



ИЯФ СО РАН им. Г.И. Будкера  
Новосибирск  
Декабрь 23, 2009

Изучение реакции  $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$

в области  $\phi$ -мезонного резонанса с детектором КМД-2

Д.А. Епифанов

План доклада:

Часть I:

- Изучение реакции  $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$
- Динамика распада  $\phi \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$
- Поиск распадов  $\phi \rightarrow \pi^+\pi^-\gamma\gamma$  и  $\phi \rightarrow \pi^+\pi^-\eta$

Часть II:

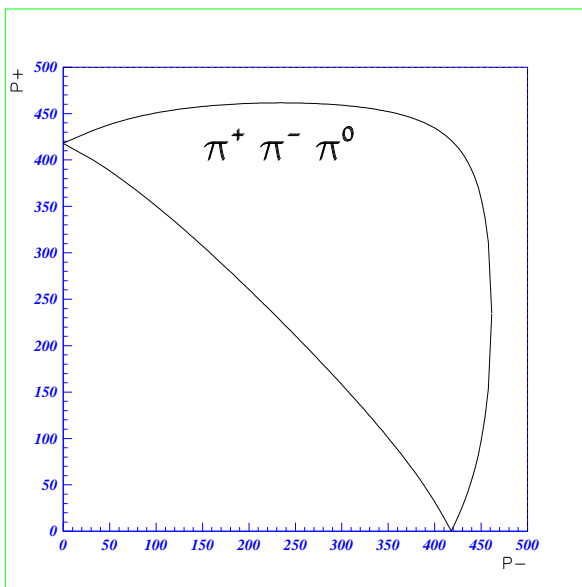
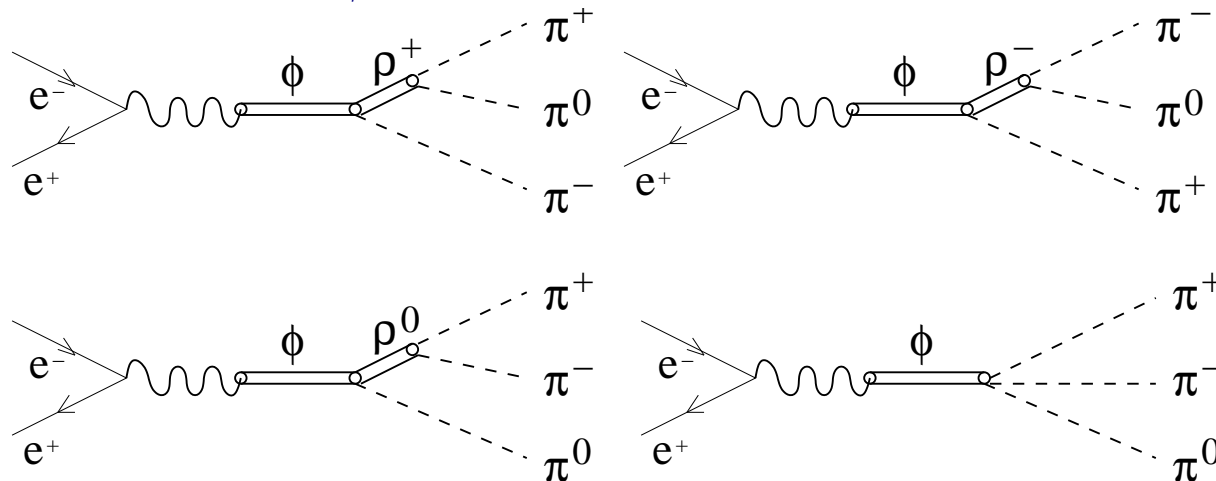
- Разработка и создание CsI калориметра детектора КМД-3

Заключение

# Распад $\phi \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0$

$$M_\phi = 1019.460 \pm 0.019 \text{ МэВ}/c^2 \quad \Gamma_\phi = 4.26 \pm 0.05 \text{ МэВ}$$

Мода распада	$\mathcal{B}, \%$
$\phi \rightarrow K^+ K^-$	$49.2 \pm 0.6$
$\phi \rightarrow K_L K_S$	$34.0 \pm 0.5$
$\phi \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0$	$15.3 \pm 0.4$
$\phi \rightarrow \eta \gamma$	$1.301 \pm 0.024$

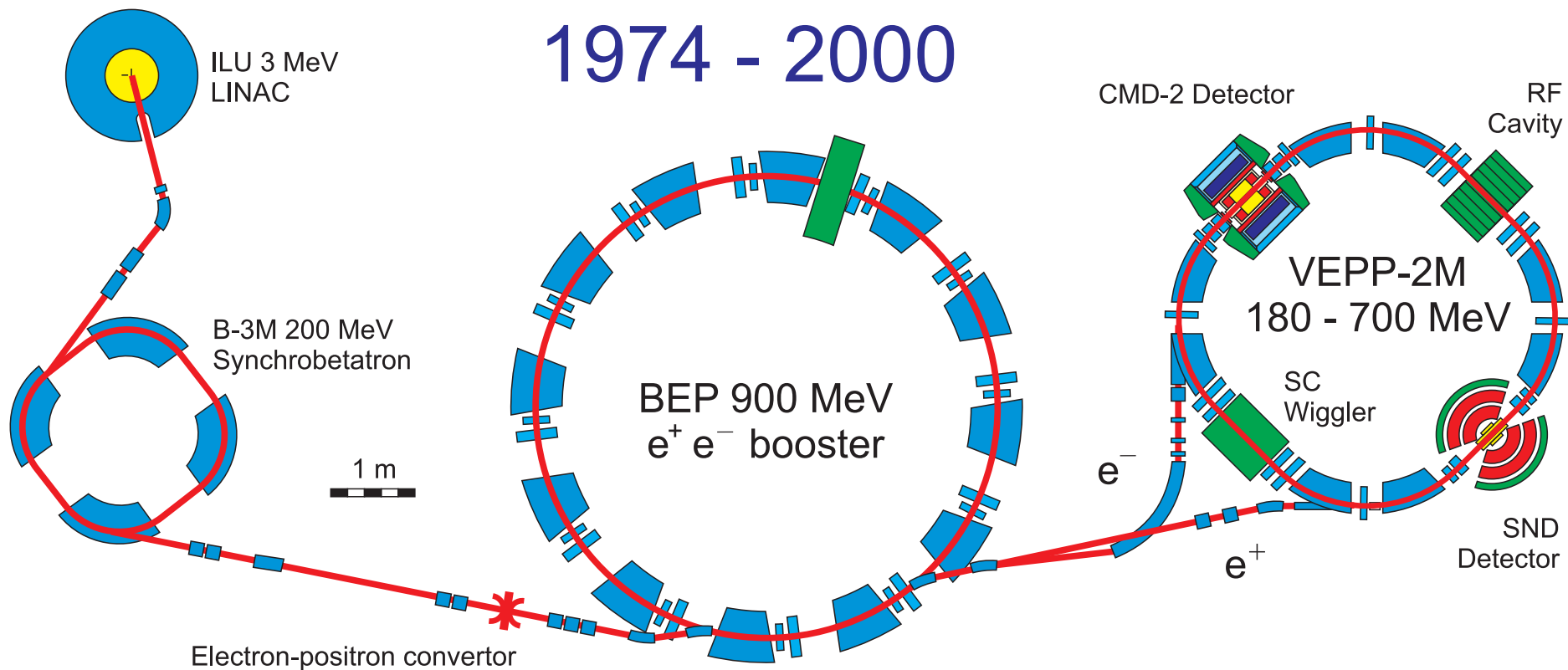


$$\frac{d\sigma}{d\Omega d\varepsilon_+ d\varepsilon_-} \sim |\vec{P}_+ \times \vec{P}_-|^2 \sin^2 \theta$$

- M.Gell-Mann, D.Sharp, W.G.Wagner, "Decay rates of neutral mesons", Phys.Rev.Lett. **8**, 261 (1962)
- T. Fujiwara *et al.*, "Nonabelian Anomaly And Vector Mesons As Dynamical Gauge Bosons Of Hidden Local Symmetries," Prog. Theor. Phys. **73** (1985) 926.

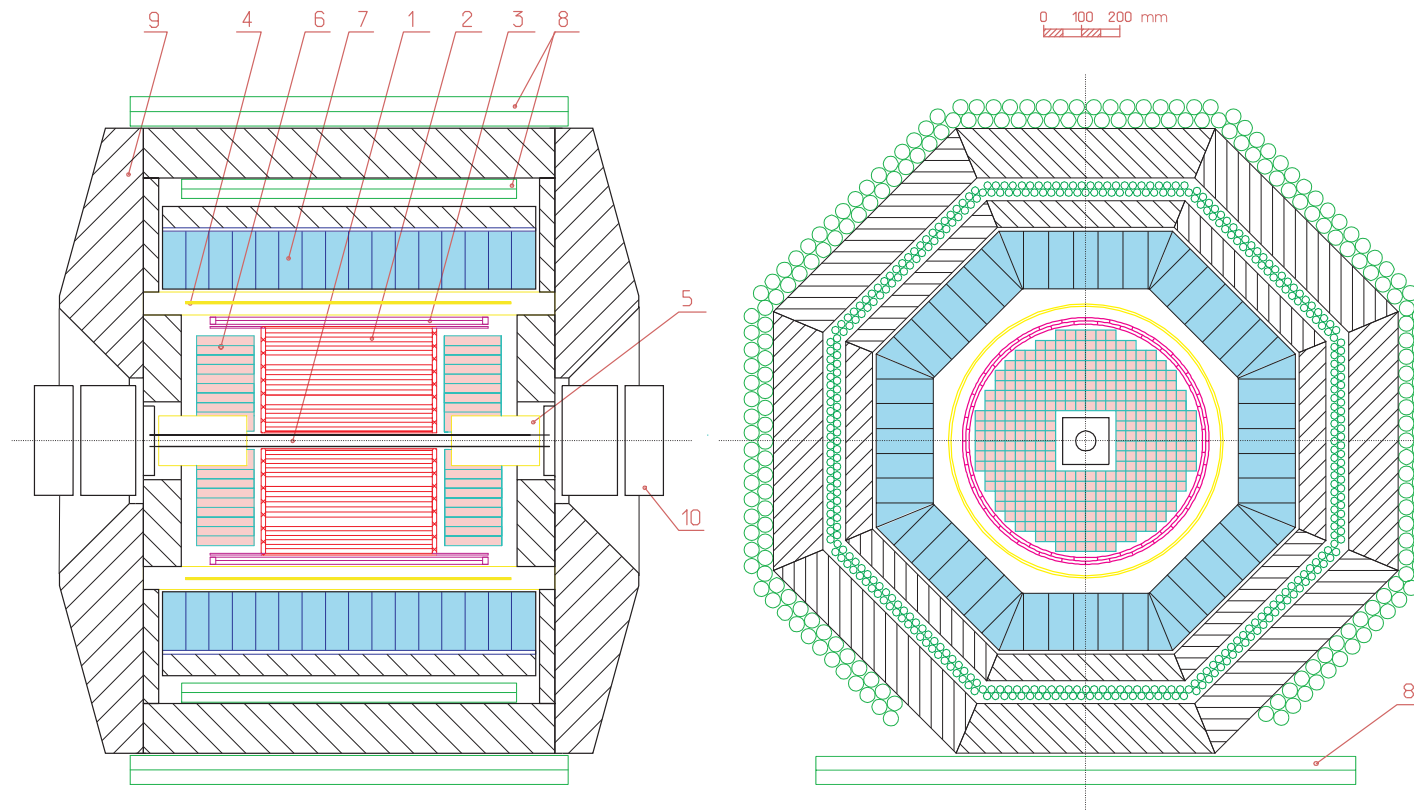
## Накопитель ВЭПП-2М

1974 - 2000



- Диапазон энергии в с.ц.м.:  $360 \text{ МэВ} < 2E_{\text{beam}} < 1400 \text{ МэВ}$
- Максимальная светимость:  $L_{\text{peak}} = 3 \cdot 10^{30} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$
- Время работы: 1974 ÷ 2000 гг.

## Детектор КМД-2



1 - vacuum chamber  
2 - drift chamber  
3 - Z-chamber  
4 - main solenoid

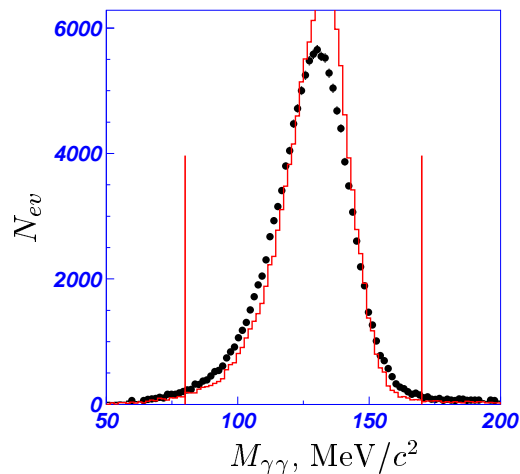
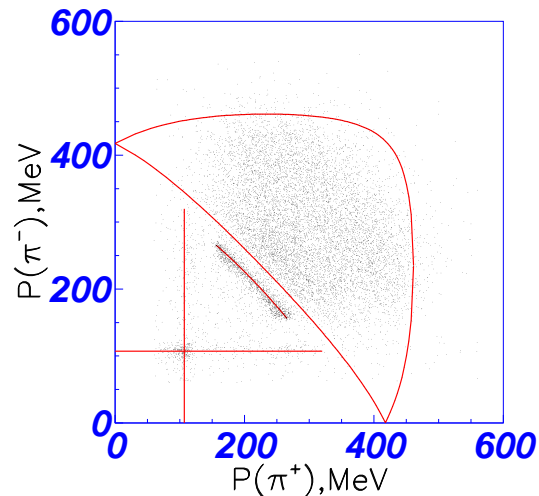
5 - compensating magnet  
6 - **BGO** endcap calorimeter  
7 - **CsI** barrel calorimeter  
8 - muon range system

9 - iron yoke  
10 - storage ring lenses

Обрабатывались данные эксперимента РНИ-98 с  $\int L dt \simeq 11 \text{ pb}^{-1}$  в области  $\phi$ -мезонного резонанса  $2E = 984 \div 1060 \text{ МэВ}$ ,  $N(\phi) \simeq 22 \times 10^6$

## Условия отбора событий

Отбираются события с двумя треками противоположных зарядов и двумя или более фотонными кластерами в CsI калориметре.



- $N_{\text{hits}} > 6$ ,  $\sigma_R \leq 0.1$  см,  $\sigma_Z \leq 3$  см
- $R_{\text{min}\pm} \leq 0.2$  см,  $|Z_{\pm}| \leq 10$  см
- $|180^\circ - |\varphi_+ - \varphi_-|| > 6^\circ$ ,  $\psi > 6^\circ$
- $52^\circ < \theta_{\pm} < 128^\circ$
- $120 \text{ МэВ}/c < P_{\pm} < 550 \text{ МэВ}/c$
- $|\vec{P}_+ + \vec{P}_- + \vec{P}_0| < 100 \text{ МэВ}/c$
- $dE/dx < 2 \cdot dE/dx_{\text{MIP}}$
  
- $E_\gamma > 30 \text{ МэВ}$
- $52^\circ < \theta_\gamma < 128^\circ$
- $80 \text{ МэВ}/c^2 < M_{\gamma\gamma} < 170 \text{ МэВ}/c^2$

Во всём энергетическом диапазоне  $2E = 984 \div 1060$  МэВ было отобрано 104849 событий.

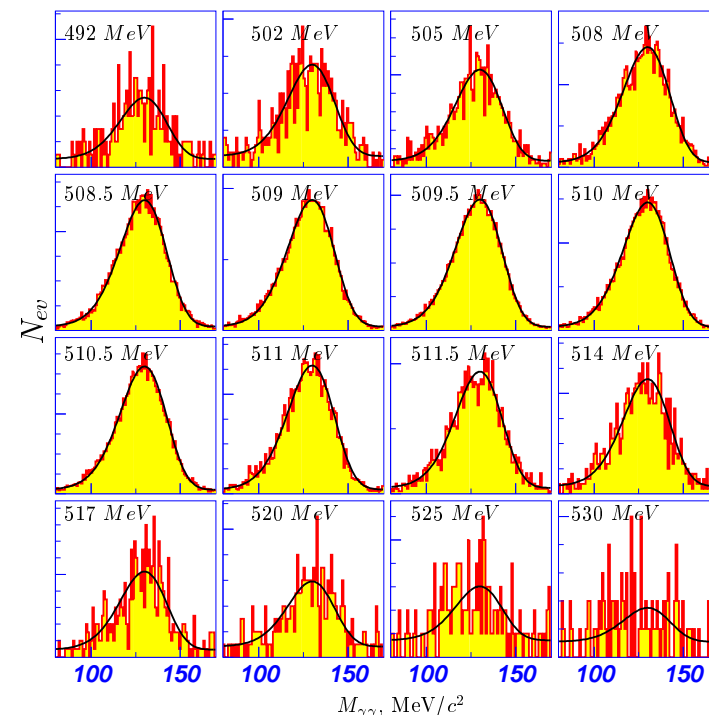
## Источники фона

### Источники резонансного фона

- $e^+e^- \rightarrow K^+K^-$
- $e^+e^- \rightarrow K_L K_S, K_S \rightarrow \pi^+\pi^-$
- $e^+e^- \rightarrow \eta\gamma, \eta \rightarrow \pi^+\pi^-\gamma$  или  $\eta \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0 (\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma)$

### Источники нерезонансного фона

- Космические частицы и выбывшие из пучка электроны и позитроны
- $e^+e^- \rightarrow e^+e^-\gamma(\gamma)$
- $e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^-\gamma(\gamma)$
- $e^+e^- \rightarrow \rho\gamma(\gamma) \rightarrow \pi^+\pi^-\gamma(\gamma)$
- $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0\pi^0$



$$\frac{dN}{dm_{\gamma\gamma}} = N_1 LG(m_{\gamma\gamma}) + N_2 \text{Uni}(m_{\gamma\gamma})$$

Вклад космического и пучкового фона оценивался путём отбора событий в области

$10 \leq |Z_{\pm}| \leq 20$  см, он оказался пренебрежимо мал (меньше 0.1%).

Доля событий  $3\pi$ , попавшая в подложку (6.9%), определялась по событиям, набранным в максимуме  $\phi$ -мезонного резонанса, где фон очень мал ( $\sim 0.5\%$ ).

**Число сигнальных событий – 102739, а число фоновых – 2110**

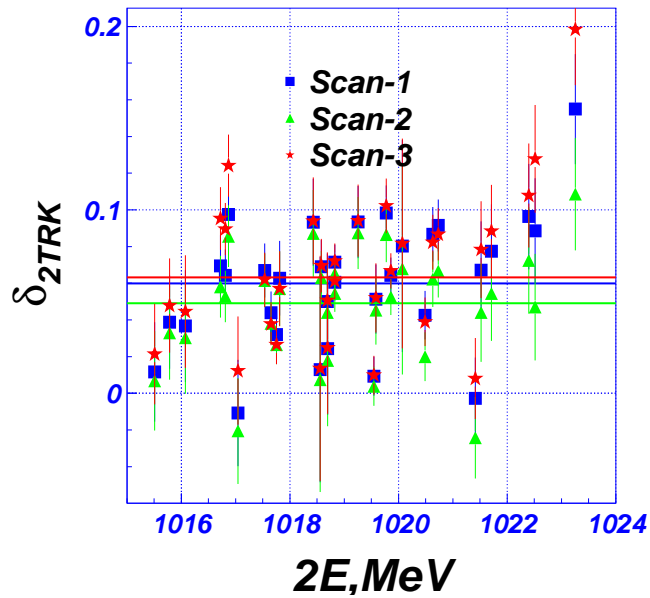
# Эффективность регистрации, поправки к эффективности

$$\epsilon_{3\pi}^{\text{MC}} = (4.71 \pm 0.02)\%$$

Для определения поправок к эффективности регистрации  $\pi^\pm$  ( $\delta_{\pm}^{\text{MC}}$ ) и  $\pi^0$  ( $\delta_{\pi^0}^{\text{MC}}$ ) помимо событий с двумя треками и  $\pi^0$ -кандидатом (**2TRK** $\pi^0$ ) отбираются события с одним треком и  $\pi^0$ -кандидатом (**1TRK** $\pi^0$ ), а также события просто с двумя треками (**2TRK**).

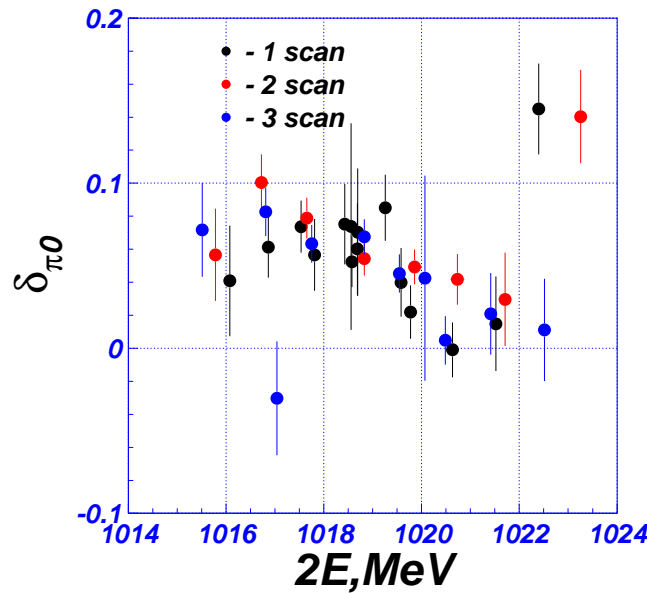
$$\epsilon_{\pm} = 1 / \left( 1 + \frac{N_{\pi^\mp \pi^0}}{N_{3\pi}} \right)$$

$$\delta_{\pm}^{\text{MC}} = 1 - \epsilon_{\pm}^{\text{EXP}} / \epsilon_{\pm}^{\text{MC}}$$



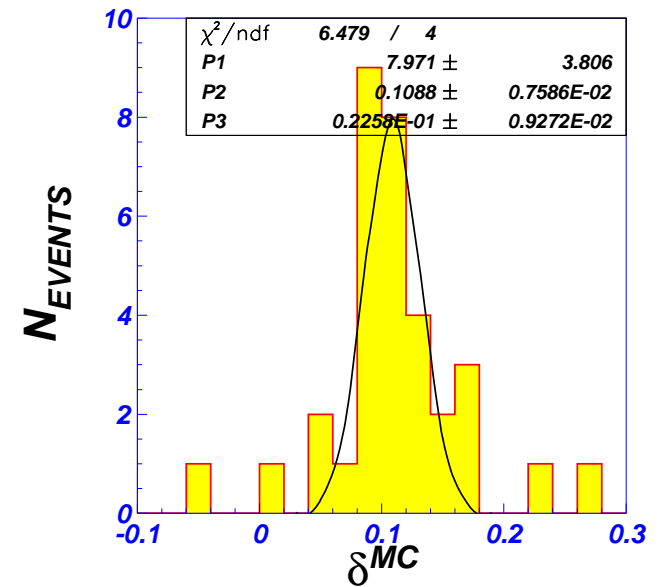
$$\epsilon_{\pi^0} = N_{3\pi} / N_{\pi^+ \pi^-}$$

$$\delta_{\pi^0}^{\text{MC}} = 1 - \epsilon_{\pi^0}^{\text{EXP}} / \epsilon_{\pi^0}^{\text{MC}}$$



$$(1 - \delta^{\text{MC}}) =$$

$$(1 - \delta_{+}^{\text{MC}})(1 - \delta_{-}^{\text{MC}})(1 - \delta_{\pi^0}^{\text{MC}})$$



## Измерение и аппроксимация сечения

$$\sigma_{\text{vis}} = (1 + \delta_{\text{rad}})\sigma_B = \frac{N_{3\pi}}{\mathcal{L}\varepsilon_{\text{trig}}\varepsilon_{3\pi}^{\text{MC}}(1+\delta_{\text{wid}})(1-\delta^{\text{MC}})}$$

- $\sigma_{\text{vis}}$  – видимое сечение реакции  $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$
- $\sigma_B$  – борновское сечение реакции  $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$
- $\delta_{\text{rad}}$  – поправка, связанная с излучением фотонов начальными  $e^+, e^-$
- $\mathcal{L}$  – интеграл светимости, набранный в заданной точке по энергии
- $\varepsilon_{\text{trig}}$  – эффективность триггера
- $\varepsilon_{3\pi}^{\text{MC}}$  – эффективность регистрации  $3\pi$  из моделирования
- $\delta^{\text{MC}}$  – поправка к эффективности регистрации
- $\delta_{\text{wid}}$  – поправка, учитывающая разброс энергии частиц в пучках

E.A.Kuraev, V.S.Fadin, *Sov.J.of Nucl. Phys.* **41**, 466 (1985).

$$\sigma_{\text{vis}}(s) = \sigma_B(s)(1 + \delta_{\text{rad}}(s)) = \int_0^1 \int_0^1 D(x_1, s)D(x_2, s)\sigma_B(s(1-x_1)(1-x_2))\varepsilon(x_1, x_2)dx_1dx_2$$

- $D(x_{1,2}, s)$  – вероятность испускания начальным  $e^\pm$   $\gamma$ -струи, уносящей долю энергии пучка ( $E_{\text{beam}} = \sqrt{s}/2$ )  $x_{1,2} = \frac{2E_{\gamma 1,2}}{\sqrt{s}}$
- $\sigma_B(s(1-x_1)(1-x_2))$  – борновское сечение в новой с.ц.м.
- $\varepsilon(x_1, x_2)$  – функция эффективности, которая определяется как отношение эффективности регистрации  $\pi^+\pi^-\pi^0$  после излучения струй с  $x_1, x_2$  к эффективности при  $x_1 = x_2 = 0$ .



## Результаты аппроксимации

$$\sigma_{3\pi}(s) = \frac{F_{3\pi}(s)}{s} \cdot |A_\omega + A_\phi e^{i\delta} e^{-\omega} + A_{\text{add}}|^2$$

$$A_V = \frac{m_V^2 \Gamma_V \sqrt{\sigma_V / F_{3\pi}(m_V^2)}}{s - m_V^2 + i\sqrt{s} \Gamma_V(s)}, \quad V = \omega, \phi$$

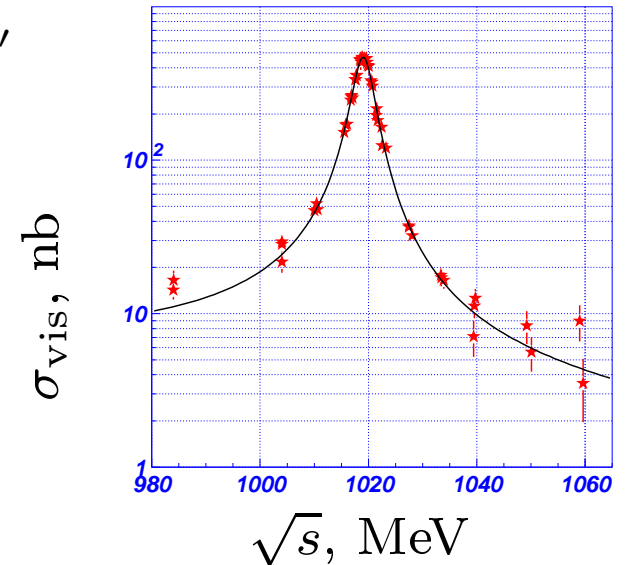
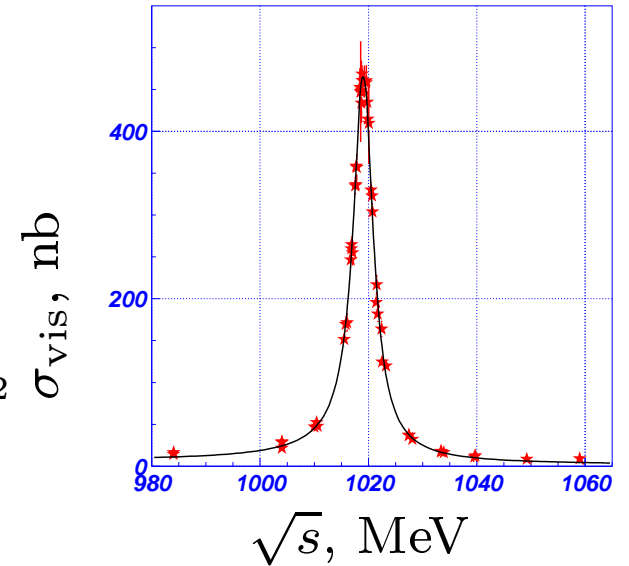
$$F_{3\pi}(s) = \int \int dE_- dE_+ |\vec{p}_+ \times \vec{p}_-|^2 R_{3\pi}(E_+, E_-)$$

$$R_{3\pi}(E_+, E_-) = |1/D_{\rho^+}(Q_+^2) + 1/D_{\rho^-}(Q_-^2) + 1/D_{\rho^0}(Q_0^2) + A_n a e^{i\varphi}|^2$$

$$1/D_{\rho^i} = 1 / \left( \frac{Q_i^2}{M_\rho^2} - 1 + i \frac{\sqrt{Q_i^2} \Gamma_\rho(Q_i^2)}{M_\rho^2} \right)$$

Амплитуда  $A_{\text{add}}$  описывает вклад от вышележащих состояний  $\omega'$  и  $\omega''$  в области  $\phi$ -мезонного резонанса.

Параметры	Аппроксимация №1	Аппроксимация №2
$M_\phi$ , МэВ/ $c^2$	$1019.30 \pm 0.02$	$1019.33 \pm 0.03$
$\Gamma_\phi$ , МэВ	$4.30 \pm 0.06$	$4.26 \pm 0.06$
$\varphi_{\phi-\omega}$	$167^\circ \pm 14^\circ$	$180^\circ$ – фикс.
$\sigma_{3\pi}$ , нб	$637 \pm 23$	$658 \pm 7$
$A_{\text{add}}$ , нб $^{1/2}$ МэВ $^2$	0 – фикс.	$22 \pm 8$
$\chi^2/N_{\text{df}}$	57.0/50	51.8/50
$P(\chi^2)$ , %	23	40

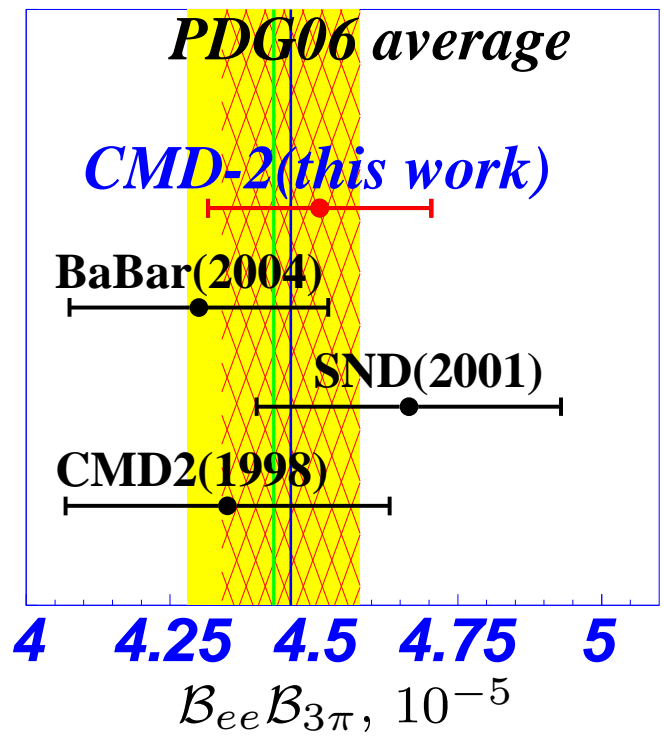


## Результат и сравнение с предыдущими измерениями

$$\begin{aligned}
 M_\phi &= (1019.30 \pm 0.02(\text{стат.}) \pm 0.10(\text{сист.})) \text{ МэВ}/c^2 \\
 \Gamma_\phi &= (4.30 \pm 0.06(\text{стат.}) \pm 0.17(\text{сист.})) \text{ МэВ} \\
 \varphi_{\phi-\omega} &= (167^\circ \pm 14^\circ(\text{стат.}) \pm 10^\circ(\text{сист.})) \\
 \sigma_{3\pi} &= (637 \pm 23(\text{стат.}) \pm 16(\text{сист.})) \text{ нб}
 \end{aligned}$$

**Систематическая ошибка  $\sigma_{3\pi}$**

Источник	Величина
Светимость	2%
Эффективность триггера	1%
Радпоправка	1%
Эффективность регистрации	0.5%
Вычитание фона	0.3%
<b>Полная</b>	<b>2.5%</b>

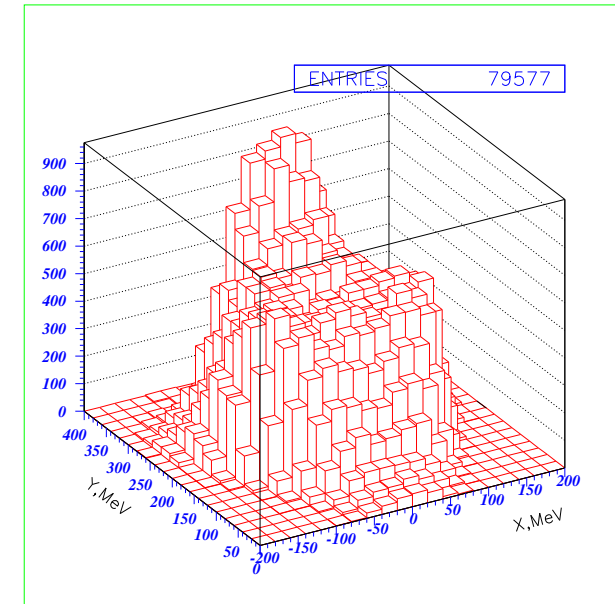
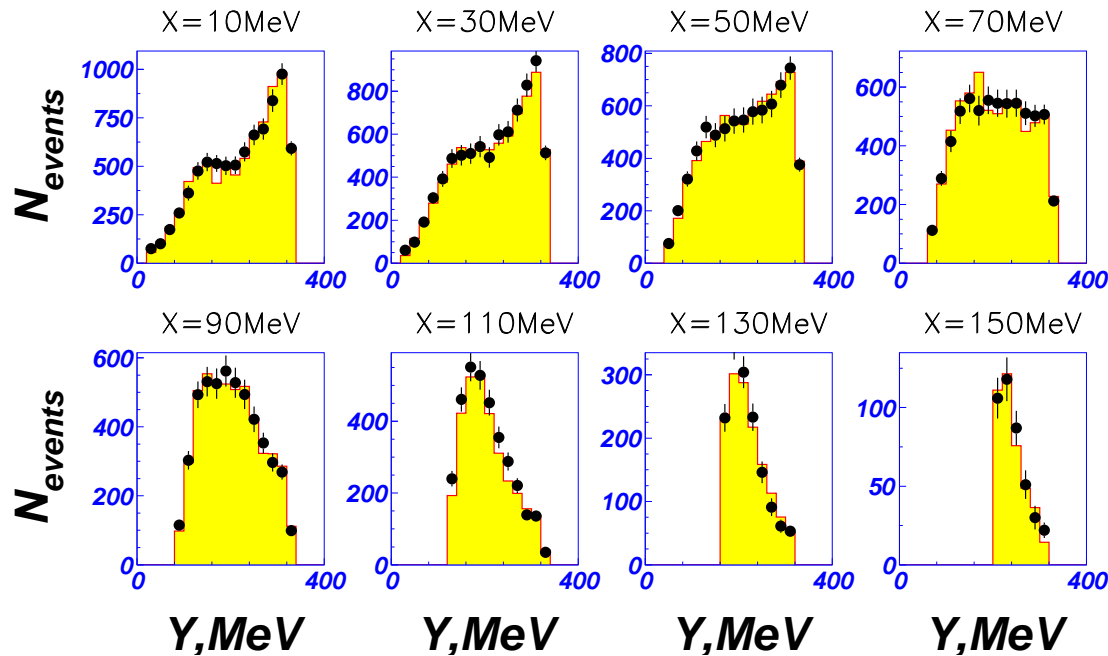


$$B_{ee} B_{3\pi} = \frac{\sigma_{3\pi} M_\phi^2}{12\pi}$$

$$B(\phi \rightarrow e^+ e^-) B(\phi \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0) = (4.51 \pm 0.16 \pm 0.11) \times 10^{-5}$$



# Процедура и результаты аппроксимации



КМД-2 (2006)	$a = 0.101 \pm 0.044(\text{стат.}) \pm 0.017(\text{сист.})$ $\varphi = -2.91 \pm 0.14(\text{стат.}) \pm 0.07(\text{сист.})$ $\chi^2/N_{df} = 0.95$ , значимость $3.3\sigma$
КЛОЕ (2003)	$a = 0.104 \pm 0.010(\text{стат.}) \pm 0.020(\text{сист.})$ $\varphi = -2.47 \pm 0.08(\text{стат.}) \pm 0.08(\text{сист.})$
СНД (2002)	$-0.06 < a < 0.06$ (90% CL) $\varphi = 0$ – зафиксирован
КМД-2 (1998)	$-0.15 < a < 0.10$ (90% CL) $\varphi = 0$ – зафиксирован

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^{198} \frac{(N_i^{\text{exp}} - N_i^{\text{calc}})^2}{N_i^{\text{exp}} + \sigma_i^2(N^{\text{calc}})}$$

$$N_i^{\text{calc}} = \varepsilon_{ik} N_k^{\text{theory}}$$

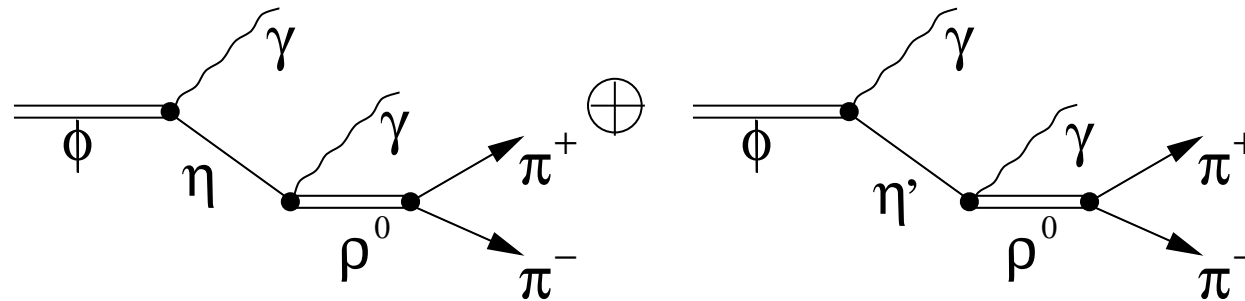
- $N_i^{\text{exp}}$  – число экспериментальных событий
- $N_i^{\text{calc}}$  – расчётное число событий
- $\varepsilon_{ik}$  –  $198 \times 198$  матрица эффективности
- $N_k^{\text{theory}}$  – теоретическое число событий

## Поиск распадов $\phi \rightarrow \pi^+\pi^-\gamma\gamma$ и $\phi \rightarrow \pi^+\pi^-\eta$

- Измерение относительной вероятности распада  $\phi \rightarrow \pi\pi\gamma\gamma$

Pyeongwon Ko, Jungil Lee, H. S. Song “Chiral perturbation theory vs. vector meson dominance in the decays  $\phi \rightarrow \rho\gamma\gamma$  and  $\phi \rightarrow \omega\gamma\gamma$ ”, Phys. Lett., 1996, **B366**, p. 287, arXiv:hep-ph/9510205

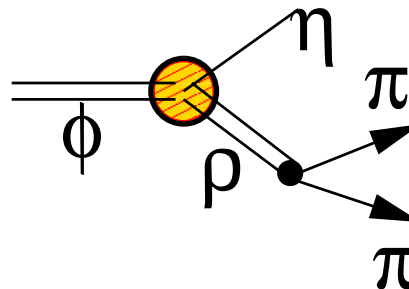
$$\mathcal{B}(\phi \rightarrow \pi\pi\gamma\gamma) = 1.3 \times 10^{-4}$$



- Измерение относительной вероятности распада  $\phi \rightarrow \pi\pi\eta$

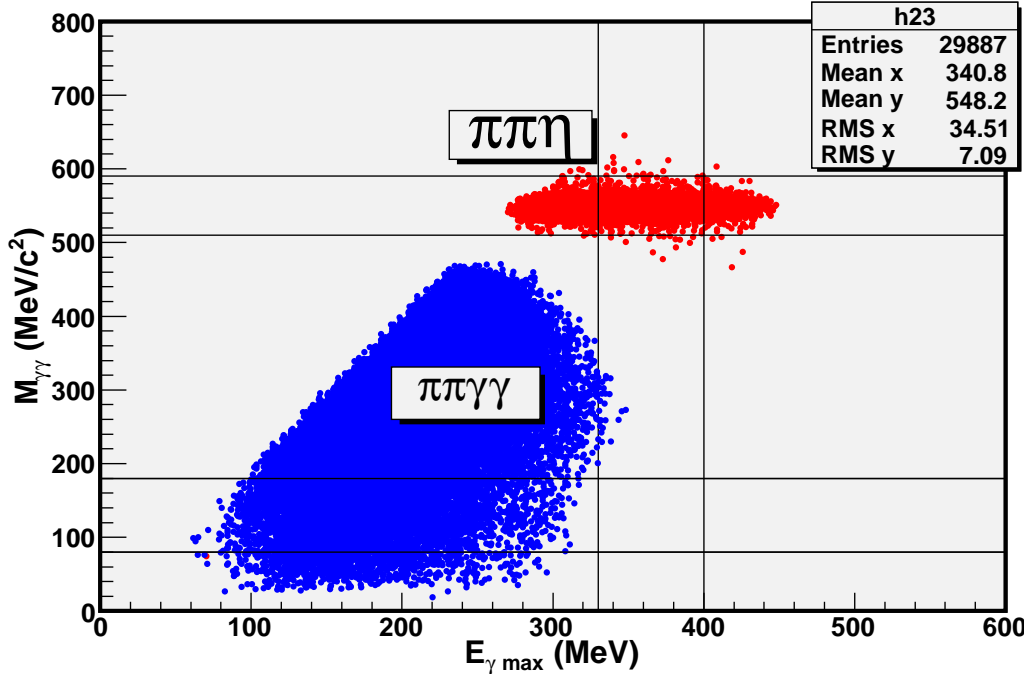
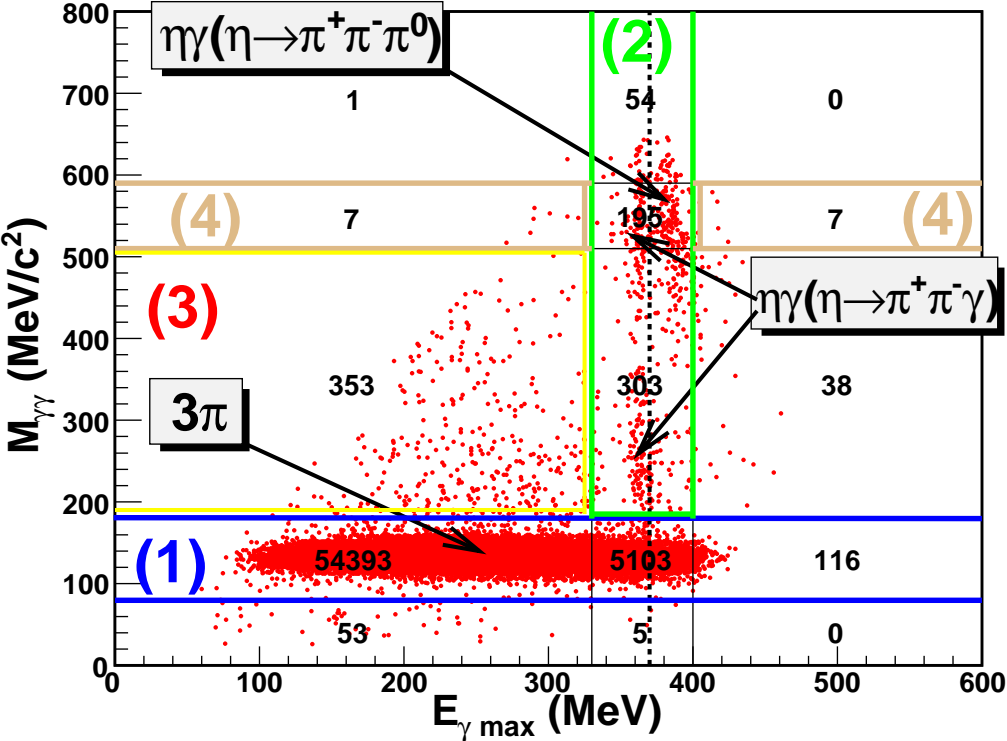
В. А. Карнаков, “Нарушающие G-чётность распады  $\phi \rightarrow \pi\pi$ ,  $\phi \rightarrow \eta\pi\pi$ ,  $\phi \rightarrow \pi\omega$ ”, Ядерная Физика, 1985, т.42, с.634

$$\mathcal{B}(\phi \rightarrow \pi\pi\eta) = 3.5 \times 10^{-7}$$



# Отбор событий $\pi\pi\gamma\gamma$ и $\pi\pi\eta$ , источники фона

Отбирались события с двумя заряженными частицами и двумя фотонами.  
 Проводилась процедура кинематической реконструкции с условием сохр. энергии и импульса,  $\chi^2 < 40$ .



Для подавления событий  $\pi^+\pi^-\pi^0$  в сигнальной области для событий  $\pi^+\pi^-\gamma\gamma$  требовалось чтобы  $M_{\text{missing}}(\pi^+\pi^-) > 300 \text{ МэВ}/c^2$

Отборы прошло ок. 60000 событий, доминируют события распадов  $\phi \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0 (\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma)$  и  $\phi \rightarrow \eta\gamma (\eta \rightarrow \pi^+\pi^-\gamma \text{ или } \eta \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0 (\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma))$

## Процедура аппроксимации

Число событий в каждой из 16-ти точек по энергии  $\sqrt{s}$  в  $i$ -ой области аппроксимировалась функцией:

$$N_{\text{calc}}^{(i)}(\sqrt{s}) = L \varepsilon_{\text{trig}} (1 - \delta_{\text{MC}}) \times [(1 + \delta_{\text{wid}})(1 + \delta_{\text{rad}}) \sum_f \varepsilon_f^{(i)} \sigma_B^f + \sigma_{\text{bg}}^{(i)}]$$

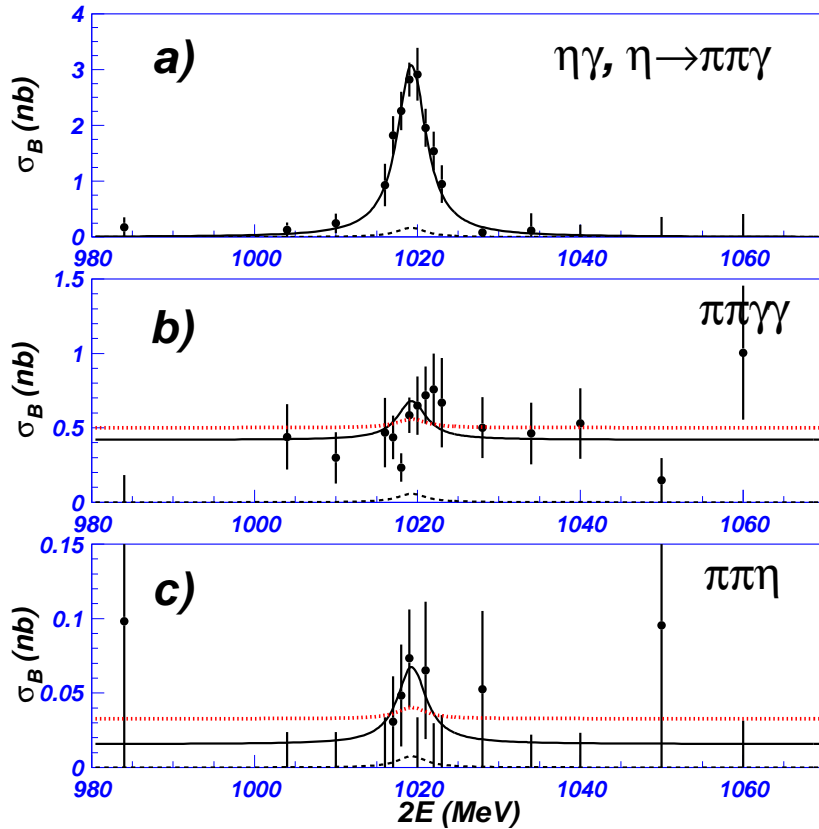
- $L$  – интеграл светимости в энергетической точке
- $\varepsilon_{\text{trig}}$  – эффективность триггера (>98%)
- $\delta_{\text{MC}}$  – поправка к эффективности регистрации
- $\delta_{\text{wid}}$  – поправка для учёта разброса энергии частиц в пучке
- $\delta_{\text{rad}}$  – радпоправка
- $\varepsilon_f^{(i)}$  – эффективность зарегистрировать события  $f$ -го типа в  $i$ -ой области
- $\sigma_B^f(\sqrt{s}) = \alpha^f \sigma_B^{3\pi}(\sqrt{s})$  – сечение реакции  
 $e^+e^- \rightarrow \phi \rightarrow f$  ( $f = \pi^+\pi^-\pi^0, \eta\gamma, \pi^+\pi^-\gamma\gamma, \pi^+\pi^-\eta$ ) ( $\sigma_B^{3\pi} = 637 \pm 28$  нб)
- $\sigma_{\text{bg}}^{(i)}$  – нерезонансное сечение в  $i$ -ой области, предполагаемое константой

Для этого минимизировалась логарифмическая функция правдоподобия:

$$\mathcal{L}^{(i)} = 2 \sum_{k=1}^{16} \left( N_{\text{calc};k}^{(i)} - N_k^{(i)} - N_k^{(i)} \ln \frac{N_{\text{calc};k}^{(i)}}{N_k^{(i)}} \right)$$

и определялись оптимальные значения параметров  $\alpha^f$  и  $\sigma_{\text{bg}}^{(i)}$

# Результаты аппроксимации, сравнение с предыдущими измерениями



Распад	Механизм	Эффективность
$3\pi$	$\rho\pi$	$\epsilon_{3\pi}^{(1)} = (2.44 \pm 0.02)\%$
		$\epsilon_{3\pi}^{(2)} = (6.0 \pm 2.4) \times 10^{-6}$
		$\epsilon_{3\pi}^{(3)} = (2.0 \pm 1.4) \times 10^{-6}$
$\eta\gamma$	$\eta \rightarrow \pi\pi\gamma$	$\epsilon_{\eta\gamma}^{(2)} = (2.41 \pm 0.02)\%$
$\pi\pi\gamma\gamma$	$\eta$	$\epsilon_{\pi\pi\gamma\gamma}^{(4)} = (5.0 \pm 2.2) \times 10^{-6}$
$\pi^+\pi^-\eta$	$\rho^0\eta$	$\epsilon_{\pi\pi\eta}^{(3)} = (2.35 \pm 0.02)\%$
		$\epsilon_{\pi\pi\eta}^{(4)} = (3.77 \pm 0.03)\%$

Распад	$N$	$\epsilon_{\text{det}}, \%$	$\sigma_B^f, \text{нб}$
$\eta\gamma(\eta \rightarrow \pi\pi\gamma)$	285	$2.41 \pm 0.02$	$2.77 \pm 0.18$
$\pi\pi\gamma\gamma$	112	$2.35 \pm 0.02$	$0.193 \pm 0.186$
$\pi\pi\eta(\eta \rightarrow \gamma\gamma)$	13	$3.77 \pm 0.03$	$0.042 \pm 0.035$

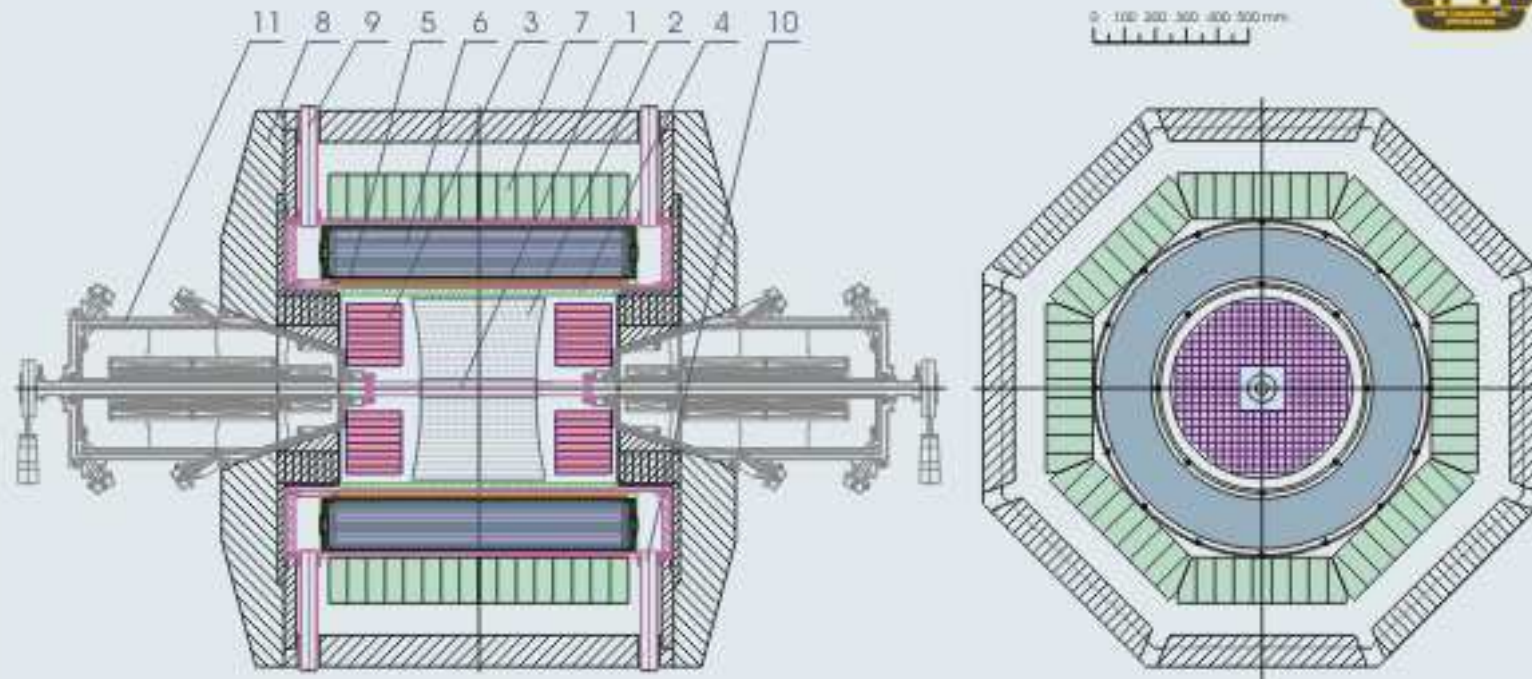
$\mathcal{B}(\phi \rightarrow \eta\gamma) \cdot \mathcal{B}(\eta \rightarrow \pi\pi\gamma) = (6.61 \pm 0.43) \times 10^{-4}$  хорошо согласуется с  
 $\mathcal{B}(\phi \rightarrow \eta\gamma) \cdot \mathcal{B}(\eta \rightarrow \pi\pi\gamma)(\text{PDG}) = (6.10 \pm 0.18) \times 10^{-4}$

Распад	Эта работа	Предыдущие измерения	Теория
$\pi\pi\gamma\gamma$	$< 1.2 \times 10^{-4}$	$< 5 \times 10^{-4}$ [КМД-98]	$1.3 \times 10^{-4}$
$\pi\pi\eta$	$< 6.1 \times 10^{-5}$	$< 3 \times 10^{-4}$ [КМД-98] $< 1.8 \times 10^{-5}$ [КМД-00]	$3.5 \times 10^{-7}$



# CMD-3 DETECTOR

[HTTP://CMD.INF.NSK.SU](http://cmd.inf.nsk.su)



1 - Vacuum pipe  
2 - Drift chamber  
3 - BGO endcap calorimeter  
4 - Z-chamber

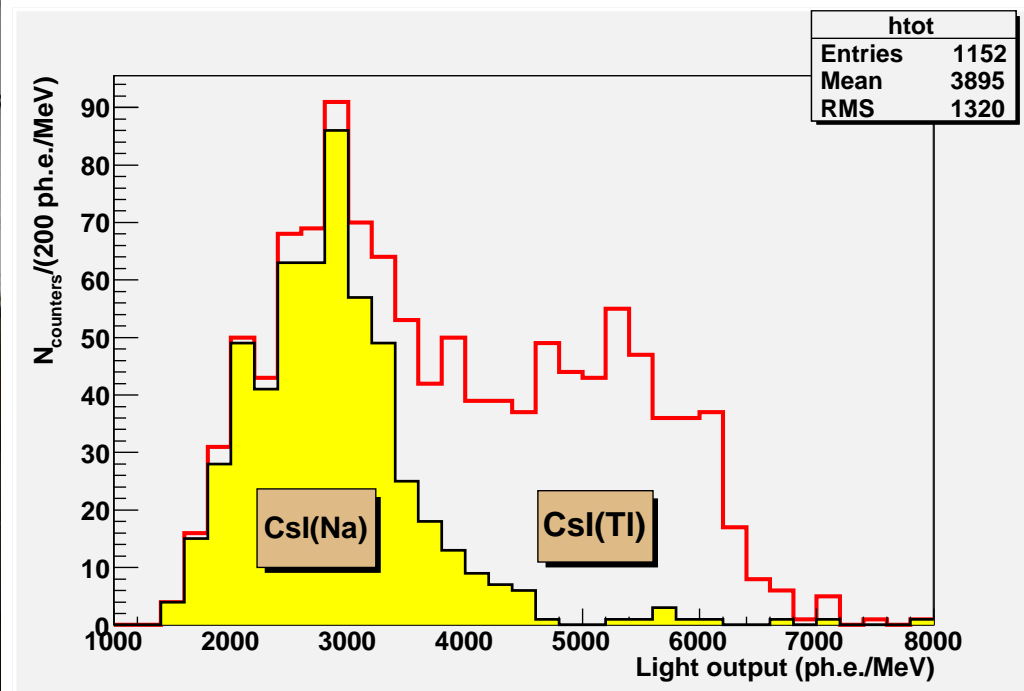
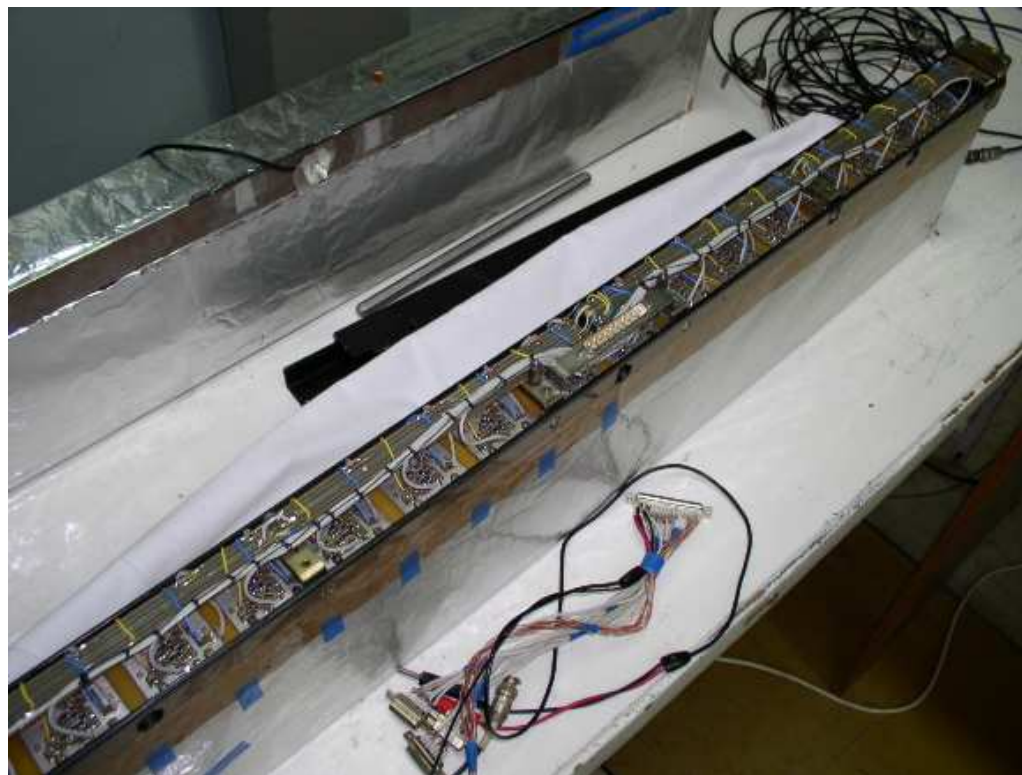
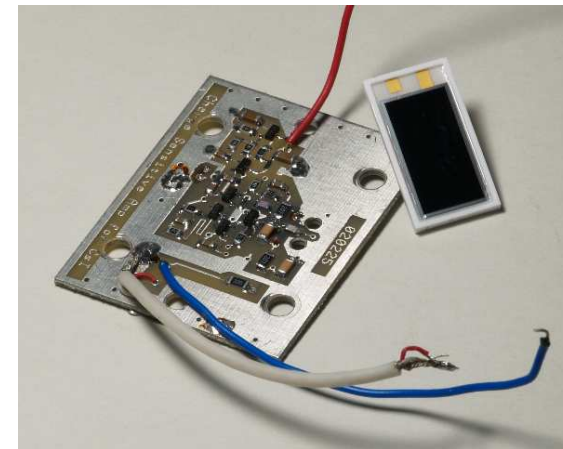
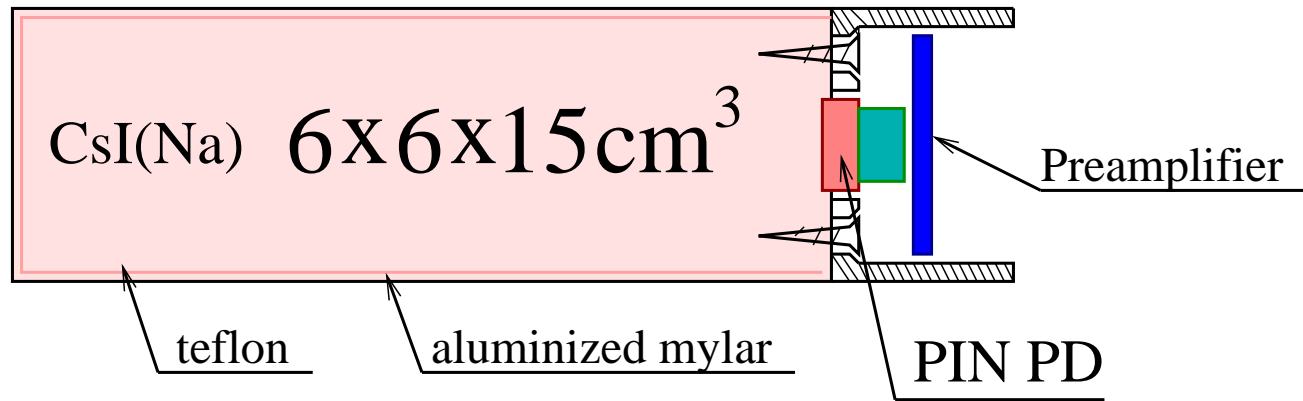
5 - Superconducting solenoid  
6 - LXe calorimeter  
7 - CsI barrel calorimeter  
8 - Yoke

9 - LHe supply  
10 - Vacuum pumpdown  
11 - VEPP2000 superconducting magnetic lenses

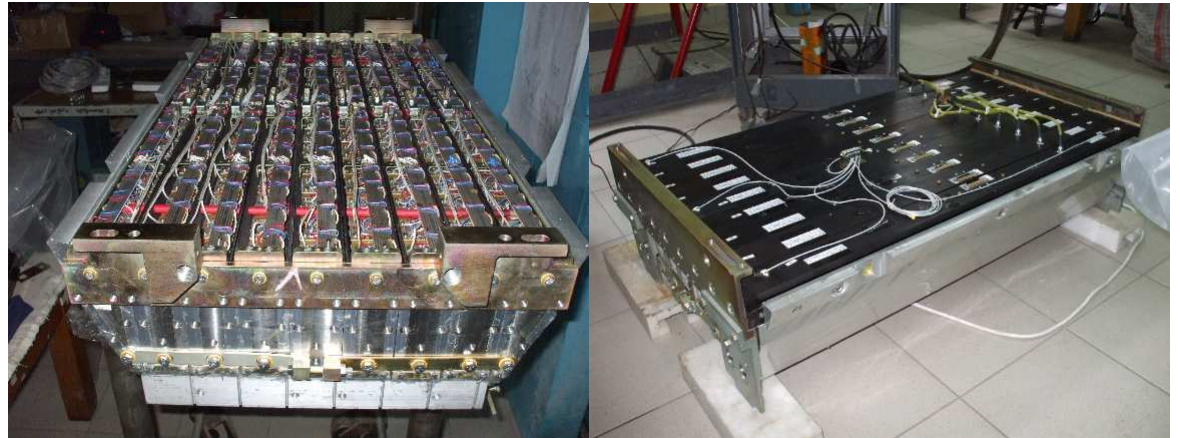
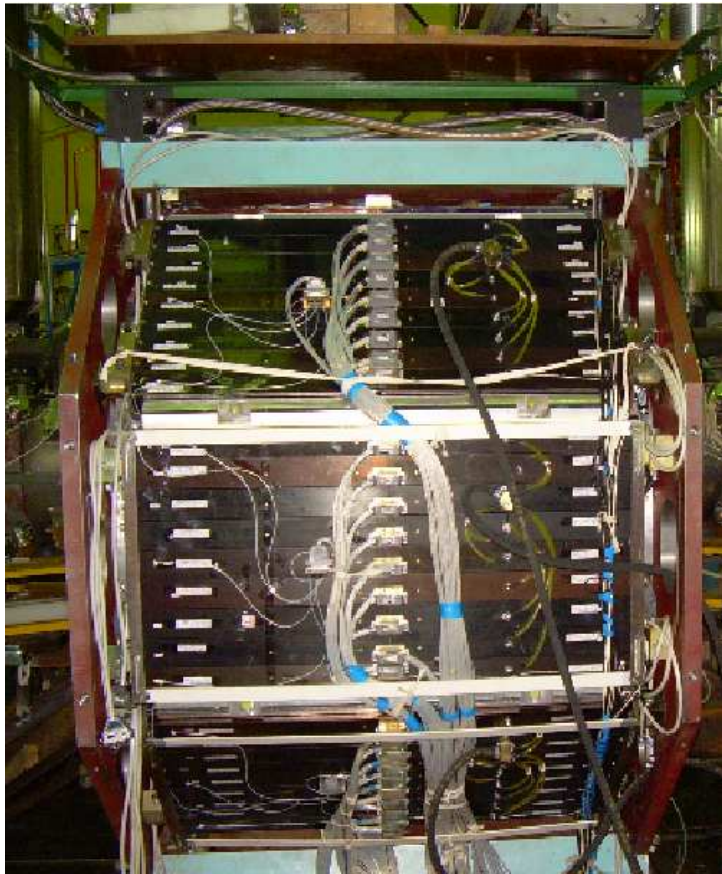
CsI калориметр состоит из 8-ми октантов, октант собран из 9-ти модулей, модуль содержит 16 счётчиков, счётчик с размерами  $6 \times 6 \times 15 \text{ см}^3$  сделан на основе кристалла CsI(Tl) или CsI(Na).

**Всего в калориметре 1152 счётчика (масса кристаллов 2.8 тонн)**

# Счётчик, модуль

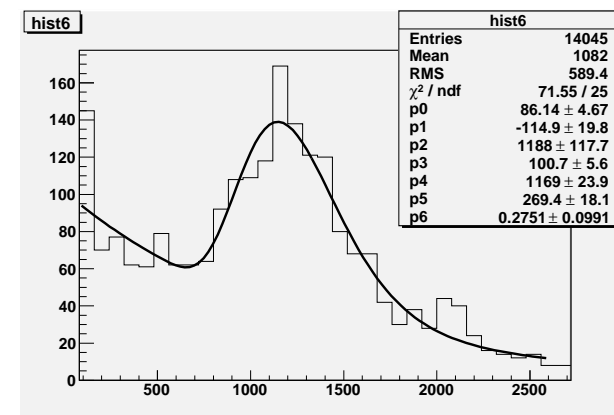
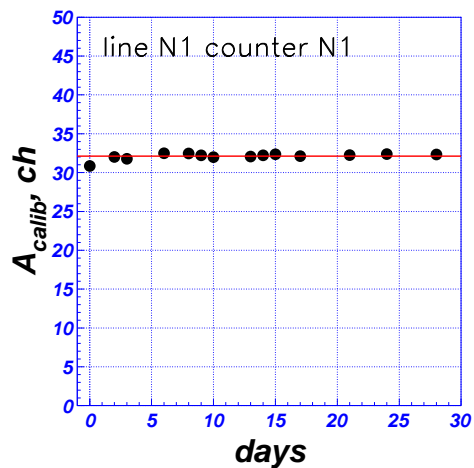
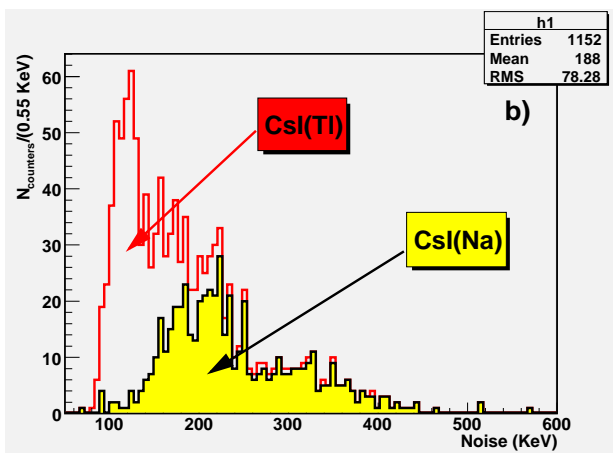
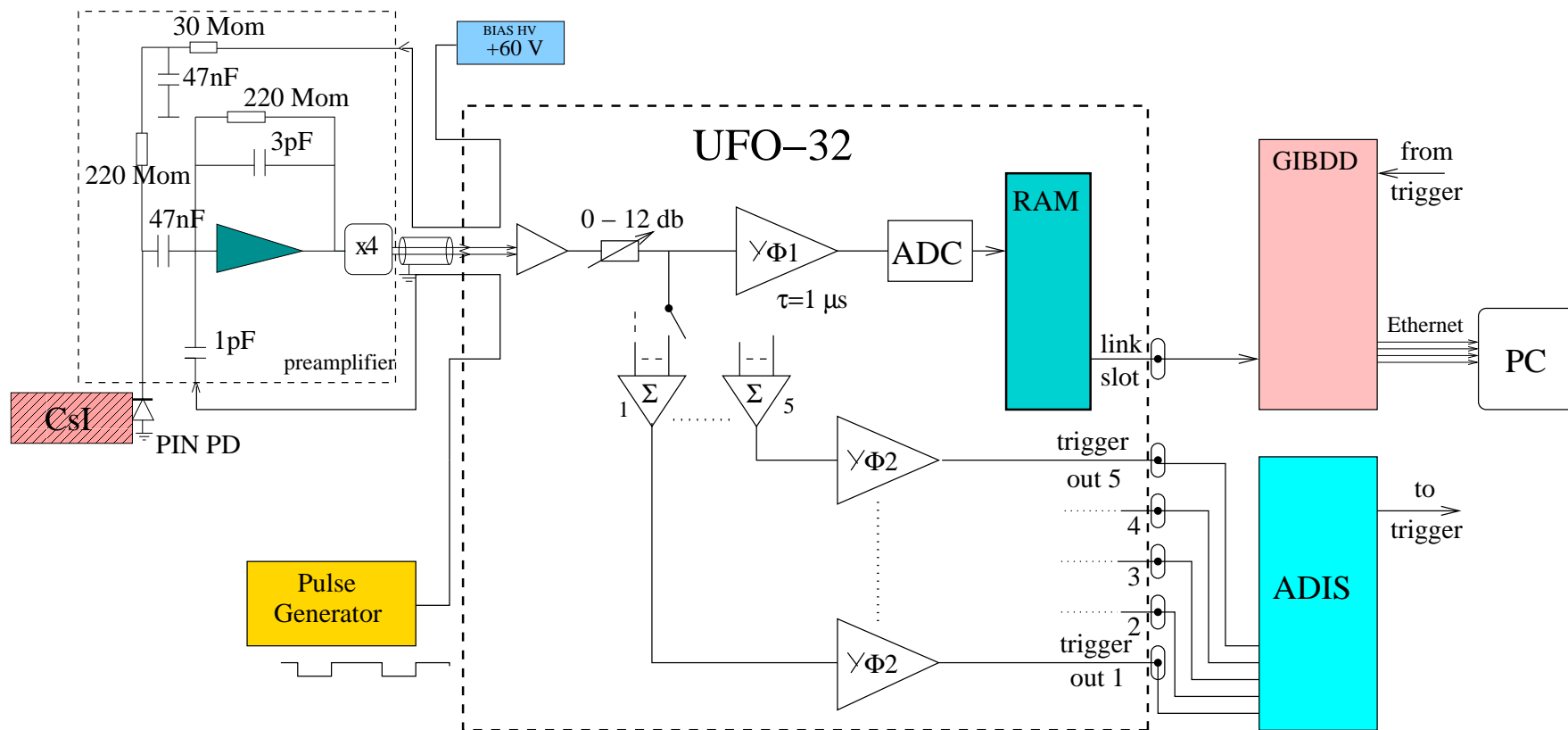


## Октант, сборка калориметра, чтение данных



- Данные с калориметра читаются с помощью 39-ти плат УФО-32
- Информация с плат УФО-32 передаётся в специальный блок-разветвитель и далее по Ethernet-шине в online-компьютер
- Информация записывается в файл сырых данных КМД-3

# Электроника калориметра



## Состояние работ с калориметром

- Калориметр собран и установлен в детектор.
- Оцифровывающая электроника подключена к калориметру и интегрирована в систему сбора данных КМД-3.
- Проводится мониторинг работоспособности всех каналов калориметра с помощью калибровочного сигнала. Электронные шумы каналов согласуются с проектными, долговременная стабильность работы электроники – не хуже 1%.
- Проведена проверка каналов калориметра с помощью космических частиц. Световой выход счётчиков согласуется со световым выходом, измеренным при производстве модулей.
- Проводится тестирование электроники триггерной подсистемы калориметра. Ведутся работы по созданию программного обеспечения.
- Калориметр готовится к экспериментальным заходам с  $e^+e^-$  пучками.

## Заключение

- В экспериментах с детектором КМД-2 в области  $\phi$ -мезонного резонанса в диапазоне энергии  $2E = 984 \div 1060$  МэВ измерено сечение реакции  $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$ . Результат хорошо согласуется с предыдущими измерениями КМД-2, СНД, ВаВаг и имеет лучшую точность.
- Проведён анализ событий распада  $\phi \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$  на диаграмме Далица. Определена величина не- $\rho\pi$ (контактной) амплитуды, которая хорошо согласуется с измерениями КЛОЕ, а также некоторыми теоретическими предсказаниями.
- Установлены верхние пределы на величины относительных вероятностей распадов  $\phi \rightarrow \pi^+\pi^-\gamma\gamma$  и  $\phi \rightarrow \pi^+\pi^-\eta$ . По сравнению с предыдущим результатом КМД-2 верхний предел на  $\mathcal{B}(\phi \rightarrow \pi^+\pi^-\gamma\gamma)$  улучшен в  $\sim 4$  раза и находится несколько ниже теоретического предсказания, сделанного в работе: Pyungwon Ko, Jungil Lee, H. S. Song, Phys. Lett. B **366**, 287 (1996). Верхний предел на  $\mathcal{B}(\phi \rightarrow \pi\pi\eta)$  всё ещё существенно выше, чем теоретическое предсказание: В. А. Карнаков, Ядерная Физика т.42, 634 (1985).
- Калориметр собран, установлен в детектор, подключен к оцифровывающей электронике. Проведена проверка работоспособности всех каналов.
- Калориметр готов к экспериментальным заходам с  $e^+e^-$  пучками.

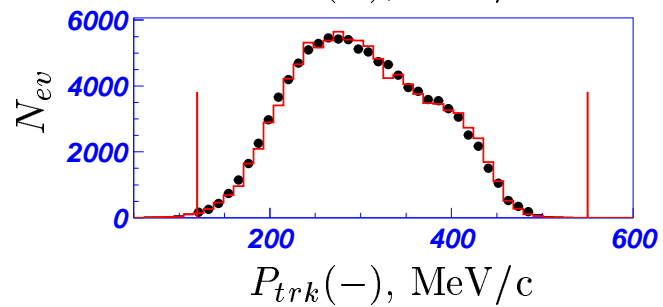
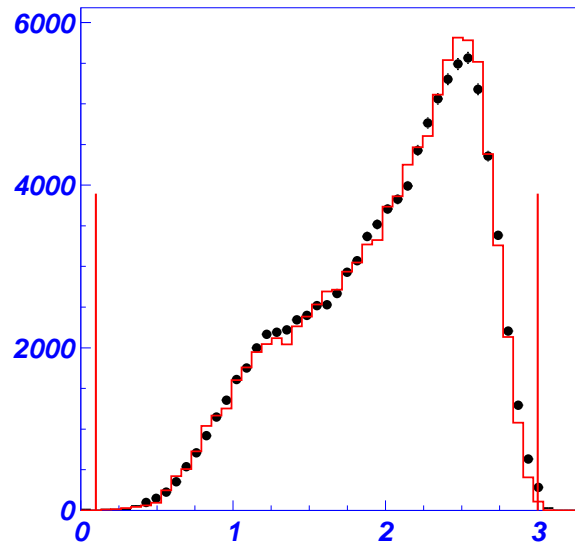
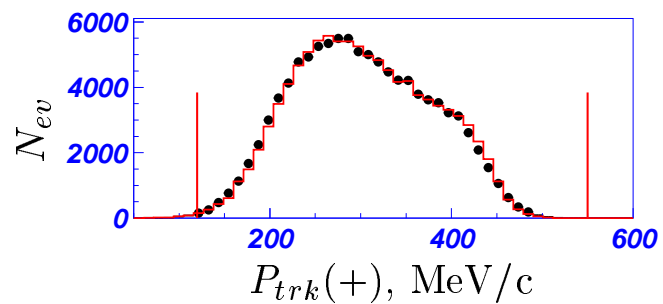
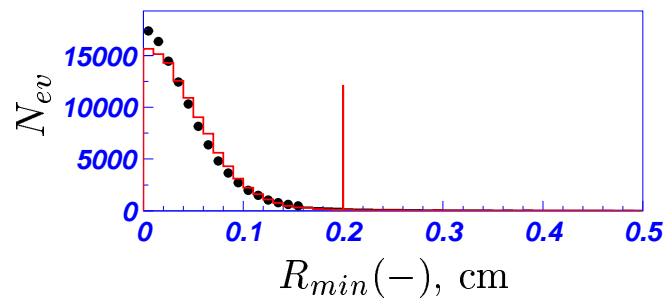
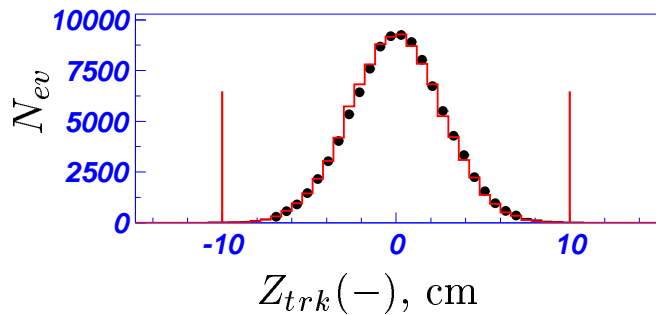
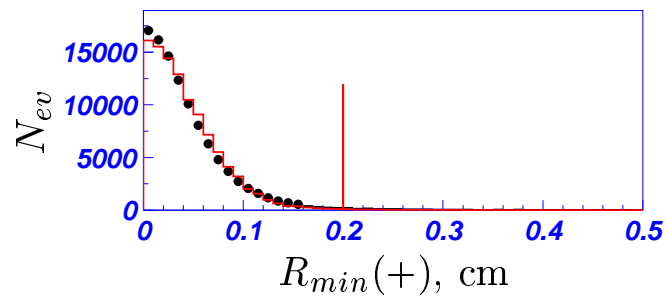
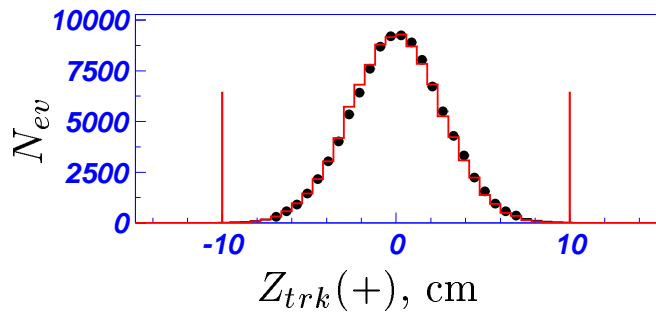
Дополнительные слайды

$$M_\phi = 1019.460 \pm 0.019 \text{ МэВ}/c^2$$

$$\Gamma_\phi = 4.26 \pm 0.05 \text{ МэВ}$$

Мода распада	$\mathcal{B}, \%$	Диаграмма
$\phi \rightarrow K^+ K^-$	$49.2 \pm 0.6$	
$\phi \rightarrow K_L K_S$	$34.0 \pm 0.5$	
$\phi \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0$	$15.3 \pm 0.4$	
$\phi \rightarrow \eta \gamma$	$1.301 \pm 0.024$	



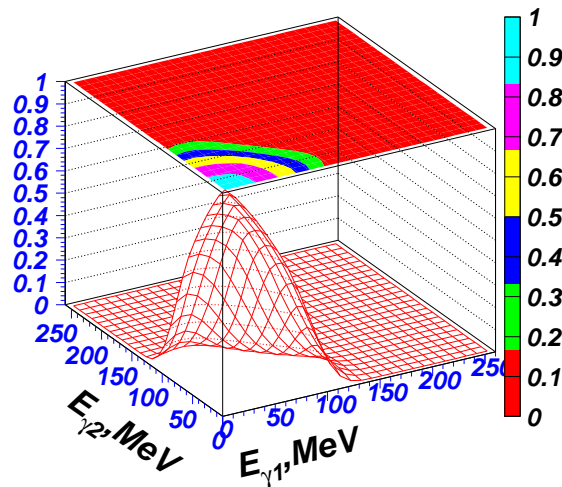


## Аппроксимация видимого сечения $\sigma_{\text{vis}}$

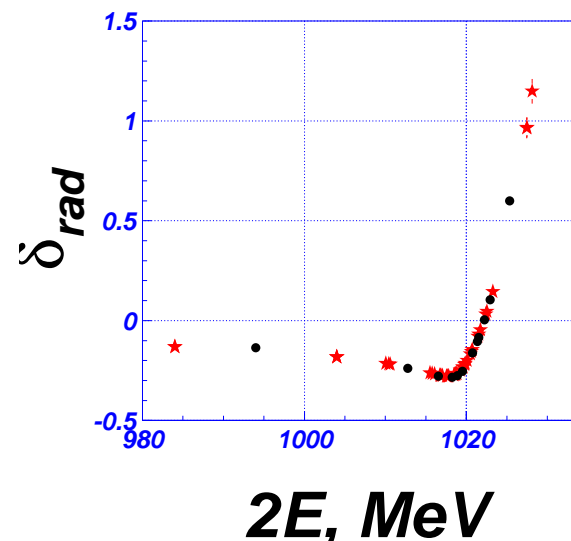
$$\sigma_{\text{vis}}(s) = \sigma_B(s)(1 + \delta_{\text{rad}}(s)) = \int_0^1 \int_0^1 D(x_1, s)D(x_2, s)\sigma_B(s(1-x_1)(1-x_2))\varepsilon(x_1, x_2)dx_1dx_2$$

- $\delta_{\text{rad}}(s)$  – радпоправка
- $D(x_{1,2}, s)$  – вероятность испускания начальным  $e^\pm$   $\gamma$ -струи, уносящей долю энергии пучка ( $E_{\text{beam}} = \sqrt{s}/2$ )  $x_{1,2} = \frac{2E_{\gamma 1,2}}{\sqrt{s}}$
- $\sigma_B(s(1-x_1)(1-x_2))$  – борновское сечение в новой С.Ц.М.
- $\varepsilon(x_1, x_2)$  – функция эффективности, которая определяется как отношение эффективности регистрации  $\pi^+\pi^-\pi^0$  после излучения струй с  $x_1, x_2$  к эффективности при  $x_1 = x_2 = 0$ .  $\varepsilon(x_1, x_2)$  табулировалась на сетке  $26 \times 26$

**The radiational efficiency**



**$3\pi$  rad correction**



## Эффективность триггера и $\delta_{\text{wid}}$

$$\varepsilon_{\text{NT}} = \frac{N(\text{NT}\&\text{QT})}{N(\text{QT})}$$

$$\varepsilon_{\text{QT}} = \frac{N(\text{QT}\&\text{NT})}{N(\text{NT})}$$

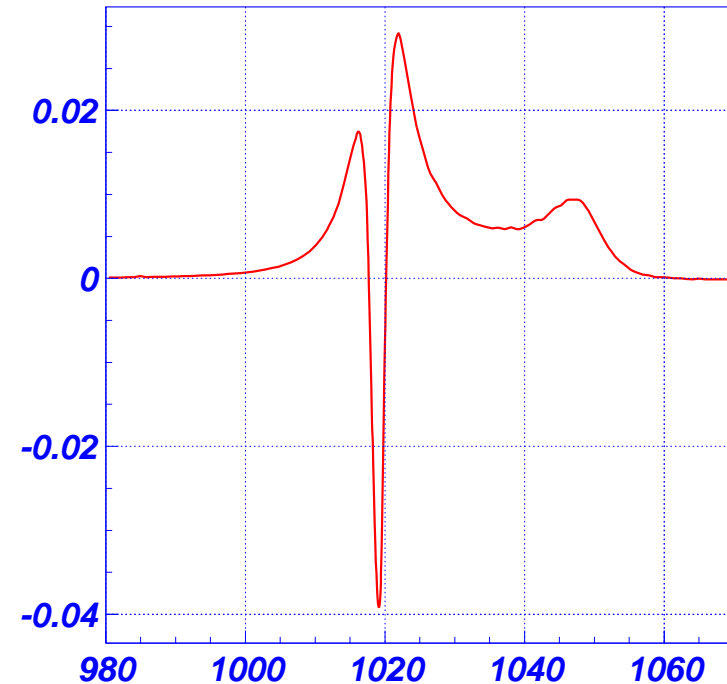
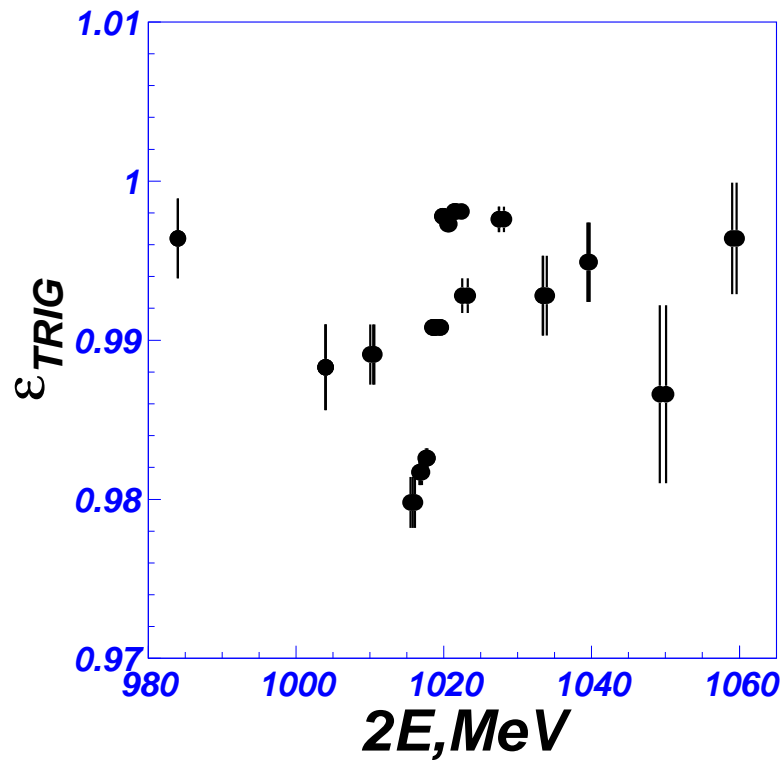
$$\varepsilon_{\text{trig}} = 1 - (1 - \varepsilon_{\text{NT}})(1 - \varepsilon_{\text{QT}})$$

$$\overline{\sigma(W)} = \int \sigma(W') \frac{1}{\sqrt{2\pi}\Delta W} e^{-\frac{(W'-W)^2}{2\Delta W^2}} dW', \quad W = 2E$$

$$\overline{\sigma(W)} = \sigma(W) \left( 1 + \frac{\sigma''(W)\Delta W^2}{2\sigma(W)} \right) = \sigma(W) (1 + \delta_{\text{wid}}(W))$$

$$\Delta W = \sqrt{2} \cdot 300 = 420 \text{ КэВ}$$

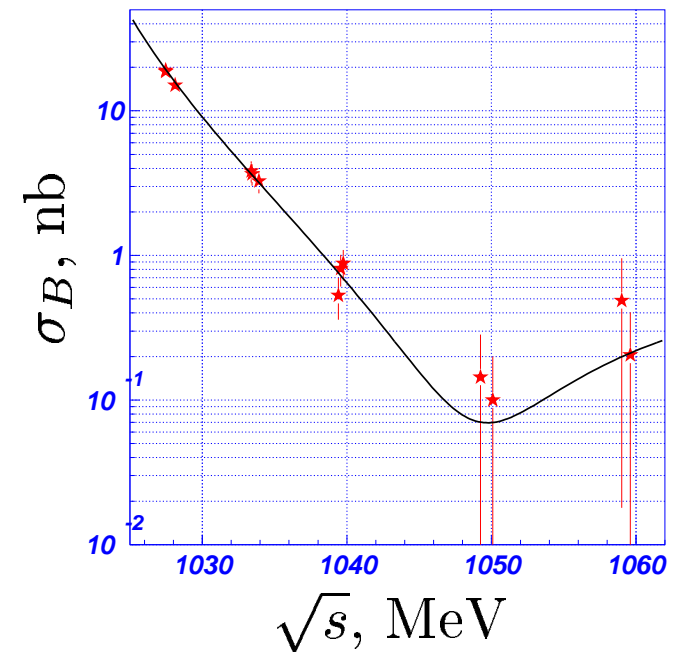
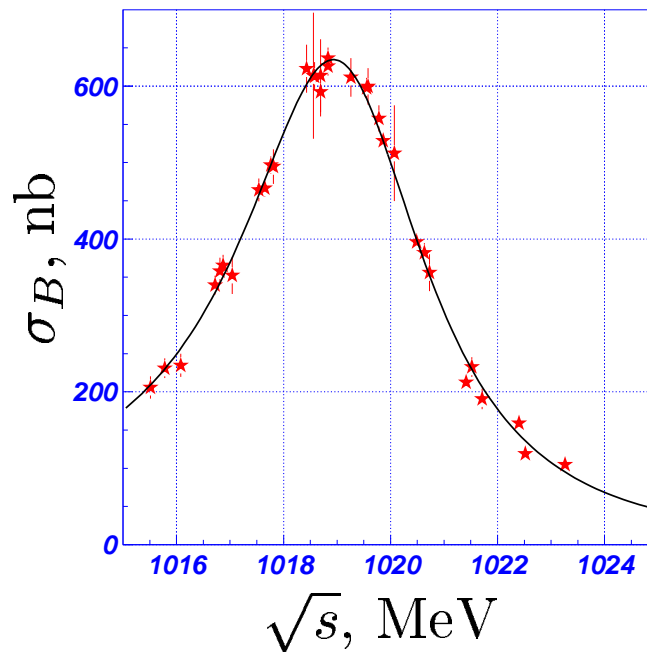
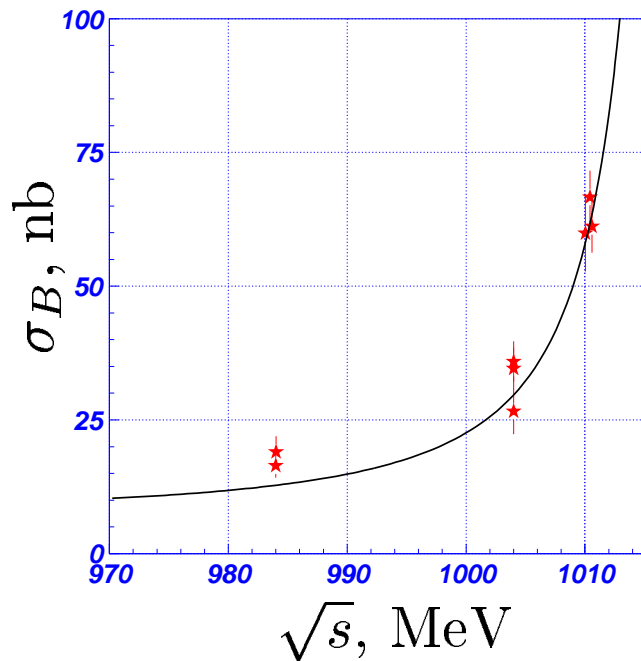
### Trigger efficiency



## Вычисление борновского сечения $\sigma_B(s)$

$$\sigma_B(s) = \sigma_{\text{vis}}(s) / (1 + \delta_{\text{rad}}(s))$$

Для вычисления ошибки  $\delta_{\text{rad}}(s)$  в каждой энергетической точке проводилось моделирование, в котором параметры аппроксимации разыгрывались вблизи их оптимальных значений с учётом их ошибок. Для каждого набора разыгранных параметров вычислялась радпоправка. Полученное распределение по величине радпоправки аппроксимировалось гауссовой функцией и находилась ошибка  $\delta_{\text{rad}}(s)$ .



Вышележащие возбуждения  $\rho$ -мезона ( $\rho(1450)$ ,  $\rho(1700)$ ) могут давать вклад в не- $\rho\pi$  амплитуду.

$$N_k^{\text{theory}} = \frac{N_0}{Z} \int_k dXdY |\vec{P}_+ \times \vec{P}_-|^2 |A_{\rho'\pi} a' e^{i\varphi'} + A_{\rho\pi}|^2$$

$$a' = \frac{g_{\phi\rho'\pi} g_{\rho'\pi\pi}}{g_{\phi\rho\pi} g_{\rho\pi\pi}}$$

Результат аппроксимации:

$$a' = 0.215 \pm 0.092(\text{стат.}) \pm 0.036(\text{сист.})$$

$$\varphi' = 0.177 \pm 0.132(\text{стат.}) \pm 0.051(\text{сист.})$$

Из данных по изучению  $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-$  можно извлечь:

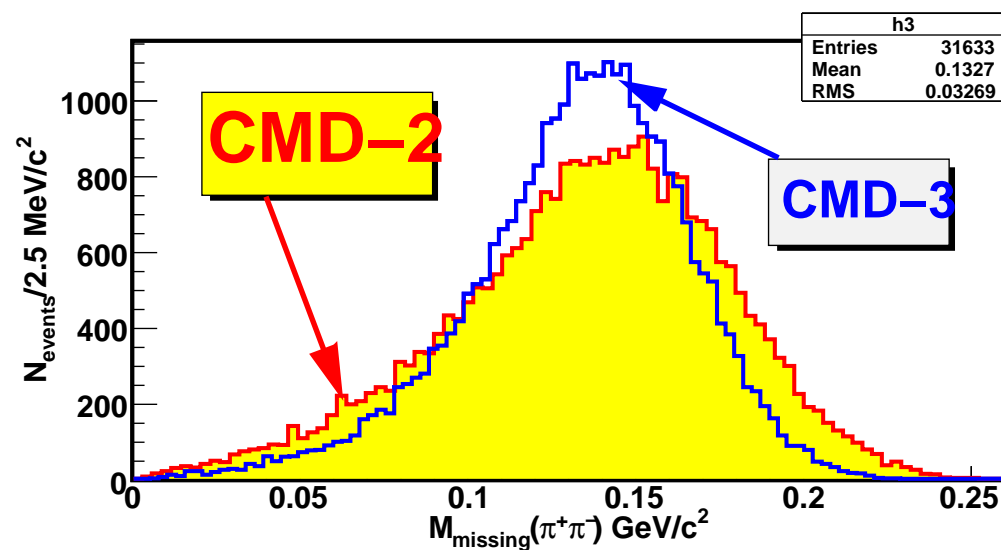
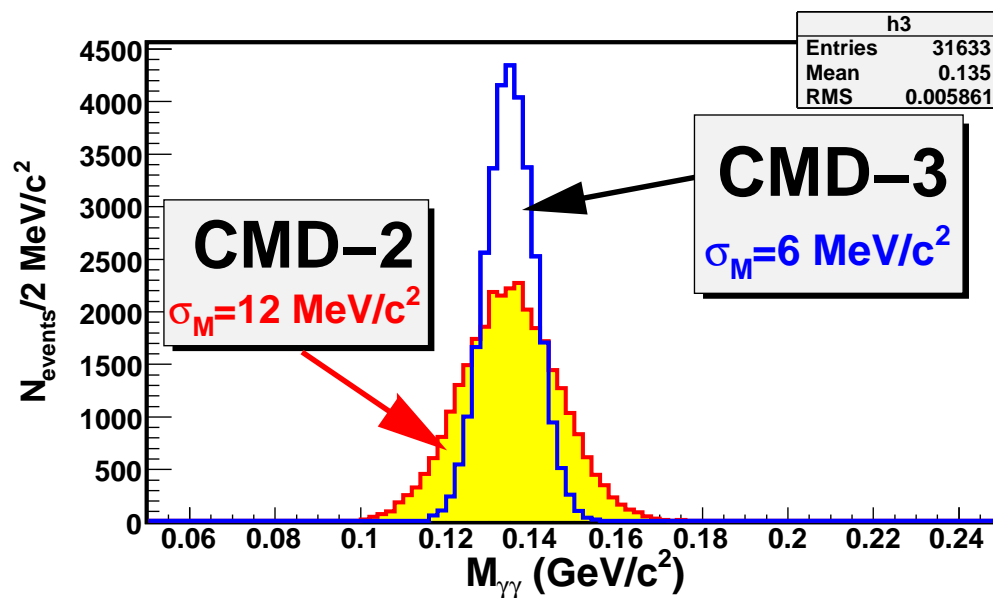
$$\frac{g_{\rho'\gamma} g_{\rho'\pi\pi}}{g_{\rho\gamma} g_{\rho\pi\pi}} = -0.269 \pm 0.022$$

В результате можно получить следующее соотношение для констант связи:

$$\frac{g_{\phi\rho'\pi}}{g_{\phi\rho\pi}} \Big/ \frac{g_{\rho'\gamma}}{g_{\rho\gamma}} = -0.80 \pm 0.37$$

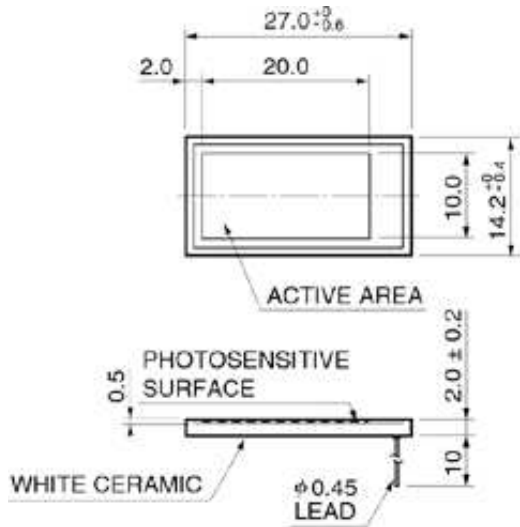
# Сравнение основных параметров КМД-2 и КМД-3

Подсистема	КМД-2	КМД-3
Дрейфовая камера	$\sigma_p/p = 4\%$ (600 МэВ/c)	$\sigma_p/p = 2\%$ (600 МэВ/c)
	$\sigma_\theta = 1.5 \cdot 10^{-2}$	$\sigma_\theta = 7 \cdot 10^{-3}$
	$\sigma_\phi = 7 \cdot 10^{-3}$	$\sigma_\theta = 4 \cdot 10^{-3}$
Цилиндри- ческий калориметр	$8.1X_0$	$13.1X_0$
	$\sigma_E/E = 8.5\%$	$\sigma_E/E = 4.7 \div 3\%$
	$\sigma_{\theta,\phi} = 0.03 \div 0.02$	$\sigma_{\theta,\phi} = 0.005$

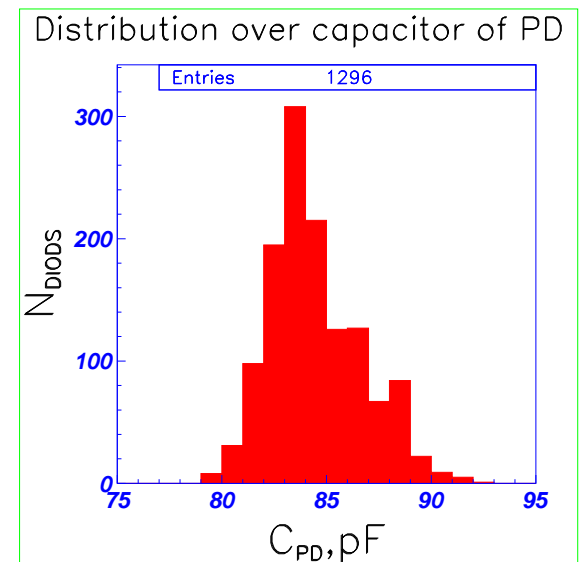
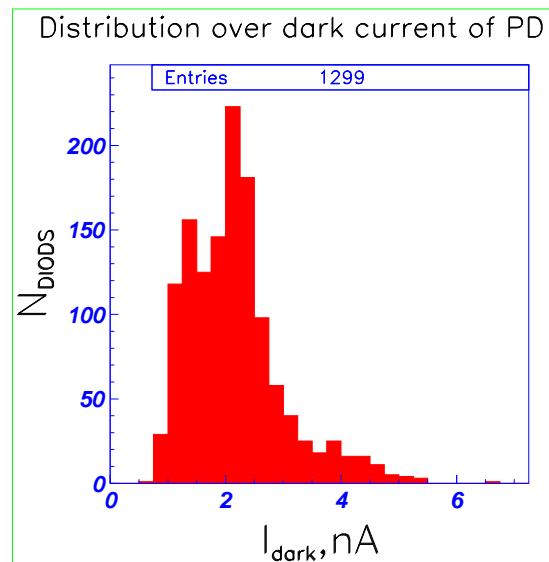
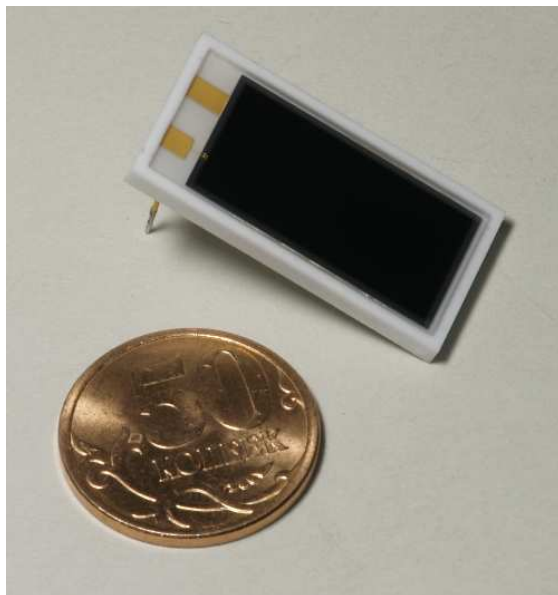


## Фотодиод

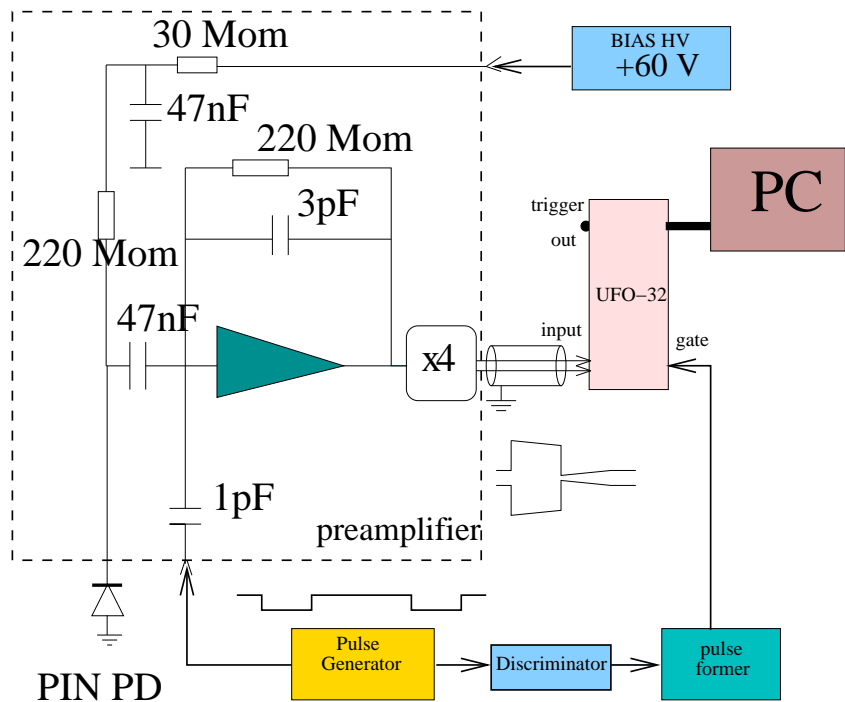
Используется PIN фотодиод Hamamatsu S2744-8 (производства ф-мы Хамамацу, Япония) со светочувствительной площадью  $10 \times 20 \text{ мм}^2$  и толщиной обеднённого носителями I-слоя 300 мкм



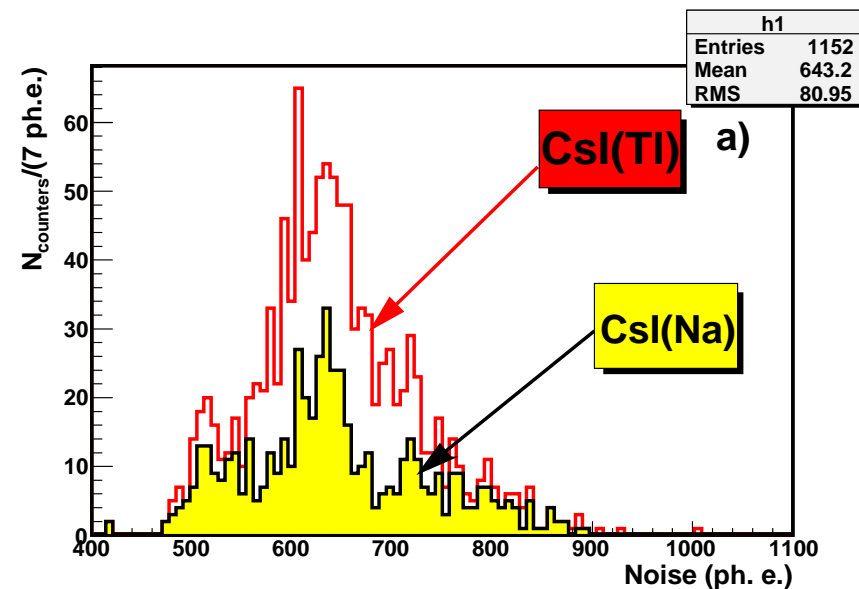
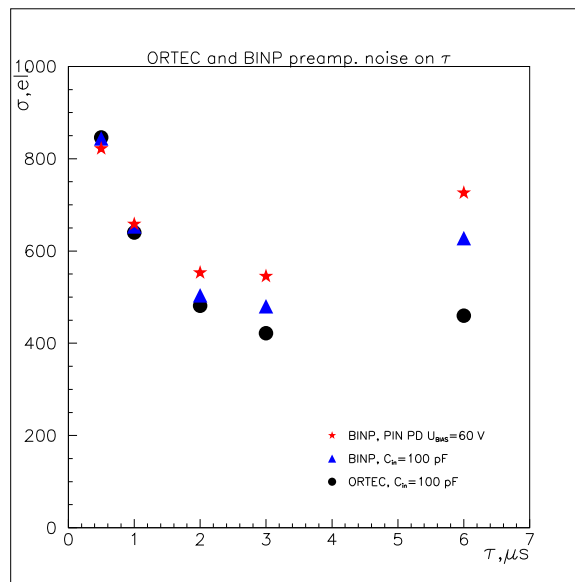
- Нечувствительность к магнитному полю
- Высокая квантовая эффективность (60% при длине волны света  $\lambda = 450 \text{ нм}$  и 85% при  $\lambda = 550 \text{ нм}$ )
- Высокая временная и температурная стабильность
- Компактность и низкая стоимость



# Зарядочувствительный предусилитель

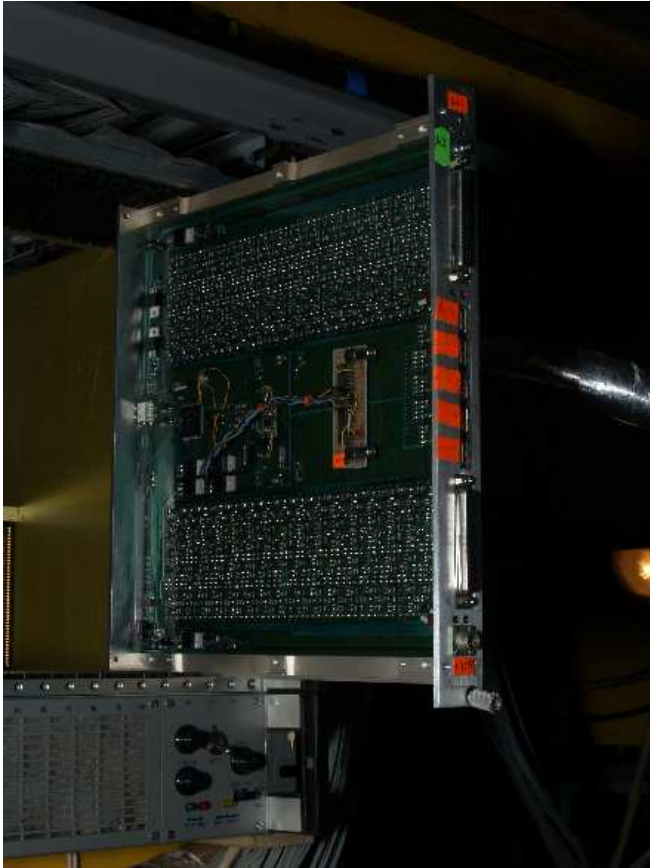


- Чувствительность – 1.3 В/пКл
- Динамическая ёмкость –  $\sim 2000$  пФ
- Напряжение питания – 10 В
- В выходном каскаде формируется пара-фазный сигнал
- В цепи ЗЧПУ–УФО-32 течёт постоянный ток





## Плата усилителей-формирователей оцифровщиков УФО-32



- Плата обслуживает 32 канала калориметра (2 модуля)
- **Измерительная часть платы:**
  - Ослабление цифровых аттенюаторов –  $0 \div 12$  дБ
  - Осуществляет 1 дифференцирование и 4 интегрирования с  $\tau = 1$  мкс
  - Число каналов АЦП – 4096
  - Энергетическая цена деления канала АЦП –  $\Delta = 0.2$  МэВ/канал
  - Нелинейность отклика – не хуже 1% для амплитуд  $>100$  кан. и  $5 \div 7\%$  для амплитуд  $<100$  кан.
  - Собственные шумы платы в 5 раз меньше шумов в электронном тракте калориметра
  - Коррелированные шумы в расчёте на 1 кан. – 10% от уровня его некоррелированных шумов
- **Триггерная часть платы:**
  - Максимальная амплитуда аналогового сигнала – 1 В
  - Длительность фронта – 640 нс (при  $\tau_{\text{CSI}(T1)} = 1$  мкс)
  - Уровень электронных шумов –  $2 \div 5$  МэВ

**Управляющая часть платы** состоит из ОЗУ и регистров, в которых содержатся данные, определяющие режимы работы различных узлов, а также данные, передаваемые в процессе работы между УФО-32 и другими блоками системы сбора данных (ССД) детектора. На задней панели платы располагается USB-гнездо для информационного обмена с платой через линк.