

# Поиск резонансов в спектре масс двухфотонных событий, образующихся в $\pi^+A$ - взаимодействиях, в эксперименте Гиперон-М на У-70

А.М. Горин, **С.В. Евдокимов**, В.И. Изучеев, Е.С. Кондратюк,  
Б.В. Полищук, В.И. Рыкалин, С.А. Садовский, Ю.В. Харлов,  
А.А. Шангараев  
НИЦ “Курчатовский институт” – ИФВЭ

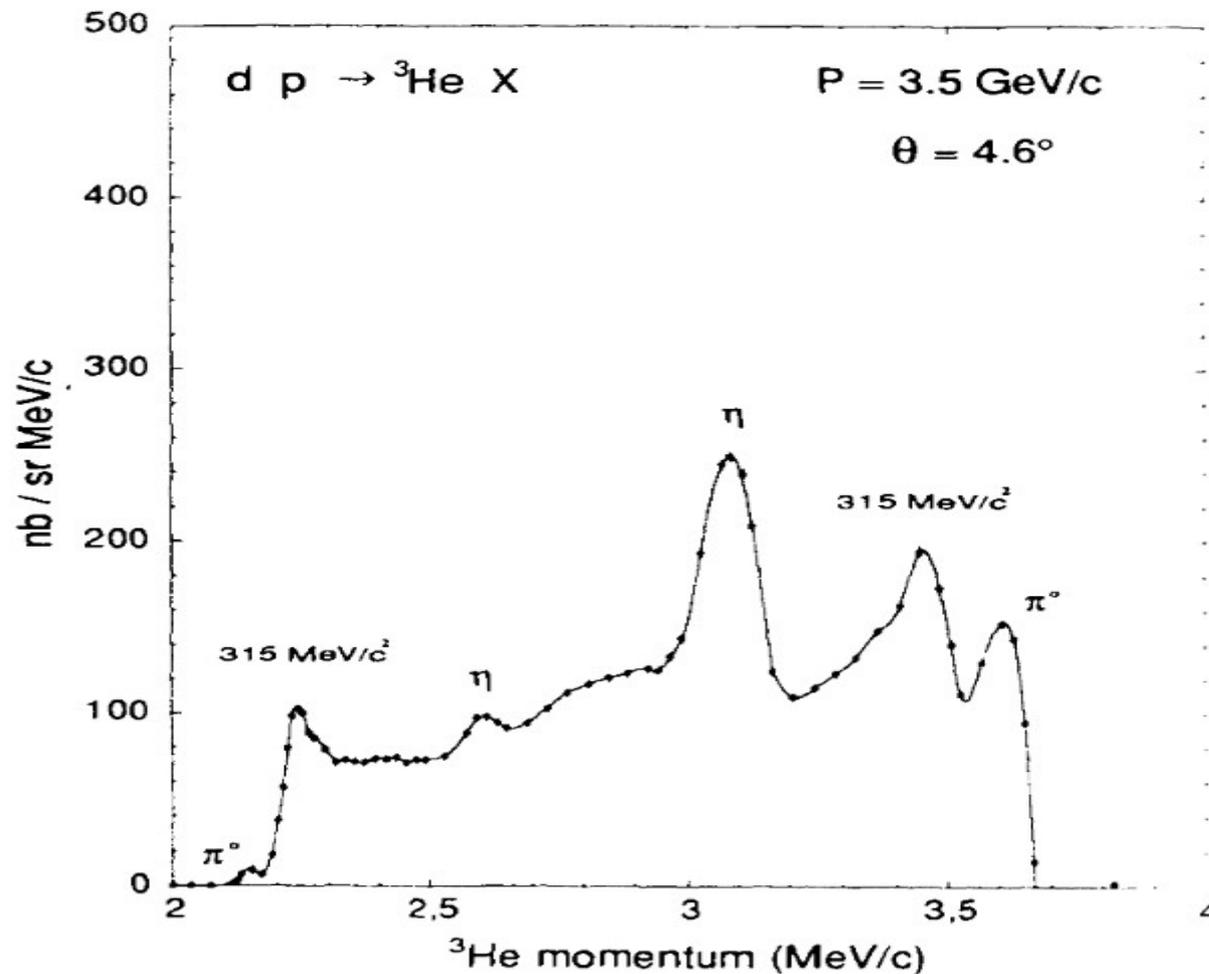
А.А. Зайцев  
ОИЯИ

# Введение

- Впервые резонансно-подобную структуру с массой в области 315 МэВ/с<sup>2</sup> в реакции



обнаружили Abashian, Booth, and Crowe (так называемый эффект ABC).

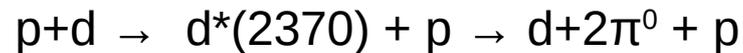


# Введение

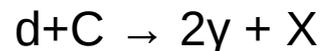
- Интерпретация данного резонанса как собственно свойства  $\pi\pi$ -рассеяния является неверной, так как его спектр масс хорошо известен.
- Данная структура скорее рассматривается как результат перерассеяния пионов на нуклонах в поле ядра.
- Указание на существование подобных структур были найдены в нескольких экспериментах (в основном, изучение спектра missing mass в одноплечевых магнитных спектрометрах при образовании новых ядер).

# Введение

Область масс двухпионных систем вблизи порога является предметом изучения и активных дискуссий в ядерной и адронной физике на протяжении более 60 лет. В этой области масс наблюдается ABC (*Abashian–Booth–Crowe*) эффект, известное резонансное скалярное состояние  $f_0(500)$  (*PDG2020*), играющее существенную роль в механизме нуклонных взаимодействий в атомных ядрах. В указанную область масс дают вклад и  $2\pi^0$ -системы от распада дибарионного  $d^*(2370)$ -резонанса с шириной  $\Gamma \approx 70$  МэВ и квантовыми числами  $I(JP) = 0(3+)$ , наблюдаемого в эксперименте [WASA@COSY](#) (*P.Adlarson et al., Phys. Lett. B 721 (2013) 229*) в реакции



Скалярные двухпионные резонансы могут проявляться и в двухфотонных распадах. В этой связи наблюдаемое (*Kh.Abraamyan et al. Eur. Phys. J. A (2016) 52: 259*) в реакции



резонансное двухфотонное состояние  $R$  в околороговой области  $2\pi$ -систем ( $m_R \approx 380$  МэВ,  $\Gamma_R \approx 60$  МэВ) вызывает большой интерес. Чтобы прояснить его природу мы провели поиск этого, равно как и других возможных резонансных  $2\gamma$ -состояний в реакции



при импульсе 7 ГэВ/с на установке ГИПЕРОН-М.

# Введение

- Структура в двухфотонном спектре масс в  $dC$ -реакции была обнаружена в Дубне на нуклотроне с помощью двухплечевого фотонного спектрометра

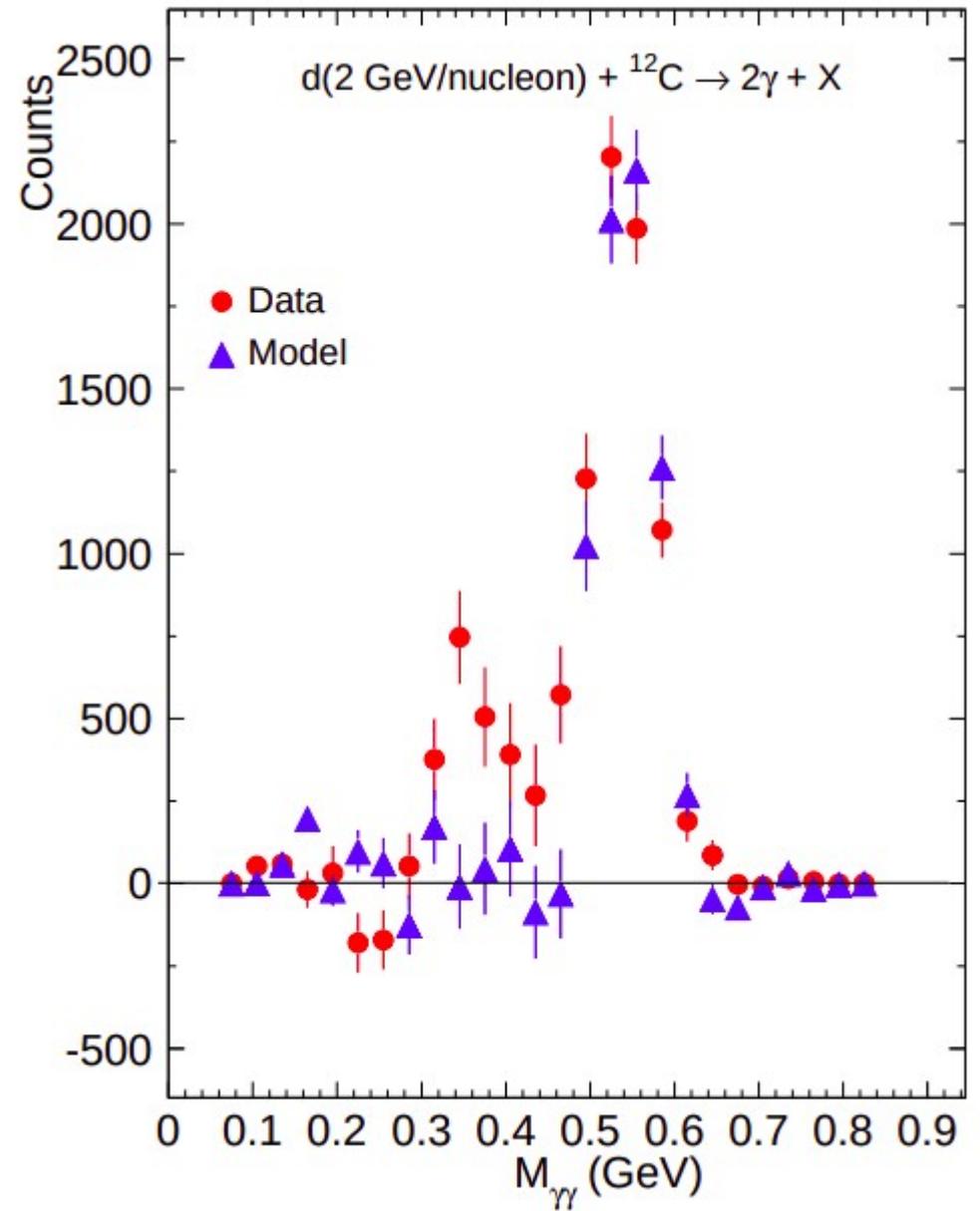
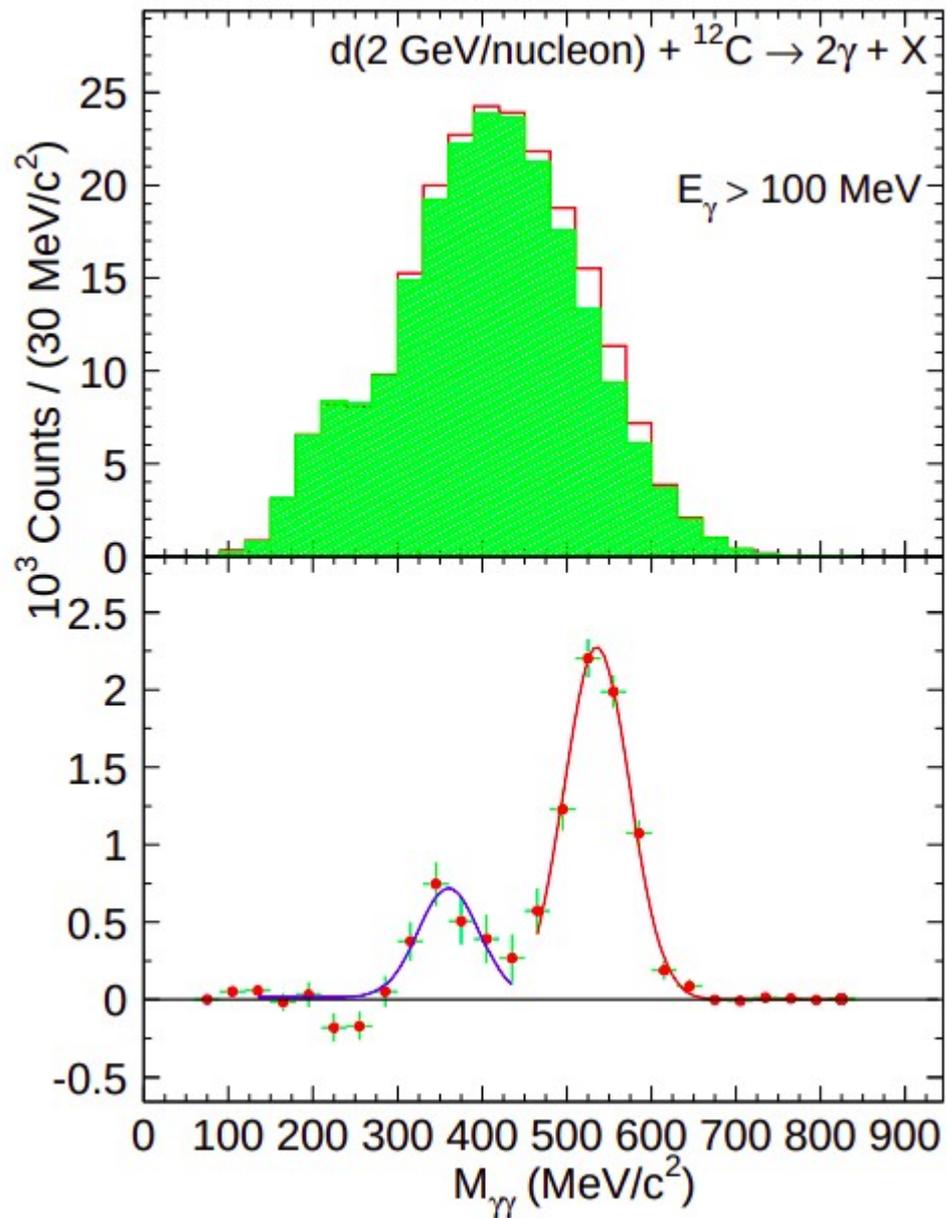
## Resonance Structure in the $\gamma\gamma$ Invariant Mass Spectrum in $pC$ - and $dC$ -Interactions

Kh.U. Abraamyan<sup>a,b,\*</sup>), M.I. Baznat<sup>c)</sup>, A.V. Friesen<sup>a)</sup>, K.K. Gudima<sup>c)</sup>, M.A. Kozhin<sup>a)</sup>, S.A. Lebedev<sup>d,e)</sup>, M.A. Nazarenko<sup>a,f)</sup>, S.A. Nikitin<sup>a)</sup>, G.A. Ososkov<sup>d)</sup>, S.G. Reznikov<sup>a)</sup>, A.N. Sissakian<sup>g)</sup>, A.S. Sorin<sup>g)</sup>, and V.D. Toneev<sup>g)</sup>

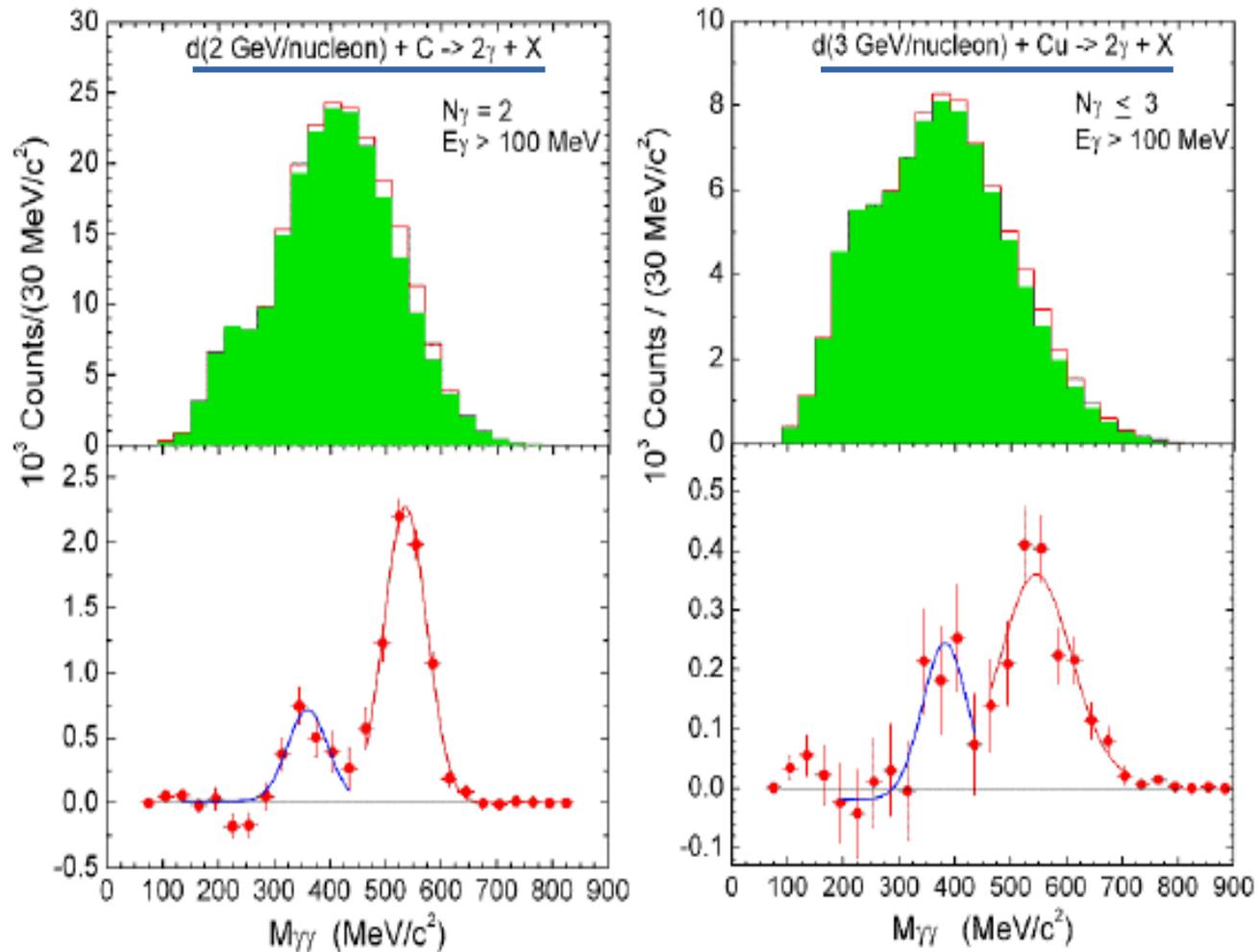
### Abstract

Along with  $\pi^0$  and  $\eta$  mesons, a resonance structure in the invariant mass spectrum of two photons at  $M_{\gamma\gamma} = 360 \pm 7 \pm 9$  MeV is observed in the reaction  $dC \rightarrow \gamma + \gamma + X$  at momentum 2.75 GeV/c per nucleon. Estimates of its width and production cross section are  $\Gamma = 63.7 \pm 17.8$  MeV and  $\sigma_{\gamma\gamma} = 98 \pm 24_{-67}^{+93}$   $\mu\text{b}$ , respectively. The collected statistics amount to  $2339 \pm 340$  events of  $1.5 \cdot 10^6$  triggered interactions of a total number  $\sim 10^{12}$  of  $dC$ -interactions. This resonance structure is not observed in  $pC$  collisions at the beam momentum 5.5 GeV/c. Possible mechanisms of this ABC-like effect are discussed.

# Введение



# Введение



**Fig. 2.** Invariant-mass distributions for photon pairs in the  $dC \rightarrow \gamma\gamma X$  and  $dCu \rightarrow \gamma\gamma X$  reactions before (upper panels) and after (bottom panels) the background subtraction. The curves are Gaussian approximations.

# Введение

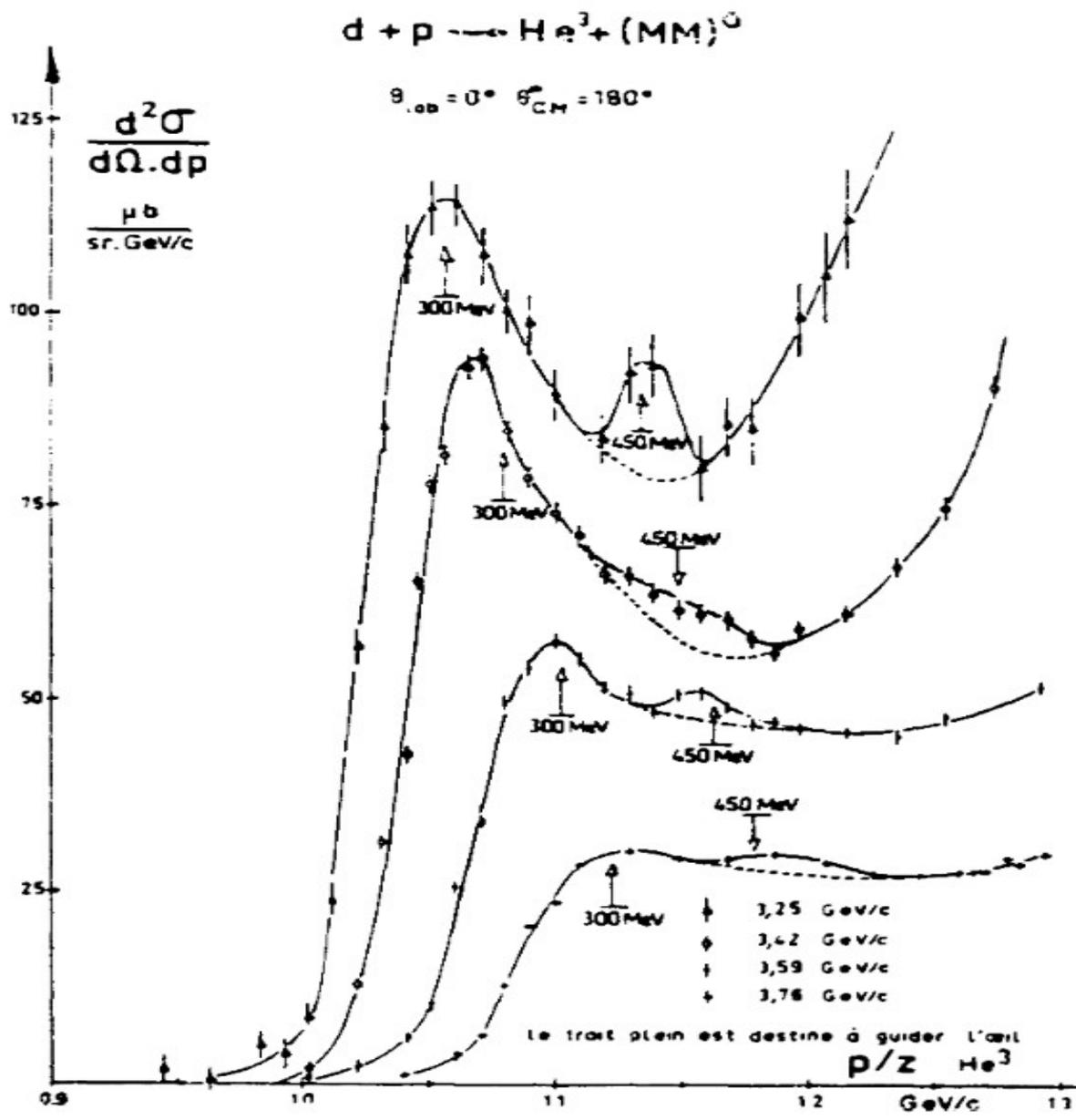
## Production of light mesons and multipion systems in light nuclei interactions

A.Codino<sup>(1)</sup> and F.Plouin<sup>(2)</sup>

### Table of Contents

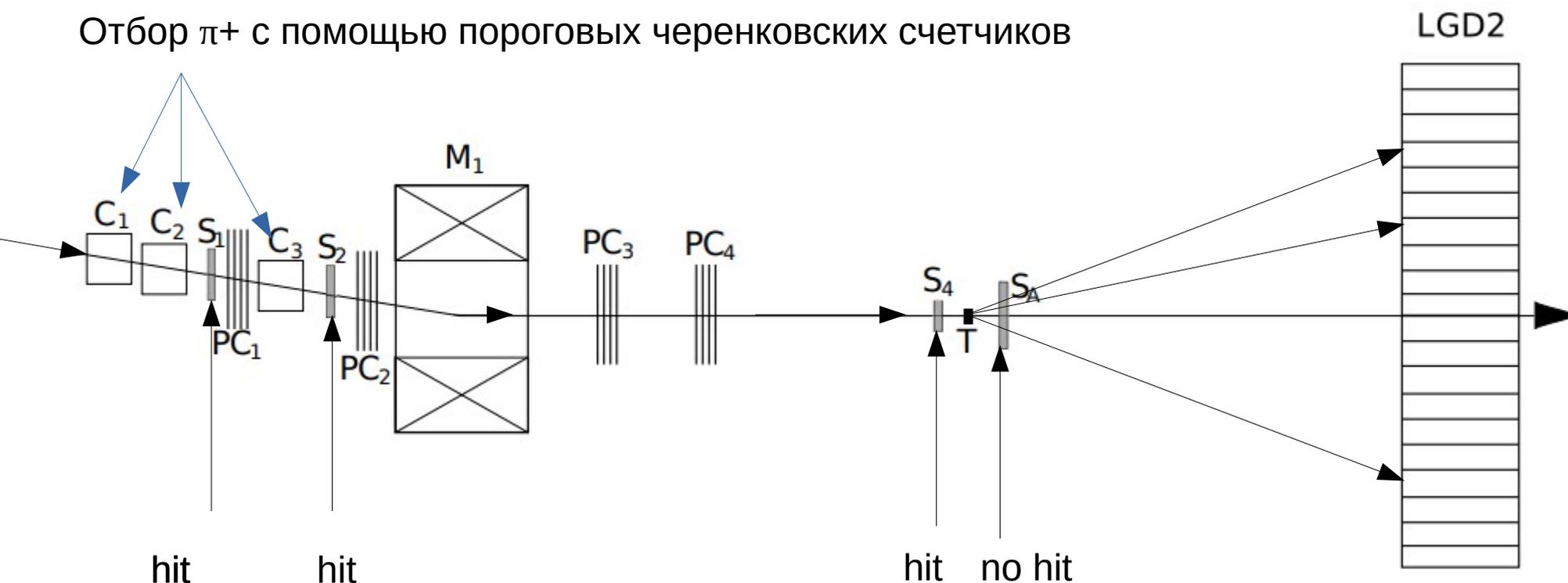
- I Introduction.
  - II. Light nuclei reactions for low mass meson production.
  - III. The ABC particle at 315 MeV/c<sup>2</sup>
  - IV. The resonant-like state at 455 MeV/c<sup>2</sup>
  - V. The resonant-like state at 550 MeV/c<sup>2</sup>
  - VI. The resonant-like state at 750 MeV/c<sup>2</sup>
  - VII. New experiments for the clarification of the low mass hadronic spectrum
- References.

# Введение



# Эксперимент ГИПЕРОН-М

Отбор  $\pi^+$  с помощью пороговых черенковских счетчиков



- Пучок 7 GeV/c, состав 50%  $\pi^+$  + 46% p + 4%K<sup>+</sup>;
- Пучок взаимодействует с ядрами мишени T (Be, C, CH, Al, Cu, Sn, Pb), рождая вторичные частицы;
- Триггер на сцинтилляционных пучковых счетчиках  $S_1 * S_2 * S_4 * S_A$  выбирает события, в которых наблюдаются лишь нейтральные кластеры в э.м. калориметре LGD2 (Lead Glass Detector);
- Таким образом, в регистрируемых событиях возможно наблюдение нейтральных резонансов, распадающихся на фотоны в конечном состоянии;

# Реконструкция событий

- При срабатывании триггера амплитуды с фотоумножителей LGD2 считывались, оцифровывались и записывались на диск. Электроника системы сбора данных эксперимента реализована в стандарте МИСС
- При обработке данных записанные амплитуды переводились в выделенные энергии в ячейках с помощью калибровочных коэффициентов:
  - Калибровка детектора была произведена на двухфотонных событиях;
  - Для данной ячейки строилось распределение по массе  $2\gamma$ -событий, в которых один из фотонов попадал в эту ячейку;
  - Калибровочный коэффициент подбирался так, чтобы соответствующий пик от распада  $\pi^0$ -мезона соответствовал его табличной массе;
- Выделенные в ячейках LGD2 энергии в данном событии объединялись в кластеры, определялись их координаты в плоскости (X,Y) и энергии.
- Импульс фотонов определялся по известной точке взаимодействия частиц пучка с мишенью (координаты центра мишени), и реконструированным координатам и энергиям ливней в калориметре.
- Из-за нелинейности энергетической шкалы калориметра энергии фотонов были далее скорректированы:

$$E_{corr}(E) = E \left( 1 + \sum_{i=1}^k \frac{\alpha_i}{E} \ln(E/1 \text{ МэВ}) \right)$$

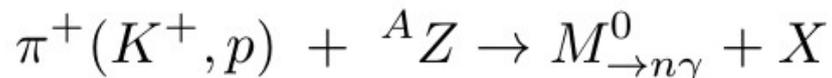
- Метод энергетической коррекции был представлен ранее и опубликован в работе “ПРИБОРЫ И ТЕХНИКА ЭКСПЕРИМЕНТА”, 2011, № 5, с. 88–92

# Отбор событий

- Для поиска резонансно-подобной структуры отбирались события с 2 фотонами.
- Для определения вкладов от распадов других частиц отбирались 3- и 4-фотонные события.
  - 3-х фотонные события подвергались процедуре кинематического фита по гипотезе  $\pi^0\gamma$ :
    - Каждая из пар фотонов модифицировалась таким образом, чтобы масса пары равнялась массе  $\pi^0$
    - Отбирались события с  $\chi^2_{\pi\gamma} < 5.2$
  - 4-х фотонные события подвергались процедуре кинематического фита по гипотезе  $2\pi^0$ :
    - Каждая из пар фотонов модифицировалась таким образом, чтобы масса пары равнялась массе  $\pi^0$
    - Отбирались события с  $\chi^2_{2\pi} < 5.2$

# Монте Карло моделирование

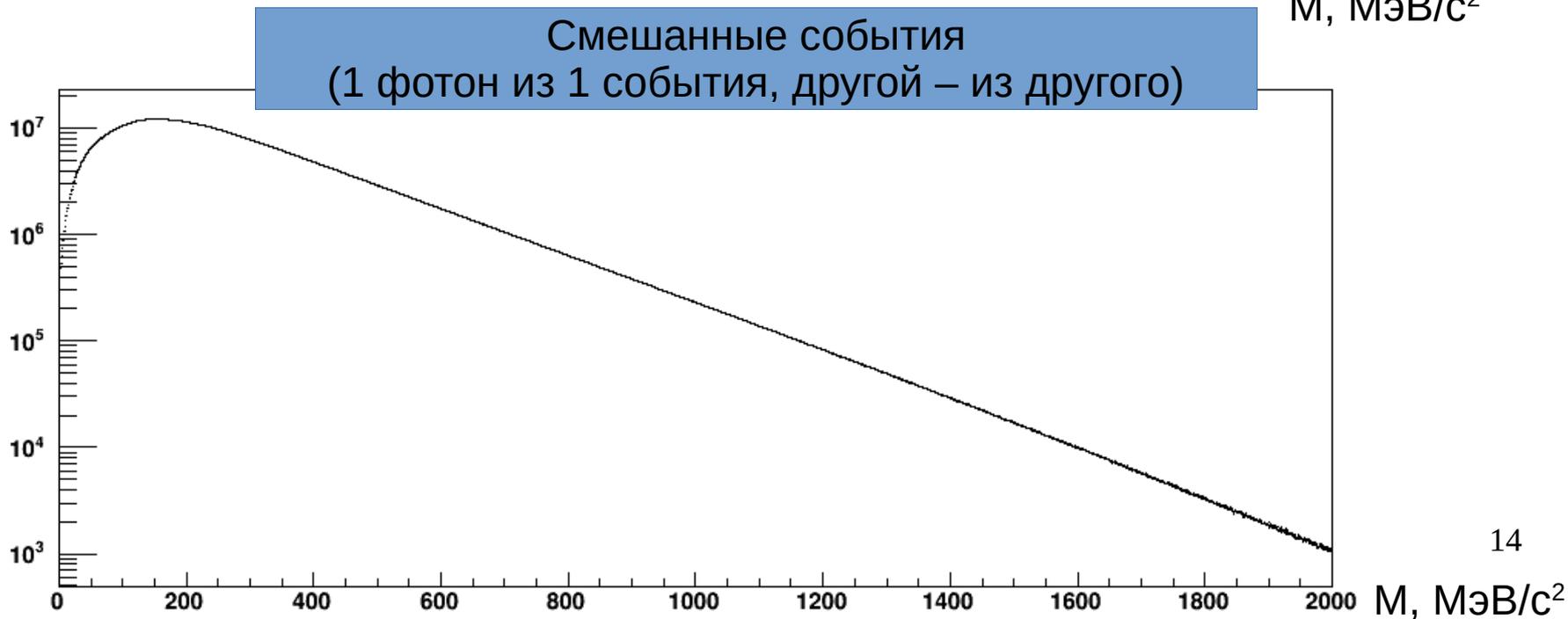
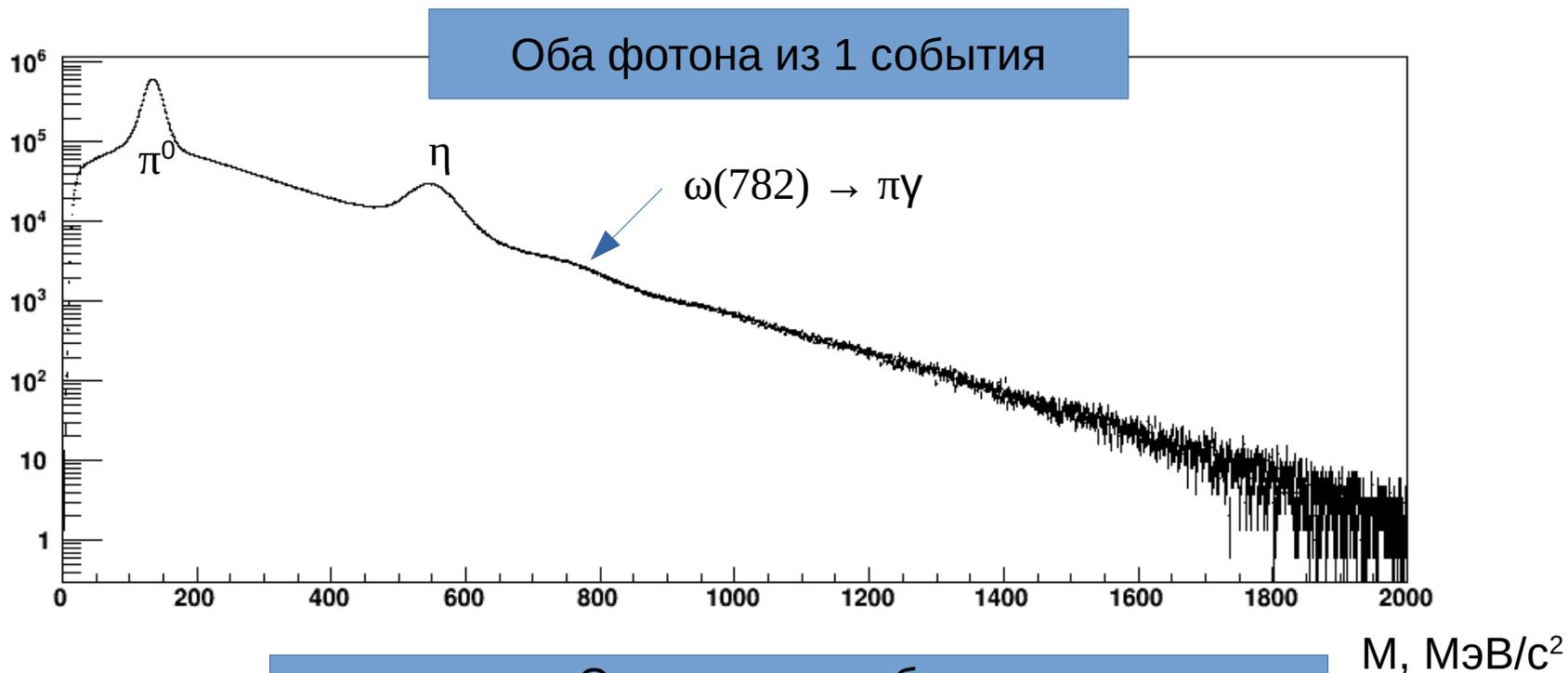
- Модель МК включает в себя первичный генератор событий, модель установки ГИПЕРОН-М, транспортный код, отбор, оцифровку и форматирование событий:
  - Генератор событий представляет собой генератор квазидвухчастичных реакций



При этом распределения по  $t$  и массе системы  $X$  подобраны таким образом, чтобы качественно воспроизводить наблюдаемые в эксперименте спектры.

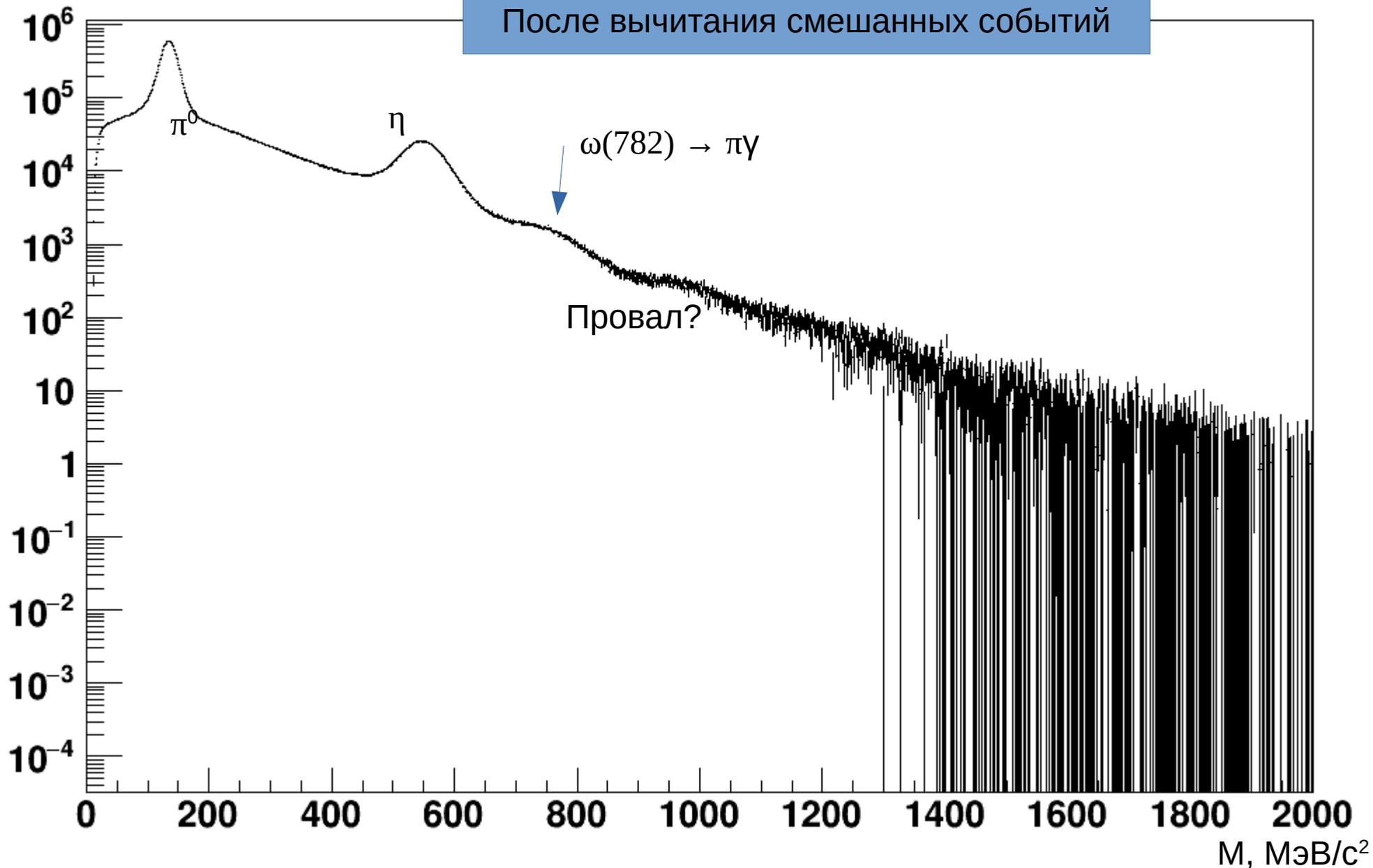
- Модель установки включает в себя мишень, сцинтилляционные счётчики S4 и Sa, и калориметр LGD2.
- Сгенерированные фотоны передаются транспортному коду GEANT3, который моделирует их прохождение через модель установки.
- С помощью энергий, выделившихся в счётчиках S4 и Sa, моделируется нейтральный триггер. Требуется наличие сигнала в S4 выше порога регистрации заряженной частицы и его отсутствие в Sa.
- Выделившиеся в ячейках калориметра энергии оцифровываются: они делятся на соответствующий калибровочный коэффициент, результат переводится в отсчеты АЦП: целое число от 0 до 4095, к каждому каналу добавляется шум электроники.
- Результат записывается в формате данных ГИПЕРОН-М, и в последствии обрабатывается абсолютно той же программой анализа, что и эксперимент.

# 2-фотонный спектр

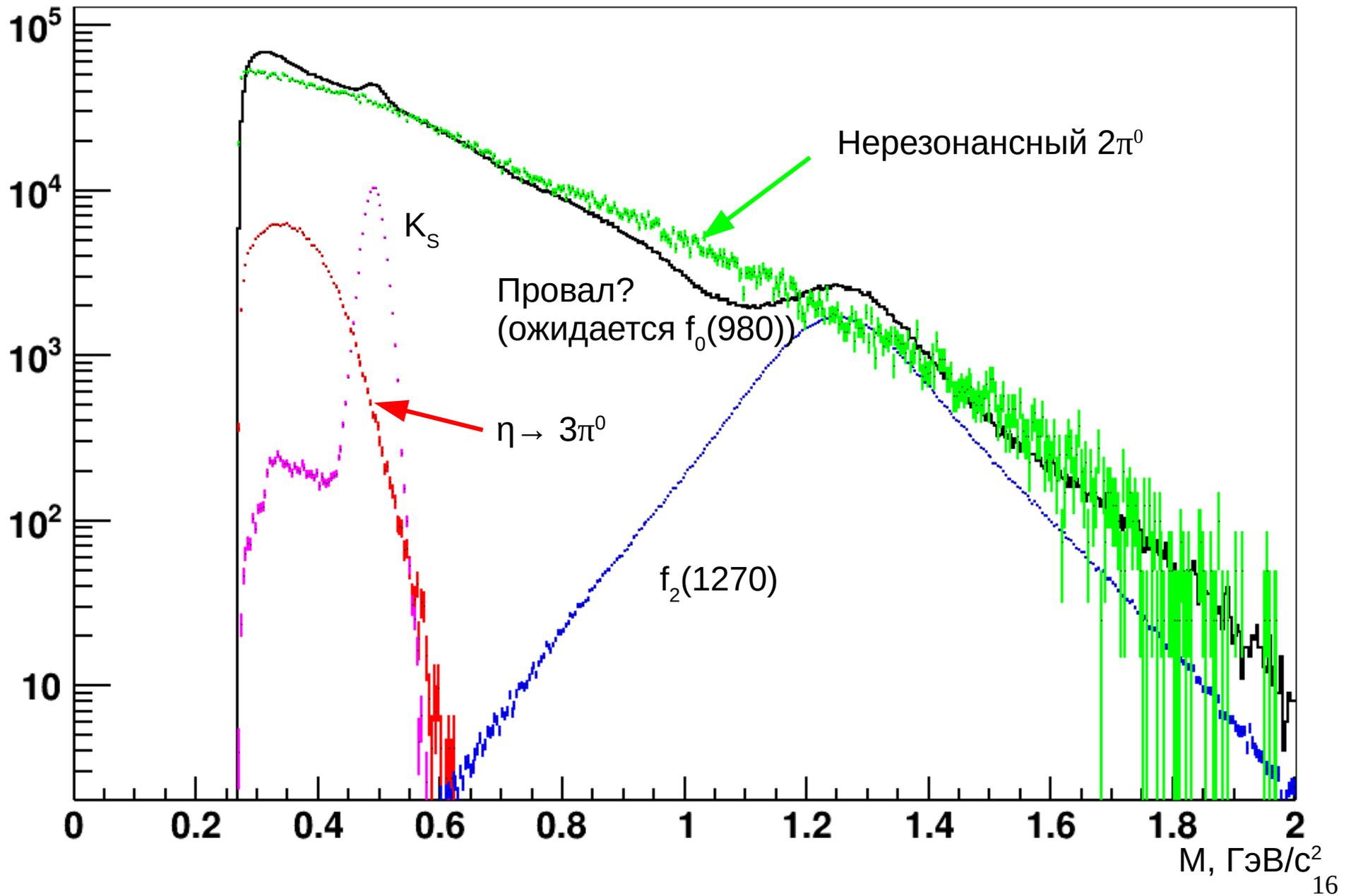


# 2-фотонный спектр

После вычитания смешанных событий

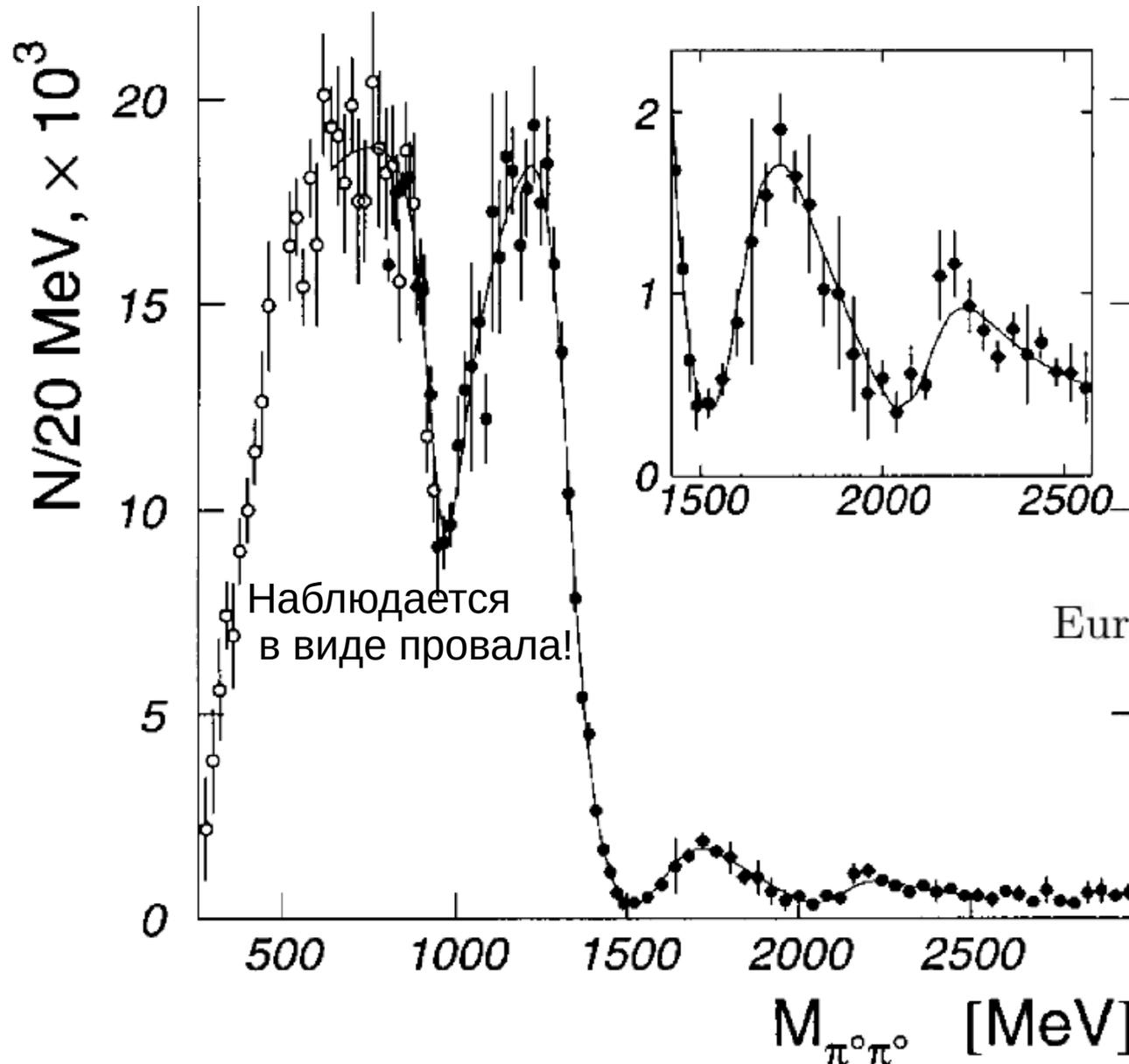


# 2π<sup>0</sup> спектр



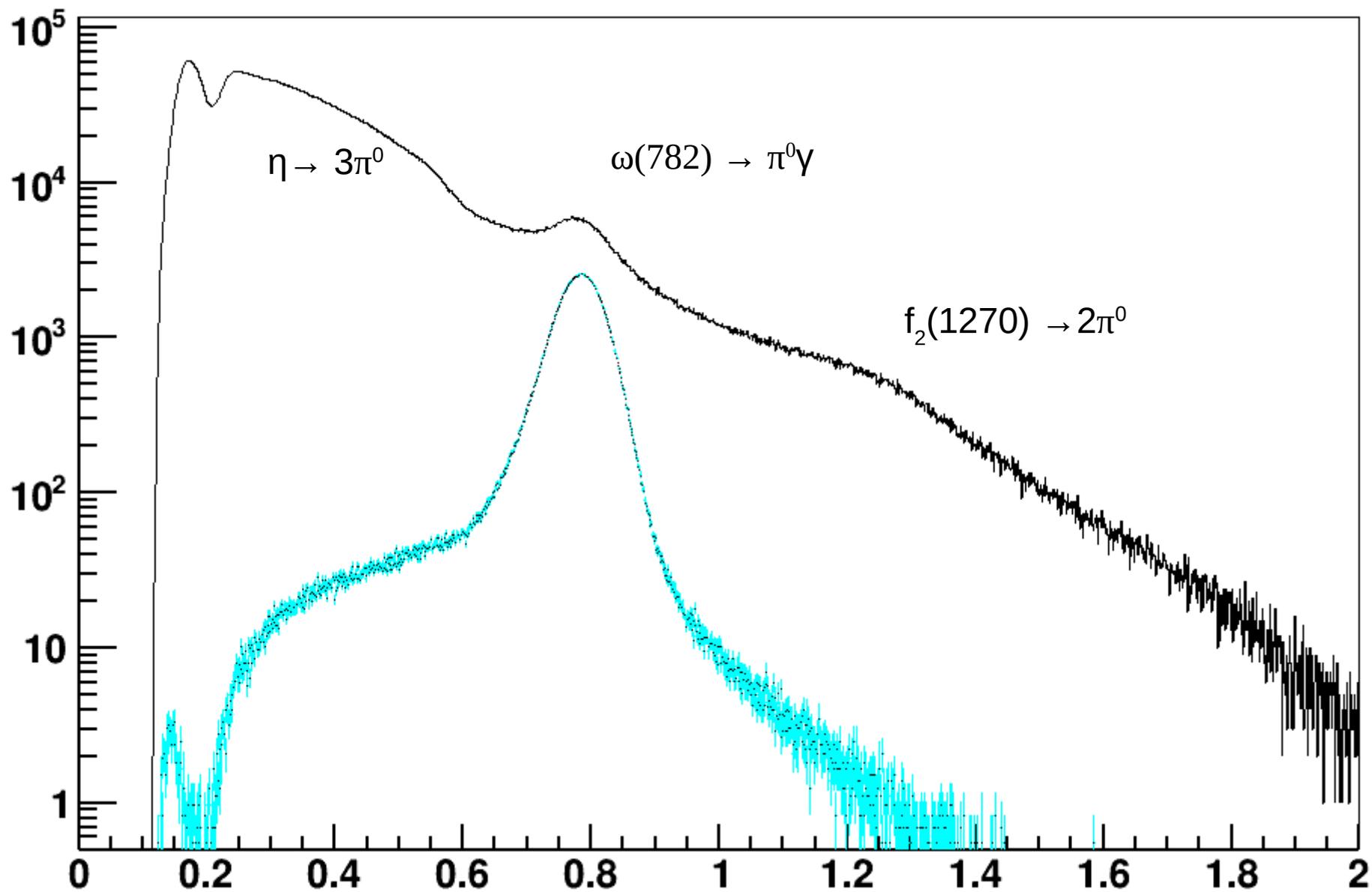
# $f_0(980)$

Study of the  $\pi^0\pi^0$ -system with the GAMS-4000 spectrometer at 100 GeV/c

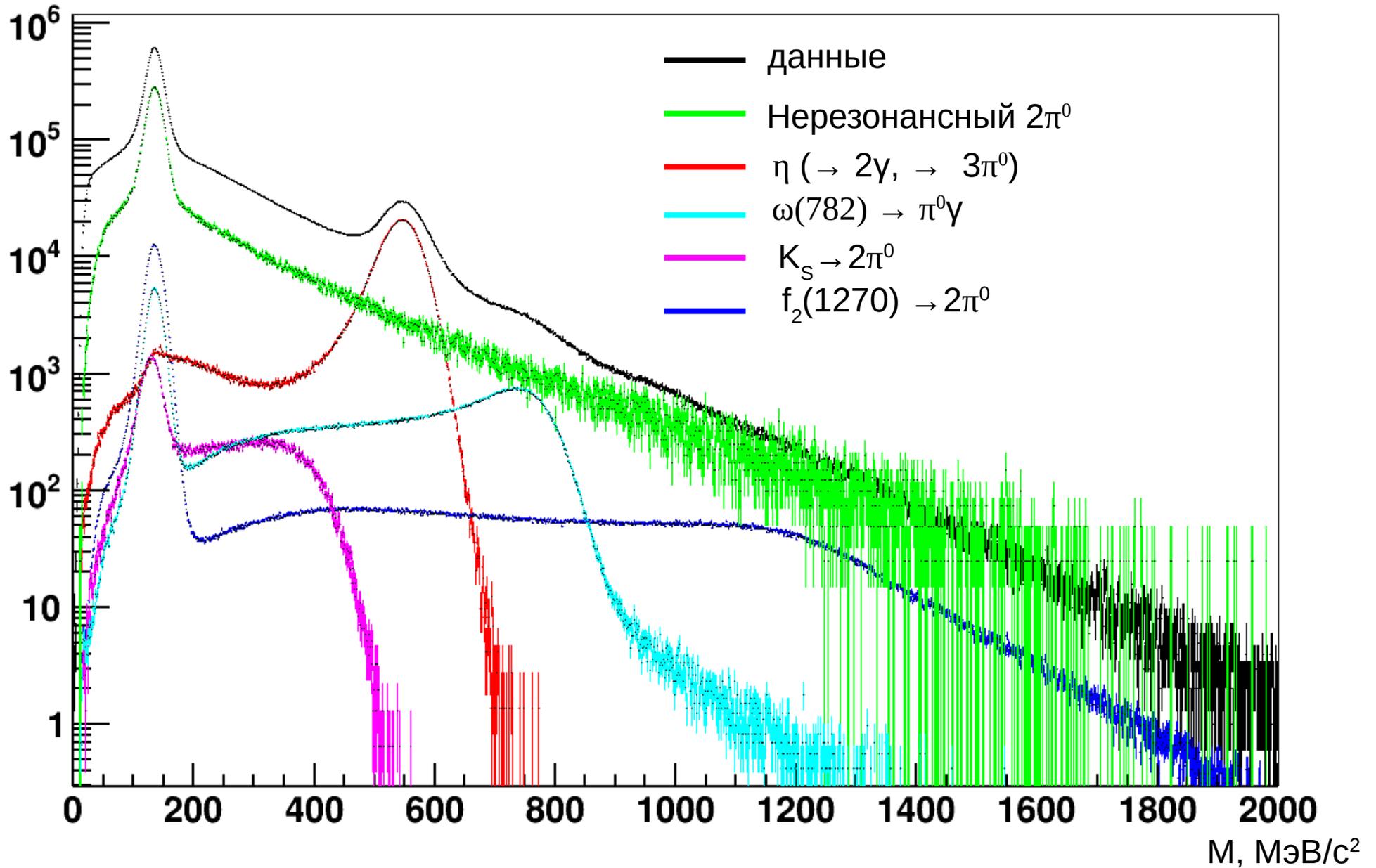


Eur. Phys. J. A **3**, 361–371 (1998)

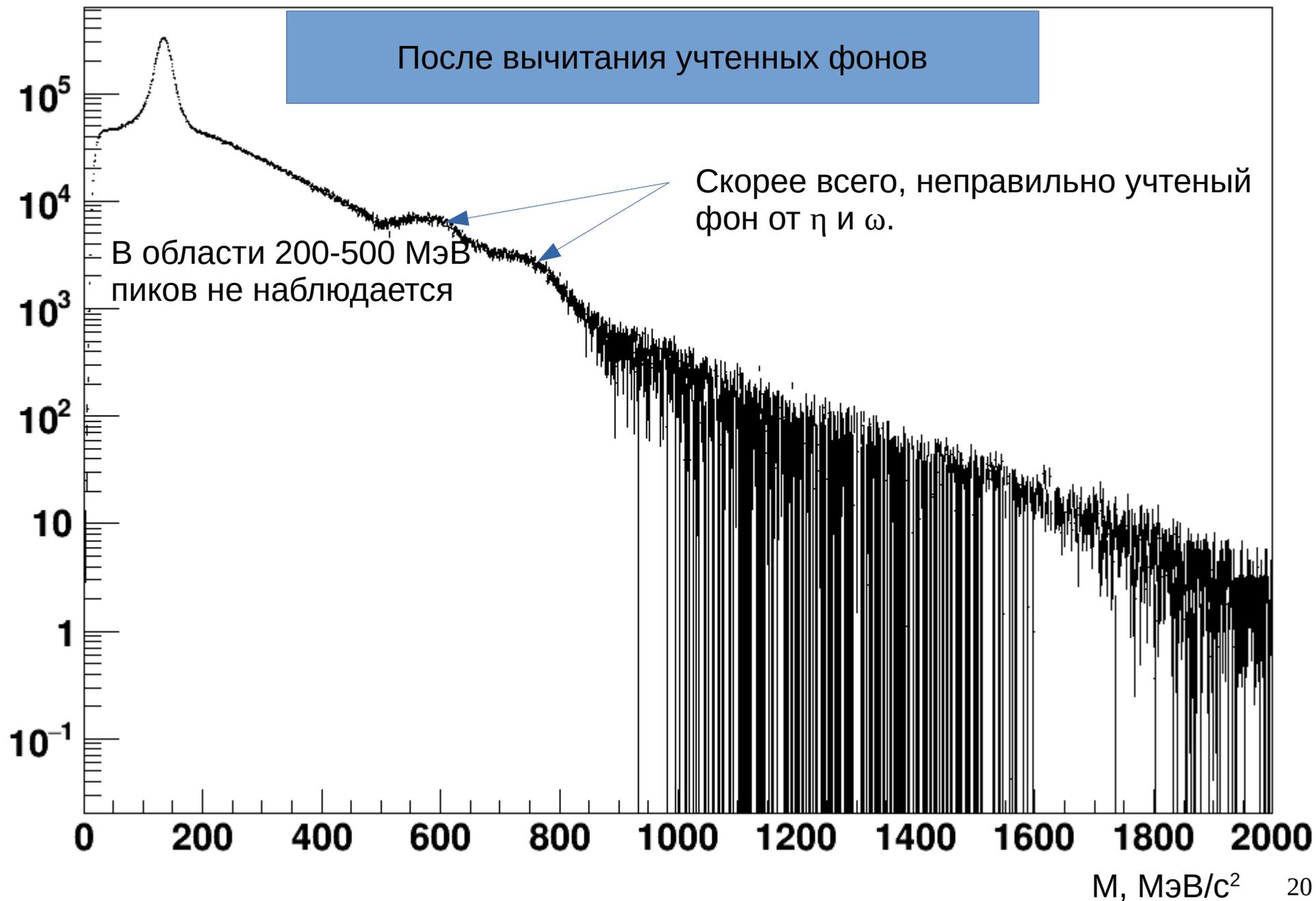
# $\pi^0\gamma$ спектр



# 2-фотонный спектр



# 2-фотонный спектр



## Ограничение на $\sigma$ x Br ( $R \rightarrow 2\gamma$ )

- В области масс 200 – 500 МэВ каких-либо резонансно-подобных структур не наблюдается → можно сделать ограничение сечение такого объекта.
- Фит спектра  $\exp(a + bM) + \text{signal}$ .
- Ограничение = signal + 3 sigma (95% CL).

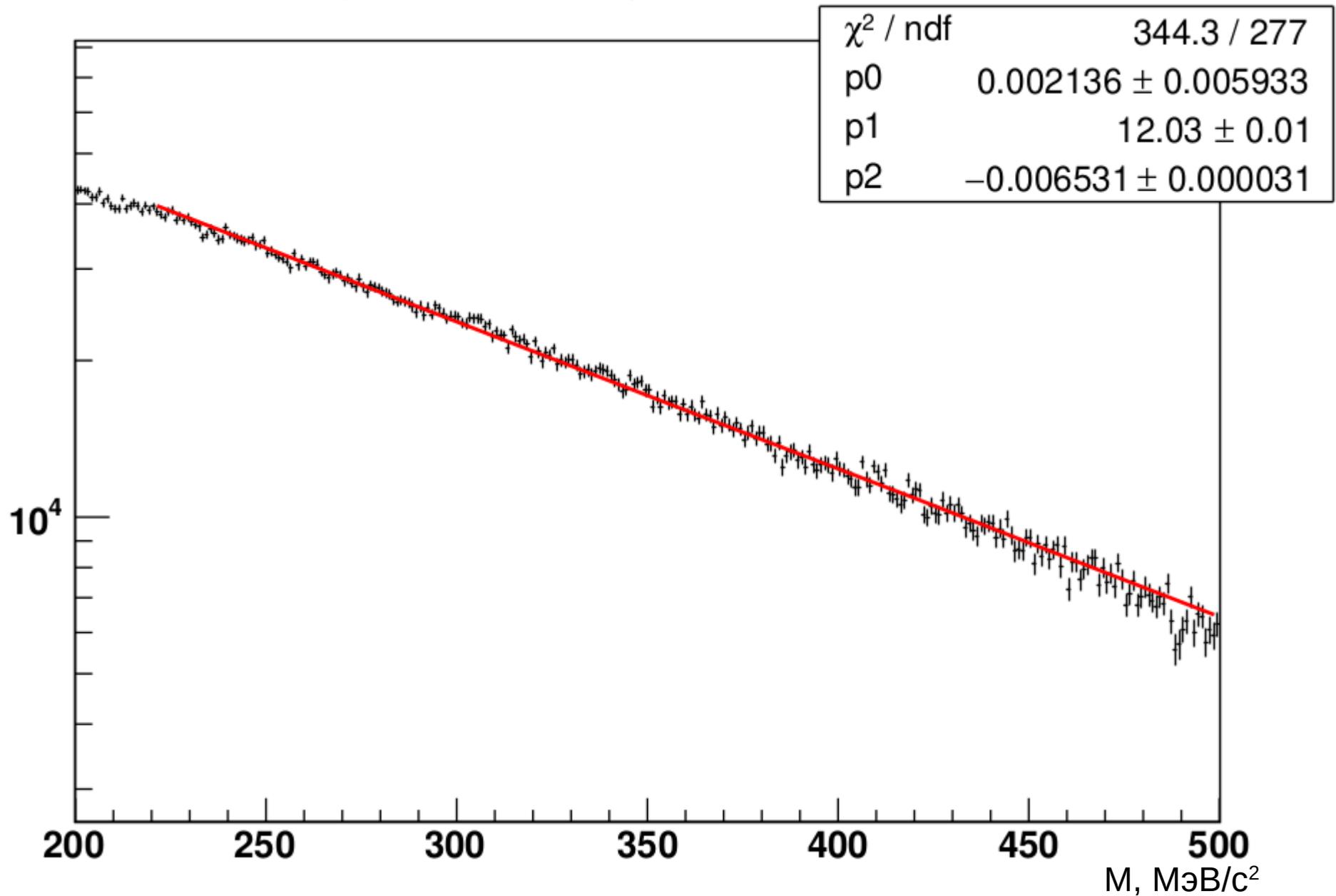
$$\sigma = \frac{1}{\epsilon} \frac{N_{peak}}{N_{part}} \frac{\mu}{\rho N_a b'}$$

- Сечение определено относительно наблюдаемого сечения  $\eta$ -мезона, т.е.

$$\sigma(R) = N_R / N_\eta * \sigma_\eta$$

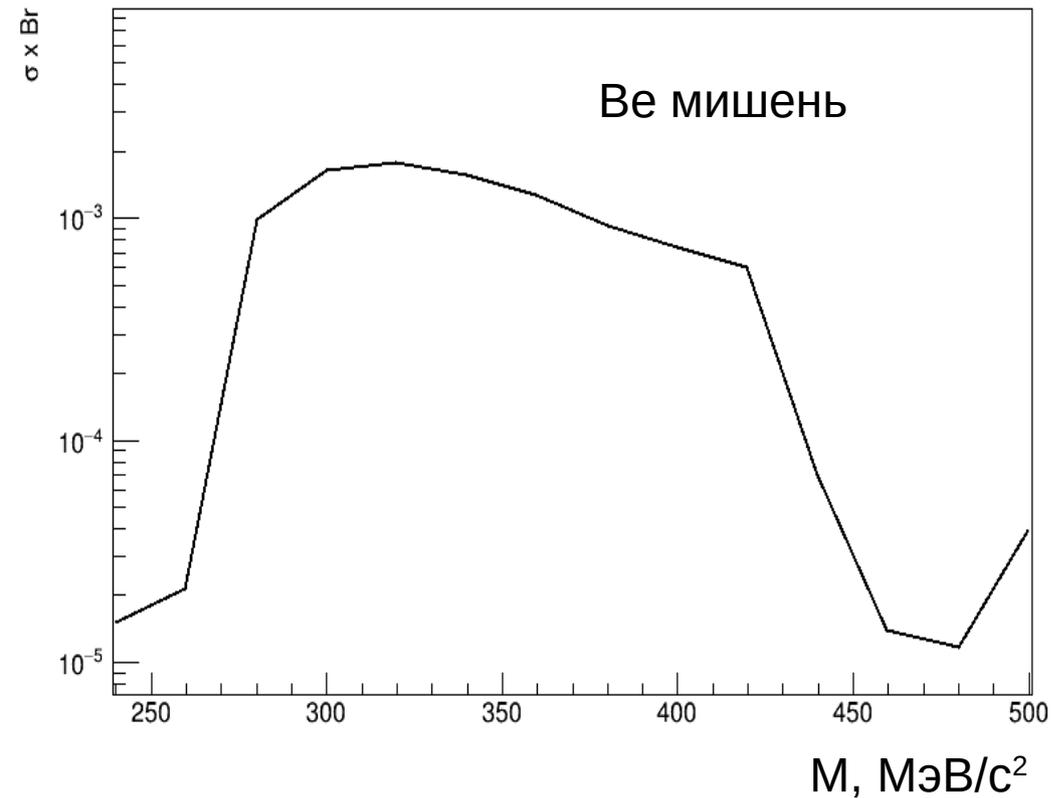
$\sigma (mb)$							
R, fm	$\pi^0(\pi^+)$	$\eta(\pi^+)$	$K^0(\pi^+)$	$\omega(\pi^+)$	$\pi^0(K^+)$	$\eta(K^+)$	$K^0(K^+)$
$Be_{(r=3.04)}$	1.137±0.016	0.094±0.002	(2.56±0.40)10 <sup>-3</sup>	(4.25±0.51)10 <sup>-3</sup>	0.190±0.006	0.008±0.006	(2.26±0.37)10 <sup>-3</sup>
Poly(CH2)	1.841±0.021	0.132±0.005	(2.81±0.37)10 <sup>-3</sup>	(7.39±0.45)10 <sup>-3</sup>	0.487±0.014	0.026±0.015	(5.57±0.97)10 <sup>-3</sup>
$C_{(r=2.37)}$	1.443±0.017	0.118±0.004	(2.60±0.32)10 <sup>-3</sup>	(6.97±0.64)10 <sup>-3</sup>	0.296±0.008	0.017±0.007	(4.87±0.59)10 <sup>-3</sup>
$H_{(r=0.77)}$	0.199±0.014	0.014±0.003	(0.11±0.24)10 <sup>-3</sup>	(0.21±0.39)10 <sup>-3</sup>	0.096±0.008	0.005±0.008	(0.35±0.57)10 <sup>-3</sup>

# Пример фитирования спектра

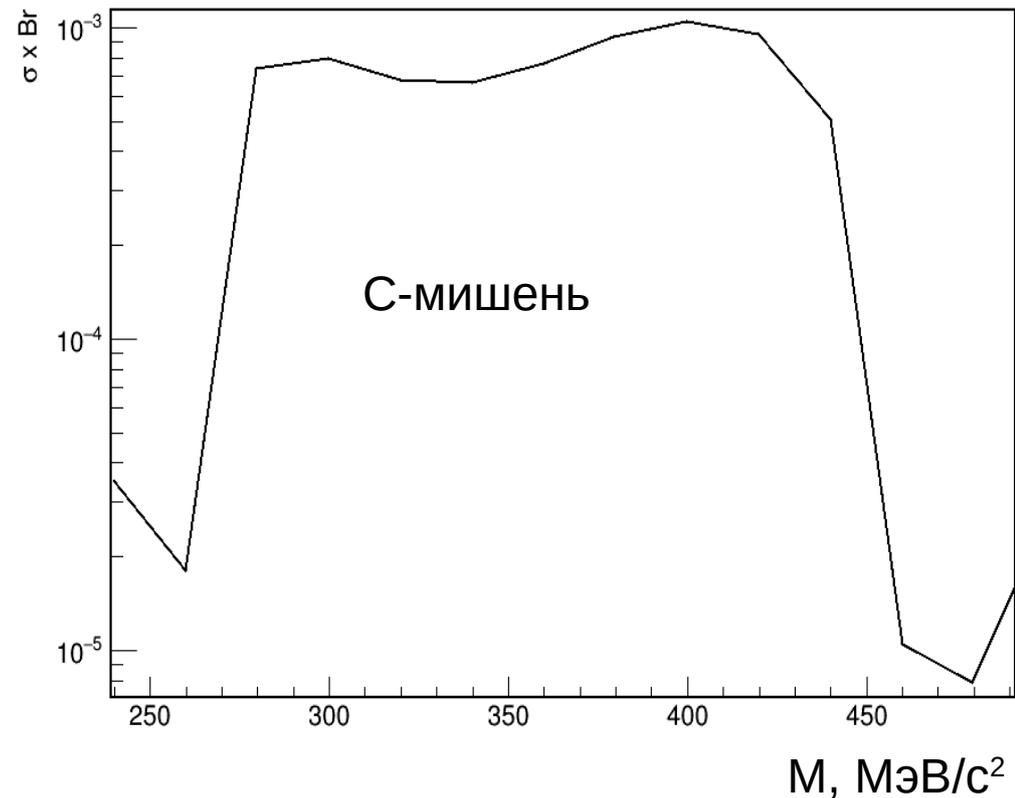


# Ограничение на $\sigma \times Br$ ( $R \rightarrow 2\gamma$ )

95%-CL limit



95% CL limit



В области масс 200 – 500 МэВ ограничение на резонансно-подобное состояние порядка 1 мкб.

# Дискуссия 500 – 800 МэВ

## Production of light mesons and multipion systems in light nuclei interactions

A.Codino<sup>(1)</sup> and F.Plouin<sup>(2)</sup>

### Table of Contents

- I Introduction.
  - II. Light nuclei reactions for low mass meson production.
  - III. The ABC particle at 315 MeV/c<sup>2</sup>
  - IV. The resonant-like state at 455 MeV/c<sup>2</sup>
  - V. The resonant-like state at 550 MeV/c<sup>2</sup>.
  - VI. The resonant-like state at 750 MeV/c<sup>2</sup>.
  - VII. New experiments for the clarification of the low mass hadronic spectrum
- References.

# Дискуссия 500 – 800 МэВ

## V. The resonant-like state at 550 MeV/c<sup>2</sup>.

There are three experiments suggesting the existence of a resonant-like structure at about 550 MeV/c<sup>2</sup>. The first observation [18] comes from the reaction (1) taken at different angles and energies at Saturne I. For any data set at given energy and angle the double differential cross section  $[\partial^2\sigma/\partial P\partial\Omega]_{\text{He}}$  reaches a maximum around the maximum missing mass of about 550 MeV/c<sup>2</sup>. This large structure cannot be accounted for by the phase space. Note that the  $\pi\pi$  phase space for reaction (1) is a smooth curve without structures (ref.[18], figures from 4 to 15).

## VI. The resonant-like state at 750 MeV/c<sup>2</sup>.

A signal for a resonant state at about 750 MeV/c<sup>2</sup> has been recently claimed [51,52] from a study of the reactions (40) and (41). The experiment used pion beams at CERN hitting polarized hydrogen and deuteron targets. Beam momenta were 5.98 and 11.85 GeV/c for reaction (40) [84] and 17.2 GeV/c for reaction (41) [85, 86].

- Существует вероятность, что при учете вкладов от  $\eta$  и  $\omega$  мы не ошиблись.
- Тогда структуры, наблюдаемые в диапазоне 500 – 800 МэВ требуют более детального анализа.

# Заключение

- Новые резонансно-подобные структуры наблюдаются в экспериментах с участием легких ядер.
- В эксперименте Гиперон-М набрана заметная статистика 2-, 3- и 4-фотонных событий  $\pi A$ -взаимодействий с нейтральным триггером на легких ядрах.
- Осуществлен поиск подобных структур, получены ограничения на сечение их образования в области массы 200 – 500 МэВ.
- Детальный и аккуратный анализ требуется в области масс 500 – 800 МэВ.