

54480 6858

ԵՐԵՎԱՆԻ ԳՐԶԻՐԱԿԱՆ ԲՆԱՍՏՐԱՆՆԵՐ
ЕРЕВАНСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

ԳՐԱԿԱՆ ԶԱՂՈՐԴՈՒՄ ՆԱՍԿՈՒ ՏՈՅՈՒՆԵ

ЕФИ—171(17)-(76)

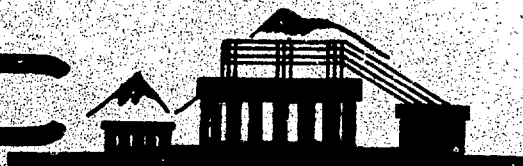
Ր.Օ.ԱՎԱԿՅԱՆ, Ն.Յ.ԱԿՈՓՈՎ, Զ.Վ.ՍԵՏՐՈՅԱՆ,
Տ.Ս.ԴՐՈՅԱՆ,

ՐԱՏՉԵՒ ՍՈ ՄԵՏՈԴՍ ՄՈՆՏԵ-ԿԱՐԼՈ ԷՔՍՔԵՐԻՄԵՆՏԱ
ՍՈ ԻՅՄԵՐԵՆԻՍ ԱՏԻՄՄԵՏՐԻԻ ՓՈՏՐՈՋԵՃԵՆԻԱ
ՄԵՅՈՆԱ ՍՈԼՅԱՐԻԶՈՎԱՆՆԱԿԻ Մ-ԿՎԱՆՏԱՄԻ

ԱՐՄՍ

ԵՐԵՎԱՆ

1976



ԵՐԵՎԱՆ

ЕРЕВАНСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Научное сообщение ЕФИ- 171(17)-(76)

Р.О.АВАКЯН, Н.З.АКОПОВ, Ж.В.ПЕТРОСЯН

С.П.ТАРОЯН

РАСЧЕТ ПО МЕТОДУ МОНТЕ-КАРЛО ЭКСПЕРИМЕНТА
ПО ИЗМЕРЕНИЮ АСИММЕТРИИ ФОТОРОЖДЕНИЯ π^0 -
МЕЗОНА ПОЛЯРИЗОВАННЫМИ γ -КВАНТАМИ

Ереван 1976

© *Ереванский физический институт, 1976*

УДК.539.172.3:539.126.345

Научное сообщение ЕФИ-171(17)-(7в)

Р. О.АВАКЯН, Н.З.АКОПОВ, Ж.В.ПЕТРОСЯН

С.П.ТАРОЯН

РАСЧЕТ ПО МЕТОДУ МОНТЕ-КАРЛО ЭКСПЕРИМЕНТА
ПО ИЗМЕРЕНИЮ АСИММЕТРИИ ФОТОРОЖДЕНИЯ π^0 -
МЕЗОНА ПОЛЯРИЗОВАННЫМИ γ -КВАНТАМИ

Приводится расчет по методу Монте-Карло эксперимента по измерению асимметрии π^0 -мезона поляризованными γ -квантами. Определяется эффективность регистрации экспериментальной установки и получены спектры энергий регистрируемых протонов и распадных фотонов от π^0 для $\theta_{\pi^0}^* = 60^\circ$. Рассчитан, также, выход реакции $\gamma p \rightarrow p \pi^0$ для области энергии падающих γ -квантов (0.7 - 1.7) Гэв.

Ереванский физический институт
Ереван 1976

Scientific Report ЕФН-171(17)-(76)

R.O.AVAKYAN, N.Z. АКОРОВ,
Zh.V.PETROSYAN, S.P.TAROYAN

MONTE-CARLO CALCULATION OF THE
ASYMMETRY OF π^- -MESON PHOTOPRO-
DUCTION WITH POLARIZED γ -QUANTA

The Monte-Carlo calculation of the experiment on the measurement of π^- -meson photoproduction asymmetry with polarized γ -quanta is carried out. The efficiency of the experimental arrangement is determined and the energy spectra of detected protons and π^0 decay photons at $\Theta_{\gamma\pi^0}^* = 60^\circ$ are obtained. The $\gamma p \rightarrow p\pi^0$ reaction yield for the energy of incident γ -quanta ranged from 0.7 to 1.7 GeV is also calculated.

Yerevan Physics Institute
Yerevan, 1976

Введение

В последнее время интенсивно проводятся эксперименты по измерению асимметрии фоторождения мезонов с поляризованными γ -квантами (Σ), а также эксперименты по измерению поляризации протонов отдачи (P) и асимметрии, обусловленной поляризованной мишенью (T). Актуальность этих исследований связана с тем, что для определения амплитуд процесса фоторождения и для сравнения с предсказаниями различных моделей необходимо измерять не только дифференциальное сечение реакции, но и величины Σ , P и T. Эксперимент по определению асимметрии фоторождения Π -мезона, которому и посвящены приводимые в настоящей работе расчеты, проводится для области энергии начальных фотонов (0.7-1.7) Гэв, когда угол рожденных Π^0 -мезонов в системе Ц.М. $\Theta_{\gamma\Pi}$ составляет 60° .

Монте-Карло расчет позволяет:

1. Убедиться в правильности выбранных кинематических областей исследуемой реакции $\gamma p \rightarrow p \Pi^0$
2. Определить эффективность экспериментальной установки, что необходимо:
 - а) до проведения эксперимента - для его планирования,
 - б) после эксперимента - для оценки дифференциального сечения.

3. Выбрать энергию, соответствующую максимуму в распределении числа фотонов тормозного спектра, что позволяет определить заранее выбранную среднюю энергию для данной ΔE_γ области регистрируемых фотонов и их поляризации.
4. Определить энергетическую область γ -квантов, попавших в детектор от распада π^0 -мезонов. Значение этой области необходимо для предварительного выяснения эффективности регистраций детектирующей системы.
5. Определить зависимость эффективности экспериментальной установки от энергии начальных γ -квантов (E_γ), что позволяет установить выход реакции $\gamma p \rightarrow p \pi^0$ как функцию от E_γ .
6. Определить те изменения кинематических условий для измерения фона в эксперименте, когда вклад одиночного π -рождения минимален. От изменения этих условий будет следовать необходимость регистрации одного или двух γ -квантов от распада π^0 -мезона.

Экспериментальная установка и схема расчета

Экспериментальная установка состоит из двух плеч, которые предназначены для регистрации протона отдачи на совпадении с γ -квантом от распада π^0 -мезона.

Пионное плечо состоит из сцинтилляционных счетчиков для исключения случая заряженных частиц и кристалла NaI для регистрации фотонов. Размеры входного окна кристалла $(8,4 \times 15) \text{ см}^2$. Расстояние входного окна до центра жидководородной мишени составляет 120 см.

Протонное плечо состоит из пробегового спектрометра, с помощью которого, используя связь энергия-

-пробег, определяется кинетическая энергия протона (T_p) и системы однокоординатных (x y) искровых камер, позволяющих определить траекторию протонов. Для отделения протонов от пионов используются два $(\frac{dE}{dx})$ счетчика.

Верхний предел энергетической области регистрируемых протонов определяется с помощью \bar{C} -счетчика, а нижний предел - толщиной медного поглотителя, при определении которой учитываются толщины впереди стоящих сцинтилляционных счетчиков $(\frac{dE}{dx})$ и C -счетчика. Размеры апертурного счетчика s (7 x 19) см, он отстоит от центра мишени на 100 см.

Жидководородная мишень представляет цилиндр диаметром 5 см и высотой 10 см, на направление оси которого падает пучок поляризованных γ -квантов с сечением (1 x 1) см.

Схема установки и её геометрия дается на рис.1.

Исследование асимметрии для области энергии-квантов (0, 7-1,7) Гэв осуществляется при различных кинематических условиях тремя независимыми измерениями. Эти условия приведены в таблице 1.

Таблица 1

Поз.	$\bar{E}_\gamma^{рез} \pm \Delta E_\gamma$	$\bar{\theta}_{\gamma p}$	$\bar{\theta}_{\gamma \pi}$	$\bar{T}_p \pm \Delta T_p$
I	$(1,5 \pm 0,2) \text{ Гэв}$	$53^\circ 30'$	31°	$(280 \pm 20) \text{ Мэв}$
II	$(1,2 \pm 0,2) \text{ Гэв}$	$54^\circ 50'$	$33^\circ 30'$	$(210 \pm 20) \text{ Мэв}$
III	$(0,9 \pm 0,2) \text{ Гэв}$	56°	$36^\circ 10'$	$(140 \pm 20) \text{ Мэв}$

Моделирование реакции для каждой из указанных позиций происходило в следующем порядке:

1. Разыгрывается равномерно энергия E_γ пучка, падающего на мишень в области $[E_1, E_2]$ в лабораторной системе, где E_1 и E_2 — граничные значения энергии для данной позиции. Вычисляется статистический вес W_i , обусловленный видом тормозного спектра поляризованных фотонов.
2. Разыгрываются равномерно координаты точки взаимодействия (X_i, Y_i, Z_i) в объеме пересечения пучка с мишенью.
3. Разыгрывается угол вылета протона в области $[\theta_1, \theta_2]$ согласно данным работы [1], где θ_1, θ_2 — граничные значения углов охвата детектирующей системы. Вычисляется статистический вес V_i , обусловленный зависимостью дифференциального сечения от энергии γ -пучка [1]. Набирается сумма $\sum_i W_i V_i$.
4. Разыгрывается равномерно азимутальный угол $\Psi(\pi\rho)_i$ только в той области $\Delta\Phi_{\pi\rho}$, которая охватывается детектирующими системами. Условие $\Delta\Phi_{\pi\rho} \ll 2\pi$ приводит к значительному выигрышу машинного времени.
5. Определяются углы $\Theta'(\gamma\rho)_i$ и $\Psi'(\gamma\rho)_i$, обусловленные многократным кулоновским рассеянием протонов в мишени. Совместное решение уравнений траектории протона и боковой поверхности мишени позволяет найти пройденный протоном путь внутри мишени, что в свою очередь позволяет определить среднеквадратичный угол рассеяния $\sqrt{\Theta_{pp'}^2}$. Для нахождения истинного угла рассеяния разыгрывается нормальное распределение с дисперсией, равной $\Theta_{pp'}^2$. Азимутальный угол рассеяния $\Psi'(\gamma\rho)$ разыгрывается равномерно в области $[0, 2\pi]$. Предварительно определив углы $\Theta'(\gamma\rho)_i$ и $\Psi'(\gamma\rho)_i$ с помощью формул,

вид которых и метод проверки приводятся в пункте 7, проверяется прохождение протона через апертурный счетчик.

6. Вычисляются необходимые кинематические величины: $T_p, E_{\pi}, \theta_{\pi\gamma}, \theta_{\pi\gamma}^*$ [2]. Проверяется условие $T_1 \leq T_p \leq T_2$, где T_1 и T_2 граничные значения энергии протонов для данной позиции.
7. Разыгрывается равномерно азимутальный угол ($\tilde{\varphi}_{\pi\gamma}$) γ -кванта от распада π^0 -мезона в области $[0; 2\pi]$ и косинус полярного угла $\theta_{\pi\gamma}^*$ в области $[-1, 1]$ в системе покоя π^0 -мезона. Вычисляется угол $\theta_{\pi\gamma}^{\wedge}$, и углы $\theta_{\gamma\gamma}^{\wedge}, \varphi_{\gamma\gamma}^{\wedge}$ по следующим формулам:

$$\cos \theta_{\gamma\gamma}^{\wedge} = \cos \theta_{\pi\gamma} \cos \theta_{\pi\gamma}^{\wedge} - \sin \theta_{\pi\gamma} \sin \theta_{\pi\gamma}^{\wedge} \cos \tilde{\varphi}_{\pi\gamma},$$

$$\operatorname{tg}(\varphi_{\gamma\gamma}^{\wedge} - \varphi_{\pi\gamma}) = \frac{\sin \tilde{\varphi}_{\pi\gamma}}{\operatorname{ctg} \theta_{\pi\gamma}^{\wedge} \sin \theta_{\pi\gamma} + \cos \theta_{\pi\gamma} \cos \tilde{\varphi}_{\pi\gamma}}.$$

Попадание γ_1 -кванта на входное окно проверяется путем совместного решения уравнения прямой с направляющими косинусами углов $\theta_{\gamma\gamma}^{\wedge}$ и $\varphi_{\gamma\gamma}$ и уравнения ориентированной ограниченной плоскости КQПТ, определяемой ортами \vec{a}, \vec{b} как показано на рис.1.

8. Если γ_1 -квант не попадает на входное окно, то в игру включается второй γ -квант (γ_2) и по приведенной выше схеме проверяется попадание его в детектор.
9. Вычисляется статистический вес ξ_i как функция энергии протона согласно работе [3], обусловленный неупругим взаимодействием протонов внутри медного поглотителя. Набирается сумма $\sum_i W_i V_i \xi_i$

В гистограммы $N(E_{\gamma}^H)$, $N(T_p)$, $N(\Theta_{\gamma\pi}^*)$, $N(E_{\gamma_i})$ заносятся события со статистическим весом

$$\sum_i W_i V_i \varepsilon_i .$$

Пункты 1-9 повторяются N раз и эффективность экспериментальной установки определяется по формуле

$$\eta = \frac{\sum_{i=1}^n W_i V_i \varepsilon_i}{\sum_{i=1}^n W_i V_i} ,$$

где N - полное число розыгрышей, n - число событий (RJ°) давших попадание в детектор.

Блок-схема расчета приводится на рис.2.

Написанная нами программа моделирования двухчастичной реакции с распадом одной из конечных частиц отличается от существующих стандартных программ.

Программа написана конкретно для двухчастичной реакции, что делает её использование экономичнее по сравнению с тем, что получается при использовании стандартных программ типа "FOWL" и "FAKE" для решения такой задачи, так как эти программы созданы в основном для расчета многочастичных фазовых объемов. Кроме того, специфика задачи, а именно, розыгрыш энергии пучка, приводит к тому, что для работы с программами типа "FOWL" пришлось бы писать специально управляющие подпрограммы и перекраивать некоторые блоки. Все это говорит о целесообразности использования описанной здесь программы для решения подобных задач.

Результаты расчета

В данной работе приводятся в основном вычисленные спектры для II позиции. Подобные результаты получены также для I и III позиций.

На рисунке 3 представлены энергетический спектр и поляризации γ -квантов, падающих на мишень с пиковой энергией, равной 1,35 Гэв. Прямыми линиями отделена те

область, которая охватывается во Π позиции экспериментальной установкой. Расчет энергетического спектра и поляризации производился по программе, описанной в работе [4], которая вошла в основную программу в качестве подпрограммы.

На рисунке 4 изображен энергетический спектр начальных γ -квантов, соответствующих случаю регистрации ($P\pi^0$) экспериментальной установкой.

На рисунке 5 представлен энергетический спектр регистрируемых протонов. Наблюдается уменьшение числа протонов с увеличением энергии, что обусловлено почти линейной зависимостью возрастания числа неупругих процессов в поглотителе с энергией протона.

На рисунке 6 дается энергетический спектр регистрируемых фотонов от распада π^0 -мезона, который лежит в области (0,53 - 1,10) Гэв.

На рисунке 7 представлен спектр углов вылета π -мезона в системе центра масс. Среднее значение угла составляет 59° и покрывает область ($54,5^\circ - 63,5^\circ$).

На рисунке 8 изображена зависимость эффективности экспериментальной установки от углов $\theta_{\gamma p}$ и $\theta_{\gamma \pi}$. Эти зависимости получаются, когда протонное или π -мезонное плечо поворачивается на определенный угол по отношению к соответствующим средним значениям углов $\bar{\theta}_{\gamma \pi}$ и $\bar{\theta}_{\gamma p}$, сохраняя при этом всю программу расчета неизменной.

Приведенные расчеты показывают следующее:

а) значение эффективности максимально под углами $\theta_{\gamma p}$ и $\theta_{\gamma \pi}$, которые соответствуют средним углам для данной позиции,,

б) эффективность установки падает до $10\% \eta_{\bar{\theta}_{\gamma p}}(\pi^0)$ уровня, если протонное плечо поворачивается на -5° по отношению к $\bar{\theta}_{\gamma p}$, а π^0 -плечо - на $+10^\circ$ по отношению к $\bar{\theta}_{\gamma \pi}$. (Полное число розыгрышей для определения эффективности установки равно $6 \cdot 10^4$). Величина 10° достаточно велика и создает определенные трудности

для экспериментальной оценки фона: она существенно уменьшается при регистрации двух γ - квантов от распада η^0 - мезона. В этом случае осуществляется наилучший отбор: реакции $\gamma p \rightarrow p \eta^0$ по отношению к фоновым реакциям. В настоящее время методом Монте-Карло вычисляются зависимости $\eta = f(\theta_{\gamma p}, \psi_{\delta, \gamma_2})$ при одновременной регистрации (p, δ, γ_2), при этом ожидается уменьшение эффективности регистрации до 10 раз.

Зависимость выхода реакции от энергии начального γ - кванта представлена на рис.9. Результаты получаются для условий:

$$\begin{aligned} E_{e^-}^{\text{max}} &= 4.5 \text{ ГэВ}; & \theta_{\text{э.кв. кв.}} &= 10^9 \text{ сек}^{-1} \\ \epsilon_{\text{сч. сч}} &\approx 100\% & \epsilon_{\text{сик.}} &\approx 60\% \end{aligned}$$

где ϵ - эффективность регистрации.

В частности, для Γ позиции, когда средняя энергия регистрируемых фотонов составляет 1,2 ГэВ и средняя поляризация $P=60\%$, среднеквадратичная ошибка асимметрии, определяемая по формуле

$$\delta(\Sigma) = \frac{2}{P} \frac{(N_{\perp} N_{\parallel})^{1/2}}{(N_{\perp} + N_{\parallel})^{3/2}}$$

составляет $\pm 4\%$, если:

- а) для $\Sigma \approx 0,05$ число случаев N_{\parallel} и N_{\perp} будет 900
- б) для $\Sigma \approx 0,95$ $N_{\perp} = 225$; $N_{\parallel} = 900$.

Для гистограмм, приведенных на рисунках 4-7 площадь под спектрами составляет примерно 900 случаев.

В заключение авторы выражают благодарность Гулякяну Г.Р. за полезные обсуждения и Бондаренко В.С. за помощь в работе над программой.

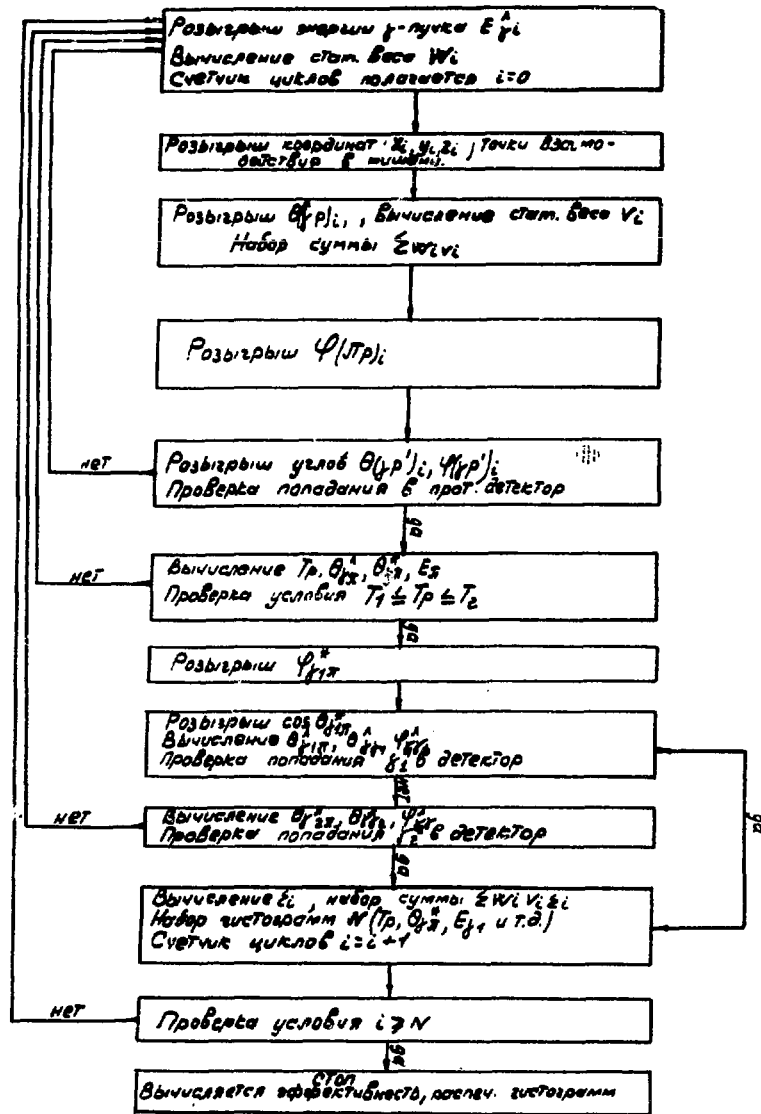


Рис.2

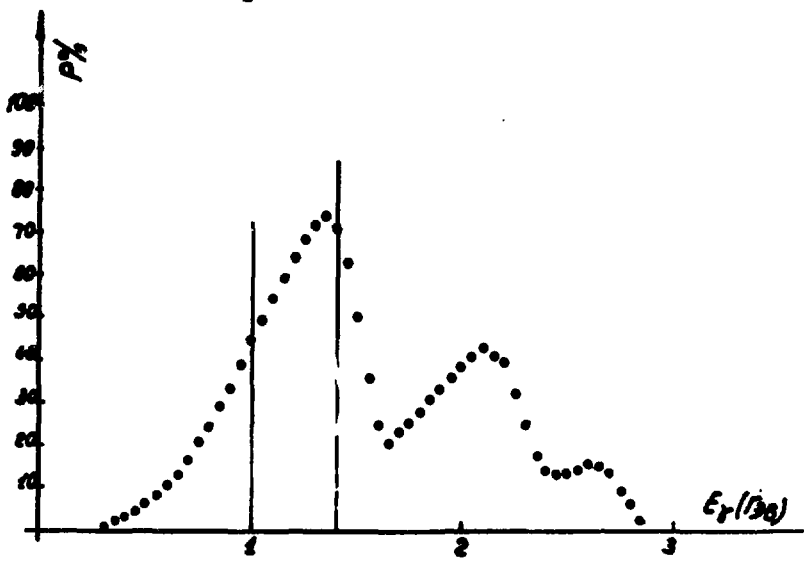
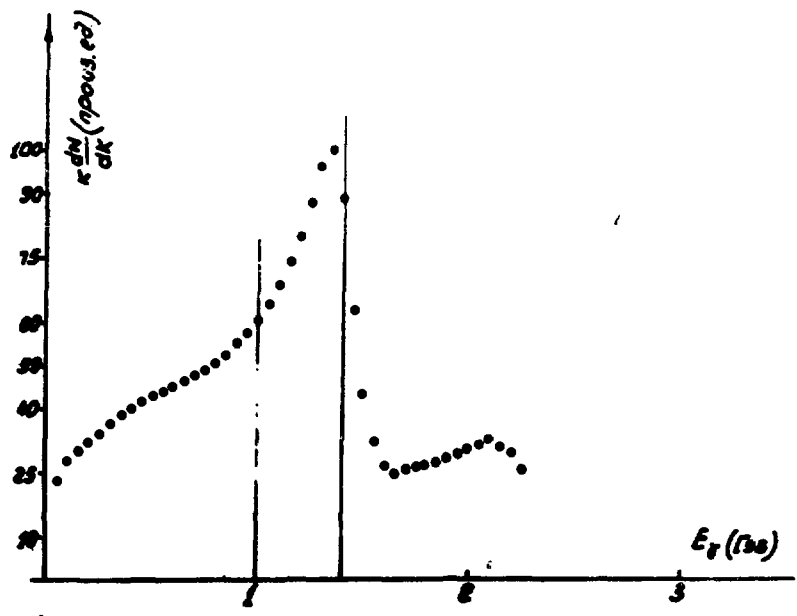


Рис.3

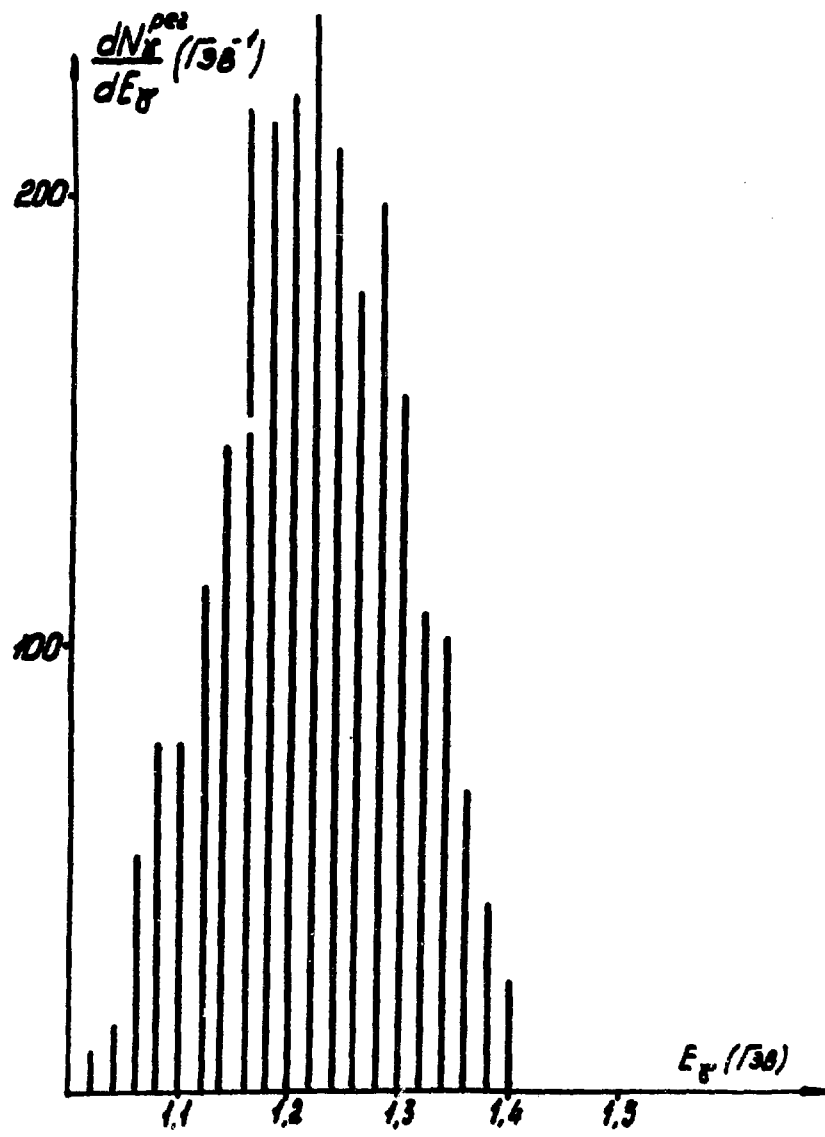


Рис.4

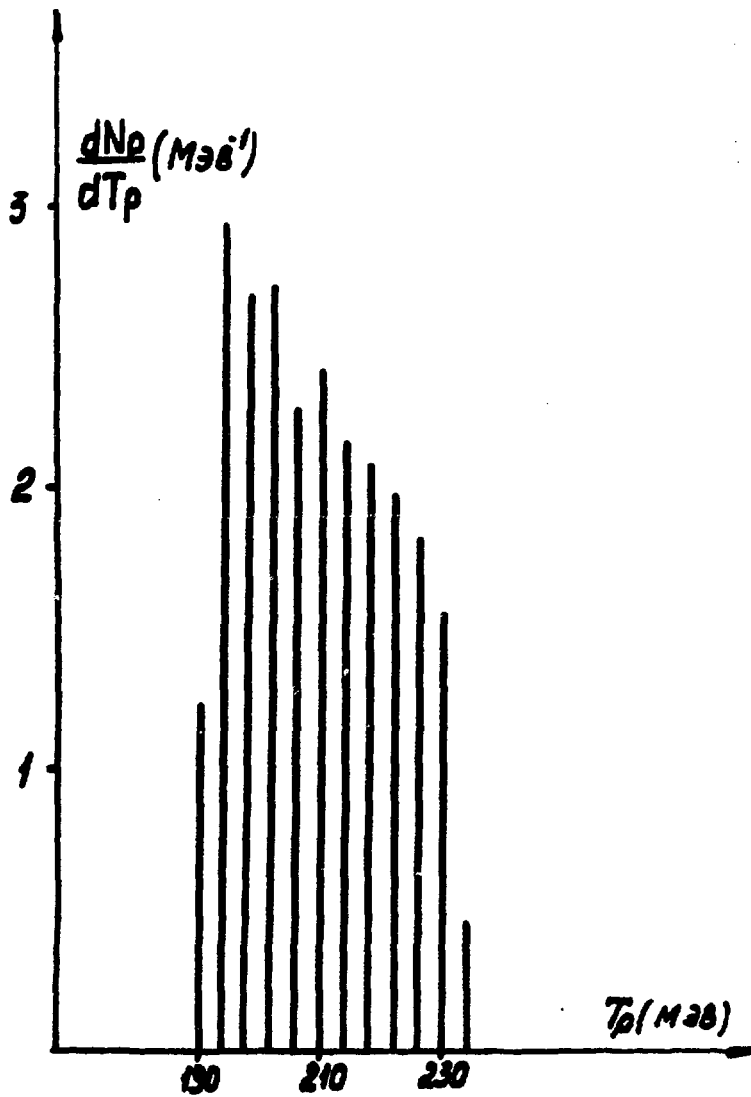


Рис. 5

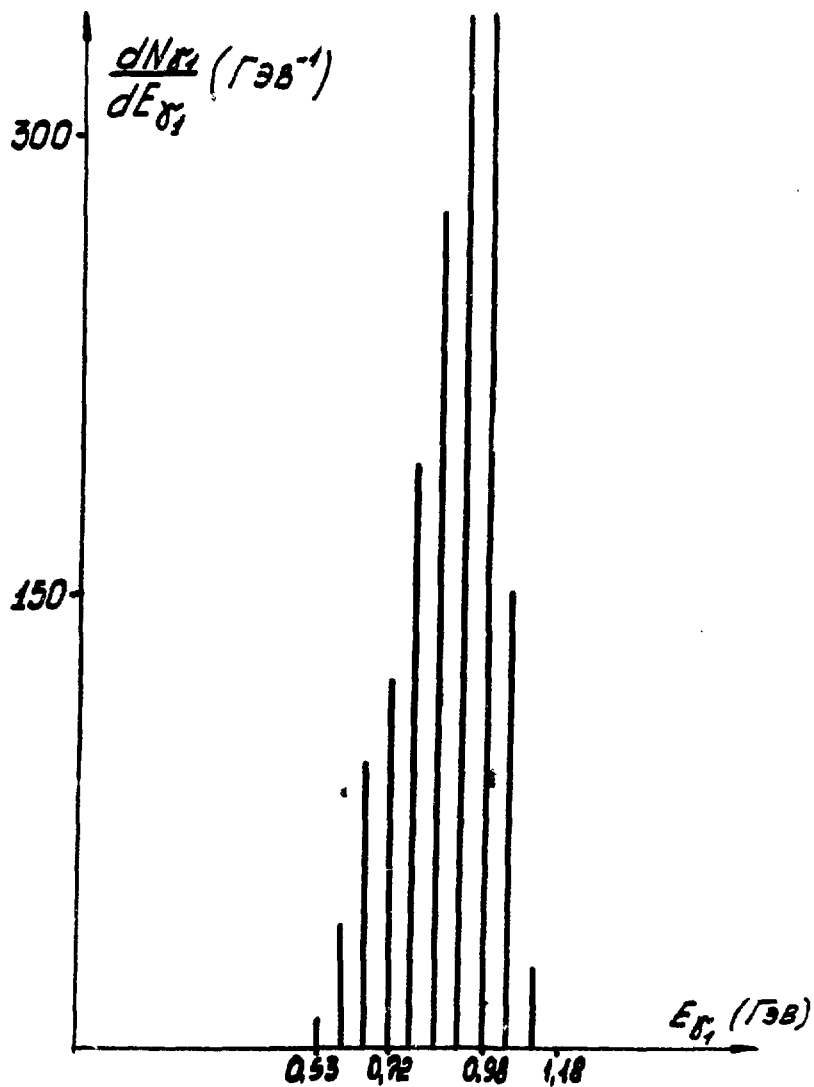


Рис. 6

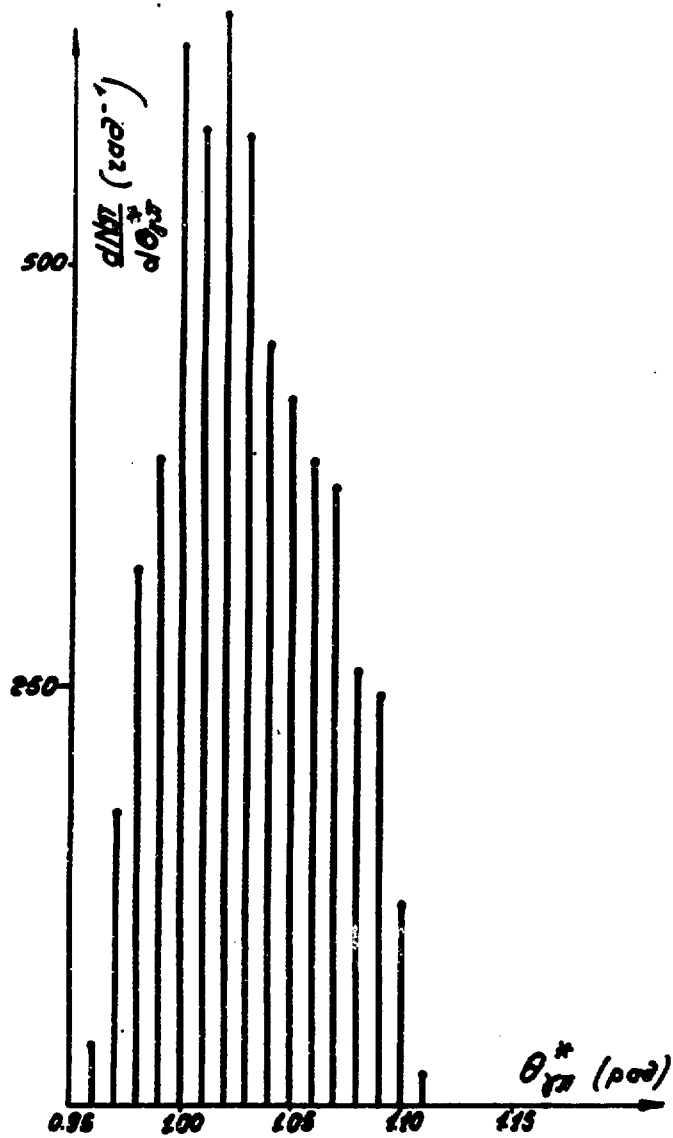


Рис. 7

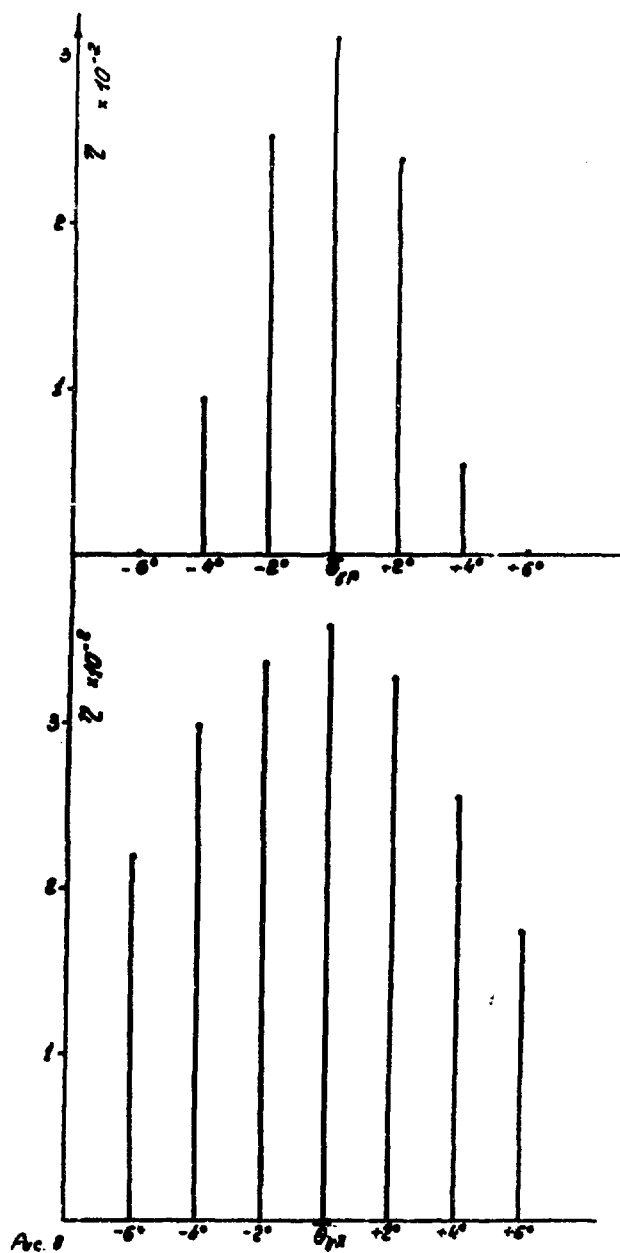


Рис. 8

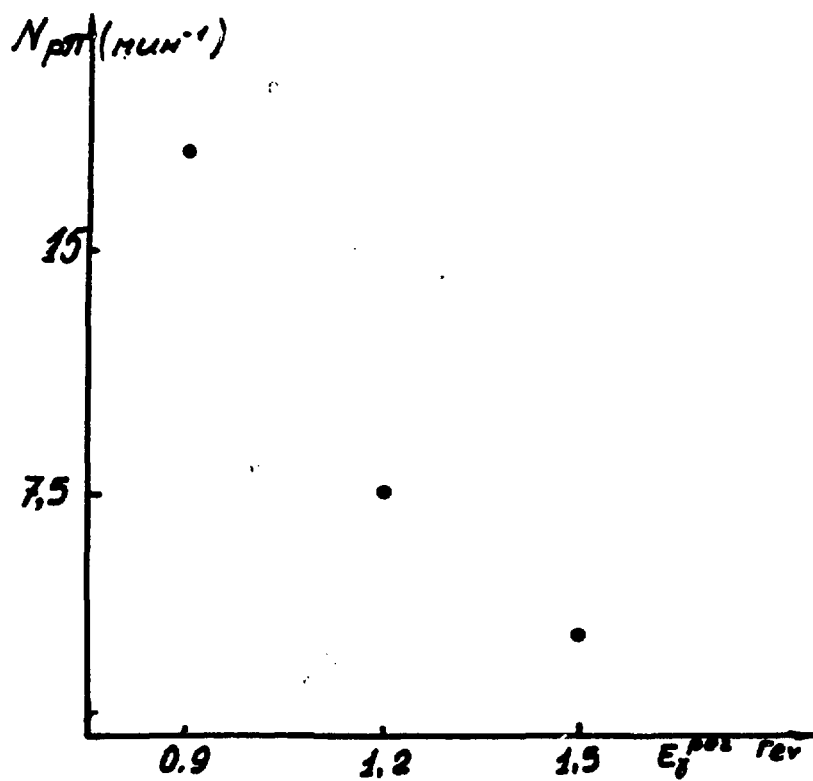


Рис. 9

ПОДПИСИ К РИСУНКАМ

- Рис.1 Схема экспериментальной установки.
- Рис.2 Блок-схема расчета.
- Рис.3 Энергетический спектр и поляризация γ -квантов, падающих на мишень, с пиковой энергией 1,35 Гэв.
- Рис.4 Энергетический спектр начальных γ -квантов, соответствующих случаю регистрации (90°) экспериментальной установкой.
- Рис.5 Энергетический спектр регистрируемых протонов,
- Рис.6 Энергетический спектр регистрируемых фотонов от распада Π^0 -мезона.
- Рис.7 Спектр углов вылета Π^0 -мезона в системе центра масс.
- Рис.8 Зависимость эффективности экспериментальной установки от углов $\theta_{\gamma p}$ и $\theta_{\gamma \pi}$.
- Рис.9 Зависимость выхода реакции от энергии начального γ -кванта.

ЛИТЕРАТУРА

1. I.S.Barton, P.S.L.Booth, L.J.Carroll, J.R.Rolt, J.H.Jackson, G.Moscatti and J.R.Wormald. Preprint DL/P. 208 1974 .
2. А.М.Балдин. Кинематика ядерных реакций, Москва 1969.
3. D.F.Measday, C.Richard-Serre, Nucl.Instr.and Meth. 76,45, 1969.
4. Н.З.Акопов, Г.А.Ососков . Препринт ОИЯИ, Р11-8410. Дубна. 1974.

Рукопись поступила 21-го января 1976 г.

Редактор Л.П.Мукаян
Тех.редактор А.С.Абрамян

Заказ 548 ВФ- 03813 Тираж 299

Подписано к печати 7/У-76г. Формат издания 30х40

1,5 уч.изд.л. Ц.10 к.

Отпечатано на ротапринтере
Ереванского физического института, Ереван 36, пер. Мар-
каряна 2