

СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

ДУБНА



С 343Г1

П-58

25/4-74

РЗ - 10377

1554/2-77

А.Б.Попов, Х.Файков, Хван Чер Гу

ПАРАМЕТРЫ НЕЙТРОННЫХ РЕЗОНАНСОВ  
ИЗОТОПОВ РЕНИЯ

1977

РЗ - 10377

А.Б.Попов, Х.Файков, Хван Чер Гу

ПАРАМЕТРЫ НЕЙТРОННЫХ РЕЗОНАНСОВ  
ИЗОТОПОВ РЕНИЯ



## Параметры нейтронных резонансов изотопов рения

На нейтронном спектрометре ЛНФ ОИЯИ с разрешением от 11 до 5 нс/м проведены измерения выхода  $\gamma$ -лучей от захвата нейтронов и пропускания для образцов, обогащенных изотопами  $^{185}\text{Re}$  и  $^{187}\text{Re}$ . Определены параметры нейтронных резонансов в области до 500 эВ, получены средние расстояния между резонансами и силовые функции. Для  $^{185}\text{Re}$  наблюдалась флуктуация оценок силовой функции в зависимости от энергетического интервала.

Работа выполнена в Лаборатории нейтронной физики ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1977

Popov A.B., Faikov H., Khvan Cher Gu

P3 - 10377

Neutron Resonance Parameters of Rhenium Isotopes

The  $\gamma$ -ray yield after neutron capture and transmission of  $^{185}\text{Re}$  and  $^{187}\text{Re}$  samples has been measured using the neutron spectrometer of Laboratory of Neutron Physics (JINR) with resolution from 11 to 5 ns/m. The neutron resonance parameters have been determined for the region up to 500 eV. Average spacings and strength functions have been obtained. For  $^{185}\text{Re}$  the fluctuation of  $S^0$  has been observed coming from one energy interval to another.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1977

Вплоть до последнего времени параметры нейтронных резонансов изотопов рения были известны только в области ниже 100 эВ <sup>1/1</sup>. Это обстоятельство послужило стимулом для проведения описываемых измерений, после того как предоставилась возможность получить для этой цели высококачественные образцы изотопов  $^{185}\text{Re}$  и  $^{187}\text{Re}$  в достаточных количествах. Вес и обогащение изотопов были следующие:  $^{185}\text{Re}$  - 59 г и 93,6%,  $^{187}\text{Re}$  - 74 г и 98,7%.

Измерения и обработка данных

Все измерения выполнены в бустерном режиме работы реактора ИБР-30 с размножением, равным 100 /в этом случае ширина нейтронного импульса равна ~ 2,5 мкс/, при средней мощности около 4 кВт и частоте 100 Гц. На базе 242 м с детектором из 4 кристаллов NaJ были получены временные спектры выхода  $\gamma$ -лучей от захвата нейтронов в области от 14 до 300 эВ для образца  $^{185}\text{Re}$  толщиной  $4,99 \cdot 10^{21} \text{ ат/см}^2$  и двух образцов  $^{187}\text{Re}$  толщиной  $1,75 \cdot 10^{21}$  и  $6,17 \cdot 10^{21} \text{ ат/см}^2$ . Измерения пропускания проведены при пролетном расстоянии 498 м. В качестве детектора нейтронов использовались 2 литиевых стекла NE-908 /диаметром 12,5 см/. Для уменьшения фона от рециклических нейтронов применялся фильтр из карбида бора толщиной  $2,6 \cdot 10^{22} \text{ ат/см}^2$  по естественному В. Измерения пропускания выполнены для образцов толщиной  $4,99 \cdot 10^{21} / ^{185}\text{Re} /$  и  $6,17 \cdot 10^{21} / ^{187}\text{Re} /$  с двумя наборами резонансных фильтров - Na + Co и Na + Mn и охватывали область от 40 до 3000 эВ.

Методика измерений и обработки данных аналогична использованной нами в работе /2/. Мы не проводили мониторинга измерений и вычисляли только резонансную часть пропускания путем деления спектра с образцом на спектр без образца /после необходимого учета фонов/. В области до 60 эВ параметры вычислялись методом площадей, а в более высокой энергетической области - методом формы по разработанной ранее программе /3/ на ЭВМ CDC-6400.

Для большей части резонансов при обработке методом формы параметры получены одновременной обработкой двух спектров пропускания, измеренных с разными наборами резонансных фильтров. Параметры функции разрешения предварительно оптимизировались по величине  $\chi^2$  на небольшом участке спектра пропускания в области 150 эВ. Как в методе площадей, так и в методе формы значения радиационных ширин фиксировались, для  $^{185}\text{Re}$  полагалось  $\Gamma_\gamma = 0,0565$  эВ, для  $^{187}\text{Re}$   $\Gamma_\gamma = 0,0608$  эВ. Ошибки, приведенные в таблицах параметров резонансов, чисто статистические, исправ-

ленные только на фактор  $\sqrt{\frac{\chi^2}{n-m}}$  /где  $n$  - число точек,  $m$  - число параметров на обрабатываемом участке пропускания/. Было установлено влияние параметров функции разрешения, изменение их на 10% приводит к изменению значений  $g\Gamma_n$  не более, чем на 5%. Это дает нам основание полагать, что возможные систематические ошибки в определении нейтронных ширин не превышают этой величины /5%/.

Дополнительным контролем обработки данных по пропусканию /корректности учета фонов, изотопсостава образцов, нормировки/ служит согласие в пределах ошибок параметров 16- сильных резонансов  $^{187}\text{Re}$ , полученных из обработки спектров пропускания образца  $^{185}\text{Re}$  /в нем содержалось 6,4%  $^{187}\text{Re}$  / с параметрами, полученными для этих резонансов из данных только для образца  $^{187}\text{Re}$ . Во всех расчетах имело место удовлетворительное согласие по  $\chi^2$  расчетных кривых пропускания с экспериментальными спектрами.

Полученные нами параметры для 130 резонансов  $^{185}\text{Re}$  и 125 резонансов  $^{187}\text{Re}$  представлены в табл. 1 и 2. В момент завершения обработки появилась публикация /4/, в которой сообщены результаты исследования нейтронных резонансов изотопов рения в области до 2000 эВ. В этой работе измерения выполнены с разрешением, лучшим, чем у нас, но в ней не проводились измерения пропускания и получены надежные значения нейтронных ширин только для слабых уровней. Поэтому наши данные существенно дополняют результаты работы /4/ в области ниже 600 эВ.

До 100 эВ для большинства резонансов  $^{185}\text{Re}$  и  $^{187}\text{Re}$  наши результаты удовлетворительно согласуются с данными из /1/ и /4/. Однако для некоторых резонансов  $^{185}\text{Re}$  /41,4; 50,2; 70,4; 74,4; 93,1 эВ/ наши значения  $g\Gamma_n$  существенно меньше. Кроме того, по нашим данным, резонансы  $^{185}\text{Re}$  при 81, 87, 134 и 164 эВ являются дублетами. Это хорошо видно, например, из рис. 1 и 2, на которых приведены кривые пропускания в интервалах 81 и 87 эВ. На кривых выхода  $\gamma$ -лучей, измеренных с разрешением, в 2 раза худшим, дублетная структура этих резонансов не проявляется. Нам не удалось объяснить перечисленные расхождения возможными примесями в образце  $^{185}\text{Re}$  изотопов других элементов.

Следует также отметить, что в наших измерениях из-за присутствия  $Mn$  в заглушках вакуумного нейтронновода поток нейтронов в области 335 эВ мал, поэтому точность измерения пропускания и нейтронных ширин в этой области невысока.

На рис. 3 и 4 представлена зависимость числа наблюдаемых резонансов  $^{185}\text{Re}$  и  $^{187}\text{Re}$  от энергии нейтронов. Для  $^{185}\text{Re}$  /рис. 3/ приведена также гистограмма /2/ по данным работы /4/. Сравнение наших данных с результатами работы /4/ показывает, что нами как для  $^{185}\text{Re}$ , так и для  $^{187}\text{Re}$  в исследованных энергетических интервалах пропущено около 15 слабых резонансов. На рис. 5 и 6 показана зависимость нарастающей суммы приведенных нейтронных ширин от энергии нейтронов для  $^{185}\text{Re}$  и  $^{187}\text{Re}$  соответственно.

Таблица 1  
 Параметры нейтронных резонансов  $^{185}\text{Re}$

| $E_0$<br>эВ | $\Delta E_0$ | $g_n^0$<br>мэВ | $\Delta g_n^0$ | $2g_n^0$<br>мэВ | $\Delta 2g_n^0$ |
|-------------|--------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|
| 1           | 2            | 3              | 4              | 5               | 6               |
| 14,58       | 0,05         | 0,43           | 0,11           | 0,23            | 0,06            |
| 21,34       |              | 2,7            | 1,2            | 1,17            | 0,53            |
| 21,93       |              | 0,28           | 0,05           | 0,12            | 0,02            |
| 26,53       |              | 0,28           | 0,05           | 0,11            | 0,02            |
| 27,13       |              | 0,29           | 0,05           | 0,11            | 0,02            |
| 29,48       |              | 0,25           | 0,03           | 0,09            | 0,01            |
| 32,53       |              |                |                | 5,6 *)          | 0,4             |
| 36,53       |              | 0,32           | 0,04           | 0,11            | 0,02            |
| 41,40       |              | 3,1            | 0,5            | 0,96            | 0,17            |
| 45,33       |              | 0,21           | 0,02           | 0,06            | 0,01            |
| 47,68       |              | 0,54           | 0,07           | 0,16            | 0,02            |
| 50,22       |              | 4,95           | 0,63           | 1,39            | 0,23            |
| 51,37       |              | 12,4           | 1,0            | 3,46            | 0,28            |
| 54,90       |              | 4,54           | 0,66           | 1,22            | 0,18            |
| 58,20       |              | 12,1           | 1,8            | 3,18            | 0,47            |
| 61,52       |              | 0,15           | 0,02           | 0,038           | 0,004           |
| 62,81       |              | 1,50           | 0,03           | 0,38            | 0,01            |
| 66,56       |              | 0,30           | 0,02           | 0,074           | 0,005           |
| 70,48       |              | 3,10           | 0,05           | 0,74            | 0,01            |
| 74,52       | 0,05         | 4,35           | 0,09           | 1,01            | 0,02            |
| 80,59       | 0,06         | 2,38           | 0,08           | 0,53            | 0,02            |
| 81,01       |              | 1,40           | 0,06           | 0,312           | 0,014           |
| 86,85       |              | 3,58           | 0,11           | 0,77            | 0,02            |
| 87,31       |              | 0,98           | 0,07           | 0,210           | 0,015           |
| 88,75       |              | 0,89           | 0,04           | 0,19            | 0,01            |
| 93,15       | 0,06         | 0,39           | 0,03           | 0,080           | 0,005           |
| 95,22       | 0,07         | 1,37           | 0,04           | 0,28            | 0,01            |
| 98,26       | 0,08         | 4,01           | 0,06           | 0,81            | 0,01            |
| 100,8       | 0,1          | 3,87           | 0,06           | 0,77            | 0,01            |
| 106,5       |              | 7,73           | 0,27           | 1,50            | 0,05            |
| 107,0       |              | 4,78           | 0,19           | 0,92            | 0,04            |

\* данные /1/.

Продолжение таблицы 1

| 1     | 2   | 3    | 4    | 5     | 6     |
|-------|-----|------|------|-------|-------|
| 108,3 |     | 1,01 | 0,06 | 0,19  | 0,01  |
| 113,7 |     | 1,72 | 0,06 | 0,32  | 0,01  |
| 122,2 |     | 5,38 | 0,17 | 0,97  | 0,03  |
| 123,8 |     | 0,59 | 0,08 | 0,106 | 0,015 |
| 125,8 |     | 0,08 | 0,08 | 0,014 | 0,014 |
| 128,7 |     | 12,8 | 0,4  | 2,25  | 0,06  |
| 133,5 |     | 7,22 | 0,21 | 1,25  | 0,04  |
| 134,3 |     | 7,33 | 0,79 | 1,26  | 0,13  |
| 134,7 |     | 5,53 | 0,75 | 0,95  | 0,13  |
| 138,7 |     | 10,0 | 0,3  | 1,70  | 0,05  |
| 141,5 |     | 1,47 | 0,12 | 0,25  | 0,02  |
| 144,1 |     | 7,12 | 0,14 | 1,19  | 0,02  |
| 147,9 |     | 4,41 | 0,10 | 0,72  | 0,02  |
| 151,8 |     | 4,13 | 0,10 | 0,67  | 0,02  |
| 154,8 |     | 4,48 | 0,13 | 0,72  | 0,02  |
| 159,5 |     | 1,34 | 0,10 | 0,21  | 0,02  |
| 164,3 |     | 8,90 | 0,39 | 1,39  | 0,06  |
| 164,8 |     | 2,86 | 0,27 | 0,45  | 0,04  |
| 169,6 |     | 13,2 | 0,3  | 2,02  | 0,04  |
| 173,4 |     | 5,90 | 0,21 | 0,89  | 0,03  |
| 174,2 |     | 2,07 | 0,16 | 0,31  | 0,02  |
| 181,6 |     | 0,18 | 0,09 | 0,027 | 0,013 |
| 185,3 |     | 8,47 | 0,23 | 1,24  | 0,03  |
| 186,3 |     | 1,29 | 0,13 | 0,19  | 0,02  |
| 188,1 |     | 2,87 | 0,14 | 0,42  | 0,02  |
| 190,6 |     | 2,05 | 0,13 | 0,30  | 0,02  |
| 192,8 |     | 0,94 | 0,12 | 0,13  | 0,02  |
| 197,4 | 0,1 | 31,3 | 0,7  | 4,45  | 0,10  |
| 201,2 | 0,2 | 12,2 | 0,3  | 1,73  | 0,05  |
| 207,4 |     | 2,72 | 0,18 | 0,38  | 0,03  |
| 211,2 |     | 7,32 | 0,20 | 1,01  | 0,03  |
| 212,5 |     | 0,75 | 0,14 | 0,10  | 0,02  |
| 214,6 |     | 3,36 | 0,16 | 0,46  | 0,02  |
| 219,3 |     | 15,6 | 0,4  | 2,11  | 0,06  |
| 221,9 |     | 7,25 | 0,26 | 0,97  | 0,04  |
| 229,5 |     | 11,0 | 0,5  | 1,46  | 0,07  |
| 230,4 |     | 22,8 | 1,4  | 3,00  | 0,18  |

Продолжение таблицы 1

| 1     | 2   | 3      | 4    | 5      | 6    |
|-------|-----|--------|------|--------|------|
| 231,3 |     | 5,84   | 0,74 | 0,77   | 0,10 |
| 237,9 |     | 14,6   | 0,5  | 1,90   | 0,06 |
| 239,8 |     | 16,4   | 0,4  | 2,11   | 0,06 |
| 242,2 |     | 4,39   | 0,44 | 0,56   | 0,06 |
| 243,1 |     | 47,7   | 1,9  | 6,12   | 0,24 |
| 249,1 |     | 15,3   | 0,5  | 1,94   | 0,06 |
| 256,4 |     | 11,2   | 0,5  | 1,40   | 0,07 |
| 263,5 |     | 8,6    | 2,5  | 1,06   | 0,31 |
| 264,2 |     | 34,2   | 5,0  | 4,21   | 0,62 |
| 266,9 |     | 54,1   | 1,5  | 6,62   | 0,19 |
| 271,3 |     | 18,0   | 0,7  | 2,19   | 0,08 |
| 273,9 |     | 8,76   | 0,44 | 1,06   | 0,05 |
| 281,1 |     | 23,2   | 0,8  | 2,77   | 0,10 |
| 287,2 |     | 25,3   | 1,3  | 2,99   | 0,15 |
| 290,5 |     | 9,4    | 0,7  | 1,10   | 0,08 |
| 294,4 |     | 46     | 23   | 5,40   | 2,70 |
| 295,3 |     | 48     | 25   | 5,64   | 2,91 |
| 297,1 |     | 19,6   | 1,5  | 2,27   | 0,17 |
| 300,4 |     | 10,6   | 1,2  | 1,22   | 0,14 |
| 301,9 |     | 20,6   | 2,0  | 2,37   | 0,20 |
| 306,0 |     | 11,3   | 1,4  | 1,29   | 0,16 |
| 311,8 |     | 101    | 5    | 11,5   | 0,6  |
| 318,6 |     | 61,2   | 4,6  | 6,85   | 0,52 |
| 320,5 |     | 9,8    | 1,6  | 1,09   | 0,18 |
| 323,4 | 0,2 | 8,4    | 1,4  | 0,94   | 0,16 |
| 331,9 | 0,3 | 3,1    | 2,0  | 0,34   | 0,22 |
| 344,6 |     | 6,6    | 2,2  | 0,71   | 0,23 |
| 350,4 |     | (0,85) |      | (0,09) |      |
| 352,6 |     | 72     | 8    | 7,7    | 0,8  |
| 355,6 |     | 44,6   | 4,5  | 4,73   | 0,48 |
| 360,7 |     | 39     | 4    | 4,16   | 0,38 |
| 363,9 |     | 8,0    | 2,7  | 0,84   | 0,28 |
| 366,6 |     | 7,7    | 2,5  | 0,81   | 0,26 |
| 368,1 |     | 58     | 6    | 6,04   | 0,66 |
| 372,5 |     | 87     | 6    | 9,0    | 0,6  |
| 375,5 |     | 41     | 4    | 4,2    | 0,4  |
| 378,4 |     | 24     | 2    | 2,47   | 0,21 |

Продолжение таблицы 1

| 1       | 2   | 3     | 4   | 5      | 6    |
|---------|-----|-------|-----|--------|------|
| 380,8   |     | 76    | 6   | 7,8    | 0,6  |
| 382,3   |     | 2,5   | 1,9 | 0,25   | 0,19 |
| 388,0   |     | 46    | 3   | 4,69   | 0,28 |
| 392,1   |     | 5,5   | 1,1 | 0,55   | 0,12 |
| 397,2   | 0,3 | 9,2   | 1,0 | 0,92   | 0,10 |
| 403,1   | 0,4 | 25,2  | 2,1 | 2,52   | 0,21 |
| 412,7   |     | 7,7   | 1,7 | 0,75   | 0,17 |
| 414,4   |     | 15,7  | 2,1 | 1,54   | 0,20 |
| 418,9   |     | 19    | 2   | 1,88   | 0,17 |
| 421,4   |     | 31    | 3   | 3,1    | 0,3  |
| 424,6   |     | 132   | 5   | 12,9   | 0,5  |
| 430,8   |     | 8,9   | 1,2 | 0,86   | 0,12 |
| 439,6   |     | 17,7  | 1,4 | 1,69   | 0,13 |
| 448,2   |     | 6,4   | 1,1 | 0,60   | 0,10 |
| 452,6   |     | 66    | 3   | 6,21   | 0,27 |
| 462,9   |     | 10,7  | 1,3 | 1,00   | 0,12 |
| 465,4   |     | 63    | 3   | 5,86   | 0,30 |
| 470,3   |     | 26,4  | 1,9 | 2,44   | 0,18 |
| 474,0   |     | 13,3  | 1,4 | 1,22   | 0,13 |
| (480,1) |     | < 1,5 |     | < 0,14 |      |
| 485,3   |     | 48    | 3   | 4,39   | 0,28 |
| 488,1   |     | 12,4  | 1,6 | 1,12   | 0,14 |
| 497,1   | 0,4 | 122   | 5   | 10,9   | 0,5  |
| 500,3   | 0,5 | 8,2   | 1,9 | 0,73   | 0,17 |
| 509,7   |     | 12    | 5   | 1,06   | 0,44 |
| 510,9   |     | 96    | 12  | 8,5    | 1,0  |

Полученные нами данные для изотопов рения позволяют дать оценки средних расстояний между резонансами и силовых функций:

$$D = 3,1 \pm 0,3 \text{ эВ} \quad S^0 = /2,67 \pm 0,35/ \cdot 10^{-4} \text{ для } ^{185}\text{Re и}$$

$$D = 4,0 \pm 0,4 \text{ эВ} \quad S^0 = /2,50 \pm 0,33/ \cdot 10^{-4} \text{ для } ^{187}\text{Re}$$

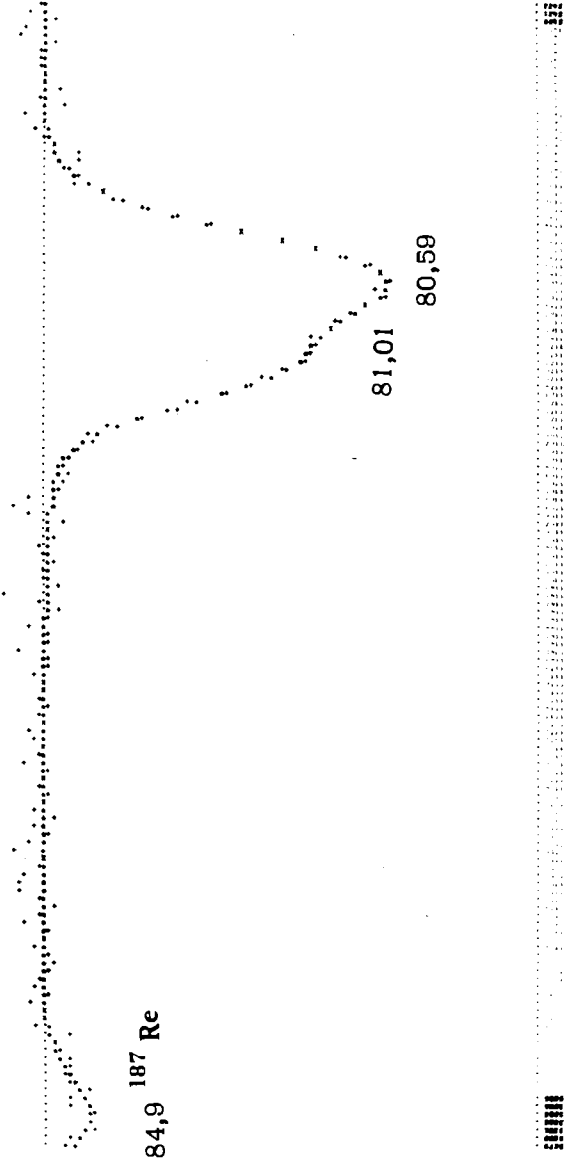


Рис. 1. Пропускание  $^{185}\text{Re}$  в области 81 эВ.

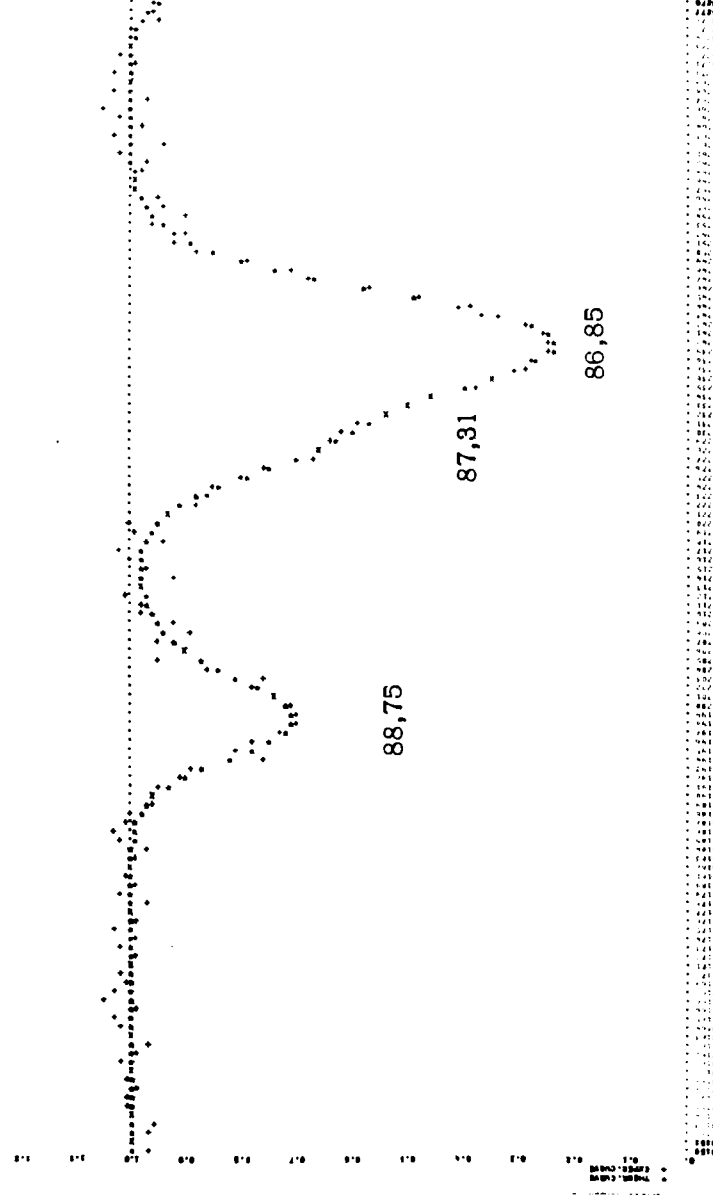


Рис. 2. Пропускание  $^{185}\text{Re}$  в области 87 эВ.

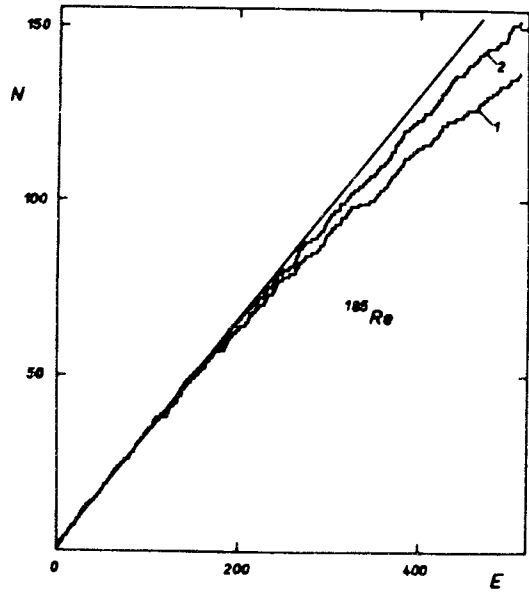


Рис. 3. Зависимость числа наблюдаемых резонансов  $^{185}\text{Re}$  от энергии нейтронов. 1 - наши данные, 2 - данные работы [4].

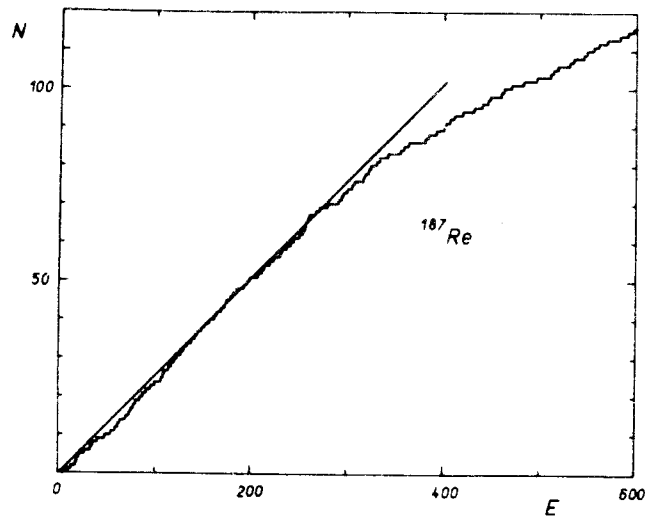


Рис. 4. Зависимость числа наблюдаемых резонансов  $^{187}\text{Re}$  от энергии нейтронов.

Таблица 2  
Параметры нейтронных резонансов  $^{187}\text{Re}$

| $E_0$<br>эВ | $\Delta E_0$ | $g\Gamma_n$<br>мэВ | $\Delta g\Gamma_n$ | $2g\Gamma_n^\circ$<br>мэВ | $\Delta 2g\Gamma_n^\circ$ |
|-------------|--------------|--------------------|--------------------|---------------------------|---------------------------|
| 1           | 2            | 3                  | 4                  | 5                         | 6                         |
| 16,00       | 0,05         | 0,34               | 0,03               | 0,168                     | 0,017                     |
| 17,48       |              | 1,08               | 0,15               | 0,52                      | 0,07                      |
| 18,51       |              | 0,38               | 0,04               | 0,18                      | 0,02                      |
| 24,79       |              | 0,050              | 0,003              | 0,020                     | 0,002                     |
| 31,95       |              |                    |                    | 1,70                      | 0,07*                     |
| 33,95       |              | 0,57               | 0,05               | 0,19                      | 0,02                      |
| 39,29       |              | 4,25               | 0,31               | 1,36                      | 0,13                      |
| 47,38       |              | 1,88               | 0,30               | 0,55                      | 0,09                      |
| 53,32       |              | 3,31               | 0,51               | 0,91                      | 0,14                      |
| 58,71       |              | 1,53               | 0,17               | 0,40                      | 0,04                      |
| 60,96       |              | 9,93               | 0,49               | 2,54                      | 0,15                      |
| 63,38       |              | 1,12               | 0,06               | 0,28                      | 0,02                      |
| 69,37       |              | 10,0               | 0,9                | 2,41                      | 0,22                      |
| 73,61       |              | 31,6               | 2,5                | 7,37                      | 0,59                      |
| 74,83       |              | 7,3                | 0,3                | 1,68                      | 0,08                      |
| 77,87       |              | 0,61               | 0,06               | 0,14                      | 0,02                      |
| 78,79       | 0,06         | 1,17               | 0,09               | 0,26                      | 0,02                      |
| 84,89       |              | 3,33               | 0,07               | 0,72                      | 0,02                      |
| 87,38       |              | 1,60               | 0,04               | 0,34                      | 0,01                      |
| 91,41       | 0,06         | 0,73               | 0,03               | 0,153                     | 0,007                     |
| 95,54       | 0,07         | 28,2               | 0,5                | 5,76                      | 0,09                      |
| 98,78       | 0,08         | 1,27               | 0,05               | 0,255                     | 0,009                     |
| 106,0       | 0,1          | 30,4               | 0,6                | 5,91                      | 0,11                      |
| 107,9       |              | 1,39               | 0,06               | 0,27                      | 0,01                      |
| 109,2       |              | 29,7               | 0,7                | 5,69                      | 0,13                      |
| 114,5       |              | 37,8               | 0,8                | 7,06                      | 0,14                      |
| 116,2       |              | 2,17               | 0,09               | 0,40                      | 0,02                      |
| 119,6       |              | 0,40               | 0,07               | 0,073                     | 0,012                     |
| 121,7       |              | 64,9               | 1,0                | 11,8                      | 0,2                       |
| 127,1       |              | 2,11               | 0,09               | 0,37                      | 0,02                      |

\*данные [1].



Продолжение таблицы 2

| 1     | 2   | 3    | 4    | 5    | 6    |
|-------|-----|------|------|------|------|
| 129,6 |     | 1,52 | 0,09 | 0,27 | 0,02 |
| 131,6 |     | 10,9 | 0,4  | 1,90 | 0,06 |
| 136,7 |     | 34,1 | 0,9  | 5,83 | 0,15 |
| 141,1 |     | 9,58 | 0,32 | 1,61 | 0,05 |
| 143,6 |     | 11,6 | 0,4  | 1,93 | 0,07 |
| 147,0 |     | 6,43 | 0,17 | 1,06 | 0,03 |
| 150,9 |     | 3,33 | 0,11 | 0,54 | 0,02 |
| 155,9 |     | 44,2 | 0,9  | 7,08 | 0,14 |
| 160,7 |     | 41,7 | 0,9  | 6,57 | 0,14 |
| 163,8 |     | 3,40 | 0,13 | 0,53 | 0,02 |
| 168,5 |     | 1,48 | 0,10 | 0,23 | 0,02 |
| 172,1 |     | 12,6 | 0,4  | 1,92 | 0,05 |
| 173,4 |     | 6,12 | 0,19 | 0,93 | 0,03 |
| 178,5 |     | 22,3 | 0,6  | 3,34 | 0,09 |
| 180,7 |     | 3,12 | 0,13 | 0,46 | 0,02 |
| 184,0 |     | 18,0 | 0,5  | 2,66 | 0,07 |
| 192,4 |     | 9,45 | 0,26 | 1,36 | 0,04 |
| 195,4 |     | 0,95 | 0,12 | 0,13 | 0,02 |
| 198,2 | 0,1 | 2,59 | 0,14 | 0,37 | 0,02 |
| 204,1 | 0,2 | 15,5 | 0,4  | 2,17 | 0,06 |
| 210,5 |     | 9,29 | 0,27 | 1,28 | 0,04 |
| 212,4 |     | 8,51 | 0,26 | 1,17 | 0,04 |
| 218,8 |     | 14,2 | 0,4  | 1,93 | 0,05 |
| 223,4 |     | 17,0 | 0,9  | 2,27 | 0,12 |
| 224,3 |     | 23,7 | 1,7  | 3,16 | 0,18 |
| 230,3 |     | 6,55 | 0,31 | 0,86 | 0,04 |
| 231,2 |     | 3,53 | 0,26 | 0,46 | 0,03 |
| 236,0 |     | 17,5 | 1,2  | 2,28 | 0,16 |
| 236,8 |     | 19,9 | 1,4  | 2,58 | 0,19 |
| 241,7 |     | 1,08 | 0,18 | 0,14 | 0,02 |
| 243,8 |     | 22,2 | 0,7  | 2,84 | 0,08 |
| 250,6 |     | 9,26 | 0,30 | 1,17 | 0,04 |
| 253,0 |     | 3,44 | 0,21 | 0,43 | 0,03 |
| 254,8 |     | 17,5 | 0,9  | 2,19 | 0,11 |
| 255,8 |     | 17,0 | 0,9  | 2,13 | 0,11 |
| 257,7 |     | 54,2 | 1,7  | 6,75 | 0,20 |
| 260,0 |     | 1,02 | 0,25 | 0,13 | 0,03 |

Продолжение таблицы 2

| 1     | 2   | 3      | 4    | 5      | 6    |
|-------|-----|--------|------|--------|------|
| 267,0 |     | 27,5   | 0,9  | 3,36   | 0,11 |
| 271,1 |     | 26,7   | 0,9  | 3,24   | 0,11 |
| 279,8 |     | 1,29   | 0,18 | 0,15   | 0,02 |
| 291,1 |     | 26,8   | 1,7  | 3,14   | 0,20 |
| 294,4 |     | 3,56   | 0,71 | 0,41   | 0,08 |
| 295,9 |     | 5,00   | 0,79 | 0,58   | 0,09 |
| 300,1 |     | 4,82   | 0,67 | 0,56   | 0,08 |
| 304,7 |     | 7,16   | 0,84 | 0,82   | 0,10 |
| 307,6 |     | 67,2   | 3,7  | 7,66   | 0,42 |
| 317,5 |     | 26,6   | 3,3  | 2,98   | 0,36 |
| 318,8 |     | 21,3   | 2,9  | 2,39   | 0,32 |
| 321,9 |     | 35,0   | 4,0  | 3,8    | 0,4  |
| 324,4 | 0,2 | 13,0   | 2,0  | 1,44   | 0,24 |
| 330,2 | 0,3 | (37,9) |      | (4,17) |      |
| 332,9 |     | (35,2) |      | (3,86) |      |
| 342,0 |     | (27,1) |      | (2,93) |      |
| 354,9 |     | 2,0    | 1,1  | 0,21   | 0,12 |
| 358,9 |     | 1,9    | 1,0  | 0,20   | 0,11 |
| 363,8 |     | 7,7    | 1,2  | 0,81   | 0,13 |
| 381,3 |     | 43,0   | 3,0  | 4,40   | 0,30 |
| 383,8 |     | 11,0   | 1,2  | 1,10   | 0,12 |
| 391,8 |     | 18,0   | 1,2  | 1,82   | 0,12 |
| 399,6 | 0,3 | 7,93   | 0,85 | 0,79   | 0,08 |
| 402,8 | 0,4 | 57,5   | 3,0  | 5,73   | 0,30 |
| 405,7 |     | 22,6   | 1,6  | 2,24   | 0,16 |
| 410,6 |     | 1,8    | 0,7  | 0,18   | 0,07 |
| 415,2 |     | < 3,0  |      | < 0,29 |      |
| 420,3 |     | 116,0  | 4,0  | 11,3   | 0,4  |
| 430,8 |     | 2,5    | 0,8  | 0,24   | 0,08 |
| 432,9 |     | 121,0  | 4,0  | 11,7   | 0,4  |
| 439,4 |     | 37,2   | 2,0  | 3,55   | 0,19 |
| 446,2 |     | 36,4   | 2,9  | 3,45   | 0,27 |
| 448,6 |     | 89,0   | 5,0  | 8,45   | 0,50 |
| 460,0 |     | 15,0   | 2,5  | 1,40   | 0,23 |
| 462,0 |     | 75,0   | 6,0  | 6,97   | 0,56 |
| 469,1 |     | 2,6    | 2,3  | 0,24   | 0,21 |
| 470,1 |     | 34,7   | 2,1  | 3,20   | 0,19 |

Продолжение таблицы 2

| 1     | 2   | 3     | 4   | 5    | 6    |
|-------|-----|-------|-----|------|------|
| 483,0 |     | 39,0  | 4,0 | 3,55 | 0,36 |
| 485,0 |     | 12,8  | 2,4 | 1,17 | 0,22 |
| 495,9 | 0,4 | 18,0  | 1,4 | 1,62 | 0,13 |
| 511,6 | 0,5 | 22,3  | 2,0 | 1,98 | 0,17 |
| 514,4 |     | 13,2  | 1,6 | 1,17 | 0,14 |
| 518,6 |     | 27,4  | 2,0 | 2,41 | 0,17 |
| 522,6 |     | 2,8   | 1,3 | 0,25 | 0,11 |
| 531,0 |     | 60,0  | 3,6 | 5,18 | 0,31 |
| 534,8 |     | 44,0  | 3,8 | 3,80 | 0,33 |
| 543,5 |     | 3,5   | 1,5 | 0,30 | 0,13 |
| 546,4 |     | 8,0   | 1,8 | 0,68 | 0,15 |
| 549,1 |     | 12,7  | 2,0 | 1,08 | 0,17 |
| 552,5 |     | 9,2   | 1,7 | 0,78 | 0,15 |
| 556,7 |     | 11,4  | 1,5 | 0,97 | 0,13 |
| 560,7 |     | 62,0  | 4,0 | 5,24 | 0,35 |
| 570,1 |     | 10,7  | 1,7 | 0,89 | 0,14 |
| 584,3 |     | 126,0 | 6,0 | 10,5 | 0,5  |
| 592,4 |     | 61,0  | 4,0 | 5,0  | 0,3  |
| 597,6 |     | 91,0  | 6,0 | 7,4  | 0,5  |
| 600,5 |     | 50,0  | 5,0 | 4,1  | 0,4  |
| 606,4 |     | 13,3  | 2,7 | 1,1  | 0,2  |

На рис. 5 обращает на себя внимание различие в наклонах гистограммы  $\Sigma 2g\Gamma_n^0(E)$  для  $^{185}\text{Re}$  на интервалах до 230 эВ и выше 230 эВ. Так, оценки  $S^0$  на этих интервалах приводят к следующим значениям /в единицах  $10^{-4}$  /:

$$S^0 = 1,58 \pm 0,29 \quad \text{ниже 230 эВ,}$$

$$S^0 = 3,57 \pm 0,65 \quad \text{выше 230 эВ.}$$

На каждом интервале находится примерно по 70 резонансов и вероятность случайного наблюдения такого различия силовых функций на соседних участках /в предположении ее постоянства/, вычисленная методом, предложенным в работе<sup>/5/</sup>, очень мала / < 0,5%/. Можно

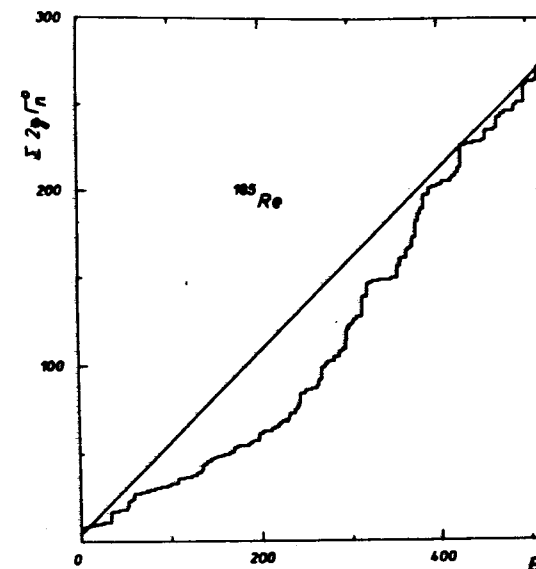


Рис. 5. Зависимость от энергии нейтронов суммы приведенных нейтронных ширин для  $^{185}\text{Re}$ .

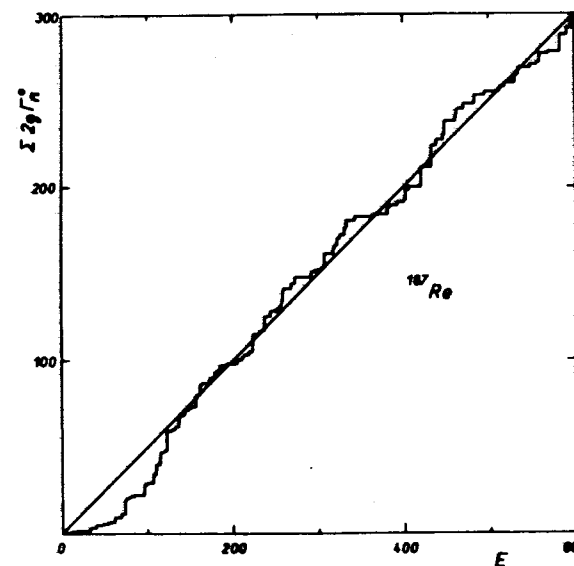


Рис. 6. Зависимость от энергии нейтронов суммы приведенных нейтронных ширин для  $^{187}\text{Re}$ .

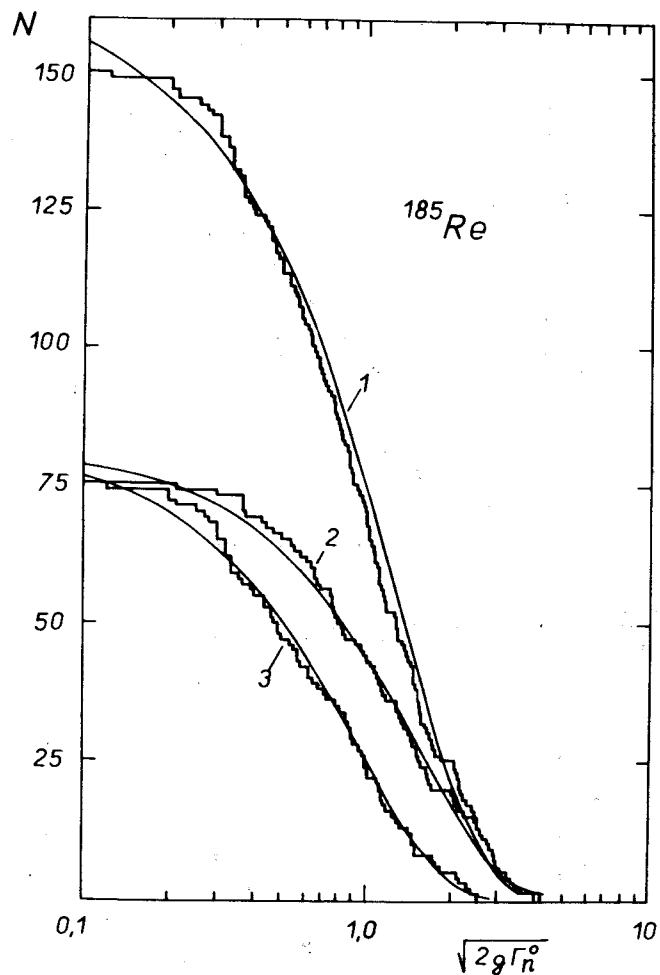


Рис. 7. Интегральное распределение приведенных нейтронных ширин резонансов  $^{185}\text{Re}$ : 1 - на интервале 0 - 510 эВ; 2 - на интервале 230 - 510 эВ; 3 - на интервале до 230 эВ.

думать, что пропуск слабых уровней /сумма их приведенных нейтронных ширин  $\sim 3$  мэВ/ не мог существенно повлиять на наши вычисления нейтронных ширин в области выше 230 эВ и привести к завышению их значений. Мы

оценивали изменение  $\Sigma 2g\Gamma_n^0$  в зависимости от предположения, что некоторые сильные резонансы, как указывают авторы работы /4/, могут быть дублетами. Оказалось, что  $\Sigma 2g\Gamma_n^0$  практически не менялась, когда в расчеты в области сильных резонансов мы вводили дополнительные уровни. Анализ распределений приведенных нейтронных ширин  $^{185}\text{Re}$  для разных энергетических интервалов /с учетом данных из /4/ / показывает /см. рис. 7/, что распределения на участках до 230 эВ и выше, а также на всем исследованном интервале хорошо согласуются с распределением Портера-Томаса. Однако распределение на участке выше 230 эВ существенно шире, чем на интервале до 230 эВ. Таким образом, остаются серьезные основания для заключения о том, что флуктуация  $S^0$  у  $^{185}\text{Re}$  в зависимости от энергии нейтронов действительно имеет место.

Иногда для установления нестатистических эффектов в свойствах нейтронных резонансов применяется статистика Вальда-Вольфовитца /В.-В./ /6/, развитая для двух наборов данных, имеющих равные населенности, одинаковые средние и распределения. Применение этого теста к данным для  $^{185}\text{Re}$  и  $^{187}\text{Re}$  приводит к следующим значениям величины  $\chi$  /см. /6/ / которая имеет нормальный закон распределения с единичной дисперсией: для  $^{185}\text{Re}$   $\chi = 2,7$ ; для  $^{187}\text{Re}$   $\chi = 0,07$ . Это означает, что последовательность резонансов  $^{187}\text{Re}$  вполне случайна, в то время как для  $^{185}\text{Re}$  вероятность случайности наблюдаемой последовательности резонансов мала / < 1%/. При этом, конечно, следует иметь в виду, что пропуск возможно неучтенных слабых уровней /хотя мы их и учитывали по данным работы /4/ / может исказить результат оценки. Хотелось бы также обратить внимание на то, что результат анализа по тесту В.-В. чувствителен к выбору медианы для разбиения резонансов на две группы по значениям  $g\Gamma_n^0$ . В недавней работе Рора и Вейгманна /7/ тест В.-В. был использован в анализе нейтронных резонансов  $^{177}\text{Hf}$  для доказательства зависимости  $S^0$  от энергии нейтронов для резонансов со спином 4. Однако, выбирая произвольно медиану и нарушая тем самым равную заселенность двух групп, а следовательно, условие приме-

нимости теста В.-В., авторы получили значение величины  $x = 2,6$ . Если в качестве медианы взять значение  $\frac{1}{2} < 10^n$ , которое разбивает распределение Портера-Томаса<sup>n</sup> на две равнонаселенные части, то получится  $x = 0,06$ , что соответствует отсутствию какой-либо структуры.

В заключение отметим, что факты нерегулярного поведения силовой функции в зависимости от энергии нейтронов отмечались ранее у  $^{139}\text{La}$ ,  $^{149}\text{Sm}/8/$ ,  $^{139}\text{Pr}/10/$ . Недавно было получено подтверждение для  $^{139}\text{La}/10/$ . Нам кажется, что вопрос - насколько однозначно подобные флуктуации являются проявлением промежуточной структуры, требует уточнения и проведения дальнейшего изучения свойств нейтронных резонансов у этих ядер.

Авторы признательны Г.Н.Зимину, К.П.Мальшеву, В.И.Чивкину и Л.Г.Поповой, оказавшим большую помощь в проведении данной работы, а также В.С.Золотареву и Л.Д.Груздевой за предоставление образцов.

#### Литература

1. *Neutron Cross Section, 3d Ed., 1973, vol. 1, BNL-325.*
2. Попов А.Б., Файков Х., Хван Чер Гу. ОИЯИ, РЗ-9743, Дубна, 1976.
3. Попов А.Б., Шелонцев И.И., Ширикова Н.Ю. ОИЯИ, З-9742, Дубна, 1976.
4. Namenson A.I., Stolovy A., Harvey J.A. *Nucl.Phys.*, 1976, A266,83.
5. Малэцки Х., Пикельнер Л.Б., Саламатин И.М., Шарапов Э.И. *ЯФ*, 1970, 11, 111.
6. Lames G.D. *Nucl.Phys.*, 1971, A170, 309.
7. Rohr G., Weigmann H. *Nucl. Phys.*, 1976, A264, 93.
8. Каржавина Э.Н., Попов А.Б. *ЯФ*, 1972, 15, 401.
9. Wynchank S., Garg J., Havens W., Rainwater. *Phys.Rev.*, 1968, 166, 1234.
10. Hacken G., Rainwater J., Lion H.I., Singh U.N. 1976, 13C, 1884.

Рукопись поступила в издательский отдел  
14 января 1977 года.