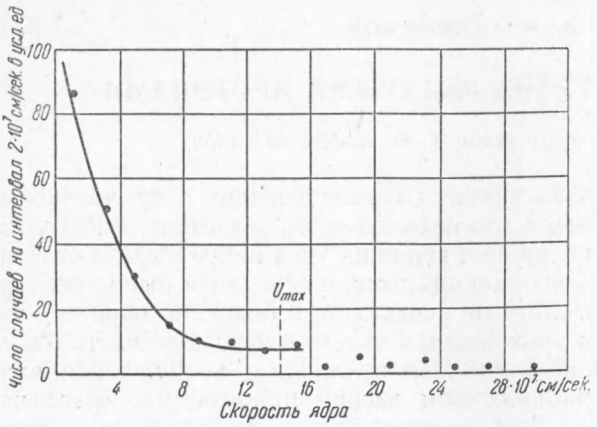


Рис. 1

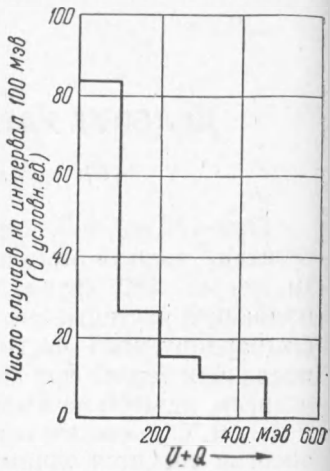


Рис. 2

Рис. 1. Распределение числа случаев деления ядер урана по величине скорости u. Указано значение максимальной скорости u_{max}

Рис. 2. Распределение числа взаимодействий протонов с ядрами урана по величине энергии возбуждения последних (включая Q — суммарную энергию связи выбитых частиц)

Экспериментальные результаты представлены на рис. 1. Довольно отчетливо заметен обрыв точек вблизи значения скорости $u = 14 \cdot 10^7$ см/сек, которая соответствует передаче ядру полного импульса налетающего протона. По этим данным можно построить распределение числа случаев взаимодействия, приводящих к определенной энергии возбуждения ядер урана (см. рис. 2). Среднее возбуждение делящихся ядер урана составляет около 140 Мэв, если принять, что в среднем выбивается 4 вторичных нуклона. С учетом доли, вносимой в эту величину энергии возбуждения случаями взаимодействия протонов с ядрами урана, не приводящими к делению последних, среднее возбуждение составит около 100 Мэв. Последняя цифра имеет неточность порядка 10—15%.

Нами было замечено некоторое преобладание случаев деления, когда осколки летят в направлении, перпендикулярном движению первичного протона. При пересчете к пространственному распределению найденных 1853 делений урана относительно направления пучка оказалось, что отношение вероятностей вылета осколков в углах 0—45° и 45—90° в системе, связанной с движущимся материнским ядром, составляет 0,64 ± 0,06 (указана лишь статистическая ошибка опыта).

После выполнения настоящего исследования в 1953 г. появилось сообщение о результатах расчетов по взаимодействию быстрых нуклонов с различными ядрами [3]. Для случая столкновений протонов энергии 400 Мэв с ядрами урана авторы [3] дают величину энергии возбуждения в 94 Мэв, что хорошо согласуется с нашими данными.

В последнее время проведен ряд работ по выяснению углового распределения осколков деления, в которых найдено, что при небольших энергиях падающих нуклонов имеет место параллельная асимметрия выле-

та ([4]) — результат, который естественно ожидать, если исходить из модели составного ядра. Возможно, что переход от этой модели к модели одиночных внутриядерных столкновений, связанный с возрастанием энергии бомбардирующих частиц, должен вызвать также изменение характера асимметрии. Однако в ([5]) сообщается о наличии параллельной же асимметрии для случая деления висмута протонами с энергией 450 Мэв. Этот результат, расходящийся с данными нашего опыта, затруднительно интерпретировать вследствие краткости публикации. Можно предполагать, что он связан с эффектом переносного движения ядра-мишени, о котором говорилось выше.

В заключение автор выражает признательность проф. Н. А. Перфилову, под руководством которого проведена эта работа.

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

Поступило
10 V 1955

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] В. И. Остроумов, Отчет Радиев. инст. АН СССР, 1953. [2] I. K. Bøggild, K. J. Brostrom, T. Lauritsen, Danske Videnskab. Selskab. Mat. fys. Medd., 18, No. 4 (1940). [3] H. McManus, W. T. Sharp, H. Gellman, Bull. Am. Phys. Soc., 28, No. 6, 20 (1953). [4] B. J. Cohen, W. H. Jonen and oth., Phys. Rev., 94, 625 (1954). [5] R. L. Wolke, Bull. Am. Phys. Soc., 30, No. 1, 60 (1955).