

АКАДЕМИЯ НАУК СОЮЗА ССР

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ  
ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ  
АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ СССР

Атомная  
Энергия

Ежемесячный журнал  
год издания двенадцатый

АТОМИЗДАТ ■ МОСКВА ■ 1968

Том 25 ■ Октябрь ■ Вып. 4

Главный редактор  
М. Д. МИЛЛИОНЩИКОВ

Заместители главного  
редактора:

Н. А. ВЛАСОВ, Н. А. КОЛОКОЛЬЦОВ

Редакционная коллегия:

А. И. АЛИХАНОВ, А. А. БОЧВАР, А. П. ВИНОГРАДОВ, И. Н. ГОЛОВИН,  
Н. А. ДОЛЛЕЖАЛЬ, А. П. ЗЕФИРОВ, В. Ф. КАЛИНИН, А. К. КРАСИН,  
А. И. ЛЕЙПУНСКИЙ, В. В. МАТВЕЕВ, М. Г. МЕЩЕРЯКОВ, П. Н. ПАЛЕЙ,  
Д. Л. СИМОНЕНКО, В. И. СМЕРНОВ, В. С. ФУРСОВ, В. В. ШЕВЧЕНКО.

## СОДЕРЖАНИЕ

### СТАТЬИ

- В. Б. Осипов, Р. В. Джагацания, А. С. Штань,  
В. М. Симонов, С. В. Мамикоян, Л. Д. Солодихина,  
Д. П. Бодров, С. В. Голубков, Ю. Г. Ляскин.  
Радиационный сульфохлоратор РС-2,5 . . . . . 271
- Г. Н. Баласанов, Д. Я. Суражский, Б. А. Чумаченко,  
А. А. Дерягин, Е. П. Власов. Использование мате-  
матических методов при поисках месторождений  
урана . . . . . 274
- А. А. Шолохов, В. Е. Минашин. Теплообмен при про-  
дольном течении жидкости в пучках стержней . . . . . 280
- Б. Н. Селиверстов, А. И. Ефанов, Ю. М. Быков,  
П. А. Гаврилов, Л. В. Константинов. Некоторые  
вопросы приложения статистических методов  
к задачам оперативного исследования кинети-  
ческих характеристик реакторов . . . . . 287
- В. И. Голубев, Н. Д. Голяев, А. В. Звонарев, М. Н. Зи-  
нин, Ю. Ф. Колеганов, М. Н. Николаев, М. Ю. Ор-  
лов. Распространение нейтронов в двуокиси  
урана . . . . . 292
- Часть I. Пространственно-энергетические распре-  
деления . . . . . 292
- Л. П. Абагян, В. И. Голубев, Н. Д. Голяев, А. В. Зво-  
нарев, Ю. Ф. Колеганов, М. Н. Николаев,  
М. Ю. Орлов. Распространение нейтронов в дву-  
окиси урана . . . . . 297
- Часть II. Допплер-эффект на  $U^{235}$  . . . . . 297
- А. И. Громова, И. К. Морозова, В. В. Герасимов. Влия-  
ние облучения на электрохимическое поведение  
конструкционных материалов . . . . . 302
- Р. А. Беляев, Ю. И. Данилов, С. А. Фураев. Корро-  
зия длинномерных изделий из окиси бериллия в  
газовых влажосодержащих потоках . . . . . 305
- А. Ф. Настоящий. О функции распределения электро-  
нов в неоднородной слабоионизованной плазме . . . . . 308

### АННОТАЦИИ ДЕПОНИРОВАННЫХ СТАТЕЙ

- Р. В. Джагацания, В. Б. Осипов, Л. Д. Солодихина,  
Ю. Г. Ляскин, А. И. Гершенович. Опыт эксплуа-  
тации радиационно-химического сульфохлорато-  
ра РС-2,5 . . . . . 314
- В. Б. Осипов, Л. Д. Солодихина, Д. П. Бодров,  
В. М. Симонов, Р. В. Джагацания. Применение  
кассет сферической формы для создания протяж-  
енных облучателей опытно-промышленных и промыш-  
ленных радиационно-химических установок . . . . . 315
- Э. И. Кузнецов. Время жизни заряженных частиц в  
плазме на установке «Токамак ТМ-3» . . . . . 315
- Н. С. Мартынова, И. В. Василькова, М. П. Сусарев,  
С. С. Толкачев. Термографическое и рентгено-  
структурное изучение системы  $UCl_4 - KCl - NaCl$  . . . . . 316
- В. Ф. Баранов, О. А. Павловский. О прохождении  
электронов через вещество . . . . . 317
- П. П. Зольников, Е. Г. Голиков, К. А. Суханова,  
Б. Л. Двинянинов. Отражение тормозного излу-  
чения бетатрона барьерами из различных матери-  
алов . . . . . 318
- П. А. Фелелов. Исследование влияния излучений  
на прочность стеклопластиков . . . . . 318
- ПИСЬМА В РЕДАКЦИЮ
- В. Б. Осипов, В. П. Гутеев, Р. В. Джагацания,  
А. И. Гершенович, С. В. Голубков. Технично-эконо-  
мические аспекты радиационного способа произ-  
водства сульфоната . . . . . 320
- Н. Т. Чеботарев, А. В. Безносикова. Исследование  
структуры соединения  $CaUF_6$  . . . . . 321
- Б. П. Пritchett. К динамике выделения накопленного  
радиона при нагревании горной породы . . . . . 324

235307



Сечения некоторых реакций, усредненные по расчетному и экспериментальному спектрам

Реакция	$\sigma_i$ , барн		$\sigma_i/\sigma_{f5}$	
	Расчет	Эксперимент	Расчет	Эксперимент
$U^{235}(n, f)$	3,76	4,39	1,00	1,00
$U^{238}(n, f)$	0,0104	0,0102	0,00277	0,00232
$U^{238}(n, \gamma)$	0,438	0,454	0,116	0,103
$Au^{197}(n, \gamma)$	2,42	5,50	0,644	1,25

$\sigma_i$   $U^{235}(n, f)$ ,  $U^{238}(n, f)$ ,  $U^{238}(n, \gamma)$  и  $Au^{197}(n, \gamma)$ , усредненные по расчетному и экспериментальному спектрам, а также отношения этих сечений к сечению деления  $U^{235} - \sigma_{f5}$ .

Как видно из таблицы, переход от расчетного спектра к более мягкому экспериментальному не приводит к существенному изменению отношений сечений различных реакций. Заметно меняется лишь сечение поглощения нейтронов золотом.

Интересно отметить, что неточность расчета спектра нейтронов в области ниже 100 эв оказывает большое влияние на расчетную величину среднего времени жизни нейтронов. Вычисление среднего времени жизни по экспериментальному спектру дает величину в 5 раз большую, чем усреднение по расчетному спектру (при этом предполагается, что ценность нейтронов пропорциональна сечению деления  $U^{235}$ ). В активных зонах быстрых реакторов доля нейтронов в низкоэнергетической части спек-

тра, разумеется, много меньше, чем в исследованной здесь системе, однако и для быстрых реакторов отмеченная неточность расчета может, по-видимому, быть причиной заметного расхождения расчетного и экспериментального значений среднего времени жизни.

Поступила в Редакцию 6/X 1967 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. И. Лейпунский и др. В кн. «Труды Второй международной конференции по мирному использованию атомной энергии (Женева, 1958)». Доклады советских ученых. Т. 2. М., Атомиздат, 1959, стр. 377.
2. В. И. Голубев и др. «Атомная энергия», 23, 138 (1967).
3. Л. П. Абагян и др. Групповые константы для расчета ядерных реакторов. М., Атомиздат, 1964
4. Н. О. Базаянц и др. Бюллетень Информационного центра по ядерным данным. Вып. 2. М., Атомиздат, 1965.
5. В. И. Голубев, М. Н. Николаев, М. Ю. Орлов. Бюллетень Информационного центра по ядерным данным. Вып. 1. М., Атомиздат, 1964.
6. Г. И. Марчук, Ф. Ф. Михайлус. «Атомная энергия», 4, 520 (1958).
7. Л. П. Абагян и др. Распространение резонансных нейтронов в средах (теория и специальные функции). М., Атомиздат, 1968.
8. Л. П. Абагян и др. Доклад Р/357, представленный СССР на Третью международную конференцию по мирному использованию атомной энергии (Женева, 1964).
9. И. И. Бондаренко и др. «Атомная энергия», 17, 113 (1964).

Распространение нейтронов в двуокиси урана

Часть II. ДОПЛЕР-ЭФФЕКТ НА  $U^{238}$

Л. П. АБАГЯН, В. И. ГОЛУБЕВ, Н. Д. ГОЛЯЕВ, А. В. ЗВОНАРЕВ, Ю. Ф. КОЛЕГАНОВ, М. Н. НИКОЛАЕВ, М. Ю. ОРЛОВ

УДК 621.039.51:621.039.512.26

Одним из важных эффектов, влияющих на безопасность работы больших энергетических реакторов-размножителей на быстрых нейтронах, является доплер-эффект на захватных резонансах  $U^{238}$ . В работе [1] исследованы спектры и распространение нейтронов в окисном экране реактора БР-1 [1, 2].

В окисном экране реактора БР-1 измерялось также влияние доплер-эффекта на скорость реакции  $U^{238}(n, \gamma)$ . Измерения выполнены на расстоянии 680 мм от центра активной зоны в двух симметрично расположенных полостях. Диаметр и высота полостей составляли при-

мерно 120 мм. Измерения камерой деления со слоем  $Pu^{239}$  показали, что потоки нейтронов в обеих полостях различаются не более чем на 0,4%. При измерении и обработке результатов удалось исключить влияние на окончательный результат даже столь небольшого различия потоков нейтронов.

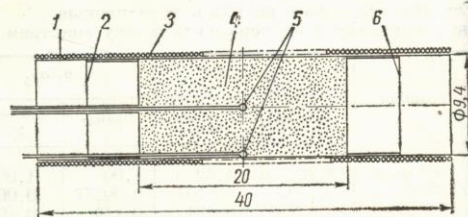
Процедура измерений заключалась в следующем. В полостях облучались одновременно два одинаковых малых образца из порошка закиси-окиси обедненного урана. Образцы помещались в одинаковые контейнеры-нагреватели. Один из образцов во время облучения

нагревался до необходимой температуры. Температура окружающей среды постоянно контролировалась с помощью термопары, укрепленной на стенке полости. Из каждого облученного образца брали по две пробы одинакового веса. Затем эти пробы прессованием доводились до стандартного объема, после этого измерялась их активность на однокристалльном спектрометре с кристаллом NaJ(Tl) размером  $30 \times 20$  мм. Считались  $\gamma$ -кванты с энергией  $74$  кэв, соответствующие периоду полураспада  $23,5$  мин. Ширина канала анализатора выбиралась такой, чтобы свести к минимуму ошибку в измеренной активности, обусловленную статистикой отсчетов, фоном от осколков деления  $U^{238}$  и  $U^{235}$  и от продуктов радиоактивного распада урана. Для сведения последней составляющей фона к минимуму перед облучением проводилась химическая очистка порошка закиси-оксида урана от продуктов распада.

При каждой температуре была проведена серия измерений (30—40 облучений), места облучения образцов периодически менялись. Это позволило исключить влияние возможной разницы в потоках нейтронов в обеих полостях: окончательный результат получался как среднее геометрическое из отношений активностей горячего и холодного образцов, облученных поочередно в разных полостях. При этом предполагалось, что энергетическая зависимость спектра нейтронов в полостях одинакова, а различие может быть лишь в абсолютной величине потока.

При температурах от  $1200^\circ\text{K}$  измерения проводились с контейнерами из нержавеющей стали с нагревателем из нихромовой проволоки, изолятором служил слой слюды. Диаметр образца  $9$  мм, высота  $20$  мм. Температура образца контролировалась двумя хромель-алюмелевыми термопарами, одна из которых помещалась в центре образца, а вторая — у стенки контейнера. Различие в показаниях этих термопар после достижения теплового равновесия было незначительным. Образцы такого типа облучались на воздухе. Схема образца показана на рис. 1.

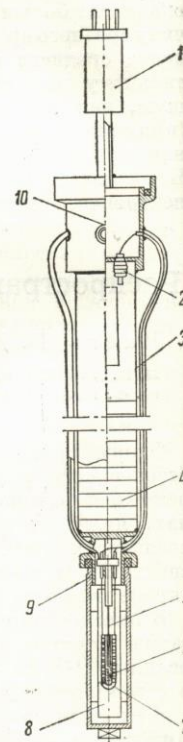
При температурах  $1200$ — $2000^\circ\text{K}$  образцы облучались в молибденовых контейнерах диаметром  $5$  мм и высотой  $20$  мм. Нагреватель был изготовлен из вольфрам-рениевой проволоки. Изоляцией служила алундовая обмазка контейнера. В центр образца вводилась одна вольфрам—вольфрам-рениевая термопара. Образец помещался внутрь откачиваемого баллона из нержавеющей стали толщиной  $1$  мм (рис. 2).



Р и с. 1. Схема образца № 1.

1 — спираль нагревателя; 2 — верхняя проба; 3 — контейнер; 4 — порошок закиси-оксида урана; 5 — термопара; 6 — нижняя проба.

Для проверки, что используемые образцы были достаточно тонкие, проводились контрольные опыты. При температуре  $900^\circ\text{K}$  сравнивались активности навесок, взятых из центра и периферии образца. Эти активности оказались одинаковыми в пределах ошибок измерения (0,2%). С этой же целью были проведены опыты с нагревателями различных диаметров (3—12 мм). В этом случае удельная активность нагретых образцов сравнивалась с удельной активностью холодных образцов, облученных в контейнере такого же диаметра. Отношения активностей для образцов различных диаметров были одинаковы с точностью до ошибок измерений. Полученные результаты не являются неожиданными, поскольку во всех случаях отношение средней толщины образца к длине свободного пробега нейтронов, усредненной с весом вероятности поглощения в материале образца, не превышало 0,2.



Р и с. 2. Схема образца № 2:

1 — манометрическая лампа; 2 — изолятор ввода термопары; 3 — трубка из нержавеющей стали; 4 — блокчи из двуоксида урана; 5 — термопара; 6 — порошок закиси-оксида урана; 7 — спираль нагревателя; 8 — тепловой экран; 9 — откачиваемый баллон; 10 — патрубок форвакуумного насоса.

Таблица 1

Коэффициенты блокировки сечения поглощения  $U^{238}$  в некоторых энергетических группах для образца, облучаемого при температуре  $T_{об}$ , в среде, имеющей температуру  $T_{ср}$

Но- мер груп- пы	$T_{об},$ °К	$T_{ср},$ °К	$\bar{\sigma}_0$ , барн				
			10 000	1000	100	10	0
14	300	300	0,987	0,906	0,628	0,362	0,271
	900	300	0,991	0,932	0,715	0,489	0,412
	900	900	0,998	0,945	0,719	0,449	0,343
	2100	300	0,998	0,956	0,796	0,627	0,600
	2100	2100	1,00	0,964	0,784	0,528	0,417
17	300	300	0,813	0,391	0,129	0,0585	0,0482
	900	300	0,854	0,489	0,198	0,0946	0,0729
	900	900	0,866	0,469	0,154	0,0649	0,0500
	2100	300	0,884	0,575	0,282	0,169	0,133
	2100	2100	0,904	0,549	0,186	0,0744	0,0534
21	300	300	0,703	0,263	0,0814	0,0372	0,0281
	900	300	0,762	0,352	0,116	0,0476	0,0342
	900	900	0,778	0,318	0,0892	0,0383	0,0286
	2100	300	0,818	0,465	0,184	0,0724	0,0491
	2100	2100	0,832	0,383	0,103	0,0405	0,0296

Конструкционные материалы контейнеро-нагревателей заметно увеличивали активность облучаемых образцов путем деблокировки спектра нейтронов при их рассеянии на ядрах материала контейнера. Этот эффект был точно измерен, и была введена поправка. Увеличение активности образцов за счет контейнера оказалось равным 7 и 12% для контейнеров первого и второго типов соответственно.

Поправка на влияние контейнера вводилась следующим образом. Если  $N$  — активность холодного образца, облученного без контейнера,  $\delta_k$  — увеличение активности холодного образца только в результате помещения его в контейнер и  $\delta_D$  — увеличение активности образца за счет эффекта Доплера, то активность горячего образца, облученного в контейнере, выразится суммой  $N + \delta_k + \delta_D$ , а отношение активностей горячего и холодного образцов будет иметь вид

$$a = \frac{N + \delta_k + \delta_D}{N + \delta_k}$$

Отдельно можно измерить отношение активности холодного образца, облученного в контейнере, к активности образца, облученного без контейнера:

$$b = \frac{N + \delta_k}{N}$$

При измерении величины  $b$  влияние рабочего контейнера определялось по отношению к образцу, облученному в алюминиевой оболочке толщиной 0,3 мм. Контрольные опыты по измерению влияния на активность образца алюминиевых оболочек разной толщины позволили экстраполировать это влияние на случай нулевой толщины оболочки. Оказалось, что алюминиевая оболочка толщиной 0,3 мм практически не влияет на активность образца. Это обусловлено заметной концентрацией алюминия в окружающей среде.

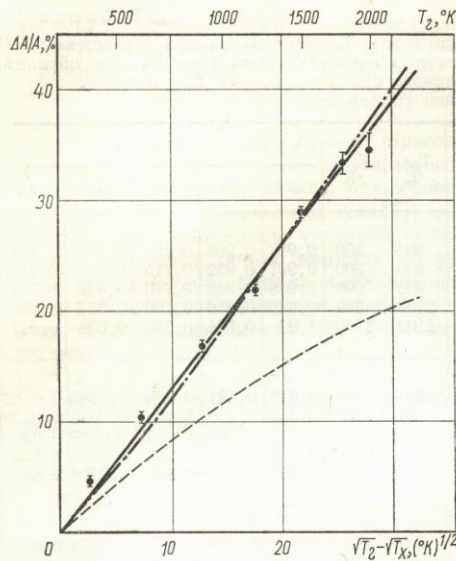
Относительное увеличение активности образца за счет эффекта Доплера можно определить выражением

$$c = \frac{\delta_D}{N} = b(a - 1)$$

При выводе этой формулы не принимались во внимание эффекты второго порядка малости, т. е. считалось, что поправка на влияние контейнера не зависит от температуры. Контрольные опыты с контейнерами разной толщины показали, что эти эффекты не могут быть обнаружены в пределах достигнутой экспериментальной точности.

Точность результатов проверялась контрольными опытами, в ходе которых определялось отношение активностей двух одинаковых по весу проб из одного и того же облученного образца. Результаты проверочных опытов указывают на отсутствие систематических ошибок в измерениях. Среднеквадратичный гауссовский разброс результатов отдельных измерений от среднего превышал статистическую ошибку примерно на 20%.

При вычислении температурной зависимости групповых констант [3] (в частности, сечения поглощения) предполагалось, что спектр нейтронов в окрестностях резонанса обратно пропорционален полному сечению среды, а формирующая спектр среда и ядра, на которых идет реакция поглощения нейтронов, находятся при одинаковой температуре. В данном случае температура среды и образца, в котором измерялось поглощение нейтронов, были различными, т. е. сечение поглощения ядер, находящихся при температуре горячего образца  $T_g$ , должно быть усреднено по спектру нейтронов, определяемому полным сечением ядер, находящихся при температуре  $T_x$  (здесь  $T_x$  — температура холодного образца и среды, формирующей



Р и с. 3. Относительное доплеровское увеличение скорости реакции  $U^{238}(n, \gamma)$ :

● — эксперимент; — — — расчет настоящей работы; - - - - - расчет по константам [3]; — — — прямая, проведенная через экспериментальные точки.

спектр нейтронов). Таким образом, вычислялись сечения тонкого горячего образца, облучаемого в холодной среде (табл. 2). Определялись также коэффициенты блокировки [3] сечения поглощения  $U^{238}$  в горячем образце, облучаемом в холодной среде ( $T_x = 300^\circ K$ ). Сечения даны для различных концентраций  $U^{238}$  в среде, т. е. для различных сечений разбавления  $\bar{\sigma}_0$ , и для различных температур образца.

На рис. 3 представлены результаты измерений доплеровского увеличения скорости реакции  $U^{238}(n, \gamma)$  при температуре  $300-2000^\circ K$ . Экспериментальная зависимость относительного увеличения скорости реакции от температуры довольно хорошо описывается линейной функцией

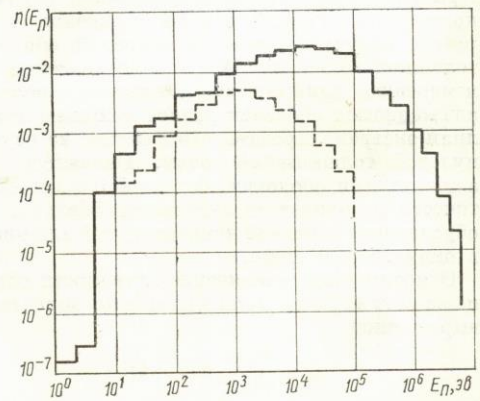
$$f(T_g, T_x) = d(\sqrt{T_g} - \sqrt{T_x}),$$

где  $d$  — наклон прямой,  $d = (1,32 \pm 0,04) \times 10^{-2} (^\circ K)^{-1/2}$ . На том же рисунке приведена расчетная зависимость увеличения скорости реакции поглощения за счет эффекта Доплера (штрих-пунктирная линия). Как видно из рисунка, расчет хорошо описывает экспериментальные данные во всем диапазоне температур.

300

Интересно отметить, что попытка использовать для расчета неизменные константы [3] (формирующая спектр среда и образец имеют одинаковую температуру) привела не только к занижению эффекта, но и к совершенно другому виду температурной зависимости, увеличения скорости реакции (пунктирная кривая на рис. 3). Дополнительной иллюстрацией различной температурной зависимости сечений служит табл. 1, где приведены коэффициенты блокировки для  $\bar{\sigma}_c^{U^{238}}$  в некоторых энергетических группах, полученные в настоящей работе; там же даны аналогичные коэффициенты, рассчитанные для случая, когда образец и среда находятся при одной температуре. Как видно из таблицы, эти данные существенно различаются. Среднегрупповые сечения  $U^{238}$  и коэффициенты блокировки сечения поглощения  $f_c$ , приведенные в табл. 1 и 2, несколько отличаются от величин, указанных в работе [3]. Уточненная система констант для  $U^{238}$ , составленная с учетом данных, появившихся после опубликования системы констант [3], приведена в работе [4].

На рис. 4 в качестве примера показан расчетный «спектр» нейтронов в нагретом до  $800^\circ K$  образце  $\Phi(u)\bar{\sigma}_c(U^{238})$ , где  $\Phi(u)$  — среднегрупповой поток на единицу летаргии и «спектр»



Р и с. 4. Энергетическая зависимость доплеровского увеличения скорости реакции:

сплошная гистограмма — спектр поглощенных в уране нейтронов

$\frac{\Phi_i \bar{\sigma}_{ci}}{\Delta u_i}$  пунктирная гистограмма — спектр доплер-эффекта  $\frac{\Phi_i \Delta \bar{\sigma}_{ci}}{\Delta u_i}$ ;  $\Phi_i$  — поток нейтронов в  $i$ -й группе;

$\Delta u_i$  — групповой интервал летаргии.

Коэффициенты блокировки сечения поглощения нейтронов в  $U^{238}$  для малого нагретого образца, облученного в холодной среде Таблица 2

Продолжение табл. 2

Номер группы $i$	$\Delta E_i, эв$	$\bar{\sigma}_c, барн$	$T_r, ^\circ K$	$\bar{\sigma}_0, барн$				
				10 000	1000	100	10	0
10	21 500— 46 500	0,46	300	1,00	1,00	0,99	0,98	0,93
			400	1,00	1,00	0,99	0,98	0,94
			900	1,00	1,00	1,00	0,99	0,96
			1500	1,00	1,00	1,00	0,995	0,98
			2100	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99
11	10 000— 21 500	0,60	300	1,00	1,00	0,98	0,89	0,80
			400	1,00	1,00	0,98	0,91	0,82
			900	1,00	1,00	0,99	0,95	0,88
			1500	1,00	1,00	0,995	0,98	0,93
			2100	1,00	1,00	1,00	0,99	0,97
12	4 650— 10 000	0,78	300	1,00	0,99	0,92	0,75	0,63
			400	1,00	0,995	0,93	0,78	0,65
			900	1,00	1,00	0,95	0,86	0,73
			1500	1,00	1,00	0,97	0,90	0,80
			2100	1,00	1,00	0,99	0,93	0,86
13	2 150— 4 650	1,20	300	1,00	0,96	0,83	0,56	0,46
			400	1,00	0,965	0,84	0,58	0,48
			900	1,00	0,98	0,88	0,66	0,55
			1500	1,00	0,99	0,92	0,73	0,62
			2100	1,00	1,00	0,95	0,79	0,67
14	1 000— 2 150	1,72	300	0,987	0,906	0,628	0,362	0,271
			400	0,987	0,912	0,646	0,387	0,295
			900	0,991	0,932	0,715	0,489	0,412
			1500	0,996	0,947	0,764	0,571	0,520
			2100	0,998	0,956	0,796	0,627	0,600
15	465— 1 000	3,20	300	0,978	0,839	0,462	0,222	0,166
			400	0,979	0,848	0,486	0,245	0,187
			900	0,986	0,882	0,578	0,350	0,301
			1500	0,992	0,907	0,647	0,445	0,419
			2100	0,998	0,923	0,693	0,514	0,509
16	215— 465	4,35	300	0,964	0,748	0,344	0,151	0,113
			400	0,966	0,762	0,368	0,170	0,129
			900	0,975	0,812	0,468	0,267	0,226
			1500	0,983	0,847	0,547	0,360	0,332
			2100	0,989	0,870	0,600	0,428	0,416
17	100— 215	19,6	300	0,813	0,391	0,129	0,0585	0,0482
			400	0,822	0,411	0,141	0,0636	0,0514
			900	0,854	0,489	0,198	0,0946	0,0729
			1500	0,876	0,552	0,257	0,133	0,103
			2100	0,884	0,575	0,282	0,169	0,133
18	46,5— 100	16,8	300	0,804	0,374	0,125	0,0559	0,0453
			400	0,814	0,396	0,136	0,0607	0,0483
			900	0,849	0,481	0,196	0,0891	0,0669
			1500	0,873	0,548	0,258	0,125	0,0924
			2100	0,889	0,594	0,307	0,159	0,118

Номер группы $i$	$\Delta E_i, эв$	$\bar{\sigma}_c, барн$	$T_r, ^\circ K$	$\bar{\sigma}_0, барн$				
				10 000	1000	100	10	0
19	21,5— 46,5	57,3	300	0,606	0,208	0,0748	0,0394	0,0318
			400	0,622	0,223	0,0788	0,0404	0,0323
			900	0,683	0,292	0,103	0,0472	0,0359
			1500	0,734	0,362	0,137	0,0583	0,0418
			2100	0,779	0,426	0,176	0,0726	0,0496
20	10,0— 21,5	78,2	300	0,677	0,230	0,0614	0,0256	0,0193
			400	0,692	0,249	0,0672	0,0270	0,0200
			900	0,744	0,330	0,101	0,0361	0,0247
			1500	0,780	0,400	0,141	0,0490	0,0316
			2100	0,801	0,449	0,175	0,0619	0,0388
21	4,65— 10,0	174	300	0,703	0,263	0,0814	0,0372	0,0281
			400	0,716	0,280	0,0867	0,0387	0,0290
			900	0,762	0,352	0,116	0,0476	0,0342
			1500	0,796	0,416	0,152	0,0599	0,0414
			2100	0,818	0,465	0,184	0,0724	0,0491

доплеровского увеличения скорости реакции  $\Phi(u)\bar{\sigma}_c(U^{238})$ . Из рисунка следует, что 90% этого увеличения обусловлено нейтронами с энергиями 46,5 эв — 10 кэв ( $\Delta u = 5,4$ ), а 70% этого увеличения сосредоточено в еще более узком интервале энергий: от 215 эв до 4,65 кэв ( $\Delta u = 3$ ). Эта область спектра нейтронов была подробно исследована с помощью резонансных индикаторов [1]. Кроме того, из рис. 4 видно, что неточность в расчете спектра нейтронов при энергиях ниже 200 эв не должна заметно влиять на точность расчета доплеровского увеличения скорости реакции поглощения.

Проведенная оценка влияния неопределенности спектра нейтронов на точность расчета эффекта Доплера показывает, что вариация спектра в пределах экспериментальных ошибок спектральных точек [1] приводит к относительным изменениям расчетной величины эффекта Доплера порядка 5%, что сравнимо с ошибкой экспериментального определения этой величины. Можно считать, что точность знания спектра в данном случае достаточна для однозначной интерпретации данных по эффекту Доплера.

Таким образом, установлено, что использованная методика позволяет вполне удовлетворительно предсказывать величину эффекта Доплера в спектре нейтронов, существующем в большом блоке двуокси урана. Для более полной проверки методики целесообразно проведение экспериментов на спектрах нейтронов,

заметно отличающихся от использованного в данной работе. Такие эксперименты проводятся в настоящее время.

Авторы признательны А. И. Лейпунскому, О. Д. Казачковскому и В. В. Орлову за интерес к работе и ценные замечания. Авторы также благодарны персоналу реактора БР-1, на котором была выполнена большая часть работы, и персоналу реактора ИБР Объединенного института ядерных исследований за помощь в проведении экспериментов.

Поступила в Редакцию 6/X 1967 г.

## Влияние облучения на электрохимическое поведение конструкционных материалов

А. И. ГРОМОВА, И. К. МОРОЗОВА, В. В. ГЕРАСИМОВ

УДК 621.039.553.36:620.193.47.7

Одним из факторов, влияющих на коррозионное поведение реакторных конструкционных материалов, является ионизирующее облучение. В работах [1—4] показано влияние электронного, ультрафиолетового и  $\gamma$ -облучения на кинетику электродных процессов титана, циркония и других материалов и предложен полупроводниковый механизм обнаруженных эффектов [5].

Цель настоящей работы — исследование влияния облучения в реакторе на коррозионное и электрохимическое поведение конструкционных материалов — перлитной стали и сплавов титана и циркония.

Для электрохимических испытаний применялась специальная стеклянная ячейка [6] с оксиртутным электродом сравнения, поскольку проведенные ранее исследования [7] показали стабильность потенциала этого электрода при облучении в реакторе на тепловых нейтронах. Испытания проводились на образцах со шлифованными поверхностями размером  $40 \times 10 \times 1 \text{ мм}^*$  в  $0,01 N$  растворе сернокислого натрия и в дистиллированной воде с  $pH = 12$ , насыщенном воздухом. Объем жидкости, заливаемой в ячейку, составлял  $\sim 20\text{--}25 \text{ см}^3$ .

Для изучения коррозионного и электрохимического поведения исследуемых материалов ампулы с образцами или ячейку помещали в активную зону реактора с максимальным

\* В качестве образцов использовалась перлитная низколегированная, холоднотянутая и отожженная сталь типа 16ГНМ, титановый сплав ВТ4-1 и циркониевый сплав с 1% ниобия, отожженный при  $200^\circ \text{C}$ .

### ЛИТЕРАТУРА

1. В. И. Голубев и др. См. настоящий выпуск, стр. 292.
2. А. И. Лейпунский и др. В кн. «Труды Второй международной конференции по мирному использованию атомной энергии (Женева, 1958)». М.: Атомиздат, 1959, стр. 377.
3. Л. П. Абагян и др. Групповые константы для расчета ядерных реакторов. М., Атомиздат, 1964.
4. «Бюллетень Информационного центра по ядерным данным». Вып. 4. М., Атомиздат, 1968.

потоком тепловых нейтронов  $10^{12} \text{ нейтр/см}^2 \times \times \text{сек}$ . Для сравнения полученных результатов опыты были повторены без облучения. Во время кратковременных испытаний в дистиллированной воде при максимальном нейтронном потоке наблюдалось увеличение скорости коррозии перлитной стали с 0,92 (без облучения) до  $2,36 \text{ г/м}^2 \cdot \text{сутки}$ . Высокая скорость коррозии этой стали в обессоленной воде с  $pH = 7$  объясняется растворением при стационарном потенциале, соответствующем области перепассивации.

В условиях облучения скорость коррозии этой стали увеличивается еще больше. Повышение  $pH$  до 10 (по сравнению с  $pH = 7$ ) несколько снижает скорость коррозии перлитной стали — до 0,36 без облучения и  $0,63 \text{ г/м}^2 \cdot \text{сутки}$  при облучении. Более высокая скорость коррозии в условиях облучения, по-видимому, связана с увеличением скорости как катодного, так и анодного процесса. Как видно из рис. 1, смещение в положительную сторону участка катодной кривой, соответствующей реакции ионизации кислорода, а также увеличение предельного диффузионного тока свидетельствуют о возрастании скорости процесса при облучении в потоке  $10^{12} \text{ нейтр/см}^2 \cdot \text{сек}$ . Об ускорении анодного процесса при облучении перлитной стали потоком тепловых нейтронов  $10^{12} \text{ нейтр/см}^2 \cdot \text{сек}$  свидетельствует увеличение тока пассивной области почти на два порядка по сравнению с током, измеренным в отсутствие облучения (см. рис. 1).

Изменение скорости анодного процесса при облучении замечено также на сплавах титана