

УДК 539.173.3

О.С. Шевченко¹, Ю.Н. Ранюк¹, А.Н. Довбня¹,

В.Т. Маслюк², О.А. Парлаг², В.И. Касилов¹,

В.А. Кушнир¹, В.В. Митроченко¹, С.С. Кандыбей¹

¹Национальный научный центр "Харьковский физико-технический институт"
61108, Харьков, ул. Академическая, 1

e-mail: oksshevchenko@mail.ru

²Институт электронной физики НАН Украины
88017, Ужгород, ул. Университетская, 21

ИССЛЕДОВАНИЕ ФОТОДЕЛЕНИЯ ^{nat}Pb

Представлены результаты теоретического и экспериментального исследования фотоделения ^{nat}Pb под действием тормозного излучения энергией 90,8 МэВ.

Ключевые слова: фотоделение, продукты деления, тормозное излучение, гамма-спектроскопия, ^{nat}Pb.

Введение

В настоящее время внимание мировой научной общественности привлечено к решению проблем ядерной энергетики: трансмутации долгоживущих радиоактивных отходов и созданию безопасных энергетических ядерных установок [1, 2].

В Национальном научном центре "Харьковский физико-технический институт" реализуется программа создания ядерной установки "Источник нейтронов, основанный на подкритической сборке, управляемой ускорителем электронов" [3].

Элементы типа Pb, Ta, Au, Bi, Hg, W, Th и U могут быть использованы в системах, управляемых ускорителем, как материал для мишеней при производстве нейтронов [4].

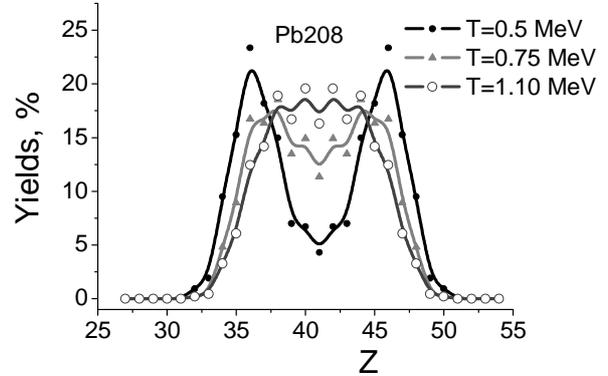
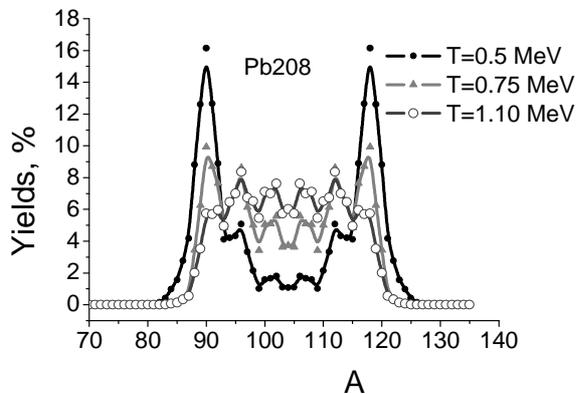
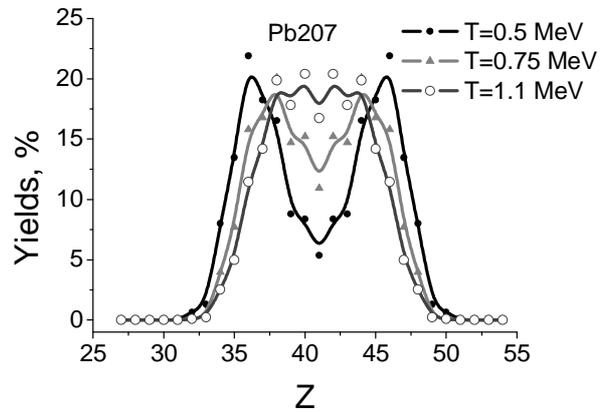
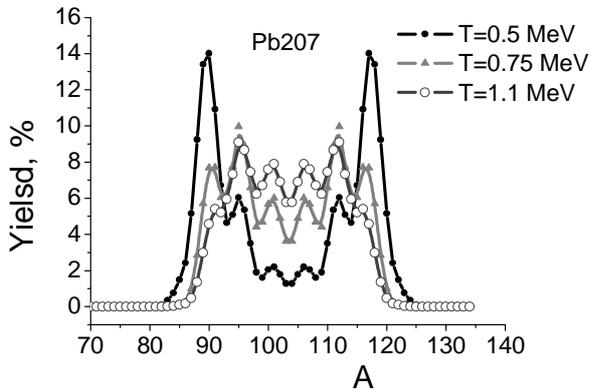
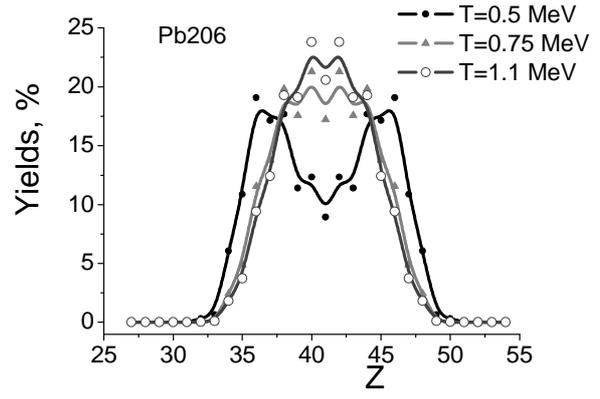
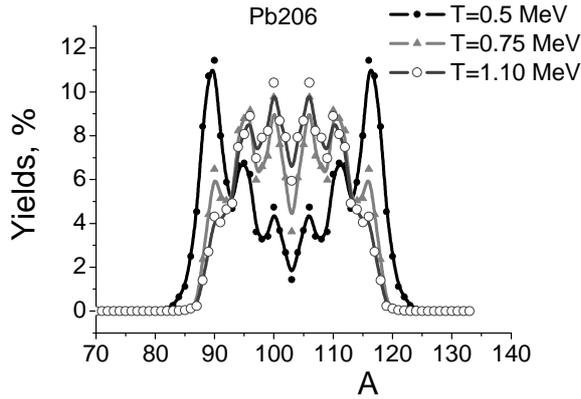
Основным механизмом образования нейтронов электронами в тяжёлых ядрах являются фотоядерные реакции (γ, n), (γ, xn) и реакция фотоделения (γ, f). Сложность деления атомных ядер, обусловлена кардинальным перераспределением заряда и массы, а также образованием сильнодеформированных и сильновозбужденных осколков, приводящих к тому, что до сих пор не достигнуто детальное описание динамики и механизма этого процесса [5].

Настоящая работа посвящена теоретическому и экспериментальному исследованию фотоделения ^{nat}Pb.

Теоретическое исследование

Теория деления средне-тяжелых ядер, среди которых изотопы Pb, Ta, Au, Bi, Hg, развита значительно меньше, чем, например, для трансурановых элементов. В данной работе для описания массовых (зарядовых) спектров деления изотопов Pb используется метод, предложенный в работах [6-8] и основанный на исследовании устойчивости ансамбля 2-х осколковых кластеров, образованных после деления исходного ядра. Результаты таких расчетов, проведенных при учете эмиссии нейтронов деления, представлены на рис. 1. Особенностью их является различное поведение массовых (а) и зарядовых (б) выходов осколков деления для различных изотопов свинца. Так, для изотопов ряда ²⁰⁶Pb - ²⁰⁷Pb - ²⁰⁸Pb наблюдается увеличение анизотропии массовых выходов, тогда как для зарядовых – имеет место противоположная тенденция. Из рис. 1 также видно, что при увеличении Т имеет место симметризация спектров выхода осколков деления. Расчет показывает, что при делении изотопов ^{206,207,208}Pb наибольшую вероятность образования имеют осколки: ⁹³⁻⁹⁸Sr - ¹⁰⁸⁻¹¹⁴Ru, ⁸⁸⁻⁹²Kr - ¹¹⁴⁻¹¹⁹Pd, ⁹⁸⁻¹⁰⁴Zr - ¹⁰⁴⁻¹⁰⁸Mo.

Причем эта тенденция общая для всех значений энергии возбуждения (температуры) исходного изотопа ^{nat}Pb.



а

б

Рис. 1. Массовые (а) и зарядовые (б) спектры осколков деления изотопов-компонент ^{nat}Pb (^{206}Pb , ^{207}Pb , ^{208}Pb), полученные для различных значений T - энергии возбуждения (температуры) исходного ядра.

Эксперимент

Экспериментальное исследование проведено с использованием фотоактивационной методики. Схема эксперимента показана на рис. 2.

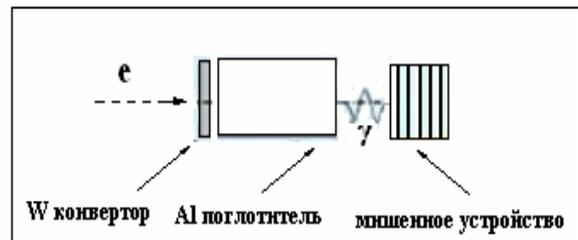


Рис. 2. Схема эксперимента.

Пучок електронів направлявся на вольфрамовий диск товщиною 2 мм (тормозну мішень), за яким розташовувався алюмінієвий поглинач товщиною 13 мм. Облучаемі мішені поміщалися за алюмінієвим поглиначем. В якості мішені використовувався свинець естественного ізотопного складу (^{nat}Pb) діаметром 30 мм і товщиною 20 мкм. Вылетевшіє із мішені осколки накопчилися в поліетиленовій плівці товщиною 40 мкм, яка встановлювалася після кожної мішені із ^{nat}Pb . Активация мішеней производилася в теченні 2 годин енергією електронів

90,8 МэВ. Средний ток пучка составлял 3 мкА. Структура и принцип работы ускорителя подробно изложены в работе [9]. Измерения, наведенной в мишенях активности, осуществлялись с использованием коаксиального детектора из сверхчистого германия (HPGe) с энергетическим разрешением 1,8 кэВ для линии 1332 кэВ ^{60}Co на протяжении 50 часов. Время измерений составляло от 50 мин до 10 часов.

На рис. 3 приведены фрагменты аппаратных спектров остаточной активности полиэтиленовой мишени.

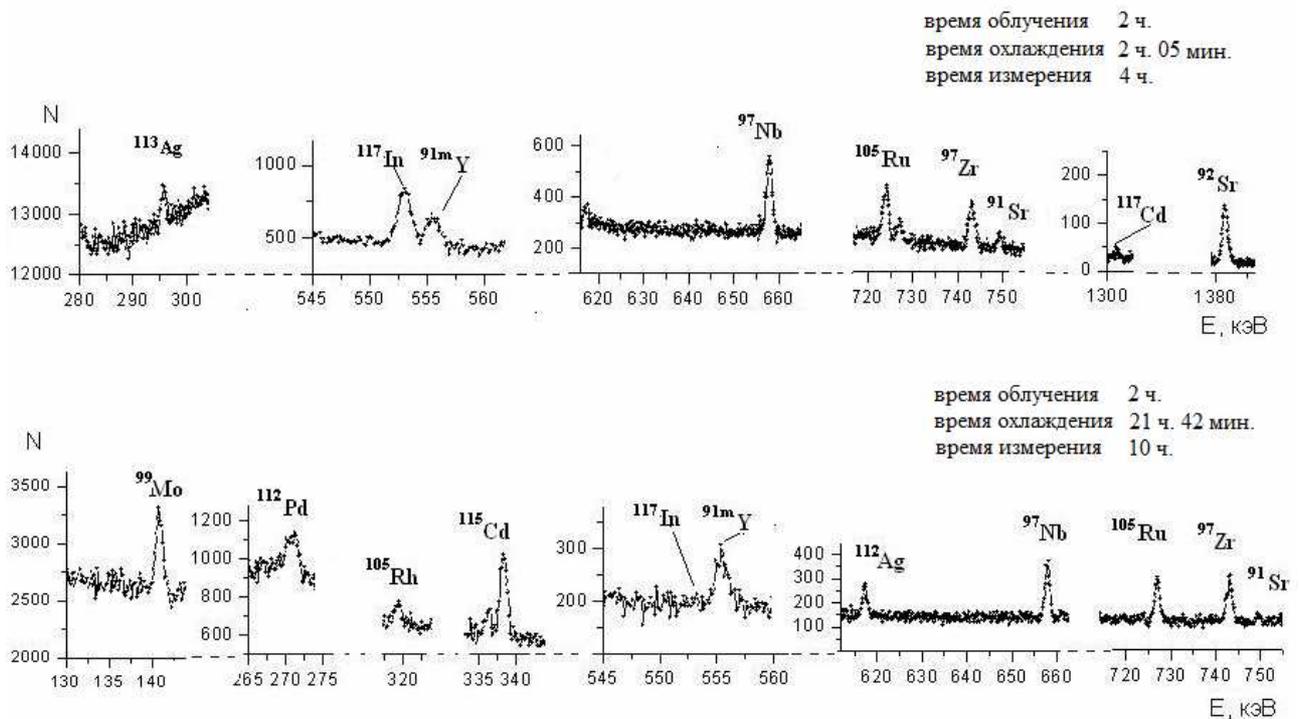


Рис. 3. Фрагменты аппаратных спектров остаточной активности полиэтиленовой мишени.

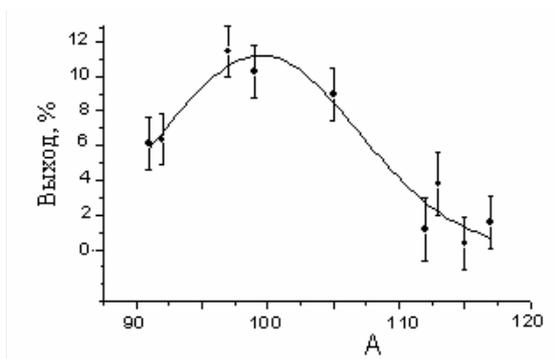


Рис. 4. Выходы продуктов фотоделения ^{nat}Pb .

Интерпретация спектров осуществлялась с учетом данных теоретического расчета и спектроскопических таблиц [10]. Выявлены следующие продукты фотоделения ^{nat}Pb :

^{91}Sr (1024,3), ^{92}Sr (1383,9), ^{91m}Y (555,5), ^{92}Y (934,4), ^{97}Zr (743,4), ^{97}Nb (658,1), ^{99}Mo (140,5), ^{105}Ru (724,2), ^{105}Rh (319,1), ^{112}Ag (617,4), ^{113}Ag (298,5), ^{115}Cd (336,24), ^{117}Cd (1303,2), ^{117}In (553,0). Здесь в скобках приведены энергии гамма-линий (кэВ).

Статистическая ошибка измерения интенсивности пиков полного поглощения не превышала 5-8%.

Выходы продуктов фотоделения ^{nat}Pb в зависимости от массового числа осколка представлены на рис. 4.

Анализ результатов и выводы

Следует отметить, что для данных условий эксперимента осколки деления ^{nat}Pb определены впервые. Результатом эксперимента является симметричная форма кривой выхода осколков фотоделения ^{nat}Pb . Согласно расчету (см. рис.1) это свидетельствует об высоких значениях фотовозбуждения ^{nat}Pb и превалировании симметричных компонент осколков деления. Отметим, что эта же тенденция наблюдалась другими авторами (см., например, [11]).

В результате совместного анализа результатов теоретического и экспериментального исследования нами предложены такие цепочки β -распадов, объясняющие наличие в эксперименте продуктов фотоделения ^{nat}Pb , которые показаны на рис. 5. Здесь жирным печатным текстом выделены осколки деления, ^{nat}Pb полученные в результате теоретического расчета.

Жирным прописными литерами обозначены продукты деления, выявленные в эксперименте.

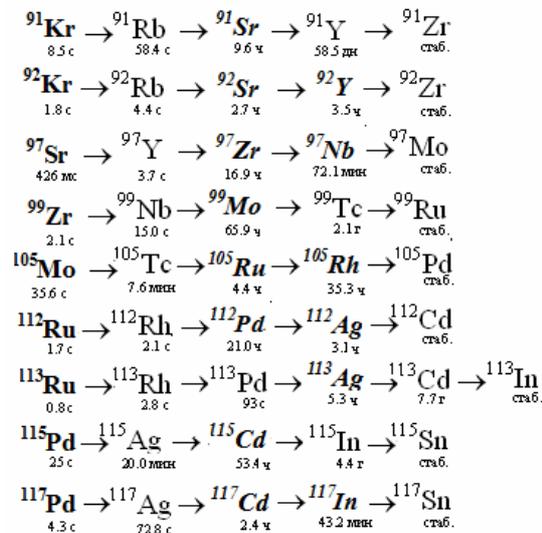


Рис. 5. Цепочки β -распадов фотоделения ^{nat}Pb .

Анализируя рис. 5, можно заключить о хорошем согласии между расчетными и экспериментальными данными. Отметим также необходимость постановки новых экспериментов, особенно, при низких энергиях деления ^{nat}Pb с целью обнаружения анизотропии выхода его осколков деления.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Rubbia C., Rubio J.A., Buono S. et. al. Conceptual Design of a Fast Neutron Operated High Power Energy Amplifier. CERN/AT/95-44 T.
2. Proc. of the Internat. Workshop – Nuclear Methods for Transmutations of Nuclear Waste. Problems, Perspectives, Cooperative Research. Dubna, Russia, 29-31 May, 1996. Eds. M. Kh. Khankhasayev, H.S. Plendl, Z.B. Kurmanov. World Scientific. Singapore, New Jersey, London, Hong Kong.
3. Айзацкий Н.И., Борц Б.В., Водин А.Н. и др. Источник нейтронов НИЦ ХФТИ // ВАНТ. – 2012. – № 3. – С. 3-9.
4. Обухов И.А. Деление ядер при взаимодействии с протонами и нейтронами промежуточных энергий // ЭЧАЯ. – 2001. – Т. 32, вып. 2. – С. 318–367.
5. Грузевич О.Т. Эмиссия нейтронов и γ -квантов из осколков деления // <http://www.ippe.ru/podr/cjd/vant/00-1/1-05.pdf>
6. Маслюк В.Т. Статистична модель двофрагментарного поділу // УФЖ. – 1996. – Т.41, № 11-12. – С. 1029-1031.
7. Maslyuk V.T. New statistical approach to the systematization of heavy nuclei fission fragment // Intern. J.Phys. – 2000. – V.6, N. 1-2. – P.1-8.
8. Маслюк В.Т., Парлаг О.А., Маринец Т.И. Исследование массовых спектров изотопов Kr и Xe при делении легких актинидов в рамках нового статистического подхода // ЭЧАЯ. 2007. - Т.4, №1(137). - С. 78-84.
9. Айзацкий Н.И., Белоглазов В.И.,

Божко В.П. и др. Ядерно-физический комплекс на основе линейного ускорителя электронов с энергией до 100 МэВ // VANT. Nuclear Physics Investigations. – 2010. – № 2. – P. 18-22.

10. Firestone R.B. WWW Table of

Radioactive Isotopes. Version 2.1, January 2004. <http://ie.lbl.gov/toi/>.

11. Naik H., Kim G., Goswami A. et. al. Mass-yield distribution of fission products from photofission of ^{nat}Pb induced by 50-70 MeV bremsstrahlung // J. Radional. Nucl. Chem. – 2010. – 283. – P. 439-445.

Стаття надійшла до редакції 20.10.2012

O.S. Shevchenko¹, Yu. M. Ranyuk¹, A.M. Dovbnya¹,
V.T. Maslyuk², O.O. Parlag², V.I. Kasilov¹,
W.A. Kushnir¹, V.V. Mitrochenko¹, S.S. Kandybey
¹National Science Center “Kharkov Institute of Physics and Technology”
61108, Kharkiv, Akademichna Str., 1
e-mail: oksshevchenko@mail.ru
²Institute of Electron Physics, National Academy of Sciences of Ukraine
88017, Uzhhorod, Universitetskay Str., 21

INVESTIGATION OF ^{nat}Pb PHOTOFISSION

The results of theoretical and experimental research photofission ^{nat}Pb under the bremsstrahlung energy 90.8 MeV are present.

Keywords: photofission, products of fission, bremsstrahlung, gamma-spectroscopy, ^{nat}Pb .

О.С. Шевченко¹, Ю.М. Ранюк¹, А.М. Довбня¹,
В.Т. Маслюк², О.О. Парлаг², В.І. Касилов¹,
В.О. Кушнір¹, В.В. Митроченко¹, С.С. Кандибей¹
¹Національний науковий центр "Харківській фізико-технічний інститут"
61108, Харків, вул. Академічна, 1
e-mail: oksshevchenko@mail.ru
²Інститут електронної фізики НАНУ, 88017, Ужгород, вул. Університетська, 21

ДОСЛІДЖЕННЯ ФОТОПОДІЛУ ^{nat}Pb

Представлено результати теоретичного та експериментального дослідження фотоподілу ^{nat}Pb під дією гальмівного випромінювання з максимальною енергією 90,8 МеВ.

Ключові слова: фотоподіл, продукти поділу, гальмівне випромінювання, гамма-спектроскопія, ^{nat}Pb .