

С-482

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

Р1 - 4076



Б.Словинский, З.С.Стругальский

ОБРАЗОВАНИЕ ДВУХ И БОЛЕЕ π^0 -МЕЗОНОВ
В π^+ -He ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ ПРИ 2,34 ГЭВ/С

ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

1968

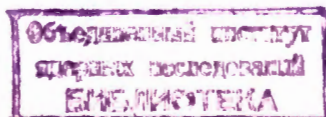
P1 - 4076

7562/2 up.

Б.Словинский, З.С.Стругальский

ОБРАЗОВАНИЕ ДВУХ И БОЛЕЕ π^0 -МЕЗОНОВ
В π^+ -He ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ ПРИ 2,34 ГЭВ/С

Направлено в ЯФ



В нашей предыдущей работе/1/ были приведены экспериментальные результаты, касающиеся импульсных, энергетических и угловых характеристик одиночных π^0 -мезонов, образованных в π^+ -He взаимодействиях при 2,34 Гэв/с. Было показано, что взаимодействия с числом наблюдаемых вторичных заряженных частиц не больше 3 подобны взаимодействиям π -мезонов со свободными нуклонами при этой же энергии, если речь идет об упомянутых выше характеристиках π^0 -мезонов.

Настоящая работа посвящена анализу характеристик π^0 -мезонов, которые рождаются по два и более во взаимодействиях π^+ -He при 2,34 Гэв/с.

Полученные информации о спектрах γ -квантов и эффективных масс $\gamma \dots \gamma \rightarrow$ комбинаций имеют также методическое значение и дополняют данные, которые мы получаем при исследованиях нейтральных бозонов, распадающихся на π^0 -мезоны и γ -кванты/2/.

Описание эксперимента

При двукратном просмотре снимков с ксеноновой пузырьковой камеры ОИЯИ, облученной в пучке π^+ -мезонов с импульсом 2,34 Гэв/с, отбирались π^+ -He взаимодействия с любым числом наблюдаемых вторичных заряженных частиц, находящиеся в определенной выделенной центральной области камеры и сопровождающиеся больше чем двумя γ -квантами, обнаруженными во всей рабочей области камеры х).

х) Область взаимодействий была определена плоскостями, параллельными стенкам камеры, перпендикулярными к осям координат в точках X +50, 120 мм; Y -210, +80 мм; Z -45, -120 мм. Координаты рабочей области камеры: X -47, +223; Y -274, +274; Z 0, -165.

Минимальная длина проекции на плоскость фотографирования наблюдаемых вторичных следов составляет 2 мм в масштабе камеры, чему соответствует кинематическая энергия протонов 15 Мэв и пионов 8 Мэв. Средняя эффективность регистрации γ -квантов, таких, энергию которых можно определить с точностью не хуже 30%, составляет 76%.

В результате просмотра 15000 стереофотографий найдено 416 событий с числом γ -квантов $N_\gamma \geq 3$. В каждом случае измерялись углы вылета и энергии γ -квантов. Средняя ошибка двукратного измерения углов на микроскопах Цейс-УММ не превышает 50'. Средняя точность определения энергии γ -квантов составляет 22%. Подробные данные, касающиеся экспериментальной процедуры и достигаемых точностей в условиях выполненного нами эксперимента, приведены в приложении.

На основании полученного набора информации о каждом зарегистрированном случае были составлены угловые и энергетические распределения γ -квантов, распределения эффективных масс $m_{\gamma\gamma}$, $m_{3\gamma}$, $m_{4\gamma}$ в зарегистрированных событиях, а также угловые и импульсные спектры π^0 -мезонов. Определены частоты генерации π^0 -мезонов в зависимости от множественности наблюдаемых вторичных заряженных частиц.

Экспериментальные данные

1. Общие сведения об исследуемых взаимодействиях.

На 15000 стереоснимков были получены 6253 π^+ -He взаимодействия, удовлетворяющих критериям отбора. Распределение отобранных случаев по числу сопровождающих их наблюдаемых γ -квантов независимо от числа наблюдаемых в звезде вторичных заряженных частиц N_{ch} , а также в зависимости от числа вторичных наблюдаемых следов дано в табл. 1 в соответствующих колонках, озаглавленных N_{exp} . В этой же таблице приведены значения ожидаемых чисел событий (колонки N_{ev}) с соответствующим количеством γ -квантов в предположении, что источником γ -квантов являются π^0 -мезоны. Распределение взаимодействий по числу наблюдаемых вторичных частиц приведено в табл. 2. В этой же таблице

приведены данные, касающиеся средних импульсов, $\bar{P}_{\pi^0^-}$, π^0 - мезонов в л.с.к. и средних поперечных импульсов, π^0 - мезонов в группах звезд с $N_{ch} \leq 2$, $N_{ch} \geq 7$ и $3 \leq N_{ch} \leq 6$.

Таблица 2

N_{ch}	≤ 2	3+6	≥ 7
%	25,0	45,6	29,4
\bar{P}_{π^0} , Мэв/с	615 \pm 50	275 \pm 40	196 \pm 50
$P_{\perp \pi^0}$, Мэв/с	230 \pm 30	174 \pm 23	146 \pm 20
$\langle \Delta P_{\perp \pi^0}^2 \rangle^{1/2}$, Мэв/с	128	113	104

N_{ch} - число заряженных вторичных частиц в звезде; \bar{P}_{π^0} , $P_{\perp \pi^0}$, $\langle \Delta P_{\perp \pi^0}^2 \rangle^{1/2}$ - средний импульс, средняя поперечная составляющая и дисперсия поперечной составляющей π^0 - мезонов.

2. Энергетические распределения γ -квантов

На рис. 1а) показаны энергетические распределения γ -квантов в событиях с числом γ -квантов $N_{\gamma} = 3$ и $N_{\gamma} = 4$.

На рис. 1б, дан спектр γ -квантов в звездах, сопровождаемых пятью γ -квантами.

Характерный вид этих спектров указывает на то, что основным источником γ -квантов являются π^0 - мезоны. Это еще нагляднее видно из распределений эффективных масс $m_{\gamma\gamma}$, показанных на рис.2.

В дальнейшем мы будем анализировать π^0 - мезоны, рожденные в исследуемых нами взаимодействиях. Мы будем считать, согласно приведенным распределениям эффективных масс $m_{\gamma\gamma}$, что от π^0 - мезона происходит та пара γ -квантов, которая дает значение $m_{\gamma\gamma}$ в границах $90 \text{ Мэв} \leq m_{\gamma\gamma} \leq 180 \text{ Мэв}^{1/3}$.

3. Распределения эффективных масс $m_{3\gamma}$ и $m_{4\gamma}$

Распределения $m_{3\gamma}$ в звездах с $N_\gamma = 3$ и $N_\gamma = 4$ приведены на рис.3. Сплошной кривой показано распределение $m_{3\gamma}$, рассчитанное по методу Монте-Карло. Нормировка проведена к одинаковому числу случаев.

Спектр эффективных масс $m_{4\gamma}$ во взаимодействиях с $N_\gamma = 4$ дан на рис.4. Сплошной кривой показано распределение случайных комбинаций $m_{4\gamma}$, рассчитанных по методу Монте-Карло. Распределения также нормированы к одинаковому числу случаев.

4. Угловое распределение π^0 -мезонов

Угловые распределения π^0 -мезонов в л.с.к. в различных классах звезд с числом γ , равным 3 и 4, показаны на рис.5.

Соответственные распределения, переведенные формально в систему центра масс π -нуклона, приведены на рис.6.

5. Распределения π^0 -мезонов по импульсам

Распределения π^0 -мезонов в трех группах π^+ -He взаимодействий по импульсам π^0 -мезонов, P_{π^0} , в л.с.к. и в с.л.м. π -нуклона и по поперечной составляющей импульсов $P_{\perp\pi^0}$ приведены соответственно на рис. 7, 8 и 9 и в табл. 2.

6. Частота генерации π^0 -мезонов

В табл. 3 приведены вероятности образования π^0 -мезонов по 1, 2, 3, 4 в разных классах π^+ -He взаимодействий с $N_{ch} \geq 0$, $N_{ch} \leq 3$, $N_{ch} = 4-6$ и $N_{ch} \geq 7$.

Таблица 3

N_{π^0}	$N_{ch \geq 0}, \%$	$N_{ch \leq 3}, \%$	$N_{ch 4 \div 6}, \%$	$N_{ch \geq 7}, \%$
1	$77,1 \pm 5,8$	$74,4 \pm 6,0$	$74,2 \pm 7,1$	$86,3 \pm 10,9$
2	$18,0 \pm 2,4$	$19,3 \pm 2,9$	$21,5 \pm 3,7$	$12,2 \pm 3,7$
3	$4,5 \pm 1,1$	$5,0 \pm 1,5$	$4,4 \pm 1,9$	$1,5 \pm 1,5$
4	$0,4 \pm 0,3$	$1,2 \pm 0,9$	0	0

N_{ch} - число взаимодействий с любым числом вторичных заряженных частиц; остальные обозначения, как и в табл. 1.

Таблица 4

N_{ch}	≤ 3	$4+6$	≥ 7	Все
\bar{n}_{π^0}	$1,33 \pm 0,11$	$1,30 \pm 0,13$	$1,15 \pm 0,15$	$1,28 \pm 0,10$
\bar{N}_{π^0}	$0,50 \pm 0,04$	$0,63 \pm 0,04$	$0,39 \pm 0,03$	$0,51 \pm 0,02$

\bar{n}_{π^0} - среднее число π^0 - мезонов лишь в звездах, в которых рождаются π^0 - мезоны; \bar{N}_{π^0} - среднее число π^0 - мезонов во всех звездах.

Зависимость от числа вторичных заряженных наблюдаемых в звездах частиц N_{ch} среднего числа \bar{n}_{π^0} - π^0 - мезонов, рожденных в одном акте взаимодействия, в котором образуются нейтральные пионы, а также зависимость от N_{ch} среднего числа \bar{N}_{π^0} - π^0 - мезонов, приходящихся на одно $\pi^+ - \text{Xe}$ взаимодействие, во всех звездах, приведены в табл. 4.

Обсуждение экспериментальных данных

Формы энергетических спектров γ - квантов в $\pi^+ - \text{Xe}$ взаимодействиях с $N_{\gamma} = 3$, $N_{\gamma} = 4$ и $N_{\gamma} = 5$ указывают, что, как и в случае

взаимодействий с $N_{\gamma} \leq 2$ /1/, основным источником γ -квантов являются π^0 -мезоны (рис. 1а, 1б). Это видно также еще более четко из распределений $m_{\gamma\gamma}$ (рис. 2).

Сравнение распределения $m_{3\gamma}$ от π^+ -Хе взаимодействий с $N_{\gamma}=3$ с распределением $m_{3\gamma}$ от взаимодействий с $N_{\gamma}=4$ показывает, что основная доля случаев с $N_{\gamma}=3$ происходит от случаев с $N_{\gamma}=4$.

Распределение $m_{4\gamma}$, полученное на опыте, не отличается значительно (в границах имеющихся ошибок) от распределения случайных 4 γ -комбинаций в этом ансамбле γ -квантов. Пока малая статистика не позволяет проделать добавочный анализ $m_{4\gamma}$ путем выделения комбинаций $m_{\pi^0\pi^0}$ или $m_{\pi^0\gamma\gamma}$ аналогично тому, как это делалось при исследовании событий с одной заряженной вторичной частицей /2/.

Среднее значение импульса \bar{P}_{π^0} π^0 -мезонов в л.с.к. в исследуемых взаимодействиях с $N_{ch} \leq 2$ (табл. 2) не отличается практически от среднего значения импульса π^0 -мезонов во взаимодействиях с $N_{ch} \leq 3$ и $N_{\gamma} \leq 2$, равного 615 ± 50 Мэв/с /1/. Среднее значение импульса вторичных π^+ -мезонов из реакций π^+-p при идентичном импульсе первичных π^+ -мезонов равно 644 ± 15 Мэв/с x).

Распределения импульсов P_{π^0} π^0 -мезонов в л.с.к., а также импульсов P_{π^0} , трансформированных формально в систему центра масс π -нуклона, различны для разных категорий звезд, сгруппированных по числу вторичных заряженных частиц (рис. 7 и рис. 8).

Поперечные составляющие импульсов $P_{\perp\pi^0}$ для разных групп звезд (рис. 9) заметно различаются. В звездах с $N_{ch} \leq 2$ среднее значение $\bar{P}_{\perp\pi^0} = 230 \pm 30$ Мэв/с и близко по значению к среднему значению поперечной составляющей импульса π^0 -мезона в звездах с $N_{ch} \leq 3$ и $N_{\gamma} \leq 2$, равному $\bar{P}_{\perp\pi^0} = 250 \pm 25$ Мэв/с /1/.

Угловые распределения π^0 -мезонов в л.с.к. и протрансформированные формально в систему ц.м. π -нуклона (рис. 5 и 6), почти одина-

x) Авторы благодарны В. Пеневу и болгарской группе физиков за предоставление соответствующих данных.

наковы для звезд с $N_{ch} = 3 + 6$ и $N_{ch} \geq 7$ и отличаются от распределений для звезд с $N_{ch} \leq 2$.

Эти сведения, особенно о средних значениях \bar{P}_{π^0} в сравнении с соответствующими данными о π - p взаимодействиях (подтверждая более ранние данные работ /1,2,4/) указывают на то, что π - He взаимодействия с N_{ch} небольшими являются в основном взаимодействиями пионов на квазисвободных нуклонах ядра ксенона.

ПРИЛОЖЕНИЕ

В процессе обработки событий с участием γ -квантов весьма важно точно определять энергии γ -квантов и углы между направлениями их эмиссии, т.к. эти величины необходимы для получения эффективных масс частиц, распадающихся на γ -кванты, π^0 -мезоны, π^0 -мезоны и γ -кванты. Точность определения масс π^0 -мезонов и энергий γ -квантов анализировалась в работе /3/. Здесь будут приведены информации, касающиеся точностей локализации точек конверсии и точек взаимодействий в камере, а также точностей определения углов эмиссии γ -квантов.

Данные эти были получены при двукратных измерениях исследованных событий. Распределение разниц между двумя независимыми измерениями определяет достигаемую точность при обработке больших количеств случаев

А. Точность воспроизведения координат точек взаимодействий и точек конверсий γ -квантов в камере

Было обнаружено, что точность локализации точек взаимодействий в камере практически не зависит от числа лучей в звезде и не отличается от соответствующей точности локализации точек конверсии γ -квантов.

Распределения разниц ΔX , ΔY , ΔZ двух независимых измерений координат X , Y , Z точек взаимодействий и точек конверсии в камере показаны на рис. 10; 11; 12.

Б. Точность определения углов эмиссии

γ - квантов в камере

Средняя ошибка $\overline{\Delta\Theta_\gamma}/2$ в определении углов эмиссии γ - квантов Θ_γ не зависит от значения Θ_γ и равна $\overline{\Delta\Theta_\gamma}/2 = 50$ (рис.13).

Распределение разниц $\Delta\Theta_\gamma/2$ двукратных определений углов Θ_γ показано на рис.14.

Значение $\Delta\Theta_\gamma/2$ зависит от длины конверсии γ - квантов при значениях $l \leq 40$ мм. При больших значениях $\Delta\Theta_\gamma/2$ не зависит от l (рис. 15). Зависимость вероятности определения Θ_γ с заданной точностью $\Theta_\gamma/2 = 0^\circ 15'$, $0^\circ 45'$, $1^\circ 15'$, $1^\circ 45'$ от длины конверсии l показана на рисунке 16. На рис. 17 приведено распределение $\Delta\Theta_\gamma/2$

при измерениях Θ в случаях с l , находящимися в следующих границах: $l \leq 10$ мм, $10 \leq l \leq 20$ мм, $20 \leq l \leq 30$ мм, $30 \leq l \leq 40$ мм и $40 \leq l \leq 50$ мм.

Л и т е р а т у р а

1. Б. Словинский, З.С. Стругальский. Препринт ОИЯИ. P1-3822. Дубна, 1968.
2. Z.S. Strugalski, I.V. Chuvilo, I.A. Ivanovskaya, B. Nichiporuk, T. Kanarek, Z. Jablonski, B. Slowinski. Preprint, E1-3000, Dubna, 1967.
3. И.А. Ивановская, Т. Канарек, Л.С. Охрименко, Б. Словинский, З.С. Стругальский, И.В. Чувило, З. Яблонский. Препринт P1-3317. Дубна, 1967; ПТЭ, 2, 39 (1968).
4. М. Дашкевич, Б. Словинский, З.С. Стругальский. ЯФ, 5, 341 (1967).

Рукопись поступила в издательский отдел
18 сентября 1968 года.

Таблица I

$N_{\text{об}}$		$N_{\text{об}} \geq 0$		$N_{\text{об}} \leq 3$		$N_{\text{об}} = 4 \div 6$		$N_{\text{об}} \geq 7$	
N_{γ}	$N_{\pi^0} = \frac{N_{\gamma}}{2}$	N_{exp}^i	$N_{\text{тв}}^i$	N_{exp}^i	$N_{\text{тв}}^i$	N_{exp}^i	$N_{\text{тв}}^i$	N_{exp}^i	$N_{\text{тв}}^i$
0	0	3910	3772 \pm 164	1412	1388 \pm 40	1124	1182 \pm 63	1278	1320 \pm 43
1		876	820 \pm 73	235	242 \pm 19	362	317 \pm 31	279	200 \pm 25
2	1	1051	1913 \pm 107	403	634 \pm 38	418	733 \pm 51	230	450 \pm 41
3		212	203 \pm 33	89	73 \pm 11	85	96 \pm 18	38	28 \pm 9
4	2	152	447 \pm 56	72	165 \pm 23	64	212 \pm 34	16	65 \pm 18
5		27	39 \pm 11	12	18 \pm 5	10	12 \pm 6	5	2 \pm 2
6	3	22	111 \pm 28	15	43 \pm 12	6	43 \pm 18	1	8 \pm 8
7		1	1 \pm 1	0	4 \pm 3	1	0	0	0
8	4	2	10 \pm 7	2	10 \pm 7	0	0	0	0

$N_{\text{об}}$ - число заряженных вторичных частиц в звезде; N_{γ} - число γ - квантов, сопровождающих звезду; N_{π^0} - число π^0 - мезонов, сопровождающих звезду; N_{exp}^i , $N_{\text{тв}}^i$ - число взаимодействий, полученных на опыте и вычисленных соответственно.

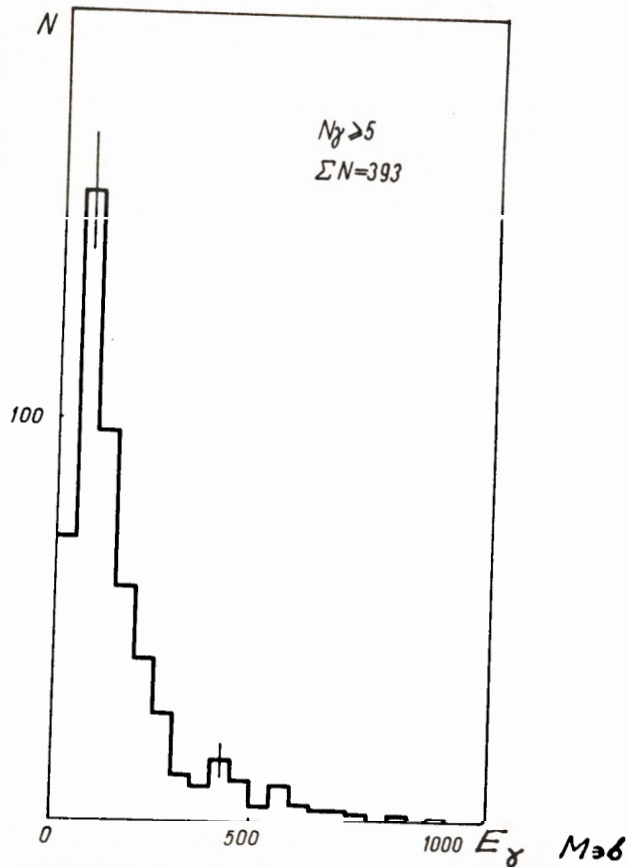
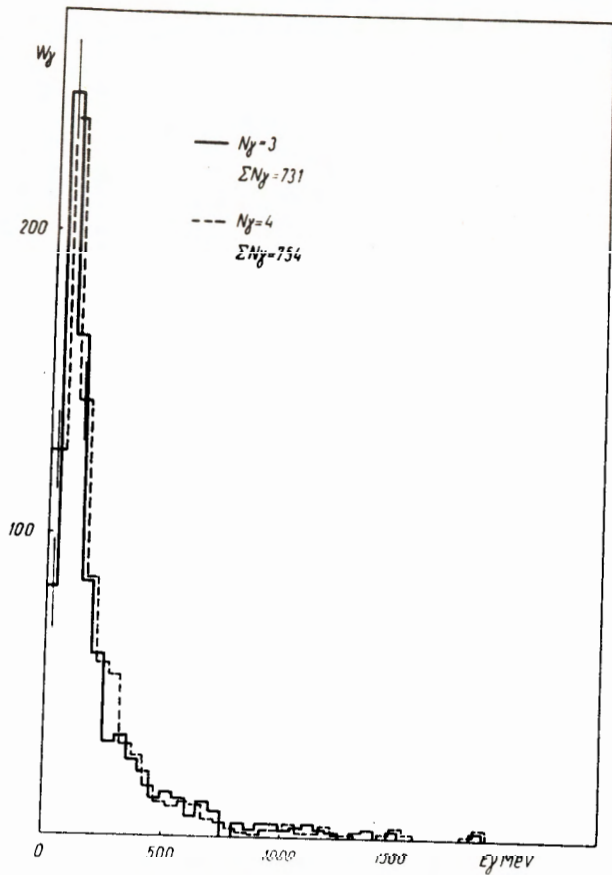


Рис.1. а) Энергетическое распределение γ -квантов в π^+ -He взаимодействиях с числом сопровождающих их γ -квантов $N_\gamma=3$ и $N_\gamma=4$. б) Энергетическое распределение γ -квантов в звездах, сопровождаемых пятью наблюдаемыми γ -квантами.

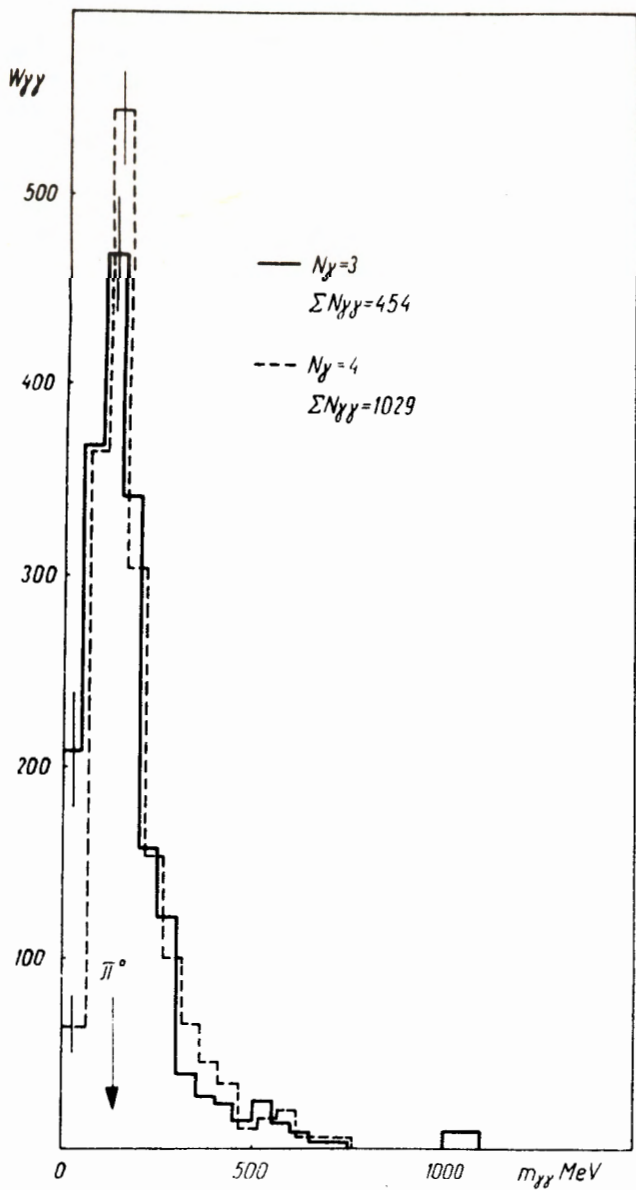


Рис.2. Распределение эффективных масс $m_{\gamma\gamma}$ в π^+ - Xe взаимодействиях с $N_{\gamma}=3$ и $N_{\gamma}=4$.

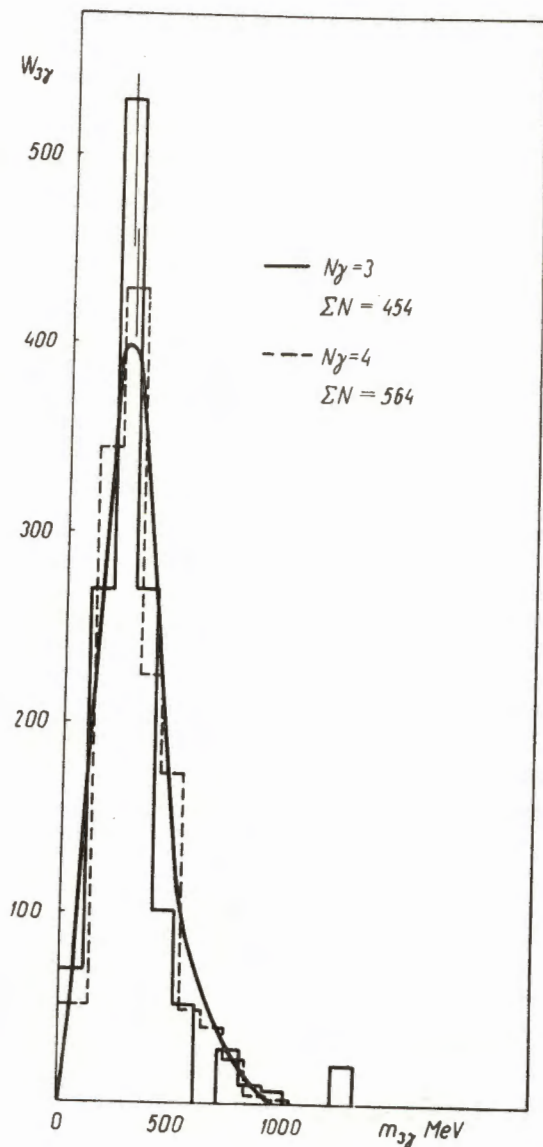


Рис. 8. Распределение эффективных масс $m_{3\gamma}$ во взаимодействиях с $N_{\gamma}=3$ и $N_{\gamma}=4$. Сплошная кривая — распределение случайных комбинаций 3γ , рассчитанное по методу Монте-Карло. Нормировка к одинаковому числу случаев.

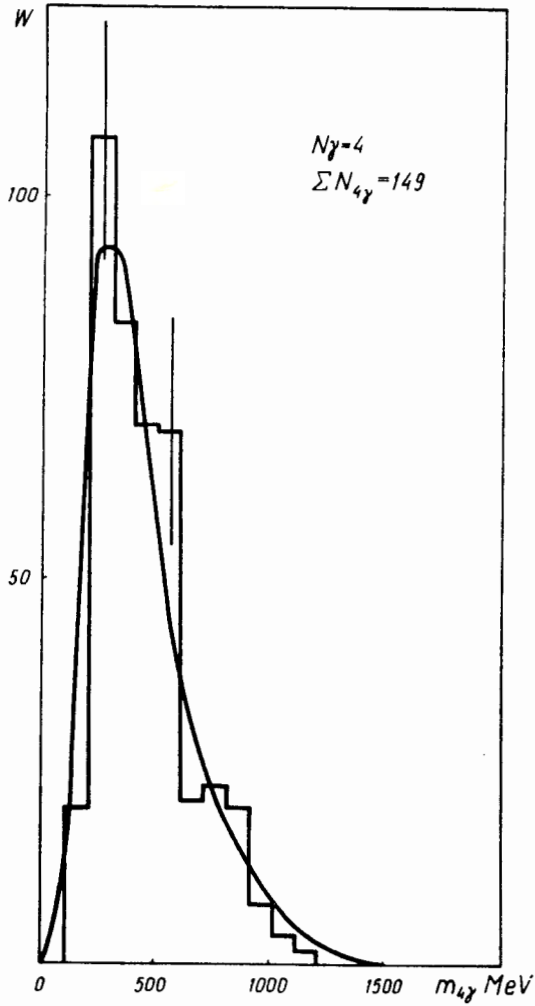


Рис.4. Распределение эффективных масс $m_{4\gamma}$ во взаимодействиях с $N_{\gamma}=4$. Сплошная кривая - распределение случайных 4γ -комбинаций, вычисленное по методу Монте-Карло. Нормировка к одинаковому числу случаев.

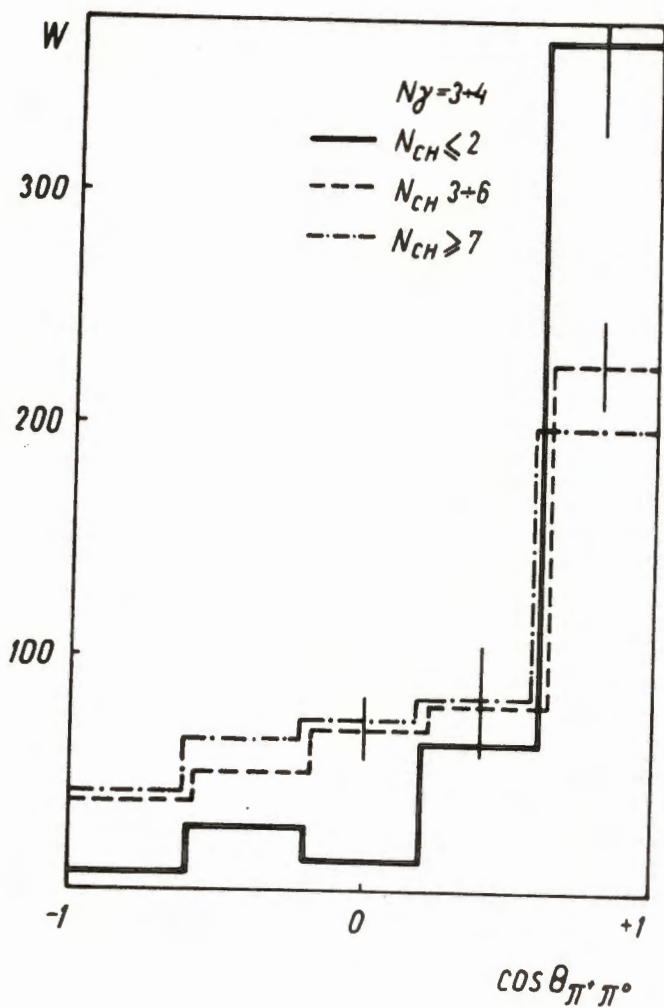


Рис.5. Угловые распределения π^0 -мезонов в π^+ -He реакциях с разным числом вторичных заряженных частиц в л.с.к. Гистограммы нормированы к одинаковому числу частиц.

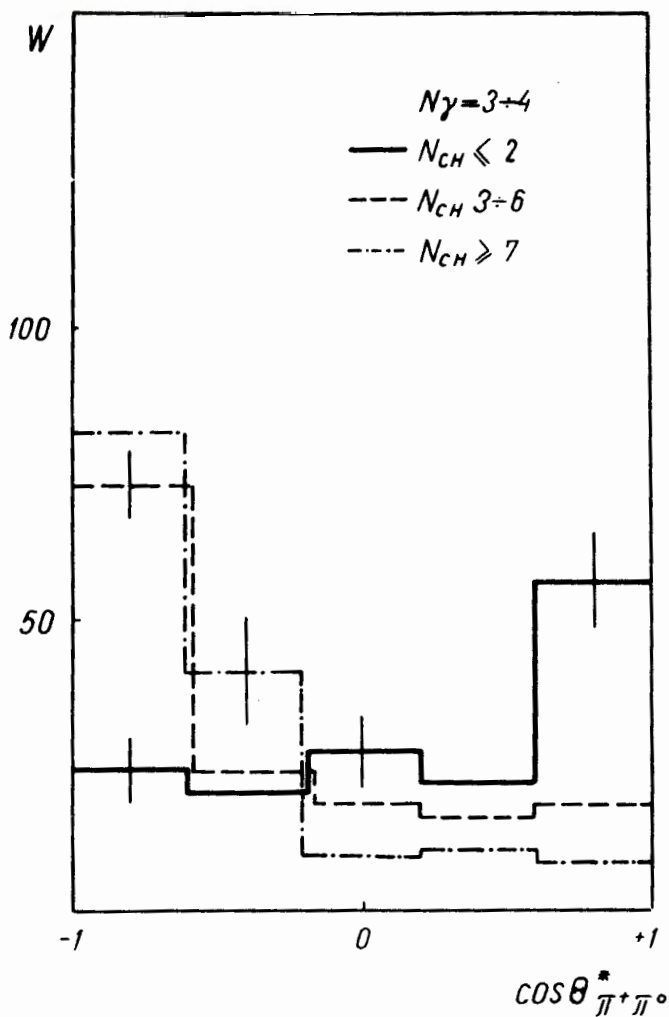


Рис.6. Угловые распределения π^0 - мезонов из реакций $\pi^+ - \text{Xe}$ с $N_{\gamma}=3 \div 4$, с $N_{ch} \leq 2$, $N_{ch} \geq 7$ и $3 \leq N_{ch} \leq 6$, трансформированные в с.ц.м. π - нуклона.

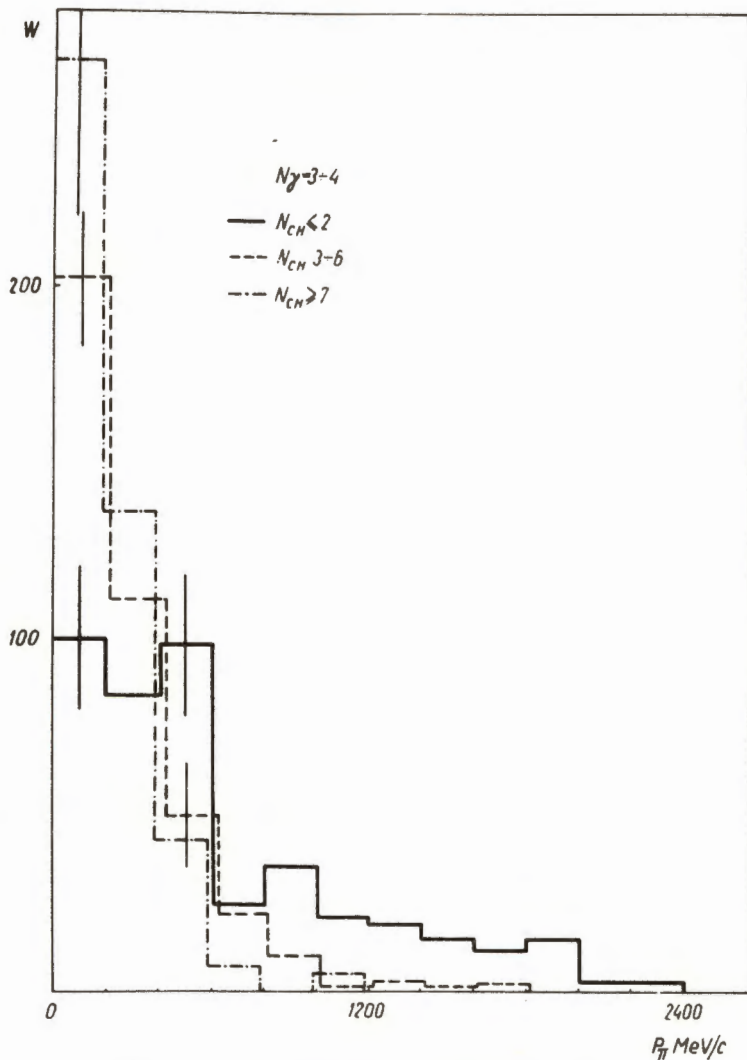


Рис.7. Распределения π^0 -мезонов по импульсам в л.с.к. в разных классах π^+ -He взаимодействий с $N_\gamma = 3+4$. Нормированы к одинаковому числу частиц.

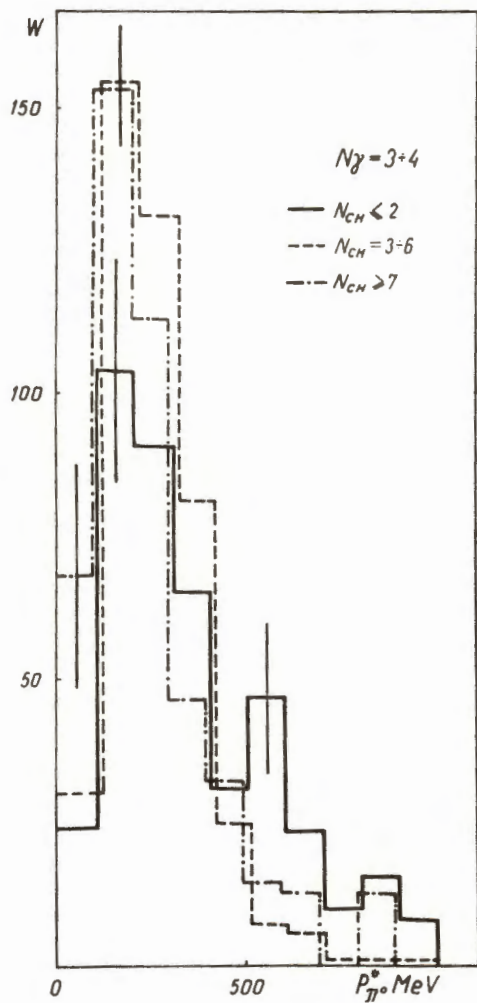


Рис.8. Распределения π^0 - мезонов по импульсам в разных классах звезд, трансформированные в с.ц.м. π - нуклона, нормированные к одинаковому числу частиц.

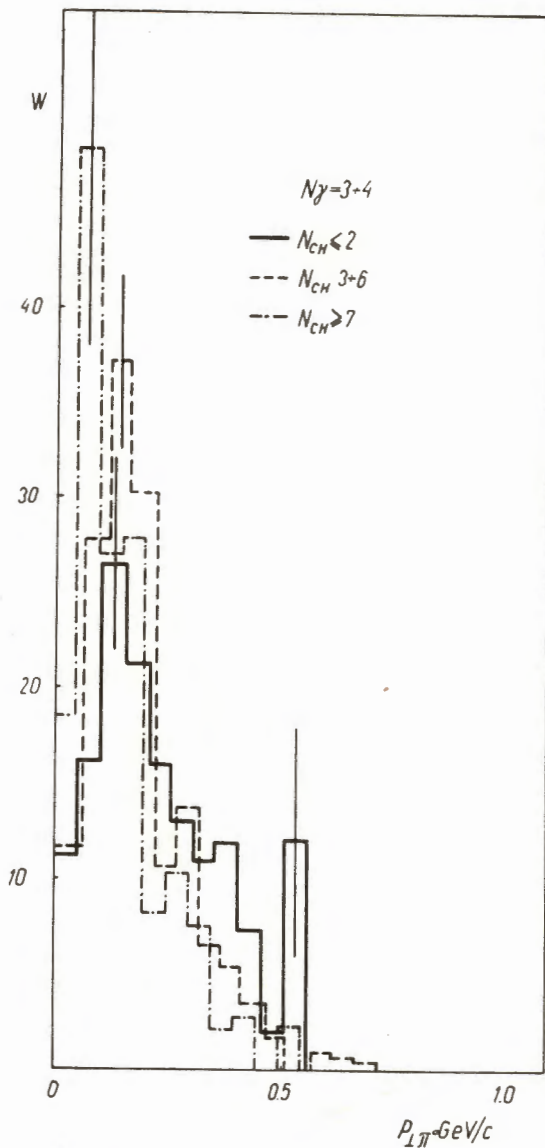
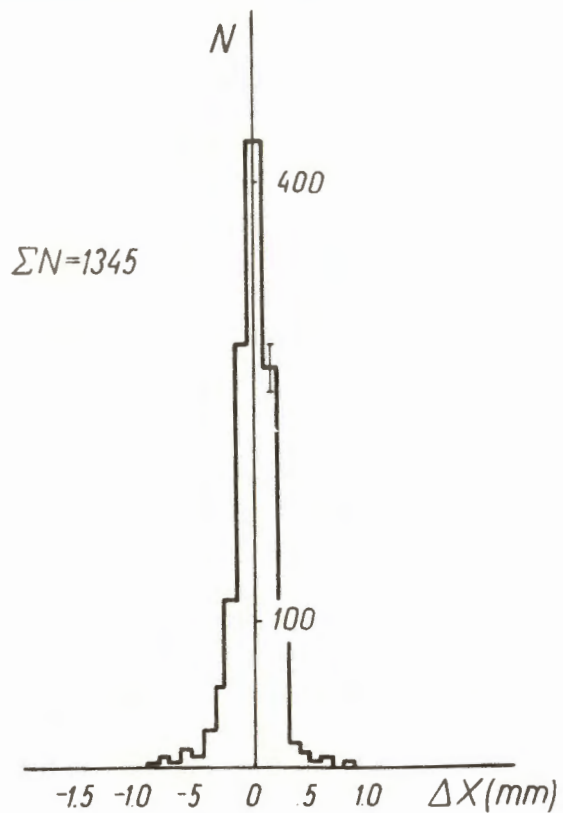
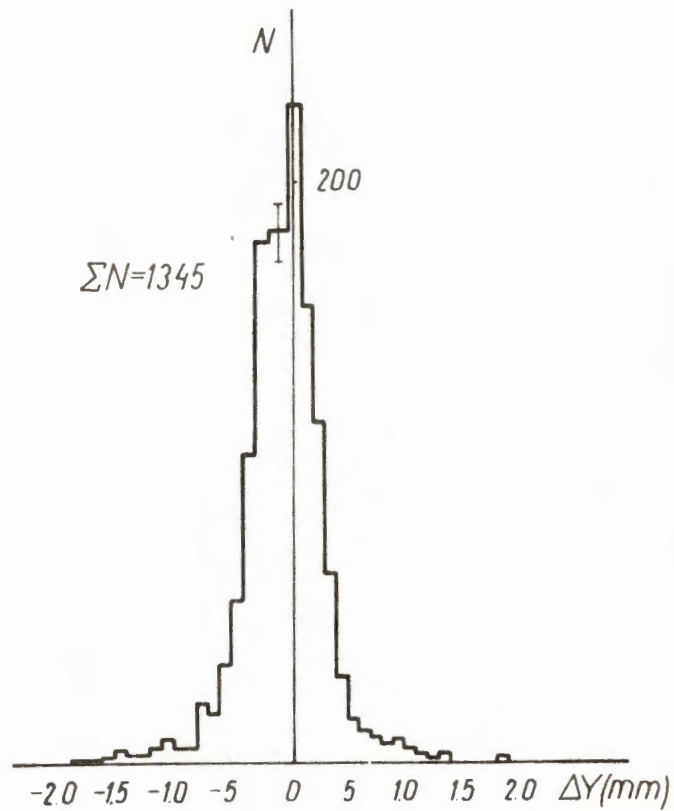


Рис.9. Распределения поперечных составляющих импульсов π^0 - мезонов в классах звезд с $N_{\gamma} = 3 \div 4$ и разными N_{ch} . Гистограммы нормированы к одинаковому числу случаев.

Рис.10. Распределение ΔX .Рис.11. Распределение ΔY .

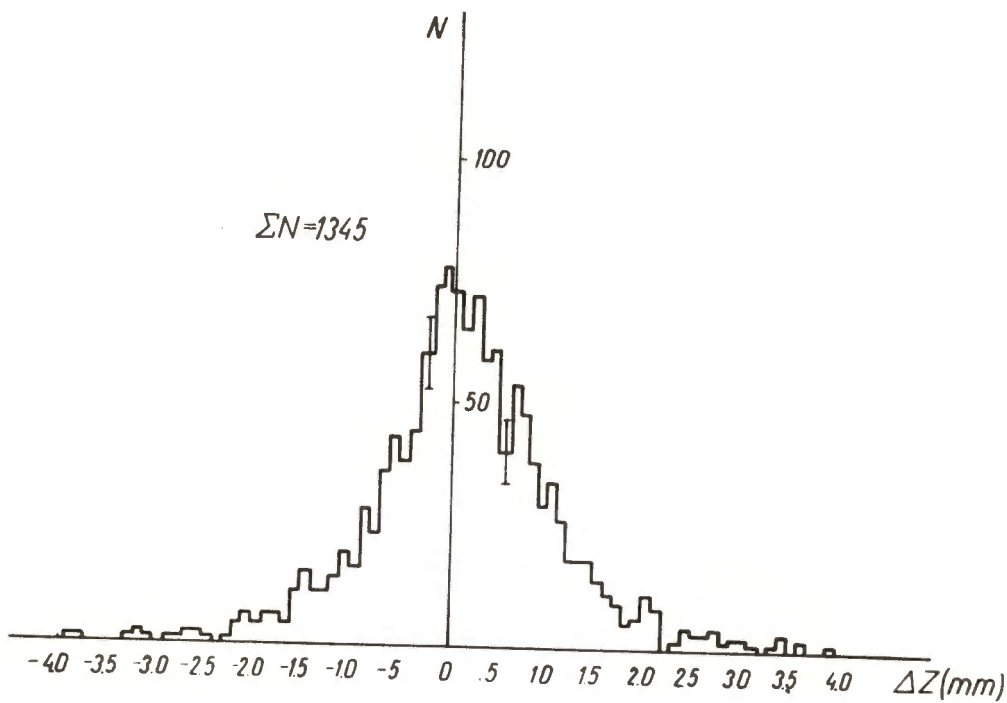


Рис.12. Распределение ΔZ .

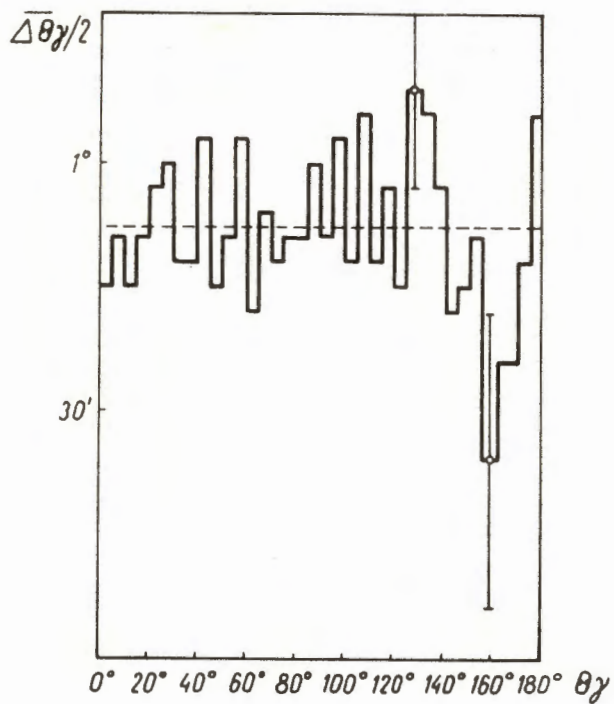


Рис.13. Зависимость средней ошибки $\overline{\Delta\theta_\gamma}/2$ определения углов эмиссии γ -квантов Θ_γ от значений θ_γ .

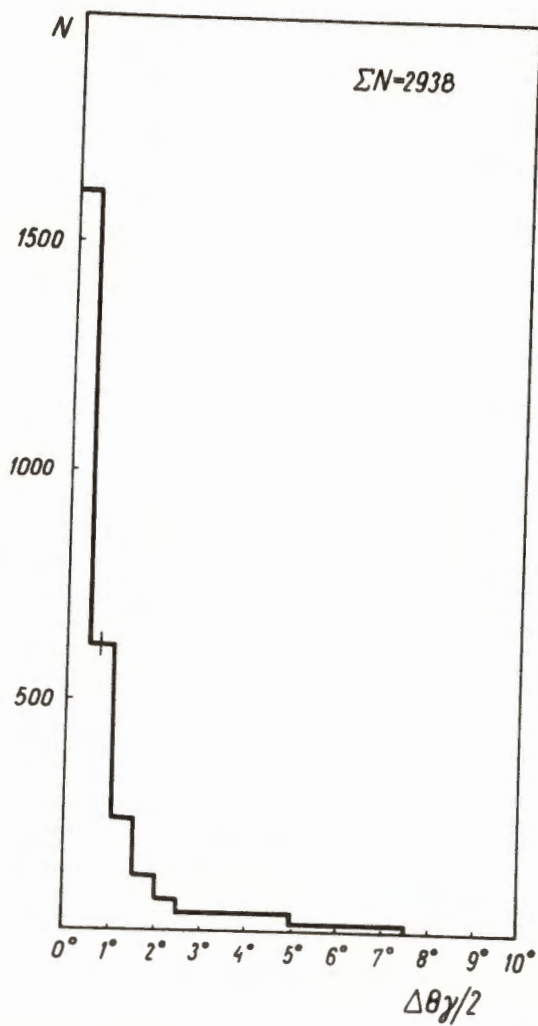


Рис.14. Распределение ошибок $\Delta\theta\gamma/2$ в определении углов эмиссии γ -квантов $\theta\gamma$.

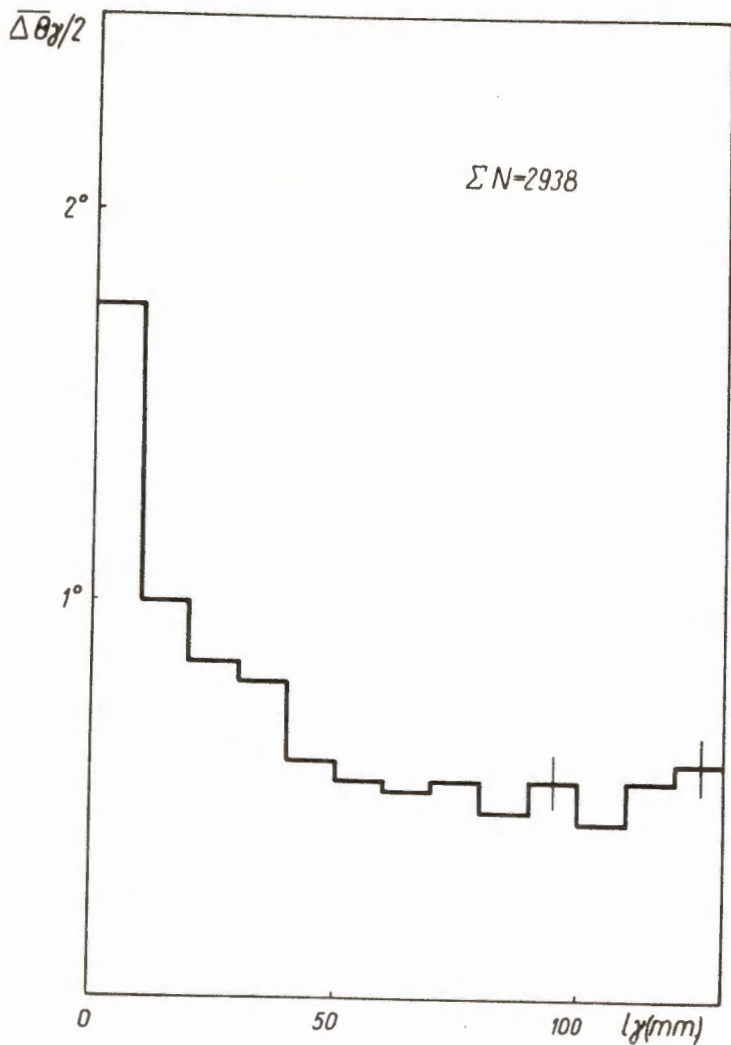


Рис.15. Зависимость ошибки в определении углов эмиссии γ -квантов $\Delta\bar{\theta}_\gamma/2$ от длин конверсии γ -квантов ℓ .

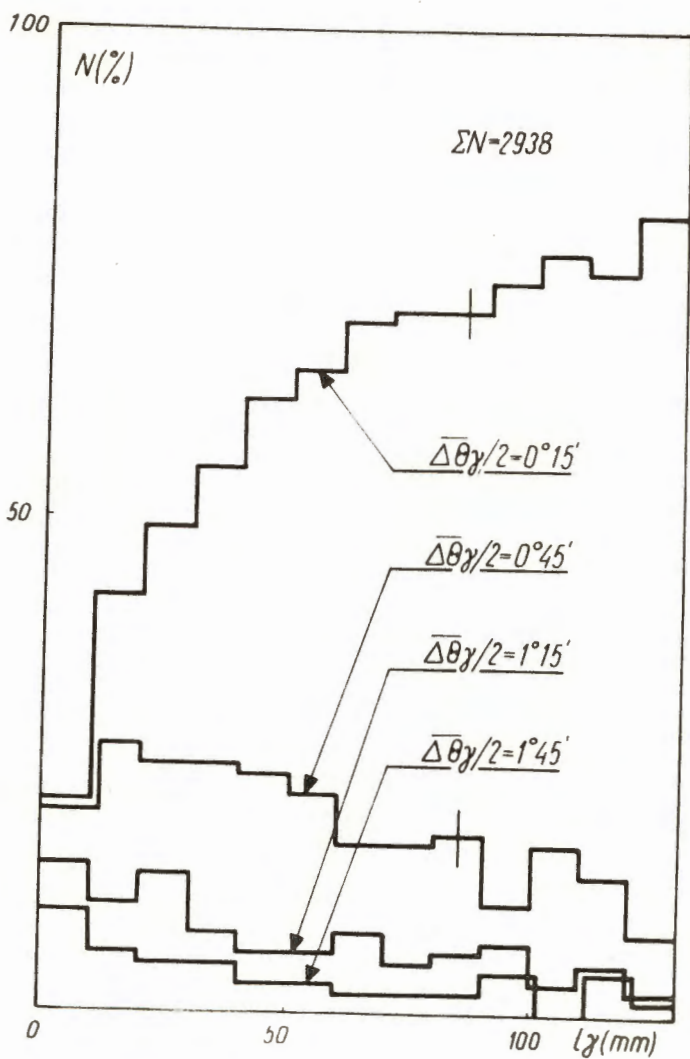


Рис.16. Зависимость вероятности определения $\theta \gamma$ с заданной точностью $\Delta \theta \gamma / 2$ от длины конверсии l .

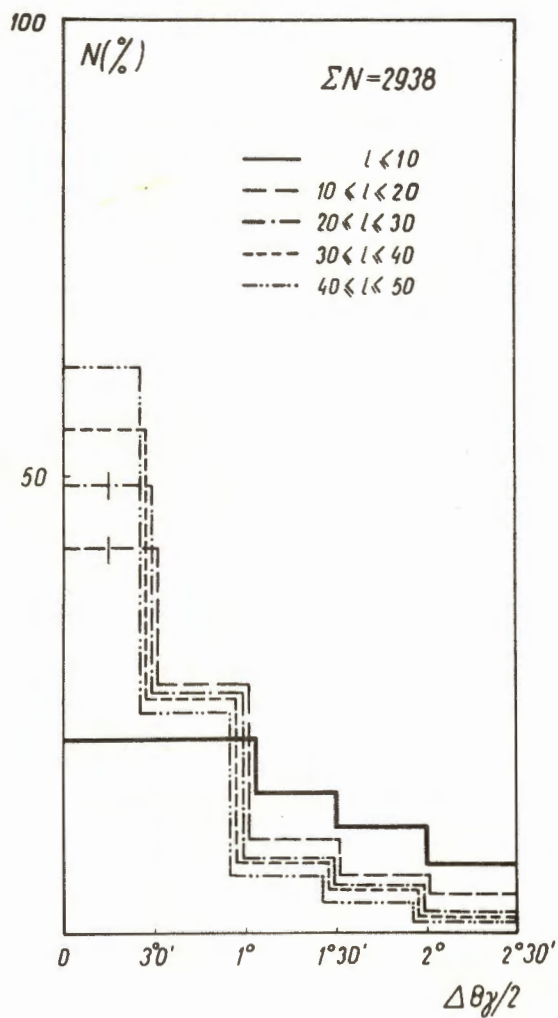


Рис.17. Распределения $\Delta\theta\gamma/2$ при измерениях $\theta\gamma$ в случаях с разными значениями ℓ .