СПЕКТР НЕЙТРОНОВ ДЕЛЕНИЯ U^{235}

В журнале уже сообщалось [1] о работе [2], которая была посвящена исследованию спектра нейтронов деления U^{235} в области $0,4 \div 7$ *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 работе [3] исследовался спектр нейтронов (мгновенных) при делении U^{235} в области $0,05 \div 0,7$ *Мэв*. Нижняя граница определяется минимальной длиной трека протона отдачи, которую можно определить с достаточной 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 давления $\frac{1}{3}$ атмосферы. При таких условиях протоны отдачи с энергией 50 *кэв* имели треки длиной 7 *мм*. Камера защищалась от γ-квантов толстым слоем свинца.

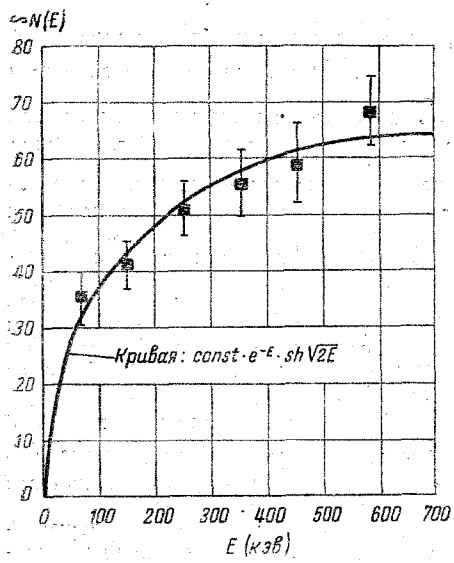

Рис. 1.

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 Уотта [5]: $N(E_n) = e^{-E_n} \cdot \mathrm{sh}\sqrt{2E_n}$. Видно, что

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,

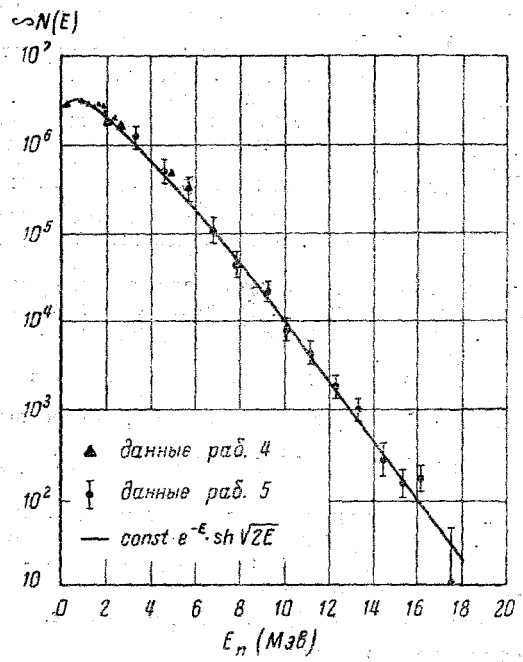

Рис. 2.

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*. И в этом случае источником тепловых нейтронов служил гомогенный 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 работы[4]. Кривая соответствует полуэмпирической формуле Уотта:

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

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 работе [5] 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

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

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:

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

Тогда получили следующую формулу:

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

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).