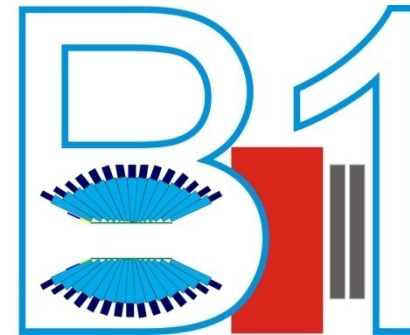
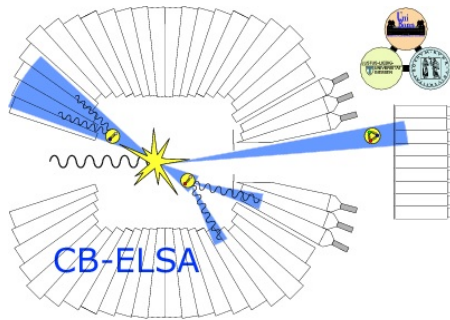


## Эксперименты CBELSA/TAPS и BGO-OD (Бонн)

«Барионная спектроскопия и физика с  $\eta$ -мезонами»  
Бонн, CB-ELSA  
Бонн, BGO-OD



# ELectron Stretcher Accelerator (ELSA)

„Elektronen Stretcher Anlage“

duty factor  $\lesssim 90\%$

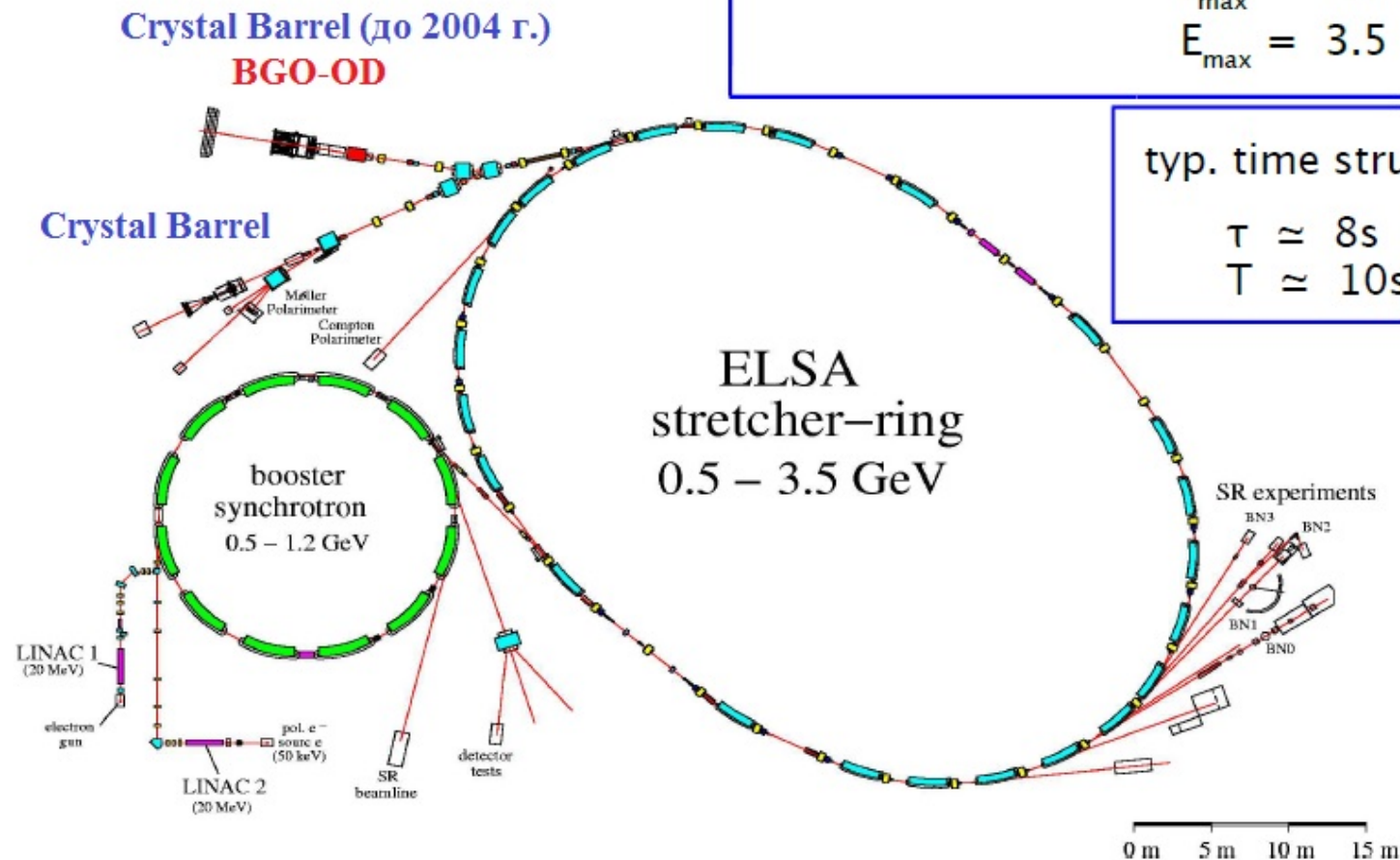
$I_{\max} \approx 3\text{ nA}$

$E_{\max} = 3.5\text{ GeV}$

typ. time structure

$\tau \approx 8\text{ s}$

$T \approx 10\text{ s}$



# Collaboration CB-ELSA

Helmholtz-Institut für Strahlen- und Kernphysik, University at Bonn, Germany

Physikalisches Institut, University at Gießen, Germany

Department of Physics, Florida State University, Tallahassee, USA

**Petersburg Nuclear Physics Institute, Gatchina, Russia**

Kernfysisch Versneller Instituut, Groningen, The Netherlands

Physikalisches Institut, University at Bonn, Germany

Institut für Physik, University at Basel, Switzerland

## Участники от Лаборатории мезонной физики:

Д.Е. Баядилов, А.Б. Гриднев, Д.В. Новинский, В.В. Сумачёв

ПИЯФ ОТФ

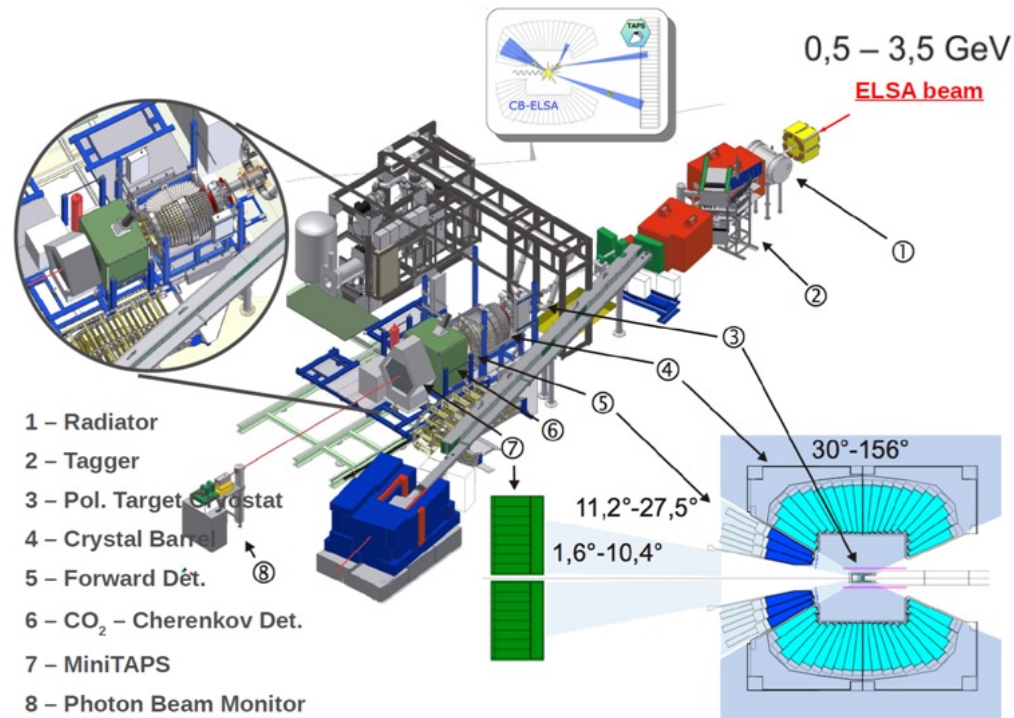
Саранцев А.В., Анисович А.В., Никонов В.А.

–BoGa (Uni-Bonn, PNPI)

- Проблема недостающих резонансов
- Барионная спектроскопия (массы, ширины, моды распада)
- Связанные состояния в ядрах ( $\eta$ ,  $\eta'$ ,  $\omega$ )
  
- ❖ Измерение сечений ( $\sigma$ ,  $d\sigma/d\Omega$ )
- ❖ Измерение поляризационных наблюдаемых (pol. Ream +H2, D2)
- ❖ Измерение двойных поляризационных наблюдаемых

# CB-ELSA (setup)

## ❖ Запуск установки, набор данных 2005-2015



- Дизайн и производство спектрометра для передней полусферы Forward Plug на основе кристаллов ScI(Tl) и ФЭУ (90 кристаллов), veto-counters
- Создание годоскопа для системы мечения фотонов, 480 сцинт. нитей, усилители, дискриминаторы
- Закупка и проверка 16 канальных ФЭУ Hamamatsu 6568
- Участие в наборе данных

**1.**

**Photoproduction of  $\eta$ -mesons from the neutron: Cross sections and double polarization observable E**

**CBELSA/TAPS Collaboration (L. Witthauer (Basel U.) et al.).**

**Eur.Phys.J. A53 (2017) no.3, 58**

**2.**

**A. Thiel et al. Double-polarization observable G in neutral-pion photoproduction off the proton**

**Eur. Phys. J. A53 (2017) 8, 2017**

## Photoproduction of $\eta$ -mesons from the neutron: cross sections and double polarization observable $E$

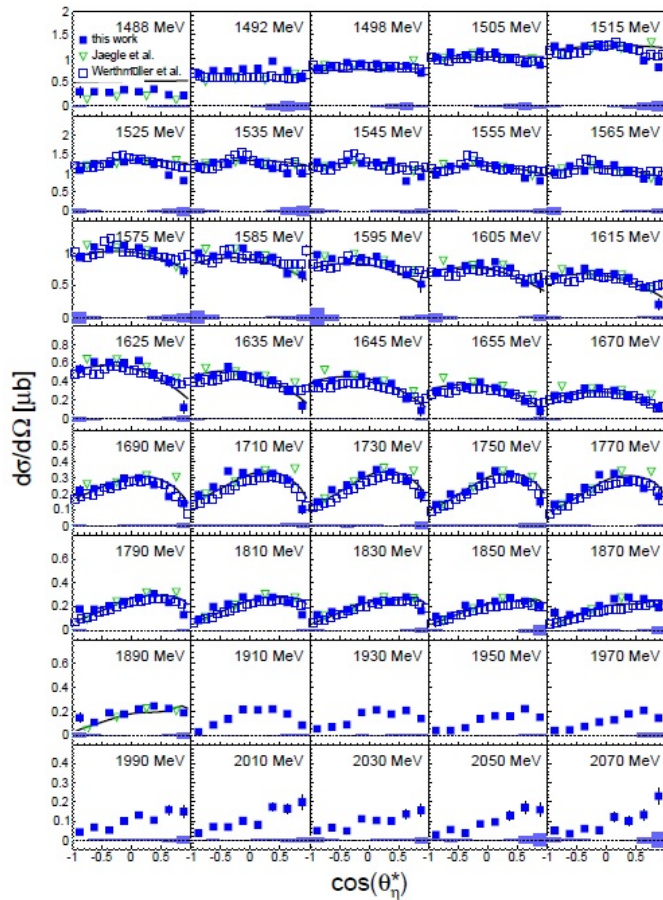
В экспериментах, выполняемых на продольно поляризованной мишени с использованием пучка фотонов с круговой поляризацией, измеряется двойная поляризационная асимметрия  $E$ .

Мишень:  $C_4O_9OD$

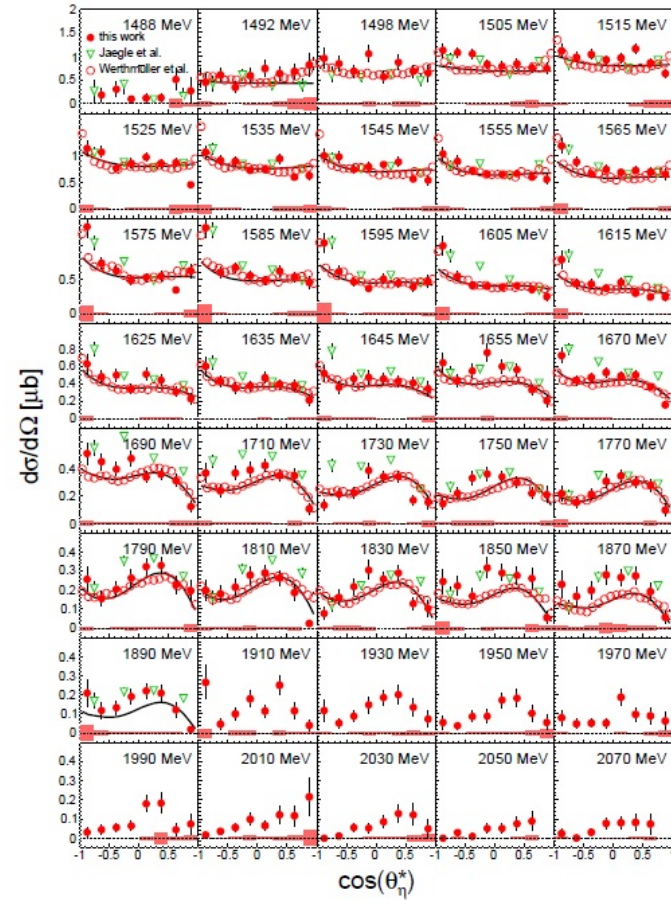
$$\gamma p(n) \rightarrow \eta p(n)$$

$$E = \frac{\sigma_{1/2} - \sigma_{3/2}}{\sigma_{1/2} + \sigma_{3/2}} = \frac{\sigma_{1/2} - \sigma_{3/2}}{2\sigma_0}$$

## Photoproduction of $\eta$ -mesons from the neutron: cross sections and double polarization observable $E$



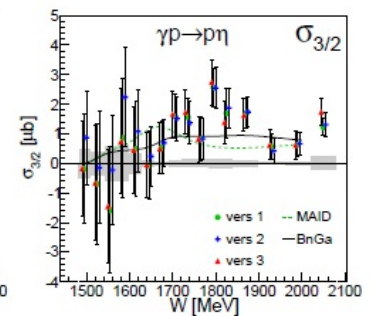
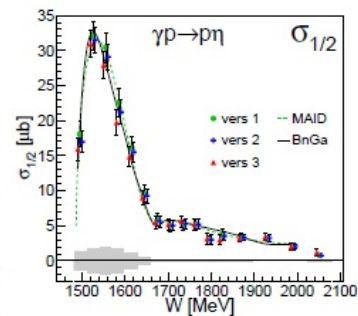
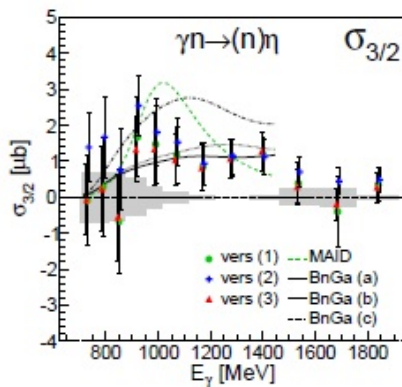
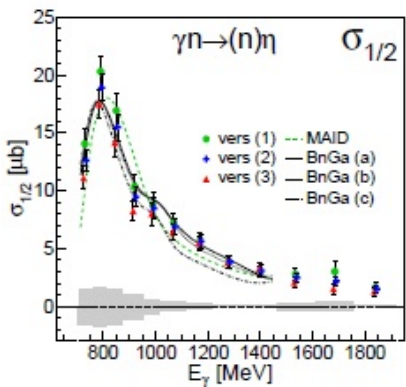
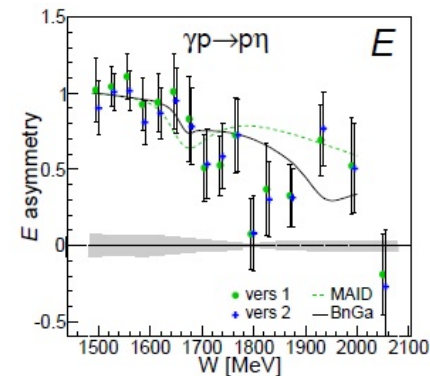
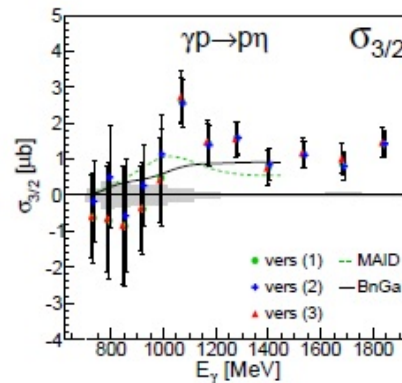
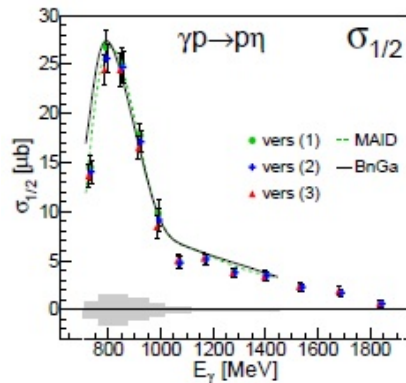
$d\sigma/d\Omega, \gamma p \rightarrow \eta p$



$d\sigma/d\Omega, \gamma n \rightarrow \eta n$



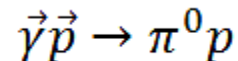
## Photoproduction of $\eta$ -mesons from the neutron: cross sections and double polarization observable $E$



Helicity dependent cross sections  $\sigma_{1/2}$  and  $\sigma_{3/2}$  for  $\gamma p \rightarrow p\eta$  and  $\gamma n \rightarrow (n)\eta$

Double polarization observable  $E$  and the helicity dependent cross sections

## A. Thiel et al., Double-polarization observable $G$ in neutral-pion photoproduction off the proton



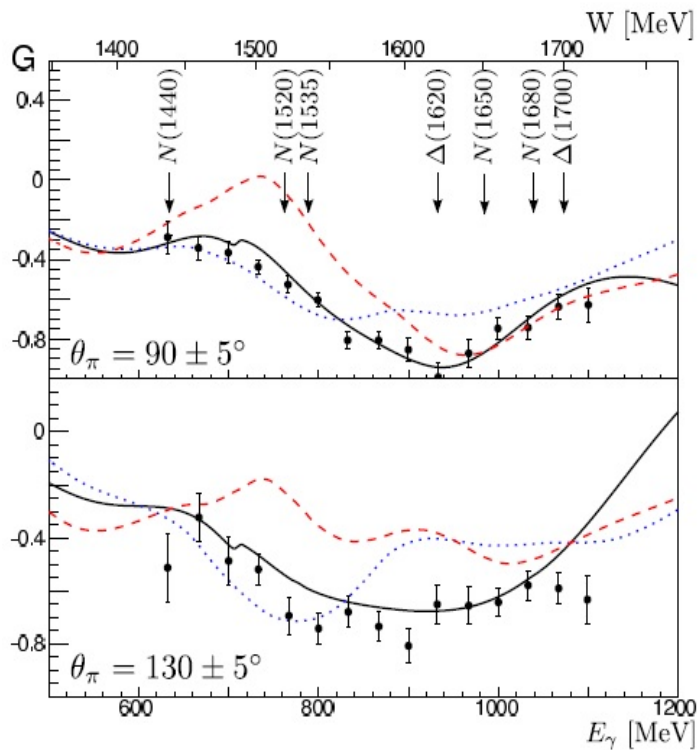
В экспериментах, выполняемых на продольно поляризованной мишени при использовании пучка линейно поляризованных фотонов, измеряется двойная поляризационная асимметрия  $G$ .

В этом же эксперименте одновременно измеряется пучковая асимметрия  $\Sigma$ .

$$\frac{d\sigma}{d\Omega}(\theta, \phi) = \frac{d\sigma}{d\Omega}(\theta) \cdot \left[ 1 - P_{\gamma}^{lin} \cdot \Sigma(\theta) \cdot \cos(2\phi) - P_z \cdot P_{\gamma}^{lin} \cdot G(\theta) \cdot \sin(2\phi) \right],$$

где  $P_z$  – величина поляризации мишени,  $P_{\gamma}^{lin}$  – величина линейной поляризации фотонов,  $\phi$  – азимутальная ориентация плоскости реакции относительно плоскости, в которой лежит вектор поляризации фотонов.

A. Thiel et al.,  
**Well-established nucleon resonances revisited by double-polarization  
 measurements, Phys.Rev.Lett. 109 (2012) 102001**



$E_{0+}$	$N(1535)1/2^-$	$N(1650)1/2^-$	$\Delta(1620)1/2^-$	
Solution	$A^{1/2}$	$A^{1/2}$	$A^{1/2}$	
BG2011-02	$105 \pm 10$	$33 \pm 7$	$52 \pm 5$	
MAID-2007	66	33	66	
SAID-2011	$99 \pm 2$	$65 \pm 25$	$64 \pm 2$	
$E_{2-}$	$N(1520)3/2^-$		$\Delta(1700)3/2^-$	
Solution	$A^{1/2}$	$A^{3/2}$	$A^{1/2}$	$A^{3/2}$
BG2011-02	$-22 \pm 4$	$131 \pm 10$	$160 \pm 20$	$165 \pm 25$
MAID-2007	-27	161	226	210
SAID-2011	$-16 \pm 2$	$156 \pm 2$	$109 \pm 4$	$84 \pm 2$

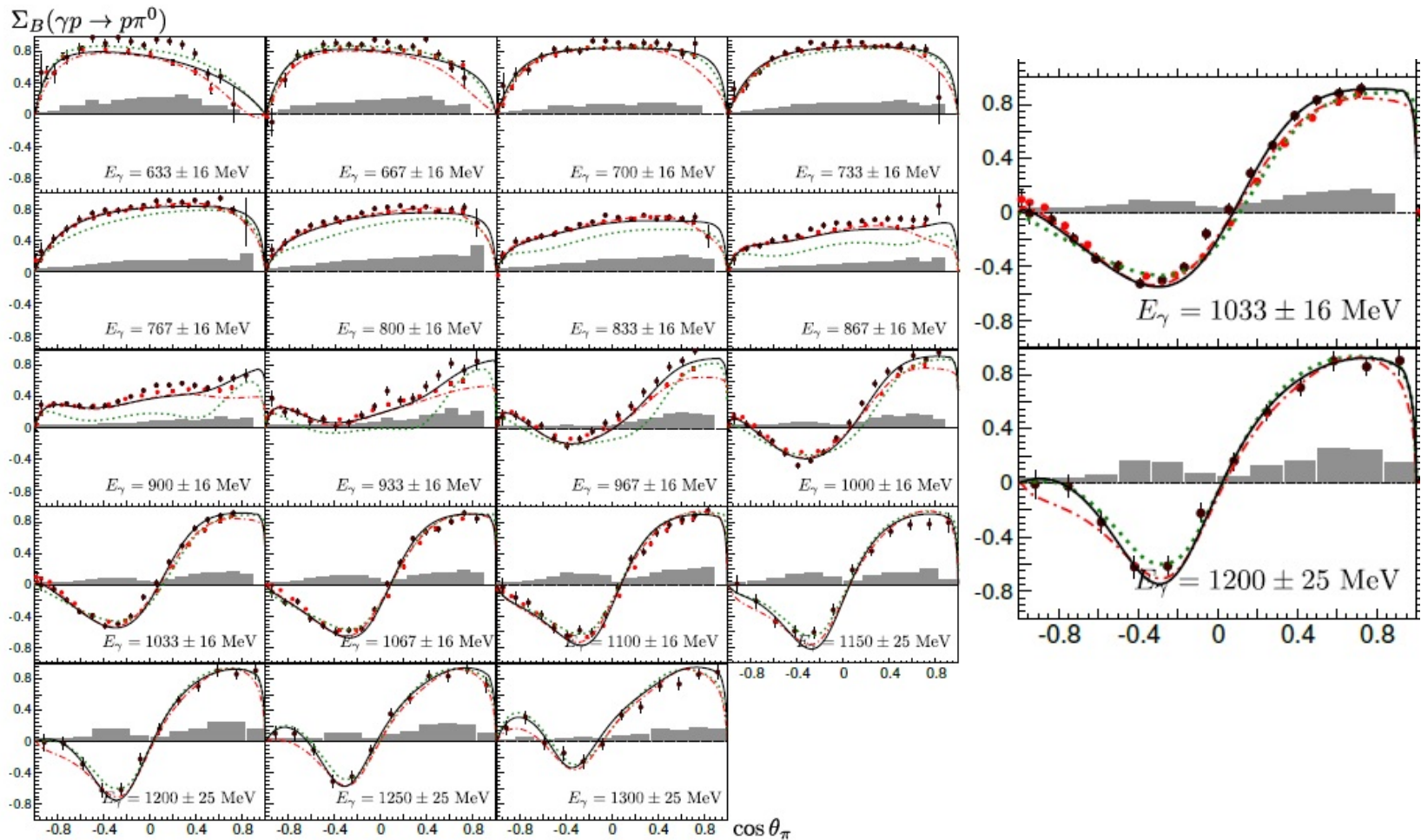
Table I. Helicity amplitudes of low-lying negative-parity  $N$  and  $\Delta$  resonances contributing to the  $E_{0+}$  and  $E_{2-}$  multipoles (in  $\text{GeV}^{-\frac{1}{2}} 10^{-3}$ ).

$$E_{0+} \rightarrow N(1535), N(1560), N(1620)$$

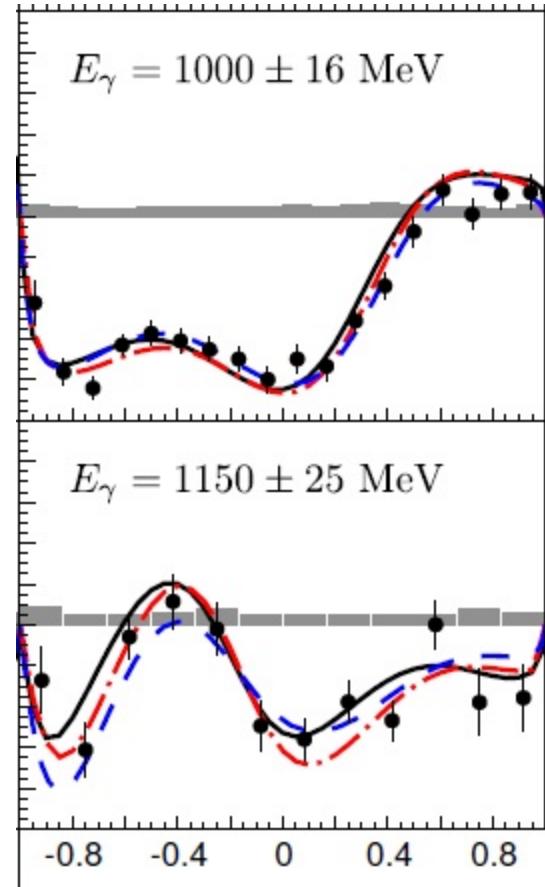
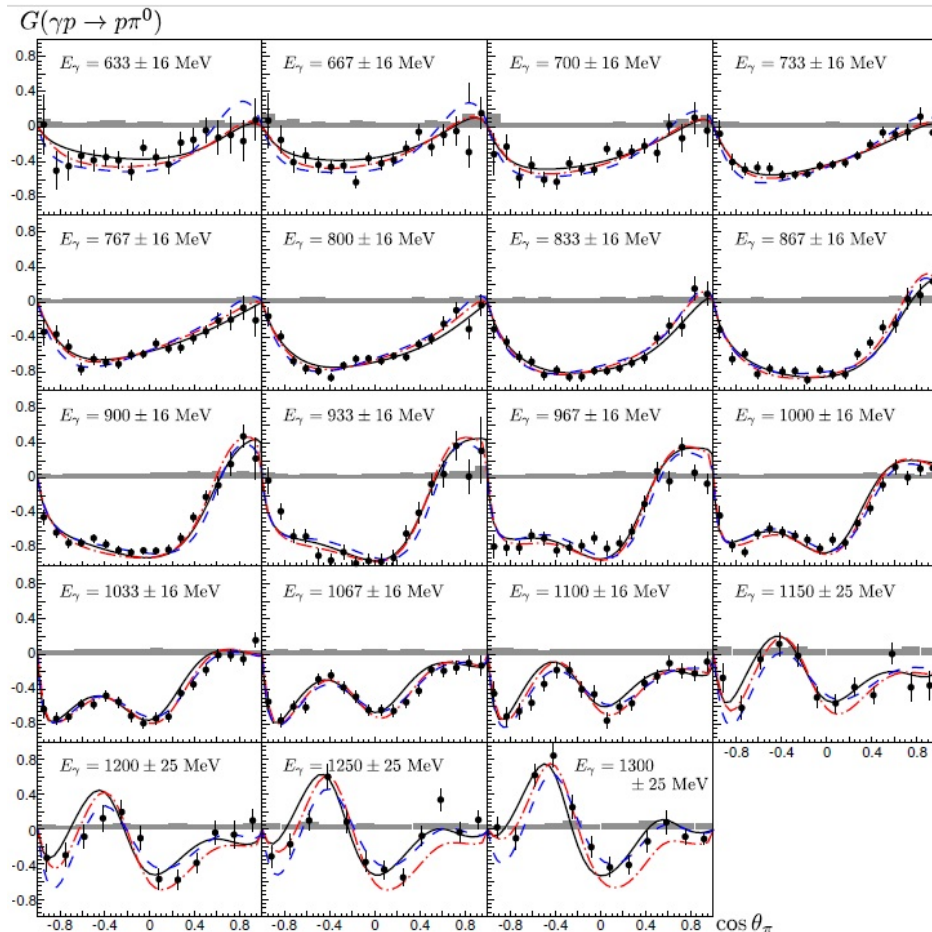
$$E_{2-} \rightarrow N(1520), \Delta(1700)$$

SAID, MAID – расхождение

A. Thiel et al.



A. Thiel et al.

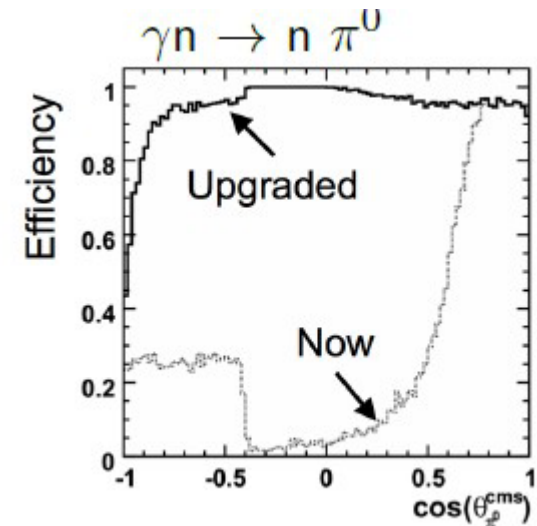
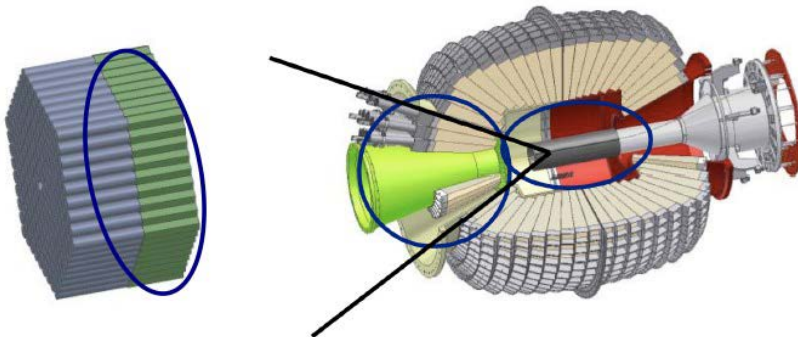


The double-polarization observable  $G$  for all measured photon energies (black dots), compared to the PWA ts to this data set: **BnGa 2014-02** (black solid line), **SAID** (red dashed-dotted line), and **JuBo** (blue dashed line).

# CB-ELSA: Summary and upgrade

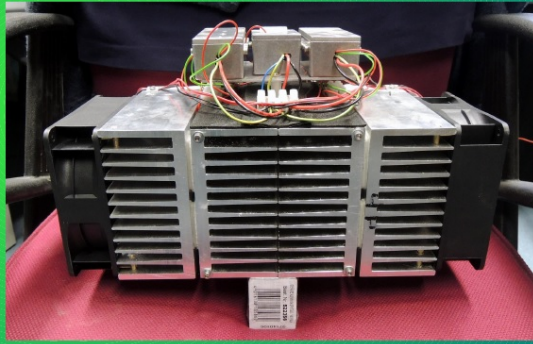
- Поляризованная мишень: серьезная модернизация
- Водородная мишень: утечка ж. гелия и нестабильная работа насоса
- Mini-TAPS → Uni-Giessen
- Inner Detector (вокруг мишени): Sci-Fi → TPC
- CsI readout → APDs
- Модернизация: электроника, триггер, ...

Detectors at the CBELSA/TAPS Experiment

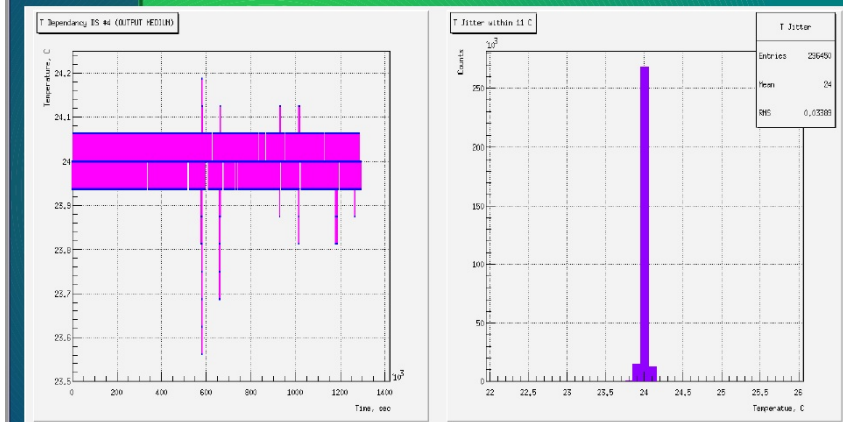


# CB-ELSA: Upgrade (Д. Баядилов)

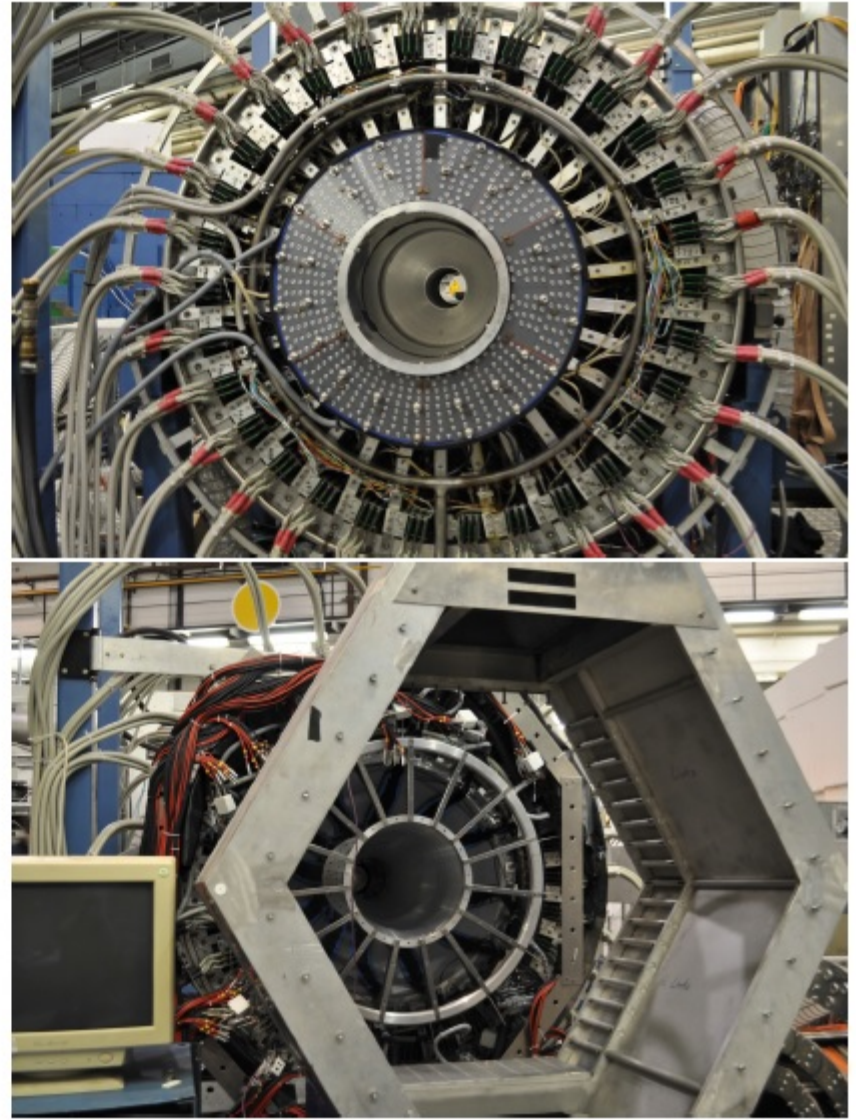
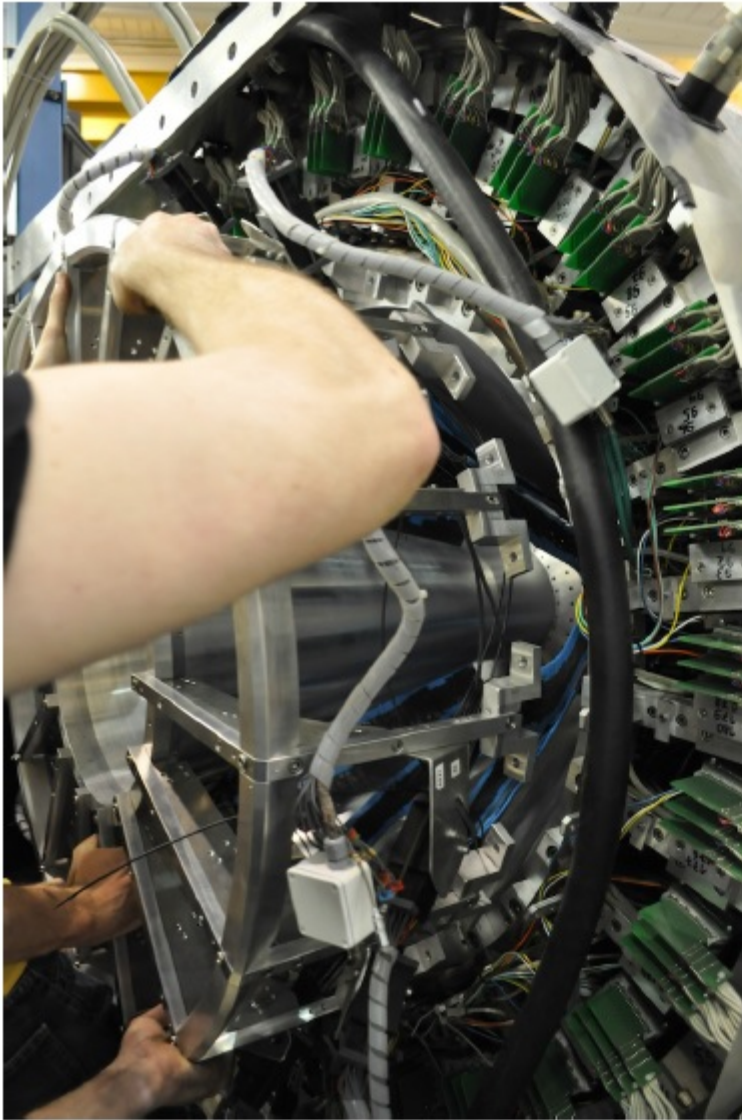
## Термостабилизационная система для обновленного детектора Crystal Barrel



## Воздушное охлаждение



# CB-ELSA: Upgrade





## **B1-коллаборация на ускорителе ELSA (Бонн)**

University of Bonn, Physikalisches Institut, Germany

University of Bonn, Helmholtz Institut für Strahlen- und Kernphysik, Germany

**Petersburg Nuclear Physics Institute, Gatchina, Russia**

INFN sezione Roma “Tor Vergata”, Italy

University of Roma Tor Vergata and INFN sezione Roma “Tor Vergata”, Italy

Istituto Superiore di Sanit`a and INFN sezione Roma1, Italy

INFN Laboratori Nazionali di Frascati, Italy

INFN sezione Pavia, Italy

University of Messina and INFN sezione Catania, Italy

University of Torino, Italy

University of Edinburgh, UK

National Science Center Kharkov Institution of Physics & Technology, Ukraine

University of Moscow, Russia

University of Basel, Switzerland

**Участники от ПИЯФ**

**В.В. Сумачев, Д.Е. Баядилов, А.Б. Гриднев, Н.Г. Козленко, Д.В. Новинский,  
Е.А. Филимонов**

**В.С. Козлов, Г. Макаренков, В.В. Голубев, В.И. Тараканов, В.Д. Лебедев  
В.Л. Головцов, Л.Н. Уваров, В.И. Яцюра, Э.М. Спириденков, Н.Ф. Бондарь**

Производство и настройка 9 дрейфовых камер  
(8+прототип), CROS-3

*Расчет, дизайн и установка защитной системы от м.п. магнитного  
диполя для входного детектора (Sci-Fi2) форвардного  
спектрометра*

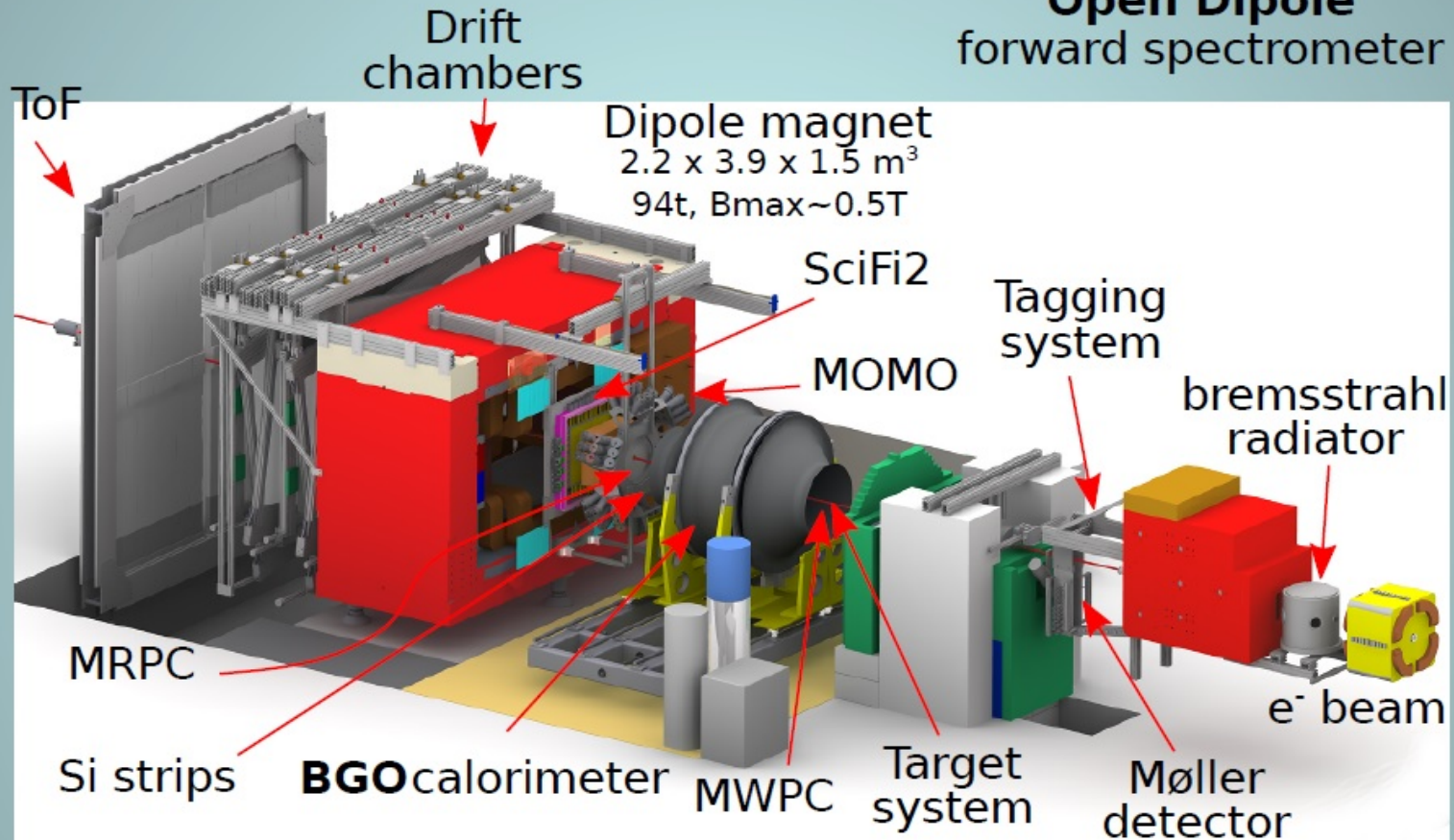
*Изготовление счетчиков и световодов для системы мечения  
фотонов (~ 50%)*

*Обговаривается изготовление годоскопа Sci-Fi для таггера  
(640 fibers)*

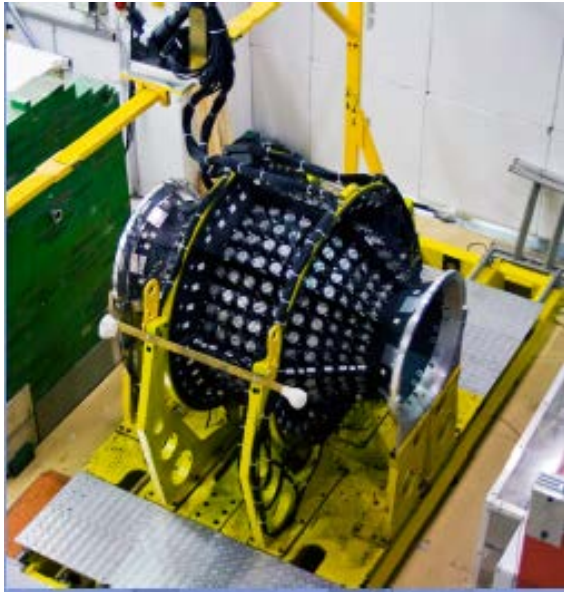
# BGO-OD Experimental setup

## BGO-OD detector & beamline

**Open Dipole**  
forward spectrometer



# Experimental setup, BGO Rugby Ball



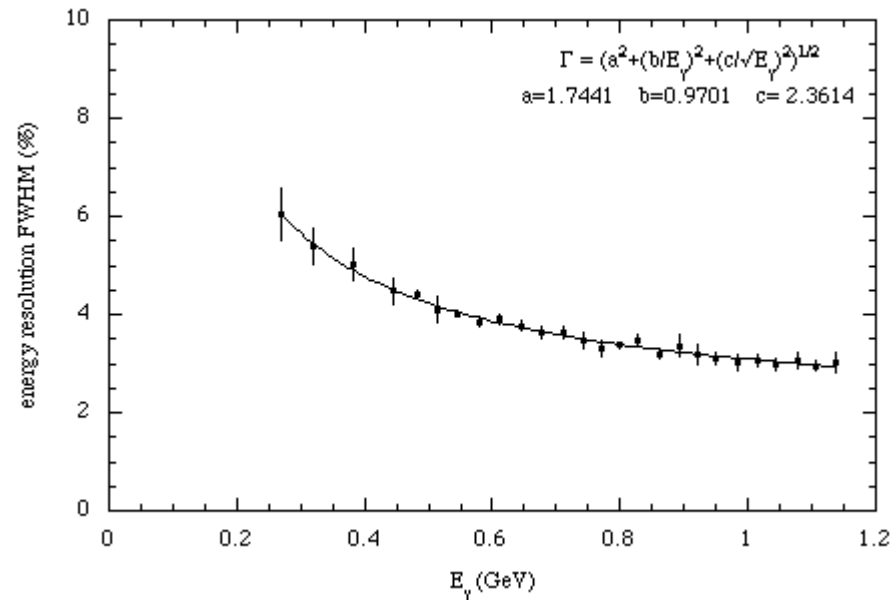
GRAAL → ELSA

480 crystals

24 cm length (~ 21 R.L.)

15 sectors of  $\theta \in [25^\circ; 155^\circ]$

32 sectors of  $\varphi \in [0; 1360^\circ]$



$\Delta\theta \sim 6^\circ \div 10^\circ$

$\Delta\varphi \sim 11,5^\circ$

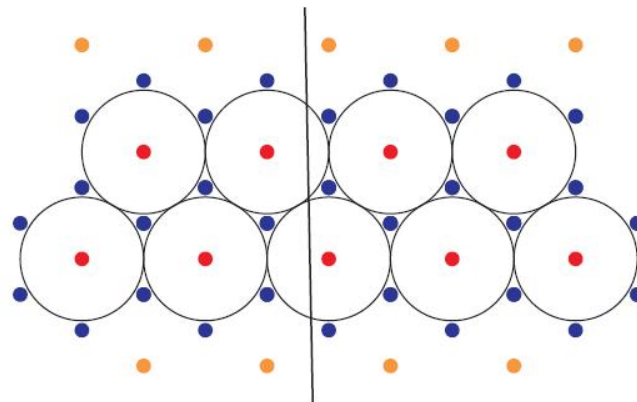
$\Omega = 0,9 \times 4\pi$

# Drift Chamber

- ✧ Точность позиции горизонтали 30 мкм
- ✧ Точность по вертикали 60 мкм
- ✧ Усредненная точность 32 мкм
- ✧ Размер рабочей области ~ 1,2\*2,4 м<sup>2</sup>

- ✧ Гексагональная структура ДК
- ✧ Радиус ячейки 10 мм
- ✧ Расстояние между сигнальными проволочками ~ 17 мм

Разрешение ~ 0,2 мм  
(ИТЭФ, Бонн)



# CROS3-B for DC, Functional Description

The Coordinate Readout System (CROS3-DC) consists of the following boards:

- ✓ AD16-B – a 16-channel Amplifier/Discriminator – Front-End;
- ✓ CCB10 – a 10-channel Concentrator;
- ✓ CCB16 – a 16-channel Concentrator;
- ✓ CSB – a System Buffer PCI-Interface.

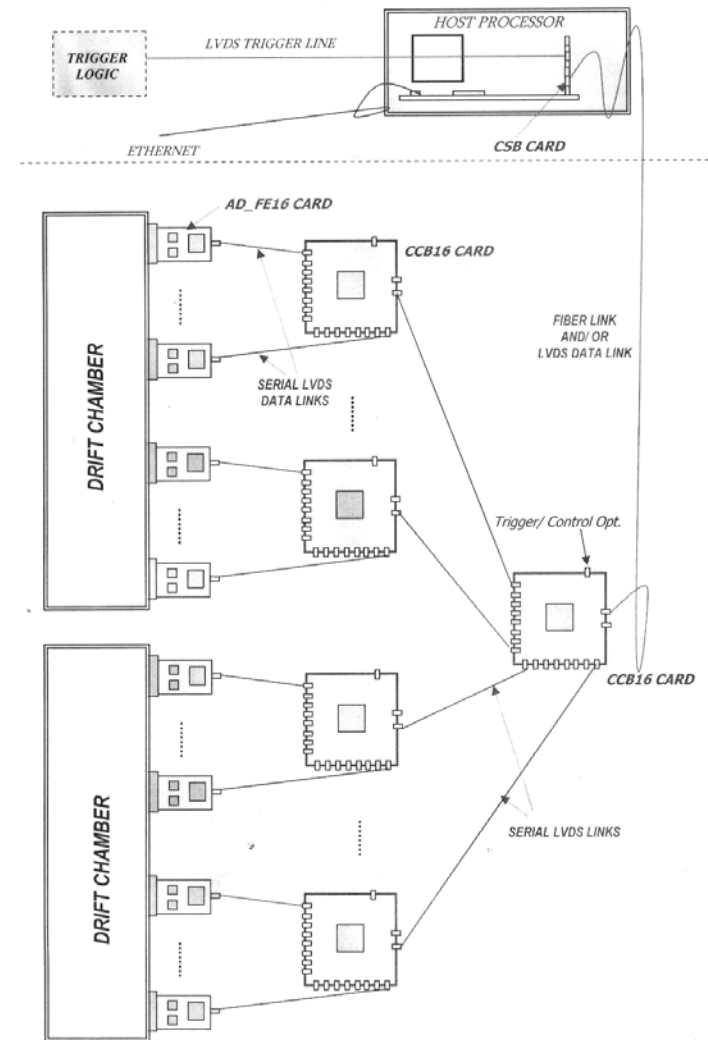
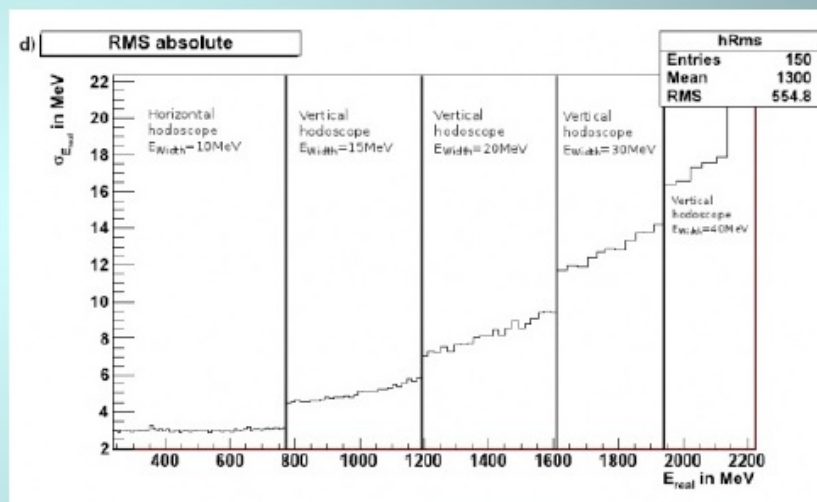
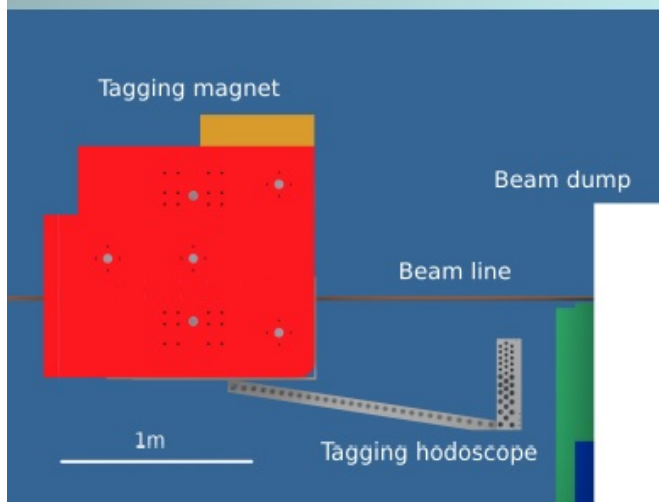


Fig. 1. CROS3-DC System Configuration

# DC: Test at Beam, Efficiency

## $\gamma$ beam tagger

120 channels  $(0.1 \div 0.9)E_0$  with  $10 \div 40$  MeV energy resolution  
intensity  $\sim 5 \cdot 10^7 \text{ s}^{-1}$



(A. Bella)

Bonn PI Petersburg PNPI

# Physics program

**B. Bantes et al. The BGO-OD Experiment at ELSA.  
Int. J. Mod. Phys. Conf. Ser. 26 (2014) 1460093-1**

## experimental program

$\eta$	p, d	lin. pol./unpol.	3.2 GeV	5000 h
$\eta'$	p	lin. pol.	3.2 GeV	1000h
$\omega, \phi$	p, d	lin. pol./unpol.	3.2 GeV	3200 h
$K^+\Lambda, K^+\Sigma^0, K^0\Sigma^+$	p	lin. pol./unpol.	3.2 GeV	3000 h
$\eta'$ mesic nuclei	$^{12}\text{C}$	unpol.	3.2 GeV	1200 h



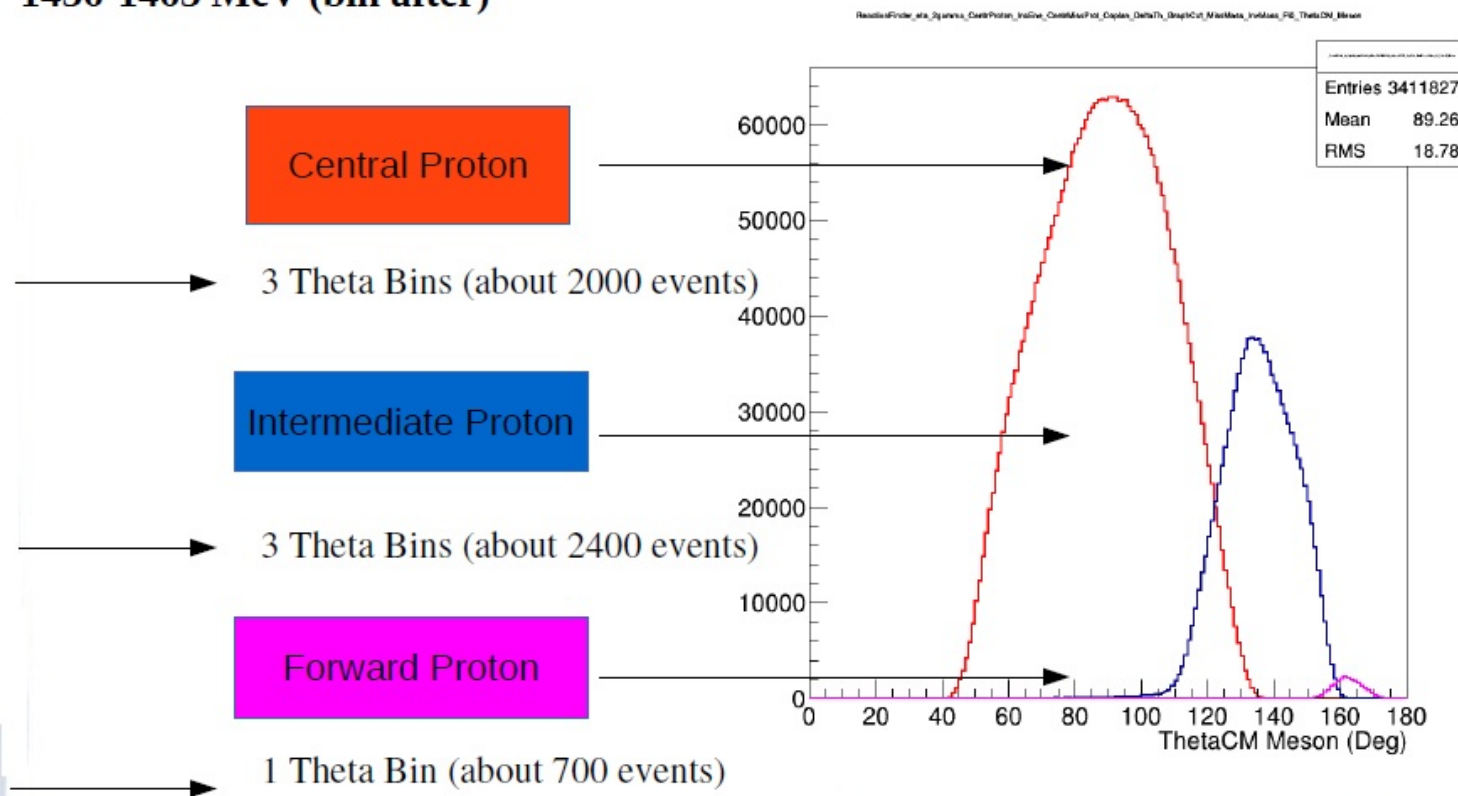
# Physics program

We analysed 3 energy bins around the threshold energy of eta' photoproduction:

1409-1436 MeV (bin before)

1409-1436 MeV (threshold energy bin)

1436-1463 MeV (bin after)



## Extraction of the asymmetry

In the hypothesis that the two polarization states have different degrees of polarization, we have:

$$N_{Pol+}^P = F_{Pol+}^P \left( \frac{d\sigma}{d\Omega} \right)_{UNP} \varepsilon(\phi) N_{SC} \left( 1 + P_{Pol+}^P \Sigma \cdot \cos(2\phi) \right) \quad (1)$$

*P = period*

$$N_{Pol-}^P = F_{Pol-}^P \left( \frac{d\sigma}{d\Omega} \right)_{UNP} \varepsilon(\phi) N_{SC} \left( 1 - P_{Pol-}^P \Sigma \cdot \cos(2\phi) \right) \quad (2)$$

If we extract the asymmetry from the usual ratio:

$$\frac{\frac{N_{Pol+}^P}{F_{Pol+}^P}}{\frac{N_{Pol+}^P}{F_{Pol+}^P} + \frac{N_{Pol-}^P}{F_{Pol-}^P}} = \frac{1 + P_{Pol+}^P \Sigma \cdot \cos(2\phi)}{2 + (P_{Pol+}^P - P_{Pol-}^P) \Sigma \cdot \cos(2\phi)} \quad (3)$$

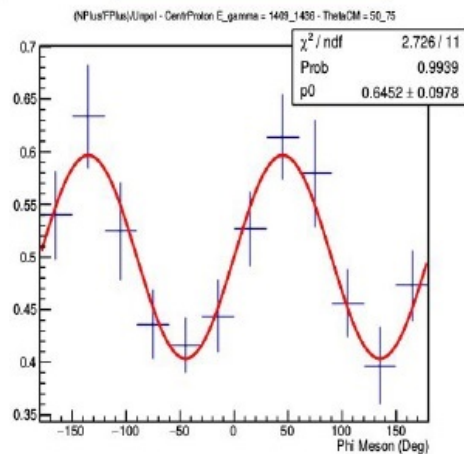
We get a behaviour which depends on phi also in the denominator. This depends on the fact that the denominator is not proportional to the unpolarized cross section.

The unpolarized can be defined as:

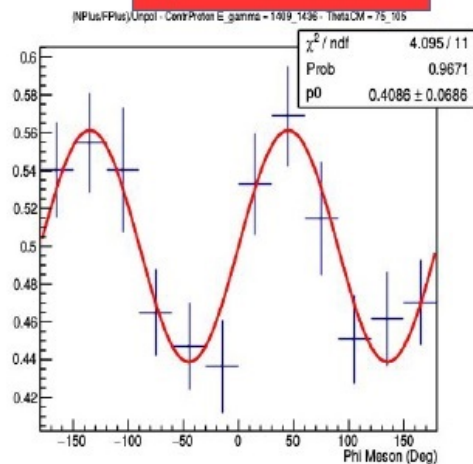
$$\frac{N_{UNP}^P}{F_{UNP}^P} = \frac{1}{2} \frac{1}{P_{Pol+}^P + P_{Pol-}^P} \left( P_{Pol-}^P \frac{N_{Pol+}^P}{F_{Pol+}^P} + P_{Pol+}^P \frac{N_{Pol-}^P}{F_{Pol-}^P} \right) \quad (4)$$

## CENTRAL PROTON – $E_\gamma = 1409-1436$ MeV

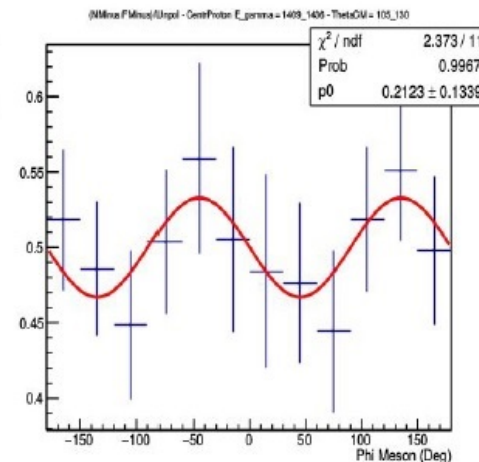
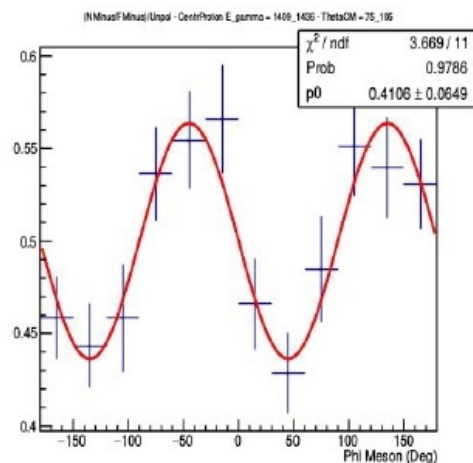
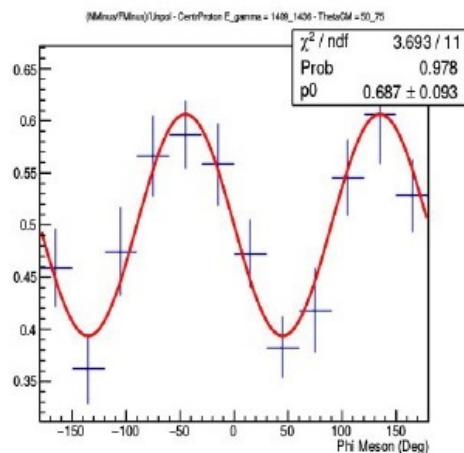
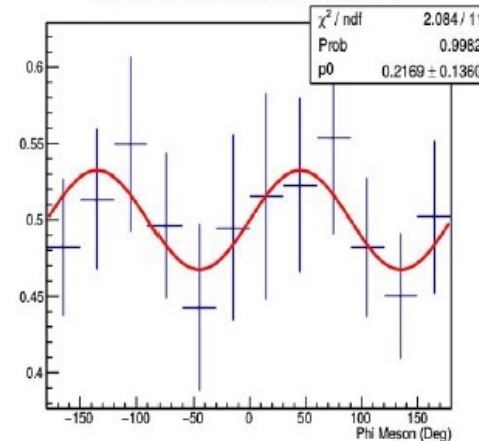
$\theta_\pi^{\text{CM}} = 50^\circ - 75^\circ$



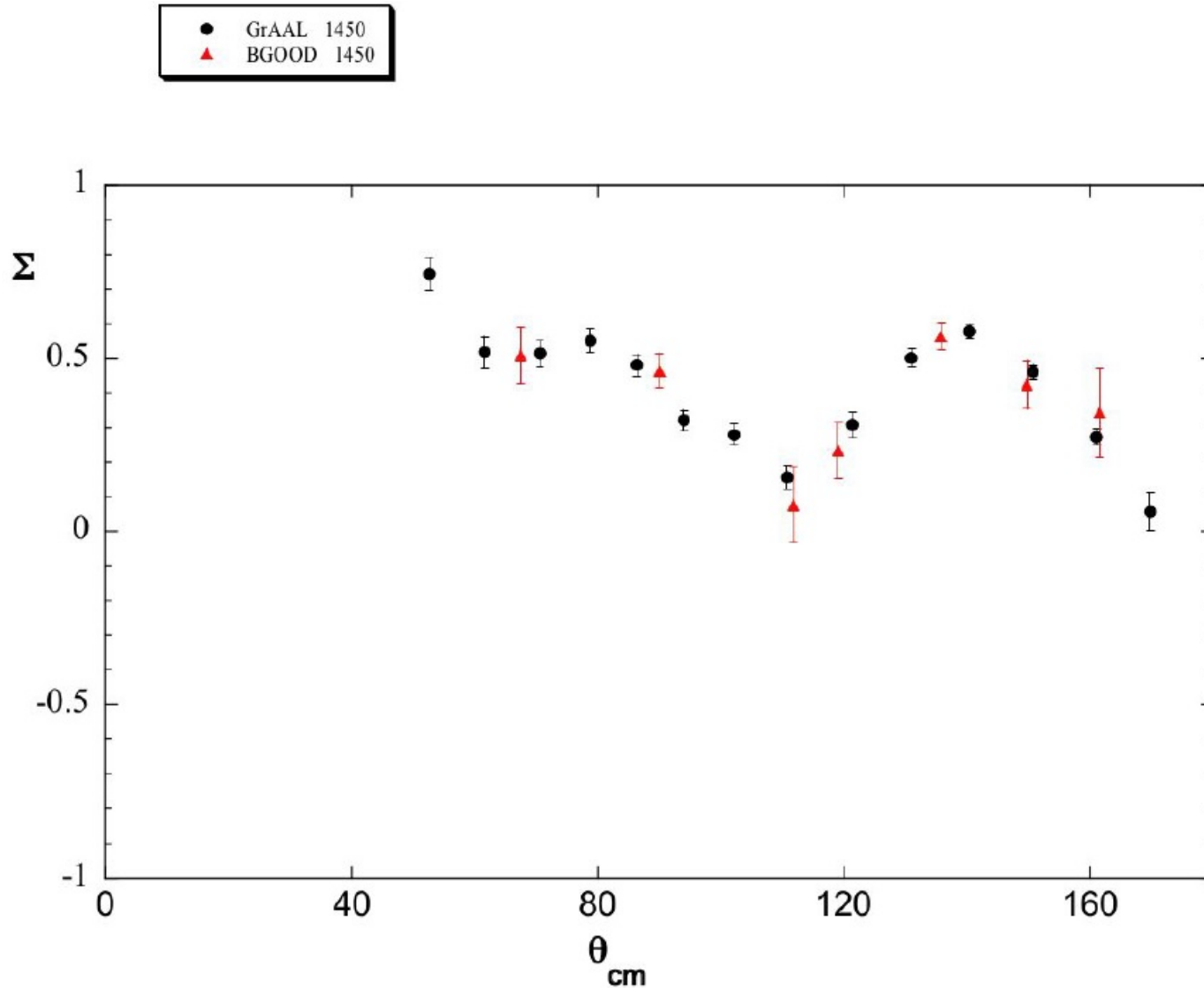
$\theta_\pi^{\text{CM}} = 75^\circ - 105^\circ$



$\theta_\pi^{\text{CM}} = 105^\circ - 130^\circ$



# Physics program



## Summary

- **CB-ELSA:** 2 статьи, модернизация установки, первый набор осенью 2017 г.
- **CB-ELSA:** испытана система воздушного охлаждения СВ.
- **BGO-OD:** первый набор физических данных, публикация в 2018 г.
- **BGO-OD:** подготовлена публикация в NIM (февраль)

**С наступающим Новым годом.**

**Всем здоровья и научных успехов в 2018 году!**