

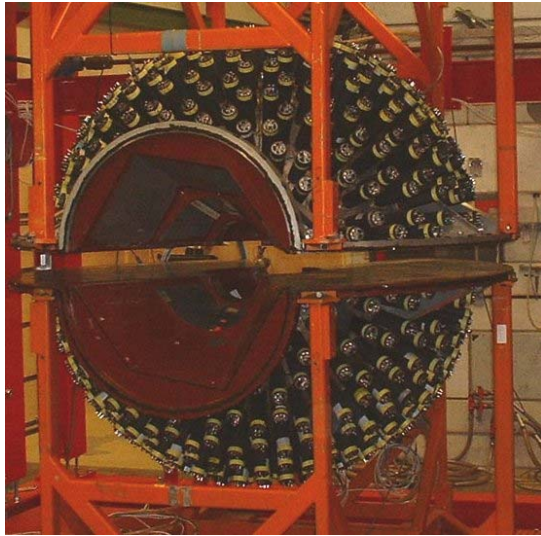
Статус и перспективы экспериментов с детектором Crystal Ball

А.Старостин
(Лаборатория физики мезонов)

Сильное взаимодействие при низких энергиях

- **Задачи физики адронов:**
 - Изучение природы и свойств **конфаймента**
 - Определение степеней свободы **КХД** при низких энергиях их областей применимости
 - Изучение **цветовых корреляций** кварков и роли глюонов в легких адронах
 - Определение структуры **нуклонов**
- **Теоретические методы КХД при низких энергиях:**
 - **Lattice КХД.**
 - **Модели адронного взаимодействия:** constituent quark model, bag models, algebraic models, soliton models, color-dielectric models, Skyrme models, т.д.
- **Экспериментальные методы КХД при низких энергиях:**
 - **Спектроскопия адронов:**
 - **Спектр** и свойства возбужденных состояний **мезонов и барионов**
 - Поиск “**потерянных**” резонансов
 - Поиск **экзотических состояний:** пентакварки, гибриды, глюболы, связанные состояния, т.д.
 - **Физика распадов (мезонов)**
 - Изучение **мезон-мезонного** взаимодействия
 - Определение **параметров адронных моделей**
 - Проверка дискретных **симметрий**

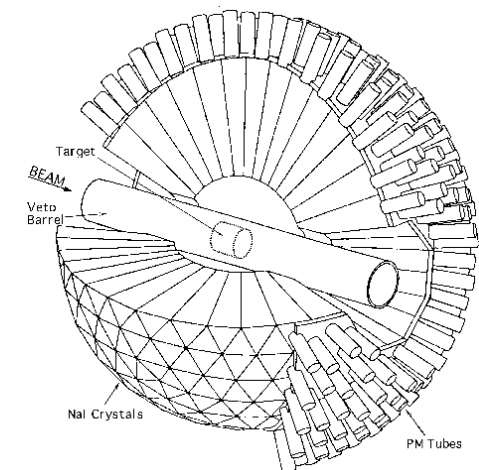
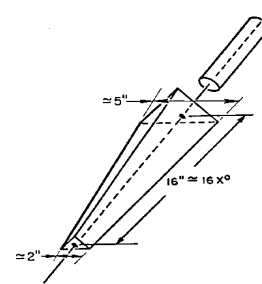
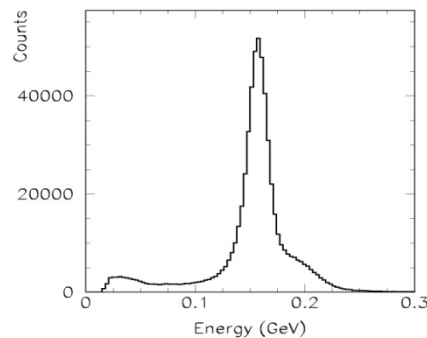
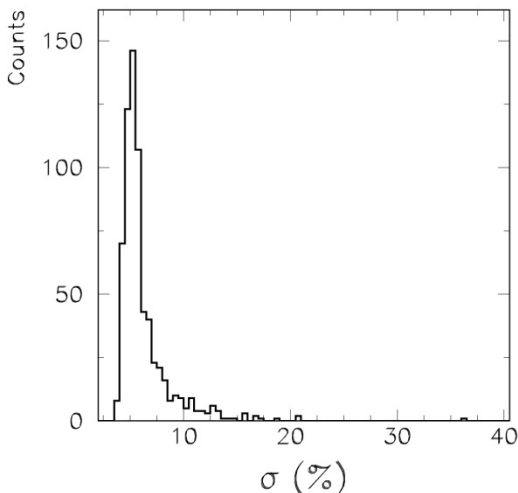
Спектрометр Crystal Ball



- **Crystal Ball** фотонный спектрометр состоящий из **672** кристаллов **NaI** и выполненный в форме двух полусфер
- Полусферы герметичны и откачаны, вакуум обеспечивает механическую прочность полусфер и низкую влажность вокруг кристаллов.
- Среднее разрешение детектора: $\sigma(E)/E \approx 0.02/\sqrt{E(\text{GeV})}$, $\sigma(\theta) \approx 2^\circ$

История спектрометра Crystal Ball:

- 1976: **Crystal Ball** заложен
- 1978-1981: **SPEAR**, $e+e-$ collider ($E_{\text{cm}} = 3-7 \text{ GeV}$)
- 1982-1986: **DORIS**, $e+e-$ collider ($E_{\text{cm}} = 9-10 \text{ GeV}$)
- 1987-1996: **CB** на хранении в **SLAC**
- 1996-2002: **BNL-AGS** π^\pm , K^\pm ($E_{\text{cm}} = 1.2-1.53 \text{ GeV}$)
- 2002: **CB** перевезен в **MAMI** ($E_{\text{cm}} = 1.2-2.0 \text{ GeV}$)



The peak is from the monochromatic μ^+ from $K^+ \rightarrow \mu^+ \nu$ stopped in the middle of the BALL

Детектор Crystal Ball в BNL/AGS

AGS Proposal #913

3 March 1995

February 1995

Baryon Spectroscopy with the Crystal Ball

AGS Proposal

Participants: L. D. Isenhower, M. E. Sadler and students, Abilene Christian University

M. Clajus, S. McDonald, T. Moriwaki, B. M. K. Nefkens, W. B. Tippens, D. B. White and students, UCLA

W. J. Briscoe, T. Morrison, Z. Papandreou and students, George Washington University

A. Efendiev and others, Joint Institute for Nuclear Research, Russia

D. M. Manley and students, Kent State University

V. Abaev, V. Bekrenev, N. Kozlenko, S. Kruglov, I. Lopatin, and A. Starostin, Petersburg Nuclear Physics Institute, Russia

M. Batinic, A. Marusic, I. Slaus, I. Supek and A. Svarc, Rudjer Boskovic Institute, Croatia

Title *Neutral Hyperon Spectroscopy*

Participants: M. Clajus, S. McDonald, T. Moriwaki, B.M.K. Nefkens W.B. Tippens, D.B. White, students, UCLA

L.D. Isenhower, M.E. Sadler, students, Abilene Christian University

W.J. Briscoe, T. Morrison, students, George Washington University

D.M. Manley, students, Kent State University

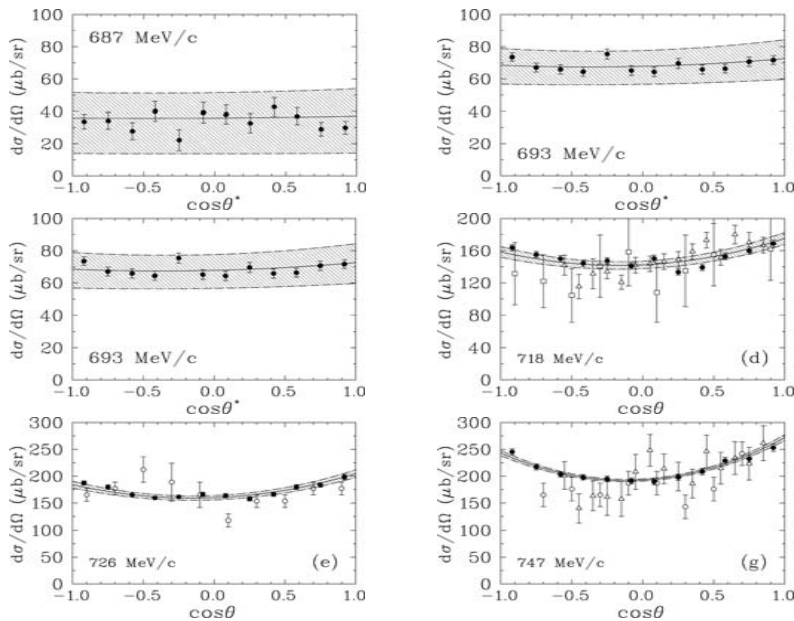
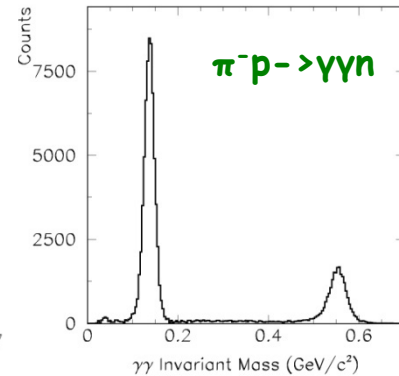
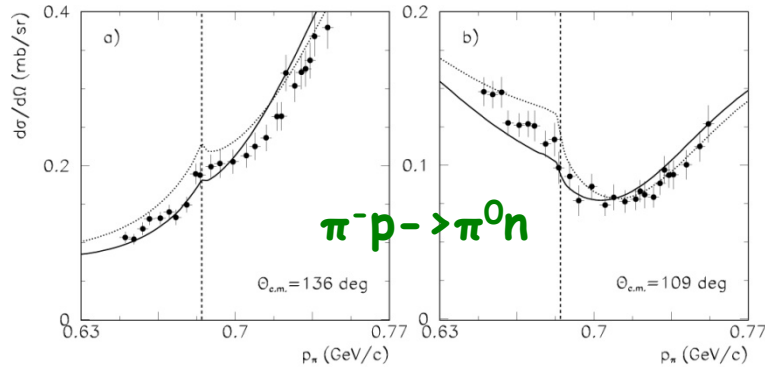
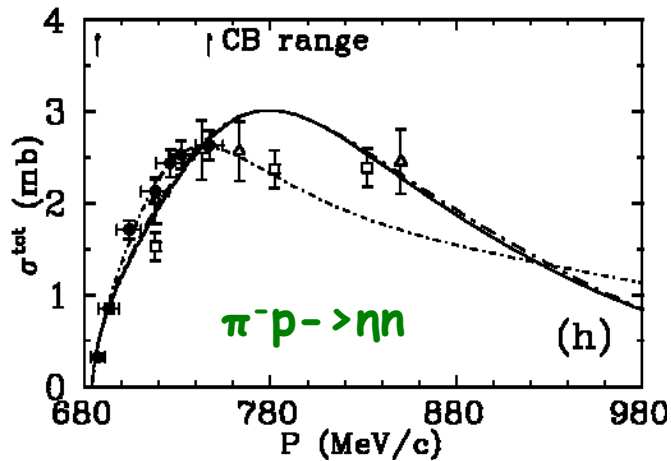
I. Šlaus, A. Švarc, M. Batinić, A. Marušić, Ruder Bošcović, Institute, Zagreb

A. Efendiev and others, JINR, Dubna

V. Abaev, V. Bekrenev, N. Kozlenko, S. Kruglov, I. Lopatin, A. Starostin, St. Petersburg Nuclear Physics Institute, Gatchina

- Свойства нуклонных резонансов $P_{11}(1440)$, $S_{11}(1535)$, $D_{13}(1520)$ из нейтральных реакций $\pi^-p \rightarrow \eta n$, $\pi^-p \rightarrow \pi^0 n$, $\pi^-p \rightarrow 2\pi^0 n$, $\pi^-p \rightarrow 3\pi^0 n$, $\pi^-p \rightarrow \eta n$, и т.д.
- Свойства гиперонов $\Lambda(1405)$, $\Lambda(1670)$, $\Sigma^0(1385)$ из нейтральных реакций $K^-p \rightarrow \pi^0 \Lambda$, $K^-p \rightarrow \pi^0 \Sigma$, $K^-p \rightarrow \eta \Lambda$, $K^-p \rightarrow 2\pi^0 \Lambda$, $K^-p \rightarrow 2\pi^0 \Sigma$, и т.д.
- Эксперимент завершен в 2002 году. Более 50 публикаций в реферируемых журналах

Реакции $\pi^-p \rightarrow \pi^0 n$ и $\pi^-p \rightarrow \eta n$ в области $S11(1535)$



$\pi^-p \rightarrow \eta n$

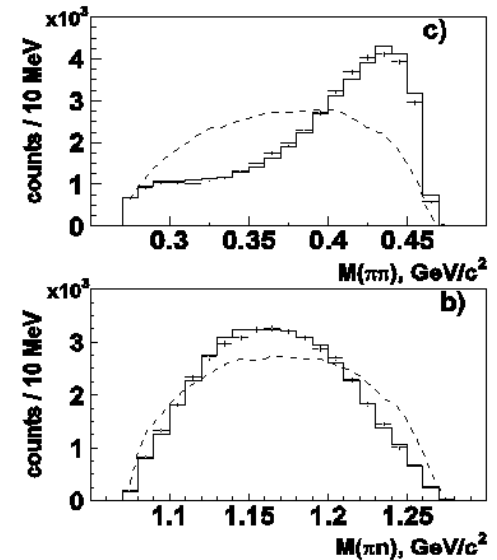
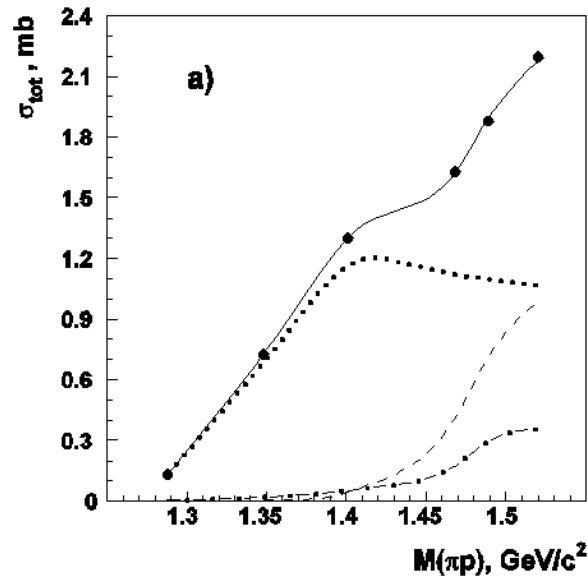
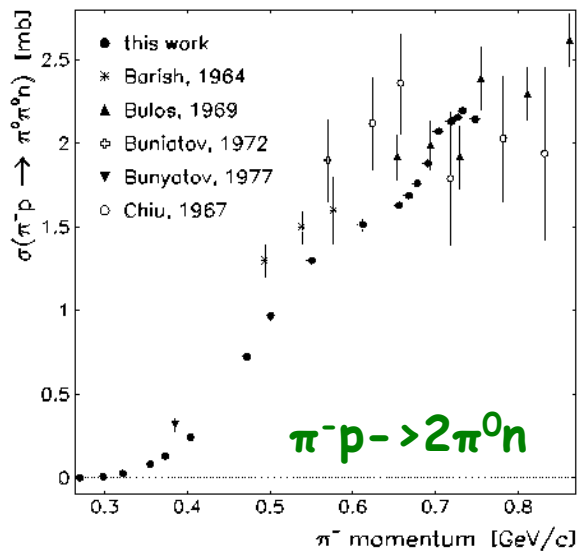
- About 800 new data points for the $\pi^-p \rightarrow \pi^0 n$ and $\pi^-p \rightarrow \eta n$ diff. cross sections in the region of the $S11(1535)$
- New parameters for the $S11(1535)$ from the SAID SP06 solution which includes the CB data: $M=1502$ MeV, $\Gamma=95$ MeV (the lower mass is consistent with the latest Bonn PWA)
- Observed cusp on CEX diff. cross sections at the opening of the $\pi^-p \rightarrow \eta n$ channel
- The total cross section for $\pi^-p \rightarrow 3\pi^0 n$ was used to calculate the $\text{BR}(S11(1535) \rightarrow P11(1440))\pi^0 \approx 0.08$

A.Starostin et al., PRC 72, 015205, 2005

A.Starostin et al., PRC 67, 068201, 2003

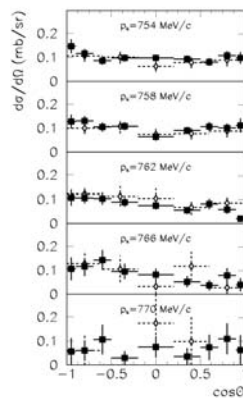
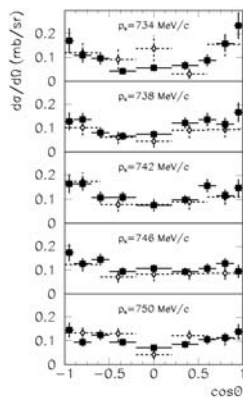
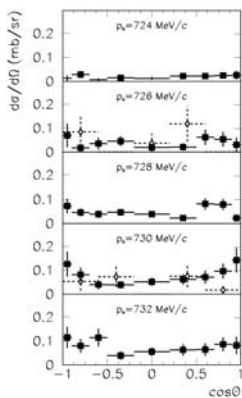
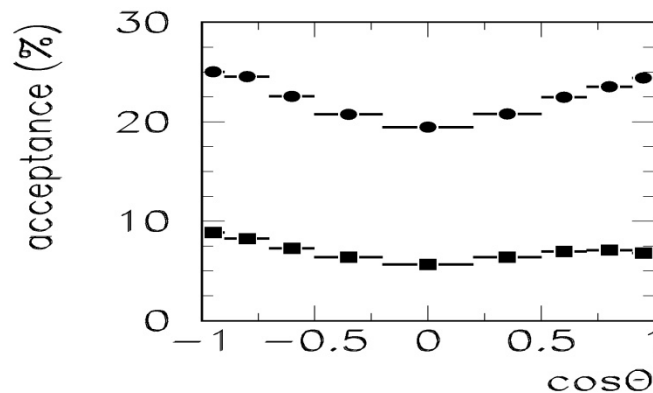
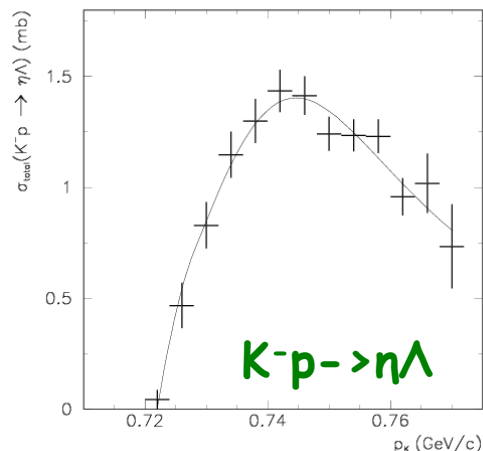
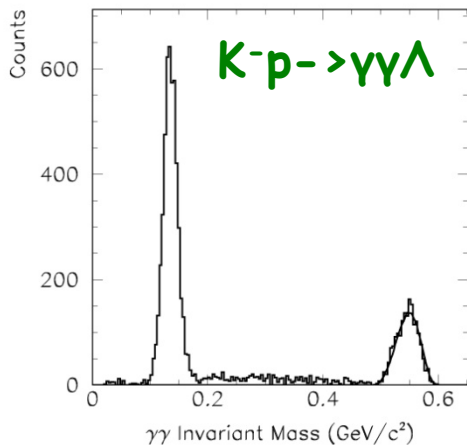
S.Prakhov et al., PRC 72, 025201, 2005

СВОЙСТВА $P_{11}(1440)$ И $\pi^-p \rightarrow 2\pi^0n$



- High statistics Dalitz plot for 15 beam momenta
- Direct observation of the $P_{11}(1440)$ in the total cross section
- Important input to the Bonn-Gatchina analysis (*Phys. Lett. B* 659:94-100, 2008.)
- New parameters of the Roper:
 - $M = 1436 \pm 15\text{MeV}$ ($M_{\text{pole}} = 1371 \pm 7\text{MeV}$)
 - $\Gamma = 335 \pm 40\text{MeV}$ ($\Gamma_{\text{pole}} = 192 \pm 20\text{MeV}$)
 - $\Gamma_{\pi N} = 205 \pm 25\text{MeV}$; $\Gamma_{\sigma N} = 71 \pm 17\text{MeV}$; $\Gamma_{\pi\Delta} = 59 \pm 15\text{MeV}$

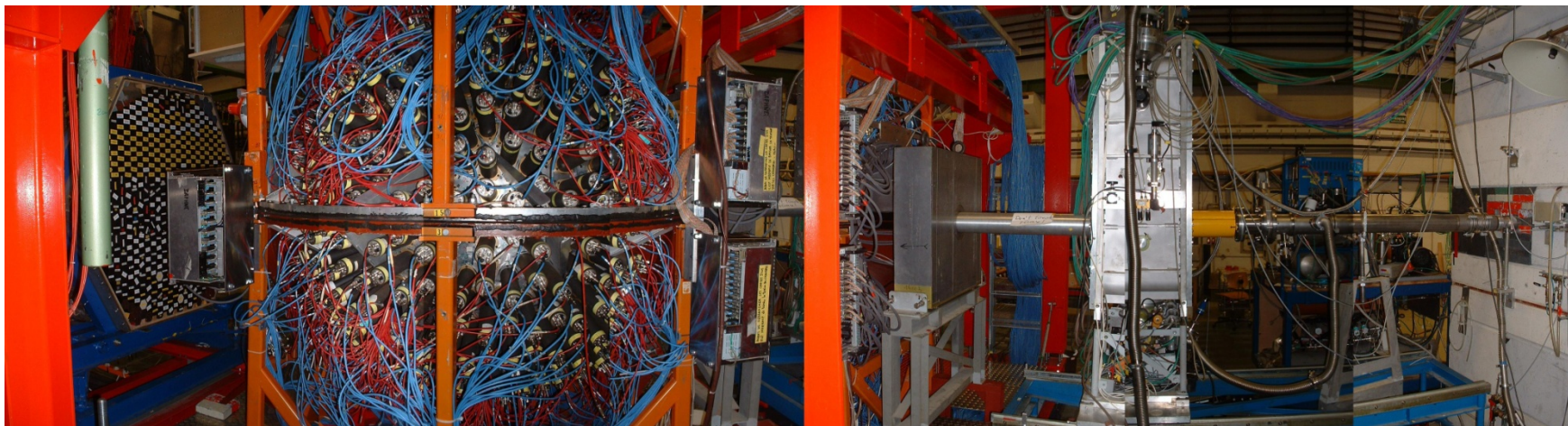
Свойства $\Lambda(1670)$ и $K^-p \rightarrow \eta\Lambda$



$K^-p \rightarrow \eta\Lambda$

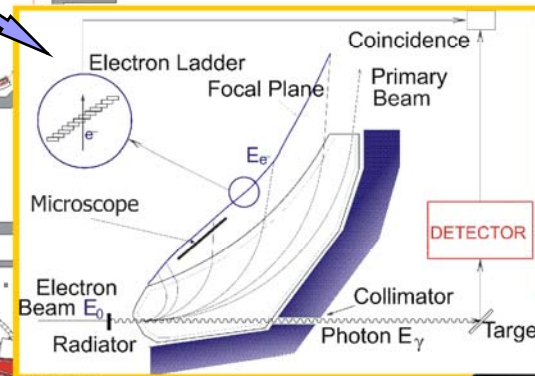
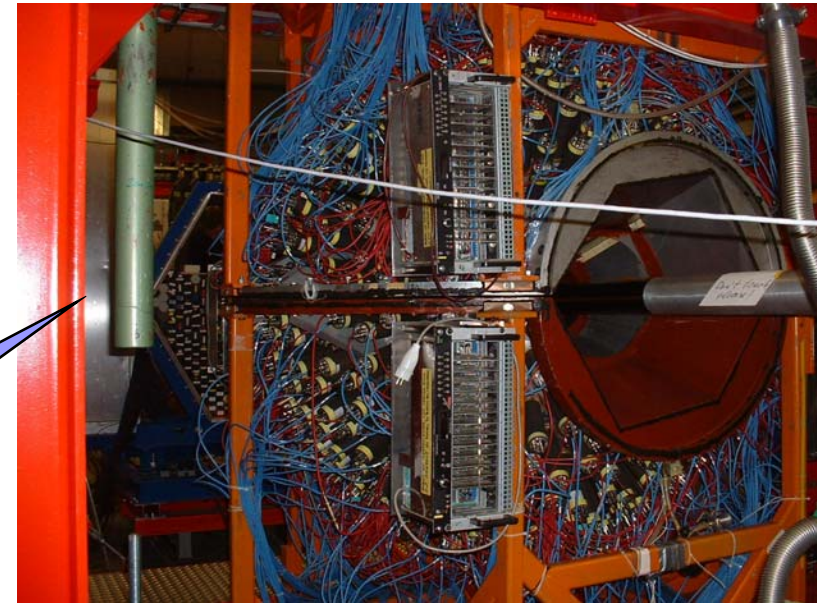
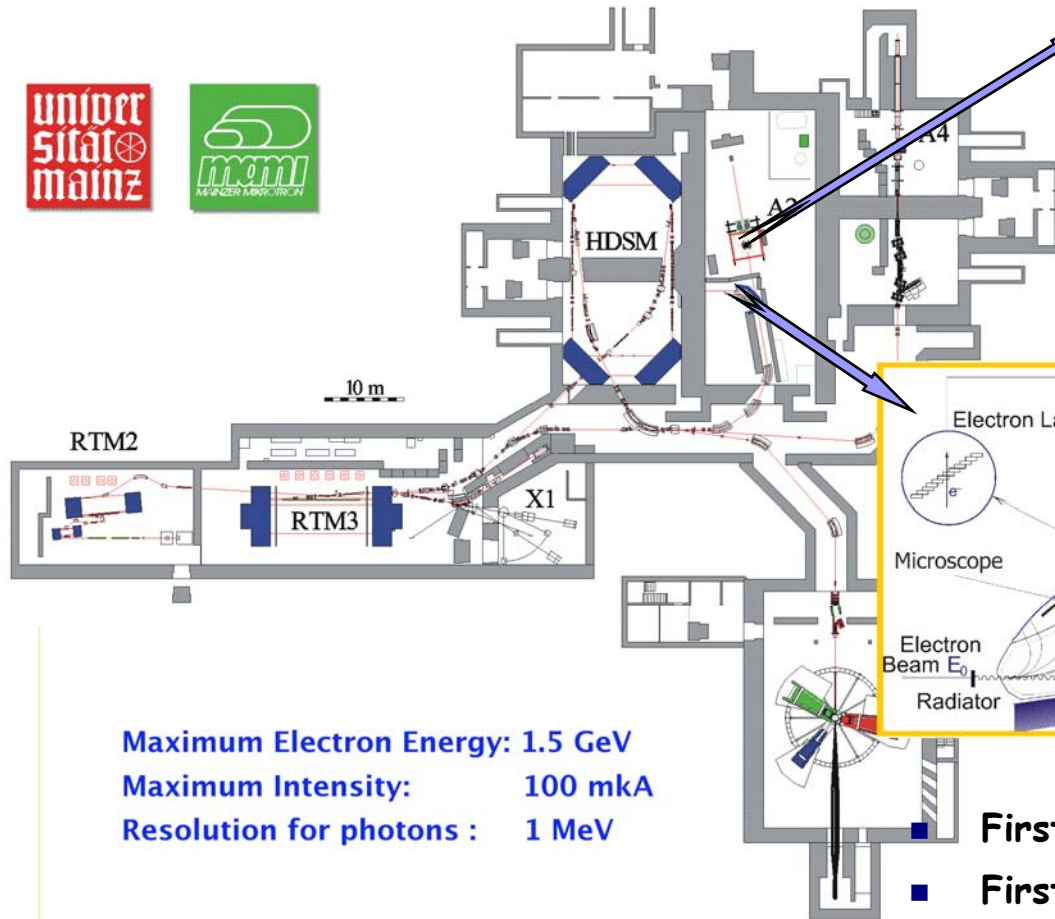
- $\Lambda(1670)$ - "strange" analog of the $S11(1535)$ in the flavor symmetry, but much narrower (only $\Gamma \sim 25$ MeV)
- $\Lambda(1670)$ dominates $K^-p \rightarrow \eta\Lambda$ near threshold, mass and the width of the resonance can be determined directly from the total c.s.
- New properties of the $\Lambda(1670)$:
 - $M = 1650 \pm 5$ MeV
 - $\Gamma = 24 \pm 4$ MeV

Эксперименты с Crystal Ball в МАМИ



- Детектор перевезен в Майнц в ноябре 2002, первые данные получены летом 2004
- Физическая программа:
 - Определение магнитного дипольного момента резонансов $\Delta(1232)$ и $S_{11}(1535)$ путем измерения реакций $\gamma p \rightarrow \pi^0 \gamma p$ и $\gamma p \rightarrow \eta \gamma p$
 - Измерения поляризаций и наблюдаемых с двойной поляризацией с использованием фотонного пучка с линейной и круговой поляризацией, а также продольно и перпендикулярно поляризованных водородной и дейтериевой мишеней
 - Физика распадов η и η' мезонов: проверка $ChPT$, EM форм-факторы, проверка симметрий
 - Рассеяние фотоном на ядрах: изучение эффекта влияния ядерной среды на свойства адронов (например $\omega(782)$ и система двух пионов), когерентное рождение мезонов на ядрах, η -мезонные ядра

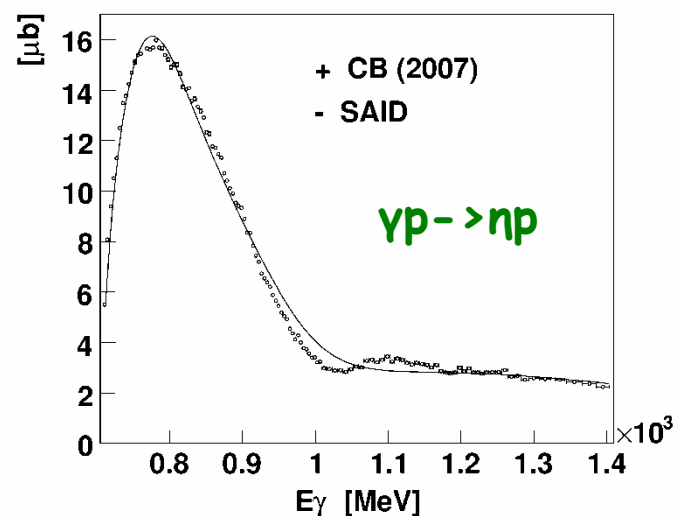
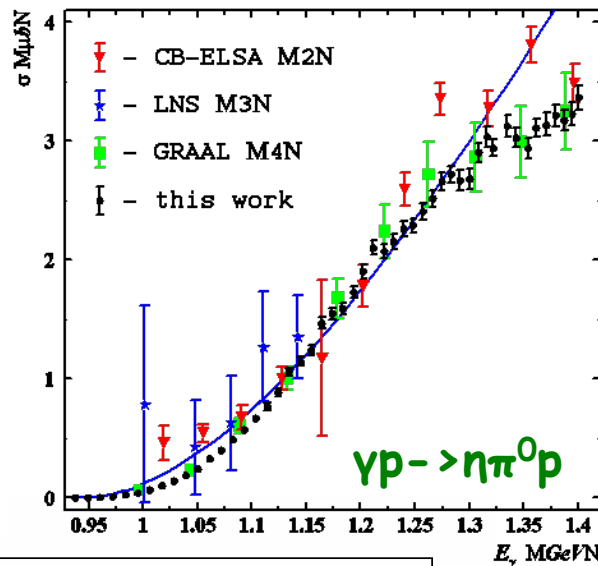
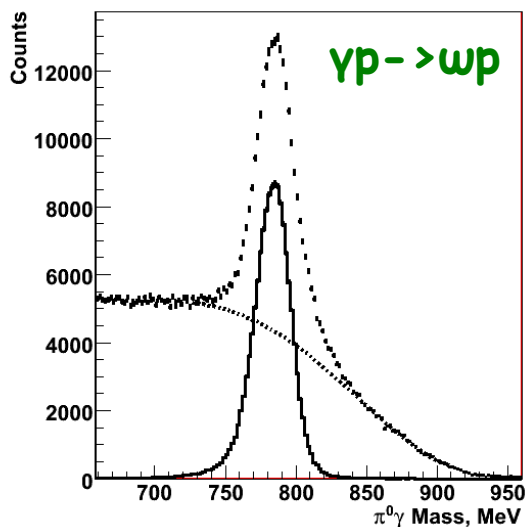
Ускоритель MAMI



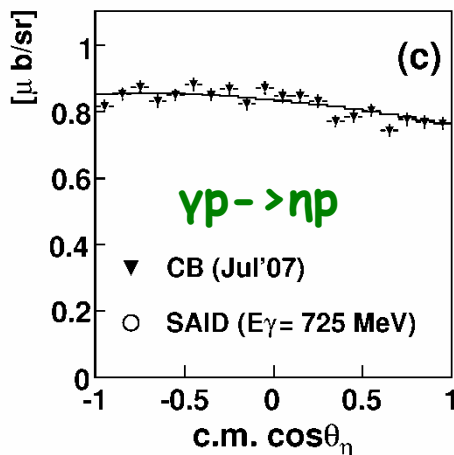
Maximum Electron Energy: 1.5 GeV
Maximum Intensity: 100 mA
Resolution for photons : 1 MeV

- First run with 1508 MeV beam: spring 2007
- First run with 1558 MeV beam: spring 2009
- First run with 1604 MeV beam: winter 2010?

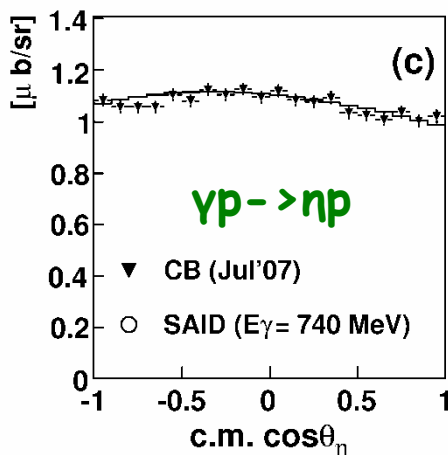
Первые результаты MAMI-C



$d\sigma/d\Omega(\gamma p \rightarrow \eta p)$, $W=1494.4-1497.0$ MeV



$d\sigma/d\Omega(\gamma p \rightarrow \eta p)$, $W=1504.8-1507.4$ MeV



- Properties of the $\Delta(1700)D33$ from the total and the diff. c.s. of $\gamma p \rightarrow \eta \pi^0 p$ (V.Kashevarov et al., accepted to Eur. Phys. Jour. A)
- Upper limits for the C forbidden decays of $\omega(782)$ (A.Starostin et al., Phys. Rev. 79, 065201, 2009)
- The total and the diff. cross sect. $\gamma p \rightarrow \eta p$ (in preparation)

“Полный набор” измерений в фоторождении псевдоскалярных мезонов

Usual symbol	Helicity representation	Transversity representation	Experiment required a)	Type
$d\sigma/dt$	$ N ^2 + S_1 ^2 + S_2 ^2 + D ^2$	$ b_1 ^2 + b_2 ^2 + b_3 ^2 + b_4 ^2$	$\{-; -; -\}$	S
$\Sigma d\sigma/dt$	$2\text{Re}(S_1^* S_2 - ND^*)$	$ b_1 ^2 + b_2 ^2 - b_3 ^2 - b_4 ^2$	$\{L(\frac{1}{2}\pi, 0); -; -\}$ $\{-; y; y\}$	
$T d\sigma/dt$	$2\text{Im}(S_1 N^* - S_2 D^*)$	$ b_1 ^2 - b_2 ^2 - b_3 ^2 + b_4 ^2$	$\{-; y; -\}$ $\{L(\frac{1}{2}\pi, 0); 0; y\}$	
$P d\sigma/dt$	$2\text{Im}(S_2 N^* - S_1 D^*)$	$ b_1 ^2 - b_2 ^2 + b_3 ^2 - b_4 ^2$	$\{-; -; y\}$ $\{L(\frac{1}{2}\pi, 0); y; -\}$	
$G d\sigma/dt$	$-2\text{Im}(S_1 S_2^* + ND^*)$	$2\text{Im}(b_1 b_3^* + b_2 b_4^*)$	$\{L(\pm\frac{1}{4}\pi); z; -\}$	BT
$H d\sigma/dt$	$-2\text{Im}(S_1 D^* + S_2 N^*)$	$-2\text{Re}(b_1 b_3^* - b_2 b_4^*)$	$\{L(\pm\frac{1}{4}\pi); x; -\}$	
$E d\sigma/dt$	$ S_2 ^2 - S_1 ^2 - D ^2 + N ^2$	$-2\text{Re}(b_1 b_3^* + b_2 b_4^*)$	$\{c; z; -\}$	
$F d\sigma/dt$	$2\text{Re}(S_2 D^* + S_1 N^*)$	$2\text{Im}(b_1 b_3^* - b_2 b_4^*)$	$\{c; x; -\}$	BR
$O_x d\sigma/dt$	$-2\text{Im}(S_2 D^* + S_1 N^*)$	$-2\text{Re}(b_1 b_4^* - b_2 b_3^*)$	$\{L(\pm\frac{1}{4}\pi); -; x'\}$	
$O_z d\sigma/dt$	$-2\text{Im}(S_2 S_1^* + ND^*)$	$-2\text{Im}(b_1 b_4^* + b_2 b_3^*)$	$\{L(\pm\frac{1}{4}\pi); -; z'\}$	
$C_x d\sigma/dt$	$-2\text{Re}(S_2 N^* + S_1 D^*)$	$2\text{Im}(b_1 b_4^* - b_2 b_3^*)$	$\{c; -; x'\}$	
$C_z d\sigma/dt$	$ S_2 ^2 - S_1 ^2 - N ^2 + D ^2$	$-2\text{Re}(b_1 b_4^* + b_2 b_3^*)$	$\{c; -; z'\}$	TR
$T_x d\sigma/dt$	$2\text{Re}(S_1 S_2^* + ND^*)$	$2\text{Re}(b_1 b_2^* - b_3 b_4^*)$	$\{-; x; x'\}$	
$T_z d\sigma/dt$	$2\text{Re}(S_1 N^* - S_2 D^*)$	$2\text{Im}(b_1 b_2^* - b_3 b_4^*)$	$\{-; x; z'\}$	
$L_x d\sigma/dt$	$2\text{Re}(S_2 N^* - S_1 D^*)$	$2\text{Im}(b_1 b_2^* + b_3 b_4^*)$	$\{-; z; x'\}$	
$L_z d\sigma/dt$	$ S_1 ^2 + S_2 ^2 - N ^2 - D ^2$	$2\text{Re}(b_1 b_2^* + b_3 b_4^*)$	$\{-; z; z'\}$	

“... a necessary and sufficient condition that three measurements give complete information up to an overall phase and up to discrete ambiguities when taken together with $d\sigma/dt$, Σ , P and T is that the three measurements are not all taken from the same set.”

“To eliminate the discrete ambiguities ... two further measurements will suffice, provided that of the five double polarization measurements ... no four come from the same set.”

I.S.Berker, A.Donnachie, J.K.Storrow,
Nucl. Phys. B95 (1975) 347

Polarisation of

Observable

γ

target

recoil

$$1. \{d\sigma/d\Omega\}/\mathcal{N} = |b_1|^2 + |b_2|^2 + |b_3|^2 + |b_4|^2$$

Single polarization

2. P			y'	$= b_1 ^2 - b_2 ^2 + b_3 ^2 - b_4 ^2$
3. Σ	p			$= b_1 ^2 + b_2 ^2 - b_3 ^2 - b_4 ^2$
4. T		y		$= b_1 ^2 - b_2 ^2 - b_3 ^2 + b_4 ^2$

Double polarizatoin

Beam-target

5. E	c	z		$= 2 \operatorname{Re}(b_1 b_3^* + b_2 b_4^*)$
6. F	c	x		$= 2 \operatorname{Im}(b_1 b_3^* - b_2 b_4^*)$
7. G	t	z		$= 2 \operatorname{Im}(b_1 b_3^* + b_2 b_4^*)$
8. H	t	x		$= -2 \operatorname{Re}(b_1 b_3^* + b_2 b_4^*)$

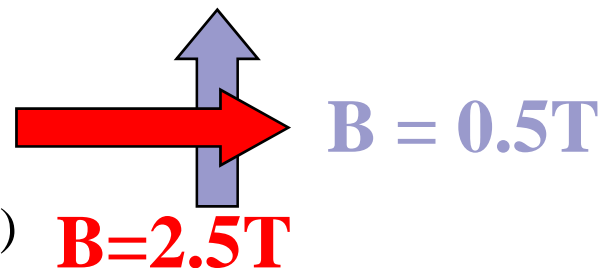
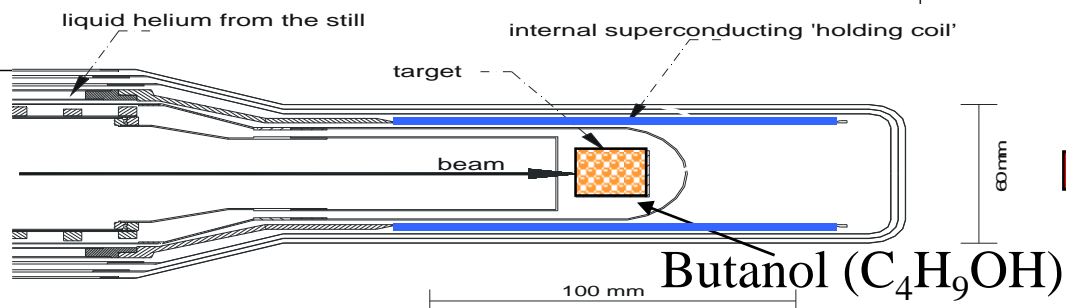
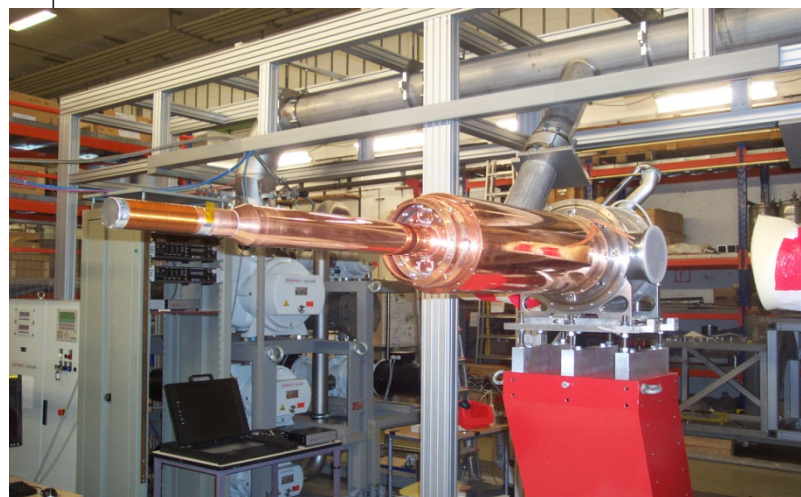
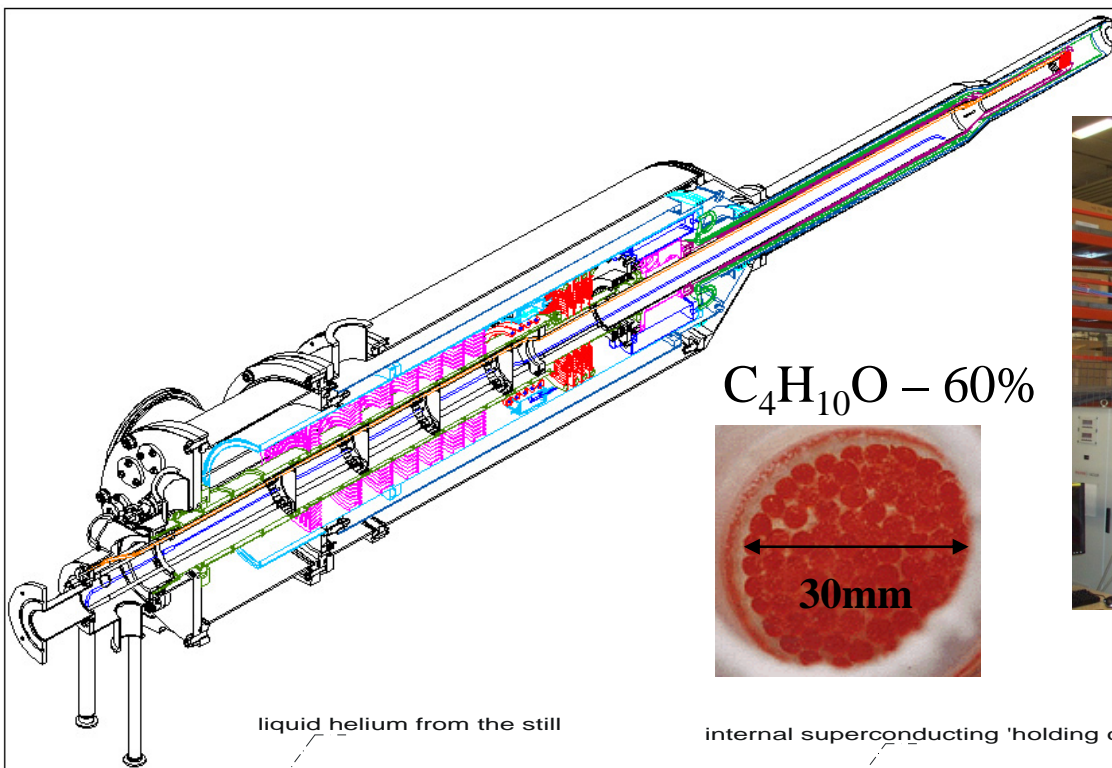
Beam-recoil

9. C_x	c		x'	$= -2 \operatorname{Im}(b_1 b_4^* - b_2 b_3^*)$
10. C_y	c		z'	$= 2 \operatorname{Re}(b_1 b_4^* + b_2 b_3^*)$
11. O_x	t		x'	$= 2 \operatorname{Re}(b_1 b_4^* - b_2 b_3^*)$
12. O_z	t		z'	$= 2 \operatorname{Im}(b_1 b_4^* + b_2 b_3^*)$

Target-recoil

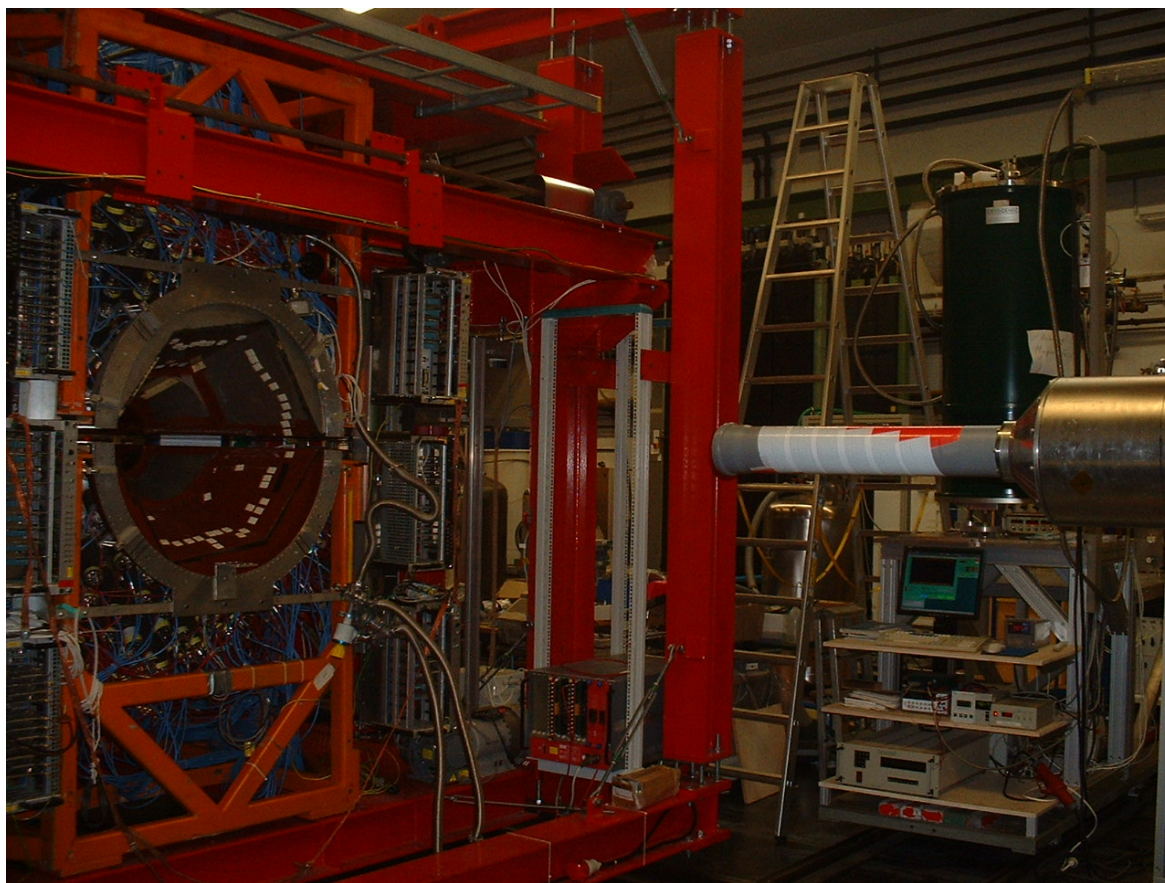
13. T_x		x	x'	$= 2 \operatorname{Re}(b_1 b_2^* - b_3 b_4^*)$
14. T_z		x	z'	$= 2 \operatorname{Im}(b_1 b_2^* - b_3 b_4^*)$
15. L_x		z	x'	$= -2 \operatorname{Im}(b_1 b_2^* + b_3 b_4^*)$
16. L_z		z	z'	$= 2 \operatorname{Re}(b_1 b_2^* + b_3 b_4^*)$

Поляризованная мишень МАМІ



[E.Dzyubak et al., NIM A 526 (2004) 132-137, OPERA3D calculations]

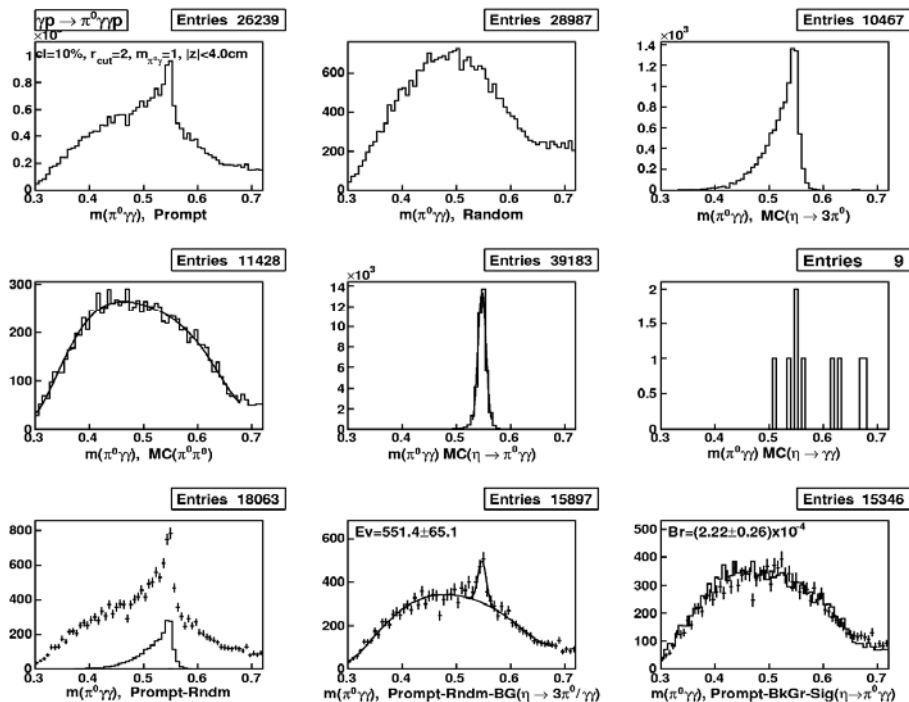
Тестовый сеанс в декабре 2009 года



- Crystal Ball установлен на передвижной платформе
- Электроника установлена на платформе и испытана
- Мишень установлена ж экспериментальном зале и испытана
- Первый цикл измерений в феврале 2010 года

Измерения $\eta \rightarrow \pi^0 \gamma \gamma$ на MAMI-C

Preliminary analysis of $\eta \rightarrow \pi^0 \gamma \gamma$ with the CB at MAMI-C
(data from April, June, July 2007)

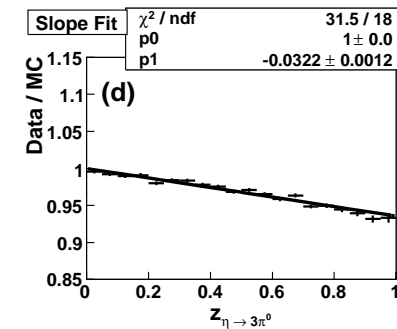
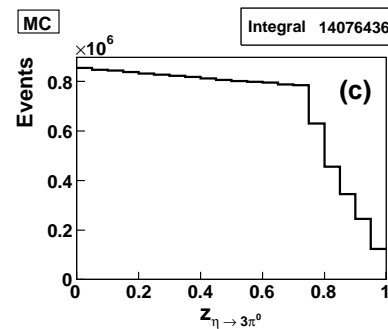
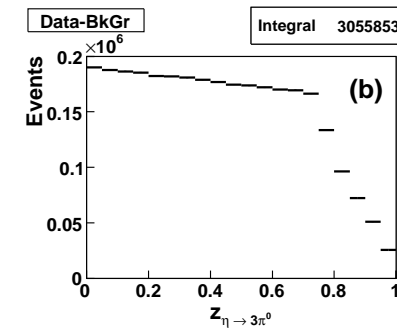
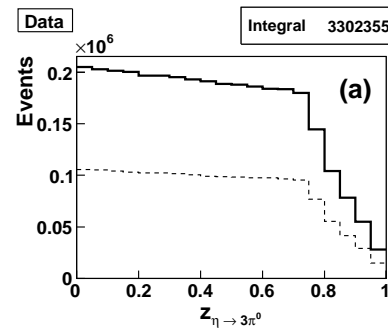


- **AGS statistics: 500-1000 $\eta \rightarrow \pi^0 \gamma \gamma$** depending on cuts (about 30M eta's total)
- Current **MAMI-C** statistics (2007-2009): **1000-2000 $\eta \rightarrow \pi^0 \gamma \gamma$** depending on cuts (about 60M eta's total)
- We propose to **increase** statistics by **factor 5**: to about **10000 $\eta \rightarrow \pi^0 \gamma \gamma$** events. This sample will be used to investigate the Dalitz plot and the matrix element

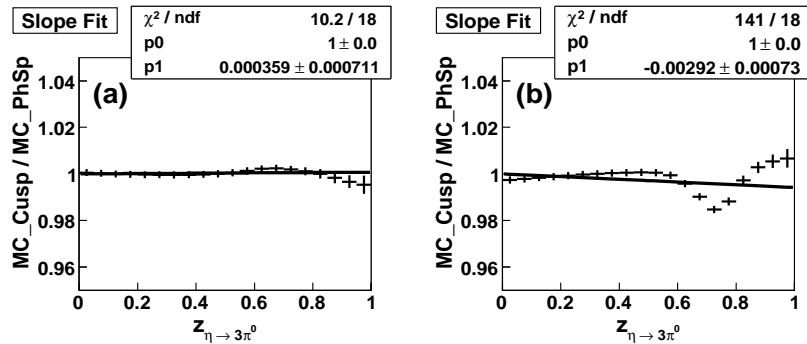
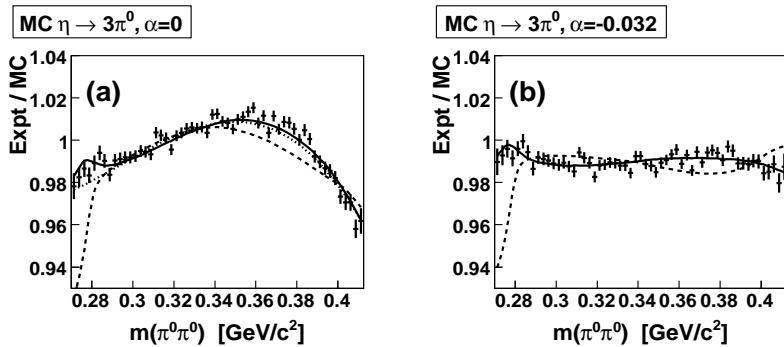
$\eta \rightarrow 3\pi^0$ Dalitz plot

Physical motivation: tests of χ PTh calculations

- $\eta \rightarrow 3\pi^0$ - G-parity violating strong interaction, occurring due to the $m_d - m_u$ difference
- $A(\eta \rightarrow 3\pi^0) \sim (m_d - m_u)(1 + \alpha z)$,
 $\Gamma(\eta \rightarrow 3\pi^0) \sim (m_d - m_u)^2(1 + 2\alpha z)$,
 $z = 6/(m_\eta - 3m_{\pi^0})^2 \sum_i (E_{\pi^0}^i - m_\eta/3)^2 = \rho^2/\rho_{\max}^2$;
 precise measurement of α is required for a better calculation of $\Gamma(\eta \rightarrow 3\pi^0)$, needed for the $m_u - m_d$ difference
- Analysis of the $\pi^0\pi^0$ invariant mass in the vicinity of the $\pi^+\pi^-$ threshold to search for a cusp, providing a test of the χ PTh prediction for the S-wave scattering length combination $a_0 - a_2$ and comparison with the $K^+ \rightarrow \pi^+\pi^0\pi^0$ results



$\eta \rightarrow 3\pi^0$ Dalitz plot



Experiment	Refs.	α
Crystal Ball at BNL	[14]	-0.031 ± 0.004
KLOE	[15]	$-0.027 \pm 0.004^{+0.004}_{-0.006}$
GAMS-2000	[17]	-0.022 ± 0.023
Crystal Barrel	[18]	$-0.052 \pm 0.017 \pm 0.010$
SND	[19]	$-0.010 \pm 0.021 \pm 0.010$
CELSIUS/WASA	[20]	$-0.026 \pm 0.010 \pm 0.010$
WASA at COSY	[21]	$-0.027 \pm 0.008 \pm 0.005$

Crystal Ball at MAMI-C -0.032 ± 0.003

Crystal Ball at MAMI-B $-0.032 \pm 0.002 \pm 0.002$

Calculation	Refs.	α
$\chi\text{PT } \mathcal{O}(p^2)$	[11]	0
$\chi\text{PT } \mathcal{O}(p^4)$	[11]	0.015
$\chi\text{PT } \mathcal{O}(p^6)$	[6]	0.013 ± 0.032
Dispersion	[7]	$-0.007 \dots - 0.014$
UCHPT	[9]	-0.031 ± 0.003

B.Holstein at "MAMI and beyond" workshop, 2009

Проверка C-инвариантности

TESTS OF DISCRETE SPACE-TIME SYMMETRIES

CHARGE CONJUGATION (C) INVARIANCE

	$\Gamma(\pi^0 \rightarrow 3\gamma)/\Gamma_{\text{total}}$	$<3.1 \times 10^{-8}$, CL = 90%
	η C-nonconserving decay parameters	
	$\pi^+ \pi^- \pi^0$ left-right asymmetry parameter	$(0.09 \pm 0.17) \times 10^{-2}$
	$\pi^+ \pi^- \pi^0$ sextant asymmetry parameter	$(0.18 \pm 0.16) \times 10^{-2}$
	$\pi^+ \pi^- \pi^0$ quadrant asymmetry parameter	$(-0.17 \pm 0.17) \times 10^{-2}$
	$\pi^+ \pi^- \gamma$ left-right asymmetry parameter	$(0.9 \pm 0.4) \times 10^{-2}$
	$\pi^+ \pi^- \gamma$ parameter β (<i>D</i> -wave)	-0.02 ± 0.07 ($S = 1.3$)
→	$\Gamma(\eta \rightarrow \pi^0 \gamma)/\Gamma_{\text{total}}$	$<9 \times 10^{-5}$, CL = 90%
→	$\Gamma(\eta \rightarrow \pi^0 \pi^0 \gamma)/\Gamma_{\text{total}}$	$<5 \times 10^{-4}$, CL = 90%
→	$\Gamma(\eta \rightarrow \pi^0 \pi^0 \pi^0 \gamma)/\Gamma_{\text{total}}$	$<6 \times 10^{-5}$, CL = 90%
→	$\Gamma(\eta \rightarrow 3\gamma)/\Gamma_{\text{total}}$	$<1.6 \times 10^{-5}$, CL = 90%
→	$\Gamma(\eta \rightarrow \pi^0 e^+ e^-)/\Gamma_{\text{total}}$	[a] $<4 \times 10^{-5}$, CL = 90%
→	$\Gamma(\eta \rightarrow \pi^0 \mu^+ \mu^-)/\Gamma_{\text{total}}$	[a] $<5 \times 10^{-6}$, CL = 90%
→	$\Gamma(\omega(782) \rightarrow \eta \pi^0)/\Gamma_{\text{total}}$	$<1 \times 10^{-3}$, CL = 90%
→	$\Gamma(\omega(782) \rightarrow 3\pi^0)/\Gamma_{\text{total}}$	$<3 \times 10^{-4}$, CL = 90%
	c decay parameter of $\eta'(958)$	0.015 ± 0.018
	asymmetry parameter for $\eta'(958) \rightarrow \pi^+ \pi^- \gamma$ decay	-0.01 ± 0.04
→	$\Gamma(\eta'(958) \rightarrow \pi^0 e^+ e^-)/\Gamma_{\text{total}}$	[a] $<1.4 \times 10^{-3}$, CL = 90%
→	$\Gamma(\eta'(958) \rightarrow \eta e^+ e^-)/\Gamma_{\text{total}}$	[a] $<2.4 \times 10^{-3}$, CL = 90%
→	$\Gamma(\eta'(958) \rightarrow 3\gamma)/\Gamma_{\text{total}}$	$<1.0 \times 10^{-4}$, CL = 90%
→	$\Gamma(\eta'(958) \rightarrow \mu^+ \mu^- \pi^0)/\Gamma_{\text{total}}$	[a] $<6.0 \times 10^{-5}$, CL = 90%
→	$\Gamma(\eta'(958) \rightarrow \mu^+ \mu^- \eta)/\Gamma_{\text{total}}$	[a] $<1.5 \times 10^{-5}$, CL = 90%
	$\Gamma(J/\psi(1S) \rightarrow \gamma\gamma)/\Gamma_{\text{total}}$	$<2.2 \times 10^{-5}$, CL = 90%

Dalitz plot of $\eta' \rightarrow \eta \pi^0 \pi^0$

- Substantial progress is achieved in understanding of the $\pi\pi$ interaction and obtaining the $\pi\pi$ scattering length (K(e4) decay, D decays, cusp in $K^+ \rightarrow \pi^+ \pi^0 \pi^0$...). Very little is known about the $\eta\pi$ scattering. $\eta' \rightarrow \eta\pi\pi$ is a unique system to study $\eta\pi$
- Theory predicts a substantial cusp in the $\pi^0\pi^0$ invariant mass at the opening of the $\pi^0\pi^0 \rightarrow \pi^+\pi^-$ channel (8% effect may be compared to 13% for $K^+ \rightarrow \pi^+ \pi^0 \pi^0$ and 2% for $\eta \rightarrow 3\pi^0$)

$$|M|^2 = (|1 + \alpha y|^2 + cx^2) \times \Phi$$

$$y = \frac{(2 + m_\eta / m_\pi) \times T_\eta}{m_{\eta'} - m_\eta - 2m_\pi} - 1, \quad x = \frac{\sqrt{3} \times (T_1 + T_2)}{m_{\eta'} - m_\eta - 2m_\pi}$$

Latest results:

**GAMS-4 π Collaboration, 15000 events
from $\pi^- p \rightarrow \eta' n$ at 32 GeV/c**

**A.M.Blik et al, Phys. Atom. Nucl., 72,
231 (2008)**

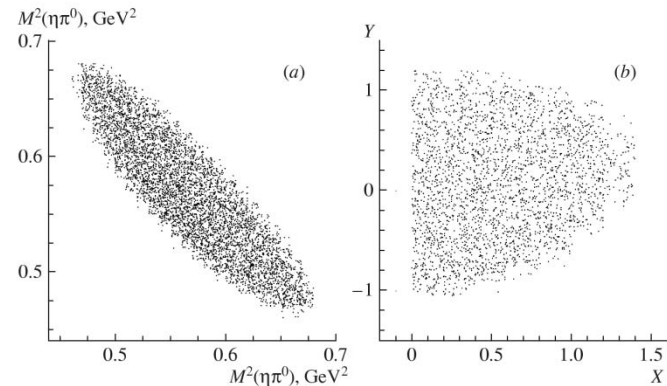
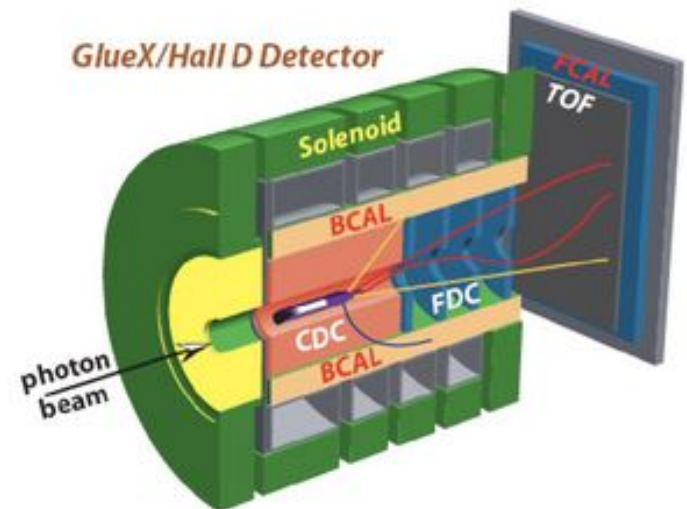
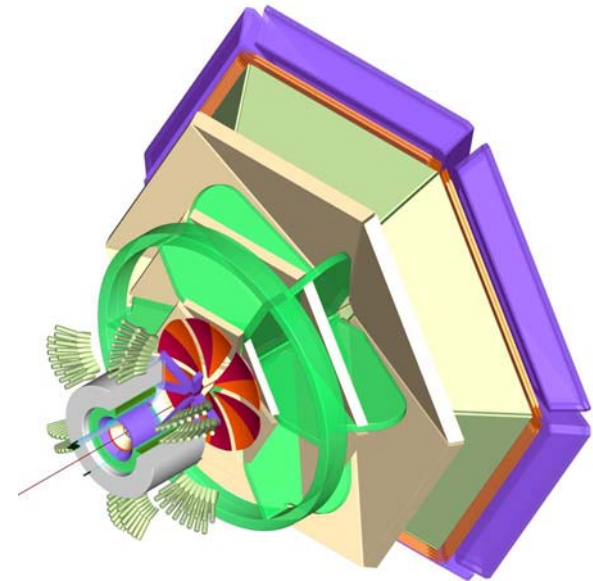


Fig. 2. The experimental form of the Dalitz diagram for the decay $\eta' \rightarrow \eta \pi^0 \pi^0$ in terms of the variables (a) $M^2(\eta\pi_1^0)$ and $M^2(\eta\pi_2^0)$ (two combinations per event) and (b) X and Y.

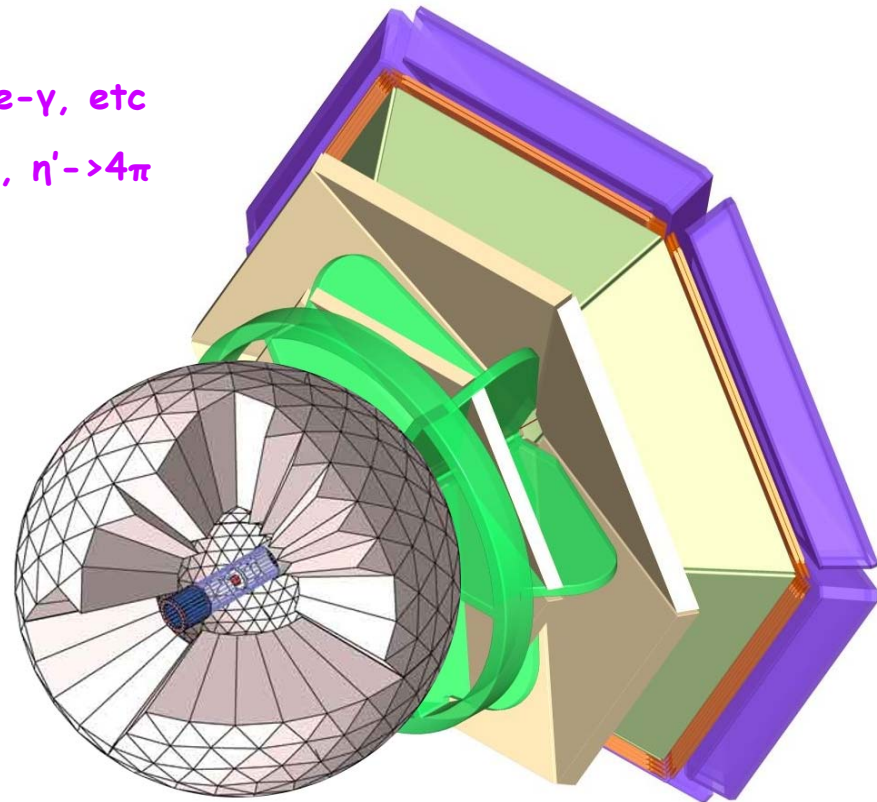
JLab 12 GeV upgrade

- Maximum beam energy: 12 GeV
- Major upgrade of the CLAS detector
- New experimental hall and new major detector - GlueX
- Physics program (Halls B and D):
 - “establish spectrum of exotic meson states” using linearly polarized photon beam with maximum energy up to 12 GeV (GlueX)
 - Baryon spectroscopy including baryon exotics (GlueX)
 - Investigation of the structure of the proton using DVCS and DVMP (electroproduction CLAS12)
 - Continuation of the photoproduction program: cascades spectroscopy, search for exotics, etc (photoproduction CLAS12)



Crystal Ball + CLAS12?

- Meson spectroscopy, search for the hybrids and other meson exotics in neutral decay modes ($\gamma\gamma$, $\pi^0\pi^0$, $3\pi^0$, $4\pi^0$, $\eta\pi^0$, $\eta\eta$, $\eta'\pi^0$, $\omega\pi^0$, etc)
- Baryon spectroscopy: Σ^* , Λ^* and Ξ^* via $\Sigma^+ \rightarrow \pi^0 p$, $\Sigma^0 \rightarrow \Lambda\gamma$, $K_s^- \rightarrow \pi^0\pi^0$, etc
- Physics of eta and eta' decays:
 - Tests of Chiral perturbation theory and other theories of strong interactions: $\eta \rightarrow \pi^0\pi^0\pi^0$, $\eta' \rightarrow \eta\pi^0\pi^0$
 - Tests of C invariance: $\eta \rightarrow 3\gamma$, $\eta \rightarrow \pi\gamma$, $\eta' \rightarrow e+e-\gamma$, etc
 - Tests of P invariance: $\eta \rightarrow 2\pi$, $\eta' \rightarrow 2\pi$, $\eta \rightarrow 4\pi$, $\eta' \rightarrow 4\pi$
 - Search for leptoquaks: $\eta \rightarrow \mu+\mu^-$, $\eta \rightarrow e+e^-$
- And much more...
- High detection efficiency and good energy and spatial resolution for photons and electrons.
- Acceptance of CB+FEM for photons close to 4π
- Possibility to tag mesons via proton detection in the FD



Заключение

- Спектроскопия легких барионов остается важной частью адронной физики необходимой для понимания конфаймента и свойств симметрий **KXD**. Эта область физики частиц целиком зависит от наличия достоверных и точных экспериментальных данных для различных реакций и наблюдаемых.
- В экспериментах с детектором **Crystal Ball** на каонных и пионных пучках **AGS** были получены важные результаты для нескольких нейтральных реакций позволяющие детальное изучение свойств **P11(1440)**, **D13(1520)**, **S11(1535)**, **$\Sigma(1385)$** , **$\Lambda(1670)$** и других нуклонных и гиперонных резонансов.
- Эта программа была продолжена в **MAMI** на пучке меченых фотонов с максимальной энергией **1.6** ГэВ. Одной из целей эксперимента **CB@MAMI** является получение полного набора наблюдаемых необходимых для однозначного восстановления амплитуд рассеяния в фоторождении псевдоскалярных мезонов.
- Важной частью эксперимента **CB@MAMI** является программа по изучению распадов **η** и **η'** мезонов. Полученные результаты могут быть использованы для проверки адронных моделей и тестирования дискретных симметрий таких как **C, P, CP**.
- Программа с детектором **Crystal Ball** может быть продолжена на фотонном пучке **JLab**. Частью этой программы могли бы быть поиск гибридных мезонных состояний, изучение спектра узких **Ξ** резонансов, физика распадов **η** и **η'** .