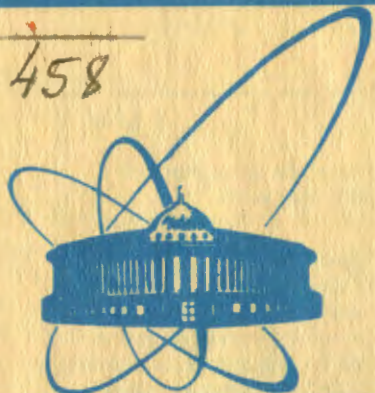


A-458



сообщения  
объединенного  
института  
ядерных  
исследований  
Дубна

е  
т

2407/2-81

18/5-18

1-81-67

А.Н.Алеев, В.А.Арефьев, В.П.Баландин,  
В.К.Бирулев, Т.В.Гвахария, Т.С.Григалашвили,  
Б.Н.Гуськов, В.П.Джорджадзе, И.М.Иванченко,  
Н.Н.Карпенко, В.Д.Кекелидзе, Д.А.Кириллов,  
И.Г.Косарев, Н.А.Кузьмин, Б.А.Кулаков,  
М.Ф.Лихачев, А.Н.Максимов, А.Н.Морозов,  
Х.Новак, А.Е.Сеннер, Л.В.Сильвестров,  
В.Е.Симонов, Л.А.Слепец, Г.Г.Тахтамышев,  
Р.К.Траянов, А.С.Чвыров, Е.А.Чудаков

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СПЕКТРЫ  
ГАММА-КВАНТОВ И НЕЙТРОНОВ  
В ПУЧКЕ НЕЙТРАЛЬНЫХ ЧАСТИЦ  
СЕРПУХОВСКОГО УСКОРИТЕЛЯ (КАНАЛ 4Н)

1981

На серпуховском ускорителе создан канал  $4\text{H}$ , в котором сформирован пучок вторичных нейтральных частиц, состоящий в основном из нейтронов, гамма-квантов и небольшой примеси нейтральных долгоживущих каонов.

Здесь представляются результаты измерения энергетических спектров гамма-квантов /выше 7 ГэВ/ и нейтронов /выше 10 ГэВ/, полученные с помощью бесфильмового спектрометра БИС-2.

### ПУЧОК НЕЙТРАЛЬНЫХ ЧАСТИЦ

Протоны, ускоренные до 70 ГэВ, падают на внутреннюю бериллиевую мишень диаметром 2 мм и длиной 20 мм. Бериллиевая мишень располагается в вакуумной камере ускорителя на расстоянии  $\Delta R = -21$  мм от равновесной орбиты ускоренных протонов. Вторичные нейтральные частицы, вылетающие под углом 11,3 миллирад относительно падающих на бериллиевую мишень протонов, входят в головную часть канала  $4\text{H}$ . Головная часть канала  $4\text{H}$  включает в себя магнит СП-129, поле которого удаляет заряженные частицы из пучка нейтральных частиц, и дистанционно управляемый свинцовый гамма-фильтр, расположенный впереди СП-129, толщина которого может варьироваться с шагом 2,5 см от 0 до 20 см.

Далее частицы пучка проходят вакуум-провод, систему стальных коллиматоров и через 67 метров /от бериллиевой мишени/ выходят в район расположения детектирующих элементов спектрометра БИС-2, схема которого показана на рис. 1. Описание основных элементов спектрометра БИС-2 и его физические характеристики приведены в работе /1/. Размеры пучка нейтральных частиц в районе БИС-2 составляют 4,2 см по горизонтали и 6 см по вертикали.

### ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ СПЕКТР ГАММА-КВАНТОВ

Гамма-кванты /при отсутствии в пучке гамма-фильтра/ регистрировались спектрометром через электрон-позитронные пары, образуемые гамма-квантами в углеродной мишени диаметром 5 мм и толщиной 6,24 г/см<sup>2</sup>. При энергии гамма-квантов в несколько ГэВ средний угол между направлением движения гамма-кванта и конвертируемого электрона /позитрона/ мал /<sup>2</sup>/. Он примерно равен

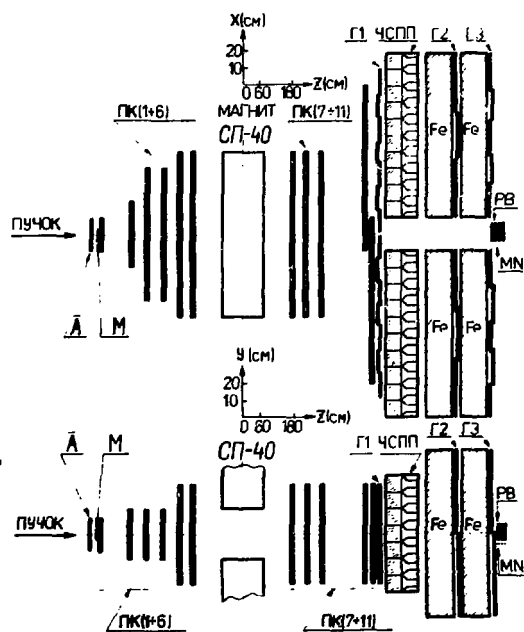


Рис. 1. Схема расположения БИС-2 на пучке /канал 4Н/ нейтральных частиц серпуховского ускорителя.

( $m c^2 / K$ )  $\cdot \ln(K / m c^2)$ , где  $m$  - масса электрона /позитрона/ и  $K$  - энергия гамма-кванта. Поэтому в пропорциональных камерах /ПК/ спектрометра БИС-2 "следы" конвертированных электронов и позитронов в плоскости  $XZ$  до спектрометрического магнита СП-40, а также в плоскости  $YZ$  практически неразличимы. Типичные "следы" таких электрон-позитронных пар, ре-

гистрируемых спектрометром, показаны на рис. 2 / $XZ$  - проекция/ и на рис. 3 / $YZ$  - проекция/.

Триггер для регистрации гамма-квантов был следующим:

$$ГЕЕ = ((ПК1 \cdot ПК2 \cdot ПК5 \cdot ПК10 \cdot ПК11)_{1X} \cdot ПК8_{2X} \cdot Г1_{2X}) / \bar{A} \quad /1/$$

Значок "1X" означает, что в этих пропорциональных камерах требовалось срабатывание только одной "полоски" \* по координате "X" в каждой из указанных в /1/ ПК. Значок "2X" означает, что должно сработать только две "полоски" в ПК8 и только два счетчика годоскопа Г1, при этом одна из сработавших "полосок" и один из сработавших счетчиков должны быть расположены слева, а вторая полоска и второй счетчик - справа от оси пучка. Перекрывающиеся "полоски" в ПК10 и ПК11 слева и справа от оси пучка /см. рис. 1/ были исключены из триггера.

\* "Полоска" - это группа сигнальных проволок ПК, объединенных по ИЛИ.

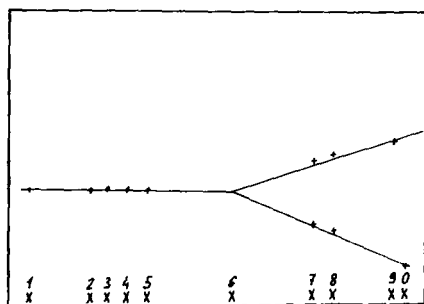


Рис.2. "След" ( $e^+e^-$ )-пары, образованный гамма-квантом / XZ -проекция/.

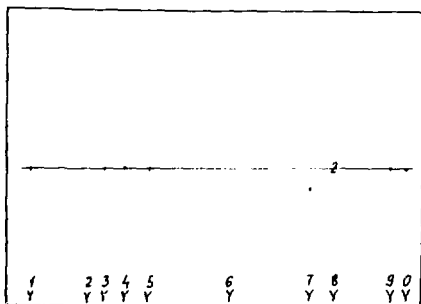


Рис.3. "След" ( $e^+e^-$ )-пары, образованный гамма-квантом / YZ -проекция/.

Программой геометрической реконструкции событий было восстановлено около 20 000 электрон-позитронных пар в интервале энергий гамма-квантов больше 7 ГэВ. Эффективность регистрации и восстановления событий ( $\mathcal{E}(K)$ ) в зависимости от энергии гамма-квантов была определена путем моделирования электрон-позитронных пар с использованием дифференциальной вероятности образования<sup>1/2</sup> этих пар на радиационной единице длины:

$$\phi(K, E) = \frac{1}{a} \cdot \frac{dE}{K} \cdot G(K, E),$$

где  $a = \ln(183 \cdot Z^{-1/3})$ ,  $K$  - энергия гамма-кванта,  $E$  - полная энергия электрона /позитрона/,  $G(K, E)$  - медленно меняющаяся функция, которая в случае полного экранирования имеет вид

$$G(K, E) = \frac{1}{K^2} \left\{ E^2 + (K-E)^2 + \frac{2}{3} \cdot E \cdot (K-E) \right\} \cdot a - \frac{E}{9} \cdot (K-E) \}.$$

Зависимость  $\mathcal{E}(K)$  показана на рис. 4.

На рис. 5 приведен энергетический спектр гамма-квантов в пучке нейтральных частиц серпучовского ускорителя /канал 4Н/. Кроме этого, на рис. 6 представлены распределения координат конверсии электрон-позитронных пар в мишени М и угловые распределения суммарных импульсов электрон-позитронных пар в системе координат спектрометра /см. рис. 1/.

### ИМПУЛЬСНЫЙ СПЕКТР НЕЙТРОНОВ

Импульсный спектр нейтронов измерен с помощью БИС-2 путем наблюдения "одиночных" положительно заряженных частиц, образуемых нейтронами при взаимодействии с ядрами углерода, т.е. таких частиц, которые могли бы возникнуть в результате рассеяния нейтрона назад на квазисвободном протоне ядра углерода.

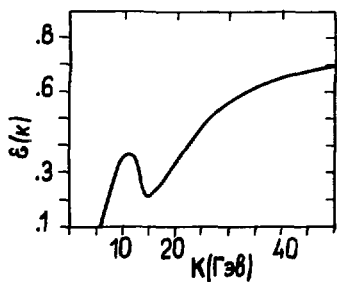


Рис.4. Эффективность регистрации и восстановления  $(e^+e^-)$ -пар, конвертируемых гамма-квантами, в зависимости от энергии гамма-квантов.

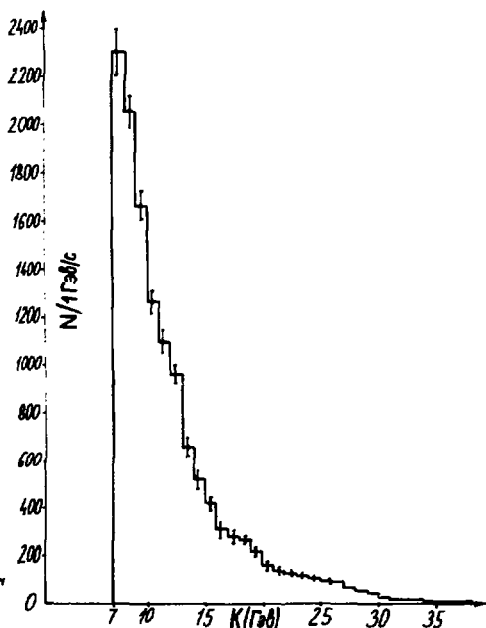


Рис.5. Энергетический спектр гамма-квантов в пучке нейтральных частиц /канал 4Н/ серпуховского ускорителя.

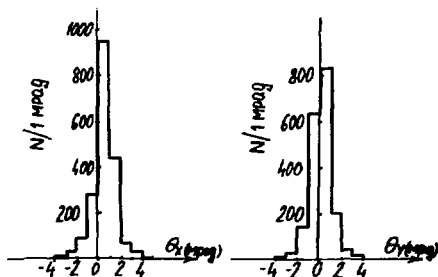
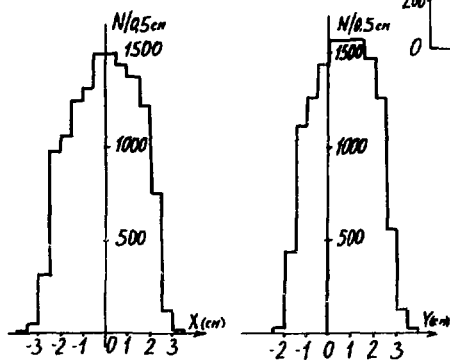


Рис.6. Распределения: сверху - вершин конверсии гамма-квантов в  $e^+e^-$  пару; внизу - углов между импульсами  $(e^+e^-)$ -пар и осью Z в XZ - или YZ - плоскостях соответственно.

Реакция перезарядки нейтрона в протон на протоне



в интервале энергий нейтронов от 8 до 29 ГэВ подробно изучена в работе /3/ методом полной кинематики. В этой работе показано, что дифференциальное сечение реакции /2/ в данном интервале энергий нейтронов хорошо аппроксимируется соотношением

$$\frac{d\sigma}{dt} = C \cdot P^{-k} \{ \exp(\alpha t) + B \cdot \exp(\beta t) \}, \quad /3/$$

где  $P$  - импульс нейтрона в л.с.к.;  $k = 1,95 \pm 0,10$ ;  $\alpha = /51 \pm 8/ \text{ ГэВ/с/}^{-2}$ ;  $\beta = /4,5 \pm 0,15/ \text{ ГэВ/с/}^{-2}$ ;  $B = 0,8 \pm 0,1$ ;  $C$  - константа.

В работе /4/ для интервала импульсов нейтронов от 22 до 65 ГэВ показано, что показатель степени  $k$  в равенстве /3/ медленно убывает с ростом импульса нейтронов.

В нашем эксперименте для выделения одиночных треков использовался триггер

$$\text{пр} = (\text{ПК1:ПК2-ПК5-ПК10-Г1})_{1X} \bar{A} / \text{СОМ} \quad /4/$$

Значок "1X" означает то же, что и для триггера /1/. Из годоскопа Г1 в триггер были включены только те счетчики, которые перекрывали рабочую область ПК11. Дополнительно к элементам спектрометра БИС-2 /рис. 1/ здесь использовался двухслойный цилиндрический годоскоп из сцинтилляционных счетчиков /СОМ/, который располагался между счетчиком  $\bar{A}$  и ПК1. Мишень М размещалась на оси пучка внутри СОМа. Задача СОМа заключалась в том, чтобы уменьшить загрузку триггера.

На рис. 7 и 8 показано типичное однотрековое событие, зарегистрированное спектрометром. Эффективность регистрации таких событий и их восстановления, полученная моделированием с использованием соотношения /3/, показана на рис. 9.

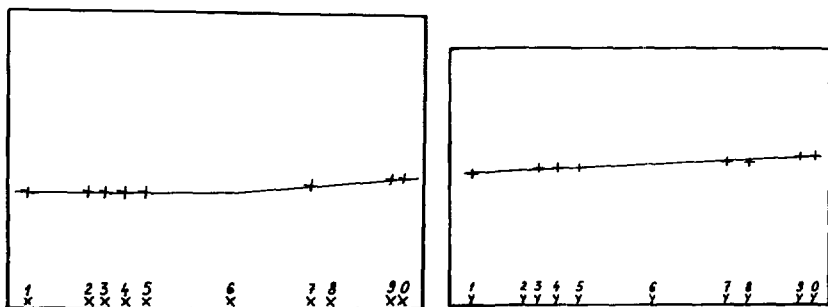


Рис. 7, 8. "Следы" однотрековых событий, регистрируемых спектрометром в плоскостях XZ и YZ.

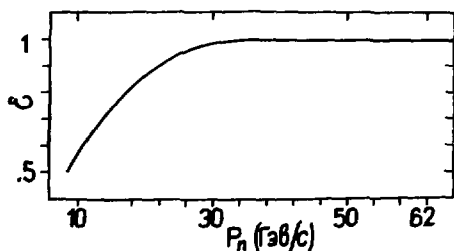


Рис.9. Эффективность регистрации однотрековых событий, полученная с использованием соотношения /3/.

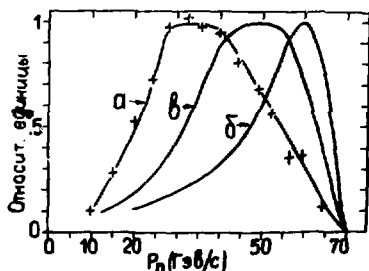


Рис.10. Импульсные спектры нейтронов, полученные в данной работе /а/, работе /4/ /б/, а также спектр, рассчитанный на основе данных /5/ /в/.

Предполагалось, что все однотрековые события - протоны. Таких событий было найдено около 12 тысяч.

Распределения экспериментально найденных событий в зависимости от квадрата переданного импульса в различных интервалах по импульсу оказались в удовлетворительном согласии друг с другом. В связи с этим спектр нейтронов был найден из равенства

$$\frac{ds_i}{dP} \Delta P = \left[ \frac{dN_i}{dP} \Delta P / (\epsilon_i \cdot P_i^{-2}) \right] / \left[ \frac{dN_i}{dP} \Delta P / (\epsilon_i \cdot P_i^{-2}) \right]_{\max} \quad /5/$$

На рис.10 показан спектр /5/ вместе со спектром нейтронов, вычисленным на основе "Атласа спектров рожденных частиц" /5/, для условий: энергия ускоренных протонов - 70 ГэВ, пучок вторичных нейтронов рождается под углом 11,3 мрад к протонному; на этом рисунке показан также спектр нейтронов из работы /4/ /энергия ускоренных протонов - 70 ГэВ, пучок вторичных нейтронов - под углом 0° к пучку протонов, энергия нейтронов измерялась калориметром/.

Спектр нейтронов, восстановленный по спектру одиночных положительно заряженных частиц, существенно отличается от расчетного. Поэтому найденный спектр может быть использован при оценке сечений рождения частиц в нейтронном пучке в качестве "мягкого", а расчетный - "жесткого" спектров нейтронов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Айхнер Г. и др. ОИЯИ, 1-80-644, Дубна, 1980.
2. Росси Б. Частицы больших энергий. Государственное издательство технико-теоретической литературы, М., 1955, с. 101-108.
3. Davis B. e.a. Phys.Rev.Lett., 1972, 29, 139.
4. Babaev A. e.a. Nucl.Phys, 1976, B110, 189.
5. Grot H. e.a. Atlas of Particle Production Spectra, CERN, 1970.

Рукопись поступила в издательский отдел  
29 января 1981 года.