

СПЕКТР НЕЙТРОНОВ ДЕЛЕНИЯ U^{235}

В журнале уже сообщалось¹ о работе², которая была посвящена исследованию спектра нейтронов деления U^{235} в области $0,4 + 7$ Мэв. Ниже реферируются ещё три работы^{3, 4, 5}, расширяющие исследованную область энергий нейтронов деления U^{235} от $0,05$ Мэв до 17 Мэв.

В работе³ исследовался спектр нейтронов (мгновенных) при делении U^{235} в области $0,05 + 0,7$ Мэв. Нижняя граница определяется минимальной длиной трека протона отдачи, которую можно определить с достаточной

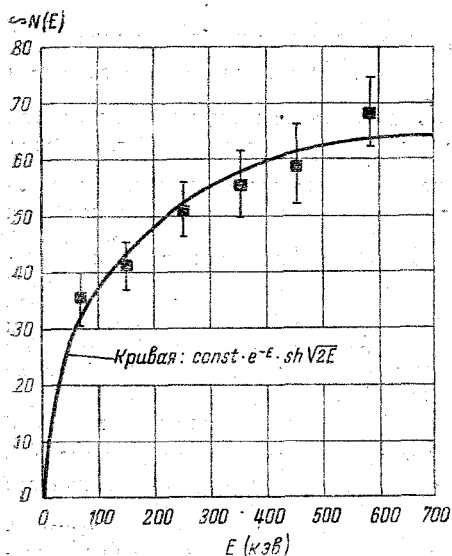


Рис. 1.

Всего получили 2800 стереоскопических снимков, на которых было 25 000 треков протонов отдачи. Из них 437 треков начинались в определённой, выделенной заранее области камеры и имели угол с направлением нейтронов из урановой фольги не более 15° . Протоны, соответствующие этим трекам, получали почти всю энергию столкнувшихся с ними нейтронов. 237 треков из 437 оканчивались в газе камеры и являлись объектами исследования. На рис. 1 воспроизведён спектр нейтронов, полученный в этой работе. По оси абсцисс отложена энергия нейтронов деления в кэв, по оси ординат — относительное число нейтронов. Кривая соответствует полуэмпирической формуле Вогта⁵: $N(E_n) = e^{-E_n} \cdot \text{sh} \sqrt{2E_n}$. Видно, что

точностью, а верхняя — максимальной длиной трека протона отдачи, которая укладывалась в камере Вильсона. Источником тепловых нейтронов служил котел с тяжёлой водой в качестве замедлителя. Нейтронный пучок выходил из тепловой колонны и после коллиматора из кадмия и свинца попадал на урановую фольгу, обогащённую изотопом U^{235} . На пути пучка стояла задвижка из кадмия, так что нейтроны попадали на урановую фольгу только при открытой задвижке. Детектором нейтронов являлась камера Вильсона диаметром 12 дюймов, глубиной 9 дюймов. Камера была наполнена смесью водорода и водяных паров до да-

вления $\frac{1}{3}$ атмосферы. При таких условиях протоны отдачи с энергией 50 кэв имели треки длиной 7 мм. Камера защищалась от γ -квантов толстым слоем свинца.

полуэмпирическая формула достаточно хорошо описывает результаты эксперимента.

В работе ⁴ исследовался спектр нейтронов деления U^{235} (мгновенных и запаздывающих) при облучении урановой фольги пучком нейтронов из тепловой колонны котла с тяжёлой водой. Область исследования спектра $0,4 + 7$ Мэв. Наблюдали распределение протонов отдачи по пробегам,

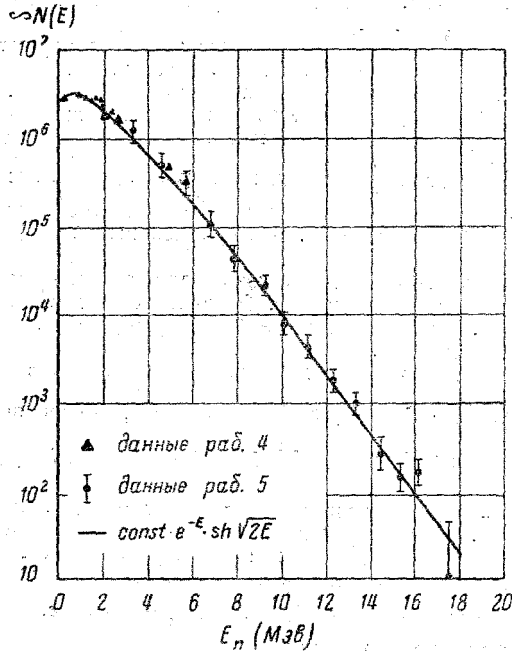


Рис. 2.

а затем рассчитывали спектр нейтронов, выбивших эти протоны из слоя парафина. Пробеги протонов отдачи находили прибором, состоящим из слоя парафина, поглотителей различной толщины и четырёх счётчиков в виде телескопа. Из четырёх счётчиков три включены на совпадения, а последний — на антисовпадения с тремя. Регистрировались только те протоны, которые прошли слой поглотителя и три счётчика, но не смогли проникнуть в четвёртый. Спектр нейтронов имеет широкий максимум около $0,75$ Мэв. Для энергии нейтронов от 2 Мэв до 7 Мэв спектр имеет экспоненциальный спад с «энергией затухания», равной $1,55$ Мэв. Результаты работ ⁴ и ⁵ приведены на рис. 2. По оси абсцисс отложена энергия нейтронов деления, а по оси ординат — интенсивность в произвольных единицах.

В работе ⁵ исследованная область энергий лежит в пределах $3,3 + 17$ Мэв. В этом случае источником тепловых нейтронов служил однородный котёл с тяжёлой водой. Исследовалось распределение по пробегам протонов отдачи из слоя парафина с помощью поглотителей и телескопа из трёх счётчиков, включённых по схеме совпадений. Регистрировались все протоны отдачи с энергией больше минимальной, определяемой толщиной поглотителя, парафина и стенок телескопа. Дифференциальное распреде-

ление получалось по разности интегральных распределений. Результаты работы приведены на рис. 2. На этом же рисунке воспроизведены данные работы⁴. Кривая соответствует полуэмпирической формуле Уотта:

$$N(E_n) = 4,75 \cdot 10^6 \cdot e^{-E_n} \cdot \text{sh} \sqrt{2E_n}.$$

Из рисунка следует, что эта формула описывает экспериментальные данные достаточно хорошо. Эта же формула описывает область энергий $0,075 \div 0,6$ Мэв (см. рис. 1).

В работе⁵ сообщается о том, как была выведена формула. После того как получили экспериментальные данные для спектра нейтронов деления U^{235} , была сделана попытка рассчитать его теоретически. Сделали три предположения: 1) эмиссия осколков и нейтронов изотропна в системах центра масс; 2) распределение нейтронов в системе центра масс пропорционально $E'_n \cdot e^{-E'_n/Q}$, где E'_n — энергия нейтронов в системе центра масс, а Q соответствует ядерной «температуре» осколка; 3) скорость осколка при вылете нейтрона максимальна. Это предположение основано на модели жидкой капли.

Предположение, что имеется только одна средняя масса осколка, не привело к согласию с экспериментом. Предположили два осколка с двумя средними массами. Расчёт усложнился, но формула не соответствовала экспериментальным данным.

Однако, считая, что распределение нейтронов максвелловское, т. е. пропорционально $E_n^{1/2} \cdot e^{-E_n/Q}$, а не $E'_n \cdot e^{-E'_n/Q}$, получили формулу

$$N(E_n) = \text{const} \cdot e^{-E_n/Q} \cdot \text{sh} [2Q^{-1} \cdot (E_n \cdot E_{\text{оск}} \cdot m_n / M_{\text{оск}})^{1/2}],$$

где $E_{\text{оск}}$ и $M_{\text{оск}}$ есть энергия и масса осколка, а E_n и m_n — энергия и масса нейтрона. Эта формула хорошо описывает экспериментальные данные при условии, что осколки имеют равные массы. Константы Q и $(E_{\text{оск}} \cdot m_n / M_{\text{оск}})$ положили ради простоты равными:

$$Q = 1,00 \text{ Мэв}, E_{\text{оск}} \cdot m_n / M_{\text{оск}} = 0,5 \text{ Мэв}.$$

Тогда получили следующую формулу:

$$N(E_n) = \text{const} \cdot e^{-E_n} \cdot \text{sh} \sqrt{2E_n},$$

где E_n в Мэв. Об этой формуле и говорится во всех предыдущих работах.

Полагая, что осколки различны, авторы получили более сложную формулу, но и в этом случае не получили лучшего согласия с экспериментальными данными. Экспериментальный спектр можно описать лучшей формулой, если считать, что осколки имеют различные Q . Получаются сложные формулы, что практически неудобно. Уотт считает, что три указанные выше предположения разумны, но надо учесть, что имеются осколки с различными массами, скоростями и возбуждениями. Однако формула будет сложная и практически не пригодна для расчёта.

Л. К.

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. УФН, т. XLVIII, 585 (1952).
2. N. Nereson, Phys. Rev. 85, 600 (1952).
3. T. W. Bonner и др., Phys. Rev. 87, 1032 (1952).
4. D. L. Hill, Phys. Rev. 87, 1034 (1952).
5. B. E. Watt, Phys. Rev. 87, 1037 (1952).