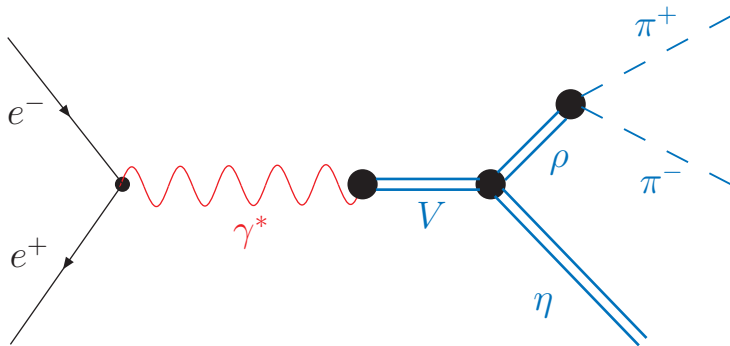


Измерение сечения процесса  $e^+e^- \rightarrow \eta\pi^+\pi^-$  с  
детектором СНД на ВЭПП-2М  
в области энергии 1.04 ГэВ – 1.38 ГэВ

Дмитрий Штоль

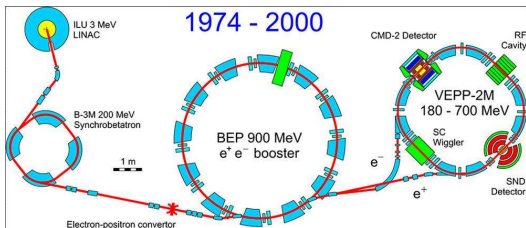
Институт ядерной физики СО РАН

# Диаграмма процесса



Процесс  $e^+e^- \rightarrow \eta\pi^+\pi^-$

$$V = \rho(770), \rho(1450), \rho(1700)$$



## Параметры комплекса:

- $\sqrt{s} = 0.4 \div 1.4$  ГэВ;
- $IL_{max} = 4 \cdot 10^{30}$  см<sup>2</sup>сек<sup>-1</sup>;
- Работал с 1974 по 2000 гг.

## Использованные данные:

Использовались данные трех сканирований с шагом 10 МэВ в области  $\sqrt{s} = 1040 \div 1380$  МэВ с полной интегральной светимостью  $9.054$  пб<sup>-1</sup>.

# Детектор СНД

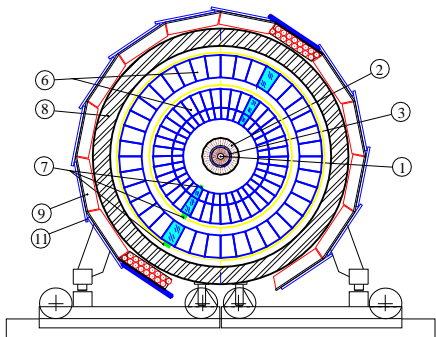
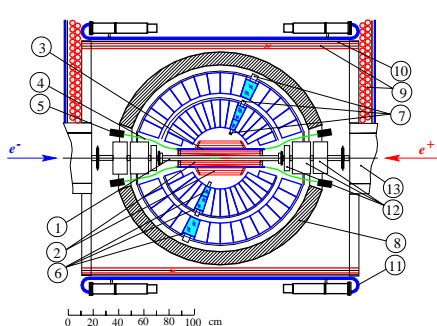


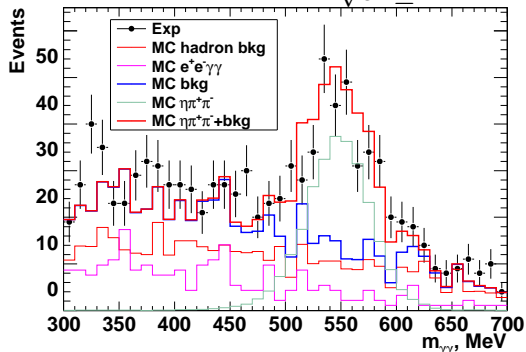
Схема СНД. 1 – вакуумная камера, 2 – дрейфовые камеры, 3 –  
сцинтилляционный счетчик, 4 – световоды, 5 – ФЭУ, 6 – кристаллы NaI(Tl),  
7 – фототриоды, 8 – поглотитель (Fe), 9 – стримерные трубки, 10 – 1 см  
железные пластины, 11 – сцинтилляционные счетчики, 12 – магнитные  
линзы, 13 – поворотные магниты.

Процесс  $e^+e^- \rightarrow \eta\pi^+\pi^-$  изучается в канале распада  $\eta \rightarrow \gamma\gamma$  ( $Br = 39.38\%$ ).

- Наличие ровно двух заряженных частиц с треками в дрейфовой камере и ровно двух нейтральных частиц;
- $0.5 < E_{\text{tot}}/2E_{\text{beam}} < 0.9$  – полное энергосодержание в калориметре;
- $22.5^\circ < \theta_{1,2} < 157.5^\circ$  – полярный угол для заряженных частиц;
- $36^\circ < \theta_{3,4} < 144^\circ$  – полярный угол для нейтральных частиц;
- $\zeta_{3,4} < 0$  – параметр качества фотонов (использует поперечное распределение энергосодержания в калориметре);
- $|Z| < 5$  см – Z-координата точки вылета заряженных частиц по результатам реконструкции;
- $R_{1,2} < 1$  см – расстояние от трека до оси пучков;
- $\chi_{\pi^+\pi^-\gamma\gamma}^2 < 20$  – параметр кинематической реконструкции в гипотезе  $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\gamma\gamma$ .

Моделированный спектр инвариантных масс фотонов в области

$$\sqrt{s} \geq 1300 \text{ МэВ}$$

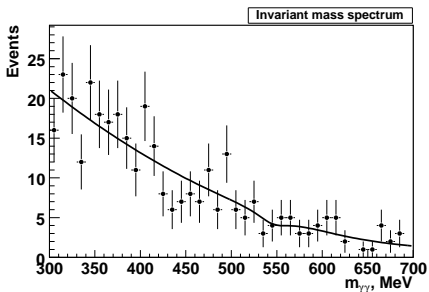


Распределение по  $m_{\gamma\gamma}$  – эксперимент, моделированный суммарный фон и эффект и вклады отдельных фоновых процессов по моделированию, нормированные на экспериментальную интегральную светимость.

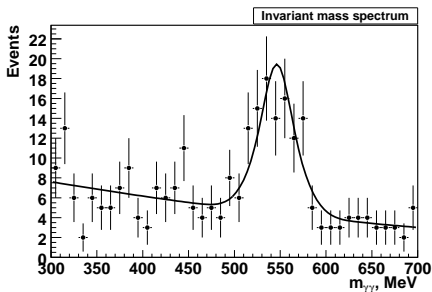
- ①  $e^+e^- \rightarrow \omega\pi \rightarrow \pi^+\pi^-2\pi^0$
- ②  $e^+e^- \rightarrow a_1\pi \rightarrow \pi^+\pi^-2\pi^0$
- ③  $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$
- ④  $e^+e^- \rightarrow e^+e^-\gamma\gamma$
- ⑤  $e^+e^- \rightarrow K_S K_L$

Процесс	Число событий
$\omega\pi$	231
$a_1\pi$	181
$\pi^+\pi^-\pi^0$	19
$e^+e^-\gamma\gamma$	228
$K_S K_L$	<1
$\eta\pi^+\pi^-$	268
<b>Сумма</b>	<b>927</b>
<b>Эксп.</b>	<b>1003</b>

# Определение числа событий $(\eta \rightarrow \gamma\gamma)\pi^+\pi^-$

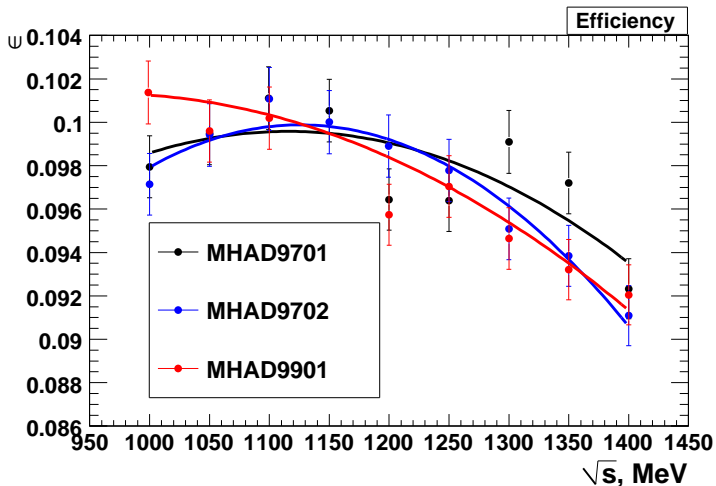


Экспериментальный спектр инвариантных масс в области  $1012.5 \text{ МэВ} \leq \sqrt{s} \leq 1112.5 \text{ МэВ}$



Экспериментальный спектр инвариантных масс в области  $1362.5 \text{ МэВ} \leq \sqrt{s} \leq 1387.5 \text{ МэВ}$

Аппроксимация спектров производится суммой двух распределений Гаусса (эффект) и полинома второй степени (фон).



Зависимость эффективности регистрации процесса  $e^+e^- \rightarrow \eta\pi^+\pi^-$  от энергии для различных сканирований.



# Аппроксимация борновского сечения $e^+e^- \rightarrow \eta\pi^+\pi^-$

Функция для аппроксимации выбрана на основе работы <sup>1</sup>.

$$\sigma_B(s) = \frac{4\alpha^2}{3} \frac{1}{s\sqrt{s}} |F(s)|^2 \int_{4m_\pi^2}^{(\sqrt{s}-m_\eta)^2} \frac{\sqrt{q^2}\Gamma_\rho(q^2)p_\eta^3(s,q^2)}{(q^2-m_\rho^2)^2+(\sqrt{q^2}\Gamma_\rho(q^2))^2} dq^2, \quad (1)$$

$$p_\eta^2 = \frac{(s-m_\eta^2-q^2)^2-4m_\eta^2q^2}{4s}$$

Зависимость ширины  $\rho(770)$  от энергии описывается формулой:

$$\Gamma_\rho(q^2) = \Gamma_\rho(m_\rho^2) \frac{m_\rho^2}{q^2} \left( \frac{p_\pi^2(q^2)}{p_\pi^2(m_\rho^2)} \right)^{\frac{3}{2}}, \quad (2)$$

$$p_\pi^2(q^2) = \frac{q^2}{4} - m_\pi^2$$

<sup>1</sup>Н.Н. Ачасов, В.А. Карнаков. К исследованию реакции  $e^+e^- \rightarrow \eta\pi^+\pi^-$ . Письма в ЖЭТФ т.39 вып. 6, 1984.

Формфактор  $F(s)$  описывается как

$$F(s) = \sum_V \frac{m_V^2}{g_{V\gamma}} \frac{g_{V\rho\eta}}{s - m_V^2 + i\sqrt{s}\Gamma_V(s)} \quad (3)$$

Где  $V = \rho(770)$ ,  $\rho(1450)$  и  $\rho(1700)$ .

Для  $\rho(1450)$  и  $\rho(1700)$  принимается  $\Gamma_V(s) = \Gamma_V(m_V^2)$ .

Значения  $g_{\rho\rho\eta}$  и  $g_{\rho\gamma}$  вычислялись из данных PDG по формулам<sup>2</sup>:

$$\begin{aligned} g_{\rho\gamma}^2 &= \frac{4\pi}{3} \alpha^2 \frac{m_\rho}{\Gamma_{\rho \rightarrow e^+e^-}}, & g_{\rho\gamma} &= 4.97 \\ g_{\rho\eta\gamma}^2 &= \frac{24}{\alpha} m_\rho^3 \frac{\Gamma_{\rho \rightarrow \eta\gamma}}{(m_V^2 - m_\eta^2)^3}, & & \\ g_{\rho\rho\eta} &= g_{\rho\gamma} g_{\rho\eta\gamma} = 0.007786 \text{ МэВ}^{-1} \end{aligned} \quad (4)$$

$A_V = g_{V\rho\gamma}/g_{V\gamma}$ . Свободными параметрами аппроксимации являются  $A_{\rho(1450)}$  и  $A_{\rho(1700)}$ . Фазы предполагаются равными 0 или  $\pi$ .

---

<sup>2</sup>M.N. Achasov, Study of the process  $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-$  in the energy region  $400 < \sqrt{s} < 1000$  MeV. arXiv:hep-ex/0506076, 2005.

# Вычисление радиационных поправок

С использованием функции  $\sigma_B(s)$  строится функция, описывающая видимое сечение<sup>3</sup>:

$$\sigma_{\text{vis}}(s) = \int_0^{\frac{2Emax}{\sqrt{s}}} F(z, s) \sigma_B(s(1-z)) dz \quad (5)$$

Где  $F(z, s)$  – плотность вероятности излучения фотона с энергией  $z\sqrt{s}/2$ . Функция  $\sigma_{\text{vis}}(s)$  используется для аппроксимации измеренного видимого сечения с помощью программы FIT<sup>4</sup>.

Радиационная поправка вычисляется по формуле:

$$1 + \delta(s) = \frac{\sigma_{\text{vis}}(s)}{\sigma_B(s)} \quad (6)$$

$$\sigma_B^{\text{exp}}(s_i) = \frac{\sigma_{\text{vis}}^{\text{exp}}(s_i)}{1 + \delta(s_i)} \quad (7)$$

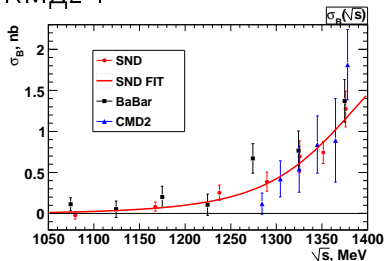
---

<sup>3</sup>Э.А. Кураев, В.С. Фадин. О радиационных поправках к сечению однофотонной аннигиляции  $e^+e^-$ -пары большой энергии.

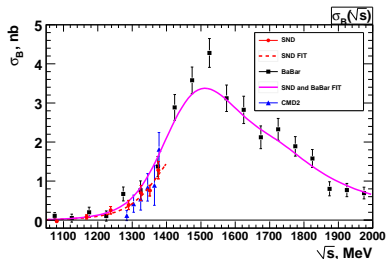
<sup>4</sup>А.В. Боженок и др. Пакет программ аппроксимации сечений в эксперименте СНД. Препринт ИЯФ 99-103, 1999.

# Борновское сечение

Результаты измерения борновского сечения для процесса  $e^+e^- \rightarrow \eta\pi^+\pi^-$  на СНД. Для сравнения приведены данные ВаБар<sup>5</sup> и КМД2<sup>6</sup>.



Аппроксимация по данным СНД. Зафиксировано значение  $A_{\rho(1700)} = 0$ .  $\chi^2 = 3.9/6$ ,  $P = 69\%$ .



Аппроксимация по данным СНД (до 1400 МэВ) и ВаБар (1400 ÷ 2000 МэВ).  $\chi^2 = 25.61/18$ ,  $P = 11\%$ .

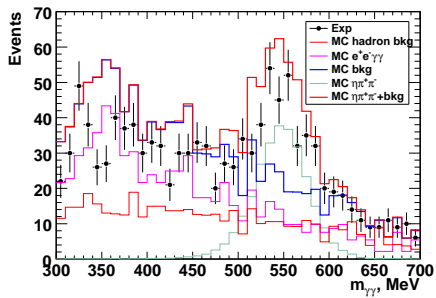
<sup>5</sup>B. Aubert et al. The  $e^+e^- \rightarrow 2(\pi^+\pi^-)\pi^0$ ,  $2(\pi^+\pi^-)\eta$ ,  $K^+K^-\pi^+\pi^-\pi^0$  and  $K^+K^-\pi^+\pi^-\eta$  Cross Sections Measured with Initial-State Radiation. arXiv:0708.2461v1 [hep-ex] 18 Aug 2007.

<sup>6</sup>R.R. Akhmetshin et al. Study of the process  $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^+\pi^-\pi^0$  with the CMD-2 detector. Phys. Lett. B 489 (2000) 125-130.

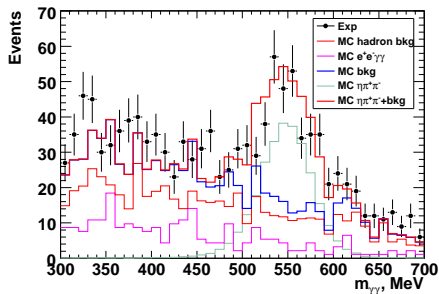
- Получены предварительные результаты измерения сечения процесса  $e^+e^- \rightarrow \eta\pi^+\pi^-$  в области  $\sqrt{s} = 1.04 \text{ ГэВ} \div 1.38 \text{ ГэВ}$ .
- Полученные результаты согласуются с результатами BaBar и КМД-2, при этом имеют лучшую статистическую точность.

Таблица: Борновское сечение

$\sqrt{s}$ , МэВ	$\sigma_{\text{vis}}$ , нб	$\sigma_B$ , нб	$1 + \delta$
1080.43	$<0.19$ CL=95%	$<0.217$ CL=95%	0.875
1167.29	$0.074 \pm 0.047$	$0.084 \pm 0.054$	0.876
1237.63	$0.221 \pm 0.081$	$0.253 \pm 0.093$	0.872
1289.71	$0.336 \pm 0.100$	$0.388 \pm 0.116$	0.868
1325.54	$0.600 \pm 0.165$	$0.693 \pm 0.192$	0.866
1351.41	$0.645 \pm 0.114$	$0.743 \pm 0.134$	0.867
1376.52	$1.107 \pm 0.188$	$1.271 \pm 0.218$	0.871



Структура фона при отсутствии ограничения на энерговыделение в калориметре.



Структура фона при отсутствии ограничения на качество фотонов.

## Эксперимент MHAD9701

Интервал, MeV	$2E$ , MeV	Число событий	Интегральная светимость, нб <sup>-1</sup>	Сечение регистрации, пб
1012.5-1112.5	1080.4	$-2.06 \pm 3.15$	381.78	$-5.4 \pm 8.2$
1112.5-1212.5	1167.3	$1.60 \pm 1.67$	69.32	$23.1 \pm 24.1$
1262.5-1312.5	1289.7	$0.71 \pm 1.71$	23.26	$30.5 \pm 73.4$

## Эксперимент MHAD9702

Интервал, MeV	$2E$ , MeV	Число событий	Интегральная светимость, нб <sup>-1</sup>	Сечение регистрации, пб
1012.5-1112.5	1080.4	$1.3 \pm 3.5$	426.65	$3.0 \pm 8.3$
1112.5-1212.5	1167.3	$16.9 \pm 8.5$	1056.91	$16.0 \pm 8.0$
1212.5-1262.5	1237.6	$20.9 \pm 7.9$	805.07	$26.0 \pm 9.9$
1262.5-1312.5	1289.7	$37.6 \pm 11.2$	1192.67	$31.5 \pm 9.4$
1312.5-1337.5	1325.5	$29.2 \pm 8.0$	528.58	$55.2 \pm 15.2$
1337.5-1362.5	1351.4	$54.4 \pm 11.0$	740.84	$73.4 \pm 14.9$
1362.5-1387.5	1376.5	$72.8 \pm 12.4$	735.91	$98.9 \pm 16.8$



## Эксперимент MHAD9901

Интервал, MeV	$2\bar{E}$ , MeV	Число событий	Интегральная светимость, нб <sup>-1</sup>	Сечение регистрации, пб
1012.5-1112.5	1080.4	$-2.9 \pm 4.5$	929.45	$-3.1 \pm 4.8$
1112.5-1212.5	1167.3	$2.0 \pm 6.6$	1156.15	$1.7 \pm 5.7$
1212.5-1262.5	1237.6	$5.5 \pm 5.3$	428.18	$12.9 \pm 12.5$
1337.5-1362.5	1351.4	$25.8 \pm 8.3$	579.67	$44.6 \pm 14.3$

## Эксперимент MHAD9701

$\sqrt{s}$ , MeV	$\sigma_{\text{reg}}$ , пб	$\epsilon$ , %	$\sigma_{\text{vis}}$ , нб
1012.5-1112.5	$-5.4 \pm 8.2$	9.65	$-0.056 \pm 0.086$
1112.5-1212.5	$23.1 \pm 24.1$	9.64	$0.239 \pm 0.251$
1212.5-1262.5	—	9.55	—
1262.5-1312.5	$30.5 \pm 73.4$	9.44	$0.323 \pm 0.778$
1312.5-1337.5	—	9.34	—
1337.5-1362.5	—	9.25	—
1362.5-1387.5	—	9.16	—

## Эксперимент MHAD9702

$\sqrt{s}$ , MeV	$\sigma_{\text{reg}}$ , пб	$\epsilon$ , %	$\sigma_{\text{vis}}$ , нб
1012.5-1112.5	$3.0 \pm 8.3$	9.66	$0.031 \pm 0.086$
1112.5-1212.5	$16.0 \pm 8.0$	9.66	$0.165 \pm 0.083$
1212.5-1262.5	$25.9 \pm 9.9$	9.53	$0.272 \pm 0.103$
1262.5-1312.5	$31.5 \pm 9.4$	9.36	$0.337 \pm 0.101$
1312.5-1337.5	$55.2 \pm 15.2$	9.21	$0.600 \pm 0.165$
1337.5-1362.5	$73.4 \pm 14.9$	9.07	$0.809 \pm 0.164$
1362.5-1387.5	$98.9 \pm 16.8$	8.93	$1.107 \pm 0.188$

## Эксперимент MHAD9901

$\sqrt{s}$ , MeV	$\sigma_{\text{reg}}$ , пб	$\epsilon$ , %	$\sigma_{\text{vis}}$ , нб
1012.5-1112.5	$-0.003 \pm 0.005$	9.75	$-0.032 \pm 0.049$
1112.5-1212.5	$0.002 \pm 0.006$	9.61	$0.018 \pm 0.059$
1212.5-1262.5	$0.013 \pm 0.012$	9.44	$0.136 \pm 0.132$
1262.5-1312.5	—	9.28	—
1312.5-1337.5	—	9.16	—
1337.5-1362.5	$0.045 \pm 0.014$	9.06	$0.492 \pm 0.158$
1362.5-1387.5	—	8.96	—

Видимое сечение, усредненное по  
экспериментам

$\sqrt{s}$ , MeV	$\sigma_{\text{vis}}$ , нб
1012.5-1112.5	$-0.024 \pm 0.038$
1112.5-1212.5	$0.074 \pm 0.047$
1212.5-1262.5	$0.221 \pm 0.081$
1262.5-1312.5	$0.336 \pm 0.100$
1312.5-1337.5	$0.600 \pm 0.165$
1337.5-1362.5	$0.645 \pm 0.114$
1362.5-1387.5	$1.107 \pm 0.188$

$$\sigma_{\text{vis}}^i \pm \delta_i, \quad i=9701, 9702, 9901$$

$$w_i = 1/\delta_i^2$$

$$W = \sum_i w_i$$

$$\overline{\sigma_{\text{vis}}} = \frac{1}{W} \sum_i w_i \sigma_{\text{vis}}^i$$

# Поправка к эффективности

Поправка учитывает неточность моделирования множественности фотонов.

Использован процесс  $e^+e^- \rightarrow 3\pi$  на энергии  $\sqrt{s} = m_\phi = 1020$  МэВ. Отбор событий производился с помощью тех же условий, что и событий изучаемого процесса в другой области инвариантных масс фотонов.

Пусть  $N_{2\gamma}^{exp}$  - число **экспериментальных** отобранных событий с **двумя** фотонами;

$N^{exp}$  - число **экспериментальных** отобранных событий с **произвольным** числом фотонов;

$N_{2\gamma}^{mc}$  - число **моделированных** отобранных событий с **двумя** фотонами;

$N^{mc}$  - число **моделированных** отобранных событий с **произвольным** числом фотонов.

$$\delta_{eff} = \frac{N_{2\gamma}^{exp} / N^{exp}}{N_{2\gamma}^{mc} / N^{mc}} \quad (8)$$

$$\delta_{eff} = 0.9695$$