

С 413 Г
В-928

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

36.39/2-76



13/12-76

14 - 9615

В.Я.Выропаев

К ВОПРОСУ ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ
ИЗОТОПНЫХ ИСТОЧНИКОВ НЕЙТРОНОВ
В АКТИВАЦИОННОМ АНАЛИЗЕ

1976

14 - 9615

В.Я.Выропаев

К ВОПРОСУ ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ
ИЗОТОПНЫХ ИСТОЧНИКОВ НЕЙТРОНОВ
В АКТИВАЦИОННОМ АНАЛИЗЕ

В ряду источников нейтронов, используемых в активационном анализе /реакторы, ускорители, нейтронные размножители, изотопы/, наиболее простыми являются изотопные источники. Однако их применение ограничивается целым рядом факторов, которые определяют их практическую ценность, а именно - выход нейтронов, период полураспада изотопа, размеры источника, энерговыделение, генерация гелия, стоимость источника и т.д. В табл. 1^{1/1} дана характеристика некоторых источников по выходу нейтронов, отнесенному к активности 1 кюри, в табл. 2^{1/1} представлены данные по тепловыделению и объему только собственно радиоизотопов, нормированные к выходу $5 \cdot 10^{10}$ нейтр./с и, наконец, в табл. 3^{2/2} представлены данные о стоимости некоторых изотопных источников. Рассмотрение этих трех таблиц позволяет сделать вывод, что наиболее практичным по всем вышеназванным характеристикам является изотоп ^{252}Cf . Так, например, при одинаковой активности у ^{252}Cf выход нейтронов в 10^2 - 10^3 раз выше, чем у других изотопов; при одинаковом выходе нейтронов энерговыделение у ^{252}Cf в десятки-сотни раз меньше, чем у других изотопов /так, ^{242}Cm -Be источник для снижения температуры до безопасного уровня должен быть заключен в цилиндр высотой и диаметром 100 мм с ребрами, удваивающими поверхность/; при одинаковом выходе нейтронов размер капсул для (a,n) источников должен быть выбран из расчета аккумуляции гелия и, например, источник ^{242}Cm -Be генерирует на два порядка гелия больше, чем ^{252}Cf . Наконец, по своей стоимости, отнесенной к выходу нейтронов, изотоп ^{252}Cf выгодно отличает-

Таблица 1 (к активности 1 Кюри)

| Источник | Реакция | E_{β}^{cp} , МэВ | Выход, н/с |
|----------------------------|-------------|------------------------|-------------------|
| Sb¹²⁴·Be | γ, n | 0,024 | 1,6 |
| Pu²⁴⁹·Be | α, n | 4,5 | 2,0 |
| Am²⁴¹·Be | α, n | ~4 | 2,0 |
| Po²¹⁰·Be | α, n | 4,3 | 2,5 $\times 10^6$ |
| Pu²³⁸·Be | α, n | ~4 | 2,8 |
| Cm²⁴⁴·Be | α, n | ~4 | 3,0 |
| Cm²⁴²·Be | α, n | ~4 | 4,0 |
| Ra²²⁶·Be | α, n | ~3,6 | 1,5 $\times 10^7$ |
| Cf²⁵² | SF | 2,3 | 4,4 $\times 10^9$ |

Таблица 2 (к выходу $5 \cdot 10^{10}$ н/с)

| Источник | $T_{1/2}$ | γ -доза, рад/ч·м | Тепло, Вт | Объём, см ³ |
|----------------------------|-----------|-------------------------|-----------|------------------------|
| Sb¹²⁴·Be | 60 сут. | $4,5 \cdot 10^4$ | 20 | 200 |
| Po²¹⁰·Be | 138 сут. | 2,0 | 640 | 200 |
| Cm²⁴²·Be | 163 сут. | 0,3 | 600 | 2 |
| Cf²⁵² | 2,65 год. | 2,9 | 0,8 | <1 |
| Cm²⁴⁴·Be | 18,1 год. | 0,2 | 600 | 70 |
| Pu²³⁸·Be | 89 лет | 0,4 | 550 | 350 |
| Am²⁴¹·Be | 458 лет | 2,5 | 750 | $2,2 \cdot 10^4$ |

Таблица 3

| Источник | Выход, н/с | стоимость, доллары |
|-------------------------|------------------|--------------------|
| Sb·Be | $1 \cdot 10^8$ | 22 000 |
| Am·Be | $2 \cdot 10^7$ | 6 000 |
| Ra·Be | $6 \cdot 10^7$ | 56 000 |
| Cf²⁵² | $1,1 \cdot 10^8$ | 8 000 |
| Ac·Be | $1 \cdot 10^8$ | 20 000 |
| Pu·Be | $6 \cdot 10^7$ | 16 000 |

Сравнение характеристик источников нейтронов.

МИКРОТРОН = $n \cdot 10^{11}$ н/с

ся от других источников, однако он значительно дороже такого источника, как микротрон /выход нейтронов $\sim n \cdot 10^{11}$ нейтр./с^{1/3}/, и поэтому встает вопрос о более эффективном его использовании.

Под эффективностью использования изотопного источника нейтронов понимается непрерывное массовое производство анализов при решении конкретных аналитических задач. В настоящей работе исследуется одна из возможных задач - массовое производство анализов по определению элементов, образующих при захвате нейтронов долгоживущие изотопы / $T_{1/2}$ = часы-дни/ при отсутствии требования экспрессности и высокой чувствительности. Решение этой задачи реализуется примерно по следующей схеме: длительное облучение одновременно большого количества образцов → выдержка для снижения активности короткоживущих изотопов → измерение активности определяемых изотопов в течение малого времени /минуты/.

Проведение эксперимента

В работе использовался классический метод золотых фольг. Для выбора замедлителя, свойства которого определяют количество одновременно загружаемых на облучение проб, проводилось исследование в графите и в воде. Графитовый замедлитель представляет собой куб размерами 70x70x70 см, водяной замедлитель - бак из оргстекла диаметром 100 см и высотой 90 см. В центр замедлителей помещался изотопный источник ²⁵²Cf размерами ϕ 4 мм и l = 6 мм, имеющий к моменту проведения эксперимента выход $1,3 \cdot 10^8$ нейтр./с.

На расстоянии 50 мм от центра замедлителей располагалась касса с набором Au-детекторов из фольги толщиной 10 мкм равного размера и веса /30 мг/. Au-детекторы располагались как без, так и в Gd-экранах с целью измерения кадмиевого отношения R_{Cd} для различных замедлителей и оценки качества спектрометрии реальных проб.

Облучение проводилось интегральным потоком $1 \cdot 10^{13}$ нейтр./с / $T_{\text{обл.}} = 21,5$ часа/, время измерения - 3 мин. Набор и обработка информации проводились по линии изотопа ^{198}Au $E_{\gamma} = 412$ кэВ на Ge(Li) ППД объемом 30 см^3 . Результаты эксперимента представлены на рис. 1.

Обсуждение результатов

Характер активации Au-детекторов определяется замедляющей средой, толщиной замедлителя и соотношением потоков тепловых и надтепловых нейтронов в данной замедляющей среде.

При активации общим потоком нейтронов внутри сферы радиусом 12 см кажется, что лучшим является водяной замедлитель. Однако спад активации от центра к периферии с увеличением толщины слоя воды происходит очень резко по сравнению с графитом - на радиусе 16 см сравнительно с радиусом 5 см активность детекторов в графите падает только на 25%, а в воде - почти в 40 раз. В то же время, если на радиусе 5 см активация детекторов в воде почти в 4 раза лучше, чем в графите, то на радиусе 12 см она одинакова, а на радиусе 16 см активация в воде в 6 раз хуже, чем в графите. Таким образом, в графите можно расположить значительно больше образцов и облучать их более равномерно без дополнительных устройств. Для достижения такого же эффекта в воде потребуется механизм "перемешивания" образцов внутри сферы радиусом 16 см.

Далее, при активации общим потоком нейтронов в водяном замедлителе в значительной мере будет накапливаться /в случае реальных пород/ активность таких матричных элементов, как натрий, калий, марганец, железо, медь, цинк, мышьяк и т.д., за счет захвата тепловых нейтронов. Заэкранировав образцы кадмием или бором, можно значительно снизить активацию этих элементов тепловыми нейтронами и тем самым в ряде случаев существенно снизить время "охлаждения" образцов, повысить качество спектрометрической информации и сократить время измерения активированных образцов.

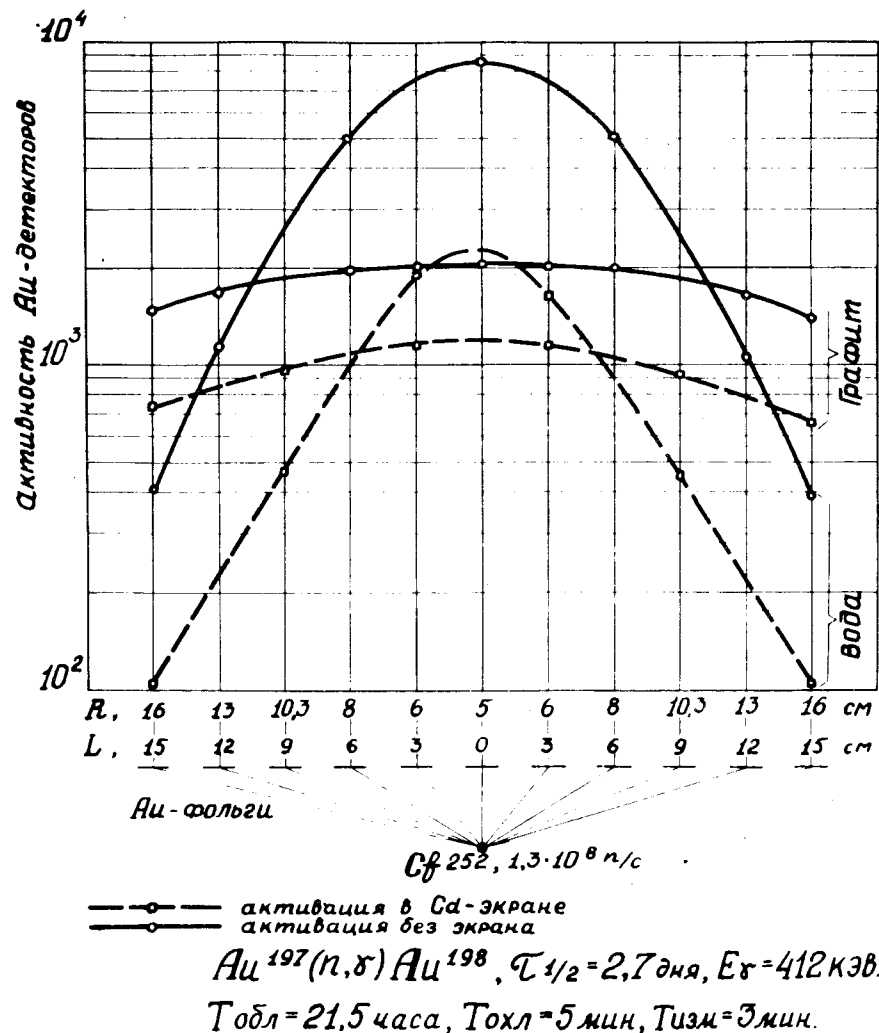


Рис. 1. Активация Au-детекторов по изотопу Au-198 в различных замедлителях /графит и вода/ и различными нейтронными потоками /в Cd-экране и без него/.

Однако, как видно из рис. 1, активность Au-детекторов при облучении надтепловыми нейтронами в водяном замедлителе значительно падает.

Кадмиевое отношение в среднем для любого слоя воды составляет $R_{Cd} \cong 4;5$. Это означает /согласно^{/4/ /}, что отношение потока тепловых нейтронов - Φ_{th} к потоку надтепловых нейтронов - Φ_{epi} составляет $\Phi_{th}/\Phi_{epi} = 64$, т.е. в общем потоке нейтронов только 1,5% надтепловых.

Если обратиться теперь к графитовому замедлителю, то для него в нашем случае мы имеем в среднем кадмиевое отношение $R_{Cd} = 1,8$ и отношение $\Phi_{th}/\Phi_{epi} = 15$, т.е. доля надтепловых нейтронов составляет около 7% - это в 4 раза больше, чем в водяном замедлителе. Таким образом, в случае реальных образцов наилучший эффект при работе с ^{252}Cf -источником нейтронов при определении элементов, имеющих резонансный захват нейтронов, даст активация в графитовом замедлителе с кадмиевым экраном. Наконец, нужно отметить, что чувствительность такой установки с источником ^{252}Cf в $1,3 \cdot 10^8$ нейтр./с сравнительно невысока - $3 \cdot 10^{-4}$ при счете в пике 10 имп/мин. Учитывая, что с точки зрения стоимости и безопасности работ оптимальным может быть источник ^{252}Cf с выходом порядка $\sim 10^9$ нейтр./с, чувствительность может быть повышена при том же счете до $1,5 \cdot 10^{-5}$. Вероятно, это разумный предел, который можно достигнуть и который необходимо подтвердить в реальных условиях эксперимента. Поэтому в заключение автор отмечает, что такой источник нейтронов, как микротрон^{/3/}, дающий поток $\sim 10^{11}$ нейтр./с, является более перспективным. Будучи "кабинетным" ускорителем, микротрон надежен, удобен в эксплуатации, при равном выходе нейтронов в сотни раз дешевле самого дешевого источника нейтронов /каким до сих пор был ^{252}Cf /, и лишен такого чисто физического недостатка, как период полураспада.

Автор признателен академику Г.Н.Флерову за постановку задачи и руководство исследованиями, Л.П.Кулькиной, К.Андрейсеку и А.Г.Белову за техническую помощь.

Литература

1. Атомная техника за рубежом, №1, 1971, стр. 35.
2. J.Hoste. Präzisionsanalysenmittels Isotopenneutronenquellen. Materialien der Tagung über Nukleare Analysenverfahren in Dresden, Mai 1975.
3. В.К.Бровцын, В.Н.Самосюк, Ю.М.Ципенюк. АЭ, т. 32, вып. 5, 1972, стр. 383.
4. К.Беркуц, К.Вирту. Нейтронная физика. Атомиздат, М., 1968.
5. Калифорнийские источники. ЦНИИАТОМИНФОРМ., АИНФ 187 /II/, М., 1973.

Рукопись поступила в издательский отдел
13 мая 1976 года.