

асимметрии сохранялась в пределах точности измерений. Ток в соленоиде I_0 , соответствующий повороту спина нейтронов на 90° , в данном случае равен 260 а. Для контроля были проведены измерения при токах

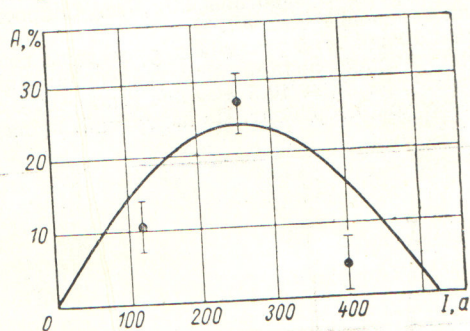


Рис. 3. Зависимость асимметрии от величины тока в соленоиде.

120 и 400 а. Величина наблюдаемой асимметрии A при этом меньше (рис. 3) и в пределах точности опыта согласуется с ожидаемым законом

$$A = A_0 \sin \frac{\pi}{2} \cdot \frac{I}{I_0}.$$

Средняя величина асимметрии A_0 , найденная в результате измерений, равна $(27,4 \pm 3,9)\%$. Для получения значения поляризации можно воспользоваться анализирующей способностью гелиевого анализатора, приведенной в работе [2]. Усреднение по интервалу

углов рассеяния для геометрических условий опыта (диаметр гелиевой камеры 11 см, нейтронного счетчика 7 см, расстояние между ними 40 см) дает значение асимметрии анализатора 0,96. Для поляризации нейтронов из реакции $T(p, n)He^3$ при $E_p = 10,5$ Мэв под углом $\theta_1 = 40^\circ$ значение $P = (-28,6 \pm 4,1)\%$.

Эта величина удовлетворительно согласуется с прежними результатами [4, 5] и уточняет их. Кроме того, она свидетельствует о правильности работы установки как анализатора поляризации нейтронов и о пригодности последней для дальнейших измерений.

Более подробное описание установки изложено в препринте Института атомной энергии им. И. В. Курчатова.

* Определение знака поляризации произведено в соответствии с Базельской конвенцией.

Поступило в Редакцию 25/III 1963 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. H. Barschall. Proceedings of the International Symposium on Polarization Phenomena of Nucleons, Basel, 1961, p. 227.
2. И. И. Левинтов, А. В. Миллер, В. Н. Шамшев. «Ж. эксперим. и теор. физ.», 32, 274 (1957).
3. P. Hillman, G. Stafford, C. Whitehead. Nuovo Cimento, IV, 67 (1956).
4. К. П. Артемов, Н. А. Власов, Л. Н. Самойлов. «Ж. эксперим. и теор. физ.», 37, 1184 (1959).
5. R. L. Walter et al. Nucl. Phys., 30, 292 (1962).

УДК 539.17

Число мгновенных нейтронов и кинетическая энергия осколков при низкоэнергетическом делении U^{235}

Ю. А. Блюмкина, И. И. Бондаренко, В. Ф. Кузнецов, В. Г. Нестеров,
В. Н. Околович, Г. Н. Смиренин

В последнее время появилось несколько сообщений [1—3] об отклонениях энергетической зависимости среднего числа мгновенных нейтронов $\bar{\nu}$ и средней кинетической энергии осколков $\bar{E}_K$ от принимавшихся до сих пор представлений об этих характеристиках процесса деления. Представления основывались на гипотезе Фаулера о независимости $\bar{E}_K$ от энергии возбуждения делящегося ядра и вытекающем из этого предположении линейном возрастании $\bar{\nu}$ при увеличении энергии нейтронов E_n , вызывающих деление [4]. Известно, что эти закономерности удовлетворительно выполняются при достаточно больших E_n [2, 5]. Однако при небольших E_n , когда энергия возбуждения в седловой точке делящегося ядра E^* порядка расстояния между каналами деления 0,7—0,8 Мэв [6], могут иметь место эффекты, связанные с дискретностью их спектра, которая раньше не учитывалась.

Впервые теоретические соображения о поведении зависимости $\bar{\nu}$ и $\bar{E}_K$ от E_n с учетом дискретного спектра каналов деления были высказаны В. Н. Андреевым

[7], который предсказал отклонение энергетической зависимости $\bar{\nu}(E_n)$ от линейного роста.

Более тщательному изучению возможных нерегулярностей в ходе $\bar{\nu}$ и $\bar{E}_K$ от E_n и посвящена настоящая работа. Экспериментальное исследование энергетической зависимости $\bar{\nu}$ и $\bar{E}_K$, помимо большого практического значения, может помочь понять природу каналов деления и механизм распределения реализующейся энергии.

В настоящей работе для ядра-мишени U^{235} были изучены энергетические зависимости $\bar{\nu}(E_n)$ для $E_n = 0 \div 1,0$ Мэв и $\bar{E}_K(E_n)$ для $E_n = 0 \div 2,5$ Мэв. Измерения проводились на электростатическом генераторе с использованием реакции $T(p, n)$.

Величина $\bar{\nu}$ определялась в два этапа: сначала находили относительный ход зависимости $\bar{\nu}(E_n)$, затем градуировали полученные значения по величине $\bar{\nu}_T$ для деления тепловыми нейтронами. Относительный ход измеряли путем регистрации нейтронов, испускаемых

дисками U^{235} (толщиной 3 мм и диаметром 30 мм), пороговыми детекторами: стильбеновым сцинтилляционным счетчиком с дискриминацией γ -лучей по времени высвечивания и многослойной ториевой камерой деления (два разных опыта). Относительное число делений в диске определялось с помощью счета осколков в слоях U^{235} , расположенных вплотную с обеих сторон диска. Отношение числа отсчетов детектора нейтронов и камеры деления со слоями U^{235} , служившей монитором, пропорционально $\bar{v}$.

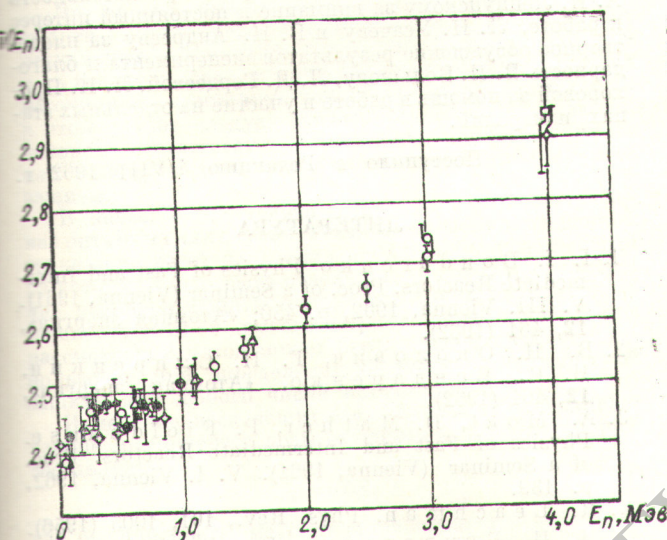


Рис. 1. Энергетическая зависимость $\bar{v}$ от E_n . Приведены данные различных работ: $\bullet$, $\blacktriangle$ — данные, полученные со сцинтилляционным детектором и ториевой камерой деления (настоящая работа); $\circ$ — [3]; ∇ — [10]; $\triangle$ — [11]; $\diamond$ — [12]; $\square$ — [13].

В результате измерений введены незначительные поправки, связанные с рядом эффектов, влияющих на коэффициент пропорциональности между измеряемым отношением и $\bar{v}$ (угловая анизотропия разлета осколков [8], увеличение энергии нейтронов деления с ростом энергии возбуждения осколков [9], размножение нейтронов в диске). Для градуировки, состоявшей в сравнении $\bar{v}$ (для опорной энергии $E_n = 0,39$ Мэв) с $\bar{v}_T = 2,42$, была использована широко распространенная методика регистрации актов совпадения между камерой деления и блоком ВРЗ-счетчиков в парафине. На рис. 1 приведены окончательные результаты и их сопоставление с некоторыми данными, взятыми из других работ. Однако непосредственное сравнение всей совокупности известных данных экспериментов с целью установления непрерывной зависимости $\bar{v}(E_n)$ невозможно, так как большинство из них приведено в обзорных обзоре на неопубликованные материалы и опираются во многих случаях на неизвестные способы градуировки, на различающиеся и устаревшие эталонные значения $\bar{v}$. Поэтому на рис. 1 приведены только те данные [4,10—12], которые измерены на моноэнергетических нейтронах в виде отношения $\bar{v}(E_n)/\bar{v}(E_T)$, а также результаты последних наиболее подробных измерений $\bar{v}$, выполненных Моатом и др. [3].

Зависимость средней кинетической энергии осколков деления $\bar{E}_K$ от E_n определялась с помощью ионизационной камеры с сеткой путем измерения отношения $\bar{E}_K(E_n)/\bar{E}_K^T$, где $\bar{E}_K^T = 166$ Мэв — средняя кинетическая энергия осколков деления тепловыми нейтронами. Этот метод подробно описан в работе [2]. На рис. 2 приведены результаты измерений в виде разницы $\Delta\bar{E}_K = \bar{E}_K(E_n) - \bar{E}_K^T$.

Из рис. 1, 2 видно, что экспериментальные величины $\bar{v}$ и $\bar{E}_K$ находятся в качественном соответствии друг с другом. Взаимосогласованность данных $\bar{v}$ и $\bar{E}_K$ можно попытаться представить в количественной форме, используя уравнение баланса энергии, реализующейся при делении. Предположив, что распределение масс и зарядов осколков и энергия, уносимая γ -лучами, не

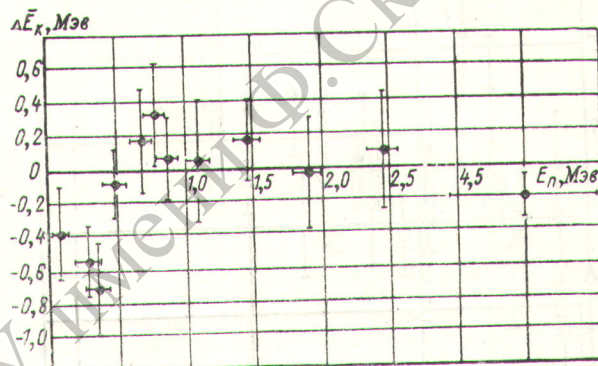


Рис. 2. Зависимость разности $\Delta\bar{E}_K$ средних кинетических энергий при делении U^{235} быстрыми и тепловыми нейтронами от энергии нейтронов, вызывающих деление.

зависит от энергии нейтронов, вызывающих деление, получим

$$E_n = \Delta\bar{E}_K + a\Delta\bar{v},$$

где $\Delta\bar{E}_K$ и $\Delta\bar{v}$ — изменения $\bar{E}_K$ и $\bar{v}$ по сравнению со значениями $\bar{E}_K^T$ и $\bar{v}(E_T)$ для деления тепловыми нейтронами. Параметр a практически совпадает с обратной величиной $\frac{d\bar{v}}{dE_n} \approx 0,13$ Мэв⁻¹, характеризующей линейный рост $\bar{v}$ с увеличением E_n в области достаточно больших энергий возбуждения.

На рис. 3 сравниваются значения $\bar{v}' = \bar{v}_T + \frac{d\bar{v}}{dE_n} \times (E_n - \Delta\bar{E}_K)$, вычисленные из данных $\Delta\bar{E}_K$ по приведенному выше соотношению, с результатом прямых измерений $\bar{v}$ в наиболее интересном диапазоне E_n от 0 до 1,5 Мэв. Из приведенных данных следует, что характер энергетической зависимости значений $\bar{v}$ и $\bar{v}'$, измеренных в настоящей работе и работе [3], одинаков и обнаруживает характерную выпуклость в области $0 < E_n < 0,5$ Мэв, в то время как результаты Дайвена и Гопкинса [12] имеют противоположную тенденцию. Кроме того, полученные в настоящей работе данные $\bar{v}$ и результаты относительных измерений $\bar{E}_K$ в пределах ошибок опыта и принятого численного зна-

чения параметра $a \approx \left(\frac{d\bar{v}}{dE_n} \right)^{-1}$ находятся в количественном согласии друг с другом. Это обстоятельство указывает на то, что изменения распределения масс осколков если и происходят в исследуемой области E_n , то в очень небольших пределах, соответствующих точности проверки баланса реализующейся энергии ($\sim 0,3$ Мэв).

Основная цель данной работы — обнаружить отступления от гипотезы Фаулера при $E_n < 1$ Мэв. При

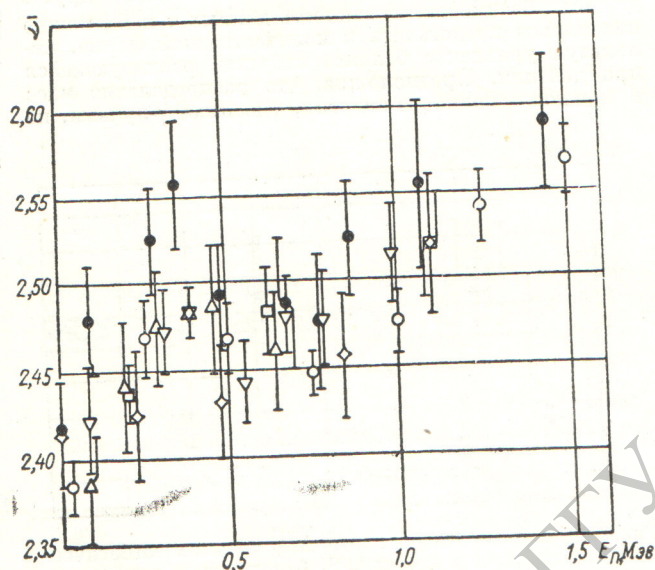


Рис. 3. Соответствие результатов измерения $\bar{E}_K$ и $\bar{v}$. ● — значения $\bar{v}$, вычисленные из данных $\Delta \bar{E}_K$ в соответствии с уравнением баланса; ▽, △ — данные, полученные со сцинтилляционным детектором и ториевой камерой деления (настоящая работа); ○, □, ◇ — данные работ [3, 11, 12] соответственно.

больших энергиях это предположение выполняется вплоть до $E_n \approx 5$ Мэв с точностью до 0,2 — 0,3 Мэв. Наблюдающаяся закономерность, по-видимому, следует связать с тем, что при малых энергиях деление происходит через небольшое число каналов, при этом проявляются их индивидуальные свойства, а при больших энергиях в делении участвует достаточно много каналов, так что на опыте наблюдается эффект, усредненный по их совокупности. В частности, результаты опыта указывают на различие кинетических энергий осколков и соответствующее ему различие $\bar{v}$ при делении на s- и p-нейтронах, т. е. при делении через каналы различной четности.

Л. Н. Усачев на основе конкретной модели каналов деления высказал ряд соображений, позволяющих

истолковать поведение $\bar{v}$ и $\bar{E}_K$, но это выходит за рамки настоящей работы. Укажем только, что при переходе от деления s-нейтронами к делению p-нейтронами ядрами $U^{233} (5/2)^+$ кинетическая энергия осколков в соответствии с этой интерпретацией должна увеличиваться примерно на ту же величину, на которую она падает в случае $U^{235} (7/2)^-$. Полученные авторами предварительные результаты измерений $\bar{E}_K$ для U^{233} согласуются с этим предсказанием.

Авторы выражают глубокую признательность А. И. Лейпунскому за внимание и постоянный интерес к работе, Л. Н. Усачеву и В. Н. Андрееву за плодотворное обсуждение результатов эксперимента и благодарность В. И. Большову, Л. Д. Гордеевой, Л. И. Прохоровой за помощь в работе и участие на отдельных этапах измерений.

Поступило в Редакцию 4/VIII 1962 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. I. I. Bondarenko Physics of Fast and Intermediate Reactors. Proc. of a Seminar (Vienna, 1961). V. III. Vienna, 1962, p. 450; «Атомная энергия», 12, 461 (1962).
2. В. Н. Околович, Г. Н. Смиренкин, И. И. Бондаренко. «Атомная энергия», 12, 461 (1962).
3. A. Moat, D. Mather, P. Fieldhouse. Physics of Fast and Intermediate Reactors. Proc. of a Seminar (Vienna, 1961). V. I. Vienna, 1962, p. 139.
4. R. Leachman. Phys. Rev., 101, 1005 (1956).
5. И. И. Бондаренко. В кн. «Труды Второй международной конференции по мирному использованию атомной энергии (Женева, 1958)». Докл. сов. ученых. Т. 1, М., Атомиздат, 1958, стр. 438.
6. J. Northrop et al. Phys. Rev., 115, 1277 (1959).
7. В. Н. Андреев. Тезисы доклада на совещании по физике деления атомных ядер. Л., Изд-во АН СССР, 1961.
8. В. Г. Нестеров, Г. Н. Смиренкин, И. И. Бондаренко. «Атомная энергия», 11, 249 (1961).
9. Г. Н. Смиренкин. «Ж. эксперим. и теор. физ.», 37, 1822 (1959).
10. Р. Личман. В кн. «Труды Второй международной конференции по мирному использованию атомной энергии (Женева, 1958)». Избр. докл. иностр. ученых. Т. 2, М., Атомиздат, 1959, стр. 342.
11. D. Butler et al. Physics of Fast and Intermediate Reactors. Proc. of a Seminar (Vienna, 1961). V. I. Vienna, 1962, p. 125.
12. B. Diven, J. Hopkins. Physics of Fast and Intermediate Reactors. Proc. of a Seminar (Vienna, 1961). V. I. Vienna, 1962, p. 149.
13. Г. Н. Смиренкин и др. «Атомная энергия», 4, 188 (1958).