

ЭФФЕКТ РЕГУЛЯРНОГО СПИНОВОГО РАСЩЕПЛЕНИЯ СЕЧЕНИЙ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ ПОД ДЕЙСТВИЕМ 14 МэВ-НЕЙТРОНОВ

П.М.Гопыч, И.И.Залюбовский, П.С.Кизим,
В.В.Сотников, А.Ф.Щусь

На основе данных о сечениях (n, p) -, (n, α) -, (n, d) -реакций на четных изотопах олова с $A = 112-122$, измеренных при энергии нейтронов $(14,6 \pm 0,2)$ МэВ, установлен новый эффект – эффект регулярного спинового расщепления сечений ядерных реакций.

Экспериментально установлено ¹, что при энергии нейтронов ~ 14 МэВ сечения (n, p) -, (n, α) -реакций на ядрах разных изотопов одного химического элемента уменьшаются с увеличением массового числа этого изотопа (правило Левковского). Но ни в соответствующих экспериментальных зависимостях, ни в формулах ², с помощью которых их пытаются описывать, квантовые характеристики ядер–продуктов реакции не учитывают. Нами предпринята попытка выявить связь сечений реакций под действием 14 МэВ-нейтронов со спином и четностью ядра-остатка при систематическом экспериментальном исследовании сечений (n, p) -, (n, α) -, (n, d) -реакций на четных изотопах олова с $A = 112-122$.

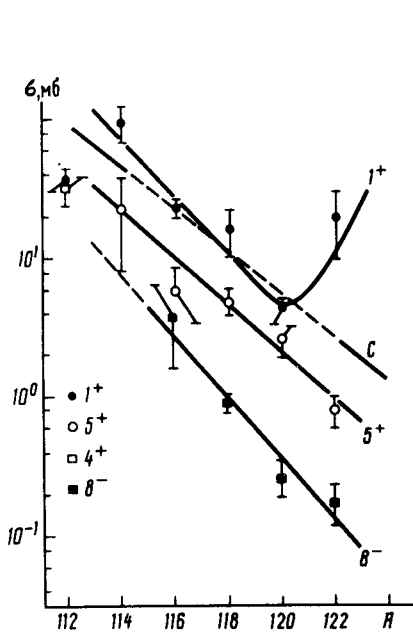


Рис. 1

Рис. 1. Сечения (n, p) -реакций на четных изотопах олова в зависимости от их массового числа A . Для $A = 116, 120$ на 1^+ -кривой представлены оцененные экспериментальные данные из ², остальное – наши данные. Для $A = 116 - 120$ в ² приведены оцененные экспериментальные данные, поэтому C -кривая проведена частично штриховой линией

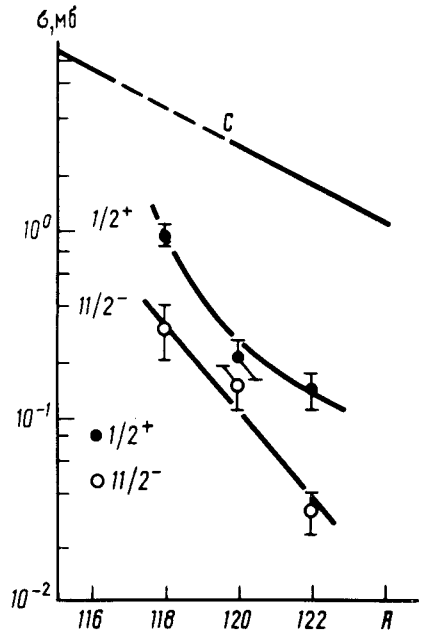


Рис. 2

Рис. 2. Сечения (n, α) -реакций на четных изотопах олова в зависимости от их массового числа A . Для $A = 118$ в ² приведено оцененное экспериментальное сечение, поэтому C -кривая проведена частично штриховой линией

Эксперименты выполнены активационным методом на нейтронном генераторе НГ-150М Харьковского университета при энергии нейтронов $(14,6 \pm 0,2)$ МэВ с использованием пневмопочты для доставки облученных образцов к спектрометру γ -лучей. Энергетическое разрешение Ge(Li) -детектора объемом $\sim 50 \text{ см}^3$ этого спектрометра составляет $\sim 3,5$ кэВ на ^{60}Co .

Использовались образцы естественного и обогащенного олова (в скобках — степень обогащения): ^{112}Sn (98,9%), ^{114}Sn (71,1%), ^{116}Sn (97,8%), ^{118}Sn (95,63%), ^{120}Sn (99,6%), ^{122}Sn (96,0%). Все сечения измерены относительно сечений (n, p)-реакций на ^{27}Al и ^{28}Si по единой методике ³.

Значения сечений, измеренные нами впервые

Реакция и $T_{1,2}$ ядра-продукта	I^{π}	σ , мб
$^{114}\text{Sn}(n, p)$ ^{114}In (71,9с)	1^+	105 ± 30
$^{114}\text{Sn}(n, p)$ ^{114}In (49,51д)	5^+	23 ± 15
$^{116}\text{Sn}(n, p)$ ^{116}In (2,16с)	8^-	$4,0 \pm 2,4$
$^{118}\text{Sn}(n, p)$ ^{118}In (8,5с)	8^-	$0,9 \pm 0,1$
$^{120}\text{Sn}(n, p)$ ^{120}In (47,3с)	8^-	$0,27 \pm 0,08$
$^{122}\text{Sn}(n, p)$ ^{122}In (1,5с)	1^+	20 ± 10
$^{122}\text{Sn}(n, p)$ ^{122}In (10,3с)	$(4,5^+)$	$0,8 \pm 0,2$
$^{122}\text{Sn}(n, p)$ ^{122}In (10,8с)	(8^-)	$0,18 \pm 0,06$
$^{120}\text{Sn}(n, \alpha)$ ^{117}Cd (2,4ч)	$1/2^+$	$0,21 \pm 0,05$
$^{120}\text{Sn}(n, \alpha)$ ^{117}Cd (3,4ч)	$11/2^-$	$0,15 \pm 0,04$
$^{122}\text{Sn}(n, \alpha)$ ^{119}Cd (2,7м)	$1/2^+$	$0,15 \pm 0,04$
$^{122}\text{Sn}(n, \alpha)$ ^{119}Cd (1,9м)	$11/2^-$	$0,032 \pm 0,008$
$^{112}\text{Sn}(n, d)$ ^{111}In (7,6м)	$1/2^-$	$2,7 \pm 0,5$
$^{120}\text{Sn}(n, d)$ ^{119}In (2,1м)	$9/2^+$	$0,20 \pm 0,05$

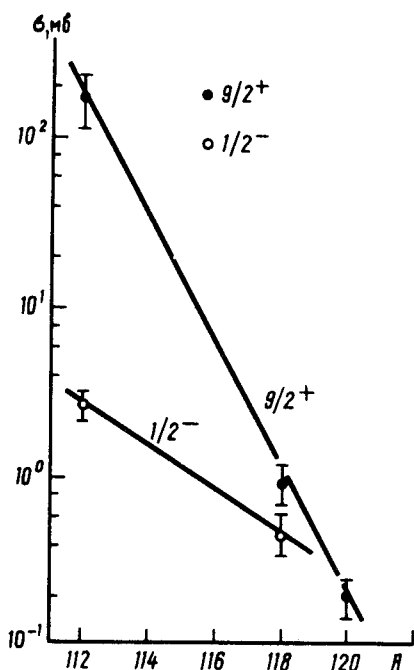


Рис. 3. Сечения (n, d)-реакций на четных изотопах олова в зависимости от массового числа A ядра-мишени. Под сечением (n, d)-реакции понимаем здесь суммарное сечение (n, d)-, (n, np)-, (n, pn)-реакций, которые не разделяются в экспериментах, выполненных активационным методом

Впервые измеренные сечения представлены в таблице, на рис. 1–3, они дополнены данными из литературы ^{5,6}. Приведенные значения сечений — парциальные сечения реакций, приводящих к образованию ядра-продукта с указанными в таблице значениями $T_{1,2}$, I^{π} . На рис. 1, 274

2 кривая C проведена по данным ² о сечениях, предсказываемых теоретически с использованием систематик. Кривые 1^+ , 5^+ , 8^- , $1/2^+$, $11/2^-$, $9/2^+$, $1/2^-$ проведены по точкам, соответствующим на рис. 1–3 значениям парциальных сечений реакций, для которых ядра-остатки образуются с указанными у этих кривых значениями спина и четности.

Из рисунков видно, что для (n, p) -, (n, α) -, (n, d) -реакций на четных изотопах олова сечения на ядрах разных изотопов не просто уменьшаются с увеличением их массового числа, но, при графическом представлении зависимостей, соответствующие точки ложатся на разные плавные кривые, каждая из которых соответствует определенному значению спина и четности ядра-продукта. Таким образом, нами установлен эффект регулярного спинового расщепления сечений, состоящий в том, что зависимость сечений от массового числа ядра-мишени, соответствующая правилу Левковского ¹, расщепляется на две и более аналогичных зависимостей каждая из которых соответствует образованию ядра-продукта в состоянии с определенным значением спина и четности остаточного ядра.

Эффект регулярного спинового расщепления существенно уточняет и детализирует правило Левковского путем явного учета спина и четности ядра-продукта, образующегося, в реакции, и открывает новые возможности исследования эффектов, зависящих от спина в ядерных реакциях под действием быстрых нейтронов.

Исследование эффекта регулярного спинового расщепления может привести также к существенному улучшению точности предсказания не измеренных пока сечений, что имеет важное прикладное значение (как видно из рис. 1, 2 в ряде случаев предсказываемые значения сечений более чем на порядок отличаются от измеренных, что свидетельствует о необходимости совершенствования используемых методик их теоретического предсказания).

Литература

1. Левковский В.Н. ЖЭТФ, 1963, 45, 305; ЯФ, 1973, 16, 707.
2. Бычков В.М. и др. Сечения пороговых реакций, вызываемых нейтронами. М.: Энергоатомиздат, 1982.
3. Гопыч П.М. и др. В сб.: Вопросы точности ядерной спектроскопии, Вильнюс, ИФ АН ЛитССР, 1988, с. 133.
4. Reus U., Westmeier W. Atomic and Nucl. Data Tables, 1983, 29, p. 193.
5. Vormann M. et al. IAEA Technical Rep. № 156, Vienna, 1976, p. 87.
6. Меднис Н.В. Справочные таблицы для нейтроно-активационного анализа. Рига: Зинатне. 1974.

Харьковский государственный университет
им. А.М.Горького

Поступила в редакцию
31 августа 1989 г.