

С 349 g

К-636

15/III-65

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

P-2008



М.М. Комочков

ОЦЕНКА ДОЗЫ ПРИ СЛУЧАЙНЫХ ОБЛУЧЕНИЯХ
ЧАСТИЦАМИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ
В ЗНАЧИТЕЛЬНЫХ КОЛИЧЕСТВАХ

P-2008

М.М. Комочков

ОЦЕНКА ДОЗЫ ПРИ СЛУЧАЙНЫХ ОБЛУЧЕНИЯХ
ЧАСТИЦАМИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ
В ЗНАЧИТЕЛЬНЫХ КОЛИЧЕСТВАХ

2996/3 48.

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

При работе современных ускорителей протонов на высокие энергии возникает излучение, состоящее в основном из протонов и нейтронов, мощность поглощенной дозы которого доходит до нескольких сотен рад/сек вблизи ускорителей. Существующие системы защиты от облучения и контроля за обеспечением безопасных условий сводят к минимуму возможность случайного облучения персонала большими дозами, однако не исключают ее полностью. При этих обстоятельствах важно, чтобы службы дозиметрического контроля располагали методом определения больших доз при случайных облучениях на ускорителях. Применение существующих методов контроля аварийных доз на реакторах может только частично решить поставленную задачу, так как спектр нейтронов и протонов от ускорителей существенно отличается от спектра нейтронов деления наличием частиц высоких энергий.

В данной работе предлагается экспериментальный метод оценки дозы при случайных облучениях нейтронами и протонами высоких энергий. Метод основан на измерении наведенной радиоактивности тела человека, подвергшегося облучению частицами высоких энергий. Как известно, такой способ определения степени воздействия радиации не является новым. В данном случае предлагается лишь упрощенный вариант общеизвестного метода, который может быть легко осуществлен для персонала ускорителей протонов на высокие энергии.

1. Количественная характеристика метода

При облучении ткани человека нейтронами и протонами образуются радиоактивные изотопы, удельная радиоактивность одного из которых q_1 определяется с помощью следующего известного соотношения:

$$q_1 = J \sigma_{i,j} n_j [1 - e^{-\lambda_1 t_1}] e^{-\lambda_1 t} \quad (1)$$

Здесь J - плотность потока частиц, например, протонов, $\sigma_{i,j}$ - сечение образования i -го изотопа при взаимодействии протонов с ядрами j -го элемента, n_j - число ядер j -го элемента в единице объема, λ_1 - постоянная распада i -го изотопа, t_1 - время облучения, t - время после облучения.

При определении активности i -го изотопа с помощью какого-либо чувствительного радиометра может быть использовано следующее соотношение:

$$q_i = \frac{N_i}{\epsilon_i},$$

где N_i — показание радиометра, а ϵ_i — коэффициент, учитывающий геометрию измерения, эффективность регистрации излучения и т.д. Очевидно справедливо и следующее выражение:

$$N_i = J \epsilon_i \sigma_{i,j} n_j [1 - e^{-\lambda_i t}] e^{-\lambda_i \tau}. \quad (2)$$

Показание прибора, обусловленное радиоактивностью всех изотопов, образующихся в ткани, будет определяться следующим соотношением:

$$N = J \sum_i \sum_j \epsilon_i \sigma_{i,j} n_j [1 - e^{-\lambda_i t}] e^{-\lambda_i \tau}. \quad (3)$$

Из большого количества радиоактивных изотопов, образующихся в теле человека при облучении частицами высоких энергий, практическое значение имеют лишь изотопы, образующиеся в заметном количестве при разумном времени случайного облучения ($t < 1$ час). К таким изотопам относятся радиоактивные изотопы O^{15} , N^{13} и C^{11} образующиеся в основном из ядер O^{16} и C^{12} . Сечения образования изотопов O^{15} , N^{13} и C^{11} известны для широкого диапазона энергии протонов ^{1/1/}. Поэтому для определения зависимости показания радиометра от плотности потока или от дозы протонов достаточно определить коэффициенты ϵ_i .

2. Градуировка радиометра

В качестве прибора для регистрации наведенной радиоактивности в ткани был выбран стандартный радиометр для измерения уровней гамма-бета-альфа-излучений типа "Тисс", широко распространенный в СССР. Измерения проводились с датчиком гамма-бета-излучений, представляющим собою набор гейгеровских счетчиков со стальными стенками толщиной 0,5 - 0,55 кг/м². Определение коэффициентов ϵ_i — градуировка радиометра — осуществлялась в измерениях радиоактивности воды, облученной известным потоком протонов с энергиями 880 Мэв от синхроциклотрона. Эта замена ткани водой кажется правомерной, так как при облучении воды образуются в основном те же радиоактивные изотопы, что и при облучении ткани, и вода является в достаточной степени ткане-эквивалентной средой. При градуировке радиометра и последующих измерениях постоянство эффективности регистрации бета-гамма-излучений контролировалось эталонным препаратом из туллия-204. Эффективность регистрации бета-частиц туллия составляла 10% при равенстве площадей (0,015 м²) датчика радиометра и поверхности, на которую нанесен туллий-204. Определенные при этих условиях коэффициенты ϵ_i для радиоактивных

изотопов кислорода - 15, азота -14 и углерода -11, были найдены равными соответственно $5 \cdot 10^{-8}$; $0,9 \cdot 10^{-8}$; $1,9 \cdot 10^{-8}$ $\frac{\text{ИМП} \cdot \text{м}^3}{\text{протон}}$. Эти данные позволяют определить чувствительность метода для используемого радиометра, которая при благоприятных условиях (измерения проводятся через несколько минут после облучения при наличии только природного фона) составляет несколько сотен миллиард.

3. Оценка дозы по показаниям радиометра

Расчитанные с помощью формулы (3) зависимости показаний прибора от поглощенной в ткани дозы ($J t k$) представлены на рис. 1. Расчет проведен для протонов с энергией 880 Мэв, для которых поглощенная доза на один протон "К" равна $5,3 \cdot 10^{-8} \frac{\text{рад}}{\text{протон}} / 2,3/$. При уменьшении энергии протонов увеличение коэффициента "К" компенсируется в значительной мере увеличением сечений образования радиоактивных изотопов, как это показывают расчеты, основанные на экспериментальных данных ^{1,3/}. С другой стороны, при увеличении энергии протонов свыше 880 Мэв уменьшение поглощенной дозы на один протон компенсируется уменьшением величин сечений $\sigma_{i,j}$. Все это позволяет с точностью до коэффициента 1,5 использовать данные рис. 1 для определения поглощенной дозы в ткани в широком диапазоне энергий протонов от 100 Мэв до десятков Гэв. Использование данных рис. 1 для оценки дозы, создаваемой нейтронами высоких энергий в ткани, приводит к большей неопределенности, чем в случае с протонами из-за отсутствия достоверных сведений о величинах $\sigma_{i,j}$ и "К". Оценки поглощенной дозы, сделанные в работе ^{2/}, и данные о сечении реакции $C^{12}(p, \alpha) C^{11}$ ^{3/} позволяют лишь приблизительно установить отношение поглощенной дозы при облучении ткани протонами высоких энергий к поглощенной дозе от нейтронов при одной и той же наведенной ими активности в ткани (т.е. при одинаковых показаниях радиометра). Это отношение составляет величину 2-3 для энергий частиц в несколько сот Мэв и выше.

Следует отметить, что неопределенность в оценке дозы данным методом существенно зависит также от достоверности величин времени случайного облучения t и отрезка времени от конца облучения до момента измерений τ . Если отрезок времени τ может быть, как правило, определен, то время t не всегда можно восстановить. К счастью, для малых интервалов времени t , которые наиболее вероятны на практике, большая неопределенность во времени t (например, в 10 раз) вызывает неопределенность, равную 15% по поглощенной дозе.

4. Проверка метода на облученных собаках

Для проверки практической пригодности метода были проведены контрольные измерения поглощенной дозы, полученной двумя собаками в пучке протонов с энергиями

120 Мэв. Методика облучения и характеристика поля излучения описаны в работе /3/. Каждую собаку облучали два раза: левый и правый бок отдельно, с небольшим интервалом времени между экспозициями. Поток протонов, а, следовательно, и поглощенная доза контролировались с помощью углеродных детекторов и люминесцентных индикаторов /3/. Доза, полученная собакой в каждой экспозиции, составляла 125 рад. Рассчитанные с помощью формулы (3) для этого случая зависимости показаний радиометра от времени после облучения τ представлены сплошными кривыми на рис. 2. Верхняя кривая соответствует дозе 250 рад, а нижняя кривая - дозе 125 рад. Таким образом, кривые образуют коридор неопределенности, которая обусловлена двумя экспозициями облучения и сравнительно небольшой энергией протонов. На рис. 2 представлены также экспериментальные точки, полученные для одной из собак. Выход экспериментальных точек из коридора неопределенности для малых величин τ объясняется, по-видимому, завышенным значением коэффициента для радиоактивного изотопа кислорода-15, определенного при градуировочных измерениях с радиоактивной водой.

Представленные результаты измерений и расчета показывают, что предлагаемый метод оценки дозы может быть рекомендован для практических целей.

Л и т е р а т у р а

1. Bruninx, CERN, 61-1. Nuclear Phys., Div., Geneva (1961).
2. Г.А. Аврунина в книге "Материалы по биологическому действию протонов высоких энергий" под редакцией А.А. Летавета и Э.Б. Курляндской. АМН СССР, Москва (1962) 10-29.
3. В.П. Афанасьев и др. Создание и исследование дозных полей для облучения экспериментальных животных протонами большой энергии. В материалах конференции "Биологические эффекты при облучении нейтронами и протонами" т.1, МАГАТЭ, Вена (1964) 71-90.

Рукопись поступила в издательский отдел
18 февраля 1965 г.

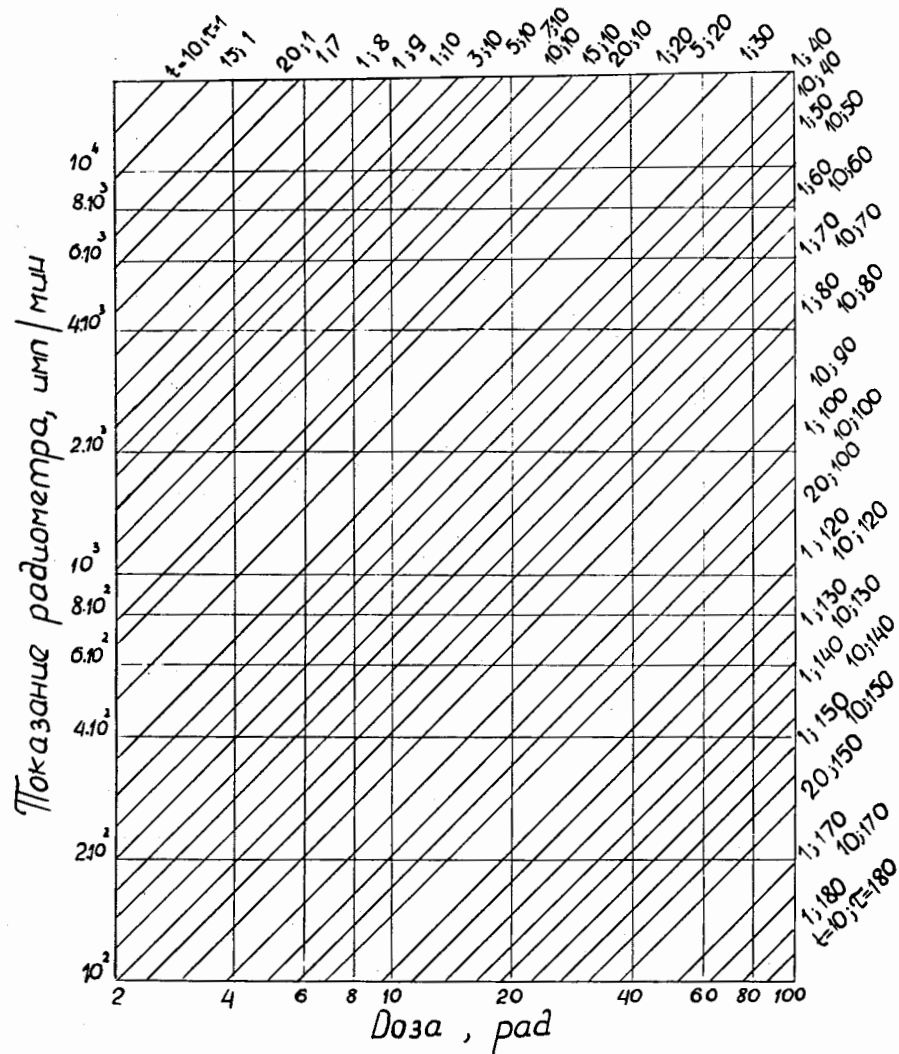


Рис. 1. Номограммы для определения поглощенной дозы протонов по наведенной ими радиоактивности в биологической ткани:
 t - время облучения, τ - время от конца облучения до момента измерения.

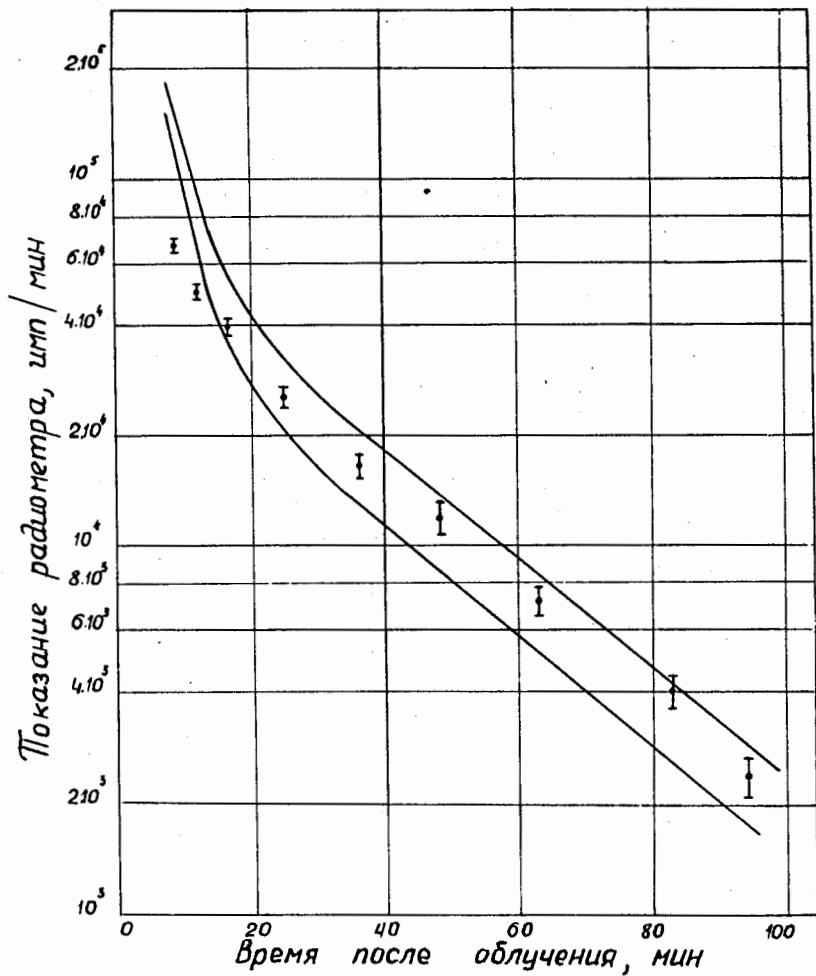


Рис. 2. Наведенная радиоактивность в теле собаки в различные моменты времени после облучения протонами. Доза облучения 250 рад:

⊕ - экспериментальные точки, — - расчетные кривые.