

СЗ49а

Г-834

12/11/73

СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

983/2-73

P16 - 6729



В.А.Григорьев, Л.Н.Зайцев, И.Б.Иссинский,  
Л.Р.Кимель, С.А.Новиков, В.П.Сидорин

ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

КВАЗИАЛЬБЕДО АДРОНОВ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ  
ОТ БЕТОНА ПРИ ЭНЕРГИИ  
ПАДАЮЩИХ ПРОТОНОВ 9 ГЭВ

1972

В.А.Григорьев\*, Л.Н.Зайцев\*, И.Б.Иссинский,  
Л.Р.Кимель\*, С.А.Новиков, В.П.Сидорин\*

КВАЗИАЛЬБЕДО АДРОНОВ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ  
ОТ БЕТОНА ПРИ ЭНЕРГИИ  
ПАДАЮЩИХ ПРОТОНОВ 9 ГЭВ

Для решения ряда задач, связанных с вопросами прохождения адронов высоких энергий через каналы, щели и проемы в защите ускорителей высоких энергий, а также для определения уровней наведенной активности необходима информация о квазиальbedo вторичных частиц.

Термин "квазиальbedo", предложенный проф. В.П.Машковичем для описания обратного выхода захватных  $\gamma$ -квантов, мы используем для описания обратного выхода вторичных частиц произвольного сорта, образовавшихся в результате развития нуклон-мезонного каскада в защитных средах.

Рассмотрим плоскопараллельный слой защиты толщиной  $d$ , лицевая поверхность которого имеет внешнюю нормаль  $\vec{n}$ . На эту поверхность падает пучок частиц сорта  $i$ , имеющий сечение  $S_0$  и интенсивность  $N_{0i}$  част./сек. Энергетически-угловое распределение плотности потока падающих частиц в точке  $\vec{r}_0$  на лицевой поверхности слоя определяется функцией  $F_i(\vec{r}_0, E_0, \vec{\Omega}_0)$ .

Пусть в произвольной точке  $\vec{r}$ , находящейся на лицевой поверхности защитного слоя, энергетически-угловое распределение плотности потока частиц произвольного сорта  $j$ , возникающих в результате развития нуклон-мезонного каскада в слое, инициируемого пучком частиц сорта  $i$ , будет описываться функцией  $R_{ij}(\vec{r}, E, \vec{\Omega}, d)$ .

Тогда энергетически-угловое распределение квазиальbedo типа  $ij$  в точке  $\vec{r}$  для пучка частиц с распределением плотности потока  $F_i(\vec{r}_0, E_0, \vec{\Omega}_0)$  есть функция  $\xi_{ij}(\vec{r}, E, \vec{\Omega}, d)$ :

$$\xi_{ij}(\vec{r}, E, \vec{\Omega}, d) = \frac{R_{ij}(\vec{r}, E, \vec{\Omega}, d)}{N_{0i}}, \text{ при этом } \vec{\Omega} \cdot \vec{n} > 0. \quad /1/$$

При решении ряда задач удобно использовать выражения для некоторых интегралов от функции  $\xi_{ij}(\vec{r}, E, \vec{\Omega}, d)$ .

$$a/ \xi_{ij}(\vec{r}, E, d) = \int_{(\vec{\Omega} \cdot \vec{n} > 0)} \xi_{ij}(\vec{r}, E, \vec{\Omega}, d) d\Omega - \quad /2/$$

энергетическое распределение квазиальbedo типа  $ij$  в точке  $\vec{r}$ ;

$$б/ \xi_{ij}(\vec{r}, \vec{n}, d) = \int \xi_{ij}(\vec{r}, E, \vec{\Omega}, d) dE - \quad /3/$$

угловое распределение квазиальbedo типа  $ij$  в точке  $\vec{r}$ ;

$$в/ \xi_{ij}(\vec{r}, d) = \int_{(\vec{\Omega} \cdot \vec{n} > 0)} \xi_{ij}(\vec{r}, \vec{\Omega}, d) d\Omega = \int \xi_{ij}(\vec{r}, E, d) dE - /4/$$

квазиальbedo типа  $ij$  в точке  $\vec{r}$ ;

$$г/ \xi_{ij}(d) = \int \xi_{ij}(\vec{r}, d) d\vec{r} - \quad /5/$$

квазиальbedo типа  $ij$ .

Характеристики квазиальbedo по току вводятся аналогично потоковым величинам.

Имеющиеся в настоящее время в литературе экспериментальные и расчетные данные по квазиальbedo адронов высоких энергий весьма малочисленны /1-3/.

Определение экспериментальным путем функций типа /2-5/ для различных сортов частиц связано с большими трудностями. В эксперименте можно определить, например, значения функции

$$\chi_i(\vec{r}, d) = \sum_{j=n, p, \pi^{\pm}} \int \xi_{ij}(\vec{r}, E, d) \cdot A(E) dE, \quad /6/$$

где  $n, p, \pi^{\pm}$  - нейтроны, протоны и заряженные пионы - соответственно;  $A(E)$  - нормировочные функции.

В некоторых случаях определение  $\chi_i(\vec{r}, d)$  дает возможность получить значение квазиальbedo определенного типа. Так, в работе /1/ было получено пространственное распределение квазиальbedo типа протон-нейтрон при энергии падающих протонов 660 Мэв.

В данной работе приводятся некоторые экспериментальные и расчетные данные по квазиальbedo от бетона при энергии падающих протонов 9 Гэв.

Экспериментальное исследование квазиальbedo адронов высокой энергии проводилось на выведенном протонном пучке с энергией 9 Гэв на синхрофазотроне ОИЯИ.

С помощью системы быстрого резонансного вывода<sup>/4/</sup> протонный пучок направлялся на два отклоняющих магнита 1М2 и 2М2 и фокусировался двумя каскадами магнитных линз 1Л\*4Л на переднюю грань экспериментальной установки /ЭУ/ /рис. 1/. Схема экспериментальной установки показана на рис. 2. Пучок протонов падал на бетонный барьер размером 1,5 x 1,0 x 2,5 м<sup>3</sup>. Плотность бетона 2,35 г/см<sup>3</sup>.

Мониторирование интенсивности пучка протонов производилось с помощью углеродного детектора, расположенного на оси пучка. Размеры пучка протонов на передней грани барьера показаны на рис. 3.

Измерение квазиальbedo адронов высокой энергии проводилось с помощью пороговых детекторов, выполненных из углерода с добавлением РОРОР. Используемые детекторы имели цилиндрическую форму, диаметр 48 мм и толщину 5 мм.

Детекторы располагались на поверхности барьера по вертикали на различных расстояниях от оси пучка. Минимальное расстояние от оси пучка протонов составляло 8,5 см. Фон измерялся в точках расположения детекторов при пропускании пучка протонов через барьер с убранной частью защитного барьера. Относительная ошибка измерений составляла в среднем  $\pm 20\%$ . Она складывалась из статистических ошибок, возникших при построении распадных кривых, определении фона и мониторинговании интенсивности пучка.

С помощью углеродных детекторов были получены значения функции  $\chi_p(\vec{r}, d)$  при энергии падающих протонов 9 Гэв.

Аналогично выражению /6/ зависимость  $\chi_p(\vec{r}, d)$  можно записать в виде:

$$\chi_p(\vec{r}, d) = \sum_{j=n, p, \pi^{\pm}} \int \xi_{pj}(\vec{r}, E, d) \frac{\Sigma_j(E)}{\Sigma_p(E_0)} dE, \quad /7/$$

где  $\xi_{pj}(\vec{r}, E, d)$  - энергетическое распределение квазиальbedo типа протон-частица типа  $j$ ;  $E_0$  - энергия падающих протонов;  $\Sigma_j(E)$  - сечение реакций типа  $C^{12}(j, j_n)C^{12}/s$ . Выражение /7/ позволяет по рассчитанным значениям  $\xi_{pj}(\vec{r}, E, d)$  вычислить величину  $\chi_p(\vec{r}, d)$  и сравнить ее с экспериментальным значением.

Расчет функций  $\xi_{pj}(\vec{r}, E, d)$  проводился на БЭСМ-6 по созданной нами программе расчета нуклон-мезонного каскада в плотных защитных средах. В программе была использована одна из моди-

фикаций метода Монте-Карло - метод локального вычисления потока /см., например, /6/).

Для улучшения статистики на толщинах  $> 5-7$  длин свободного пробега в программе применялись методы "экспоненциального преобразования" и "расщепления" /7/.

Программа позволяет рассчитывать характеристики нуклон-мезонного каскада в защитной среде, инициируемого протонами, нейтронами или заряженными пионами с начальной энергией от 100 Мэв до нескольких сотен Гэв в 30 произвольных точках, расположенных как на поверхности, так и в защитной среде. Нижняя граница спектров вторичных адронов, рассматриваемая в данной программе, - 20 Мэв. Зарядовые состояния пионов в расчетах не различаются.

На рис. 4 сравниваются экспериментальные данные по пространственному распределению квазиальbedo типа протон-нейтрон от бетона при энергии падающих протонов 660 Мэв /1/ и результаты нашего расчета.

На рис. 5 приведено сравнение экспериментальных и расчетных значений функции  $\chi_p(r, d)$  для падающих протонов с энергией 9 Гэв.

В расчетах бетон моделировался смесью, состоящей из 52,9 вес. % кислорода и 47,1 вес. % кремния. Полученное согласие между экспериментальными и расчетными данными позволило провести серию расчетов характеристик квазиальbedo различных типов от бетона и железа при падении частиц с импульсом от 0,5 до 200 Гэв/с.

На рис. 6 приводятся некоторые расчетные данные, характеризующие квазиальbedo типа  $pj$  от бетона при энергии падающих протонов 9 Гэв в зависимости от расстояния от оси пучка.

Полученные в настоящей работе данные могут быть использованы при расчетах элементов защиты и наведенной активности на ускорителях высокой энергии.

В заключение авторы выражают благодарность за помощь в изготовлении экспериментальной установки и выполнении расчетов Н. И. Бушуеву и А. Н. Каликовскому.

### Литература

1. Л.Р.Кимель и др. Препринт ОИЯИ, Р16-3594, Дубна, 1967.
2. Л.Р.Кимель и др. В сб. "Вопросы дозиметрии и защиты от излучений", вып. 6, 33 /1967/.
3. T.Gabriell et al. Nucl.Instr. and Meth., 99, 5 (1972).
4. В.П.Заболодин, Л.Л.Зиновьев и др. Сообщение ОИЯИ, 9-4749, Дубна, 1969.
5. V.K.Goebel. Colloque international sur la dosimetrie des irradiations dues a des sources externes. Tome II, 75 (1962).
6. С.М.Ермаков. Метод Монте-Карло и смежные вопросы. Наука, 1972.
7. Сб. "Метод Монте-Карло в проблеме переноса излучений". АИ, 1967.

Рукопись поступила в издательский отдел  
2 декабря 1972 года.

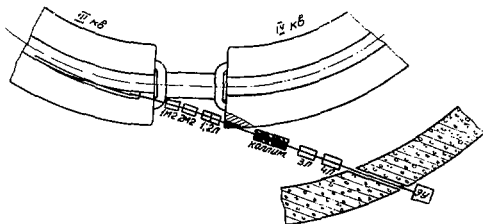


Рис. 1. Схема расположения оборудования на канале быстрого вывода пучка протонов: III кв, IV кв, - 3-й, 4-й квадранты синхрофазотрона 1М2, 2М2 - отклоняющие магниты; 1Л-4Л - магнитные лизы; ЭУ - экспериментальная установка.

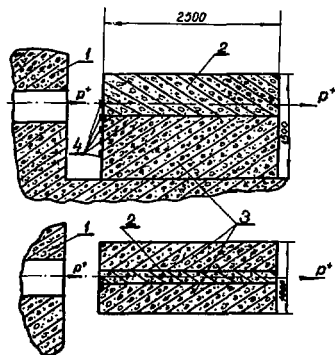


Рис. 2. Схема экспериментальной установки. 1 - защита синхрофазотрона, 2 - разборная часть бетонного барьера, 3 - монолитная часть бетонного барьера, 4 - точки расположения детекторов.

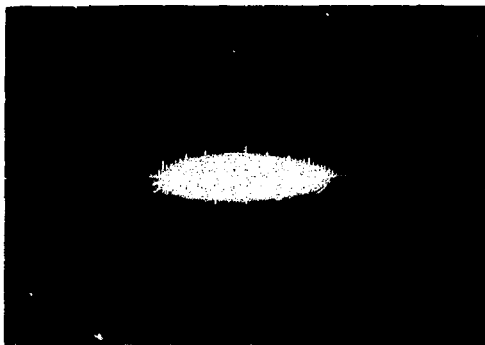


Рис. 3. Профиль протонного луча на передней грани бетонного барьера.



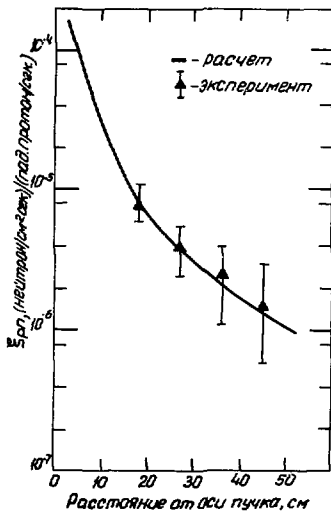


Рис. 4. Сравнение радиального распределения квазиальbedo типа протон-нейтрон от бетона при энергии 660 Мэв с данными эксперимента /1/.

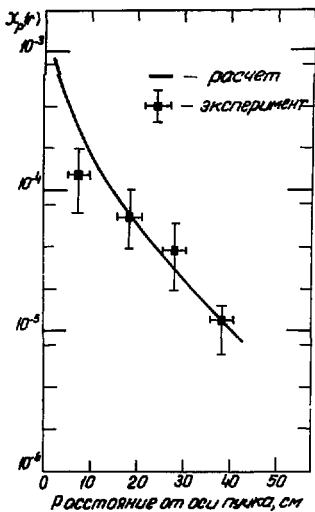


Рис. 5. Сравнение расчетных значений функции  $\chi_p(\vec{r}, d)$  с экспериментальными данными для энергии протонов 9 Гэв.

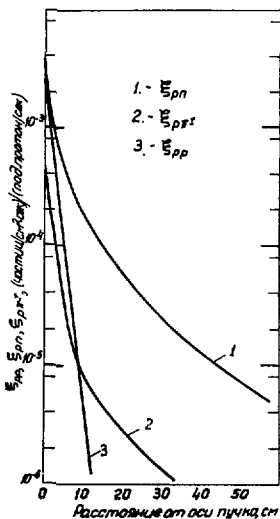


Рис. 6. Распределение квазиальбедо типа протон-нейтрон, протон-заряженный пион, протон-протон для энергии падающих протонов 9 ГэВ.