

## ИЗМЕРЕНИЕ РЕАКЦИИ $Nd(n, \alpha)$ НА РЕЗОНАНСНЫХ НЕЙТРОНАХ

*И.Квитек, Ю.П.Попов*

Исследования реакций типа  $(n, \alpha)$  на тяжелых ядрах при низких энергиях нейтронов посвящено сравнительно мало работ; при тепловой энергии нейтронов – работы Макфарлайна [1], Хейфеца [2] и Андреева [3], в резонансной области – работа авторов по изучению реакции  $Sm(n, \alpha)$  [4]. Это связано с методическими трудностями обусловленными крайне низкими сечениями реакции  $(n, \alpha)$  и большим  $\gamma$ -фоном.

На импульсном реакторе ИБР Лаборатории нейтронной физики ОИЯИ с помощью ксенонового сцинтилляционного многослойного детектора [5] была исследована реакция  $(n, \alpha)$  на естественной смеси изотопов

неодима, а также на обогащенных изотопах  $Nd^{145}$  и  $Nd^{143}$ . Одновременно для каждого образца измерялась реакция  $(n, \gamma)$ . (Подробнее см. [6]).

На рис. 1, 2, 3 приведены экспериментальные кривые счета  $\alpha$ -частиц и  $\gamma$ -квантов в зависимости от энергии резонансных нейтронов.

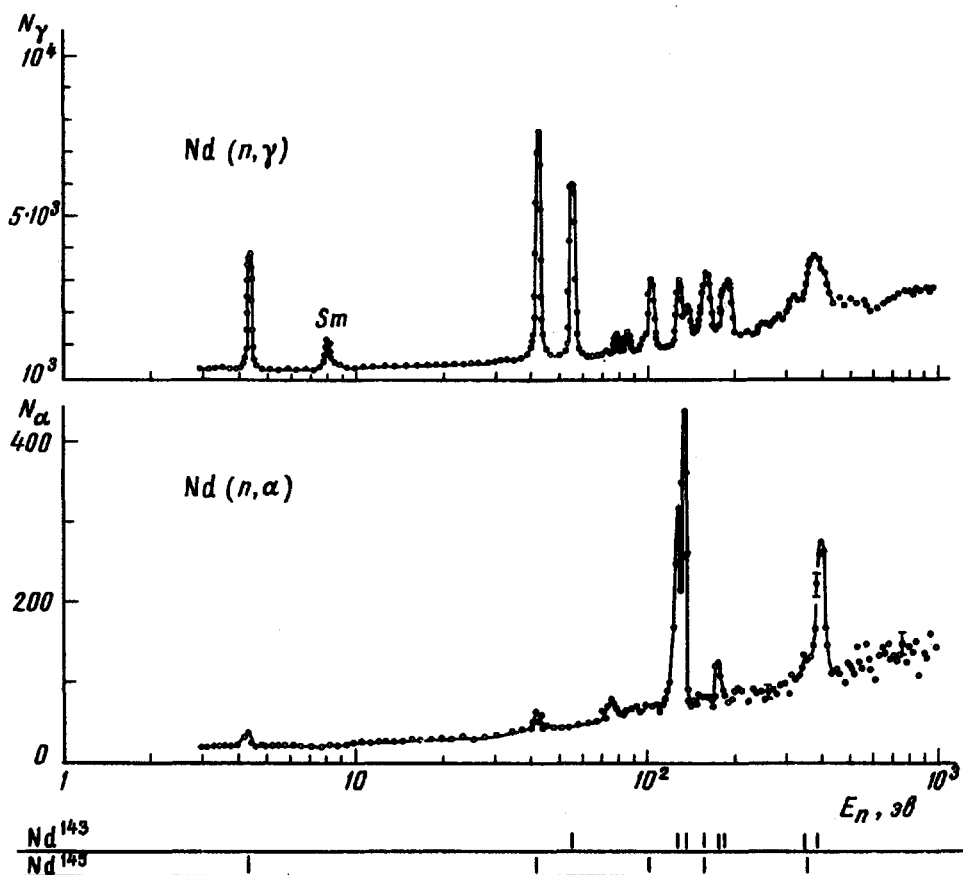


Рис.1. Зависимость счета  $\alpha$ -частиц (нижняя кривая) и счета  $\gamma$ -квантов (верхняя кривая) от энергии нейтронов в измерениях с естественной смесью изотопов неодима. Точки между резонансами усреднены. Ниже 5 эв статическая точность 4%. Внизу приводится идентификация резонансов по изотопам по [7] и нашим измерениям

Отношение площадей резонансов кривой  $(n, \alpha)$  и  $(n, \gamma)$  пропорционально отношению ширины  $\Gamma_\alpha / \Gamma_\gamma$ . Коэффициент пропорциональности определялся по известному отношению  $\sigma_\alpha / \sigma_\gamma$  для  $Nd^{143}$  в тепловой области, взятому из работ [2,3]. На рис.2 и 3 приведена также схема распада возбужденных нейтронами ядер  $Nd^{144}$  и  $Nd^{146}$ . В схеме распада  $Nd^{144}$  первый возбужденный уровень ядра-продукта  $Ce^{140}$  находится на 1,6 Мэв

Значение  $\alpha$  – ширины спинов резонансов нечетных изотопов неодима

$E_0, \text{эВ}$	-6	4,37	43,1	55,5	102	103	127	136	157	180	187	410
Изотоп	143	145	145	143	145	145	143	143	143	143	143	143
$J\pi$	3-*	(3-)	3-***	(4-)	3-***	4-***	3-***	3-	(4-)	3-	(4-)	3-
$\Gamma_\alpha/\Gamma_\gamma \cdot 10^5$	5,3	3,0	0,82	$\sim 1$	1,2		32	170	2	12	2	65
$\Gamma_\alpha \cdot 10^6 \text{ эВ}$	5,0	1,8	0,5	$\leq 1$	0,7		31	160	$\leq 2$	11	$\leq 2$	61
$\Delta\Gamma_\alpha \cdot 10^6 \text{ эВ}^{***}$	$\pm 0,05$	$\pm 0,2$	$\pm 0,15$	$\pm 1$	$\pm 0,3$		$\pm 10$	$\pm 50$	$\pm 2$	$\pm 5$	$\pm 2$	$\pm 30$

\* Значение спина взято из работы [2].

\*\* Идентификация по изотопам и спином взята из обзора [7].

\*\*\* Приведены ошибки наших относительных измерений. Ошибка за счет нормировки ( $\sim 30\%$ ), ошибка из-за возможного отклонения  $\Gamma_\gamma$  от  $\bar{\Gamma}_\gamma$  здесь не учтены.

выше основного состояния. Поскольку вероятность вылета  $\alpha$ -частицы из ядра сильно зависит от ее энергии, а переход с уровня со спином  $J^\pi = 4^-$  в основное состояние ядра  $\text{Ce}^{140}$  запрещен по четности, то должна наблюдаться заметная разница в вероятности вылета  $\alpha$ -частиц из возбужденных состояний  $4^-$  и  $3^-$ . Оценка отношения вероятностей переходов  $3^- \rightarrow 0^+$  и  $4^- \rightarrow 2^+$  дает величину около двух порядков.

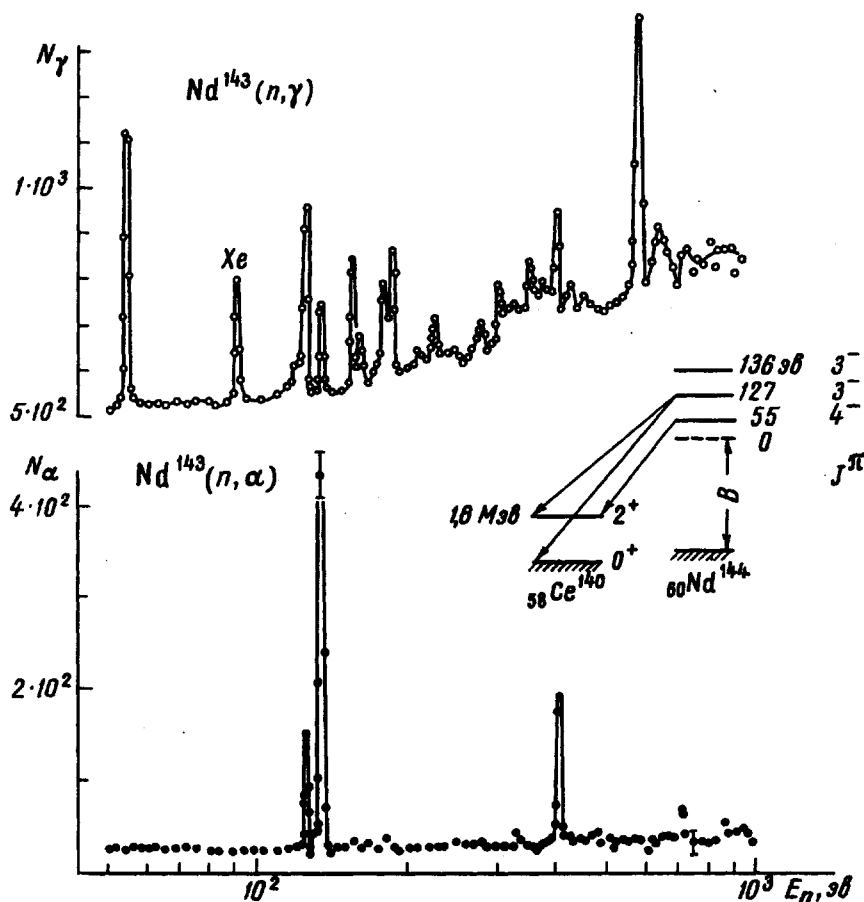


Рис.2. Зависимость счета  $\alpha$ -частиц (нижняя кривая) и  $\gamma$ -квантов от энергии нейтронов в измерениях с обогащенным изотопом  $\text{Nd}^{143}$ . На рисунке приведена схема  $\alpha$ -распада составного ядра  $\text{Nd}^{144}$

В таблице приведены результаты измерения величин  $\Gamma_\alpha$  для изотопов  $\text{Nd}^{143}$  и  $\text{Nd}^{145}$ . При определении  $\Gamma_\alpha$  из отношения  $\Gamma_\alpha / \Gamma_\gamma$  использовались значения  $\bar{\Gamma}_\gamma = 60 \cdot 10^{-3} \text{ эв}$  ( $\text{Nd}^{145}$ ) и  $\Gamma_\gamma = 94 \cdot 10^{-3} \text{ эв}$  ( $\text{Nd}^{143}$ ). В случае  $\text{Nd}^{143}$  мы имеем 4 резонанса с  $\Gamma_\alpha \geq 10^{-5} \text{ эв}$  и 3 резонанса с  $\Gamma_\alpha < 2 \cdot 10^{-6} \text{ эв}$ . Такая разница позволяет, по-видимому, сделать заключение о спинах резонансов ядра  $\text{Nd}^{143}$ .

Предлагаемый здесь метод определения спина резонанса по величине  $\alpha$  – ширин не всегда однозначен. Поскольку для реакции  $\text{Nd}^{143}(n, \alpha)$  имеется практически один открытый канал:  $\alpha$  – распад в основное состояние, то можно ожидать, что распределение  $\alpha$  – ширин будет удовлетворять закону Портера-Томаса  $\frac{\sigma}{\nu} = 1$ . Тогда вероятность наблюдать резонанс с  $\Gamma_{\alpha}$  в 100 раз большей  $\bar{\Gamma}_{\alpha}$  практически равна нулю, т.е. спин

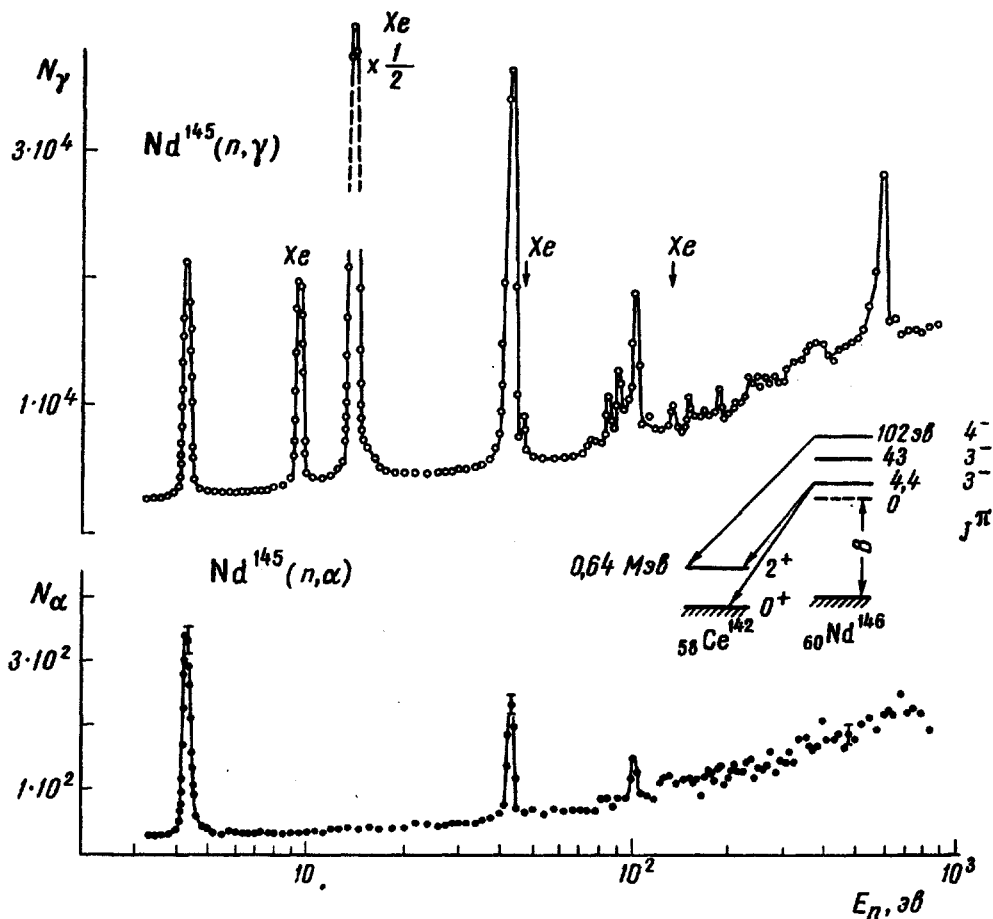


Рис.3. Зависимость счета  $\alpha$ -частиц (нижняя кривая) и  $\gamma$ -квантов от энергии нейтронов в измерениях с обогащенным изотопом  $\text{Nd}^{145}$ . На рисунке приведена схема  $\alpha$ -распада составного ядра  $\text{Nd}^{146}$

$3^-$  приписывается сильным резонансам надежно. В то же время вероятность наблюдать резонанс с  $\Gamma_{\alpha} \sim 0,01 \bar{\Gamma}_{\alpha}$  составляет несколько процентов, и мы не можем с полной уверенностью приписать слабым резонансам спин  $4^-$ .

Возвращаясь к рис.1, заметим, что принадлежность пика в счете  $\alpha$ -частиц при  $E_0 = 76 \text{ эВ}$  пока не ясна. Предполагается ее уточнить в последующих экспериментах.

Из приведенных в таблице величин  $\Gamma_\alpha$  и опубликованных нами ранее [4] были подсчитаны средние значения  $\alpha$  – ширины для соответствующих значений  $J^\pi$ . Эти же величины были рассчитаны по статистической теории:

$$\bar{\Gamma}_\alpha = \frac{D_{J^\pi}}{2\pi} \sum_l T_l,$$

где  $T_l$  – проницаемость кулоновского барьера для  $\alpha$  - частицы с орбитальным моментом  $l$ ,  $D_{J^\pi}$  – среднее расстояние между уровнями с одинаковым значением  $J^\pi$ .

Для  $\text{Nd}^{143}$ ,  $\text{Nd}^{145}$ ,  $\text{Sm}^{147}$  ( $J^\pi = 3^-$ ) и  $\text{Sm}^{149}$  ( $J^\pi = 4^-$ ) теория дает следующие значения  $\bar{\Gamma}_\alpha \cdot 10^7 \text{ эв}$ : 350; 2,8; 61 и 0,83, в то время как из эксперимента получено соответственно 530 (5), 10 (3); 19 (5); 0,74 (3). (В скобках указано число резонансов, по которым проводилось усреднение). Можно отметить хорошее согласие теории с экспериментом для  $\text{Nd}^{143}$  и  $\text{Sm}^{149}$ , несколько худшее для  $\text{Sm}^{147}$  и для  $\text{Nd}^{145}$ .

В заключение авторы выражают свою признательность Ф.Л.Шапиро за полезные обсуждения, а также И.Рибанскому за помощь в измерениях. Авторы благодарны В.С.Золотареву и его сотрудникам за предоставление разделенных изотопов неодима.

Объединенный институт  
ядерных исследований

Поступило в редакцию  
3 марта 1967 г.

### Литература

- [1] R.D.Macfarlane, J.Almodovar. Phys. Rev., 127, 1665, 1962.
- [2] E.Cheifetz, J.Gilat et al. Phys. Lett., 1, 289, 1962.
- [3] В.Н.Андреев, С.М.Сироткин. ЯФ, 1, 252, 1965.
- [4] И.Квитек, Ю.П.Попов. Phys. Lett., 22, 186, 1966.
- [5] И.Квитек, Ю.П.Попов, К.Г.Родионов. Препринт ОИЯИ, 2690, 1966.
- [6] И.Квитек, Ю.П.Попов. Препринт ОИЯИ РЗ-3104, 1967.
- [7] Бюллетень информационного центра по ядерным данным, вып.2, Атомиздат, 1965.