

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

A 91

16-87-486

А.А.Астапов, В.П.Бамблевский

НАВЕДЕННАЯ АКТИВНОСТЬ
ТОЛСТЫХ МЕДНОЙ И СВИНЦОВОЙ МИШЕНЕЙ,
ОБЛУЧЕННЫХ ПРОТОНАМИ, ЯДРАМИ ^4He И ^{12}C
С ЭНЕРГИЕЙ 3,65 ГэВ/нуклон

Направлено в Оргкомитет I Всесоюзного
совещания-семинара молодых ученых "Ускорители
заряженных частиц и радиационная физика",
Москва, 5-11 сентября 1987 года.

1987

ВВЕДЕНИЕ

Основной вклад в дозу внешнего облучения обслуживающего персонала ускорителя высоких энергий вносит наведенная активность γ -излучения. На установках, ускоряющих тяжелые частицы до энергии ≥ 1 ГэВ/нукл., он может превышать 50% ¹⁻³.

В данной работе рассмотрены уровни наведенной активности в зависимости от материала мишени, типа ускоряемых частиц и времени t , прошедшего с момента прекращения облучения. Даны также рекомендации для проведения оценок мощности дозы $\dot{d}_A(t)$ от наведенной активности толстой мишени на одно упавшее ядро с атомным весом A при наличии аналогичной информации для протонов с той же энергией на нуклон.

1. ЭКСПЕРИМЕНТ

Облучение медной мишени / ϕ 100x130 мм²/ проводилось пучками ядер ^4He и ^{12}C , а свинцовой - / ϕ 100x170 мм²/ - протонов и ядер ^{12}C /рис.1а/ с энергией 3,65 ГэВ/нукл. в течение, примерно, 4 ч.

Условия облучения, мониторинг были такими же, как и в /4,5/. Контроль за облучением проводился с помощью ионизационной камеры /6/, а общее число упавших на мишени частиц $Q_{uM}(u_c)$, где u_c и u_M - индексы ядра-снаряда и ядра-мишени соответственно, определялось с по-

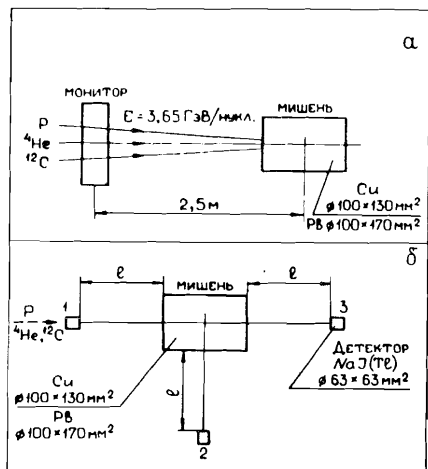


Рис.1. а - геометрия облучения мишеней; б - геометрия измерений мощности дозы облученной мишени: 1 - со стороны входа пучка первичных частиц, 2 - сбоку, 3 - со стороны выхода пучка первичных частиц.

мощью реакций активации $^{27}\text{Al}(u_c, x) ^{18}\text{F}$ и $^{27}\text{Al}(u_c, x) ^{24}\text{Na}$, значения сечений которых брались из $^{15}/\text{Gu}_M(u_c)$, определенные активационным детектором и камерой /после введения поправок на ее просчеты/, согласуются между собой в пределах ошибок измерения. Определены следующие значения $\text{Gu}_M(u_c)$:

$$G_{Cu}(^4\text{He}) = (1,0 \pm 0,1) \cdot 10^{13} [^4\text{He}] \quad G_{Pb}(P) = (13,7 \pm 0,7) \cdot 10^{13} [P]$$

$$G_{Cu}(^{12}\text{C}) = (4,1 \pm 0,4) \cdot 10^{10} [^{12}\text{C}] \quad G_{Pb}(^{12}\text{C}) = (4,2 \pm 0,2) \cdot 10^{11} [^{12}\text{C}].$$

Измерения мощности экспозиционной дозы от облученных мишеней проводились так же, как и в $^{17}/$, с помощью датчика БДЭГ2-23 с детектором NaJ(Tl) размером $\varnothing 63 \times 63$ мм² и амплитудным многоканальным анализатором NTA-1024. Геометрия измерений показана на рис.1б.

2. РАСЧЕТ

Когда мишень облучали ядрами с атомным весом A , мощность дозы от первичного пучка на одну упавшую частицу $\dot{d}_A^{\circ}(\vec{r}, t)$ рассчитывалась на основании $^{18}/$, по формулам:

$$\dot{d}_A^{\circ}(\vec{r}, t) = N \frac{\sum_p^{\text{in}}}{\sum_A^{\text{in}}} \frac{1 - e^{-\sum_A^{\text{in}} h}}{1 - e^{-\sum_p^{\text{in}} h}} \dot{d}_p^{\circ}(\vec{r}, t), \quad /1/$$

$$N = A^{1/4} + (A - 1)^{0,6} \cdot 0,078 (\ln A_M - 1,85), \quad /2/$$

где A_M - атомный вес ядра-мишени; \sum_A^{in} и \sum_p^{in} - макроскопические сечения неупругого взаимодействия первичных ядер и протонов соответственно в веществе мишени; h - длина мишени по пучку; $\dot{d}_p^{\circ}(\vec{r}, t)$ - мощность дозы на одну упавшую частицу от наведенной активности мишени, обусловленной первичным пучком протонов с той же энергией на нуклон, в точке пространства \vec{r} .

А мощность дозы $\dot{d}_A^{\text{bm}}(\vec{r}, t)$, обусловленной вторичными частицами, - с помощью выражения:

$$\dot{d}_A^{\text{bm}}(\vec{r}, t) = A \frac{1 - e^{-\sum_A^{\text{in}} h}}{1 - e^{-\sum_p^{\text{in}} h}} \dot{d}_p^{\text{bm}}(\vec{r}, t), \quad /3/$$

где $\dot{d}_p^{\text{bm}}(\vec{r}, t)$ - аналогичная величина для случая облучения протонами. Результирующая величина мощности дозы будет:

$$\dot{d}_A(\vec{r}, t) = \dot{d}_A^{\circ}(\vec{r}, t) + \dot{d}_A^{\text{bm}}(\vec{r}, t). \quad /4/$$

3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

Полученные экспериментальные временные распределения мощности экспозиционной дозы от наведенной активности свинцовой мишени, облученной протонами и ядрами ^{12}C , при $\ell = 13$ см для различных геометрий измерений представлены на рис.2-4. На рисунках показана лишь ошибка мониторингования, которая не превышала 10%. Дополнительная погрешность определения мощности дозы γ -излучения носила систематический характер и была не хуже 15%.

Отношения мощностей доз $\dot{d}_{12\text{C}} / \dot{d}_p$ для свинцовой мишени приведены в таблице.

На рис.5 и 6 представлены расчетные и экспериментальные временные распределения мощности экспозиционной дозы в точках измерения 1 и 3 соответственно, при $\ell = 23$ см для медной мишени, облученной протонами и ядрами ^4He и ^{12}C . Для случая про-

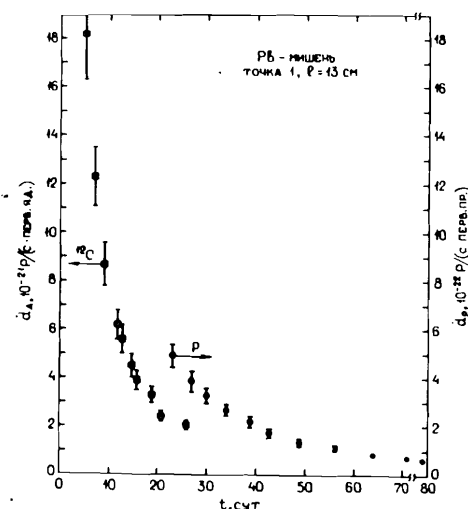


Рис.2. Временные зависимости мощностей экспозиционных доз в точке 1 /см.рис.1/ от наведенной активности свинцовой мишени, облученной протонами (●) и ядрами ^{12}C (■).

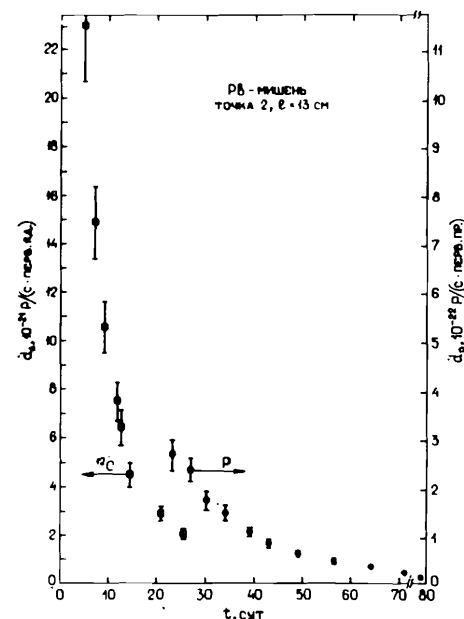


Рис.3. Временные зависимости мощностей экспозиционных доз в точке 2 /см.рис.1/ от наведенной активности свинцовой мишени, облученной протонами (●) и ядрами ^{12}C (■).

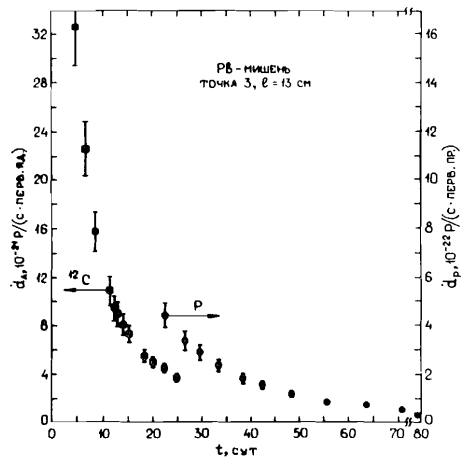


Рис.4. Временные зависимости мощностей экспозиционных доз в точке 3 /см.рис.1/ от наведенной активности свинцовой мишени, облученной протонами (●) и ядрами ^{12}C (■).

тонов экспериментальные данные взяты из [7]. Расчетные величины \dot{d}_p получены с использованием метода Монте-Карло, так же как и в [7], а \dot{d}_A - по формулам [1]-[4].

Предложенные переходные формулы дают результаты, отличающиеся от экспериментальных не более чем на 25%.

Отметим, что расчет используемой в дальнейшем величины \dot{d}_p дает занижение, примерно, на 30% [7]. С учетом этого можно сказать, что при переходе по [1]-[4] будем получать вполне удовлетворительные оценки значений \dot{d}_A . Причем с увеличением A падающих ядер будет наблюдаться все большее завышение расчетных данных над экспериментальными.

Таблица

Отношение \dot{d}_A/\dot{d}_p мощностей доз, обусловленных наведенной активностью в мишенях при бомбардировке ядрами и протонами

Мишень	\dot{d}_A/\dot{d}_p	Тип данных	ГЕОМЕТРИЯ ИЗМЕРЕНИЯ		
			1	2	3
Cu $\phi 100 \times 130 \text{ мм}^2$	$\dot{d}_{4\text{He}}/\dot{d}_p$	ЭКСПЕРИМ.	$3,4 \pm 0,9$	—	$3,4 \pm 0,9$
		РАСЧЕТ	3,2	—	4,0
	$\dot{d}_{^{12}\text{C}}/\dot{d}_p$	ЭКСПЕРИМ.	$7,9 \pm 2,0$	—	$9,6 \pm 2,4$
		РАСЧЕТ	9,3	—	12,7
Pb $\phi 100 \times 170 \text{ мм}^2$	$\dot{d}_{^{12}\text{C}}/\dot{d}_p$	ЭКСПЕРИМ.	$5,0 \pm 1,3$	$10,3 \pm 2,6$	$10,4 \pm 2,6$

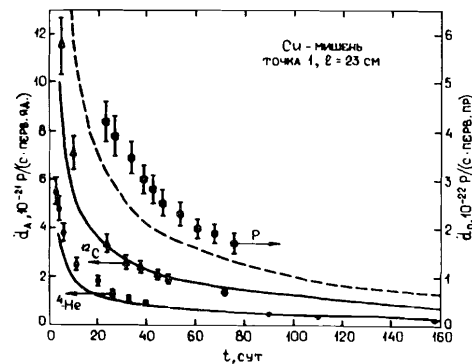
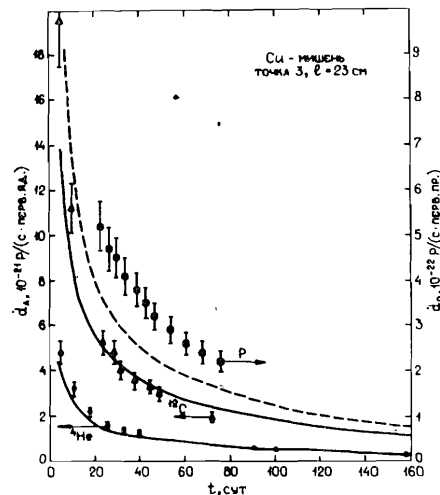


Рис.5. Экспериментальные и расчетные временные зависимости мощностей экспозиционных доз в точке 1 /см.рис.1/ от наведенной активности медной мишени, облученной протонами (■), ядрами ^4He (●) и ^{12}C (▲).

Рис.6. Экспериментальные и расчетные временные зависимости мощностей экспозиционных доз в точке 3 /см.рис.1/ от наведенной активности медной мишени, облученной протонами (■), ядрами ^4He (●) и ^{12}C (▲).



Еще лучшее согласие имеют экспериментальные и расчетные отношения \dot{d}_A/\dot{d}_p /см. табл./.

Из приведенных выражений следует, что \dot{d}_A в основном обусловлена величиной \dot{d}_A^{bm} , и при росте A отношение $\dot{d}_A^o/\dot{d}_A^{bm}$ убывает. Поэтому, когда получение составляющих \dot{d}_p^o и \dot{d}_p^{bm} затруднительно, для толстых мишеней с некоторым завышением будет приемлема формула

$$\dot{d}_A(\vec{r}, t) = A \frac{1 - e^{-\sum_A^{in} h}}{1 - e^{-\sum_p^{in} h}} \dot{d}_p(\vec{r}, t). \quad /5/$$

Можно ожидать, что приведенные в данной работе формулы будут применимы при исследовании долгоживущей компоненты наведенной активности толстых мишеней с радиусом и толщиной $\leq 2\lambda$ / λ - длина свободного пробега до неупругого взаимодействия/ и легких ядер / $A \leq 12$ / с энергией ≥ 1 ГэВ/нукл.

Так как практическая реализация в достаточно корректной форме моделирования наработки радионуклидов, аналогично [7],

для ядер сопряжена со многими трудностями, полученные экспериментальные данные и простые оценочные выражения окажутся полезными для определения уровней наведенной активности при работе на ускорителях релятивистских ядер.

Авторы выражают благодарность М.М.Комочкову за постановку задачи и полезные обсуждения, А.В.Корытову и А.Н.Резунику за помощь в проведении эксперимента, А.Р.Крылову - за полезные замечания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зайцев Л.Н., Комочков М.М., Сычев Б.С. Основы защиты ускорителей. М.: Атомиздат, 1971.
2. Алейников В.Е. и др. ОИЯИ, Р16-80-601, Дубна, 1980.
3. Комочков М.М., Лебедев В.Н. Практическое руководство по радиационной безопасности на ускорителях заряженных частиц. М.: Энергоатомиздат, 1986.
4. Алейников В.Е. и др. В кн.: Труды VIII Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. ОИЯИ, Дубна, 1983, т.2, с.189.
5. Бамблевский В.П. ОИЯИ, 16-85-35, Дубна, 1985.
6. Алейников В.Е., Тимошенко Г.Н. ОИЯИ, 16-83-359, Дубна, 1983.
7. Астапов А.А., Бамблевский В.П. ОИЯИ, Р16-85-435, Дубна, 1985.
8. Комочков М.М. ОИЯИ, Р16-83-190, Дубна, 1983.

Рукопись поступила в издательский отдел
29 июня 1987 года.

Астапов А.А., Бамблевский В.П.

16-87-486

Наведенная активность толстых медной и свинцовой мишеней, облученных протонами, ядрами ${}^4\text{He}$ и ${}^{12}\text{C}$ с энергией 3,65 ГэВ/нуклон

Представлены экспериментальные результаты по временным распределениям мощностей доз γ -излучения $\dot{D}(t)$ от наведенной активности мишеней: медной - размерами ϕ 100x130 мм² и свинцовой - размерами ϕ 100x170 мм². Медная мишень облучалась ядрами ${}^4\text{He}$ и ${}^{12}\text{C}$, свинцовая - протонами и ядрами ${}^{12}\text{C}$ с энергией 3,65 ГэВ/нуклон. Значения $\dot{D}(t)$ определялись с помощью сцинтилляционного детектора с кристаллом NaJ(Tl) размерами ϕ 63x63 мм². Для оценок мощности дозы $\dot{d}(t)$ от наведенной активности мишени на одно упавшее ядро с атомным весом A применимо выражение $\dot{d}_A = K \cdot A \cdot \dot{d}_p$, где \dot{d}_p - аналогичная величина для протонов с той же энергией на нуклон, а K учитывает различие в числе неупругих взаимодействий в мишени ядер и протонов. По рассчитанным методом Монте-Карло относительным вкладам для первичных и вторичных частиц в мощность дозы \dot{d}_p получены расчетные значения \dot{d}_A , которые с точностью до коэффициента 2 совпадают с экспериментальными результатами.

Работа выполнена в Отделе радиационной безопасности и радиационных исследований ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1987

Перевод О.С.Виноградовой

Astapov A.A., Bamblevski V.P.

16-87-486

Induced Radioactivity of Thick Copper and Lead Targets, Irradiated by ${}^4\text{He}$ and ${}^{12}\text{C}$ Protons and Ions with Energy 3,65 GeV/Nucleon

Experimental results on temporary distributions of γ -dose rate $\dot{D}(t)$ from induced radioactivity of copper and lead targets with ϕ 100x130 мм² and ϕ 100x170 мм² dimensions, respectively are presented. The copper target was irradiated by ${}^4\text{He}$ and ${}^{12}\text{C}$ ions, the lead one - by protons and ${}^{12}\text{C}$ ions with 3.65 GeV/nucleon energy. $\dot{D}(t)$ values were defined by means of scintillator detector with NaJ(Tl) crystal having ϕ 63x63 мм² dimension. The evaluate the $\dot{d}_A(t)$ dose rate from induced radioactivity of the target on a certain dropped nucleon with atomic weight A expression $\dot{d}_A = K \cdot A \cdot \dot{d}_p$ can be applied, where \dot{d}_p - analogous quantity for protons of the same energy per nucleon, and K accounts distinction in quantity of inelastic interactions in target of protons and ions. A relative contribution calculated by the Monte-Carlo method, for primary and secondary particles in \dot{d}_p dose rate calculation values of \dot{d}_A , received with accuracy to coefficient 2, coincide with experimental results.

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

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1987