

## УРАН-ТИТАНОВЫЙ РАДИАТОР ДЛЯ УЛЬТРАХОЛОДНЫХ НЕЙТРОНОВ

А. В. Антонов, С. А. Антипов, А. И. Исаков,  
Н. И. Иванов, В. Г. Кузнецова, В. И. Мигеров,  
В. С. Сергеев, С. А. Старцев

УДК 539.074

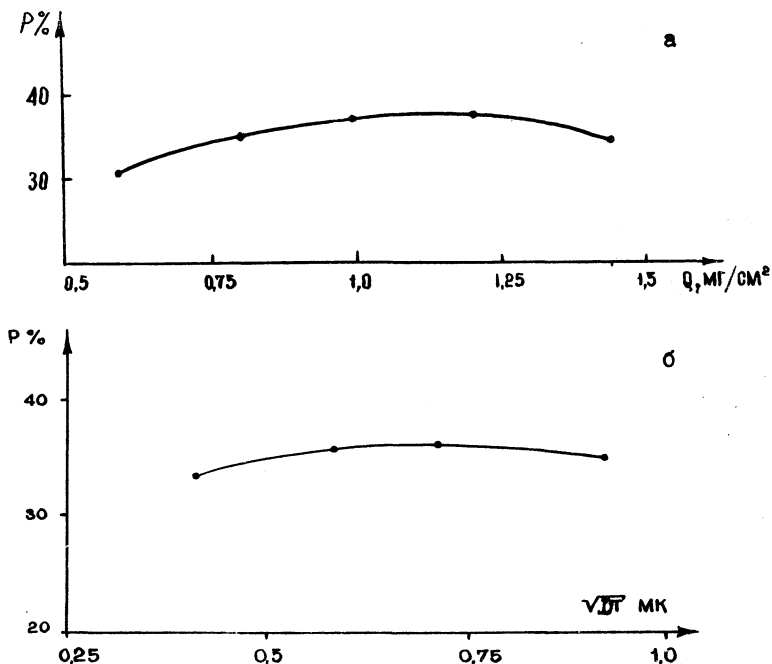
Описывается уран-титановый радиатор, предназначенный для регистрации ультрахолодных нейтронов. Радиатор выполнен методом термодиффузии урана-235 в титановую фольгу. Эффективность трекового детектора с уран-титановым радиатором составляет ~ 60%.

Для регистрации ультрахолодных нейтронов (УХН) в условиях высокого уровня фона в работе /1/ были предложены трековый и газовый сцинтилляционный детекторы. Одной из наиболее сложных задач, которые необходимо решить для их осуществления, является создание уран-титанового радиатора. Задача заключается в понижении потенциального барьера, существующего на границе раздела вакуум - слой  $U^{235}$  ( $b_{\text{ког}} = 0,98 \cdot 10^{-12}$  см,  $v_{\text{гр}} = 4,9$  м/сек), путем создания твердого раствора атомов  $U^{235}$  в титане ( $b_{\text{ког}} = -0,34 \cdot 10^{-12}$  см). После нескольких неудачных попыток изготовления такого раствора сплавлением  $U^{235}$  и Ti (происходило взаимодействие  $U^{235}$  с бериллием, входившим в состав материала, из которого был изготовлен тигель) был применен метод термодиффузии:  $U^{235}$  напылялся на титановую фольгу, которая затем прогревалась до высокой температуры. В процессе этого "отжига" атомы  $U^{235}$  диффундировали в Ti.

Была проведена теоретическая оценка эффективности такого радиатора в зависимости от массы  $Q$  ( $г/см^2$ ) напыляемого урана и параметра  $\sqrt{Dt}$  ( $D$  - коэффициент диффузии,  $t$  - время диффузии). Принималось, что распределение ядер урана-235 по глубине  $x$  титановой фольги (толщиной ~ 18 мк), в соответствии с элементарной теорией диффузии /2/, определяется формулой

$$N(x) = \frac{C}{2} \left[ \Phi \left( \frac{x+h}{\sqrt{2Dt}} \right) - \Phi \left( \frac{x-h}{\sqrt{2Dt}} \right) \right]$$

(где  $C$  - концентрация атомов  $U^{235}$ ,  $h$  - толщина напыленного  $U^{235}$ ,  $\Phi(x)$  - интеграл ошибок). Распределение падающих нейтронов считалось изотропным, а сечения поглощения следующими законом  $1/v$ .

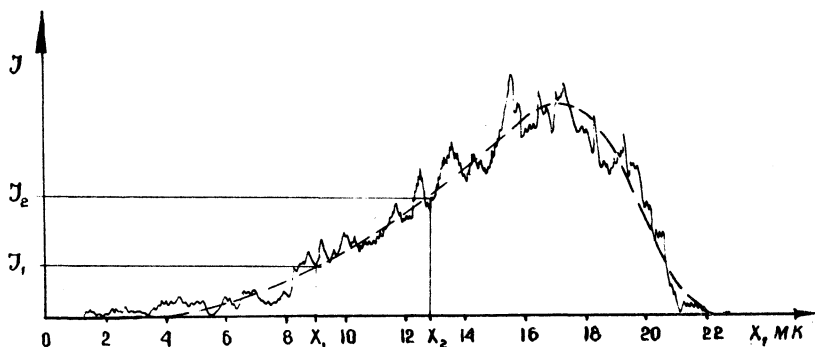


Р и с. I а) Теоретическая зависимость эффективности регистрации УХН уран-титановым радиатором от массы напыленного  $U^{235}$  ( $\sqrt{Dt} = 0,58$  мк;  $v = 5$  м/сек). б) Теоретическая зависимость эффективности регистрации УХН уран-титановым радиатором от параметра  $\sqrt{Dt}$  ( $Q = 1$  мг/см<sup>2</sup>,  $v = 5$  м/сек)

Результаты расчетов представлены на рис. I. Из них следует, что оптимальному (с точки зрения получения максимальной эффективности) технологическому процессу соответствует  $Q \sim 1$  мг/см<sup>2</sup>,  $\sqrt{Dt} \sim 0,6 \div 0,75$  мк.

Для изготовления радиатора, имеющего такую величину  $\sqrt{Dt}$ , необходимо было выбрать температуру "отжига"  $T$  и определить его

длительность  $t$ . Радиаторы, получаемые при сравнительно низких температурах отжига ( $< 800^{\circ}\text{C}$ ) оказывались очень хрупкими из-за образования нескольких фаз урана с титаном. Диффузия урана в титан в одной фазе происходит в диапазоне температур  $\sim 950-1075^{\circ}\text{C}$

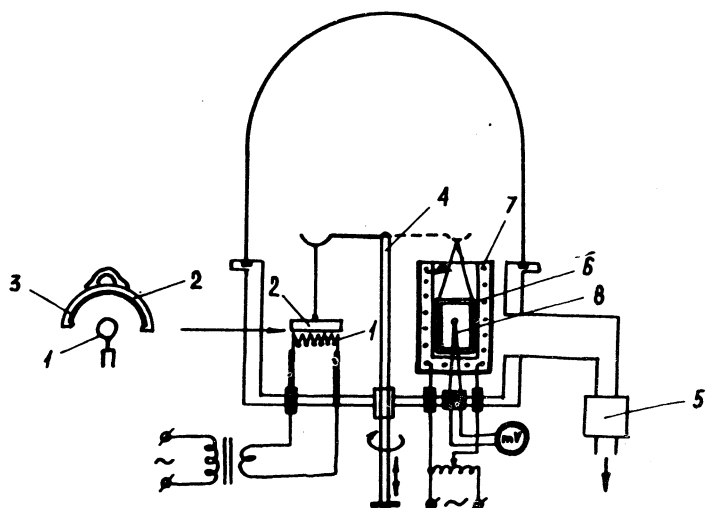


Р и с. 2. Зависимость показаний  $J(x)$  рентгеноспектрального анализатора от глубины  $x$  анализируемой области уран-титанового радиатора. Величина  $J(x)$  приблизительно пропорциональна концентрации урана в  $T_1$

/3/. Мы в дальнейшем отжигали радиаторы при температуре  $\approx 920^{\circ}\text{C}$ . Их механические свойства при этом оказывались достаточно высокими. Необходимое время отжига (при  $T=950^{\circ}\text{C}$ ) по данным работы /3/ оказалось  $t \approx 1-3$  сек. С целью уточнения значения этой величины для наших экспериментальных условий мы провели опыт, позволивший оценить эффективное значение  $D$ . Для этого при  $T=920^{\circ}\text{C}$  была проведена диффузия урана в титановую фольгу в течение двух минут. На рис. 2 представлено полученное распределение урана по толщине титановой фольги. Распределение снималось рентгеноспектральным анализатором с диаметром электронного пучка  $\sim 2$  мк. Определяемый

из этой кривой коэффициент  $D = \frac{x_2^2 - x_1^2}{4t \ln(J_2/J_1)}$  (см. рис. 2) составляет величину  $\sim 1,7 \cdot 10^{-9}$  см<sup>2</sup>/сек. Отсюда следует, что время диффузии, соответствующее  $\sqrt{Dt} = 0,6 \pm 0,75$  мк, должно быть  $\sim 2 + 3$  сек, что совпало с предварительными оценками.

Устройство экспериментальной установки, с помощью которой осуществлялось изготовление радиаторов, схематично представлено на рис. 3. Испарителем  $U^{235}$  являлась вольфрамовая спираль I (длина  $\sim 40$  мм, диаметр  $\phi 5$  мм, сечение проволоки  $\sim 0,5$  мм).



Р и с. 3. Схема экспериментальной установки: 1 - испаритель; 2 - кварцевая оправка; 3 - титановая фольга; 4 - манипулятор; 5 - азотная ловушка; 6 - танталовая кассета; 7 - печь для "отжига"; 8 - термопара

Для получения равномерного по толщине напыляемого уранового слоя титановая фольга должна быть расположена далеко от испарителя. Однако, первые же пробные напыления показали, что количество напыляемого при этом урана недостаточно. По-видимому, это обусловлено низким давлением паров урана, а также взаимодействием урана с вольфрамом. О справедливости последнего предположения свидетельствует тот факт, что количество напыленного металла практически не зависело от веса навески. Пришлось приблизить подложку непосредственно к испарителю, придав ей предварительно с помощью специальной оправки 2 форму цилиндрической поверхности. (Оправка изготавливалась из кварцевого стекла.). Оправка вместе с вставленной в нее титановой фольгой 3 площадью  $35 \times 35$  мм<sup>2</sup> могла быть

с помощью специального манипулятора 4 расположена на любом расстоянии от испарителя. При токе через испаритель  $\sim 25$  а, времени напыления  $\sim 20 + 30$  сек и расстоянии подложки от оси испарителя  $\sim 15$  мм количество напыляемого  $U^{235}$  составляло  $\sim 1$  мг/см<sup>2</sup>. Вес используемой при этом навески был  $\sim 150 + 160$  мг.

Напыление  $U^{235}$  осуществлялось в вакууме  $\sim 5 \cdot 10^{-6}$  мм.рт.ст. Откачка производилась диффузионным насосом. Для предупреждения попадания в рабочий объем масла использовалась азотная ловушка 5.

Поскольку попадание в титановую фольгу кислорода, содержащегося в окисной пленке  $U^{235}$ , является весьма нежелательным ( $b_{\text{ког}} = 0,577 \cdot 10^{-12}$  см), то непосредственно перед напылением эта пленка электролитически стравливалась. Состав используемого травителя был следующим: 2ч.  $H_2O$  (дистиллят), 2ч.  $H_2SO_4$  (концентрированная), 1ч.  $H_3PO_4$  (удельный вес 1,42). При плотности тока между платиновым электродом и фольгой  $U^{235} \sim 500$  мА/см<sup>2</sup> поверхность металла очищалась до металлического блеска в течение  $\sim 5 + 10$  сек.

По окончании процесса напыления установки развакуумировались. Титановая фольга с напыленным на нее  $U^{235}$  заправлялась в танталовую кассету 6 и подвешивалась на коромысле манипулятора. Установка вновь откачивалась. При достижении вакуума  $\sim 10^{-5}$  мм.рт.ст. включалась печь 7 для отжига. Температура в рабочей зоне печи контролировалась с помощью платино-платинородиевой термопары 8. После установления в рабочей зоне температуры  $T_{\text{отж}} = 920^\circ\text{C}$  кассета с фольгой быстро опускалась в зону, где выдерживалась некоторое время  $t_{\text{отж}}$ . Затем кассета также быстро вынималась из печи. Фиксировалось время выдержки фольги в рабочей зоне. В связи с тем, что время прогрева фольги в кассете до  $T_{\text{отж}} = 920^\circ\text{C}$  в данном случае установить сложно, было изготовлено несколько радиаторов с различным  $t_{\text{отж}}$ . Затем эти радиаторы были испытаны в составе трековых детекторов на пучке УХН. Испытания показали, что оптимальное время отжига составляет  $2 + 3$  сек. Эффективность регистрации УХН с  $v < 6,8$  м/сек в этом случае составляет  $\sim 60\%$ .

Таким образом, изготовленный методом термодиффузии уран-титановый радиатор обладает высокой эффективностью регистрации УХН, хорошими механическими свойствами, которые позволяют использовать его в качестве входного окошка газового сцинтилляционного детек-

тора. Вместе с тем, высокая энергия вылетающих из радиатора осколков деления ( $\sim 60$  и  $100$  Мэв) позволяет регистрировать УХН в условиях большого уровня фоновых  $\beta$ - и  $\gamma$ -излучений, характерных для опытов по накоплению УХН на стационарном и импульсном реакторах /4,5/.

Авторы выражают благодарность В. В. Звездову за помощь в изготовлении ряда устройств экспериментальной установки.

Поступила в редакцию  
17 июня 1974 г.

### Л и т е р а т у р а

1. А. В. Антонов и др. Препринт ФИАН № 86, 1973 г.
2. С. Д. Гершрикен, И. Я. Дехтяр. Диффузия в металлах и сплавах в твердой фазе. М., 1960 г., стр. 29.
3. Y. Adda, J. Philibert, Colloque sur la diffusion a l'etat solide (Juillet 1958).
4. А. В. Антонов, А. И. Исаков, В. Е. Солодиков. Краткие сообщения по физике ФИАН, № I, 57 (1970).
5. А. В. Антонов, А. И. Исаков, М. В. Казарновский, В. Е. Солодиков. Препринт ФИАН № 98, 1969 г.