

С.349а

Nucleonika, 1968,
Т.13, №2, р.165-170

17/VI-67

3-507

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

P9 - 3363



М. Зельчинский, М.М. Комочков, Б.С. Сычев,
А.П. Череватенко

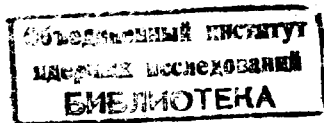
ИЗМЕРЕНИЕ ФАКТОРА КАЧЕСТВА ПРОТОНОВ
ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ В ВОДНОМ ФАНТОМЕ

P9 - 3363

50727, 49.
М. Зельчинский*, М.М. Комочков, Б.С. Сычев,
А.П. Череватенко

ИЗМЕРЕНИЕ ФАКТОРА КАЧЕСТВА ПРОТОНОВ
ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ В ВОДНОМ ФАНТОМЕ

* Институт ядерных исследований, Свердловск.



Вопросы радиационной безопасности в полях протонов высоких энергий становятся все более актуальными в связи с развитием экспериментальных работ, проводимых на ускорителях высоких энергий в режиме выведенного пучка протонов, а также в связи с освоением околоземного космического пространства.

Одним из важнейших параметров, от которого зависит степень вредного воздействия излучения на организм, является фактор качества излучения (QF) — величина, однозначно связанная с линейными потерями энергии (ЛПЭ) частиц в ткани^{1/}.

На выведенном пучке протонов синхротрона в Дубне с помощью рекомбинационной методики^{2/} проведены прямые измерения фактора качества протонов с энергией 660 и 260 Мэв в водном фантоме.^{х/} Геометрия эксперимента приведена на рис. 1. В качестве детектора использована плоская рекомбинационная камера (рис. 2), специально предназначенная для измерений в фантоме. Для получения удовлетворительной тканеэквивалентности детектора плоские электроды камеры спрессованы из смеси полиэтилена, ацетиленовой сажи и меламин. Общий атомный состав электродов: 10,2 весовых % водорода, 84% углерода, 4% кислорода и 1,8% азота. Небольшое отличие в содержании азота по сравнению с мягкой тканью не должно внести ошибки в распределение ЛПЭ частиц, производящих ионизацию, ввиду малого вклада тепловых нейтронов (для которых существенно взаимодействие с ядрами азота), а также ввиду адекватного содержания азота в газе камеры (3,5 весовых %). Замена некоторого количества кислорода равным по массе количеством углерода (что потребовалось

^{х/} Разработка аппаратуры для проведения опытов финансируется Международным агентством по атомной энергии согласно исследовательскому контракту МАГАТЭ № 392- Еб.

для обеспечения электрической проводимости электродов), по-видимому, также не должна внести существенной ошибки ввиду подобия сечения взаимодействия и подобия ЛПЭ вторичных частиц для ядер кислорода и углерода. Газ, наполняющий камеру, является смесью метана, углекислого газа и азота. Атомный состав газа указан в работе ^{/3/}. Расстояние между электродами в камере составляет 6 мм.

Фантом, представляющий собой цилиндр диаметром 35 см и длиной 90 см (рис. 3), наполнен дистиллированной водой, масса которой около 80 кг, т.е. приблизительно соответствует массе среднего человека. В лобовой части фантома имеется выступ по форме камеры, предназначенный для частичной компенсации герметических искажений, вносимых газовой полостью камеры. Положение камеры в фантоме регулируется с помощью червячной передачи, приводимой в движение реверсивным мотором, и отсчитывается дистанционно с точностью 1 мм. Схема управления, а также блок-схема измерений представлены на рис. 3. Давление газа и напряжение на электродах камеры подобраны таким образом, что эффективность собирания ионов в режиме колонной рекомбинации является линейной функцией фактора качества QF ^{/4/}:

$$QF = M(1 - f),$$

где $f = \frac{i}{I}$ - эффективность собирания ионов в камере;

M - градуировочный коэффициент;

i - ток камеры в режиме рекомбинации;

I - ток камеры в режиме насыщения.

Характер зависимости f(QF) проверялся при использовании трех источников излучения: гамма-излучения ⁶⁰Co (QF=1), гамма-нейтронного излучения ²¹⁰Po - ⁹Be (QF=6,8), альфа-излучения ²²²Rn (QF=19). При давлении $p = 3,8 \text{ кг/см}^2$ линейность зависимости f(QF) имела место при напряжении рекомбинации 38 в, при этом $m = 25$. Режим насыщения практически обеспечивался при напряжении 2000 в. Измерения проводились поочередно: в режиме насыщения (по всей глубине фантома) и в режиме рекомбинации.

Ток камеры измерялся электрометром фирмы F. k. s. с вибрационным конденсатором, чувствительностью $\approx 10^{-15} \text{ а}$. Показания электрометра выводились на самописец, на ленту которого одновременно записывались и показания монитора, регистрирующего колебания интенсивности пучка протонов.

Интенсивность пучка подбиралась такой, чтобы при напряжении 38 в режим работы камеры не выходил за пределы колонной рекомбинации. Снятая на пучке протонов характеристика камеры по интенсивности (рис. 4) показывает, что рекомбинационная методика определения QF при давлении газовой смеси в камере $p = 3,8 \text{ кг/см}^2$ применима в импульсном поле излучения синхротрона вплоть до плотностей потока порядка 10^7 протон/см² сек. Измерения QF проводились при плотности потока порядка 10^6 протон/см² сек. Проведены также контрольные измерения эффективности собирания ионов при различных углах ориентации электрического поля камеры относительно пучка протонов. В пределах ошибки измерений угловая зависимость не обнаружена.

Результаты экспериментов по измерению значения QF в водном фантоме для протонов с энергией 660 и 260 Мэв представлены на рис. 5. Средняя приборная ошибка по QF составляла 8%, максимальная - 12%. Методическая ошибка благодаря улучшению тканеэквивалентности и обеспечению более полного насыщения по сравнению с ранее описанной камерой ^{/5/} снижена до 15%. Черные точки на рис. 5 соответствуют расчетам, проведенным методом Монте-Карло для бесконечной пластины толщиной 30 см ^{/6,7/}. Более корректно было бы сравнивать результаты эксперимента и расчетов, отнесенные к одинаковым геометрическим условиям.

В настоящее время подготавливаются эксперименты по измерению QF в условиях бесконечной пластины.

Л и т е р а т у р а

1. Health Physics, 9, 357, (1963).
2. М. Зельчинский. Neutron Dosimetry v. II, 397, IAEA, Vienna 1963.
3. Г. Росси. В сборнике "Радиационная дозиметрия" ИЛ, 1952, стр. 561.
4. М. Зельчинский. Радиобиология, 5, 161 (1965).
5. М. Зельчинский, В.Н. Лебедев, М.И. Салацкая. ПТЭ, № 6, 73, 1964.
6. Turner et al. Health Phys. 11, 783 (1964).
7. Neufeld et al. Health Phys. 12, 227 (1966).

Рукопись поступила в издательский отдел
31 мая 1967 г.

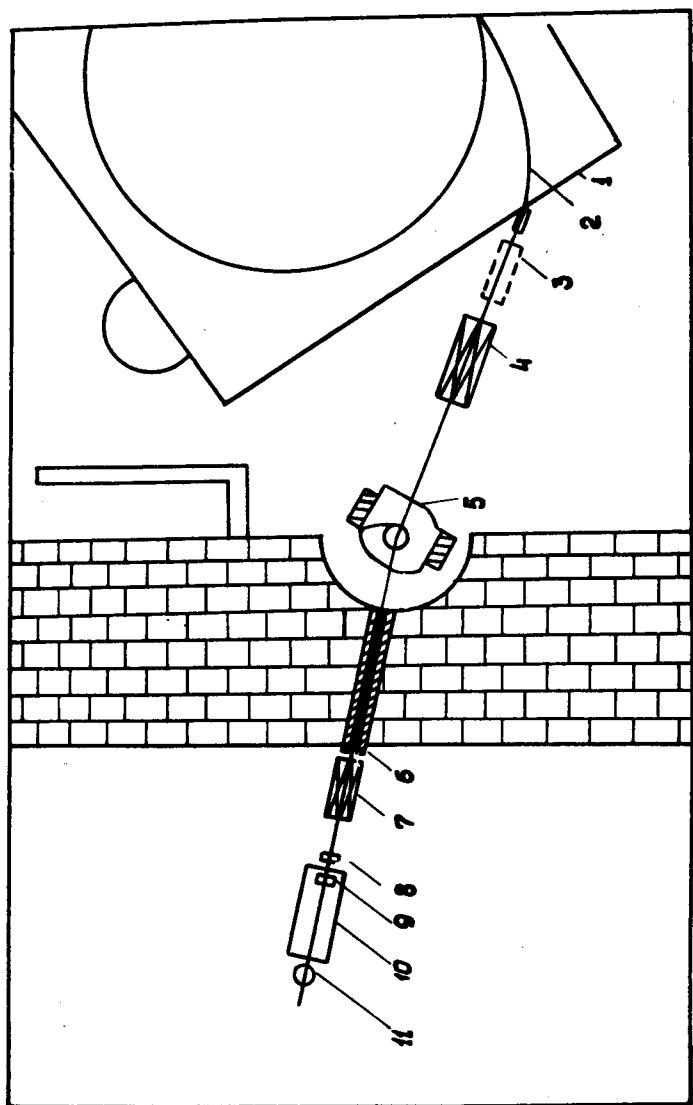


Рис. 1. Геометрия эксперимента. 1 - камера ускорителя; 2 - пучок протонов; 3 - полнотеленый поглотитель для получения энергии протонов 280 Мэв; 4 и 7 - квадратные линзы; 5 - поворотный магнит; 6 - коллиматор; 8 и 11 - мониторы; 9 - рекомбинационная камера; 10 - водный фантом.

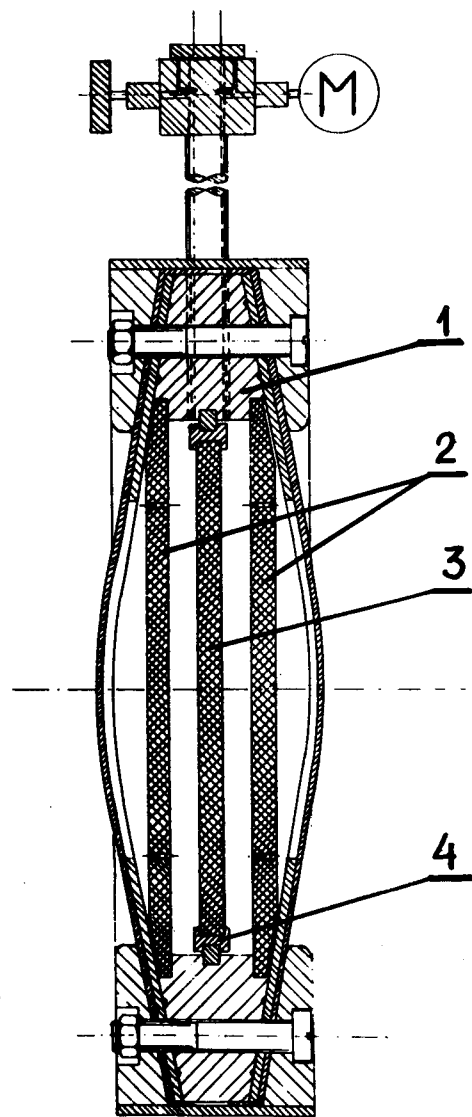


Рис. 2. Трехэлектродная рекомбинационная камера. 1-корпус (оргстекло); 2-питающие электроды (тканеэквивалентная пластмасса); 3-измерительный электрод; 4-охранное кольцо; М-манометр.

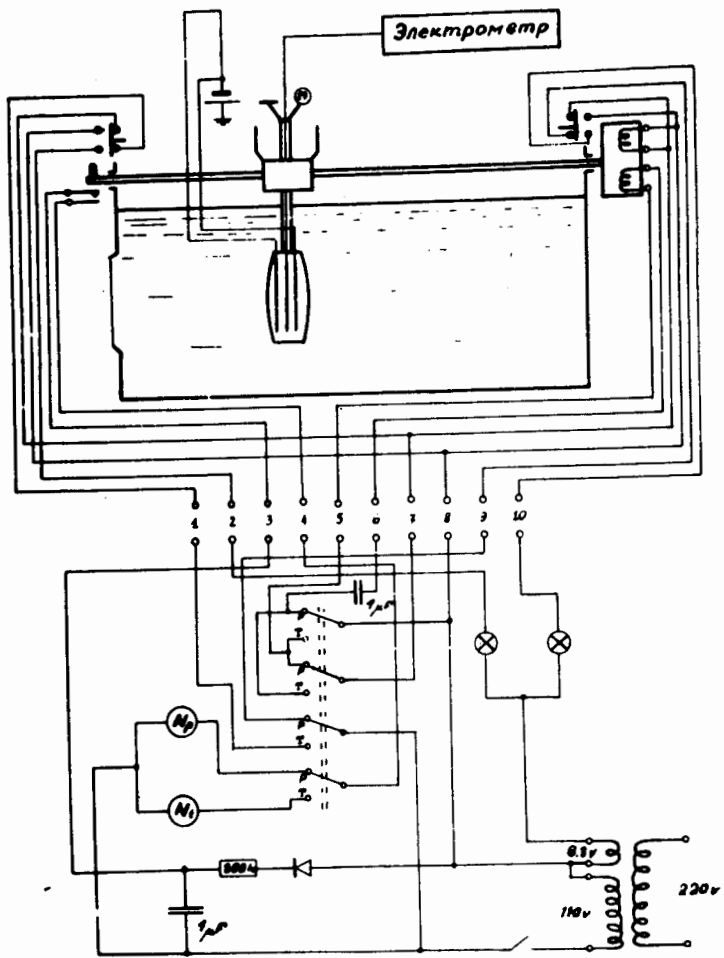


Рис. 3. Схема управления камерой в фантоме.

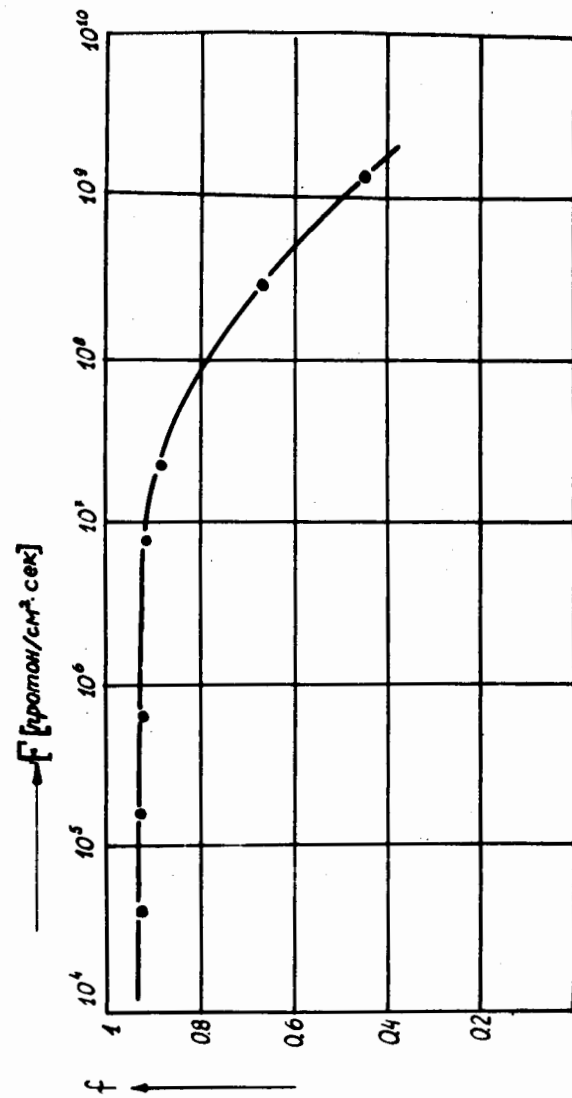


Рис. 4. Зависимость эффективности собирания ионов от интенсивности пучка протонов.

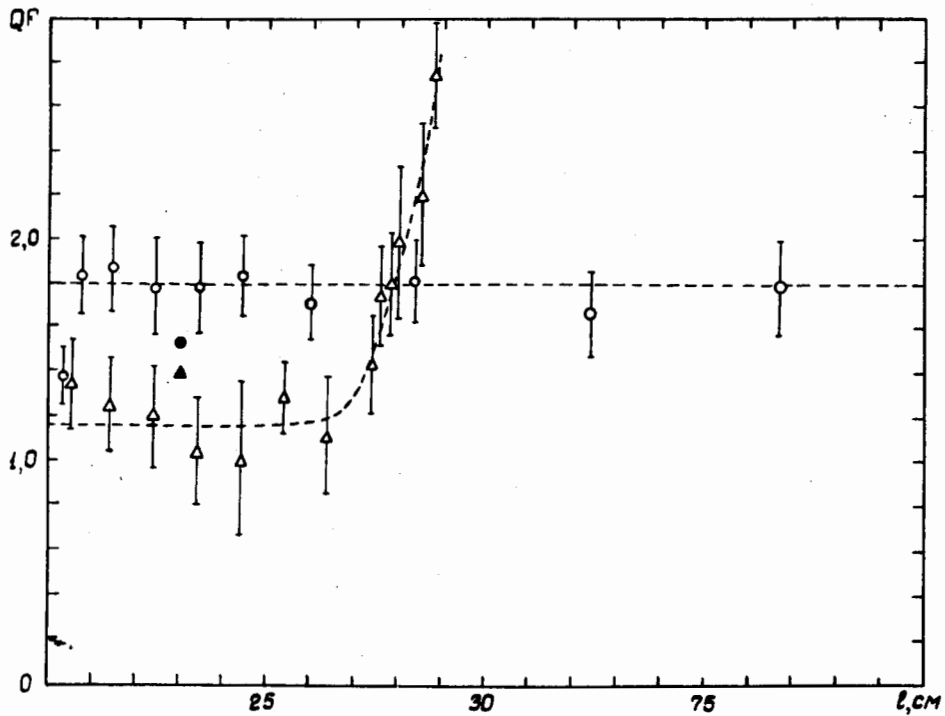


Рис. 5. Глубинное распределение фактора качества в водном фантоме для протонов. ● расчет/6/ для $E_p = 400$ Мэв, ▲ - расчет/6/ для $E_p = 250$ Мэв. ○ - эксперимент для $E_p = 660$ Мэв. △ - эксперимент для $E_p = 280$ Мэв.