

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА



СЗ48 жс
Д-302

13/III-74

3 - 7630

968/2-74

Ш.Деме, Ким Ен Ир, Д.Надь, В.М.Назаров

МОНИТОР НЕЙТРОННЫХ ПУЧКОВ
ДЛЯ ПЕРИОДИЧЕСКИХ ИМПУЛЬСНЫХ
НЕЙТРОННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1973

ЛАБОРАТОРИЯ НЕЙТРОННОЙ ФИЗИКИ

3 - 7630

Ш.Деме, Ким Ен Ир, Д.Надь, В.М.Незаров

**МОНИТОР НЕЙТРОННЫХ ПУЧКОВ
ДЛЯ ПЕРИОДИЧЕСКИХ ИМПУЛЬСНЫХ
НЕЙТРОННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. ВВЕДЕНИЕ

В большинстве экспериментов в области нейтронной физики возникает проблема измерения и мониторинга нейтронных пучков. Например, при измерении полных и парциальных сечений часто требуется относительное мониторирование пучка с точностью лучше 1% при измерении в течение 10 и более часов. Долговременная стабильность мониторов относительных измерений важна при абсолютных измерениях. Обычно в этих случаях используется монитор относительных измерений, прокалиброванный по абсолютному детектору. В методиках по времени пролета на импульсных источниках нейтронов в зависимости от требований эксперимента возникает необходимость в мониторинге нейтронных пучков как всего спектра, так и нейтронов в определенном энергетическом интервале.

В данной работе описывается метод относительного мониторинга нейтронных пучков всего спектра /исключая тепловые нейтроны/ на импульсных периодических источниках. Долговременная стабильность измерений обеспечивается непрерывным сравнением отсчетов счетчика от импульсного источника с отсчетами от стабильного Pu-Be - источника нейтронов.

2. ПРИНЦИП МОНИТОРИРОВАНИЯ

Для импульсного источника нейтронов с замедлителем зависимость интенсивности отсчетов детектора

тепловых нейтронов, расположенного в замедлителе, можно записать в виде:

$$n(t) = n_0 e^{-t/\tau} + n_{\phi}^* \quad /1/$$

где первый член обусловлен импульсом источника, в котором τ - среднее время жизни нейтронов в замедлителе, а второй - фоном между импульсами.

В случае малых загрузок и при $T_1 \geq \tau$ среднее число отсчетов N_1 за общее время измерения T_u можно определить по выражению:

$$N_1 = f T_u \int_0^{T_1} n(t) [1 - n(t) t_M] dt,$$

где f - частота следования импульсов, t_M - мертвое время регистратора, T_1 - время счета в импульсе. После интегрирования получим

$$N_1 = f T_u n_{\phi} T_1 (1 - n_{\phi} t_M) + (1 - 2n_{\phi} t_M) f T_u N_{\tau} \left(1 - \frac{N_{\tau} t_M}{T_1}\right), \quad /2/$$

где

$$t_M' = \frac{T_1 t_M}{2\tau (1 - 2n_{\phi} t_M)} \cdot \frac{1 + e^{-T_1/\tau}}{1 - e^{-T_1/\tau}}, \quad /3/$$

$$N_{\tau} = n_0 \tau (1 - e^{-T_1/\tau}).$$

* При условии, что длительность импульса быстрых нейтронов $\Delta t \ll \tau$. Если это условие не выполняется, то время $t = 0$ должно соответствовать началу экспоненциального спада интенсивности отсчетов.

При $f^{-1} \gg T_1 > 5\tau$ и $n_\phi \ll n_0$

$$N_I = f T_u \tau \left[5n_\phi + n_0 \left(1 - n_0 \frac{t_M}{2} \right) \right]. \quad /4/$$

Следовательно, при распределении отсчетов по выражению /1/ требуемая относительная ошибка измерений $\delta_1 = N_1^{-1/2}$ может осуществляться подбором τ . Например, если принять, что $\delta_1^2 = 10^{-5}$, $n_0 t_M / 2 = 5 \cdot 10^{-3}$ при $t_M = 10^{-6}$ сек, то при $T_u = 2 \cdot 10^3$ сек

$$\tau \approx \frac{10^6}{\delta_1^2 f T_u} \approx \frac{10^4}{2f} \text{ /мксек/.} \quad /4^1/$$

Следовательно, при частоте следования вспышек 5 и 50 сек⁻¹ для таких источников как ИБР-30, ИБР-2 /1,2/ τ должно быть 10^3 и 10^2 мксек соответственно. Среднее время жизни нейтронов до 200 мксек может быть получено в призмах из таких материалов, как вода, парафин, органическое стекло, а более 200 мксек - в графите /см. приложение/.

При проведении измерений в двух временных интервалах, следующих друг за другом, отсчеты за время T_1 и $T_2 \leq f^{-1} - T_1$ можно определить по следующим выражениям:

$$\begin{aligned} N_1 &= f T_u \epsilon(t) \eta(t) [P F_1 + T_1 \Phi_u], \\ N_2 &= f T_u \epsilon(t) \eta(t) [P F_2 + T_2 \Phi_u], \end{aligned} \quad /5/$$

где P - относительная мощность источника, F_1 , F_2 - интегральные функции зависимости потока от времени на единичную мощность источника в интервале T_1 и T_2 соответственно, Φ_u - поток нейтронов от стабильного Pu Be - источника, $\epsilon(t)$ - эффективность детектора, $\eta(t)$ - коэффициент, характеризующий нестабильность измерительной системы.

Из уравнений /5/ получим:

$$P(x) = \frac{F_u}{F_1(t)} x \frac{1 - (\alpha x)^{-1}}{1 - \beta x}, \quad /6/$$

где $x = N_1/N_2$; $\alpha = T_2/T_1$; $F_u = \Phi_u T_2$, $\beta = F_2(t)/F_1(t)$ -

относительное значение фона в импульсном источнике. Как видно из уравнения /6/, измеряемый параметр $P(x)$ не зависит от эффективности детектора и нестабильности счетной аппаратуры. Анализ выражения /6/ показывает,

что при $x = (\alpha\beta)^{-1/2}$ поправка $K = \frac{1 - (\alpha x)^{-1}}{1 - \beta x} = 1$, а функция

$$\frac{\Delta K x}{K \Delta x} = \frac{2\sqrt{\frac{\beta}{\alpha}}}{1 - \sqrt{\frac{\beta}{\alpha}}} \approx 2\sqrt{\frac{\beta}{\alpha}} \quad /7/$$

Из выражения /7/ можно показать, что вблизи $x = (\alpha\beta)^{-1/2}$ при допустимой ошибке измерений $\delta \leq \Delta K/K$ поправку

K можно не вводить в том случае, если $\Delta x/x \leq \frac{\delta}{2}\sqrt{\frac{\alpha}{\beta}}$.

Относительная ошибка измерения мощности источника

$$\delta = \frac{\Delta P}{P} = \frac{\Delta x}{x} \left(\frac{\alpha x}{\alpha x - 1} + \frac{\beta x}{1 - \beta x} \right)$$

минимальна при $x = (\alpha\beta)^{-1/2}$ и определяется по выражению

$$\delta = \frac{\Delta x}{x} \cdot \frac{\sqrt{\alpha} + \sqrt{\beta}}{\sqrt{\alpha} - \sqrt{\beta}},$$

где

$$\frac{\Delta x}{x} = \left(\frac{1}{N_1} + \frac{1}{N_2} \right)^{1/2} = \delta_1 \sqrt{x + 1} \quad /8/$$

По полученным выражениям /4¹/ и /8/ для $x = (\alpha\beta)^{-1/2}$ можно более точно определить требуемое τ_0 и по нему найти размеры замедляющего блока.

$$\tau_0 = (\delta^2 n_0 T_u f)^{-1} [1 + (\alpha\beta)^{-1/2}] \left(\frac{\sqrt{\alpha} + \sqrt{\beta}}{\sqrt{\alpha} - \sqrt{\beta}} \right)^2,$$

где

$$\alpha \leq \frac{1 - \delta_f}{5 f \tau_0} - 1,$$

δ_f - относительная флуктуация частоты импульсов источника нейтронов.

Совместное решение этих двух уравнений позволяет определить наибольшее значение α по параметрам источника и требуемой точности измерения. Необходимую интенсивность счета n_u от стабильного источника можно определить из уравнений /5/. Для $x = (\alpha\beta)^{-1/2}$ и $T_u = 5\tau$

$$n_u \approx \frac{n_0}{5} \sqrt{\frac{\beta}{\alpha}}.$$

Для монитора на реакторах ИБР-30 или ИБР-2 с $\beta = 0,05$ и $f = 5^{-1}$ сек при времени измерения 0,5 часа с 0,5% просчетами для $t_M = 1,0$ мксек / $n_0 = 10^4$ сек⁻¹ / необходимо, чтобы $\tau_0 = 800$ мксек, $\alpha = 48$, $n_u = 64,5$ сек⁻¹. При таких параметрах поправку $K(x)$ можно не вводить при относительном изменении x до 8%.

Из приведенных на рис. 1 графиков функций $K(x)$ и

$$\frac{\Delta P x}{P \Delta x} (x) \text{ для } f = 5 \text{ сек}^{-1} \text{ видно, что при измерении}$$

мощности источника в интервале от 0,2P до 2P относительная ошибка измерений увеличивается за счет изменения поправки K всего на 12%. При работе источника на частоте 50 Гц в мониторе необходимо использовать замедляющую призму с $\tau_0 = 80$ мксек, т.к. при $\tau_0 = 800$ мксек относительная ошибка измерений возрастает на 60%, а допустимое относительное изменение x составляет всего 0,7%.

3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА МОНИТОРА

Для проверки описанного принципа мониторинга и для определения некоторых характеристик монитора было собрано устройство, блок-схема которого пока-

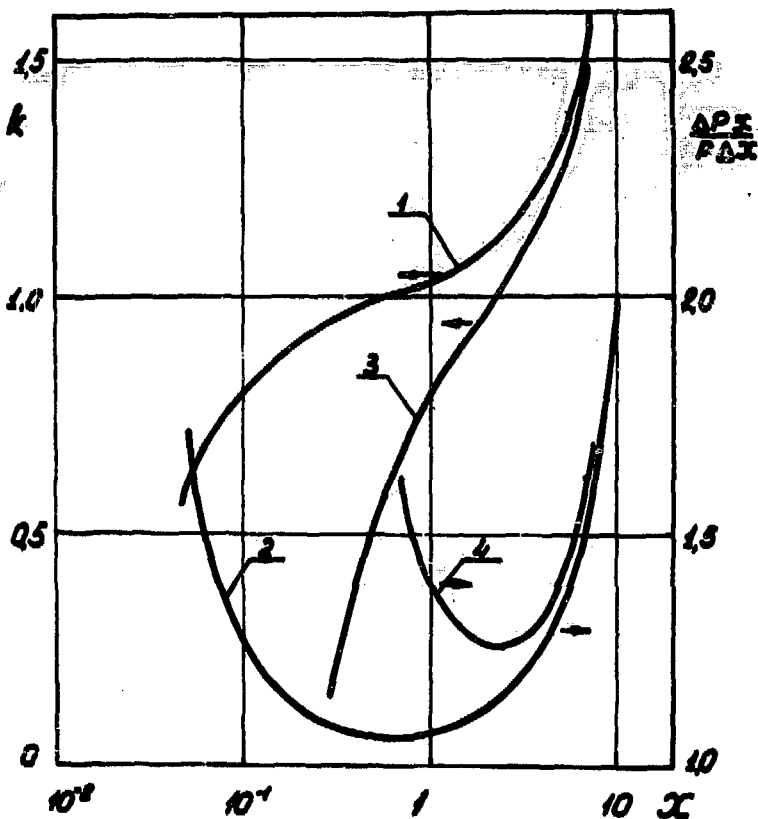


Рис. 1. Вид функций $K(x)$ и $\frac{\Delta P_x}{P \Delta x}$. Кривые 1 и 2 для частоты 5 Гц, кривые 3 и 4 - для частоты 50 Гц.

зана на рис. 2. Испытание проводилось на одном из каналов реактора ИБР-30 на пролетной базе 15 м. В устройстве использовалась графитовая призма с размерами 400 x 400 x 600 мм. Для исключения тепловых нейтронов реактора, искажающих экспоненциальный спад интенсивности отсчетов, все грани графитовой призмы экранировались 2 см В₄С. Среднее время жизни нейтронов в условиях эксперимента составляло 450 мксек. Для создания временных окон T_1 и T_2 использовался кварцевый задающий генератор на 1 МГц.

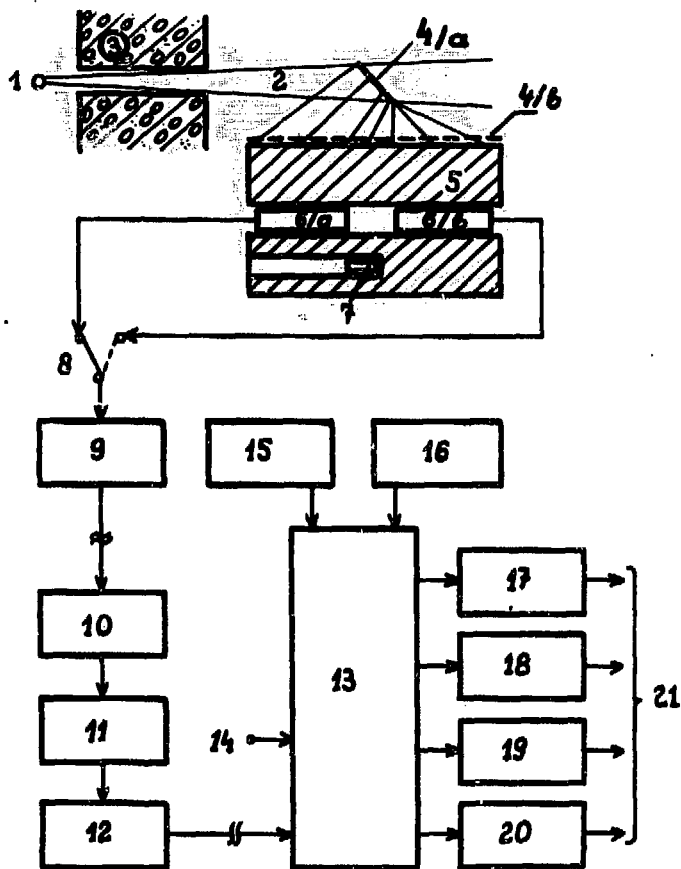


Рис. 2. Блок-схема монитора. 1 - активная зона реактора, 2 - нейтронный пучок, 3 - биологическая защита, 4/а - рассеиватель, 4/в - B_4C - фильтр, 5 - графитовый замедлитель, 6/а, 6/в - BF_3 -счетчики, 7 - $PuBe$ -источник, 8 - переключатель, 9 - предусилитель, 10 - усилитель, 11 - дискриминатор, 12 - эмиттерный повторитель, 13 - управляющий блок, 15, 16 - генераторы на 1 МГц. и 100 Гц, 17, 20 - пересчетные устройства, 21 - к ЭВМ.

На рис. 3 и 4 приведены полученные счетные характеристики счетчика СНМО-5 в обычном режиме счета, и при измерении отношения N_1/N_2 . Из полученных характеристик видно, что наклон "плато" в обеих характеристиках при измерении отношения практически отсутствует. Только при более чем 10-кратных ам-

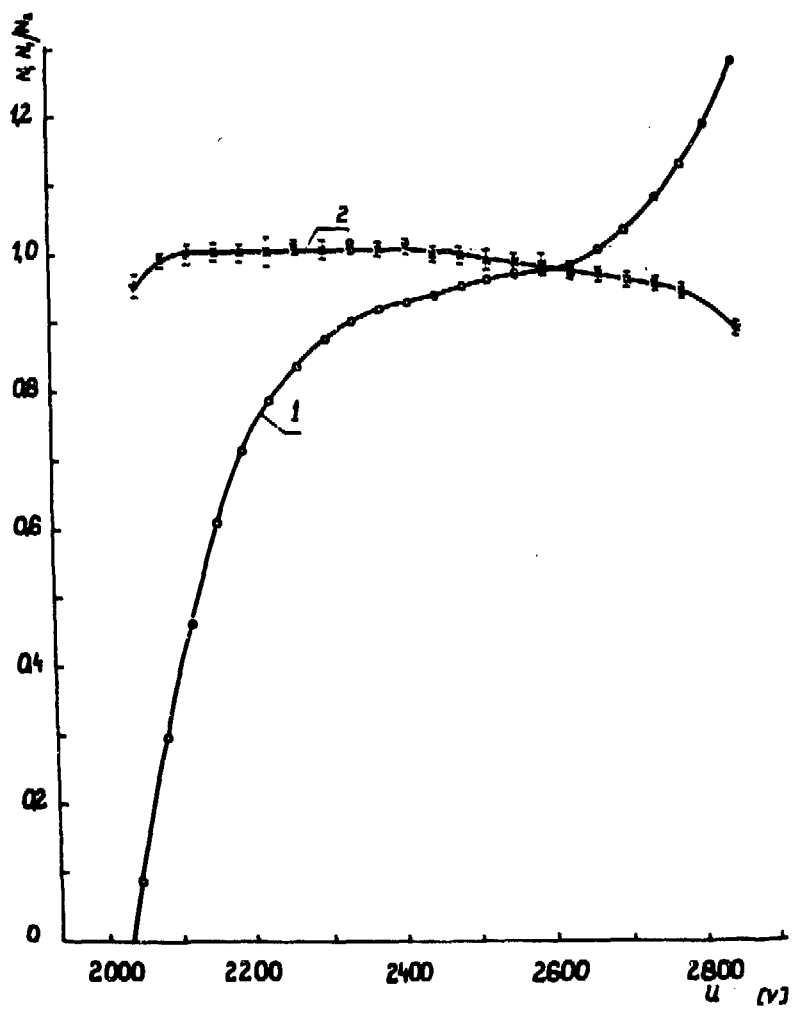


Рис. 3. Кривая 1 - зависимость числа отсчетов счетчика СНМО-5 от высокого напряжения U на катоде. Кривая 2 - зависимость отношения отсчетов N_1/N_2 от высокого напряжения U на катоде.

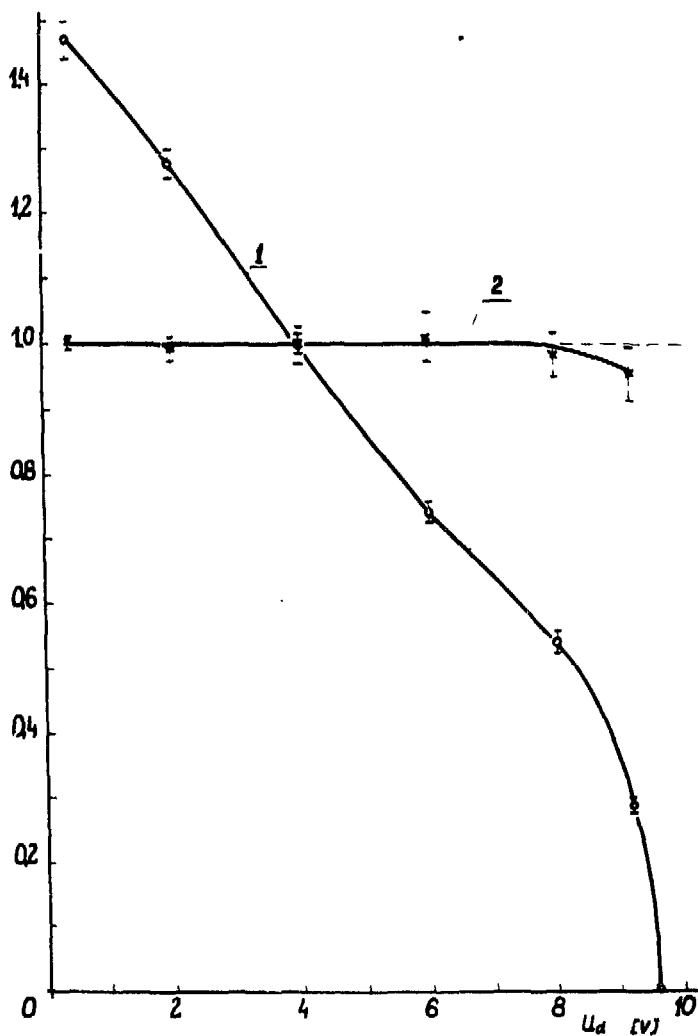


Рис. 4. Кривая 1 - зависимость числа отсчетов счетчика СНМО-5 от порога дискриминатора u_d . Кривая 2 - зависимость отношения отсчетов N_1/N_2 от порога дискриминатора u_d .

плитудных перегрузках усилителя / $u > 2500 \text{ В}$ / характеристика $N_1/N_2(u)$ ухудшается. Следовательно, при отсутствии амплитудных перегрузок плавание параметров счетной системы, включая старение счетчиков, не будет влиять на показание монитора.

Авторы благодарны Ю.С.Язвницкому за постоянный интерес к работе, а также Ю.Н.Пепельшеву и Кроо Эрикне за многостороннюю помощь при проведении экспериментов.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Как известно, затухание плотности тепловых нейтронов в замедляющих блоках при малых B^2 /геометрический параметр среды/ носит экспоненциальный характер. Постоянная затухания основной гармоники $\Lambda_0 = \tau_0^{-1}$, согласно диффузионной теории, имеет вид

$$\Lambda_0 = V \Sigma_a + D_0 B^2 + CB^4 + FB^6,$$

где $V \Sigma_a$ - скорость поглощения нейтронов, D_0 - коэффициент диффузии максвелловских нейтронов, C - коэффициент диффузионного охлаждения, F - коэффициент при B^6 ,

$$B^2 = \left(\frac{\pi}{a + 2d} \right)^2 + \left(\frac{\pi}{b + 2d} \right)^2 + \left(\frac{\pi}{c + 2d} \right)^2$$

для прямоугольного параллелепипеда, здесь a, b, c - физические размеры параллелепипеда, $d = 0,71 \Lambda_{tr}$.

По диффузионным параметрам, полученным в ряде экспериментальных работ /3, 4/, на рис. 5 представлены зависимости τ_0 от одного из размеров замедляющего блока.

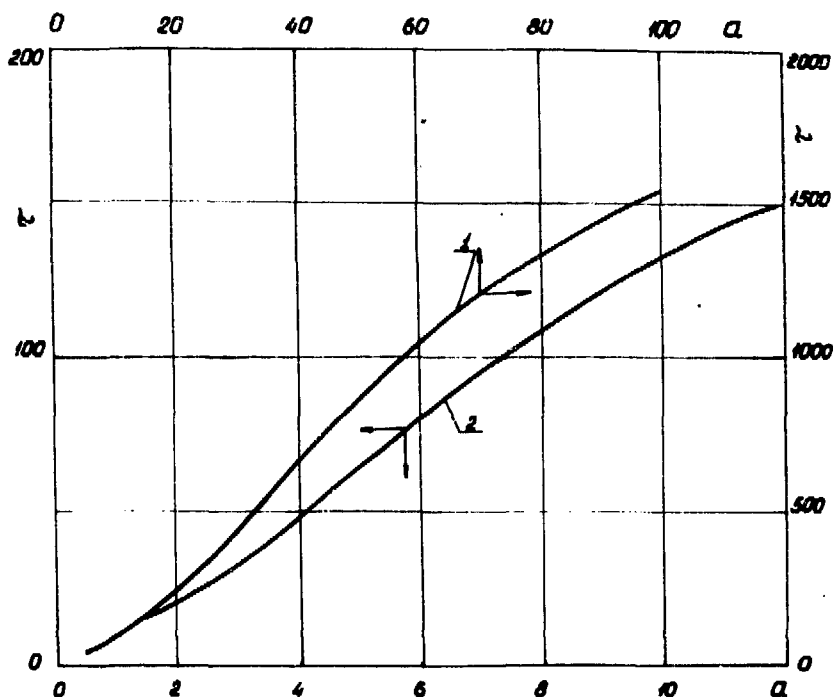


Рис. 5. Зависимость среднего времени жизни нейтронов τ /мксек/ в графите /кривая 1/ от a , см. при $b=c=100$ см при значении параметров $V\Sigma_a = 76,0 \text{ сек}^{-1}$, $D_0 = 2,089 \cdot 10^5 \text{ см}^2/\text{сек}$; $C = 40,2 \cdot 10^5 \text{ см}^4/\text{сек}$; $F = 0,36 \cdot 10^5 \text{ см}^6/\text{сек}$; $\Lambda_{tr} = 2,53 \text{ см}$ и в органическом стекле /кривая 2/ от a , см при $b=c=50$ см для $V\Sigma_a = 4,03 \cdot 10^3 \text{ сек}^{-1}$; $D_0 = 3,63 \cdot 10^4 \text{ см}^2/\text{сек}$; $C = 0,53 \cdot 10^4 \text{ см}^2/\text{сек}$; $\Lambda_{tr} = 0,34 \text{ см}$.

Литература

1. В.Д.Ананьев и др. Сообщения ОИЯИ, 13-4395, Дубна, 1969.
2. В.Д.Ананьев и др. Сообщения ОИЯИ, 13-4392, Дубна, 1969.
3. М.В.Казарновский. Обзор исследований нестационарной термализации нейтронов. "Neutron Thermalization and R-actor Spectra. v. II, Proceedings of a Symposium, Ann Arbor, 17-21 July 1967. IAEA, Vienna (1968) 287".
4. И.Ф.Жежерун. Измерение диффузионных параметров в графитовой среде с каналами импульсным методом. "Neutron Thermalization and Reactor Spectra. v. II, Proceedings of a Symposium, Ann Arbor, 17-21 July 1967, IAEA, Vienna (1968) 449".

Рукопись поступила в издательский отдел
24 декабря 1973 года.