

С 343 Г

Ш-251

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

7/8-64

P-1771



Э.И.Шарапов, Л.Б.Пикельнер, Н.Илиеску,  
Ким Хи Сан, Х.Сиражет

ЛАБОРАТОРИЯ НЕЙТРОННОЙ ФИЗИКИ

НЕЙТРОННЫЕ РЕЗОНАНСЫ  
НИОБИЯ И РУБИДИЯ  
И РАДИАЦИОННЫЕ ШИРИНЫ СРЕДНИХ ЯДЕР

*Phys. Rev.*, 1965, v 72,  
n 2, с. 298-304.

1964

Э.И. Шарапов, Л.Б. Пикельнер, Н. Иллеску,  
Ким Хи Сан, Х. Сяражет

НЕЙТРОННЫЕ РЕЗОНАНСЫ  
НИОБИЯ И РУБИДИЯ  
И РАДИАЦИОННЫЕ ШИРИНЫ СРЕДНИХ ЯДЕР

Направлено в "Physics Letters".

Объединенный институт  
ядерных исследований  
БИБЛИОТЕКА

2689/2 48

В последние годы значительный интерес вызывает изучение уровней ядер, лежащих в области массовых чисел  $A \approx 100$ . Это связано с тем, что в этой области силовая функция для  $p$ -нейтронов имеет максимум и  $p$ -волновые резонансы проявляются при низких энергиях. Непосредственное наблюдение  $p$ -уровней Mo, Nb и Zr было осуществлено Джексоном<sup>/1,2/</sup>, определявшим четность уровней по спектрам гамма-лучей при резонансном захвате нейтронов.

Изучавшиеся нами ядра  $Rb^{85}$ ,  $Rb^{87}$  и  $Nb^{93}$  лежат в этой же области, причем данных по рубидию очень мало, в частности не известны радиационные ширины, которые представляют особый интерес для магических ядер.

Ниобий был подробно исследован в целом ряде лабораторий. Однако в последнее время Джексоном<sup>/3/</sup> обнаружил существенное различие между радиационными ширинами для  $s$ - и  $p$ -волновых уровней (114 мэв и 230 мэв соответственно), которое было подтверждено Жульеном<sup>/4/</sup>, получившим, правда, несколько большую величину  $(\bar{\Gamma}_\gamma)_s = 140$  мэв. Такая зависимость радиационной ширины от четности не могла найти себе объяснения в рамках существующей теории.

Учитывая важность полученных результатов, мы предприняли детальную экспериментальную проверку параметров уровней ниобия.

Ниобий. Измерения с ниобием проводились по методу времени пролета на импульсном реакторе ОИЯИ. Для получения хорошей точности и исключения систематических ошибок были проведены измерения различного типа: пропускание, радиационный захват, самонидкация, рассеяние нейтронов. В таблице 1 указаны типы проводившихся измерений, разрешение и использовавшиеся образцы. Примесь тантала в различных образцах составляла 0,1-0,3%.

Применявшиеся детекторы радиационного захвата и рассеянных нейтронов описаны в работах<sup>/5,6/</sup>, а для измерения пропускания использовался сцинтилляционный детектор с литиевыми стеклами, характеристики которых приведены в работе<sup>/7/</sup>. Методика получения параметров резонансов изложена в наших работах<sup>/8,9/</sup>. При обработке пропускания с самым толстым образцом был использован метод симметризации<sup>/12/</sup> для учета интерференции, однако влияние интерференции мало (не выше 6% для самых сильных  $s$ -уровней).

Калибровка в измерениях радиационного захвата проводилась по резонансу 118 эв



как это описано в /10/. Для проверки постоянства эффективности ( $\eta, \gamma$ ) -детектора от резонанса к резонансу были проведены дополнительные измерения радиационного захвата в режиме суммирования импульсов от двух баков детектора. Полученные отношения суммарного счета по резонансу при работе в режиме совпадения и суммирования были постоянны для всех резонансов в пределах ошибки измерения, не превышавшей 7%.

Экспериментальные данные, полученные в результате измерений различного типа, приведены в таблице 2. По этим данным методом наименьших квадратов были получены параметры резонансов, представленные в таблице 3. Радиационные ширины получены из полных в предположении  $g = \frac{1}{2}$ . На рис. 1 и 2 приведены для примера графики  $g\Gamma_n$  как функции  $\Gamma$ , построенные для резонансов 94 и 194 эв по данным таблицы 2.

Как видно из приведенных результатов, радиационная ширина  $s$  -уровней ( $\bar{\Gamma}_\gamma$ ), составляет 194 мэв, значительно превосходя величины, приводимые в работах /3,4/. Что касается  $p$  -уровней, то точность результатов измерений для них ниже и полученное нами значение ( $\bar{\Gamma}_\gamma$ ) <sub>$p$</sub>  = 200 мэв в пределах этой точности согласуется с данными Джексона и Жюльена /3,4/. На основании данных таблицы 3 можно сделать вывод, что различие в радиационных ширинах  $s$  - и  $p$  -волновых резонансов, если и имеет место, то не превосходит ошибки измерения для  $p$  -уровней.

Следует отметить, что значения  $g\Gamma_n$ , полученные нами и приведенные в /4/, полностью согласуются, в то время как у Джексона значение  $g\Gamma_n$  резонанса 119 эв значительно выше. Кроме того, для уровня 106 эв Джексоном, очевидно, допущена описка, так как величина  $g\Gamma_n$  на порядок меньше нашей и приведенной в Атласе нейтронных сечений /11/.

Рубидий. Условия измерений для р-Рубидия были аналогичны тем, в которых исследовался ниобий. В таблице 4 приведены типы измерений и применявшиеся образцы. Кроме перечисленных измерений с естественным рубидием, было проделано измерение радиационного захвата с образцом  $Rb_2SO_4$ , обогащенным изотопом  $Rb^{85}$  до 98,8%. Вес изотопа в образце составлял 10,2 г. Это измерение позволило провести изотопную идентификацию всех исследованных уровней. Калибровка ( $\eta, \gamma$ ) -детектора осуществлялась на основании измерений пропускания для резонансов 235 эв (для  $Rb^{85}$ ) и 267 эв (для  $Rb^{87}$ ), а также путем независимого определения потока нейтронов и эффективности детектора, как это было описано в /10/. Оба метода дали результаты, согласующиеся в пределах ошибки калибровки, составляющей 10-15%.

На основании проведенных измерений и обработки были получены параметры десяти уровней в области энергии ниже 1300 эв приведенные в таблице 5. При более высокой энергии недостаточное разрешение не позволяло проводить надежное разделение резонан-

сов, поэтому их обработка не проводилась. Силовая функция  $\bar{\Gamma}_n^0/D$ , рассчитанная для  $Rb^{85}$  по данным таблицы 5, оказалась равной  $(0,5 \pm 0,3) \cdot 10^{-4}$ . Ошибка обусловлена малым числом уровней. Среднее наблюдаемое расстояние между уровнями  $D$  наб для  $Rb^{85}$  получается равным  $\approx 130$  эв, что значительно меньше величины, которая следует из данных <sup>/11/</sup>. Сравнение параметра  $\bar{\Gamma}_\gamma/D_0$ , где  $D_0 = D \cdot 2(2I + 1)$ , приведенного в работе Попова и Фенина <sup>/13/</sup>, с полученным в данной работе, показывает удовлетворительное согласие ( $1,33 \cdot 10^{-4}$  и  $1,4 \cdot 10^{-4}$  соответственно). Следует отметить, что приведенные нейтронные ширины  $\Gamma_n^0$  лежат в широком интервале величин. Это особенно заметно, если учесть, что в киловольтной области лежат резонансы с  $\Gamma_n^0$  порядка 300–500 мэв <sup>/11/</sup>. Весьма вероятно, что слабые резонансы обусловлены р-нейтронами, так как рубидий лежит в области максимума р-волновой силовой функции.

### Радиационные ширины средних ядер

Полученные значения радиационных ширин для  $Rb^{85}$ ,  $Rb^{87}$  и  $Nb^{93}$  позволяют уточнить зависимость  $\Gamma_\gamma$  от массового числа в области ядер с числом нейтронов  $N$ , близким к 50. До последнего времени считалось, что радиационные ширины имеют максимум для магических ядер <sup>/14/</sup>.

На рис. 3 приведена экспериментальная зависимость  $\Gamma_\gamma$  от  $N$ , построенная по данным таблицы 6, включая наши результаты. График показывает наличие четкого минимума при  $N = 50$  ( $Rb^{87}$ ), причем экспериментальные точки хорошо укладываются на гладкую кривую. Максимумы по обеим сторонам от замкнутой оболочки лежат при  $N = 44$  и 56. Имея в виду эти результаты, следует критически рассмотреть и наличие максимумов в области  $N = 82$  и  $N = 126$ . В первом случае о максимуме свидетельствует только одна точка – лантан, у которого была известна радиационная ширина  $\Gamma_\gamma = 150$  мэв для резонанса 72 эв. Однако наши измерения с празеодимом, также имеющим 82 нейтрона, дали величину  $\Gamma_\gamma = 86$  мэв <sup>/15/</sup>, не превышающую радиационные ширины соседних ядер. В области  $N = 126$ , где ядра близки к дважды магическим, в значении радиационных ширин наблюдается сильный подъем, однако экспериментальные данные обрываются при  $N = 121$ , т.е. далеко от магического числа нейтронов. Что же касается значения  $\Gamma_\gamma$  непосредственно при  $N = 126$ , то оценка может быть сделана для  $_{83}^{206}Bi$  на основании известного сечения захвата нейтронов в тепловой области. Такая оценка показывает, что  $\Gamma_\gamma$  не превышает 50 мэв. В связи с этим представляет интерес непосредственное экспериментальное определение значения  $\Gamma_\gamma$  в этой области массовых чисел.



В заключение считаем своим приятным долгом поблагодарить Ф.Л.Шапиро за полезные обсуждения, И.И.Шелонцева за проведение расчетов на вычислительной машине, М.И.Певзнера за любезное предоставление синтиллиационных стекол и В.С.Золотарева с сотрудниками, изготовивших образец с разделенным изотопом  $Rb^{85}$ .

#### Л и т е р а т у р а

1. H.E.Jackson, Phys. Rev., 127, 1687 (1962).
2. H.E.Jackson, Phys. Rev., 131, 2153 (1963).
3. H.E.Jackson, Phys. Rev. Lett., 11, 378 (1963).
4. J.Julien, International Conference on Nuclear Physics with Reactor Neutrons, ANL-6797, 296 (1963).
5. Л.Б.Пикельнер, М.И.Пшитула, Ким Хи Сан, Чэнь Лин-янь, Э.И.Шарапов. ПТЭ, № 2, 48 (1963).
6. Л.Б.Пикельнер, М.И.Пшитула, Ким Хи Сан, Чэнь Лин-янь, Э.И.Шарапов. ПТЭ, № 2, 51 (1963).
7. В.К.Войтовецкий, Н.С.Толмачева. Атомная энергия, 6, 472 (1959).
8. Д.Зелигер, Н.Илеску, Ким Хи Сан, Д.Лонго, Л.Б.Пикельнер, Э.И.Шарапов. ЖЭТФ, 45, 1294 (1963).
9. Ван Най-янь, И.Визя, В.Н.Ефимов и др. ЖЭТФ, 45, 1743 (1963).
10. Л.Б.Пикельнер, Э.И.Шарапов. Препринт ОИЯИ, Р-1547, Дубна, 1964.
11. Neutron Cross Sections, 2<sup>nd</sup> ed. BNL-325 (1958). Suppl. №1 to BNL-325 (1960).
12. М.И.Певзнер, Ю.В.Адамчук, Л.С.Данелян и др. ЖЭТФ, 44, 1187 (1963).
13. Ю.П.Попов, Ю.И.Фення. ЖЭТФ, 43, 2000 (1962).
14. A.Stolovy, J.A.Harvey. Phys. Rev., 108, 353 (1957).
15. Ван Най-янь, Н.Илеску, Э.Н.Каржавина и др. ЖЭТФ, 47, в.1 (1964).
16. J.A.Moore, H.Palevsky, R.E.Chrien, Phys. Rev., 132, №2, 801 (1963).
17. A.P.Jain, R.E.Chrien, J.A.Moore, H.Palevsky. Nucl. Sci and Eng., 17, №3, 319 (1963).
18. С.П.Качигаев, Ю.П.Попов. Атомная энергия, 15, 120 (1963).
19. J.Julien, G.Bauchli, C.Corge et al. Phys. Lett., 10, № 1, 86 (1964).
20. J.Julien et al. Phys. Lett., 3, N=2, 67 (1962).
21. H.H.Bolotin, R.E.Chrien, Nucl. Phys., 42, 676 (1963).

Рукопись поступила в издательский отдел  
22 июля 1964 г.

Таблица I

Типы измерений и образцы, применявшиеся при измерениях  
с ниобием

Тип измерения	Обозначение	Толщина образца, ядер/см <sup>2</sup>	Вид образца	Разрешение, мксек/м
Пропускание	T <sub>1</sub>	1,75.10 <sup>21</sup>	окись	
-"-	T <sub>2</sub>	1,31.10 <sup>22</sup>	окись	0,04
-"-	T <sub>3</sub>	7,8.10 <sup>22</sup>	металл	
Самоиндикация	S <sub>1</sub>	n(T)-n(D)- = 1,51.10 <sup>21</sup>	Оба образца- окись	0,05
-"-	S <sub>2</sub>	n(T)-24,2·n(D)- = 7,5.10 <sup>22</sup>	n(D) - окись n(T) - металл.	
захват	C <sub>1</sub>	1,51.10 <sup>21</sup>	окись	0,05
-"-	C <sub>2</sub>	1,40.10 <sup>22</sup>	металл	
рассеяние	V <sub>1</sub>	1,48.10 <sup>20</sup>	окись	0,08



Таблица 2

Экспериментальные данные из измерения с ниобием

E <sub>0</sub> , эВ	A эВ			C = $\frac{\Gamma_{\gamma}}{\Gamma} A$ эВ		B = $\frac{\Gamma_{\beta}}{\Gamma} A$ эВ	S = $\frac{A(D+T)-A(T)}{A(D)}$	
	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>		S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>
42		0,057±0,008	0,255±0,0120	0,0059±0,0006	0,054±0,006			0,702±0,07
94,2		0,088±0,020	0,456±0,018	0,0106±0,001	0,103±0,01			0,657±0,052
106			0,516±0,08	0,013±0,002	0,121±0,012			0,60±0,05
118,7	0,109±0,01	0,627±0,060	1,670±0,035	0,103±0,011	0,67±0,07			0,149±0,007
194,0	0,598±0,050	1,94±0,10	4,4±0,1	0,42±0,04	1,69±0,17	0,012±0,002	0,70±0,01	0,079±0,003
243		0,24±0,07	1,0±0,04	0,026±0,003	0,23±0,03			0,50±0,04
320			0,70±0,08	0,020±0,003	0,15±0,03			0,64±0,05
334			2,44±0,15	0,130±0,013	0,84±0,09			0,126±0,012
378	0,75±0,05	2,52±0,20		0,44±0,04	1,99±0,20	0,033±0,005	0,732±0,015	

Таблица 3  
Параметры резонансов ниобия

E <sub>0</sub> , эВ	εΓ <sub>n</sub> мэВ	Γ мэВ	Γ <sub>γ</sub> мэВ	εΓ <sub>n</sub> мэВ		Γ <sub>γ</sub> мэВ	
				/3/	/4/	/3/	/4/
42,3 ± 0,2	0,042 ± 0,003	-	-	0,045 ± 0,005	0,05 ± 0,007	260 ± 20	230 ± 50
94,0 ± 0,4	0,167 ± 0,010	185 ± 60	185 ± 60	0,17 ± 0,015	-	215 ± 50	-
106 ± 0,5	0,230 ± 0,015	-	-	0,025 ± 0,005	-	96 ± 50	-
119 ± 0,6	1,90 ± 0,08	187 ± 10	183 ± 10	2,9 ± 0,3	2,0 ± 0,2	107 ± 20	136 ± 20
194 ± 1,2	20,5 ± 0,6	230 ± 12	189 ± 12	20,8 ± 2	20,0 ± 2,5	133 ± 30	135 ± 30
244 ± 2	1,08 ± 0,06	230 ± 80	228 ± 80	-	1,05 ± 0,15	-	263 ± 50
320 ± 3	0,95 ± 0,10	-	-	-	-	-	-
334 ± 3	7,7 ± 0,7	200 ± 20	185 ± 20	-	7,5 ± 1	-	150 ± 30
379 ± 4	48 ± 3	310 ± 35	214 ± 35	-	48,5 ± 5	-	153 ± 32



Таблица 4

Типы измерений и образцы, применявшиеся при измерениях  
с рубидием

Тип измерения	Обознач.	Толщина образца, ядер элемента см <sup>2</sup>	Вид образца	Разрешение, мксек/м
Пропускание	$T_1$	$1,95 \cdot 10^{21}$	$Rb_2SO_4$	0,05
	$T_2$	$1,61 \cdot 10^{22}$	$Rb_2SO_4$	
	$T_3$	$2,96 \cdot 10^{22}$	$Rb_2SO_4 + RbNO_3$	
Самоиндикация	$S_1$	$n(T) - n(D) =$ $= 1,55 \cdot 10^{21}$	$n(T) - Rb_2SO_4$ $n(D) - RbNO_3$	0,05
Захват	$C_1$	$1,55 \cdot 10^{21}$	$RbNO_3$	0,05
	$C_2$	$1,95 \cdot 10^{21}$	$Rb_2SO_4$	
	$C_3$	$3,12 \cdot 10^{21}$	$RbNO_3 + Rb_2SO_4$	

Таблица 5

Параметры резонансов рубидия

$E_0$ эВ	$g\Gamma_n$ мэВ	$\Gamma_y$ мэВ	$g\Gamma_n^0$ мэВ	Изотоп
176 ± 0,7	0,46 ± 0,08		0,034	85
235 ± 1	5,4 ± 0,5		0,39	85
267 ± 2	8,2 ± 1,2		0,50	87
378 ± 2	450 ± 50	145 ± 30	23	87
426 ± 3	1,2 ± 0,2		0,058	85
473 ± 3	20 ± 2		0,92	85
528 ± 3	660 ± 30	220 ± 30	29	85
655 ± 5	150 ± 40		5,85	85
799 ± 9	6,3 ± 1		0,22	85
1000-1050	два неразрешенных уровня			85
1210 ± 13	600 ± 100	210 ± 30	17	85
1420 ± 20				85
1500 ± 20				85
1690 ± 30				85
1960 ± 35				-
2040 ± 40				-
2440 ± 50				-
2560 ± 60				-
3050 ± 70				-



Таблица 6  
Радиационные ширины ядер

№№ пп	Число нейтронов	Ядро мишени	$\Gamma_\gamma$ мэв	Ссылка
1.	30	Fe <sup>58</sup>	673±74	[16]
2.	32	Co <sup>60</sup>	400±40	[17]
3.	34	Cu <sup>63</sup>	650±100	[18]
4.	36	Cu <sup>65</sup>	600±200	[18]
5.	38	Ga <sup>69</sup>	210±40	[19]
6.	40	Se <sup>74</sup>	189±30	[11]
7.	42	As <sup>75</sup>	320±30	[11, 19]
8.	43	Se <sup>77</sup>	520±110	[20]
9.	44	Br <sup>79</sup>	400±30	[8]
10.	44	Kr <sup>80</sup>	400±90	[11]
11.	46	Br <sup>81</sup>	275±20	[8]
12.	47	Kr <sup>83</sup>	220±60	[11]
13.	48	Rb <sup>85</sup>	215±30	данная работа
14.	49	Sr <sup>87</sup>	205±20	[11]
15.	50	Rb <sup>87</sup>	145±30	данная работа
16.	51	Zr <sup>91</sup>	230±30	
17.	52	Nb <sup>93</sup>	190±15	данная работа
18.	50	Mo <sup>95</sup>	210±60	[11]
19.	55	Mo <sup>97</sup>	330±80	[11]
20.	56	Tc <sup>99</sup>	280±20	[11]
21.	57	Ru <sup>101</sup>	280±40	[21]
22.	58	Rh <sup>103</sup>	140±20	[9]
23.	60	Ag <sup>107</sup>	140±14	[11]
24.	62	Cd <sup>110</sup>	130±35	[11]
25.	62	Ag <sup>109</sup>	140±14	[11]

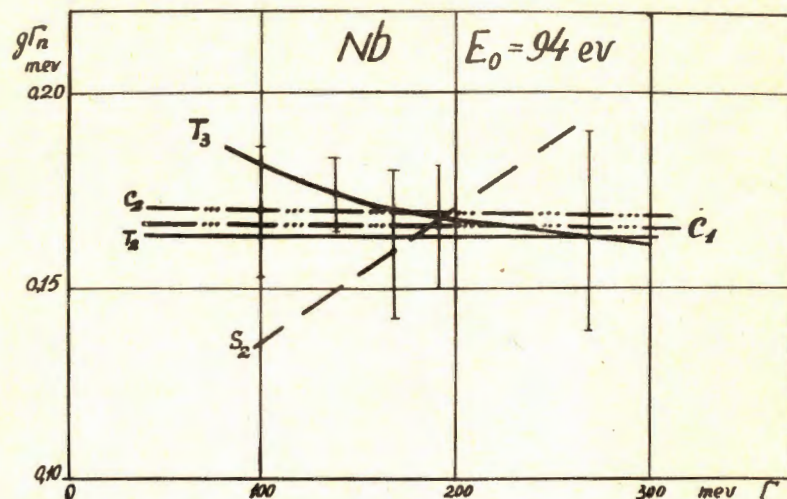


Рис. 1. Зависимости  $g\Gamma_n$  от  $\Gamma$  для p-волнового уровня ниобия 94 эв, полученные из измерений различных типов:  $T_2, T_3$  - пропускание образцов различной толщины,  $C_1, C_2$  - радиационный захват,  $S_2$  - самоиндикация.

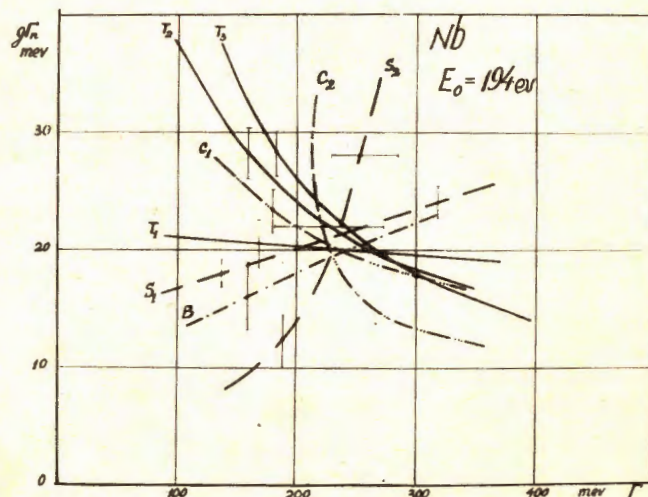


Рис. 2. Зависимости  $g\Gamma_n$  от  $\Gamma$  для s-волнового уровня ниобия 194 эв, полученные из измерений различных типов:  $T_1, T_2, T_3$  - пропускание,  $C_1, C_2$  - радиационный захват, B - рассеяние,  $S_1, S_2$  - самоиндикация.

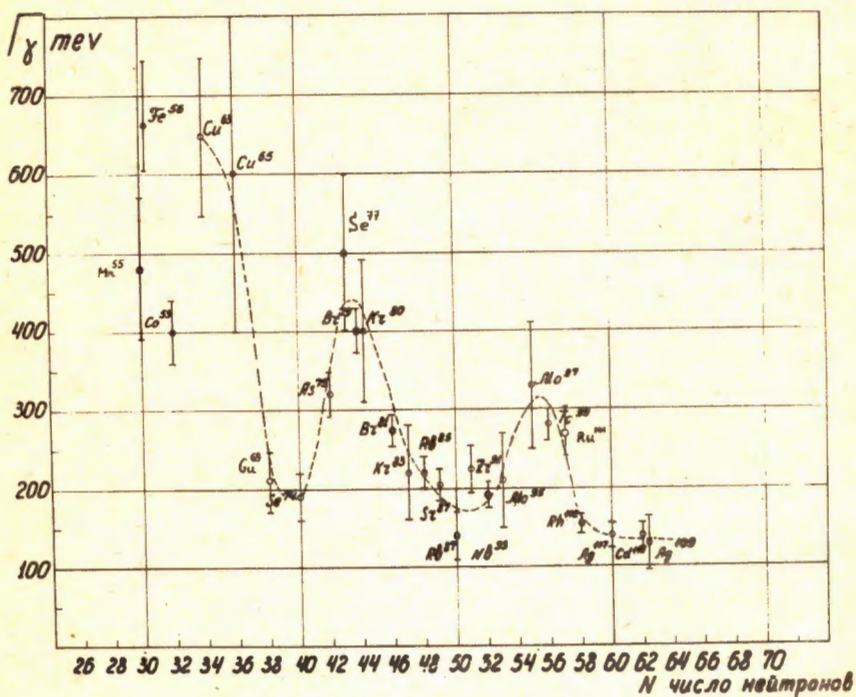


Рис. 3. Экспериментальные данные по радиационным ширинам средних ядер. Зачернены точки, полученные в работах авторов.