



Влияние эффекта четности числа нуклонов на величину сечения радиационного захвата

Т. С. Беланова, О. Д. Казачковский

Последуются влияние четности числа нуклонов в ядре на величину сечения захвата. По имеющимся экспериментальным данным о смеси изотопов и отдельных изотопов с приемлемой точностью определены сечения захвата быстрых нейтронов (ниже 1 Мэв) для ряда изотопов с четным числом нейтронов. Полученные значения в среднем в несколько раз превышают значения сечений захвата для ядер с четным числом нейтронов (как с четным, так и с нечетным Z).

Результаты противоречат существующим представлениям о характеристическом уровне.

За последние годы получено много данных о сечениях захвата монохроматических нейтронов в области энергий $0,010-1 \text{ Мэв}$. Анализ результатов, полученных для ядер различных типов, позволяет обнаружить отдельные закономерности, имеющие важное значение с точки зрения теории ядра. Одни из интересных вопросов в этой области — влияние четности числа нуклонов на величину сечения. Известные до сих пор экспериментальные значения сечений относились практически к ядрам только двух типов: четно-четным и нечетно-четным (здесь и всюду в дальнейшем первой указывается четность по протонам, а затем по нейтронам), что, естественно, ограничивало возможности исследований в этом направлении. Сечения захвата для четно-нечетных изотопов, не активирующихся при захвате нейтрона и находящихся в очень малом количестве в естественной смеси изотопов, до сих пор никак отдельно не измерялись. Однако величины этих сечений можно определить с достаточной точностью на основании измеренных сечений для естественных смесей изотопов и для соответствующих четно-четных ядер. Целью настоящей работы и являлось определение сечений захвата для четно-нечетных ядер, а также сравнение их с сечениями захвата для ядер других типов и обсуждение найденных закономерностей.

Сечения захвата для четно-нечетных ядер $\sigma_c(\text{ч-н})$ определялись путем вычитания известных сечений захвата (активирующихся) для четно-четных изотопов $\sigma_c(\text{ч-ч})$ из полных сечений поглощения для естественной смеси изотопов σ_a .

Так как содержание четно-нечетных изотопов в естественной смеси очень небольшое (порядка нескольких процентов), то на первый взгляд может показаться, что найденным величинам $\sigma_c(\text{ч-н})$ придется приписать чересчур большие погрешности. Однако это не так, поскольку, как будет видно из дальнейшего, сами сечения $\sigma_c(\text{ч-н})$ очень велики. Поэтому вклад четно-нечетных изотопов в сечение, измеренное для естественной смеси, оказывается того же порядка, а в некоторых случаях даже больше, чем соответствующий вклад четно-четных изотопов, и статистическая точность полученных значений $\sigma_c(\text{ч-н})$ в большинстве случаев вполне приемлема.

Когда в состав смеси, кроме изотопов с известным сечением, входили и другие четно-нечетные изотопы с неизвестным сечением, необходимо было произвести оценку сечений захвата для этих изотопов. Обычно концентрация изотопов с известным сечением достаточно большая, поэтому сечения для отдельных четно-четных изотопов можно было считать такими же и при этом большой погрешности в вычислениях не возникало. Однако

в нескольких немногих случаях, когда концентрация изотона с известным сечением захвата была мала, а энергия связи, выделяющаяся при захвате нейтрона в разных четно-четных изотопах, заметно отличалась, приходилось производить предварительную оценку соответствующих сечений по приближенным формулам.

В наших расчетах использовались данные о сечениях поглощения для естественных

множестве случаев довольно существенна, и относительная величина ее меняется от элемента к элементу.

Для получения зависимости $\sigma_c(\text{ч-н})$ от энергии нейтронов в $\text{Mo}^{95,97}$, Pd^{105} , W^{183} , Pt^{195} использовались значения полных сечений поглощения из работ [5, 7, 8] и активационных сечений захвата из работ [10—12]. Расчеты показали, что у всех этих элементов сечения захвата четно-нечетных изотопов

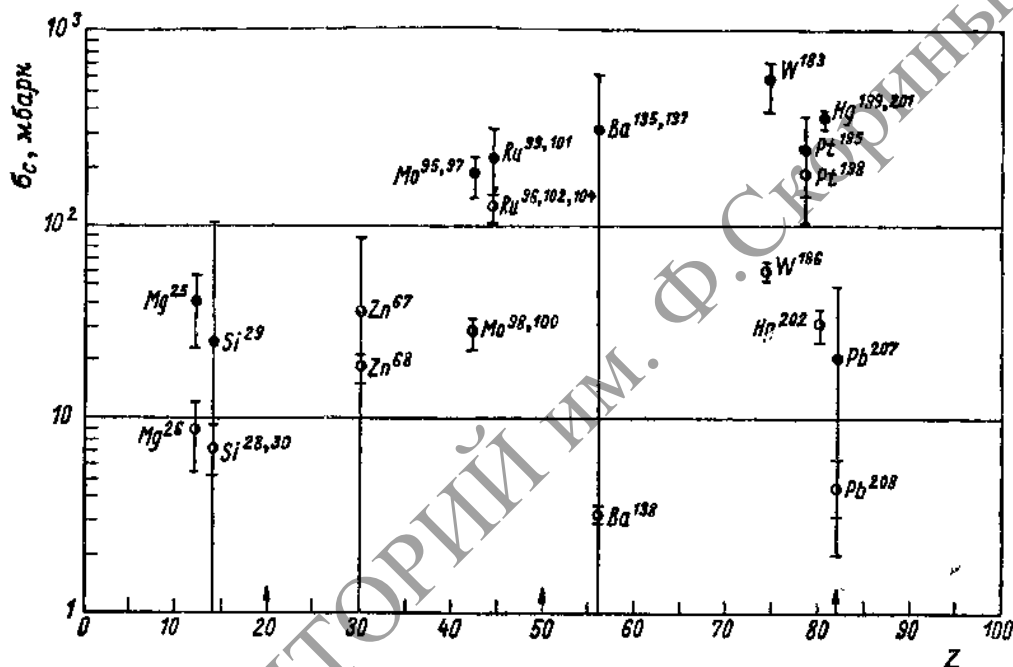


Рис. 1. Зависимость $\sigma_c(\text{ч-н})$ и $\sigma_c(\text{ч-ч})$ от Z для нейтронов с энергией 220 кэВ: ● — значения $\sigma_c(\text{ч-ч})$; ○ — значения $\sigma_c(\text{ч-н})$; стрелками отмечены магические числа по протонам.

смесей изотопов, опубликованные в работах [1—8]. Значения активационных сечений взяты из работ [9—14]. Наилучшие значения $\sigma_c(\text{ч-н})$ вместе с вычисленными для них статистическими ошибками приведены в табл. 1—4 (они обозначены как $\sigma_c(\text{ч-н})_{\text{векл}}$). Для примера на рис. 1 показаны сечения захвата четно-нечетных изотопов в зависимости от числа протонов в ядре для нейтронов с энергией 220 кэВ. Там же показаны активационные сечения $\sigma_c(\text{ч-ч})$, которые в проведенных расчетах принимались за исходные.

Из сравнения полученных данных следует, что значения сечений захвата для четно-нечетных изотопов весьма велики. Разница между сечениями для ядер двух типов в боль-

вые сечения захвата четно-четных изотопов. В качестве иллюстрации на рис. 2 показана зависимость $\sigma_c(\text{ч-н})$ и $\sigma_c(\text{ч-ч})$ от энергии нейтронов для молибдена.

Следует отметить, что влияние четности числа нейтронов на величину сечения захвата проявляется и в измерениях со сплошными спектрами нейтронов. В этом смысле интересны результаты Роуза [16], полученные для нейтронов реактора. Сечения, полученные Роузом, представляют собой так называемые сечения возмущения, существенно зависящие от эффекта неупругого рассеяния в образцах. Таким образом, в этом эксперименте влияние четности числа нейтронов на величину сечения захвата маскируется частично

Таблица 1

Сечения захвата для нейтронов с энергией 24 кэВ

Изотоп	σ_c (ч-н) _{эксп.} , мбарт	σ_c (ч-н) _{теор.} , мбарт	Изотоп	σ_c (ч-н), мбарт	σ_a , мбарт
Mg ²⁵	15	55	Mg ²⁶	14 [10]	48 [1]
Si ²⁹	140±50	7	Si ²⁸	5,1** [14]	40 [1]
			Si ³⁰	2,1	
Ti ^{47, 48*}	140±50	40	Ti ⁵⁰	5 [10]	23 [1]
Zn ⁶⁷	160±60	470	Zn ⁶⁸	24 [11]	28 [1]
Zr ⁹¹	700±180	960	Zr ⁹⁴	24 [9]	400 [1]
			Zr ⁹⁶	22 [10]	
Mo ^{95, 97}	500±50	380	Mo ⁹⁸	210 [10]	262 [1]
			Mo ¹⁰⁰	110 [11]	
Pd ¹⁰⁵	1530±380	4000	Pd ¹⁰⁸	290 [9]	570 [8]
Ba ^{135, 137}	260±300	280	Ba ¹³⁸	8,4 [11]	53 [1]
Sm ^{147, 149}	2750±640	4300	Sm ¹⁵²	670 } [10]	1225 [8]
			Sm ¹⁶⁴	530 }	
Gd ^{155, 157}	2150±570	6700	Cd ¹⁵⁸	710 [10]	1150 [8]
Dy ^{161, 163}	1630±310	3100	Dy ¹⁶⁴	330 [12]	900 [8]
Er ¹⁶⁷	2920±590	4100	Er ¹⁷⁰	300 [10]	900 [8]
W ¹⁸³	1060±430	2570	W ¹⁸⁴	350 } [12]	419 [1]
			W ¹⁸⁶	270 }	
Pt ¹⁹⁵	1120±240	1930	Pt ¹⁹⁶	210 } [12]	520 [8]
			Pt ¹⁹⁸	240 }	
Hg ^{199, 201}	630±30	80	Hg ²⁰²	57 [10]	229 [1]

* Титан имеет два нечетных изотопа. Обозначение Ti^{47, 49} указывает, что полученные сечения захвата σ_c (ч-н) являются величинами, усредненными по изотопам титана Ti⁴⁷ и Ti⁴⁹ (с учетом их концентраций). Аналогичные обозначения употребляются в этой таблице (и везде в дальнейшем) и для других элементов, содержащих больше чем один нечетный изотоп.

** Для Si²⁸ σ_c (ч-н) найдено расчетным путем.

Таблица 2

Сечения захвата для нейтронов с энергией 220 кэВ

Изотоп	σ_c (ч-н) _{эксп.} , мбарт	σ_c (ч-н) _{теор.} , мбарт	Изотоп	σ_c (ч-н), мбарт	σ_a , мбарт
Mg ²⁵	40±15	30	Mg ²⁶	8,9*	12 [1]
Si ²⁹	25±80	10	Si ²⁸	7,3**	8 [1]
			Si ³⁰	3,0***	
Zn ⁶⁷	40±50	140	Zn ⁶⁸	19,1 [2]	20 [1]
Mo ^{95, 97}	200±25	240	Mo ⁹⁸	30 } [9]	70 [1]
			Mo ¹⁰⁰	27 }	
Ru ^{98, 101}	200±100	560	Ru ⁹⁶	140 } [9]	155 [5]
			Ru ¹⁰²	490 }	
			Ru ¹⁰⁴	23 }	
Ba ^{135, 137}	300±320	400	Ba ¹³⁸	3,2 [9]	57 [1]

Изотоп	σ_c (ч-ч) _{эксп} , мб/арн	σ_c (ч-ч) _{теор} , мб/арн	Изотоп	σ_c (ч-ч), мб/арн	σ_a , мб/арн
W ¹⁸³	550±150	900	W ¹⁸⁶	62 [11]	132 [1]
Pt ¹⁹⁵	220±120	700	Pt ¹⁹⁸	190 [10]	202 [5]
Hg ^{199, 201}	330±20	50	Hg ²⁰²	32 [9]	126 [4]
Pb ²⁰⁷	20±20	30	Pb ²⁰⁸	4,13 [2]	8 [4]

* Берется значение σ_c (ч-ч) для нейтронов с энергией ~ 150 кэв [2], что соответствует средней энергии нейтронов, для которых было измерено σ_a .

** Для Si³⁰ значение σ_c (ч-ч) найдено расчетным путем.

*** Указанные данные [2] пересчитаны в соответствии с принятым в настоящее время сечением радиационного захвата в ядре $\sigma_c = 250$ мб/арн [15].

Таблица 3

Сечения захвата для нейтронов с энергией 830 кэв

Изотоп	σ_c (ч-ч) _{эксп} , мб/арн	σ_c (ч-ч) _{теор} , мб/арн	Изотоп	σ_c (ч-ч), мб/арн	σ_a , мб/арн
Mg ²⁵	<100	3	Mg ²⁴ Mg ²⁶	1,04* 0,6 [10]	<10 [1]
Si ²⁹	180±150	3	Si ²⁸ Si ³⁰	2,6* 1,1 [13]	11 [4]
Ti ^{47, 48}	70±150	15	Ti ⁵⁰	1,9 [13]	11 [1]
Zn ⁶⁷	250±70	50	Zn ⁶⁸	8,0 [13]	48 [11]
Sr ⁸⁷	1470±170	10	Sr ⁸⁸	2,1 [13]	105 [4]
Zr ⁹¹	60±20	40	Zr ⁹⁶	6,6 [2]	13 [5]
Mo ^{95, 97}	330±40	130	Mo ⁹⁸ Mo ¹⁰⁰	10 [13] 16 [14]	93 [1]
Ru ^{99, 101}	120±40	220	Ru ¹⁰² Ru ¹⁰⁴	30 [13] 31 [13]	56 [5]
Sn ^{116, 117, 119}	140±40	130	Sn ¹²⁰	14	35 [1]
			Sn ¹²²	12 [13]	
			Sn ¹²⁴	15	
Ba ^{135, 137}	300±300	60	Ba ¹³⁸	2,3 [13]	53 [4]
W ¹⁸³	350±240	400	W ¹⁸⁶	48 [11]	91 [4]
Pt ¹⁹⁵	150±50	220	Pt ¹⁹⁸	64 [10]	91 [5]
Hg ^{199, 201}	120±70	930	Hg ²⁰²	102 [13]	105 [4]
Pb ²⁰⁷	30±40	7	Pb ²⁰⁸	2 [13]	9 [4]

* Для Mg²⁴ и Si²⁸ значения σ_c (ч-ч) найдены расчетным путем.

Таблица 4

Сечения захвата для нейтронов с энергиями 150 и 175 кэв

Изотоп	σ_c (г-н) эксп. мбари	σ_c (г-н) теор. мбари	Изотоп	σ_c (г-н), мбари	σ_a , мбари
Для энергии 150 кэв					
Dy ^{161, 163}	250 ± 70	1370	Dy ¹⁶¹	150 [14]	495 [8]
Sm ^{147, 149}	850 ± 160	890	Sm ¹⁶¹	93 [14]	310 [8]
Для энергии 175 кэв					
Mo ^{95, 97}	150 ± 40	240	Mo ⁹⁸	30	
			Mo ¹⁰⁰	27 [9]	60 [5]
			Ru ⁹⁶	140	
Ru ^{98, 101}	290 ± 90	1050	Ru ¹⁰²	190 [9]	177 [5]
			Ru ¹⁰⁴	28	
			Sm ¹⁵²	150 [9]	340 [8]
Sm ^{147, 149}	900 ± 180	760	Sm ¹⁶⁴	75 [4]	
W ¹⁸⁶	430 ± 120	940	W ¹⁸⁶	79 [14]	130 [5]

тем, что сечения возмущения не представляют собой чистых сечений захвата, и частично тем, что зависимость сечения захвата от энергии в общем случае различна для разных изотопов. Однако оказалось, что

сам эффект четности настолько велик, что проявляется даже в результатах Роуза; здесь тоже σ_c (ч-н) намного больше σ_c (ч-ч).

Интересно включить в сравнение также и четно-четные ядра. Был проведен анализ

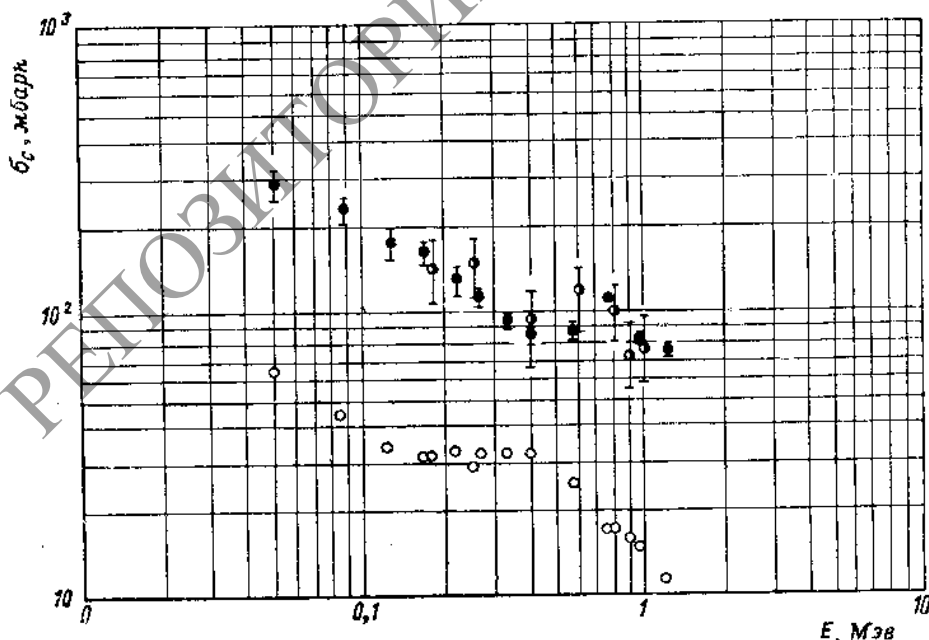


Рис. 2. Зависимость σ_c от энергии нейтронов:

○ — значения σ_c (ч-ч) [11] (Mo¹⁰⁰); ● — значения σ_c (ч-н), полученные по данным работ [5] и [11] (Mo^{95,97}); ● — значения σ_c (ч-н), полученные по данным работ [7] и [11] (Mo^{95,97}).

активационных сечений, опубликованных в работах [2, 9, 11—14, 16], для исследуемой области энергий нейтронов. Из рассмотренных 130 соседних пар четно-четных и нечетно-четных ядер в 60% случаев значения $\sigma_c(\text{н-ч})$ были больше значений $\sigma_c(\text{ч-ч})$; в 22% случаев они сравнивались и в 18% случаев $\sigma_c(\text{н-ч})$ были меньше $\sigma_c(\text{ч-ч})$. Оценка сечений для обоих типов ядер отдельно по энергиям

В качестве примера на рис. 3 показаны сечения захвата четно-нечетных и нечетно-четных ядер в зависимости от числа протонов в ядре для нейтронов с энергией 220 кэВ.

Оценка сечений для обоих типов ядер показывает, что в среднем $\sigma_c(\text{ч-н})$ больше $\sigma_c(\text{н-ч})$ в три-четыре раза для нейтронов с энергиями 24 и 220 кэВ и в шесть-семь раз — для нейтронов с энергией 830 кэВ.

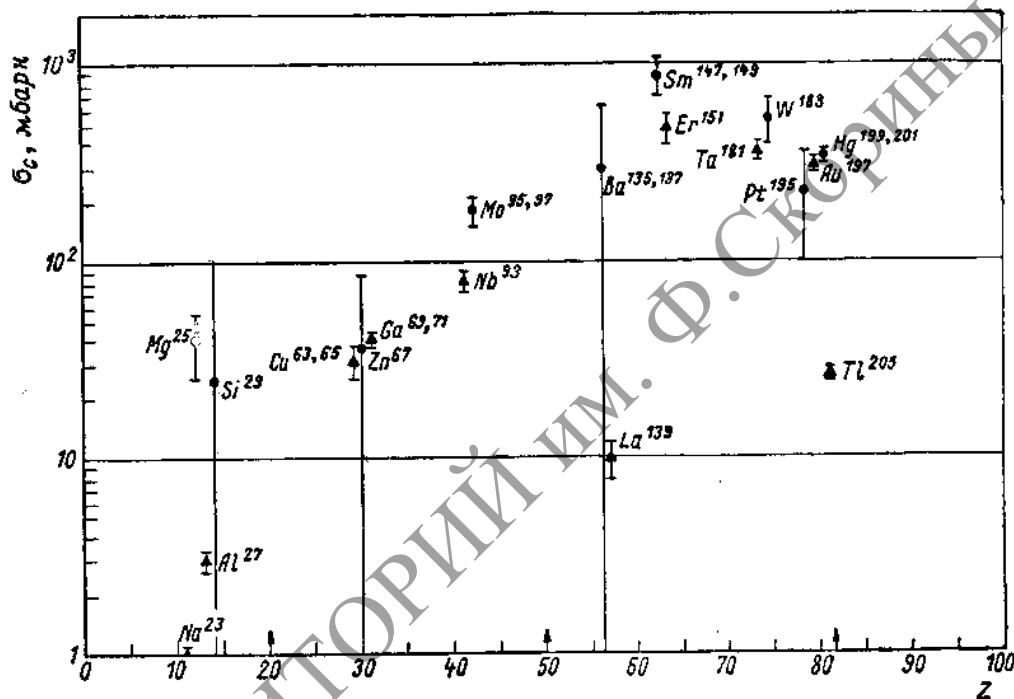


Рис. 3. Зависимость σ_c от Z для нейтронов с энергией 220 кэВ:

● — значения $\sigma_c(\text{ч-н})$; ▲ — значения $\sigma_c(\text{н-ч})$; стрелками отмечены магические числа по протонам.

(рассматривались ядра с $A > 20$) показала, что в среднем для нейтронов с энергиями 24 и 830 кэВ $\sigma_c(\text{н-ч})$ больше $\sigma_c(\text{ч-ч})$ в 1,7 раза, а для нейтронов с энергией 220 кэВ в 2,7 раза. Аналогичную оценку сечений для нейтронов спектра деления провел Юз [13]. Он нашел, что сечения захвата для нечетно-четных ядер в среднем больше сечений захвата для четно-четных ядер примерно на 35%.

Теперь остается рассмотреть соотношение сечений захвата четно-нечетных и нечетно-четных ядер. В 56 случаях из рассмотренных 60 соседних пар оказалось, что сечения захвата четно-нечетных ядер больше сечений захвата нечетно-четных ядер во всем исследованном интервале энергий нейтронов.

Таким образом, анализ рассмотренных данных позволяет сделать следующие выводы:

- 1) $\sigma_c(\text{ч-н})$ намного превышают $\sigma_c(\text{н-ч})$;
- 2) $\sigma_c(\text{н-ч})$ в среднем больше $\sigma_c(\text{ч-ч})$;
- 3) $\sigma_c(\text{ч-н})$ заметно больше $\sigma_c(\text{н-ч})$.

Значительное превышение сечений поглощения для четно-нечетных ядер над всеми остальными является новым и до некоторой степени неожиданным результатом. Можно, естественно, сомневаться в точности отдельных величин $\sigma_c(\text{ч-н})$ (в таблицах приведены лишь статистическая ошибка). Поскольку значения $\sigma_c(\text{ч-н})$ находились из экспериментальных величин, полученных разными методами и разными авторами, то можно ожидать также, что некоторые из этих значений за счет

каких-либо неучтенных систематических ошибок будет заметно отличаться от реальных. Однако несмотря на возможные погрешности в отдельных значениях, существенное превышение сечений четно-нечетных ядер над всеми остальными выявляется достаточно четко. Все без исключения 45 полученных экспериментальных точек для четно-нечетных ядер лежат выше соответствующих значений для соседних четно-четных ядер.

Перечислим основные эффекты, которые по-разному могут влиять на величину σ_c для различных типов ядер.

Одним из главных факторов в этом смысле является величина энергии возбуждения ядра при захвате нейтрона, которая определяет плотность уровней ρ . Здесь нужно рассмотреть две возможности. Если считать, что ρ определяется истинной энергией возбуждения составного ядра (равной сумме энергии связи нейтрона $E_{св}$ и кинетической энергии нейтрона $E_{к}$), то зависящий от ρ вклад в сечение захвата для четно-нечетных ядер должен быть намного больше, чем для четно-четных и нечетно-четных ядер. Можно также [17] энергию возбуждения отсчитывать не от основного состояния, а от характеристического уровня Бете и Гурвица E_c , положению которого должно компенсировать колебания полной энергии связи для различных ядер за счет четности числа протонов и нейтронов и магичности. В этом случае эффект плотности уровней будет примерно одинаково сказываться как для четно-нечетных, так и для нечетно-четных ядер. Для четно-четных ядер он будет значительно меньше.

Систематическую разницу в σ_c для ядер с разной четностью числа нуклонов может вызвать различие в сдвигах составного ядра I . Если принять, что $\rho \sim (2I - 1)$, то вследствие участия в процессе нейтронных волн с малыми моментами для четно-нечетных и нечетно-четных ядер эта величина должна быть примерно одинаковой и намного больше, чем для четно-четных ядер. Некоторое, сравнительно небольшое, различие будет наблюдаться также в спиновом факторе для различных типов ядер. Для четно-нечетных и нечетно-четных ядер он будет примерно одинаковым и несколько меньше, чем для четно-четных ядер.

Разницу в σ_c может вызывать и систематическое различие в размерах ядер с четным и нечетным числами нуклонов. В сечениях

захвата ядер с нечетным числом нуклонов, имеющих несколько большие размеры, увеличивается вклад нейтронных волн различных моментов.

Наконец, необходимо учитывать конкуренцию неупругого рассеяния. Эта конкуренция будет примерно одинаковой для четно-нечетных и нечетно-четных ядер. Для четно-четных ядер неупругое рассеяние в данной энергетической области оказывается практически ничтожным.

Все эффекты, рассмотренные выше, объединены в табл. 5. Влияние каждого фактора

Таблица 5
Основные факторы, влияющие на величину σ_c

Фактор	Тип ядра		
	(ч-ч)	(н-ч)	(ч-н)
1а. Различие в энергии возбуждения ($\rho = \rho(E_{св} + E_{к})$)	—	—	+
1б. Различие в энергии возбуждения ($\rho = \rho(E_{св} - E_{к} - E_c)$) . . .	—	+	+
2. Спин ($\rho \approx (2I - 1)$)	—	+	—
3. Спиновый фактор	+	—	—
4. Размеры ядра	—	+	+
5. Конкуренция неупругого рассеяния	—	+	+

на величину сечения указывается в таблице качественно знаками плюс и минус (знак плюс означает относительно большую величину эффекта, чем знак минус). Два одинаковых знака в каждой строчке соответствуют примерно одинаковым величинам эффекта.

Как видно из табл. 5, влияние всех факторов, кроме 1а, для четно-нечетных и нечетно-четных ядер оказывается одинаковым. Таким образом, для объяснения заметного превышения величины $\sigma_c(\text{ч-н})$ над $\sigma_c(\text{н-ч})$ необходимо обязательно учитывать фактор 1а. Отсюда следует, что если и существует некий характеристический уровень, то он не может полностью компенсировать разницу в энергии связи для различных типов ядер, как это предполагают Бете и Гурвиц. Стоянки зрения рассматриваемых здесь эффектов от понятия характеристического уровня, возможно, вообще придется отказаться, так как наблюдаемое, сравнительно небольшое, различие между сечениями для четно-четных

и нечетно-четных ядер в принципе можно полностью объяснить влиянием факторов 2 — 5. Конечно, для окончательного вывода подобных качественных рассуждений недостаточно. Следует заметить, однако, что к выводу об отсутствии характеристического уровня в понимании Бете и Гурвица пришел и Гюжело [18]. Этот вывод был сделан на основании данных совсем другой области исследований — анализа спектров неупруго рассеянных протонов.

По-видимому, на величину σ_c наиболее существенно влияет плотность уровней, зависящая от энергии возбуждения. Для иллюстрации были оценены (исходя только из плотности уровней) величины сечений четно-нечетных ядер и сравнены с величинами сечений соседних четно-четных ядер. Принималась обычная экспериментальная зависимость плотности уровней от энергии возбуждения. Полученные значения сечений захвата для четно-нечетных ядер приведены в табл. 1—4, из которых видно, что в среднем теоретические и экспериментальные значения довольно близки между собой, хотя полного согласия между ними нет. Важно то, что и теоретические значения $\sigma_c(n-p)$ существенно превышают экспериментальные значения $\sigma_c(n-n)$, и это превышение примерно соот-

ветствует экспериментально найденному. Большого от такой грубой оценки нельзя и ожидать. Таким образом, полученные большие значения сечений захвата для четно-нечетных ядер нельзя считать неожиданными с теоретической точки зрения, как это могло показаться на первый взгляд.

В заключение подчеркнем основные результаты настоящей работы.

1. Из имеющихся экспериментальных данных о полных сечениях поглощения для естественных смесей изотопов и сечениях захвата для четно-четных ядер можно во многих случаях определить сечение захвата для четно-нечетных изотопов с приемлемой статистической точностью.

2. Найденные значения $\sigma_c(n-p)$ существенно превышают величины $\sigma_c(n-n)$, а также $\sigma_c(n-n)$ для соседних ядер.

3. Полученные данные противоречат представлению Бете и Гурвица о характеристическом уровне, положение которого должно полностью исключать колебания в энергии связи за счет четности нуклонов в ядре.

Авторы благодарят А. И. Лейбуцкого и научных сотрудников В. С. Ставицкого и А. В. Малышева за обсуждения и ценные замечания.

Поступила в Редакцию 27/IV 1961 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Т. С. Беланова. Диссертация, 1960.
2. А. И. Лейбуцкий и др. Тр. Второй международной конференции по мирному использованию атомной энергии (Женева, 1958). Док. советских ученых. Т. 1. М., Атомиздат, 1959, стр. 316.
3. Т. С. Беланова. «Атомная энергия», 8, вып. 6, 549 (1960).
4. Т. С. Беланова. «Ж. эксперим. и теор. физ.», 34, вып. 3, 574 (1958).
5. В. Dixon, J. Terrell, A. Hemeninger. Phys. Rev., 120, 556 (1960).
6. H. Schmitt, C. Cook. Nucl. Phys., 20, 202 (1960).
7. А. В. Шапарь, Ю. Н. Ставицкий. Сб. «Нейтронная физика». М., Госатомиздат, 1961, стр. 310.
8. D. Hughes, B. Magurno, M. Brussel. «Neutron cross sections». N.-Y., 1960.
9. W. Lyon, R. Macklin. Phys. Rev., 114, 1619 (1959).
10. D. Hughes, R. Schwartz. «Neutron cross sections». N.-Y., 1958.
11. В. А. Толстыков. Диссертация, 1960.
12. R. Booth et al. Phys. Rev., 112, 226 (1958).
13. D. Hughes et al. Phys. Rev., 91, 1423 (1953).
14. A. Johnson et al. Phys. Rev., 116, 927 (1959).
15. S. Bame, R. Sibbitt. Phys. Rev., 113, 256 (1956).
16. H. Rose. J. Nucl. Energy, 5, 4 (1957).
17. H. Purwitz, H. Bethe. Phys. Rev., 81, 898 (1951).
18. P. Gugelot. Phys. Rev., 93, 425 (1954).

