

A-458

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

P9 - 3393



В.Е. Алейников, В.Н. Лебедев

ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

СРАВНЕНИЕ РАДИАЛЬНОГО ПРОФИЛЯ ПОЛЯ  
ИЗЛУЧЕНИЯ ВОКРУГ УСКОРИТЕЛЕЙ ПРОТОНОВ  
ОИЯИ

1967.

**Р9 - 3393**

**В.Е. Алейников, В.Н. Лебедев**

**СРАВНЕНИЕ РАДИАЛЬНОГО ПРОФИЛЯ ПОЛЯ  
ИЗЛУЧЕНИЯ ВОКРУГ УСКОРИТЕЛЕЙ ПРОТОНОВ  
ОИЯИ**

5188/3 мр.



Прогнозирование полей излучения вокруг ускорителей частиц высокой энергии тесно связано с изучением переноса нейтронов на расстояния, превышающие длину свободного пробега нейтронов в воздухе. Расчет нейтронных полей значительно осложняется наличием рассеивателя – земли и источника излучения очень сложной геометрии. Поэтому полезно установить основные закономерности распространения нейтронов, характерные хотя бы для некоторых ускорителей. В работе <sup>/1/</sup> содержится небольшой обзор опубликованных данных по этому вопросу и приведены результаты измерений поля излучения вокруг здания синхротрона ОИЯИ. Однако несмотря на сравнительно хорошую точность этих измерений, остается не ясным, насколько общий характер имеют найденные распределения и описывающие их функции.

С целью выяснения этого вопроса осенью 1965 года были предприняты измерения поля излучения вокруг синхроциклотрона на 660 Мэв. В настоящей работе проводится сравнение этих данных.

#### Методика измерений. Результаты

Здание синхроциклотрона ОИЯИ представляет собой бетонную коробку высотой 32,3 м и толщиной стен 2 м, земляной засышкой до отметки 9,9 м с толщиной перекрытия 1 м. В одной из стен здания имеются широкие оконные проемы. Такая геометрия защиты полностью определяет, как показано ниже, специфику распределения поля излучения вокруг здания.

Для изучения азимутального распределения нейтронного поля вне здания синхроциклотрона с помощью дозиметра, аналогичного дозиметру Де Пангера <sup>/2/</sup>, определялась доза нейтронов (с энергией  $\leq 20$  Мэв) в семи контрольных точках

(А-Ж), показанных на рис. 1. На этом рисунке представлен условный план района измерений и приведены азимутальные распределения дозового эквивалента нейтронов ( $E_n \leq 20$  Мэв) в относительных единицах при разных режимах работы ускорителя. Это поле асимметрично в результате наличия оконных преформ, причем характер асимметрии примерно одинаков при всех режимах работы ускорителя, и не зависит от направления пучка ускоряемых протонов. Это свидетельствует о том, что в поля излучения по этому направлению основной вклад вносят нейтроны, многократно отраженные от стен и потолка зала ускорителя и выходящие через проем. При этом проем можно условно считать источником излучения.

Изучение радиального профиля поля излучения проводилось по четырем радиальным направлениям  $r_1, r_2, r_3, r_4$ , указанным на рис. 1. Измерения проводились с помощью пропорционального счетчика СНМО-5 с замедлителями<sup>/6/</sup> (который регистрирует в основном нейтроны с энергией менее  $\sim 20$  Мэв), поскольку именно эти нейтроны вносят основной вклад (более 80%) в полную биологическую дозу<sup>/1,3/</sup>. Для анализа состава излучения использовали по существу ту же методику, что и в работах<sup>/1,3/</sup>, за исключением того, что для определения средней энергии и вклада быстрых нейтронов в суммарный поток использовали методику, предложенную Ханкинсом<sup>/4/</sup>. Для исключения ошибки, вызываемой нестабильностью работы ускорителя, колебаниями интенсивности и т. д., все измерения проводили при тщательном мониторинговании, причем для исключения локальных возмущений, возможных вблизи здания, мониторы устанавливались на расстоянии не менее 80 м от стены здания ускорителя.

Результаты измерений приведены на рис. 2. По оси ординат отложена суммарная плотность потока быстрых ( $0,1 \text{ Мэв} \leq E_n \leq 20 \text{ Мэв}$ ) и промежуточных нейтронов ( $0,5 \text{ эв} < E_n < 0,1 \text{ Мэв}$ ), по оси абсцисс - расстояние от геометрического центра зала ускорителя. Все данные здесь и далее относятся к режиму выведенного протонного пучка. Плотности потока нейтронов, приведенные на рис. 2, по радиальным направлениям  $r_2$  и  $r_4$  для наглядности нормированы к плотности потока по  $r_1$ . Для определения величины плотности потока в абсолютных единицах на том или другом радиальном направлении необходимо эти данные умножить на соответствующие коэффициенты  $F_1(\theta)$ , приведенные на том же графике.

$F_1(\theta)$  характеризует азимутальную асимметрию на больших расстояниях от здания, где практически отсутствует влияние локальных неоднородностей в защите. В случае радиального направления  $r_3$ , на котором дальнейший ход зависимости  $\Phi_n(r)$  не ясен, экспериментальные результаты не нормировали, поэтому на графике указано  $F_3(\theta) = 1$ .

### Обсуждение результатов.

Для описания нейтронного поля излучения вокруг синхроциклотрона воспользуемся эмпирической формулой для суммарной плотности потоков быстрых и промежуточных нейтронов, предложенной для синхрофазотрона в работе <sup>1/</sup>:

$$\Phi_{\delta+n}(r) = \frac{Q k'_{\text{geom}}}{4\pi r^2} e^{-r/\lambda}, \quad (1)$$

где  $\Phi_{\delta+n}(r)$  - суммарная плотность потока быстрых и промежуточных нейтронов, н/м<sup>2</sup> сек;

$Q$  - выход нейтронов в верхнюю полусферу, н/сек;

$r$  - расстояние от геометрического центра ускорителя до рассматриваемой точки м;

$k'_{\text{geom}}$  - эмпирический коэффициент для учета геометрической формы источника и защиты на данном азимуте;

$\lambda$  - эффективная длина ослабления потока нейтронов данного спектра в воздухе, м.

$$k'_{\text{geom}} = (1 - e^{-r/50}) f(\theta) \quad (\theta - \text{азимут})$$

$$\lambda = 300 \div 310 \text{ м}$$

Выбирая  $Q, f(\theta)$  из условия наилучшего согласия с экспериментальными данными, получим кривую распределения плотности потока нейтронов, изображенную сплошной линией на рис. 2 (кривая 2). На этом же рисунке приведены экспериментальные данные и расчетная кривая (кривая 1), полученные для синхрофазотрона <sup>1/</sup>. Как можно видеть, вычисленные кривые хорошо согласуются с экспериментальными данными, полученными как при измерении нейтронного поля

излучения вокруг синхрофазотрона, так и с данными по трем радиальным направлениям вокруг синхроциклотрона. Это свидетельствует об общности найденной зависимости для обоих ускорителей. Различие закона ослабления по радиальному направлению  $r$ , не изменяет этого вывода, поскольку геометрия защиты на этом участке имеет специфические особенности. К тому же из приведенных данных не очевидно, что на больших расстояниях радиальный профиль не будет приближаться к зависимости (1). Для ряда практических вопросов, таких, например, как оценка степени радиационной опасности вблизи ускорителя, знания радиального распределения только плотности потока нейтронов недостаточно. Для этих целей необходимо иметь распределение дозового эквивалента излучения. К сожалению, такие сведения в литературе, за исключением <sup>1,5/</sup>, полностью отсутствуют. В этой связи получение информации о распределении дозового эквивалента вокруг синхроциклотрона представляет определенный интерес.

На рис. 3 приведены результаты измерения распределения дозового эквивалента вокруг синхроциклотрона, полученные с помощью методики, предложенной Ханкинсом <sup>4/</sup>. На этом же рисунке приведено распределение дозового эквивалента (сплошная линия), вычисленное по формуле, предложенной для синхрофазотрона:

$$D_{\delta+n}(r) = \frac{Q k_{\sigma} k''_{\text{geom}}}{4 \pi r^2} e^{-r/\lambda'} \quad (4)$$

где  $D_{\delta+n}(r)$  - дозовый эквивалент, обусловленный суммарным действием быстрых и промежуточных нейтронов, мкбэр/сек;

$Q, r$  - то же, что и в (1);

$k_{\sigma}$  - коэффициент дозового преобразования;

$$k_{\sigma} = 1,15 \cdot 10^{-2} \frac{\text{мкбэр}}{\text{нейтр./м}^2} .$$

Величины  $K''_{\text{geom}}$  и  $\lambda'_{\text{эфф}}$  при отсчете расстояния от центра здания синхрофазотрона соответственно равны:

$$K''_{\text{geom}} = (1 - e^{-r/\lambda_0}) f(\theta), \quad (5)$$

$$\lambda'_{\text{эфф}} = 360 \text{ м.}$$



Представляет интерес сравнить полученные данные с результатами измерений поля излучения протонного синхротрона на 28 Гэв и синхроциклотрона на 600 Мэв в ЦЕРНе<sup>/5/</sup>. Эти измерения были выполнены с помощью тканееквивалентной камеры, причем в качестве источника излучения в случае синхротрона на 28 Гэв служило верхнее перекрытие кольцевого туннеля в экспериментальном зале (по-видимому, район мишеней). Экспериментальные данные для этих ускорителей, заимствованные из работы<sup>/5/</sup>, также приведены на рис. 3.

Сравнительно хорошее согласие свидетельствует о применимости выражения (4) не только для ускорителей ОИЯИ, но и для протонного синхротрона на 28 Гэв и синхроциклотрона на 600 Мэв в ЦЕРНе. Необходимо отметить, что выражения (1) и (4) описывают радиальный профиль нейтронного поля в случае сосредоточенного источника излучения, близкого к "точечному" (даже в случае кольцевого ускорителя, каким является синхрофазотрон на 10 Гэв, его можно считать без большой ошибки сосредоточенным источником, поскольку размещение в круглом зале приводит к образованию облака многократно рассеянных нейтронов, ось симметрии которого совпадает с осью симметрии здания). В случае распределенного источника, например, в случае, когда ускоритель размещен в кольцевом туннеле, радиальный профиль, очевидно, следует определять как:

$$D(L) = \frac{B}{4\pi} \int_0^{2\pi} \frac{q_r(\theta) f(r, \theta)}{r^2(\theta)} d\theta, \quad (6)$$

где  $q(\theta)$  - азимутальное распределение плотности источников,

$$f(r, \theta) = (1 - e^{-r(\theta)/60}) e^{-r(\theta)/360},$$

$$r^2 = R^2 + L^2 - 2RL \cos \theta,$$

$L$  - расстояние от центра кольцевого туннеля до рассматриваемой точки,

$R$  - радиус кольцевого туннеля,

$B$  - нормирующий множитель,

$$(B = Q k_q).$$

Резюмируя вышесказанное, можно считать установленным, что на расстояниях, превышающих 50-60 м от стен здания, радиальный профиль поля излучения, по крайней мере, четырех ускорителей описывается функциями (1) и (4). На расстояниях менее 50-60 м распределение поля излучения в сильной степени зависит

от локальной конфигурации защиты, изменяющей это поле, как правило, в сторону уменьшения.

Авторы благодарят М.М. Комочкову за сделанные замечания.

#### Л и т е р а т у р а

1. В.Н. Лебедев. Препринт ОИЯИ Р-2446, Дубна(1965)г.
2. De Pangher. Nucl. Instr. and Methods, v. 5 N 2 p.61-74 (1959)
3. В.Н. Лебедев, Л.С. Золин, М.И. Салацкая. Препринт ОИЯИ Р-2177, Дубна(1965).
4. D.Hajkins. Neutron Dosimetry, JAEAm, Vienna (1963).
5. J. Baarli. Int.Report CERN DI/HP/59 (1964).
6. Л.С. Золин. Препринт ОИЯИ 2252, Дубна 1965.

Рукопись поступила в издательский отдел  
15 июня 1967 г.



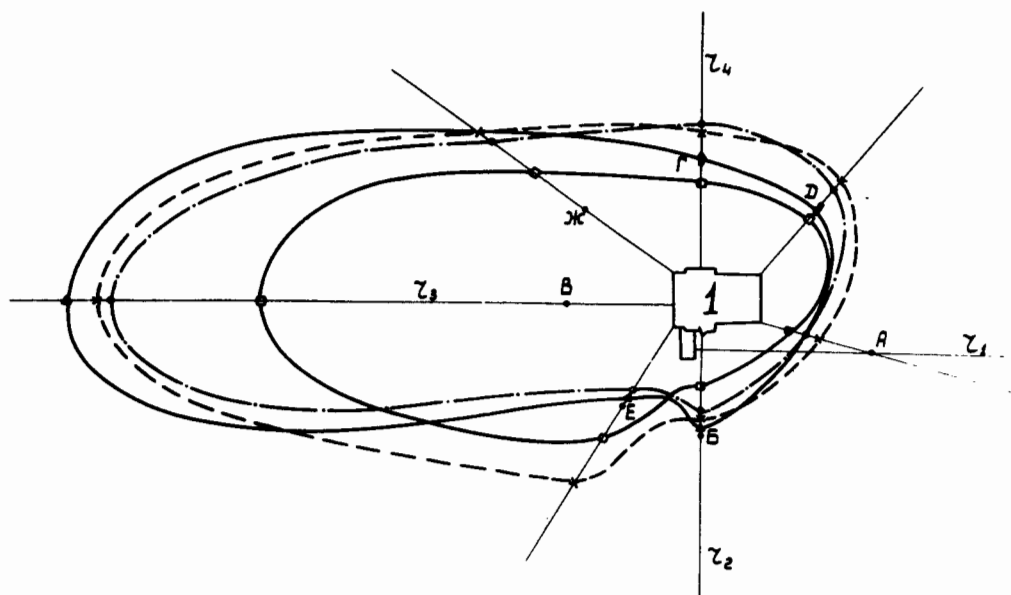


Рис. 1. Азимутальные распределения нейтронного поля излучения синхроциклотрона при разных режимах работы.

- - "внутренний пучок, пробник № 3";
- △— - выведенный  $\pi$ -мезонный пучок;
- - выведенный  $\pi$ -мезонный пучок;
- ×— - выведенный протонный пучок;
- здание синхроциклотрона;  $r_1 \dots r_4$  - радиальные направления, А, ... , Ж - контрольные точки.

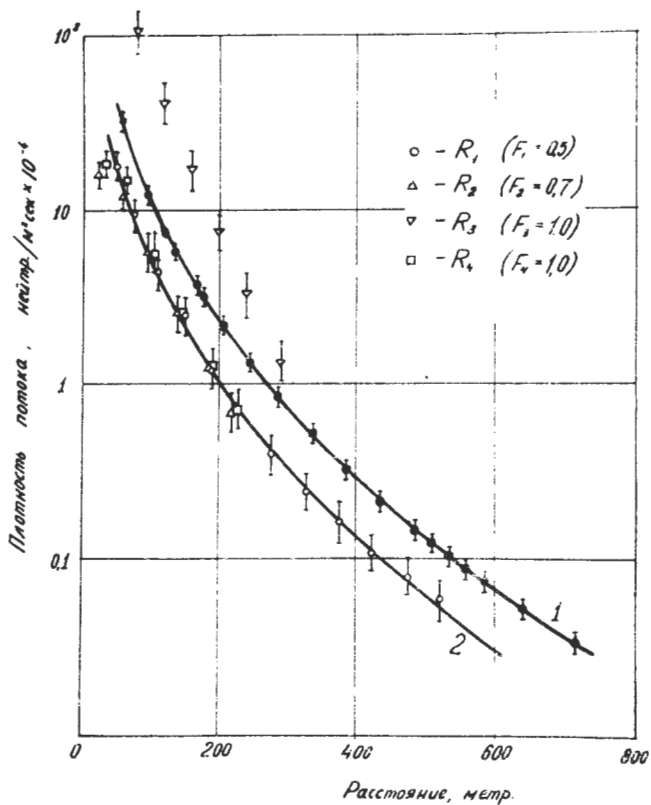


Рис. 2. Зависимость  $\Phi_{\delta+n}$  от расстояния до геометрического центра зала ускорителя. ● - синхрофазотрон, эксперимент;  $\square \Delta \nabla \circ$  - синхроциклотрон, эксперимент; I - синхрофазотрон, расчет; 2 - синхроциклотрон, расчет.

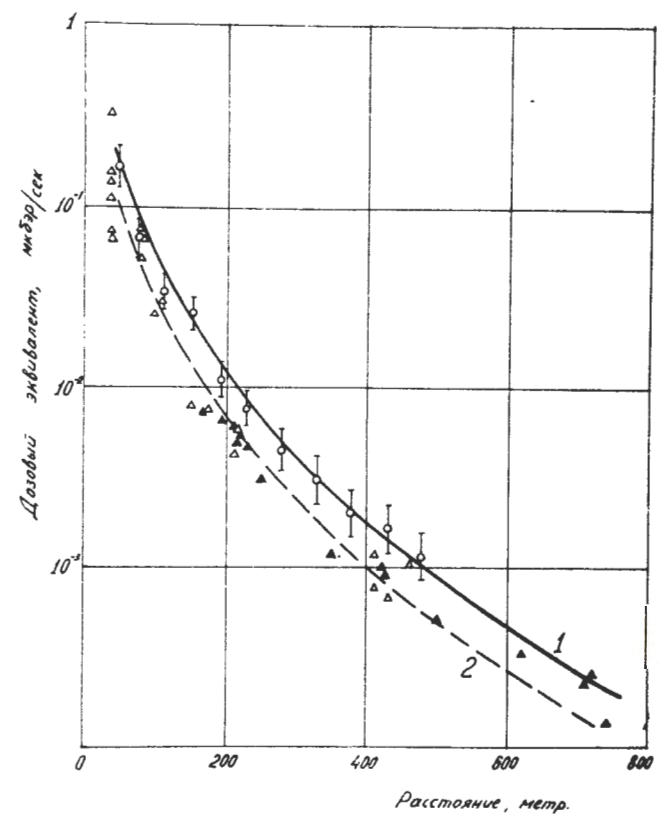


Рис. 3. Зависимость  $D_{\delta+n}$  от расстояния до геометрического центра зала ускорителя. O - синхроциклотрон, эксперимент; Δ - протонный синхротрон на 28 ГэВ ЦЕРН<sup>5/</sup> (радиус равновесной орбиты - 100 м); Δ - протонный синхроциклотрон на 600 МэВ ЦЕРН (из работы<sup>5/</sup>, перенормировано для удобства сравнения); 1 - расчетная кривая для синхроциклотрона ОИЯИ; 2 - расчетная кривая для ускорителей ЦЕРНа.