

---

## ИЗЛУЧЕНИЕ ЗАПАЗДЫВАЮЩИХ НЕЙТРОНОВ ИЗОТОПОМ $N^{17}$

При делении ядер урана и плутония наряду с излучением мгновенных нейтронов уже в первых опытах была обнаружена эмиссия запаздывающих нейтронов. В соответствии с гипотезой Бора и Уиллера<sup>1</sup> излучение запаздывающих нейтронов связано с предшествующим  $\beta$ -распадом, период которого и определяет период нейтронной активности. Эмиссия нейтрона произойдет в том случае, если энергия возбуждения ядра, образующегося в результате  $\beta$ -распада, окажется больше энергии связи нейтрона в ядре.

Среди осколков деления  $U^{235}$  было найдено 6 различных периодов, связанных с излучением запаздывающих нейтронов<sup>2</sup>. Удалось также химически выделить 56-секундную и 22-секундную активности и отождествить их с  $Vg^{87}$  и  $Pr^{87}$ <sup>3</sup>, доказав справедливость гипотезы Бора и Уиллера.

В 1948 г. Лауренс с сотрудниками<sup>4</sup> производили облучение различных мишеней дейтеронами с энергией 195 Мэв, на 184-дюймовом циклотроне. После облучения мишени поступали к пропорциональному борному счётчику для регистрации запаздывающих нейтронов. Запаздывающие нейтроны с периодом  $4,14 \pm 0,04$  сек. обнаружены при облучении мишеней, содержащих кислород или близлежащие элементы. Было доказано, что изотоп, ответственный за эту активность, имеет  $Z \leq 8$  и  $A - Z = 10$ . Альваренц<sup>5</sup> отождествил упомянутый период с изотопом азота  $N^{17}$ .

Запаздывающие нейтроны, обнаруженные в мишенях из элементов с большим  $Z$  (Ce, Gd, Pt, Au, Hg, Tl, Pb и Bi), повидимому, появлялись из осколков деления этих ядер.

Говард<sup>6</sup> исследовал энергетическое распределение запаздывающих нейтронов  $N^{17}$ . Кристаллы LiF после облучения дейтеронами на том же циклотроне подавались к камере Вильсона, наполненной водородом. По

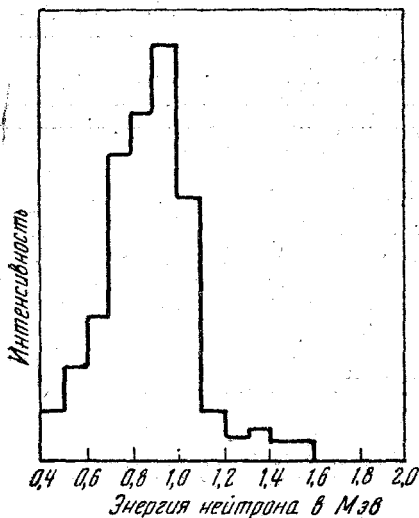


Рис. 1

трекам протонов отдачи определялась энергия нейтронов, поступающих из кристалла. Энергетическое распределение запаздывающих нейтронов, полученное в результате обработки 391 трека, приводится на рис. 1. Максимум в распределении нейтронов лежит около энергий в 1 Мэв. Ширина спектра нейтронов 0,6 Мэв. Автор указывает на два возможных объяснения размытого характера спектра нейтронов: либо имеются несколько близлежащих уровней возбуждённого ядра  $O^{17*}$ , либо уровень этого ядра широкий.

Наиболее обстоятельной работой по реферируемому вопросу является работа Альваренца<sup>7</sup>. Раствор  $NH_4F$  облучался дейтеронами от циклотрона Лауренса. Газообразные продукты ядерной реакции увлекались из раствора струёй гелия. При этом обнаруживались запаздывающие нейтроны с периодом 4,2 сек. Нейтронная активность не изменялась при протягивании гелия через поглотители  $CO$ ,  $CO_2$  и  $O$ . При охлаждении гелия до температуры ниже  $90^\circ K$  запаздывающие нейтроны исчезали. Совокупность этих опытов, а также результаты работы<sup>4</sup> позволили заключить, что запаздывающие нейтроны связаны с  $\beta$ -распадом  $N^{17}$ .

В последующих опытах гелий пропускался через пропорциональный счётчик для регистрации импульсов отдачи ядра  $O^{16}$ . Так, испускаемая нейтроном с энергией 1 Мэв, ядро  $O^{16}$  приобретает энергию в 60 кэв, что с учётом коэффициента газового усиления пропорционального счётчика (50—200) можно легко детектировать. В более совершенных опы-

так измерялись совпадения импульсов в пропорциональном счётчике с импульсами в  $\beta$ -счётчиках, окружающих первый (рис. 2), т. е. ( $\beta$  -  $n$ )-совпадения. При этом выяснилось с точностью до 10%, что всякому  $\beta$ -распаду  $N^{17}$  соответствует излучение нейтрона. Полученный в опытах Альваренца спектр нейтронов (рис. 3) имеет характерный максимум при энергии в  $920 \pm 70$  кэв и полуширину в 0,6 Мэв. Область малых энергий не регистрировалась из-за фона в пропорциональном счётчике от  $\beta$ - и  $\gamma$ -излучения.

Размытый спектр нейтронов (рис. 1 и 3) частично объясняется аппаратными причинами и потому даёт только верхнюю границу истинной ширины уровня  $O^{17}$ .

Кривая поглощения  $\beta$ -электронов  $N^{17}$  измерялась по уменьшению числа ( $\beta$ - $n$ )-совпадений при увеличении толщины алюминия, окружающего пропорциональный счётчик (рис. 2). Таким абсорбционным способом верхняя граница  $\beta$ -спектра найдена равной  $3,7 \pm 0,2$  Мэв. Гамма-излучения не обнаружено.

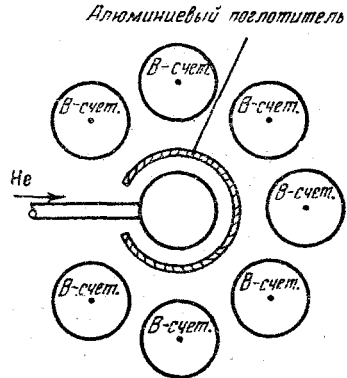


Рис. 2.

Схема распада  $N^{17}$  представлена на рис. 4. Возможен  $\beta$ -переход  $N^{17}$  сразу на основной уровень  $O^{17}$ , но такой переход будет запрещённым и может осуществляться примерно в 0,05 случаях.

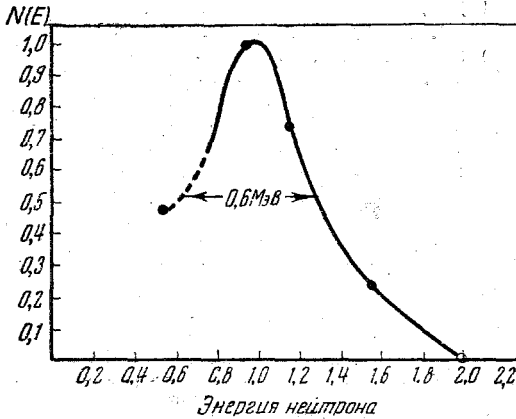


Рис. 3.

Экспериментально переходы  $N^{17} \xrightarrow{\beta} O^{17}$  не наблюдались. Массы  $O^{16}$  и  $O^{17}$  хорошо известны, и из рис. 4 следует, что масса  $N^{17}$  равна 17,01385 м. е.

В описанных опытах для получения  $N^{17}$  употреблялись дейтроны с энергией 195 Мэв. Однако можно получить этот изотоп, используя пучки частиц с меньшей энергией. Так было найдено, что порог

реакции  $C^{14}(\alpha, d)N^{17}$  равен 16 Мэв. При энергии  $\alpha$ -частиц в 28 Мэв сечение образования  $N^{17}$  равно 0,06 барна.

В дальнейшем изучалось образование  $N^{17}$  из кислорода<sup>9</sup>. Вычисленные по массам изотопов пороги реакций

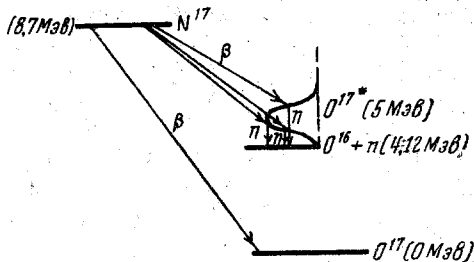


Рис. 4.

имеют следующие значения:  $O^{17}(n, p)N^{17} - 7,9$  Мэв,  $O^{18}(n, d)N^{17} - 13,7$  Мэв и  $O^{18}(\gamma, p)N^{17} - 15,9$  Мэв. При этом следует учитывать, что в естественной смеси изотопов содержится  $O^{17} - 0,039\%$ , а  $O^{18} - 0,204\%$ . Нейтроны, применявшиеся для облучения 500 г воды, получались в результате бомбардировки толстых мишеней LiF и C дейтеронами с энергией 14 Мэв. Образование  $N^{17}$  детектировалось по запаздывающим нейтронам. В случае более энергичных нейтронов от мишени LiF наблюдалось в 15 раз больше запаздывающих нейтронов, чем от нейтронов из мишени C. Это подтвердило вычисленные пороги реакций, так как в первом случае происходила реакция на  $O^{17}$  и на  $O^{18}$ , а во втором случае только на  $O^{17}$ . Сечение реакций имеет порядок  $10^{-26}$  см<sup>2</sup>.

И. Эстудин

## ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. N. Bohr and J. A. Wheeler, Phys. Rev. **56**, 426 (1939).
2. D. J. Hughes, J. Dalls, A. Cahn and D. Hall, Phys. Rev. **73**, 111 (1948). N. Sugarman, J. Chem. Phys. **15**, 644 (1947).
3. A. H. Snell, J. S. Lewinger, E. P. Meiners, M. B. Sampson and R. C. Willenson, Phys. Rev. **72**, 545 (1947).
4. N. Knable, E. O. Lawrence, C. E. Leith, B. J. Moyer and R. L. Thornton, Phys. Rev. **74**, 1217 (1948).
5. L. W. Alvarez, Phys. Rev. **74**, 1217 (1948).
6. E. Hayward, Phys. Rev. **75**, 917 (1949).
7. L. W. Alvarez, Phys. Rev. **75**, 1127 (1949).
8. K. H. Sun, B. Jennings, W. E. Shouff, Phys. Rev. **75**, 1302 (1949).
9. K. A. Charpie, K. H. Sun and B. Jennings, Phys. Rev. **76**, 1255 (1949).