

4480

Экз. чит. зала

**ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ**

**Дубна.**

**P16 - 4480**



**В.Е.Алейников, В.А.Архипов, М.М.Комочков**

**ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ**

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ  
ДЕТЕКТОРА МЕДЛЕННЫХ НЕЙТРОНОВ  
С ШАРОВЫМИ ПОЛИЭТИЛЕНОВЫМИ ЗАМЕДЛИТЕЛЯМИ  
В ДОЗИМЕТРИИ НЕЙТРОНОВ**

**1969**

**P16 - 4480**

**В.Е.Алейников, В.А.Архипов, М.М.Комочков**

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ  
ДЕТЕКТОРА МЕДЛЕННЫХ НЕЙТРОНОВ  
С ШАРОВЫМИ ПОЛИЭТИЛЕНОВЫМИ ЗАМЕДЛИТЕЛЯМИ  
В ДОЗИМЕТРИИ НЕЙТРОНОВ**

**Доклад на III научно-технической конференции  
по дозиметрии и радиометрии  
ионизирующих излучений,  
Москва, 1969**

**Объединенный институт  
ядерных исследований  
БИБЛИОТЕКА**

За защитой протонных ускорителей и реакторов, как правило, мощность дозы, в основном, определяется нейтронами с энергией  $10^{-2}$  эв  $< E < 10^7$  эв <sup>/1-3/</sup>. Среди методов регистрации нейтронного излучения в широком диапазоне энергий особое место занимает метод, основанный на замедлении нейтронов в водородосодержащем замедлителе с последующей регистрацией медленных нейтронов <sup>/4-14/</sup>. Как правило, используются замедлители цилиндрической или шаровой формы, в центре которых помещаются детекторы заряженных частиц (пропорциональный или сцинтилляционный счётчики), содержащие в своем составе ядра  ${}^6\text{Li}$ ,  ${}^{10}\text{B}$  или  ${}^3\text{He}$  и регистрирующие вторичные заряженные частицы, образующиеся в реакциях  ${}^{10}\text{B}(n, \alpha){}^7\text{Li}$ ,  ${}^6\text{Li}(n, \alpha){}^3\text{He}$ ,  ${}^3\text{He}(n, p){}^3\text{H}$ . Для измерений в полях нейтронов с неизвестным угловым распределением следует отдать предпочтение шаровым замедлителям с детектором небольших размеров в центре замедлителя, характеристики которых почти не зависят от углового распределения излучения, падающего на поверхность замедлителя. Основными достоинствами этого метода являются высокая чувствительность, а также возможность, используя один и тот же детектор медленных нейтронов и набор замедлителей, получать различные по виду зависимости эффективности регистрации нейтронов от их энергии с целью аппроксимации дозового эквивалента и поглощенной дозы в широком диапазоне энергий.

## 1. Способы получения информации

В методе радиометрии нейтронных полей с помощью регистрации медленных нейтронов в замедлителях установились, в основном, три способа получения информации.

При использовании первого способа информацию о дозовом эквиваленте нейтронов в интервале энергий  $10^{-2}$  эв -  $10^7$  эв пытаются получить с помощью измерений медленных нейтронов в одном замедлителе <sup>/6-8, 10-12/</sup>. Во многих лабораториях в последнее время для этой цели применяют полиэтиленовый замедлитель диаметром 25,4 см <sup>/8/</sup>. Однако расчеты <sup>/19/</sup> и экспериментальные исследования зависимости чувствительности такого прибора от энергии нейтронов <sup>/8/</sup> (см. рис. 1) показывают, что в области энергий от  $10^{-2}$  до  $10^4$  эв ошибка в измерении дозового эквивалента этим методом для спектра вида  $1/E$  составляет 100%, в то время как вклад нейтронов этих энергий в суммарную дозу за защитой ускорителей и реакторов может достигать 50% <sup>/1-3/</sup>.

Вторым способом получения информации является сравнение скоростей счёта измеренных детектором медленных нейтронов с использованием полиэтиленовых замедлителей различных диаметров <sup>/8/</sup>. Этот способ основан на предположении о том, что спектр нейтронов с энергией  $10^{-1}$  эв  $< E < 10^5$  эв имеет вид  $1/E$ . При отличии формы спектра нейтронов от  $1/E$  могут возникать существенные погрешности.

Третий способ основан на линейной аппроксимации требуемого вида зависимости чувствительности прибора от энергии нейтронов (барметра <sup>x/</sup>, радметра или потокометра) с помощью набора функций, описывающих

---

<sup>x/</sup> Прибор для измерения дозового эквивалента.

зависимости от энергии нейтронов чувствительности детектора с замедлителями различных размеров /15,16/. Этот способ состоит в следующем. Пусть  $f(E)$  – требуемая зависимость чувствительности от энергии нейтронов,  $E$ , и в нашем распоряжении имеется  $n$  детекторов с чувствительностями  $\epsilon_1(E), \epsilon_2(E), \dots, \epsilon_n(E)$ . Требуется составить такую линейную комбинацию из этих чувствительностей

$$\phi(E) = \sum_{k=1}^n a_k \epsilon_k(E) . \quad (1)$$

чтобы среднее квадратичное отклонение  $\phi(E)$  от  $f(E)$  было минимальным. Если детекторы, имеющие чувствительности  $\epsilon_1(E), \epsilon_2(E), \dots, \epsilon_n(E)$ , облучить одинаковым потоком нейтронов одного и того же спектрального состава, то в силу линейности равенства (1) будет выполняться следующее соотношение между скоростью счёта  $N_\phi$  детектора с чувствительностью  $\phi(E)$  и скоростями счёта  $N_k$  детекторов с чувствительностями  $\epsilon_k(E)$ :

$$N_\phi = \sum_{k=1}^n a_k N_k . \quad (2)$$

Таким образом, если известны  $a_k$ , то, выполнив измерения  $n$  детекторами в одном и том же поле нейтронов, с помощью (2) легко вычислить  $N_\phi$ .

Последний способ обладает рядом преимуществ по сравнению с первыми двумя. Он позволяет использовать один и тот же датчик с набором замедлителей для измерения различных характеристик нейтронного излучения (дозового эквивалента, поглощенной дозы, потока нейтронов). Причём при изменении рекомендаций МКРЗ о зависимости

дозового эквивалента или поглощенной дозы на единичный поток нейтронов от энергии нейтронов не возникает необходимости в изменении конструкции прибора, поскольку, выбрав соответствующим образом новые коэффициенты для аппроксимации этих зависимостей, тем же прибором можно будет производить измерение этих величин с приемлемой точностью. Обработка информации третьим способом не требует предположений о форме спектра нейтронов с энергией  $10^{-2}$  эв  $< E < 10^5$  эв.

## 2. Чувствительность счётчика Боннера

Наиболее удобным прибором, зависимость чувствительности которого от энергии нейтронов изучена сравнительно полно и который можно использовать для измерения дозовых характеристик нейтронного излучения, обрабатывая получаемую информацию методом линейной аппроксимации, является так называемый счётчик Боннера<sup>/5/</sup>. Этот счётчик представляет собой сцинтилляционный детектор медленных нейтронов (кристалл цилиндрической формы высотой 4 мм и диаметром 4 мм), который помещается в шаровые полиэтиленовые замедлители различных диаметров. Набор замедлителей диаметром 5-30 см позволяет получать различные по виду зависимости чувствительности счётчика от энергии нейтронов в диапазоне энергий от  $10^{-2}$  до  $10^7$  эв.

Авторами работ<sup>/5,17-20/</sup> были рассчитаны и измерены зависимости чувствительности детектора медленных нейтронов в шаровых полиэтиленовых замедлителях различных диаметров. На рис. 2 приведены в качестве примера зависимости чувствительностей счётчика Боннера с замедлителями диаметром 7,6 и 12,7 см<sup>/5/</sup> от энергии нейтронов, рассчитанные Брамлетом, Эвингом и Боннером<sup>/5/</sup> (пунктирные кривые), и результаты расчета, выполненного Хансеном и Сэндмайером<sup>/17/</sup> (сплош-

ные кривые). Из рисунка видно, что чувствительности, рассчитанные разными группами авторов, существенно отличаются в диапазоне энергий от  $10^{-2}$  до  $10^5$  эв. Сравнение результатов расчёта с данными калибровки на импульсном быстром реакторе<sup>x/</sup> (см. рис. 2) показывает, что кривые, рассчитанные Хансеном и Сэндмайером<sup>/17/</sup>, достаточно хорошо описывают зависимость чувствительности счётчика от энергии нейтронов, в то время как расчёты Брамбетта, Эвинга и Боннера<sup>/5/</sup> существенно отличаются от результатов эксперимента.

### 3. Прибор для измерения дозового эквивалента, поглощенной дозы и плотности потока нейтронов

Результаты расчёта<sup>/17/</sup> чувствительности счётчика Боннера<sup>/5/</sup> можно использовать для определения, в относительных единицах, чувствительности любого детектора медленных нейтронов, помещенного в центре шарового полиэтиленового замедлителя, если толщина замедляющего слоя этого замедлителя равна радиусу шарового замедлителя, для которого были выполнены расчеты, а чувствительность детектора без замедлителя в области медленных нейтронов обратно пропорциональна их скорости.

В отделе радиационной безопасности Объединенного института ядерных исследований был изготовлен сцинтилляционный детектор медленных нейтронов, конструкция которого предусматривает его использование для измерений с шаровыми полиэтиленовыми замедлителями. Детектором является счётчик событий, образующихся в реакции

---

<sup>x/</sup> Данные получены авторами совместно с Л.Ветцелем и В.Назаровым.

$^{10}\text{B}(\text{n}, \alpha) ^7\text{Li}$  , которые регистрируются как сцинтилляции альфа-частиц в  $\text{ZnS}(\text{Ag})$  . В качестве сцинтиллирующего вещества применён светосостав Т-1, представляющий собой сплав борного ангидрида и сернистого цинка, активированного серебром, который запечатывался в фигурный световод из оргстекла (рис. 3). Блок-схема прибора для измерения дозных характеристик нейтронного излучения с использованием описанного выше детектора медленных нейтронов и шаровых полиэтиленовых замедлителей приведена на рис. 4. Конструкция прибора позволяет удалять детектор на расстояния до 1000 м от основной части прибора, в которую входят пересчётный прибор и интенсиметр.

На рис. 5 показаны зависимости скорости счёта детектора медленных нейтронов для  $\gamma$ -квантов  $^{60}\text{Co}$  и замедленных нейтронов  $\text{Pu}-\text{Be}$  источника в зависимости от порога дискриминации. Как видно из этого рисунка, для порогов дискриминации, больших 0,5 в, скорость счёта от  $\gamma$ -квантов для одного и того же дозового эквивалента составляет менее 6% от скорости счёта, обусловленной нейтронами  $\text{Pu}-\text{Be}$  источника. Измеренные чувствительности детектора с различными размерами замедлителей к нейтронам  $\text{Pu}-\text{Be}$  и  $\text{Sb}-\text{Be}$  источников при уровне дискриминации 5в приведены в таблице ; для сравнения в ней приведены также измеренные <sup>/5/</sup> и расчётные <sup>/17/</sup> чувствительности счётчика Боннера, а также отношение чувствительностей этих детекторов к нейтронам  $\text{Pu}-\text{Be}$  и  $\text{Sb}-\text{Be}$  источников. Как видно из таблицы , чувствительность детектора на основе светосостава Т-1 по абсолютной величине несколько больше чувствительности счётчика Боннера, а отношение чувствительностей каждого из этих счётчиков (с одинаковыми замедлителями) к нейтронам  $\text{Sb}-\text{Be}$  и  $\text{Pu}-\text{Be}$  источников в пределах ошибок измерений одинаково. Исключение состав-



ляют отношения чувствительностей для детекторов с замедлителем диаметром 5,08 см. Различие в отношении чувствительностей в этом случае, по-видимому, обусловлено различием в конструкции детекторов медленных нейтронов. А именно, наличие в центре детектора на основе Т-1 оргстекла (см. рис. 3), размеры которого сравнимы с длиной замедляющего слоя для замедлителя с этим диаметром, увеличивает эффективную длину замедления для нейтронов, что ведет к значительному увеличению чувствительности к нейтронам  $Pu-Be$  источника.

Исходя из зависимости чувствительности счётчика Боннера от энергии нейтронов <sup>/17/</sup> и используя результаты калибровки детектора медленных нейтронов с замедлителями различных диаметров, мы выбрали минимальное количество замедлителей таких размеров, суперпозиция чувствительностей которых с соответствующими коэффициентами дает возможность определять дозовый эквивалент, поглощенную дозу и поток нейтронов.

На рис. 6 и 7 приведено сравнение функций  $D_{\ominus}(E)$  и  $D_{\Pi}(E)$ , аппроксимирующих зависимости дозового эквивалента  $d_{\ominus}(E)$  и поглощенной дозы  $d_{\Pi}(E)$ , обусловленных единичным потоком нейтронов

$$D_{\ominus}(E) = [0,83 \epsilon_1(E) - 3,06 \epsilon_2(E) - 1,28 \epsilon_3(E) + 20,3 \epsilon_4(E)] k_1, \quad (3)$$

$$D_{\Pi}(E) = [0,20 \epsilon_1(E) - 0,27 \epsilon_2(E) - 0,30 \epsilon_3(E) + 1,86 \epsilon_4(E)] k_2, \quad (4)$$

Здесь

$$k_1 = 10^{-8} \frac{\text{бэр}}{\text{имп}}, \quad k_2 = 10^{-8} \frac{\text{рад}}{\text{имп}},$$

$\epsilon_1(E), \epsilon_2(E), \epsilon_3(E), \epsilon_4(E)$  - чувствительности детектора медленных нейтронов (имп.нейтрон<sup>-1</sup>см<sup>2</sup>) с замедлителями диаметром 8,89; 12,7; 17,78; 25,4 см соответственно. Для определения дозового эквивалента  $D_{\text{э}}(\phi)$  (бэр/сек) и поглощенной дозы  $D_{\text{э}}(\phi)$  (рад/сек) поля нейтронов с дифференциальным спектром  $\phi(E)$  (нейтрон.см<sup>-2</sup>эв<sup>-1</sup>сек<sup>-1</sup>) с граничными энергиями  $10^{-2}$  эв и  $10^7$  эв достаточно измерить скорость счёта детектора с замедлителями указанных выше размеров и выполнить вычисления по следующим формулам:

$$D(\phi) \approx \int_{10^{-2}}^{10^7} D(E) \phi(E) dE = \quad (5)$$

$$= [0,83 N_1(\phi) - 3,06 N_2(\phi) - 1,28 N_3(\phi) + 20,3 N_4(\phi)] 10^{-8},$$

$$D(\phi) \approx \int_{10^{-2}}^{10^7} D(E) \phi(E) dE = \quad (6)$$

$$= [0,20 N_1(\phi) - 0,27 N_2(\phi) - 0,30 N_3(\phi) + 1,86 N_4(\phi)] 10^{-8},$$

где  $N_i(\phi)$  - скорость счёта, имп/сек, измеренная детектором с  $i$ -тым замедлителем.

При измерении нейтронного излучения часто необходимо иметь возможность измерять поток нейтронов в широком диапазоне энергий.

На рис. 8 представлена функция

$$\Phi(E) = 2,2 \epsilon_5(E) + 3,2 \epsilon_3(E) - 0,84 \epsilon_2(E)$$

(здесь  $\epsilon_5(E)$ ,  $\epsilon_3(E)$ ,  $\epsilon_2(E)$  - чувствительности детектора, имп.нейтрон<sup>-1</sup>см<sup>2</sup>, с замедлителями диаметром 7,62; 17,78 и 30,48 см, соответственно), аппроксимирующая чувствительность потокомера в интервале энергий  $10^{-2}$  -  $10^7$  эв.

Если  $N_j \frac{\text{имп}}{\text{сек}}$  - скорость счёта детектора с  $j$ -тым замедлителем ( $j = 2,3,5$ ) при измерении в одном и том же поле нейтронов, то плотность потока нейтронов,  $F \frac{\text{нейтрон}}{\text{см}^2 \text{сек}}$ , в интервале энергий  $10^{-2}$  -  $10^7$  эв определяется по формуле

$$F = 2,2 N_5 + 3,2 N_3 - 0,84 N_2 \quad (7)$$

Описанный выше детектор медленных нейтронов с шаровыми полиэтиленовыми замедлителями различных диаметров позволяет измерять дозовый эквивалент, поглощенную дозу и плотность потока нейтронов широкого диапазона энергий (от  $10^{-1}$  эв до 10 Мэв). Верхний предел измеряемых величин, в основном, определяется временем высвечивания

$ZnS(Ag)$  и составляет по дозовому эквиваленту 1000 мбэр/час. Нижний предел измеряемых величин определяется скоростью счёта, обусловленной фоном ( $N_{\text{ф}} = 3$  имп/мин). Для измерения дозового эквивалента, равного  $\approx 0,03$  мбэр/час, время экспозиции с каждым замедлителем составляет  $\approx 1$  час при статистической погрешности в определении скорости счёта  $\pm 10\%$ . Погрешность метода при измерении в полях нейтронов за защитой ускорителей и реакторов не превышает

+20% при измерении дозового эквивалента и поглощенной дозы и +10% при измерении потока нейтронов в интервале энергий  $10^{-2}$  -  $10^7$  эв. Сравнение результатов измерений дозового эквивалента в рабочих помещениях синхроциклотрона на 660 Мэв, полученных описанным выше методом, с данными, которые получены с помощью дозиметра типа ДН-А-1, выпускаемого промышленностью, показывает, что при измерении в полях рассеянного излучения за защитой ускорителя ДН-А-1 завывает дозовый эквивалент приблизительно в 3 раза.

#### Л и т е р а т у р а

1. В.Алейников и др. Публикация ОИЯИ, Б1-2759, Дубна, 1966.
2. D.Nachtigall, ISR / Int- VT/66-16 (1966).
3. Д.Л.Бродер и др. Бетон в защите ядерных установок, Атомиздат, М., 1966.
4. Л.С.Золин. Препринт ОИЯИ, 2252, Дубна, 1965.
5. V.L.Bramblett, R.I.Ewing, I.W.Bonner. Nucl. Instr. Meth., 9, 1(1960).
6. T.Nakayama. Jap. Appl. Phys., 4, 5 (1965).
7. И.Б.Керим-Маркус и др. Атомная энергия, 15, 386 (1963).
8. D.E.Hankis. Health Phys., 14, 518 (1968).
9. D.E.Hankins. Neutron Dosimetry, IAEA, Vienna, v.II, p.268 (1963).
10. H.Tatsuta et al. Health. Phys., 13, 559 (1967).
11. J.W.Leake. Nucl. Instr. Meth., 45, 151 (1966).
12. J.W.Leake. AERE-R-5131 (1968).
13. Jemenez Gareia, Felip Jgacio. Dosimetro para neutrons con esferas de poeitileno, Universided National Antonome de Mexico, Mexico City, p.59 (1957).
14. M.Ladu, M.Pelliccioni, E.Rotondi. Nucl.Instr.Meth., 32, 173 (1965).

15. D.Nachtigall, F.Rohloff. Jül-213-ST (1964).
16. D.Nachtigall. Nucl. Instr. Meth., 50, 137 (1967).
17. G.E.Hansen, H.A.Sandmeier. Annual Progress Report for Period Ending September 1, DRNL-3360, p.297 (1962).
18. И.Б.Керим-Маркус, Л.Н.Успенский.  
Neutron Monitoring IAEA, Vienna, p.269 (1967).
19. G.E.Hansen, H.A.Sandmeier. Nucl. Sci. Eng., 22, 315 (1965).
20. P.Fills, R.Bass. Nukleonik, 7, 109 (1965).

Рукопись поступила в издательский отдел

13 мая 1969 года.

Таблица

Сравнение чувствительностей счетчика Боннера и детектора медленных нейтронов (светосостав Т-1) с шаровыми полиэтиленовыми замедлителями

Диаметр замедлителя, см	Чувствительность к нейтронам $Pu-Be$ источника, $имп/н.см^{-2}$		Чувствительность к нейтронам с энергией 24 кэв [17], $имп/н.см^{-2}$		Чувствительность к нейтронам $Pu-Be$ источника детектора на основе Т-1, $имп/н.см^{-2}$		$\frac{\epsilon_{Sb}}{\epsilon_{Ba}}$	$\frac{\epsilon_{Sb}}{\epsilon_T}$
	Счетчик Боннера	Детектор на основе Т-1	Счетчик Боннера	Детектор на основе Т-1	Счетчик Боннера	Детектор на основе Т-1		
5,08	0,004	0,003	0,04 ± 0,02	0,054	0,12 ± 0,03	18	3 ± 2	
7,62	0,027	0,02	0,05 ± 0,02	0,162	0,32 ± 0,06	8,1	6 ± 3	
8,89	-	0,04 <sup>a)</sup>	0,1 ± 0,01	0,200 <sup>a)</sup>	0,39 ± 0,08	5,0	3,9 ± 1,2	
12,70	0,110	0,12	0,22 ± 0,02	0,246	0,40 ± 0,08	2,1	1,8 ± 0,5	
17,78	-	0,20 <sup>a)</sup>	0,25 ± 0,03	0,150 <sup>a)</sup>	0,25 ± 0,05	0,75	1,0 ± 0,32	
20,32	0,17	0,22	0,30 ± 0,04	0,111	0,17 ± 0,03	0,50	0,56 ± 0,17	
25,40	-	0,19 <sup>a)</sup>	0,31 ± 0,04	0,052 <sup>a)</sup>	0,086 ± 0,017	0,27	0,28 ± 0,15	
29,21	-	0,18 <sup>a)</sup>	0,25 ± 0,03	0,025 <sup>a)</sup>	0,07 ± 0,01	0,14	0,28 ± 0,15	
30,48	0,14	0,17	0,24 ± 0,03	0,018	0,032 ± 0,006	0,11	0,13 ± 0,04	

а) Чувствительности получены интерполяцией данных работы /17/

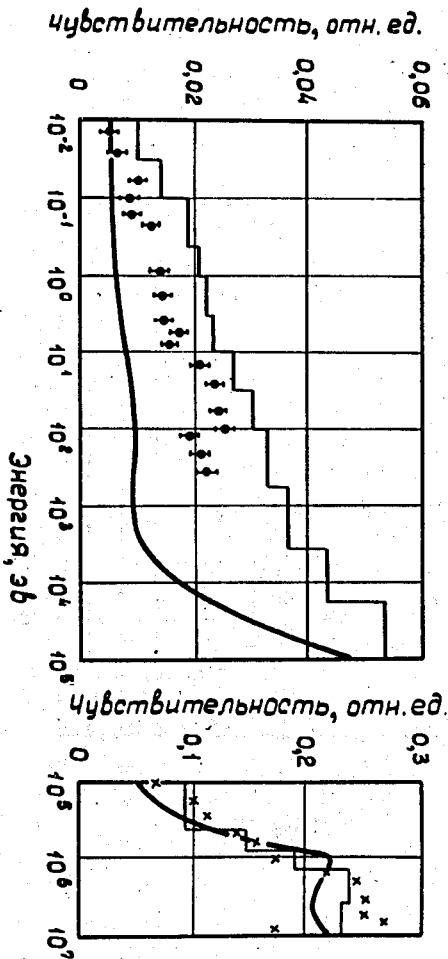


Рис. 1. Зависимость чувствительности сцинтилляционного детектора в шаровом полистироловом замедлителе диаметром 25,4 см от энергии нейтронов:  $\bullet$  - калибровка на импульсном быстроем реакторе;  $\times$  - данные работы /8/;  $\square$  - чувствительность барметра, гистограмма - расчет /19/.

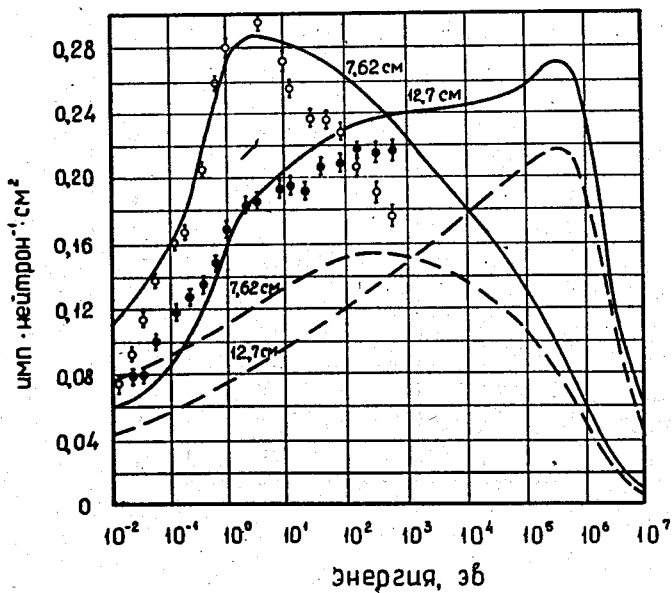


Рис. 2. Зависимость чувствительности счётчика Боннера с замедлителями диаметром 12,7 и 7,62 см от энергии нейтронов:  
 - - - - расчёт /5/; ————— расчёт /17/; ○ ● - калибровка на импульсном быстром реакторе (результаты калибровки нормированы к данным работы /17/).



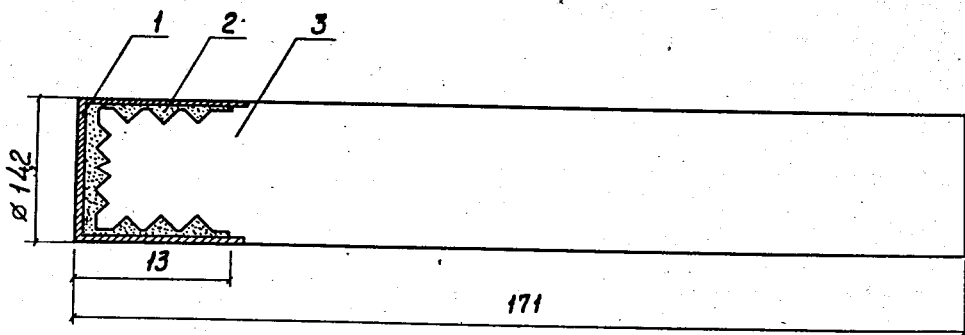


Рис. 3. Детектор: 1 - крышка, 2 - светосостав, 3 - световод.

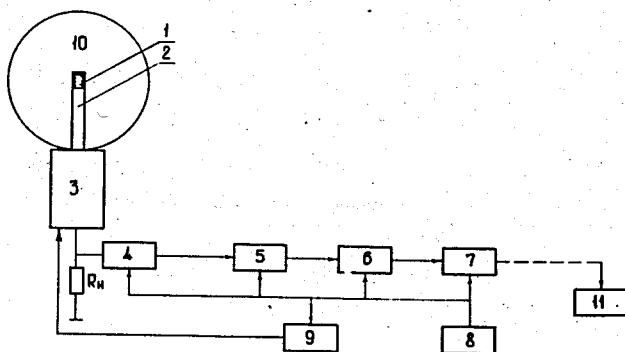


Рис. 4. Блок-схема прибора: 1 - детектор медленных нейтронов, 2 - световод, 3 - ФЭУ, 4 - эмиттерный повторитель, 5 - усилитель, 6 - дискриминатор, 7 - выходной формирователь, 8 - блок питания низковольтный, 9 - блок питания высоковольтный, 10 - замедлитель, 11 - пересчетное устройство.

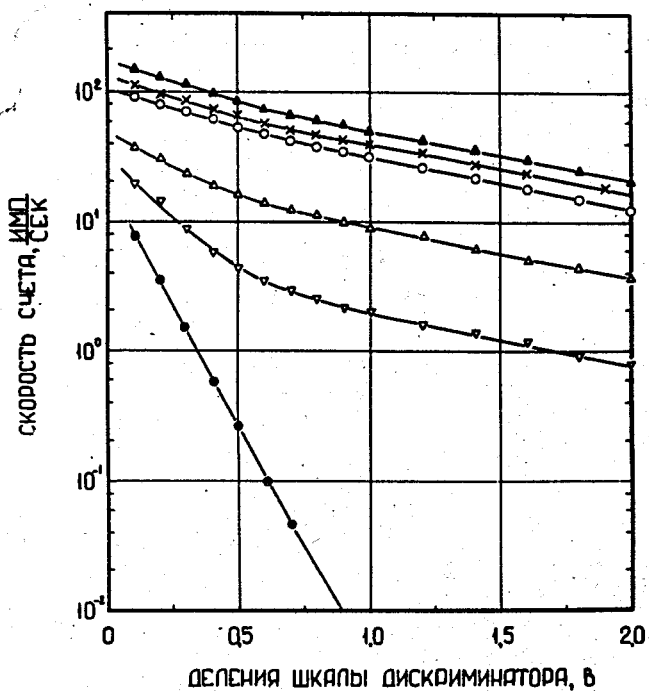


Рис.5. Зависимость скорости счета детектора от порога дискриминации  
 ● — гамма-кванты 8 мкр/сек (детектор без замедлителя);  
 Нейтроны  $Pu-Be$  источника ( $200 \text{ н/см}^2 \cdot \text{сек}$ ): —▲— — детектор с замедлителем диаметром 30,48 см; —x— — детектор с замедлителем диаметром 20,32 см; —○— — детектор с замедлителем диаметром 12,7 см; —Δ— — детектор с замедлителем диаметром 7,62 см; —▽— — детектор с замедлителем диаметром 5,08 см.

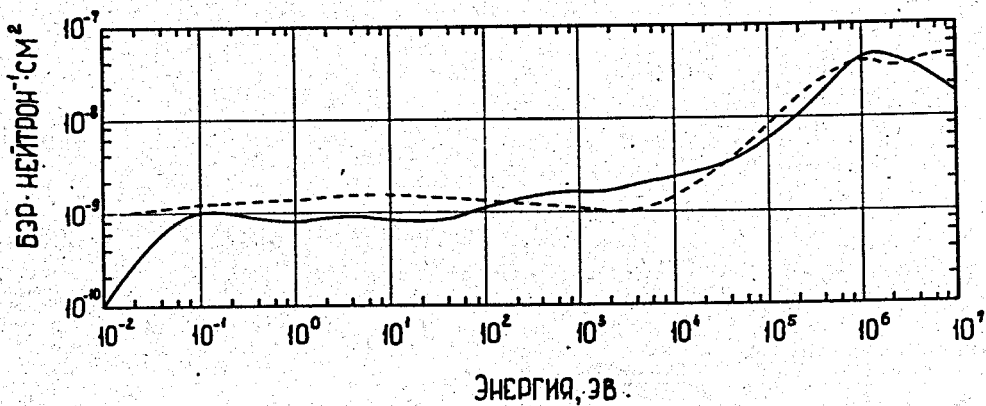


Рис. 6. Аппроксимация зависимости дозового эквивалента на единственный поток нейтронов от их энергии: - - - - дозовый эквивалент на единственный поток нейтронов; — функция  $D_3(E) = [0,83 \epsilon_1(E) - 3,06 \epsilon_2(E) - 1,28 \epsilon_3(E) + 20,3 \epsilon_4(E)] 10^{-8}$ .

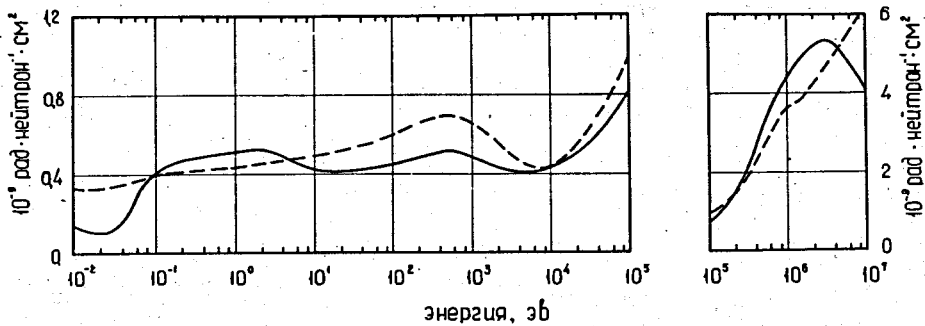


Рис. 7. Аппроксимация зависимости поглощенной дозы на единственный поток нейтронов от их энергии: - - - - - поглощенная доза на единственный поток нейтронов; ———— функция  $D_{II}(E) = [0,20 \epsilon_1(E) - 0,27 \epsilon_2(E) - 0,30 \epsilon_3(E) + 1,86 \epsilon_4(E)] \cdot 10^{-3}$ .

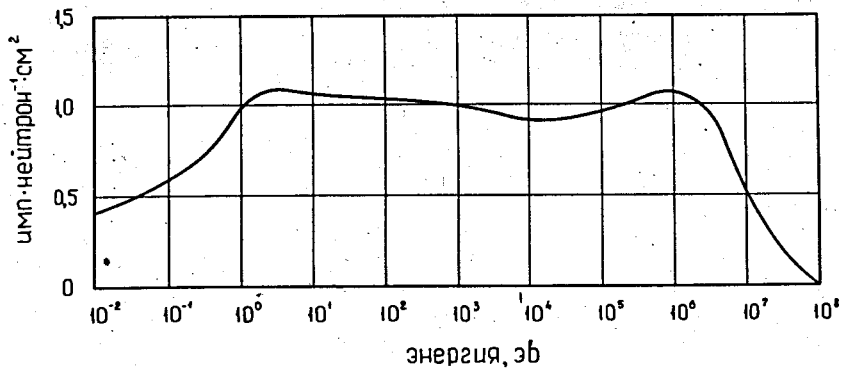


Рис. 8. Аппроксимация чувствительности потокомера с помощью функции  $\Phi(E) = 2,2 \epsilon_5(E) + 3,2 \epsilon_3(E) - 0,84 \epsilon_2(E)$ .