

К вопросу измерения потока тепловых нейтронов и кадмиевого отношения по активации золота

С. С. БУГОРКОВ, А. С. КРИВОХАТСКИЙ, К. А. ПЕТРЖАК,
Н. В. СКОВОРОДКИН, А. В. СОРОКИНА

УДК 539.125.52:539.16.08

Один из существующих в настоящее время методов измерения потока тепловых нейтронов — измерение активности золота, образующегося по реакции $Au^{197}(n, \gamma)Au^{198}$. Сечение захвата золота для тепловых нейтронов подчиняется закону $1/v$, но при энергии нейтронов 4,9 эв имеет место сильный резонанс. Чтобы исключить влияние резонансной части сечения, золото облучают в кадмиевом чехле и без него; тогда активность золота, обусловленная захватом тепловых нейтронов до кадмиевого резонанса, определяется выражением

$$A_{\text{теп}} = A_{\text{без Cd}} \frac{R-1}{R},$$

где $A_{\text{без Cd}}$ — активность золота, облученного без кадмиевого чехла, а R — так называемое кадмиевое отношение, равное отношению активностей золота, облученного без кадмиевого чехла и с ним. Активность золотой фольги, обусловленная захватом тепловых нейтронов, для которых $\sigma_n, \gamma(v) = \frac{\sigma_0 v_0}{v_0}$, определяется выражением

$$A_{\text{теп}} = N_{\text{Au}} (1 - e^{-\lambda t}) \sigma_0 v_0 \int_0^{v_{\text{Cd}}} n(v) dv,$$

где N_{Au} — количество атомов золота в фольге; λ — константа радиоактивного распада золота; t — время облучения; v_0 — наиболее вероятная скорость нейтрон максвелловского спектра ($v_0 = 2200$ м/сек); σ_0 — сечение захвата нейтронов со скоростью v_0 , равное для Au^{197} $(98,8 \pm 0,3) \cdot 10^{-24}$ см² [1]; $n(v)$ — плотность

нейтронов со скоростью v ; $\int_0^{v_{\text{Cd}}} n(v) dv = n$ — полная плотность тепловых нейтронов в области скоростей до кадмиевого среза. Произведение $nv_0 = \Phi_0$ называют эффективным потоком тепловых нейтронов:

$$\Phi_0 = \frac{A_{\text{без Cd}}}{N_{\text{Au}} \sigma_0 (1 - e^{-\lambda t})} \cdot \frac{R-1}{R}.$$

Для получения правильного кадмиевого отношения нейтронная плотность и спектр нейтронов не должны меняться внутри индикатора, т. е. облучаемое золото должно быть практически «прозрачным» для захватываемых нейтронов. Этим требованиям, как следует из работы [2], удовлетворяет золотая фольга толщиной 100–200 мкг/см². Ошибка в определении веса на обычных микровесах при весе фольги 50 мкг составляет $\approx 2\%$. Активность такой фольги после облучения оказывается довольно большой. Так, при времени облучения 10 мин в потоке 10^{12} – 10^{13} нейтр/сек·см² β -активность золотой фольги весом 50 мкг будет больше 10^6 – 10^7 расп/мин. Абсолютные измерения такой большой активности проводятся с помощью установки β – γ совпадений или проградуированного сцинтилляционного спектрометра, а также путем растворения золотой фольги с последующим измерением активности аликвотной части в $4\pi\beta$ -счетчике. Методы β – γ совпа-

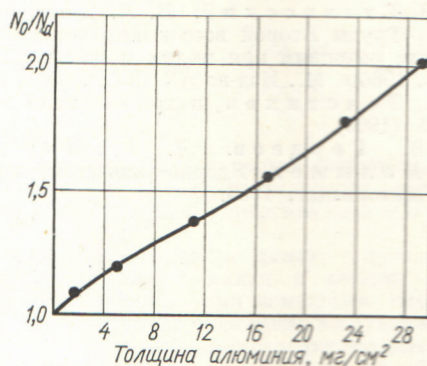
дений и сцинтилляционной спектроскопии сложны в аппаратном оформлении, а метод разбавления (4π -счета) увеличивает и время определения потока, и облучение персонала.

В настоящей работе проверена методика, позволяющая измерять активность облученных золотых мишеней в $4\pi\beta$ -счетчике без проведения операций по растворению активного золота. Все химические операции по растворению золота и отбору аликвотной доли предлагается проводить до облучения. Это дает возможность получать мишени из золота любой заданной толщины, для которых вес золота определен с ошибкой меньше 1%.

Был приготовлен раствор неактивного золота с известной весовой концентрацией. Из раствора путем взвешивания отбиралась нужная аликвота, наносилась на диск из алюминия марки АВ00000 известной толщины и высушивалась. При высушивании золото довольно равномерно распределялось по поверхности диска, что подтверждала радиография облученных мишеней. Диски после высушивания прокаливали при температуре $\sim 300^\circ\text{C}$ и закрывали сверху таким же алюминиевым диском. Затем мишени облучали в канале реактора. Одновременно с мишенями облучали чистые алюминиевые диски, чтобы определить вклад фона от наведенной активности в алюминии. Для облучения в потоке 10^{12} – 10^{13} нейтр/сек·см² на мишень диаметром 16–17 мм наносили 1,0–0,5 мкг золота на площадь 0,5 см².

Через пять–шесть дней после облучения, длившегося 2 ч, активность мишеней измеряли в $4\pi\beta$ -счетчике. Фон от алюминиевых дисков через сутки составлял 3%, а через пять суток 0,5% активности золота и был вызван активацией неизвестных примесей, так как собственная активность Al^{28} уже через час после окончания облучения должна составлять сотые доли процента активности золота. Этот фон для каждой используемой марки алюминия следует находить опытным путем.

Для определения абсолютной активности Au^{198} необходимо учесть поглощение β -частиц золота в алюминии. Для этого была снята кривая поглощения β -излучения Au^{198} . Раствор активного золота наносили на металлизированную коллодиевую пленку толщиной ~ 15 мкг/см². После измерения активности в $4\pi\beta$ -счет-



Поглощение β -частиц Au^{198} в алюминии.

Поток тепловых нейтронов и кадмиевое отношение

Вес мишени, мг	Толщина мишени, мг/см ²	Активность мишени к концу облучения, расп/мин		Кадмиевое отношение R	Поток тепловых нейтронов Φ_0 , нейтр/сек·см ²
		без кадмиевого чехла	с кадмиевым чехлом		
3,5	7	$2,93 \cdot 10^9$	$2,55 \cdot 10^8$	$11,5 \pm 0,4$	$(1,98 \pm 0,07) \cdot 10^{12}$
$1 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-3}$	$8,72 \cdot 10^5$	$1,01 \cdot 10^5$	$8,6 \pm 0,3$	$(2,04 \pm 0,08) \cdot 10^{12}$

чике пленку с двух сторон последовательно заклеивали алюминиевой фольгой равной толщины, снова измеряли активность в 4лβ-счетчике. На рисунке представлена зависимость отношения активности на пленке N_0 к активности, регистрируемой через алюминиевый фильтр N_d , от толщины фильтра. Из графика следует, что для алюминиевой фольги толщиной $21,6 \text{ мг/см}^2$, которая использовалась в эксперименте, поправка на поглощение β-излучения Au^{198} составляла 71%. Результаты измерения потока тепловых нейтронов и кадмиевого отношения как средние величины из трех опытов приведены в таблице.

Из таблицы видно, что величины потоков тепловых нейтронов, определенные по активации золотой фольги и используемых в настоящей работе мишеней, совпадают. Золотая фольга толщиной 7 мг/см^2 практически прозрачна для тепловых нейтронов и дает правильное

значение эффективного теплового потока. Однако кадмиевое отношение, определенное по активации такой фольги, оказывается на 34% выше кадмиевого отношения, полученного по активации предлагаемых мишеней.

Таким образом, предложенные мишени дают возможность получать правильное значение теплового потока нейтронов и кадмиевого отношения, работать с гораздо меньшими активностями, исключить химические операции с высокой активностью, значительно сократить расход золота и уменьшить время, затрачиваемое на определение потока тепловых нейтронов.

Поступило в Редакцию 3/VIII 1966 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. F. Gloud et al. Nucl. Sci. Engng, 8, 453 (1960).
2. M. Brose. Nucleonik, 6, 134 (1964).

Исследования на радиационном контуре водо-водяного реактора

А. П. ВЕСЕЛКИН, А. В. НИКИТИН, Ю. В. ОРЛОВ

УДК 621.039.573

В настоящее время ядерные реакторы широко используются в качестве источников ионизирующего излучения в физике, химии, технике и медицине. Однако наличие смешанного γ-, нейтронного излучения широкого энергетического спектра при исследованиях не всегда желательно. С целью расширения экспериментальных возможностей исследовательский водо-водяной реактор был оборудован радиационным контуром с набором излучателей различной геометрической формы.

Вода высокой чистоты, проходя через активную зону реактора, при давлении 1 ата и температуре $20-30^\circ \text{C}$ активируется и поступает в излучатель, используемый как источник жесткого γ-излучения с энергиями квантов $6,13$ и $7,10 \text{ Мэв}$ [1]. Наведенная активность воды определяется распадом N^{16} , образующегося по реакции $O^{16}(n, p)N^{16}$. Интенсивность нейтронного излучения, сопровождающего распад N^{16} , на два-три порядка меньше.

На радиационном контуре были подробно исследованы характеристики излучателя «Улитка», по внешнему виду представляющего собой диск, навитый из трубки 8×1 . Наружный диаметр диска 470 мм , внутренний 30 мм , количество витков 26, средний шаг намотки $8,5 \text{ мм}$ на сторону. Активная вода подается в центре, выпускается на периферии диска. Полная

активность источника 3 мкюри . Изменение линейной активности (мк/см), т. е. активности на единицу длины трубки по радиусу ρ «Улитки», носит характер гауссова распределения [2]

$$S(\rho) = S(0) e^{-\alpha^2 \rho^2} \quad (1)$$

и допускает независимое регулирование основных параметров: коэффициента неравномерности α^2 и активности на входе $S(0)$, которые рассчитывались по формулам:

$$S(0) = R \frac{F}{k_r k_2 3,7 \cdot 10^7} (1 - e^{-\lambda t'}) e^{-\lambda t}, \quad (2)$$

$$\alpha^2 = \frac{\pi \lambda}{wb}, \quad (3)$$

где

$$R = \int_{E_{\text{порог}}}^{\infty} \Sigma_{\text{акт}}(E) \Phi(E) dE \quad (4)$$

(здесь $\Sigma_{\text{акт}}(E)$ — макроскопическое сечение реакции активации, см^{-1} , $\Phi(E)$ — дифференциальный поток быстрых нейтронов в центре активной зоны реактора, $\text{нейтр/см}^2 \cdot \text{сек} \cdot \text{Мэв}$); k_2 — коэффициент неравномерно-