

3. Бен Брахман А. и др. Изв. АН СССР. Сер. физ., 1978, т. 43, с. 918.
4. Калинин Б. Н. и др.—Acta Physica Polonica, 1966, v. 30, p. 999.
5. Гареев Ф. А. и др.—Acta Physica Polonica, 1967, v. 32, p. 461.
6. Петрашень М. И.—Уч. зап. ЛГУ. Сер. физ., 1949, т. 120, с. 60.
7. Немировский Н. Е., Челурнов В. А.—Ядерная физика, 1966, т. 3, с. 998.
8. Ситенко А. Г., Тартаковский В. К. Лекции по теории ядра.— М., 1972.
9. Roberts L., Thomson J.—Phys. Rev., 1963, v. 129, p. 664.
10. Church E., Wenner J.—Phys. Rev., 1956, v. 103, p. 1035.
11. Янке Е., Эмде Ф., Лёш Ф. Специальные функции.— М., 1968.
12. Грандштейн И. С., Рыжик И. М. Таблицы интегралов, сумм, рядов и произведений.— М., 1963.

Поступила в редакцию
22.10.82.

Кафедра теоретической физики

УДК 539.172.84

А. Д. ЛЕВКОВИЧ, А. И. ПЕРЦЕВ, Н. П. ТАРАСЕНКО

ХАРАКТЕРИСТИКА ^{239}Pu - ^9Be ИСТОЧНИКА НЕЙТРОНОВ ТИПА «СЭНДВИЧ»

Изотопный плутоний-бериллиевый источник нейтронов широко применяется с тех пор, как стало доступным получение в больших количествах трансураниевых элементов. Обычно такой источник представляет собой однородную смесь плутония с бериллием в виде интерметаллического соединения, помещенного в герметическую ампулу из нержавеющей стали. Использование стационарных источников нейтронов этого типа требует соответствующего санитарно-радиационного обеспечения. В данной работе рассматривается радиационно-безопасный разборный источник нейтронов, состоящий из набора промышленных α -источников (^{239}Pu) и бериллиевых фольг («Сэндвич»). В литературе отсутствует описание свойств нейтронных источников в геометрии «Сэндвич», наиболее интенсивная α -линия ^{239}Pu (72,5%) имеет энергию 5157 кэВ, высота кулоновского барьера у ядра ^9Be для α -частиц 4 МэВ, поэтому выход реакции $^9\text{Be}(\alpha, n)^{12}\text{C}$ зависит от потери энергии α -частицы в веществе подложки. По данным работ различных авторов [1—5], исследовавших спектры нейтронов Pu — Be источников, максимальная энергия нейтронов 10,5—10,9 МэВ, средняя энергия 4,3—5 МэВ, а максимальный удельный выход $(1,8\text{—}2,2) \cdot 10^6$ нейтрон/с·Ки (один нейтрон на $2 \cdot 10^4$ α -частицы).

Для изучения нейтронного источника применялась экспериментальная установка (рис. 1). Регистрация нейтронов производилась методом протонов отдачи с использованием водородсодержащего сцинтиллятора — кристалла стибьена 40×40 мм. «Сэндвич» состоял из 4 α -источников с суммарной активностью в угол 2π $7,68 \cdot 10^6$ α -частиц/с и 4 бериллиевых фольг; площадь активной поверхности каждого α -источника и каждой фольги — 40 см^2 . Градуировка спектрометра производилась с помощью γ -линий ^{22}Na , ^{54}Mn , ^{137}Cs по краю комптоновского распределения; пере-

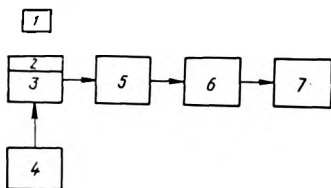


Рис. 1. Блок-схема установки:

1 — источник; 2 — кристалл стибьена; 3 — ФЭУ-85; 4 — источник высокого напряжения; 5 — усилитель БУС2-47; 6 — многоканальный анализатор АИ-256; 7 — цифровечать БЗ-15

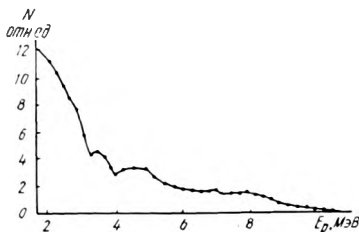


Рис. 2. Энергетическое распределение протонов отдачи, создаваемых нейтронами ^{239}Pu - ^9Be источника

ход к протонам осуществлялся путем учета P/e -отношения для кристалла стильбена [1]. Измеренное энергетическое распределение протонов отдачи представлено на рис. 2 (фон вычтен). Полученное с погрешностью 5 % значение граничной энергии нейтронов (10,6 МэВ) хорошо согласуется с теоретическими и экспериментальными данными [2, 4, 6].

При определении абсолютного выхода нейтронов эффективность регистрации для геометрии плоский источник — цилиндрический детектор рассчитывали оригинальным методом, предложенным в [7]. Расчеты проводили в приближении однократного рассеяния (согласно [1, 8]), отклонение эффективности, рассчитанной в приближении однократного рассеяния нейтронов, от эффективности регистрации с учетом других взаимодействий, для энергий ниже 12 МэВ составляют менее 0,5 %. Численные расчеты с помощью ЭВМ показали, что средний путь нейтрона в кристалле стильбена, испущенного из любой точки источника, равен 3,1 см, а средний телесный угол — 0,08; средняя эффективность регистрации составила 2,1 % (при погрешности 3 %; главный вклад в погрешность дают значения макроскопических сечений рассеяния). Абсолютный выход нейтронов составил (330 ± 10) нейтрон/с (или один нейтрон на $2,4 \cdot 10^4$ α -частиц, что хорошо согласуется с литературными данными для сплавных источников).

Восстановление энергетического спектра нейтронов осуществлялось по формуле [1]:

$$\frac{dN(E_n)}{dE_n} = - \frac{d}{dE} \left[\frac{dN_p(E_p)}{dE_p} \cdot \frac{dP}{dE} \right]_{E_n=E_p} \cdot \frac{E_n}{\epsilon} \cdot \frac{1}{\beta},$$

где $\frac{dN(E_n)}{dE_n}$ и $\frac{dN_p(E_p)}{dE_p}$ — энергетические распределения нейтронов и протонов отдачи; $\frac{dP}{dE}$ — нелинейность световых выходов кристалла от энергии протонов;

E_n — энергия нейтронов; ϵ — эффективность регистрации нейтронов с энергией E_n ; β — поправка на многократные рассеяния нейтронов в кристалле и краевой эффект. Энергетический спектр нейтронов находили методом сглаживающего дифференцирования [9], существенно понижающим требования к статистической точности эксперимента. Значение β определяли с помощью эмпирической формулы [6]. Расчеты выполнены на ЭВМ ЕС-1022 с использованием языка Фортран (рис. 3); просматриваются 6 пиков с максимумами при энергиях 3,1; 4; 5,4; 7,4; 8,4; 9,3 МэВ. Результаты измерений дифференциальных сечений реакции ${}^9\text{Be}(\alpha, n){}^{10}\text{C}$ [5, 10], а также теоретические расчеты кинематики этой реакции [2, 3, 4] позволяют утверждать, что при бомбардировке ${}^9\text{Be}$ альфа-частицами ${}^{239}\text{Pu}$ образуются группы нейтронов с энергией от 5,5 до 10,6 МэВ при образовании ядра ${}^{12}\text{C}$ в основном состоянии, и группы нейтронов с энергией от 1,9 до 6,2 МэВ при образовании ядра ${}^{12}\text{C}$ с возбуж-

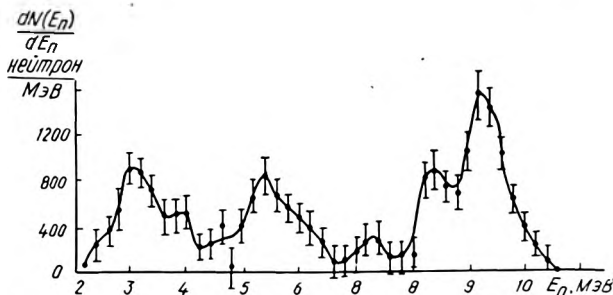


Рис. 3. Энергетический спектр нейтронов ${}^{239}\text{Pu}$ - ${}^9\text{Be}$ источника типа «Сэндвич»

денем первого уровня. В нашем случае дополнительные измерения γ -излучения нейтронного источника при помощи спектрометра полного поглощения (кристалл NaJ—Tl 100×120 мм) указывают на образование ядра ^{12}C и во втором возбужденном состоянии (энергия возбуждения 7,66 МэВ). Кроме того, в полученном спектре нейтронов относительный вклад высокоэнергетических групп нейтронов больше по сравнению с приводимыми в литературе спектрами для сплавных плутоний-бериллиевых источников [3, 11].

Полученные результаты позволяют сделать вывод, что плутоний-бериллиевый источник типа «Сэндвич» с использованием промышленных α -источников имеет характеристики (максимальная энергия нейтронов, выход нейтронов, энергетический спектр нейтронов), хорошо согласующиеся с литературными данными для сплавных источников нейтронов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кухтевич В. И., Трыков О. А., Трыков Л. А. Однокристалльный сцинтилляционный спектрометр.— М., 1971.
2. Stewart L.— Phys. Rev., 1955, v. 98, p. 740.
3. Brock H. W., Anderson G. E.— Rev. Scient. Instrum., 1960, v. 31, p. 1063.
4. Anderson M. E., Bond W. H.— Nucl. Phys., 1963, v. 43, p. 330.
5. Risser J. R., Price J. E.— Phys. Rev., 1956, v. 105, p. 1288.
6. Егоров Ю. А. Сцинтилляционный метод спектрометрии гамма-излучения и быстрых нейтронов.— М., 1963.
7. Grosjean C. C.— Nucl. Instrum. and Methods, 1962, v. 17, p. 289.
8. Злотухин В. Г., Ефименко Б. А. Расчет амплитудных распределений импульсов в однокристалльном сцинтилляционном спектрометре быстрых нейтронов.— В сб.: Метод Монте-Карло в проблеме переноса излучений / Под ред. Г. И. Марчука. М., 1967, с. 149.
9. Танцощ К. Практические методы прикладного анализа / Пер. с англ.— М., 1961.
10. Romain F. A., Bonner T. W., Manna J.— Phys. Rev., 1962, v. 126, p. 1794.
11. Ciafella C. M., Deranney J. A.— Nucl. Instrum. and Methods, 1968, v. 60, p. 269.

Поступила в редакцию
16.12.82.

Кафедра ядерной физики и мирного
использования атомной энергии

УДК 541.49+546.65+547.47

Н. Н. ХОВРАТОВИЧ, О. И. ПУПЛИКОВА,
Л. Н. НЕОКЛАДНОВА, Н. А. ПРОКОШИНА

К ВОПРОСУ О ВЗАИМОДЕЙСТВИИ РЗЭ С ГЛИЦИНОМ

Комплексные соединения глицина с редкоземельными элементами (РЗЭ), полученные из кислых и щелочных растворов, описаны ранее [1, 2]. Получение диглицинатов РЗЭ ставилось под сомнение [1]. В то же время в работе [3] указывалось на существование диглицината неодима в водном растворе. Литературные данные относительно характера связи кислорода карбоксильной группы с металлом противоречивы. Спорным является также участие азота глицина в координации.

Применение соединений РЗЭ в качестве терапевтических препаратов в сельском хозяйстве [4, 5] делает интересным изучение комплексообразования их при физиологических значениях рН.

Нами выделены в твердом состоянии из нейтральных водных растворов комплексные соединения РЗЭ: La (лантана), Pr (празодима), Nd (неодима), Eu (европия), Gd (гадолиния), Y (иттрия) с глицином в стехиометрических соотношениях 1:1, 1:2, 1:3 по методике, аналогичной [6]. Соединения высушивались в эксикаторе над хлористым кальцием. Химический анализ полученных соединений приведен в таблице. Данные анализа глицинатов РЗЭ, неоднократно синтезированных и перекристаллизованных из воды, показывают, что мы имеем индивидуальные соединения. Дериватографические исследования свидетельствуют о наличии мо-