

с 349 а

А-33

ЛЕБЕДЕВ В.Н

7

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Отдел радиационной безопасности

В.Н. Лебедев

БЗ-2752

МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЙ ПЛОТНОСТИ ПОТОКА НУКЛОНОВ
С ЭНЕРГИЕЙ БОЛЕЕ 20 МЭВ.

(руководство для техников и лаборантов-дозиметристов)

Рукопись поступила
...ОТДЕЛ
19... 1966

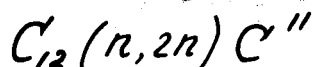
ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
БИБЛИОТЕКА

Дубна, 1964 год .

с.рр.1423

Введение

Среди пороговых детекторов, предназначенных для регистрации нейтронов и протонов высокой энергии, наибольшего внимания заслуживает углерод-12 (^{12}C). В естественной смеси этого изотопа содержится более 98,89% этого изотопа. При облучении его нейтронами с энергией выше пороговой ($E_n > 20,6$ Мэв) в результате ядерной реакции



образуется радиоактивный изотоп ^{11}C с периодом полураспада $T = 20,4$ мин, распадающийся с испусканием одного позитрона (β^+). Максимальная энергия β -спектра ^{11}C равна 0,95 Мэв. Большим преимуществом такого детектора является постоянство сечения взаимодействия в большом диапазоне энергий. Вместе с тем детектору с ^{12}C присущ и большой недостаток: величина сечения взаимодействия очень мала и составляет всего около 22 мбара ($0,022 \cdot 10^{-24} \text{ см}^2$). Следствием этого является низкая чувствительность метода. Из-за малой энергии позитронов распада ^{11}C толщина эффективно работающего слоя (слой, из которого позитроны выходят с энергией, достаточной для прохождения стенок счетчика) очень мала. С целью увеличения эффективности в качестве активируемого вещества выгодно использовать прозрачные сцинтилляторы, содержащие углерод. Малость пробега позитронов уже не будет играть такой роли, поэтому размеры сцинтиллятора могут быть взяты достаточно большими, чтобы достичь необходимой чувствительности. Такого типа установки уже были описаны ранее.

В настоящей методике рассматриваются вопросы практического применения одной из таких установок для задач дозиметрии и фиксации дозы.

I. ПОДГОТОВКА К ИЗМЕРЕНИЯМ.

При составлении плана измерений необходимо по мере возможности намечать такую последовательность точек измерения, при которой плотность потока измеряемых частиц возрастало бы от начала к концу измерений. Во избежание большой ошибки никогда не следует производить измерение малой активности сразу же вслед за большой без промежуточной промывки толуолом. х)

Для установления нормального рабочего режима установки необходимо 10-12 мин. Не следует без необходимости включать ее раньше.

Непосредственно перед началом работы необходимо : 1) слить все нужное количество сцинтиллятора в один об^нем и перемешать
2) измерить уровень фона и эффективность смешанного сцинтиллятора, залив в установку 1030 мл раствора. Измерение уровня фона и определение эффективности (при помощи контрольного препарата №1) производить в течение 10³сек (каждое!) поочередно по схеме:

Фон → контр.препарат → фон →

Изменение скорости счета от контрольного препарата № 1 со временем вследствие радиоактивного распада табулировано в таблице I. При проверке эффективности установки (эф: регистрации позитронов) следует сравнить показания контр. препарата в данный момент с соответствующим значением скорости счета из таблицы I. Принятое для расчета значение эффективности регистрации позитронов получается только при заливке полного об^нема сцинтиллятора (1030 мл ± 10 мл).

Изменение скорости счета $\beta^+ - \alpha''$ и $\gamma - C_{60}^{60}$ с уменьшением об^нем приведено на рис. I. По этому графику необходимо вводить поправку

х) для этой цели применять только сцинтилляционный толуол в ампулах

на скорость счета при использовании меньшего объема.

Продолжительность облучения сцинтиллятора обычно лежит в пределах 20 + 60 мин. Как правило, чем слабее поток нейтронов, тем продолжительнее должно быть облучение. Однако при облучении в течение 60 мин полная наведенная активность уже составляет более 86% равновесной и дальнейшее облучение нецелесообразно.

Время выдержки, т.е. время через которое облученный сцинтиллятор вновь пригоден для работы, определяется по формуле:

$$t_{\text{выд}} \geq 29,4 \ln \frac{100 N_B}{N_{\text{ф}}} \quad (I)$$

или по графику, изображенному на рис.2.

Таблица I.

Распад контрольного препарата $\text{Co-60}^{\text{ж}}$

год месяц	: Контрольный препарат №1 [имп/сек]		
	: 1965	: 1966	: 1967
Январь	196	172	151
Февраль	194	170	149
Март	192	168	148
Апрель	190	167	146
Май	188	165	145
Июнь	186	163	143
Июль	184	161	142
Август	182	159	140
Сентябрь	180	158	138
Октябрь	178	156	137
Ноябрь	176	154	135
Декабрь	174	153	134

ж) при напряжении питания ФЭУ 1700 в, и положении дискриминатора I

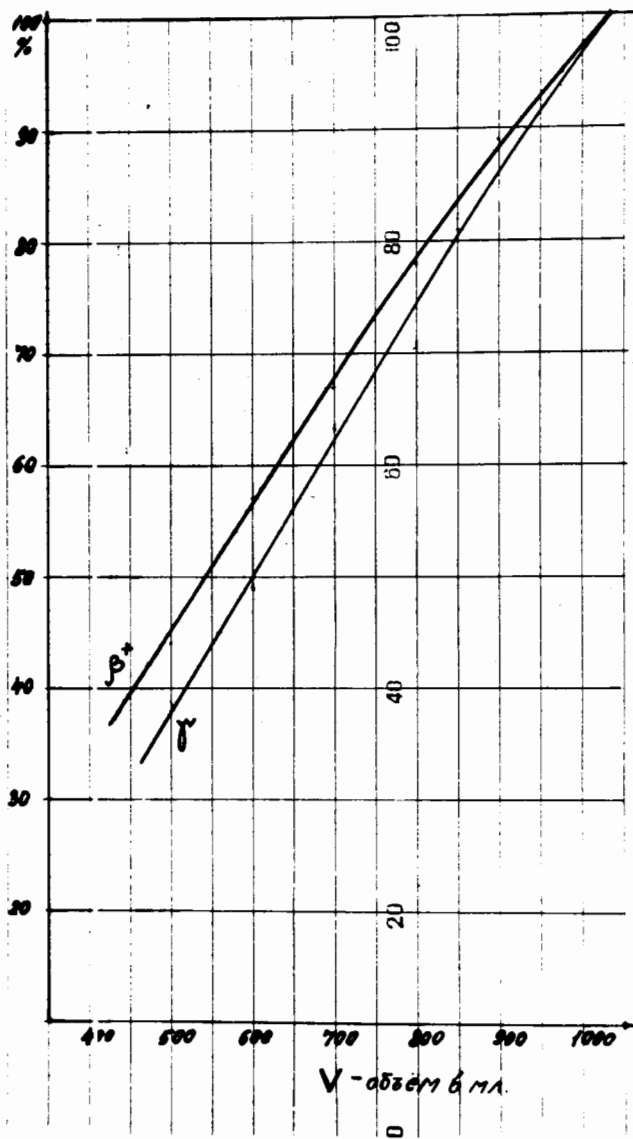


Рис. I Изменение скорости счета позитронов C^{II} и гамма-квантов контрольного препарата в зависимости от объема оцинтиллятора.

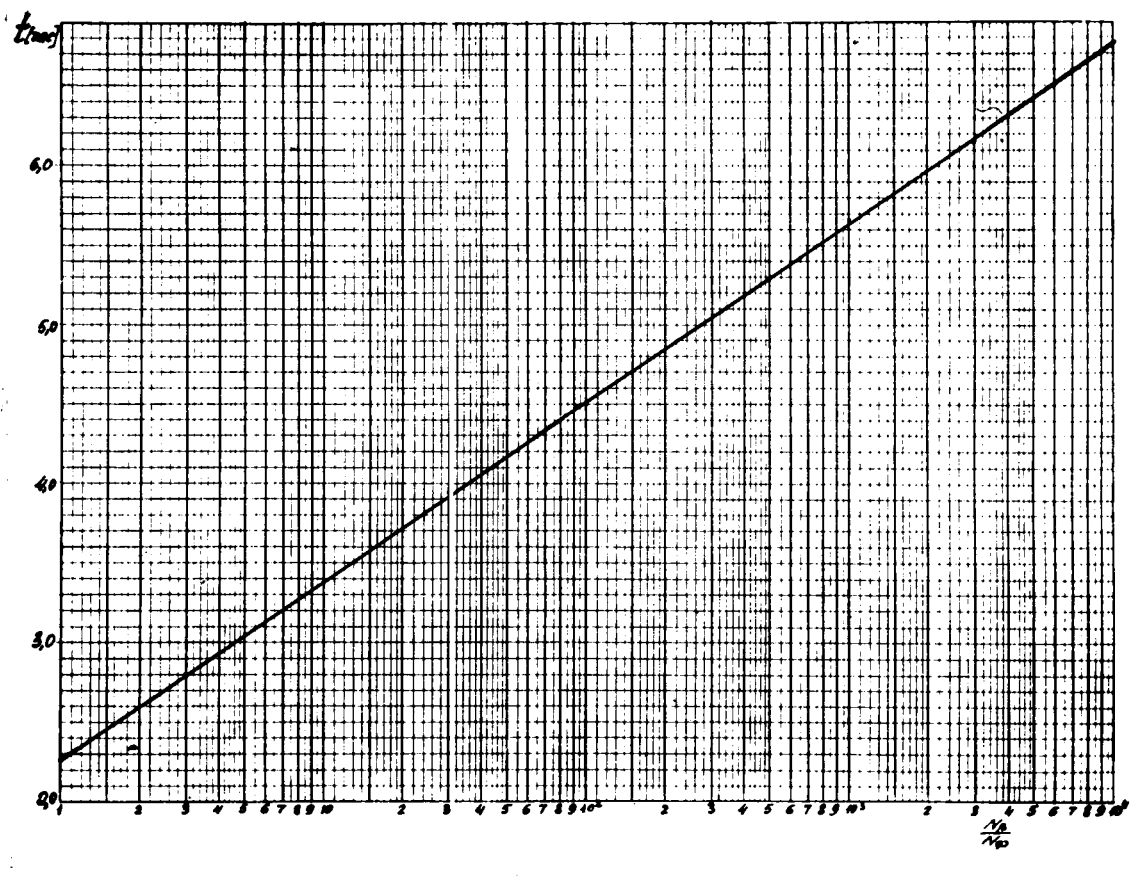


Рис. 2 Время выдержки облученного сцинтиллятора перед дальнейшим употреблением в зависимости от отношения $\frac{N_p}{N_\phi}$

II. МОНИТОРИРОВАНИЕ .

В качестве мониторов излучения можно использовать следующие детекторы:

- 1) Углеродный детектор (цилиндр, таблетка)
- 2) Датчик интенсивности внутр.пучка (с пинап'ов) или измеритель величин протонного тока на мишень.
- 3) Пропорциональный счетчик или сцинтилляционный датчик или сцинтилляционный телескоп

Цилиндр из углерода является в нашем случае наилучшим монитором излучения. Этот детектор не требует введения поправок при перерывах в работе ускорителя или резких изменениях интенсивности внутреннего пучка. Однако вследствие, малой эффективности (примерно в 300 раз меньше чем у жидкого счетчика) регистрации *позитронов*. цилиндр может использоваться для мониторинга только при высоких плотностях потока нейтронов, т.е. в непосредственной близости к ускорителю. Обычно, он устанавливается не далее первой измеряемой точки. Для достижения необходимой статистической точности ($\epsilon < \pm 3\%$) мониторинга интегральный счет от цилиндра за первые 10^3 сек (N_{Σ}) должен быть:

$$\begin{array}{ll} \epsilon \leq \pm 5\% & N_{\Sigma} \geq N_{\phi} + 250 \\ \epsilon \leq \pm 3\% & N_{\Sigma} \geq N_{\phi} + 600 \end{array}$$

Датчик интенсивности внутреннего пучка может быть использован в качестве монитора также в любом случае. Однако непосредственно получить результат можно только при стабильной работе ускорителя. При значительных колебаниях интенсивности и при перерывах в работе с/ф результат мониторинга можно получить только путем пересчета на время распада C^{11} , как указано ниже. Вторым недостатком этого

способа мониторинга является невысокая точность ($\sim 20\%$).

Пропорциональные счетчики, сцинтилляционные счетчики и телескоп являются очень чувствительными мониторами, обладающими однако тем недостатком, что точность мониторинга с ними является приемлемой также только при стабильной работе усилителя. При значительных колебаниях интенсивности, точный результат мог бы быть достигнут лишь при совместной расшивке их показаний с показаниями интенсиметра по кривой изменения интенсивности, что не всегда возможно, т. для этого (во время облучения) требуется промежуточные записи мониторов.

Как правило, следует использовать по одному монитору из каждой группы, перечисленной выше (т.е., например, из 3-й группы - либо пропорц. счетчик, либо телескоп, либо сцинтилляционный датчик), основной упор делая на углеродный детектор.

В любом случае время облучения и время мониторинга должны быть строго одинаковыми.

III. ИЗМЕРЕНИЕ АКТИВНОСТИ ОБЛУЧЕННОГО СЦИНТИЛЛЯТОРА.

Величину β^+ активности в момент конца облучения можно определить двумя способами:

а) по кривой распада, экстраполируя ее к нужному моменту времени.

б) по величине интегрального счета за определенный промежуток времени.

Поскольку оба метода примерно одинаково трудоемки, но метод интегрального счета является значительно более чувствительным, все следующее будет относиться только к нему.

Для получения наиболее точных результатов необходимо строго выполнять следующее:

1) продолжительность облучения определять с точностью до $\pm 2\%$ (при $T=40$ мин это составляет около ± 1 мин)

2) продолжительность подготовки к измерению активности определять с точностью до ± 20 сек.

3) Заливать в счетчик $10 \times 10 \pm 10$ мм облученного сцинтиллятора. Нужный объем сцинтиллятора отмерять при помощи мензурки.

4) заливку производить только через фильтр из гигроскопической ваты. После заливки фильтр слегка отжать и удалить.

5) продолжительность измерения активности определять с точностью $\pm 1\%$. Начало и конец измерения активности в основном счетчике и в счетчике-мониторе должны совпадать с точностью до $\pm 0,5$ сек.

6) отсчет времени вести всегда по одним и тем же часам-секундометру, записывая в журнал время начала и конца каждой операции.

7) измерение активности вести в течение $2 \cdot 10^3$ сек с перерывом около 1^{20} мин и записью промежуточного результата в это время. Начало второго измерения по отношению к началу первого должно быть известно с точностью ± 2 сек (т.е. 18 мин ± 2 сек)

8) после окончания обсчета слить сцинтиллятор, промыть счетчик чистым сцинтилляционным толуолом

9) если позволяет время, измерить фон сцинтиллятора, предназначенного к очередному облучению (время измерения 10^3 сек).

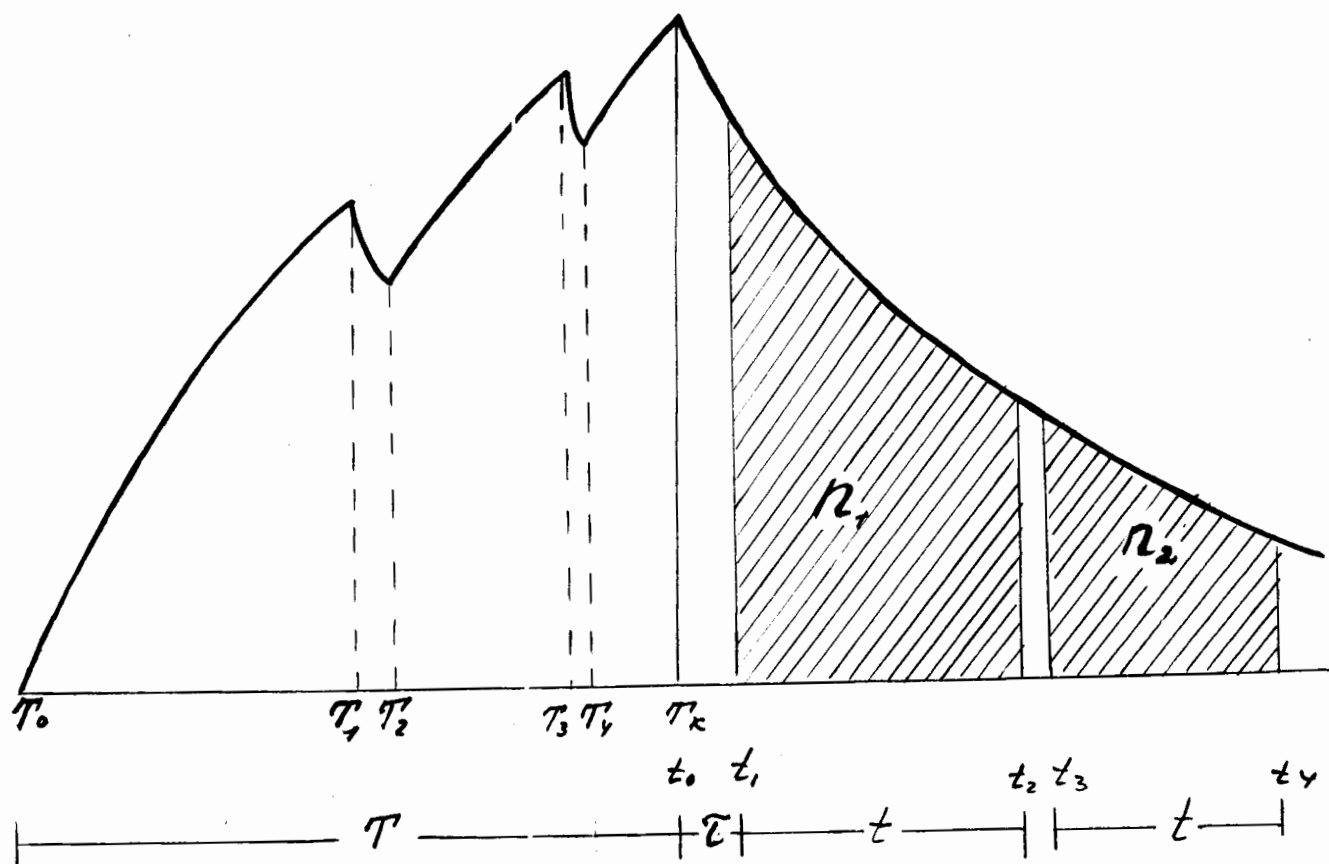
График времени при облучении и измерении активности приведен на рис.3. Чтобы удостовериться в правильности работы как одной, так и другой установки необходимо сравнить количество импульсов n_1 и n_2 ^{х)} соответственно от каждой установки. При правильной работе установки выполняется соотношение:

$$\frac{n_1 - n_{\text{ф}}}{n_2 - n_{\text{ф}}} = K_{18} = 1,84 \quad (3)$$

Примечание: В ряде случаев для измерения используются два пересчетных прибора, включенных последовательно. При этом $t_3 - t_2 = 0$ (см.рис.3) и соотношение (3) имеет вид:

$$\frac{n_1 - n_{\text{ф}}}{n_2 - n_{\text{ф}}} = K_{16,7} = 1,75 \quad (3^1)$$

х) количество импульсов в первую и вторую тысячу секунд.



облучения и
Рис. 3 График измерения активности облученного
сцинтиллятора и углеродного монитора.

$N_{\text{ном}} (N_{\text{ном}})$ - показание (активность) монитора

\bar{I} - средняя за время сблучения интенсивность внутреннего пучка протонов.

А. МОНИТОР-ДЕТЕКТОР ИЗЛУЧЕНИЯ ТИПА ПРОПОРЦ. ИЛИ СЦИНТИЛЛЯЦИОННОЙ СЧЕТЧИКА.

Определение фоновой скорости счета отдельного измерения.

При нормальной без просчетов работе установки скорость счета фона при каждом отдельном измерении можно вычислить по формуле:

$$N_{\text{ф}}^{\text{расч}} = \frac{N_2 K - N_1}{K - 1} \left[\frac{\text{имп}}{\text{сек}} \right] \quad (4)$$

где: N_1, N_2 : средняя скорость счета в первые 10^3 сек и вторые 10^3 сек (рис 3)

K - коэффициент, учитывающий распад C^{11} . При $t_3 - t_1 = 18 \text{ мин}$

$$K = K_{18} = 1,85$$

Признаком нормальной работы установки является совпадение в пределах *статистической* точности скорости счета фона, измеренного перед началом работы, и скорости счета фона, вычисленного по формуле (4).

Определение средней фоновой скорости счета.

Средняя фоновая скорость счета равна в настоящее время $17 \pm 1,5$ имп сек.

Для более точного определения фоновой скорости счета берется среднее всех измерений фоновой скорости счета данного сцинтиллятора после смешивания, включая и вычисленное по формуле (4)

$$N_{\text{ф}} = \frac{1}{n} \sum_1^n N_{\text{ф}i} \left[\frac{\text{имп}}{\text{сек}} \right] \quad (5)$$

Определение полного числа импульсов (числа M)

$$M = n_{\Sigma} - n_{\text{пр}} t \quad (6)$$

Отсюда рабочая формула для вычислений при $t = 10^3$ (см. рис 3):

$$M = n_{\Sigma} - 2 \cdot 10^3 \cdot n_{\text{пр}} \quad [\text{имп}] \quad (7)$$

Определение фактической плотности потока нейтронов, усредненного по времени облучения.

Общая формула имеет вид:

$$\bar{N}_n = \frac{\mu \lambda}{\sigma N_0 \eta} \frac{e^{\lambda \tau}}{(1 - e^{-\lambda \pi})(1 - e^{-\lambda t})(1 + e^{-\lambda(t_3 - \tau)})} \quad (8)$$

при $t = 10^3$ сек, $t_3 - \tau = 18$ мин рабочая формула имеет вид:

$$N_n = \frac{0,97 \cdot 10^{-3}}{\eta} M \frac{e^{\lambda \tau}}{(1 - e^{-\lambda \pi})} \left[\frac{\text{нейтр}}{\text{см}^2 \text{сек}} \right] \quad (9)$$

Значения $e^{\lambda \tau} = A$ в зависимости от величины τ - продолжительности подготовки - табулированы в таблице 2.

Величина $(1 - e^{-\lambda \pi}) = B$ в зависимости от π - продолжительности облучения - табулирована в таблице 3.

Определение поправки при перерывах в облучении.

При наличии перерывов в облучении (например от T_1 до T_2 и от T_3 до T_4 вместо величины B в знаменатель формулы (9) подставляется величина B' , равная:

$$B' = (1 - e^{-\lambda T_1}) e^{-\lambda(T_K - T_1)} + (1 - e^{-\lambda(T_3 - T_2)}) e^{-\lambda(T_K - T_3)} + (1 - e^{-\lambda(T_K - T_4)}) \quad (10)$$

Определение приведенного значения плотности потока нейтронов.

Если N_{ic} и $N_{iюнi}$ соответственно фактическая плотность потока нейтронов и средняя скорость счета монитора в i -ом измерении, то плотность потока нейтронов, приведенная

Таблица 2

Функции $e^{k\tau}$ в зависимости от продолжительности подготовки τ

τ [мин]	$e^{k\tau}$	τ [мин]	$e^{k\tau}$
0,5	1,015	10,5	1,425
1,0	1,030	11,0	1,450
1,5	1,050	11,5	1,475
2,0	1,065	12,0	1,505
2,5	1,085	12,5	1,530
3,0	1,105	13,0	1,555
3,5	1,115	13,5	1,580
4,0	1,145	14,0	1,605
4,5	1,165	14,5	1,630
5,0	1,185	15,0	1,660
5,5	1,210	15,5	1,685
6,0	1,230	16,0	1,715
6,5	1,250	16,5	1,745
7,0	1,270	17,0	1,775
7,5	1,290	17,5	1,805
8,0	1,310	18,0	1,835
8,5	1,335	18,5	1,870
9,0	1,360	19,0	1,900
9,5	1,380	19,5	1,935
10,0	1,405	20,0	1,970

Таблица 3.

Функция $(1 - e^{-\lambda T})$ в зависимости от продолжительности облучения T .

T	$1 - e^{-\lambda T}$	T [мин]	$1 - e^{-\lambda T}$	T [мин]	$1 - e^{-\lambda T}$
1	0,036	28	0,614	55	0,846
2	0,071	29	0,627	56	0,851
3	0,097	30	0,640	57	0,856
4	0,127	31	0,652	58	0,861
5	0,156	32	0,663	59	0,865
6	0,184	33	0,674	60	0,870
7	0,210	34	0,685	61	0,874
8	0,239	35	0,696	62	0,879
9	0,264	36	0,706	63	0,883
10	0,289	37	0,716	64	0,887
11	0,312	38	0,725	65	0,890
12	0,335	39	0,735	66	0,894
13	0,351	40	0,744	67	0,898
14	0,379	41	0,752	68	0,901
15	0,400	42	0,759	69	0,904
16	0,420	43	0,767	70	0,908
17	0,439	44	0,776	71	0,911
18	0,458	45	0,783	72	0,914
19	0,476	46	0,790	73	0,917
20	0,493	47	0,798	74	0,919
21	0,510	48	0,804	75	0,922
22	0,527	49	0,810	76	0,925
23	0,543	50	0,817	77	0,927
24	0,558	51	0,823	78	0,930
25	0,573	52	0,829	79	0,932
26	0,587	53	0,835	80	0,934
27	0,601	54	0,841	81	0,936

Таблица 3.

Функция $(1 - e^{-\lambda T})$
облучения T.

в зависимости от продолжительности

T	$1 - e^{-\lambda T}$	T [мин]	$1 - e^{-\lambda T}$	T [мин]	$1 - e^{-\lambda T}$
1	0,036	28	0,614	55	0,846
2	0,071	29	0,627	56	0,851
3	0,097	30	0,640	57	0,856
4	0,127	31	0,652	58	0,861
5	0,156	32	0,663	59	0,865
6	0,184	33	0,674	60	0,870
7	0,210	34	0,685	61	0,874
8	0,239	35	0,696	62	0,879
9	0,264	36	0,706	63	0,883
10	0,289	37	0,716	64	0,887
11	0,312	38	0,725	65	0,890
12	0,335	39	0,735	66	0,894
13	0,351	40	0,744	67	0,898
14	0,379	41	0,752	68	0,901
15	0,400	42	0,759	69	0,904
16	0,420	43	0,767	70	0,908
17	0,439	44	0,776	71	0,911
18	0,458	45	0,783	72	0,914
19	0,476	46	0,790	73	0,917
20	0,498	47	0,798	74	0,919
21	0,510	48	0,804	75	0,922
22	0,527	49	0,810	76	0,925
23	0,543	50	0,817	77	0,927
24	0,558	51	0,823	78	0,930
25	0,573	52	0,829	79	0,932
26	0,587	53	0,835	80	0,934
27	0,601	54	0,841	81	0,936

к заданному значению показаний монитора $n_{\text{мон}}^{\text{пр}}$ будет

$$N_{\text{пi}}^{\text{прив}} = N_{\text{пi}} \frac{n_{\text{мон}}^{\text{пр}}}{n_{\text{монi}}} T \left[\frac{\text{н-см}^2 \cdot \text{пр}}{\text{см}^2 \cdot \text{сек}} \right] \quad (12)$$

где: T - в минутах

$$n_{\text{мон}}^{\text{прив}} - \text{в } \frac{\text{цм}^2}{\text{мин}}$$

Выбор заданного значения показаний монитора.

Из всех измеренных на данном участке точек, снятых при одном и том же положении монитора, выбираются 3-4 наиболее характерных точки, при измерениях в которых интенсивность внутреннего луча была наиболее стабильной и близкой к выбранному значению интенсивности (обычно 10^{11} $\frac{\text{прот}}{\text{цм}^2}$). Тогда приведенное к 10^{11} $\frac{\text{прот}}{\text{цм}^2}$ показание монитора будет:

$$n_{\text{мон}}^{\text{пр}} = \frac{10^{11}}{n} \left(\frac{n_{\text{мон1}}}{I_1} + \frac{n_{\text{мон2}}}{I_2} + \dots + \frac{n_{\text{монn}}}{I_n} \right) = \frac{10^{11}}{n} \sum_n \frac{n_{\text{монn}}}{I_n}$$

(13)

Б. МОНИТОР-АКТИВАЦИОННЫЙ ДЕТЕКТОР ИСПОЛЬЗУЮЩИЙ РЕАКЦИЮ C'

(графит, плоскозجاج, пластич. сцинтиллятор)

При использовании монитора такого типа он должен проходить этапы от облучения до окончания измерения активности строго в то же время с основным детектором.

Определение фоновой скорости счета отдельного измерения

При нормальной работе установив:

$$N_{\text{ф}}^{\text{расч}} = \frac{N_2 K - N_1}{K - 1} \left[\frac{\text{ИМН}}{\text{СЕК}} \right] \quad (14)$$

$$N_{\text{ф.мон}}^{\text{расч}} = \frac{N_{\text{мон}2} K - N_{\text{мон}1}}{K - 1} \left[\frac{\text{ИМН}}{\text{СЕК}} \right] \quad (15)$$

где $K = 1,85$ при $t_2 - t_1 = 18$ (см. рис 3)

Признаком нормальной работы установок (основной и мониторинной) есть совпадение в пределах допустимых ошибок скорости счета фонового перед началом работы, и скорости счета фона, вычисленной по формулам (14) (15).

Определение средней фоновой скорости счета.

$$\bar{N}_{\text{ф}} = \frac{1}{n} \sum_1^n N_{\text{ф}i} \left[\frac{\text{ИМН}}{\text{СЕК}} \right] \quad (16)$$

$$\bar{N}_{\text{ф.мон}} = \frac{1}{n} \sum_1^n N_{\text{мон}i} \left[\frac{\text{ИМН}}{\text{СЕК}} \right] \quad (17)$$

При нормальной работе установив под знак суммы следует включить и значение скорости счета фона, вычисленное по формулам (14) (15)

Определение полного числа импульсов (числа N)

при $t = 10^3$

$$M = N_{\Sigma} - N_{\Gamma} \cdot 2 \cdot 10^3 \quad \text{имп} \quad (18)$$

$$M_{\text{мон}} = N_{\Sigma} - K_{\text{фмон}} \cdot 2 \cdot 10^3 \quad \text{имп} \quad (19)$$

Выбор заданного значения показаний монитора

Из всех измеренных на данном участке точек, снятых при одном и том же положении монитора, выбираются 3-4 наиболее характерных точки, при измерении в которых интенсивность внутреннего пучка была наиболее стабильной. Поскольку при всех измерениях дозного поля на с/ф показания приборов обычно пересчитываются на интенсивность 10^{11} прот/цикл, желательно выбрать точки, при измерении в которых фактическая интенсивность была бы наиболее близка к 10^{11} прот/цикл. Тогда приведенное к 10^{11} прот/цикл показание углеродного монитора:

$$N_{\text{мон}}^{\text{пр}} = \frac{10^{11}}{N} \sum_{i=1}^n \frac{M_{\text{мон}i} \cdot \frac{A_i}{B_i}}{I_i} \quad (20)$$

например, при $n=3$

$$N_{\text{мон}}^{\text{пр}} = \frac{10^{11}}{3} \left(\frac{M_{\text{мон}1} \frac{A_1}{B_1}}{I_1} + \frac{M_{\text{мон}2} \frac{A_2}{B_2}}{I_2} + \frac{M_{\text{мон}3} \frac{A_3}{B_3}}{I_3} \right)$$

Значения величин $A = e^{\lambda \tau}$ и $B = 1 - e^{-\lambda T}$, также как и ранее, определяются по таблице 2 и графику на рис. 4 для каждого измерения в зависимости от фактической величины τ и T .

Определение приведенного значения плотности потока нейтронов в любой точке

$$N_i^{\text{пр}} = \frac{M_i}{M_{\text{мон}i}} N_{\text{мон}}^{\text{пр}} \left[\frac{\text{нейтр}}{\text{см}^2 \text{сек}} \right] \quad (21)$$

ЛИТЕРАТУРА.

1. П.С.Баранов , В.И.Гольденский, Д.С.Роганов. ПТЭ № 6, 45, 1957.
2. В.Н.Лебедев, М.И.Самая. в Сб. "Приборы и методы анализа излучений" вып. III, Госатомиздат М., 1962, стр. 164.

Сидорова
15.04.66