

Б-22



ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

5598/2-49

7/1-80

P16 - 12705

В.П.Бамблевский, Г.Я.Касканов, М.М.Комочков,
П.П.Сабо, Е.П.Череватенко, А.Л.Шишкин

СРАВНЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДОВ
И СРЕДСТВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОГЛОЩЕННОЙ ДОЗЫ
В ПУЧКАХ ПРОТОНОВ С ЭНЕРГИЯМИ
В ДИАПАЗОНЕ 82-660 МэВ

Дубна 1979

P16 - 12705

В.П.Бамблевский, Г.Я.Касканов, М.М.Комочков,
П.П.Сабо*, Е.П.Череватенко, А.Л.Шишкин

СРАВНЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДОВ
И СРЕДСТВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОГЛОЩЕННОЙ ДОЗЫ
В ПУЧКАХ ПРОТОНОВ С ЭНЕРГИЯМИ
В ДИАПАЗОНЕ 82-660 МэВ

*Центральный институт физических исследований
Академии наук ВНР, Будапешт.

Бамблевский В.П. и др.

P16 - 12705

Сравнение различных методов и средств определения поглощенной дозы в пучках протонов с энергиями в диапазоне 82-660 МэВ

Проведено сравнение поглощенных доз протонов, установленных термолюминесцентным активационным и ионизационным методами. Сравнение показывает, что разброс значений поглощенных доз, определенный этими методами, не превышает 9-11% для энергий протонов от 82 до 120 МэВ и 18-24% - при энергиях протонов более 150 МэВ. Обращает на себя внимание низкое значение чувствительности ТЛД, полученное в настоящей работе по сравнению с данными ряда зарубежных работ. Авторы настоящей работы, не исключают возможности влияния сорта частиц с одной и той же ЛПЭ на чувствительность термолюминесцентных детекторов /ТЛД/.

Работа выполнена в Отделе радиационной безопасности и радиационных исследований ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1979

Bamblevsky V.P. et al.

P16 - 12705

Comparison of Different Methods and Techniques for Determination of Adsorbed Dose in Proton Beams with the Energy within 82-660 MeV Range

Proton adsorbed doses determined using thermoluminescent, activation and ionization methods are compared. It is shown that dispersion of adsorbed dose values determined does not exceeds 9-11 percent for proton energies from 82 upto 120 MeV and 18-24 percent for proton energies more than 150 MeV. A low value of sensitivity of thermoluminescent detectors as compared to data already available is pointed to. The influence of kind of particles of similar LET on thermoluminescent detector sensitivity is not excluded.

The investigation has been performed at the Department of Radiation Safety and Radiation Researches, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1979

Для измерения поглощенных доз при облучении пучком протонов высоких энергий широкое применение получили ионизационные, активационные и люминесцентные методы. В этой связи актуальным является сравнение этих методов с целью установления степени согласия между ними.

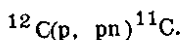
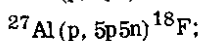
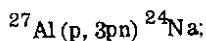
Настоящая работа содержит результаты сравнения поглощенных доз в пучке протонов с энергией 82, 112, 197 и 634 МэВ, установленных с помощью ионизационной камеры, активационных детекторов из углерода и алюминия и термолюминесцентных детекторов.

ЭКСПЕРИМЕНТ

А. Детекторы. Сравнение проводилось для трех типов детекторов: а/ ионизационной воздухоэквивалентной камеры /объемом 1,5 см³/ с прибором "V.A-J-18" /ГДР/; б/ набора термолюминесцентных детекторов /ТЛД/ с приборами типов ТЛД-04В^{1/} и "Models 2000A+B" фирмы "Harshaw" /США/; в/ активационных детекторов из углерода и алюминия. Градуировка ионизационной камеры проводилась с помощью источника γ -квантов ¹³⁷Cs, выход которого известен с точностью $\pm 5\%$.

Использовались шесть типов термолюминесцентных материалов в виде порошка и таблеток из поликристаллов /см. табл.1/.

С помощью активационных детекторов из алюминия / ϕ 20x0,3/ мм и углерода / ϕ 20x3/ мм определялся флюенс протонов по следующим реакциям:



Значения сечений реакция взяты из работ^{5-10/} /см. табл. 2/.

Таблица 1

Условия отжига и коэффициенты перехода от экспозиционной к поглощенной дозе
 γ -квантов 60Co

Наименование ТД материала	Условия отжига (последовательность согласно тексту)	K (рад/Р)
Порошки $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ производства ВНР и фирмы "Nageloh"	0,5 часа при $T=400^\circ\text{C}$, естественное охлаждение до комнатной температуры;	0,869/4/
порошок $\text{CaF}_2 \cdot \text{Dy}$ фирмы "Nageloh" (ТДЦ-200)	1 час при $T=400^\circ\text{C}$, естественное охлаждение до комнатной температуры	0,853/3/ I) 0,869/4/
порошок $\text{La}_2\text{B}_2\text{O}_7 \cdot \text{Mn}$ производства ГДР	0,25 часа при $T=300^\circ\text{C}$, естественное охлаждение до комнатной температуры	0,849 2)
порошок $\text{LaF}_3 - 200\text{Ti}$ производства ГДР	1 час при $T=250^\circ\text{C}$, быстрое охлаждение на массовом листе из Al ; 24 часа при $T=80^\circ\text{C}$, естественное охлаждение до комнатной температуры	0,807/2/
LaF_3 (ТДЦ-100, ТДЦ-600, ТДЦ-700) порошки фирмы "Telefunken Isotore" поликристаллы фирмы "Nageloh"	1 час при $T=400^\circ\text{C}$, быстрое охлаждение на массовом листе из Al ; 24 часа при $T=80^\circ\text{C}$, естественное охлаждение до комнатной температуры	ТДЦ-100 0,807/2/ ТДЦ-600 0,835/2/ ТДЦ-700 0,805/2/

- 1) Для дальнейших расчетов авторы воспользовались коэффициентом $K = 0,853$.
 2) Предложено авторами настоящей работы.

Таблица 2

Тормозная способность протонов и сечение ядерных реакций, принятые в расчетах

Энергия протонов $E_p, \text{МэВ}$	Тормозная способность протонов в различных ТДЦ ($\text{МэВ}/(\text{г}/\text{см}^2)$)				Сечение ядерных реакций (мобарн)					
	CaSO_4	Dy_2O_3	CaF_2	Dy_2O_3	^{14}P	^{15}P	^{16}P	^{17}P	$^{27}\text{Al}(\text{p}, 3\text{pn})^{24}\text{Mg}$	$^{27}\text{Al}(\text{p}, 5\text{pn})^{24}\text{P}$
82	7,2	6,8	7,08	7,08	7,08	7,35	7,58	71	-	-
112	5,63	5,38	5,60	5,60	5,60	5,80	6,30	59,2	-	-
197	3,78	3,65	3,78	3,78	3,78	3,93	3,93	40,2	-	-
634	2,05	2,00	2,06	2,06	2,06	2,07	2,08	$30 \pm 1,0$	$10,8 \pm 0,7$	$7,9 \pm 0,5$

Б. Пучки протонов. Облучение детекторов проводилось на синхротронном ускорителе в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ. Первичный пучок протонов с энергией ~ 640 МэВ тормозился графитовым поглотителем перед защитой до заданной энергии и магнитным полем направлялся в коллиматор диаметром 10 см. Ось коллиматора располагалась под углом 14° к оси первичного пучка ^{11}B и тем самым пучок протонов очищался от нейтрального компонента излучения, возникающего в "замедлителе". Значения средних энергий и дисперсий протонов по энергиям рассчитывались по экспериментальным кривым Брэгга. На рис. 1 показаны параметры пучков протонов со средними энергиями 82, 112 и 197 МэВ. Использовался также пучок без тормозителя, но при этом для получения более равномерного распределения флюенса протонов на выходе из коллиматора, на пути первичного пучка протонов перед поворотным магнитом помещалась свинцовая пластина толщиной 4 мм.

В местах размещения детекторов неравномерность флюенса протонов для пучков с энергией менее 200 МэВ не превышала

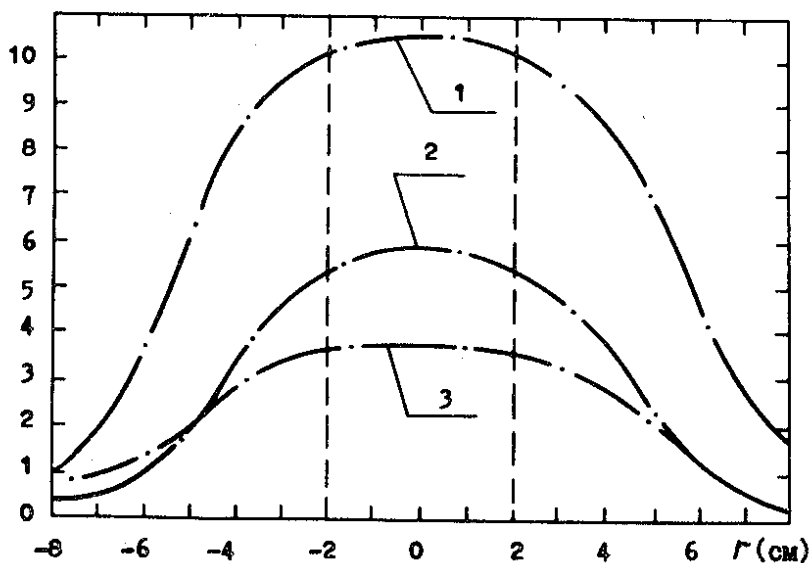


Рис. 1. Радиальное распределение интенсивности I /отн. ед./ протонного пучка на выходе коллиматора с внутренним диаметром 10 см; r — расстояние от оси коллиматора. 1 — $\bar{E}_1=197$, $S_1=20$; 2 — $\bar{E}_2=112$, $S_2=20$; 3 — $\bar{E}_3=82$, $S_3=17,5$. \bar{E} — средняя энергия пучка /МэВ/, S — дисперсия пучка по энергии /МэВ/.

$\pm 2\%$ /зона отмечена пунктиром на рис. 1/ и $\pm 5-6\%$ для пучка с энергией ~ 634 МэВ.

Измерение активностей пороговых детекторов в абсолютных единицах после облучения их протонами $E_p = 640$ МэВ проводилось на сцинтилляционном γ -спектрометре с кристаллом NaJ(Tl) размером 80×60 мм, и разрешением по ^{137}Cs около $9,5\%$.

При определении активностей вводились поправки на геометрические размеры источников ^{12/}, самопоглощение и эффекты суммирования γ -квантов ^{13,14/}. Данные о схемах распада изотопов ^{11}C , ^{24}Na , ^{18}F брались из ^{15/}. Измерение активности углеродсодержащего детектора, облученного протонами с энергией 640 МэВ, проводилось также на установке β - γ -совпадений.

Для энергий протонов $E_p < 200$ МэВ использовался углеродсодержащий активационный детектор, причем измерения активностей по изотопу ^{11}C проводились только на установке β - γ -совпадений.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТА.

Выводы

В табл. 3 приведены значения поглощенной дозы протонов в воздухе, определяемые тремя различными методами.

а/ Термолюминесцентные детекторы

Поглощенная доза протонов в воздухе D_{nb}^i для i -го детектора определялась по формуле

$$D_{nb}^i = \epsilon_i \frac{Tl_i}{\tau_i} \cdot k_i \text{ /рад/},$$

где Tl_i - отклик i -го ТЛД на облучение протонами, τ_i - отклик i -го ТЛД на один рентген экспозиционной дозы от γ -квантов ^{60}Co , k_i - коэффициент перехода от экспозиционной дозы к поглощенной дозе γ -квантов ^{60}Co в материале i -го ТЛД /табл. 1/, ϵ_i^* - отношение тормозной способности протонов в воздухе к их тормозной способности в материале i -го ТЛД. Здесь следует отметить, что для ТЛД LiF , ^6LiF , ^7LiF , $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$, Mn , CaSO_4 :Дупроизведение $\epsilon_i \times k_i$ с точностью $3-4\%$ равно $0,88$ - коэффициенту перехода от экспозиционной дозы к поглощенной дозе γ -квантов ^{60}Co в воздухе.

*Расчеты тормозных способностей протонов в материалах ТЛД проведены В.И.Цовбуном по программе, предложенной в работе ^{16/}. В работе ^{17/} данные ^{16/} сравнивались с поздними расчетами; согласие хорошее.

Таблица 3

Результаты сравнения различных методов по определению абсолютных значений поглощенных доз протонов

Средняя энергия протонов (МэВ)	Поглощенная доза протонов в воздухе: Среднее значение	ТЛД	I): ТЛД	I): ТЛД	активационный метод: (кэВ/м)	элементарный метод: (кэВ/м)	I ₁	I ₂	I ₃	средняя чувствительность ТЛД		
										рад	ЛПЗ	В
82	7,31±0,58	8,42	8,31	1,97±0,11	0,86±0,07	0,90±0,04	1,12±0,04					
112	7,83±0,41	8,76	8,44	1,55±0,09	0,86±0,06	0,94±0,03	1,14±0,05					
197	6,73±0,35	9,84	8,18	1,05±0,07	0,67±0,04	0,84±0,05	0,96±0,05					
634	10,35±0,97	13,51	12,72	0,57±0,04	0,75±0,06	0,83±0,07	1,0					

1/ Погрешность измерений не превышает ±15%. $2/ \text{ЛПЗ}_{\infty} / \text{ТЛД} = \left(\frac{1}{\rho} \frac{dE}{dx} \right)_{\text{ТЛД}} \times \rho_{\text{ТЛД}}$,
 $\rho(\text{CaSO}_4 : \text{Dy}) = 2,61 \text{ (г/см}^3)$; $\rho(\text{CaF}_2 : \text{Dy}) = 3,18 \text{ (г/см}^3)$; $\rho(\text{LiF}) = 2,64 \text{ (г/см}^3)$ -
 взяты из технической документации прибора "Harshaw", "Models 2000A + B",
 $\rho(\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7 : \text{Mn}) = 3,0$ /предложено авторами настоящей работы/.

Для $\text{CaF}_2 : \text{Dy}$ $\epsilon_i \times k_i$ равно 0,88 при $k_i = 0,790 \pm 0,020$.
 В табл. 3 представлены усредненные по всем ТЛД значения поглощенных доз, т.к. в пределах ошибок измерения величины поглощенных доз, измеренные различными ТЛД, совпадают.

б/ Активационные детекторы

$$D_{nb} = \left(\frac{1}{\rho} \frac{dE}{dx} \right)_{\text{воздух}} \times \Phi \times 1,6 \cdot 10^{-8} \text{ /рад./,}$$

где $\left(\frac{1}{\rho} \frac{dE}{dx} \right)_{\text{воздух}}$ тормозная способность протонов в воздухе,
 Φ - флюенс протонов, определенный с помощью активационных детекторов.

в/ Ионизационная камера

Поглощенная доза протонов в воздухе D_{nb} , определенная с помощью ионизационной камеры, может быть описана выражением:

$$D_{nb} = D(R) \cdot 0,88 \text{ /рад./.}$$

Формула записана на том основании, что отношение тормозных способностей протонов в воздухе к тормозной способности протонов в стенках камеры в указанном диапазоне энергий протонов с точностью 5% равно единице.

На основании указанных расчетов была определена чувствительность ТЛД

$$\eta_1 = \frac{D_{nb} \text{ /ТЛД/}}{D_{nb} \text{ /активац. детекторы/}},$$

$$\eta_2 = \frac{D_{nb} \text{ /ТЛД/}}{D_{nb} \text{ /ионизац. камера/}},$$

$$\eta_3 = \frac{\eta_1^* + \eta_2^*}{2},$$

где

$$\eta_1^*(E_p) = \frac{\eta_1(E_p)}{\eta_1(E_p = 634 \text{ МэВ})}, \quad \eta_2^*(E_p) = \frac{\eta_2(E_p)}{\eta_2(E_p = 634 \text{ МэВ})}.$$

Значения η_1 , η_2 и η_3 приведены в табл. 3.

Сравнение показывает, что разброс значений поглощенной дозы протонов в воздухе, определенных тремя различными мето-

дами, не превышает $9 \div 11\%$ для энергий протонов в диапазоне $80 \div 120$ МэВ и $18 \div 24\%$ при энергии протонов более 150 МэВ.

Обращает на себя внимание более низкое значение чувствительности ТЛД, полученное в настоящей работе по сравнению с данными [18,19]. Авторы не исключают возможности влияния сорта частиц с одной и той же ЛПЭ на чувствительность ТЛД.

ЛИТЕРАТУРА

1. Sabo B. et al. KFKI-1977-33, Budapest, 1977.
2. Attix F.H. Phys.Med.Biol., 1969, 14, p.147-148.
3. Lindeken G.L. et al. Health Phys., 1973, 24, p.81-86.
4. Nambi K.S.V. Nucl.Instr.& Meth., 1975, 130, p.239-243.
5. Measday O.P. Nucl.Phys., 1966, 78, p.476.
6. Cumming J.B. Nucl.Phys., 1963, 49, p.417.
7. McMillan. Phys.Rev., 1948, 73, p.48.
8. Valentin L. Nucl.Phys., 1965, 62, p.81.
9. Tobailem J., de Lassus St.Genies C.H., Leveque L. Report CEA-N-1446.
10. Cumming J.B. Ann. Rev.Nucl., 1963, 13, p.261.
11. Желепов В.П. и др. Сборник под редакцией В.П.Желепова, А.И.Рудермана. ОИЯИ, 9035, Дубна, 1975.
12. Бамблевский В.П. ОИЯИ, P13-10367, Дубна, 1977.
13. Крамер-Агеев Е.А., Трошин В.С., Тихонов Е.Г. Активационные методы спектрометрии нейтронов. Атомиздат, М., 1976.
14. Вартанов Н.А., Самойлов П.С. Прикладная сцинтилляционная гамма-спектрометрия. Атомиздат, М., 1975.
15. Гусев Н.Г., Дмитриев П.П. Квантовое излучение радиоактивных нуклидов /справочник/. Атомиздат, М., 1977.
16. Steward P.G. Ph.d.thesis, UCRL-18127, 1968.
17. Rsic computer code collection. CCC-228, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, 1974.
18. Tochilin E. et al. In Proc. Int. Conf. Luminescence Dosimetry, CONF-680920, 1968, p.424-437.
19. Henson A.M., Thomas R.H. Preprint, LBL-6477, 1978.

Рукопись поступила в издательский отдел
31 июля 1979 года.