

НИИАР П-174

Научно-исследовательский институт  
атомных реакторов им. В.И.Ленина

В.Д.Таврилов, Ю.С.Замятин, В.В.Иваненко,

Г.И.Яковлев

НАКОПЛЕНИЕ КАЛИФОРНИЯ-252  
В ЦЕНТРАЛЬНОМ КАНАЛЕ  
РЕАКТОРА СМ-2

ЯДЕРНО-ФИЗИЧЕСКИЙ ОТДЕЛ

ДИМИТРОВГРАД-1972

В.Д. Гаврилов, Ю.С. Замятин,  
В.В. Иваненко, Г.Н. Яковлев

НИИЯР П-174

УДК 621.039.531:621.039.572

Накопление калифорния-252 в центральном канале  
реактора СМ-2

Излагаются результаты исследования накопления калифорния-252 в центральном канале реактора СМ-2 при облучении плутония-242 и амерция-243. Рассмотрены возможности практического применения активационных детекторов для определения нейтронного выхода облучаемых образцов. Проведено сравнение скоростей накопления калифорния-252 в реакторах с различной жесткостью спектра нейтронов.

Препринт Научно-исследовательского института атомных реакторов  
им. В.И. Ленина, Димитровград, 1972.

V.D. Gavrilov, Yu. S. Zamyatin,  
V.V. Ivanenko, G.N. Yakovlev

SRIAR P - 174

UDC 621.039.531:621.039.572

Californium-252 Build-up in the Central Channel of the  
SM - 2 Reactor

The results are stated on investigation of  $^{252}\text{Cf}$  build-up in the central channel of the SM-2 Reactor during irradiation of  $^{242}\text{Pu}$  and  $^{243}\text{Am}$ . The potentialities are considered of the practical use of activation detectors for the neutron yield determination in irradiated specimens. The comparison is made of the rates of  $^{252}\text{Cf}$  build-up in reactors with the different hardness of the neutron spectrum.

Preprint. Scientific Research Institute of Atomic Reactors  
Named after V.I. Lenin, Dimitrograd, 1972.

Научно-исследовательский институт  
атомных реакторов  
им. В.И.Ленина

---

НИИАР П-174

В.Д.Гаврилов, Ю.С.Замятин, В.В.Иваненко,  
Г.Н.Яковлев

НАКОПЛЕНИЕ КАЛИФОРНИЯ-252  
В ЦЕНТРАЛЬНОМ КАНАЛЕ РЕАКТОРА СМ-2

ДИМИТРОВГРАД

1972

### Р е ф е р а т

Излагаются основные результаты исследования накопленного калифорния-252 в образцах плутония-242 и америция-243, облученных в центральном канале реактора СМ-2. Использование активационных детекторов позволило получить информацию о нарастании нейтронной активности образцов при их облучении в течение времени от 50 суток до 2 лет. Сравнение экспериментальных данных с данными для реактора ИГР позволяет сделать вывод об увеличении скорости накопления калифорния-252 в реакторе с более жестким спектром нейтронов.

## I. ВВЕДЕНИЕ

Одной из актуальных задач в области получения транс-плутониевых элементов является разработка неdestructивных методов контроля процессов накопления ТПД в облучаемых образцах. Высокий удельный выход нейтронов калифорния-252 дает возможность контролировать его накопление по нарастающую нейтронной активности облучаемой ампулы, периодически извлекаемой из канала реактора. Поскольку исследование таких ампул выполняется, как правило, в условиях высокого гамма-фона, одним из главных требований, предъявляемых к детектору нейтронов, является его малая чувствительность к гамма-излучению. В настоящей работе излагаются основные результаты применения активационных детекторов для контроля накопления калифорния-252 в центральном канале реактора, СМ-2.

## 2. МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Нейтронный выход исследованных ампул определялся по активации золотых и индиевых фольг, толщиной 20-40 мг/см<sup>2</sup>. Калибровка детекторов и последующие измерения ампул проводились в водном бассейне, диаметром 1 м и глубиной 10 м. Для обеспечения постоянства геометрических условий эксперимента использовалось механическое устройство, представлявшее собой тонкостенный металлический цилиндр, диаметром 16 мм и длиной 1 м, перпендикулярно оси которого по радиальным лучам устанавливались активационные детекторы.

Воронка в верхней части устройства обеспечивала дистанционное помещение ампул в цилиндр, а электрический контакт фиксировал заданное положение ампул по высоте.

Калибровка детекторов осуществлялась при помощи полоний-бериллиевого и калифорниевого источников нейтронов известной активности. Поскольку указанные источники имели небольшие геометрические размеры (10-15 мм), а ампулы являлись протяженными источниками (~ 250 мм), при калибровке проводилась имитация геометрических размеров ампул, которая обеспечивалась возвратно-поступательным движением калибровочного источника с амплитудой колебаний, равной длине активной части ампулы.

Наведенная бета-активность фольг измерялась на 2π-пропорциональном счетчике и приводилась к насыщению на единицу веса. На рис. 1 представлены типичные кривые пространственного распределения нейтронов от протяженных калибровочных источников. Для полоний-бериллиевого источника максимум функции  $N_{r^2}$  находится на расстоянии 12 см от оси источника, для калифорниевого источника и исследованных ампул он удален от оси на 8-9 см. Отчетливо проявляется и различие в наклоне прямолинейного участка кривых. Указанные различия обусловлены большей жесткостью спектра нейтронов полоний-бериллиевого источника по сравнению со спектром нейтронов спонтанного деления калифорния-252.

На начальном этапе исследований, когда использовался полоний-бериллиевый источник, отмеченные особенности кривых требовали измерения пространственного распределения нейтронов вплоть до расстояний 40-50 см с последующим сравнением площадей под кривыми калибровочного и исследуемого источников. Использование для калибровки калифорниевого источника позволило существенно упростить методику измерений: ограничиться небольшим количеством детекторов, обеспечивавшим требуемую надежность результатов. Такая методика позволяла определять количество калифорния-252 в ампулах, начиная с 10 мкг.

Важную роль в измерениях нейтронного выхода играет

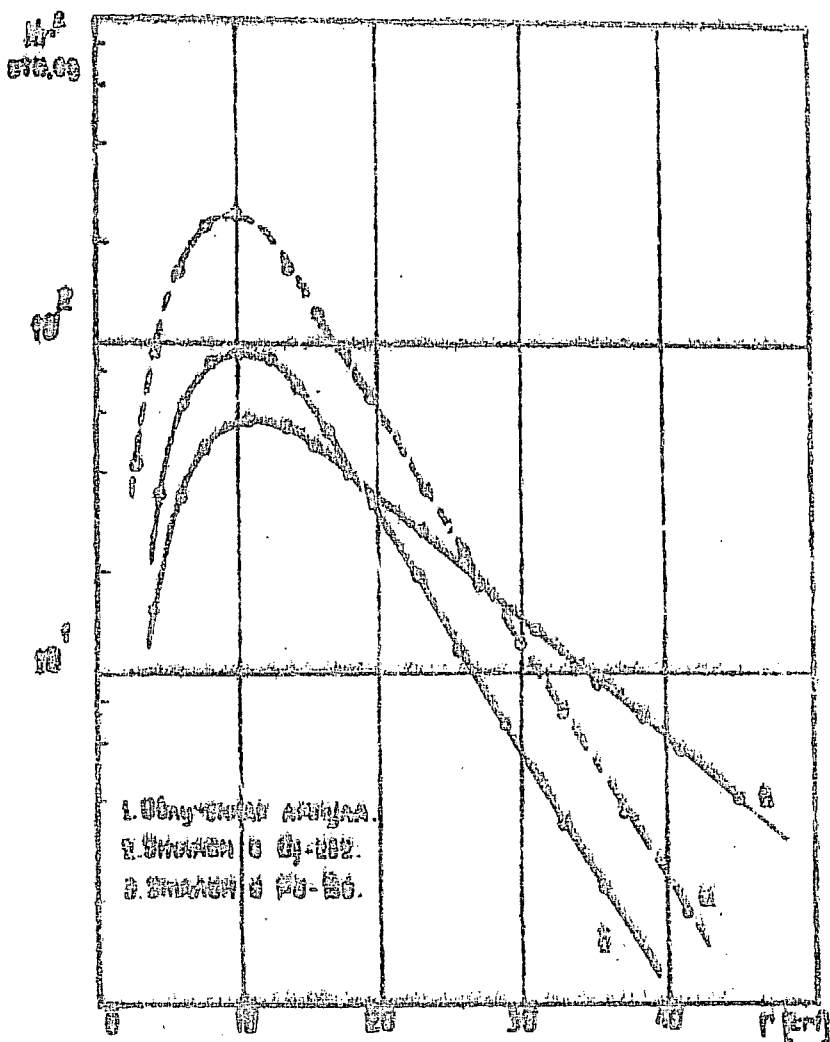


Рис. I. Пространственное распределение нейтронов полоний-бериллиевого; калифорниевого источников и облученных ампул в водной среде:

- а - облученная ампула;
- б - калифорниевый источник;
- в - полоний-бериллиевый источник.

идентичность геометрической укладки детекторов и размеров ампул. Однако неравномерность распределения стартового вещества в ампулах и различия в плотности нейтронного потока реактора приводят к неравномерному накоплению калифорния по высоте ампулы. Знание пространственного распределения нейтронов от точечного источника позволяет расчетным путем оценить погрешность, возникающую в случае последования протяженного источника с неравномерным распределением активности. Наши расчеты показали, что смещение максимума накопления калифорния по высоте ампулы на 20-30 мм относительно геометрического центра вносит погрешность ~ 3%, а дву- и трехкратное превышение накопления калифорния в центре относительно концов ампулы вносит погрешность ~ 10%. В случае секционных ампул с дискретным распределением стартового вещества ошибка в определении нейтронного выхода может составить несколько десятков процентов, поэтому требуется изучение распределения нейтронной активности по длине ампулы.

Активационные детекторы типа золота-197 и индия-115 не могут использоваться для целей сканирования, так как они чувствительны к тепловым и резонансным нейтронам, распределение которых вблизи ампулы резко отличается от истинного распределения калифорния-252. В связи с этим для целей сканирования более подходящей является реакция  $Al^{27}(n,\alpha)Na^{24}$ . Высокий порог этой реакции (3,1 Мэв) приводит к тому, что нейтронами активируется лишь ближайший участок алюминиевой фольги, а активация более дальних участков мала из-за замедления нейтронов в окружающей среде до энергии меньшей пороговой. Измерения активности алюминиевых детекторов проводились на установке гамма-гамма-совпадений, позволявшей уменьшить фон примесных излучателей, содержащихся в алюминии.

На рис. 2 (а) дается распределение активности в алюминиевом и золотом детекторах от точечного калифорниевых источника. Ширина распределения на полувысоте для алюминиевого детектора не превышает 16 мм, что является достаточ-



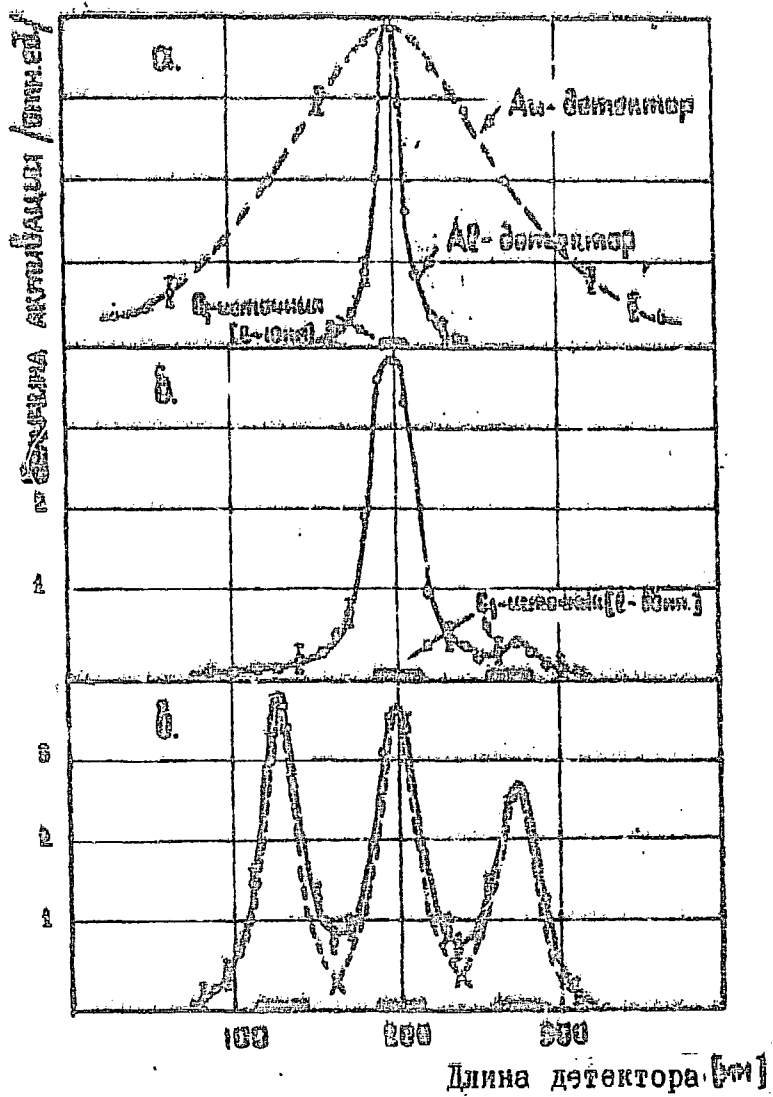


Рис. 2. Активация алюминиевых и золотых детекторов калифорниевыми источниками:

а - калифорниевый источник (длина 12 мм);

б, в - секционные ампулы (длина секции 30 мм)

ным для сканирования секционных ампул. На рис. 2 (б, в) представлены результаты исследования ампул с линейными размерами секций 30-40 мм. Поскольку сечение реакции  $Al^{27}(n,\alpha)Na^{24}$  существенно меньше сечений  $(n, \gamma)$  - реакций на золоте и индии, использование алюминиевых детекторов возможно для исследования образцов, содержащих более 50 мкг калифорния-252.

### 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ

Комбинированное использование активационных детекторов обеспечило получение кривых нарастания нейтронной активности в ампулах при интегральных нейтронных потоках от  $0,5 \cdot 10^{22}$  до  $7,0 \cdot 10^{22}$  н/см<sup>2</sup> (рис. 3). Регистрируемая нейтронная активность обусловлена трансплутониевыми элементами, накапливающимися в процессе облучения. На начальной стадии облучения, когда калифорния-252 в образцах мало, большой вклад в суммарную нейтронную активность дает корий-244, на конечной стадии - калифорний-254.

Доля нейтронов спонтанного деления калифорния-254, измеренная в дополнительном эксперименте по соотношению скоростей альфа-распада и спонтанного деления, для калифорниевой фракции, полученной при облучении плутония-242 интегральным потоком  $6 \cdot 10^{22}$  н/см<sup>2</sup>, составила 21% от общего числа регистрируемых нейтронов. Исходя из этой величины расчетным путем были внесены поправки на содержание калифорния-254 на различных этапах облучения. Кривые, представленные на рис. 4, характеризуют накопление калифорния-252 из плутония-242 и америция-243. Погрешности в определении количества калифорния-252 на начальном этапе облучения обусловлены, в основном, неточностью расчета содержания кория-244 в образцах. Следствие кривых, соответствующих накоплению калифорния из плутония-242 и америция-243, представляется логичным, так как выгоранием плутония-242 за счет реакции  $(n, f)$  можно пренебречь.

Имеет смысл провести сравнение экспериментальных кри -

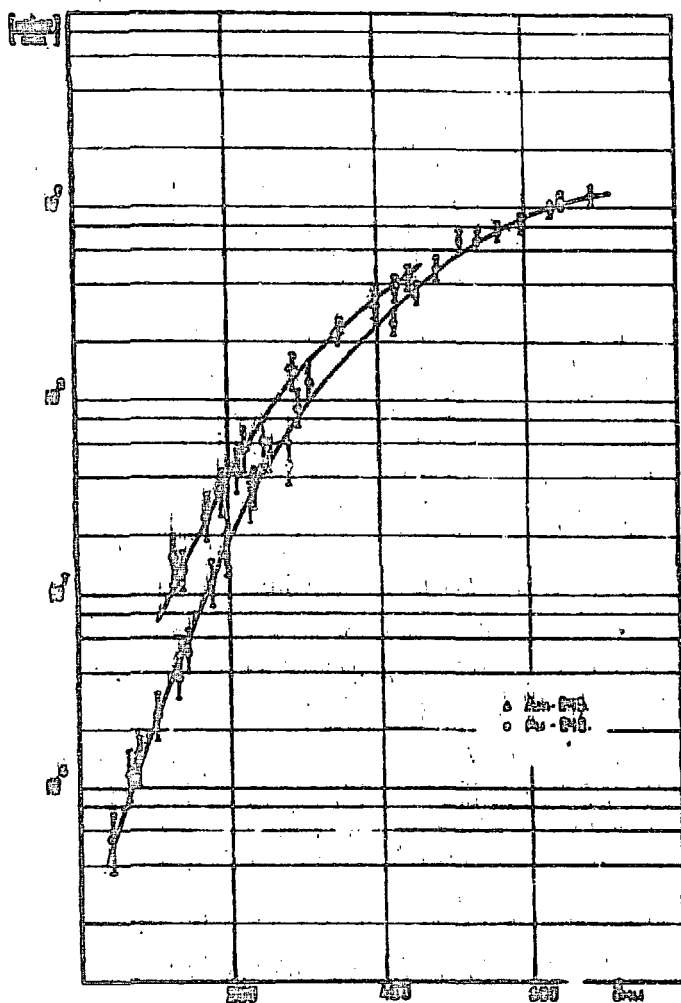


Рис. 3. Нейтронный выход ТлЭ при облучении 1 г плуто -  
ния-242 и америция-243 в центральном канале реак-  
тора СМ-2

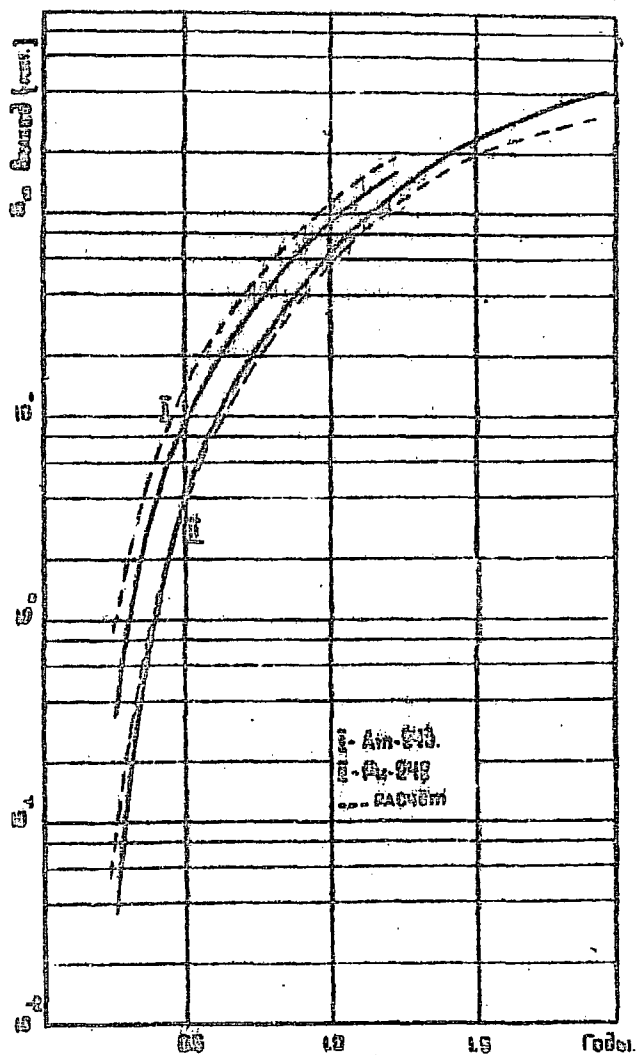


Рис. 4. Накопление калифорния-252 при облучении 1 г плутона-242 и америция-243 в центральном канале реактора SM-2

вых накопления калифорния-252 с расчетными [1,2]. Следует иметь в виду, что возможен сдвиг экспериментальных и расчетных кривых из-за неточного значения интегральных нейтронных потоков. Кроме того, изменение плотности нейтронного потока в канале реактора по высоте ампулы приводит к тому, что количество калифорния-252, образовавшегося в центре и на концах ампулы, может отличаться в несколько раз. В таких условиях общий ход кривой накопления калифорния-252 во всей ампуле нельзя описать усредненным значением нейтронного потока. Поэтому можно говорить только о качественном согласии экспериментальных и расчетных кривых, представленных на рис. 4.

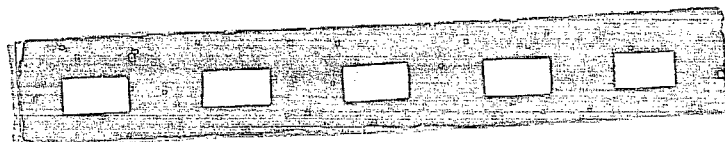
Скорость накопления калифорния-252 в реакторе СМ-2 может быть сопоставлена с аналогичными данными, опубликованными для высокопоточного реактора HFIR [3]. Из сравнения кривых накопления можно сделать вывод, что для реактора HFIR не наблюдается такого увеличения скорости накопления калифорния-252 по сравнению с реактором СМ-2, которое можно было бы ожидать исходя из соотношения плотностей нейтронных потоков. Этот факт, очевидно, можно объяснить большей жесткостью спектра нейтронов в реакторе СМ-2.

Авторы выражают благодарность В. А. Ануфриеву, А. Д. Кусовникову, А. И. Кушнаренко, В. Г. Полохову, Г. И. Романову и Э. С. Шевцовой за помощь при выполнении отдельных этапов работы.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Давиденко В. А. и др. Атомная энергия, 1972 (в печати).
2. Габескирия В. Я. и др. Препринт НИИАР, П-110 (1971).
3. Baybarz R. D. *Transuranium Elements*, 8, IAEA, Vienna, 327 (1970).

Рукопись поступила в редакцию  
ОЖТИ 25 сентября 1972 года



Отпечатано в Научно-исследовательском институте атомных реакторов  
им. В.И.Ленина

---

Т-14577 от 13.IX.72.

Тираж 150 экз.

Сентябрь, 1972.

Редактор Бодрова З.В.

0,66 уч.-изд.л.