

**ЭКСПЕРИМЕНТ R3B**  
**НА УСКОРИТЕЛЬНОМ КОМПЛЕКСЕ**  
**FAIR ( DARMSTADT, GERMANY)**



# Статус проекта FAIR

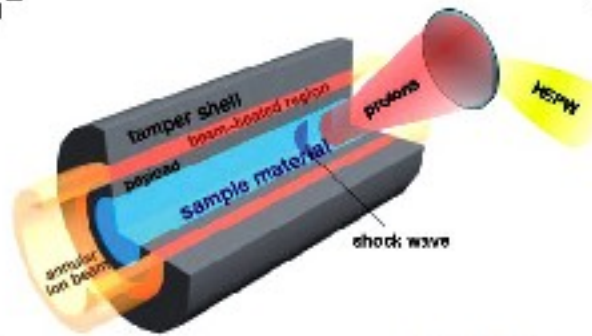
*(Facility for Antiproton and Ion  
Research)*



Austria China Finland France Germany Greece India Italy Poland Slovakia Slovenia Spain Sweden Romania Russia UK



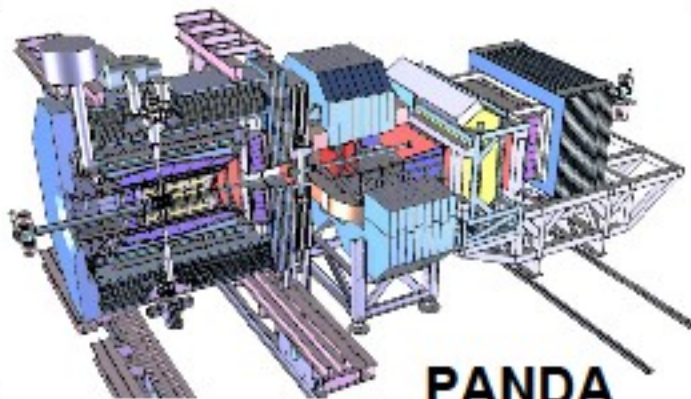
# FAIR Experiments



APPA



CBM



PANDA

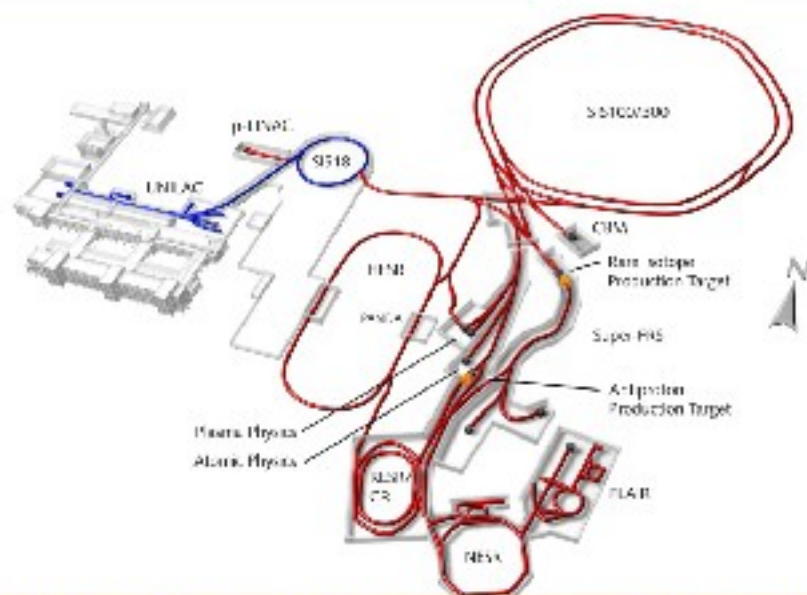


Super-FRS

NuSTAR

**FAIR – Facility for Antiproton and Ion Research** – принятый к осуществлению международный проект в GSI, Дармштадт.

**Страны-участники** – Австрия, Китай, Финляндия, Франция, Германия, Греция, Индия, Италия, Польша, Румыния, Россия, Словения, Словакия, Испания, Швеция, Англия



Существующий ускорительный комплекс GSI, содержащий линейный ускоритель UNILAC, синхротрон тяжелых ионов SIS18, фрагмент-сепаратор FRS и накопительное кольцо HSR (показано серым), и новый проект, включающий двойное кольцо синхротронов SIS100/300, высокоэнергетичное накопительное кольцо HI-SR, коллекторное кольцо CR, новое накопительное кольцо NI-SR и фрагмент-сепаратор Super-FRS (показано красным)

Научная программа, одобренная интернациональным комитетом в 2006 г., содержит 4 направления (14 экспериментов):

**APPA** – атомная физика и физика плазмы, прикладные исследования в биологии и медицине, материаловедение

**CBM** – физика адронов и кварков в плотной ядерной материи, гиперядерная материя

**NuSTAR** – структура ядер, ядерные реакции, астрофизика, пучки радиоактивных ионов

**PANDA** – структура и спектроскопия адрона, странная и очарованная физика, гиперядерная физика на антипротонных пучках

### Первичные пучки

- $10^{12}/s$ , 1.5–2 GeV/u, ионы до  $^{238}\text{U}$
- $2 \times 10^{13}/s$ , 30 GeV, протоны
- вплоть до 90 GeV, протоны
- $10^{10}/s$ , 8 - 40 GeV/u, ионы до  $^{230}\text{U}$

### Вторичные пучки

- широкий набор радиоактивных пучков, 1.5–2 GeV/u
- антипротоны, 3 - 30 GeV

### Накопительные кольца

- радиоактивные пучки
- e-A коллайдер
- $10^{11}/s$ , накопленные и охлажденные антипротоны, 0.8–14.5 GeV

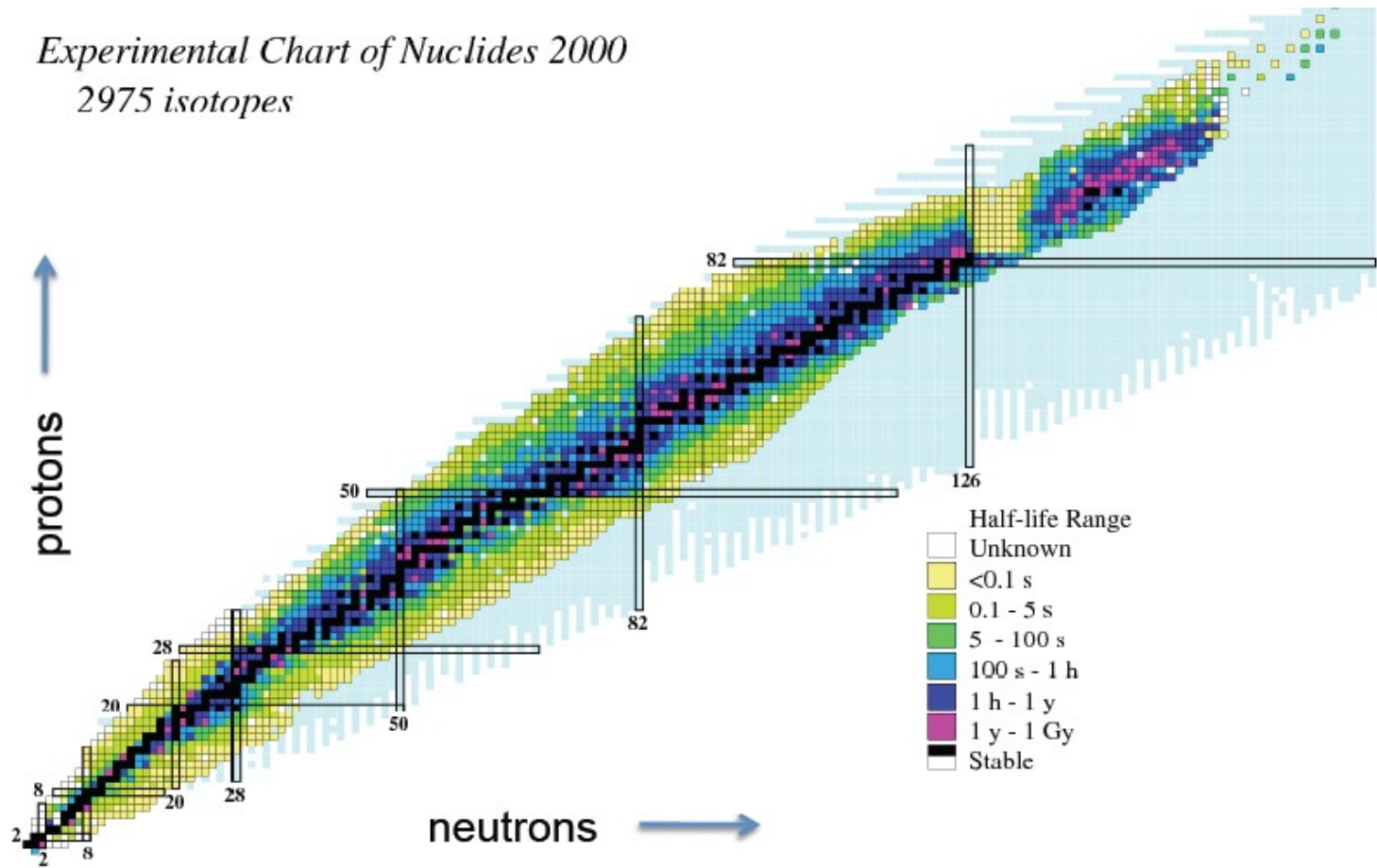




## Timeline

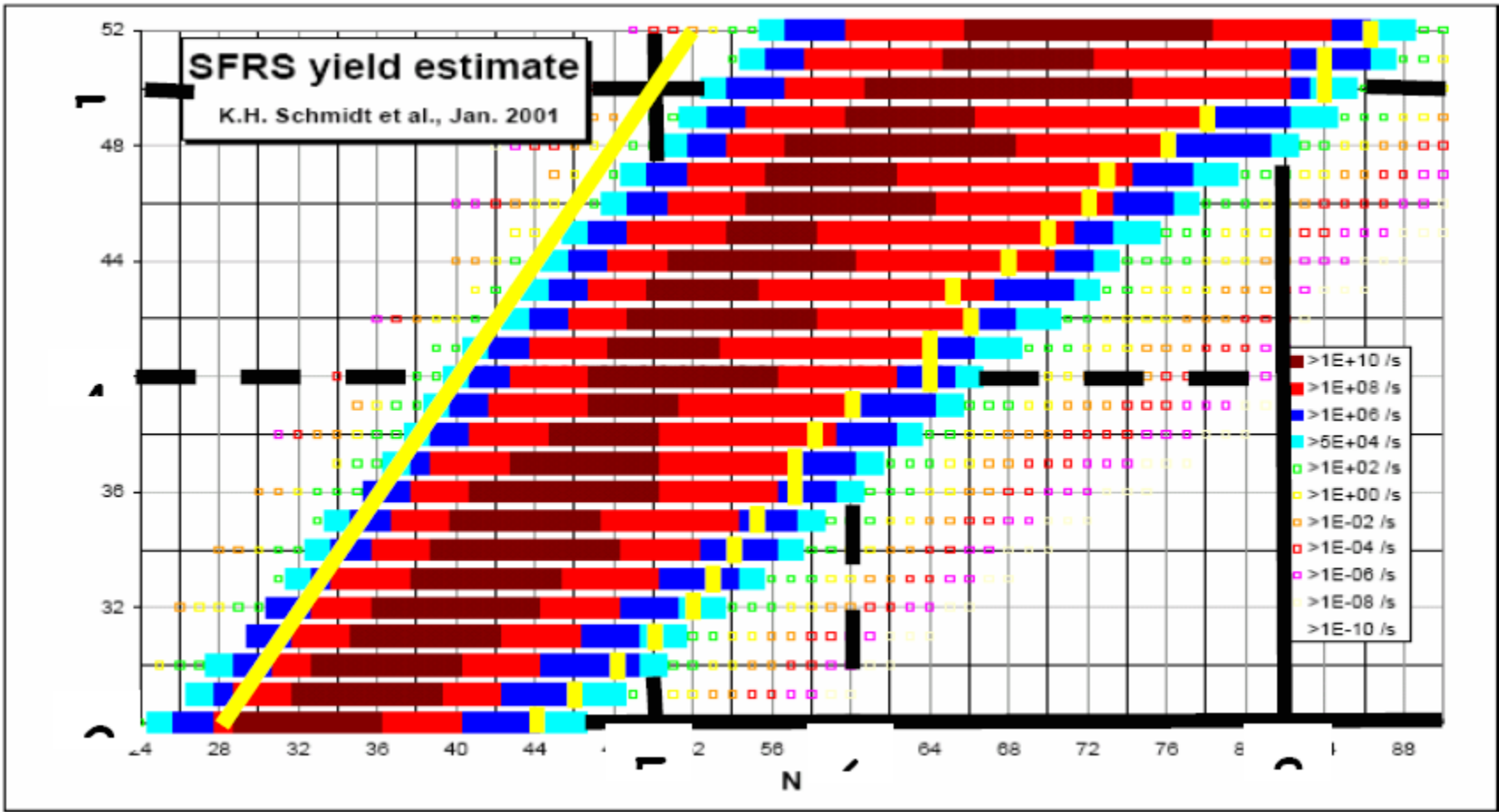


*Experimental Chart of Nuclides 2000*  
2975 isotopes



**GSI FAIR**

# RIB production Rates at FAIR



**R3B**

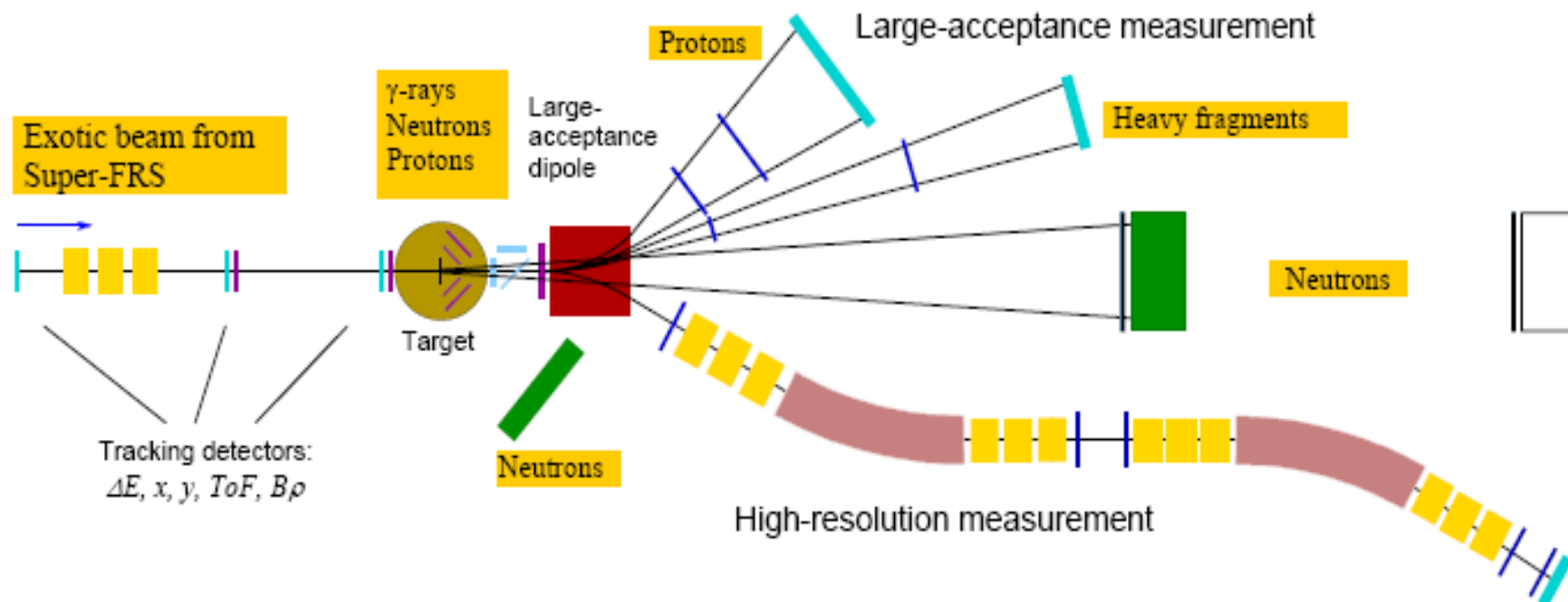
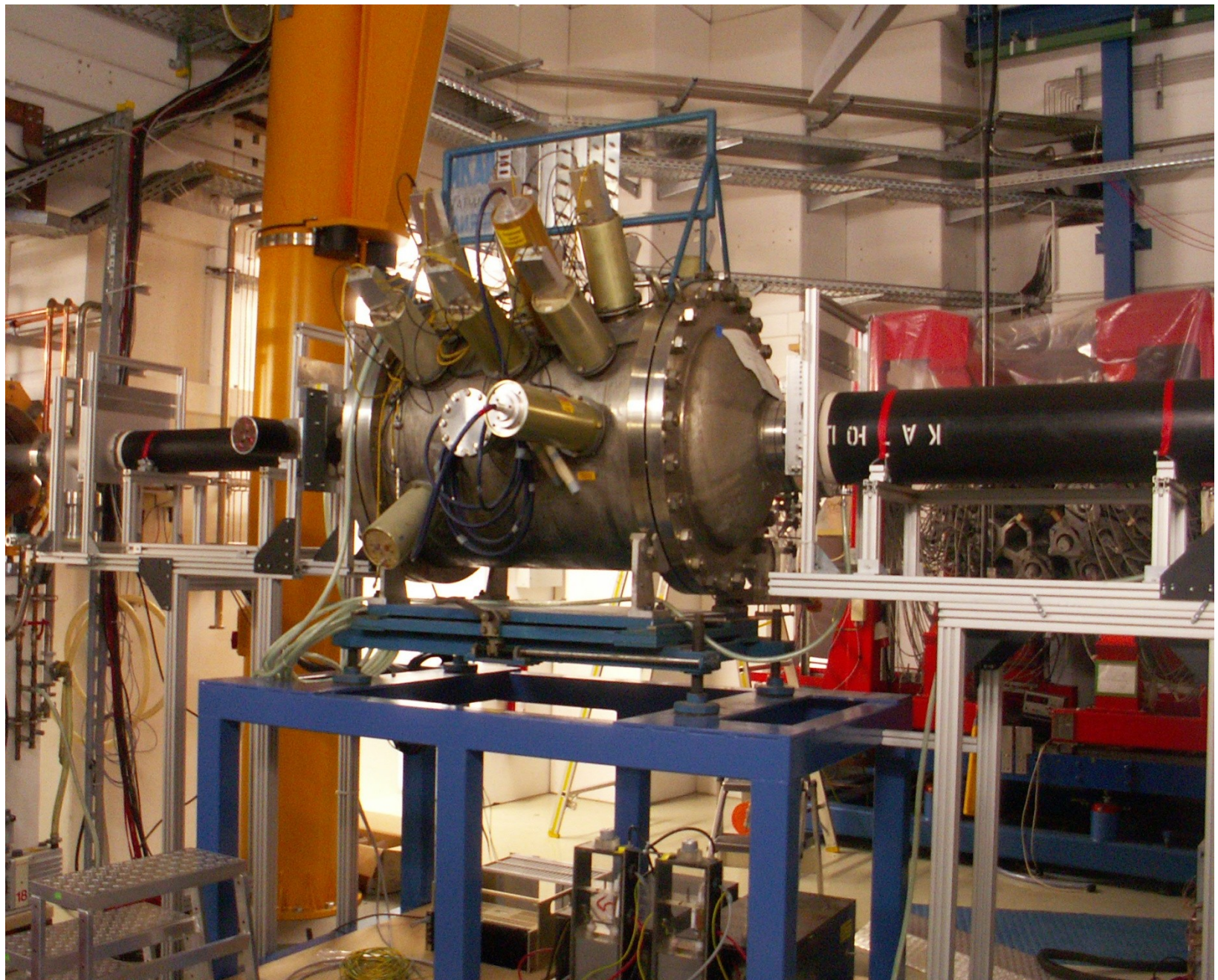


Figure 1: Schematic drawing of the experimental setup comprising  $\gamma$ -ray and target recoil detection, a large-acceptance dipole magnet, a high-resolution magnetic spectrometer, neutron and light-charged particle detectors, and a variety of heavy-ion detectors.

**Russian participation:**

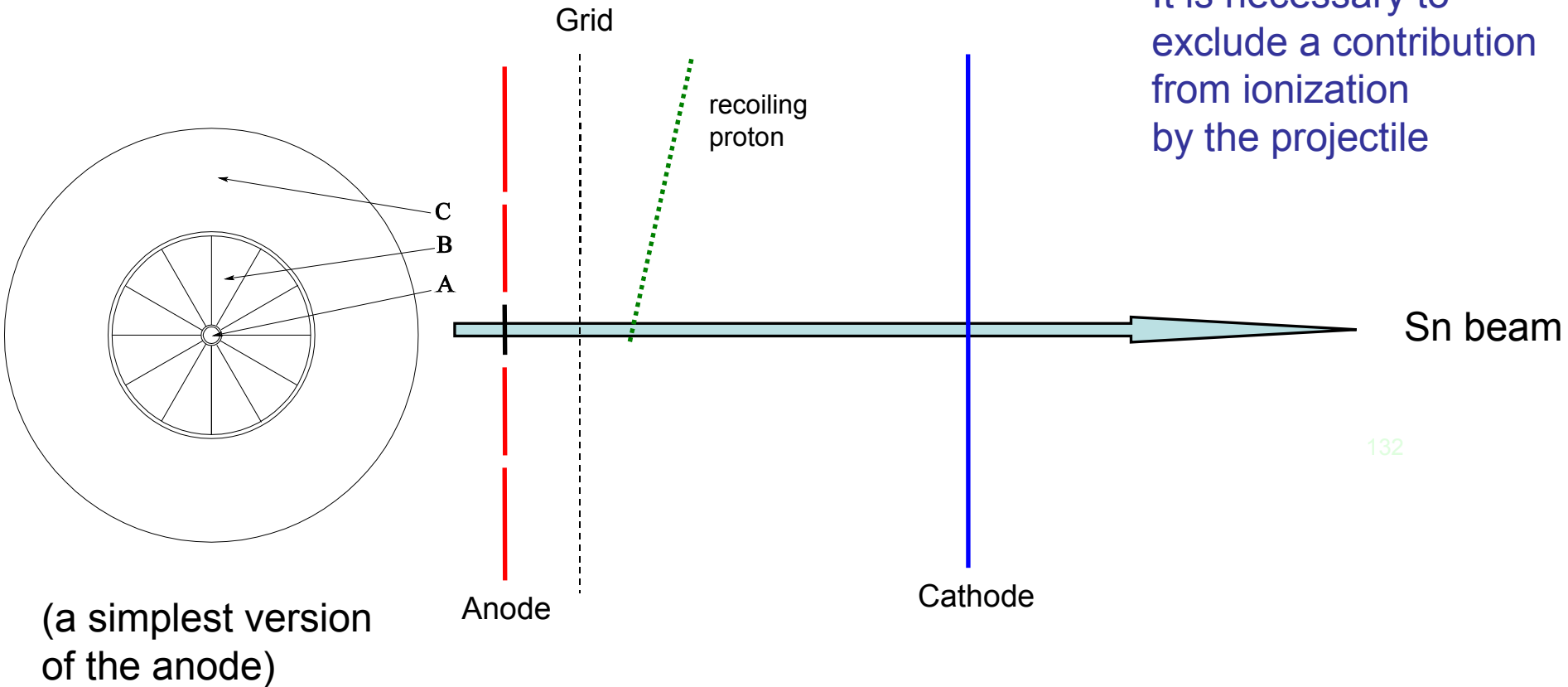
**Neutron detector, gamma spectrometer, active target.**





# New IKAR chamber

It is necessary to exclude a contribution from ionization by the projectile



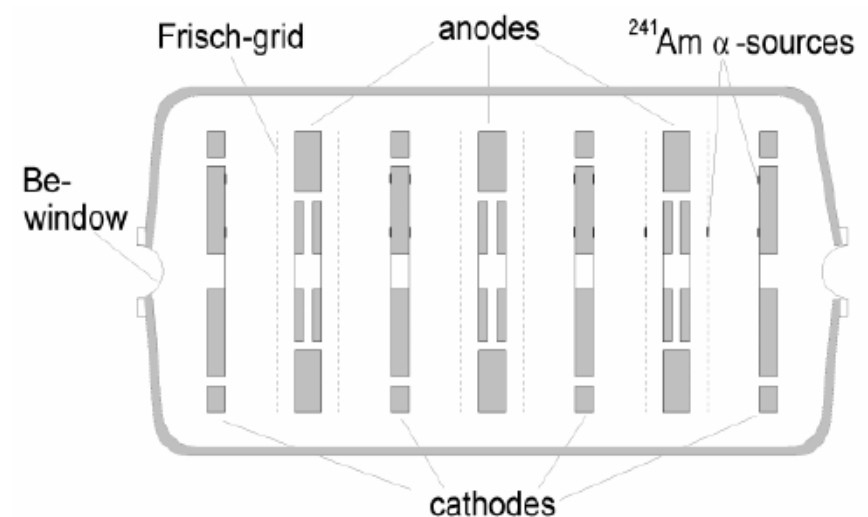
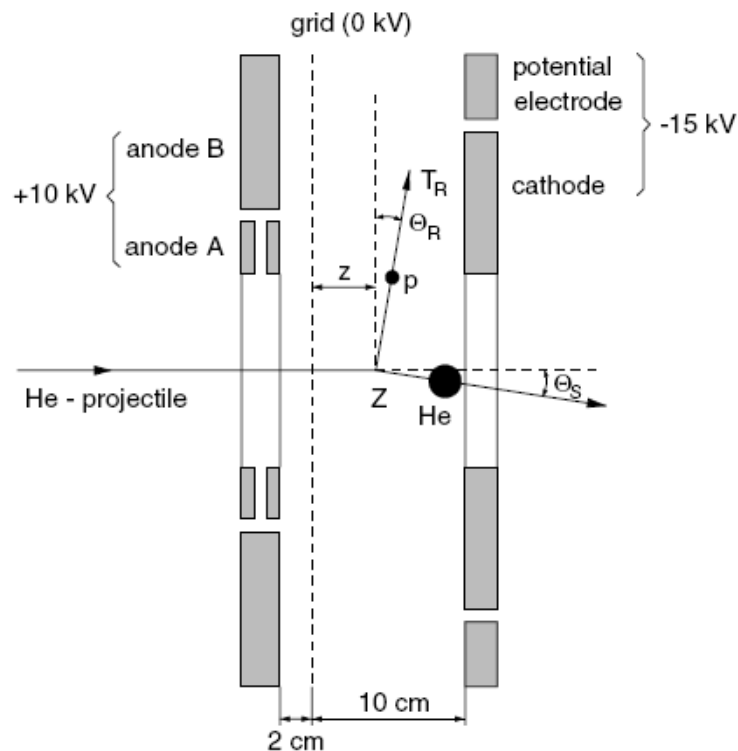
(a simplest version of the anode)

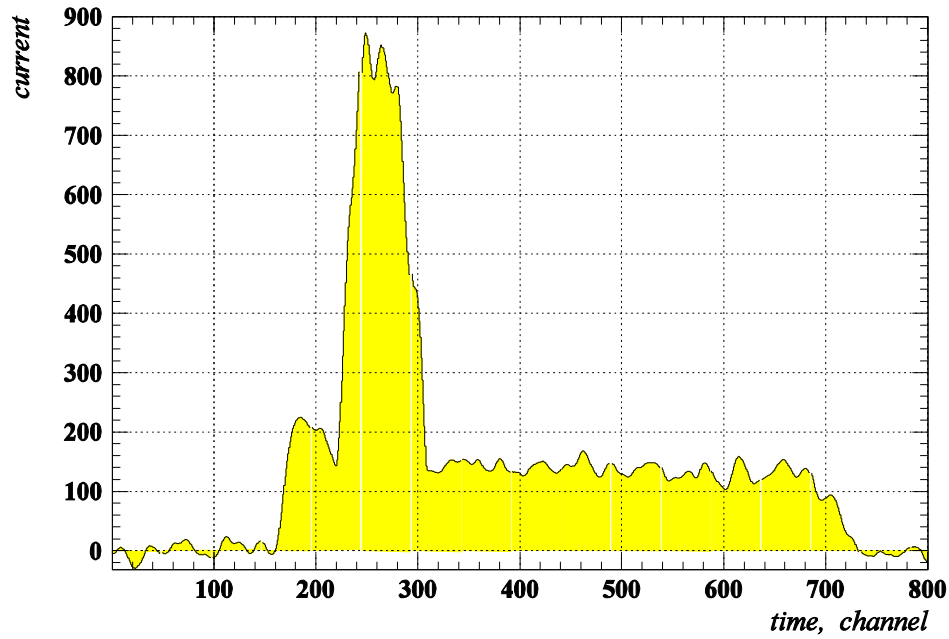
A correction on the energy lost in the central dead region



IKAR has been already used to study pHe, pLi, pBe, pB and pC elastic scattering

**new IKAR can be used at FAIR for studies of small angular p-A and He-A elastic and inelastic scattering for heavier A (studies at small momentum transfers)**





**Signal from the recoil proton and the pedectal  
signal from the projectile nucleus  $^{17}\text{C}$ .**

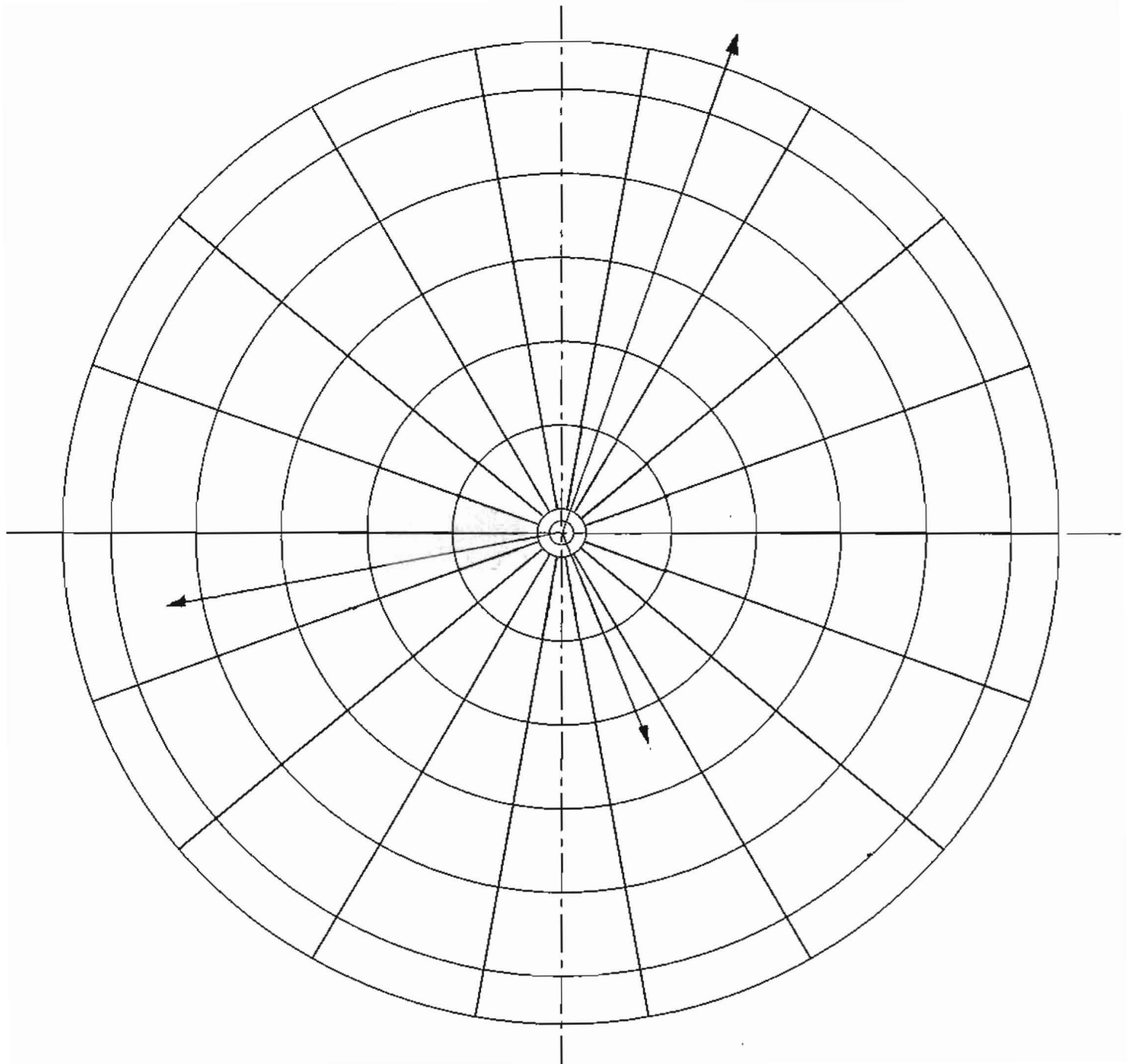


Farouk Aksouh

	Be 500 um	H2 50 cm	H2 1 m	P (bar)
$\Delta E$	3.59	0.45	0.89	1
$\delta E$	0.1270	0.1338	0.14	
$\delta\vartheta$	0.4328	0.4439	0.4547	
$\Delta E$	3.59	4.43	8.85	10
$\delta E$	0.1270	0.1834	0.2258	
$\delta\vartheta$	0.4328	0.5339	0.6195	
$\Delta E$	3.59	8.85	17.7	20
$\delta E$	0.1270	0.2259	0.2925	
$\delta\vartheta$	0.4328	0.6195	0.7646	

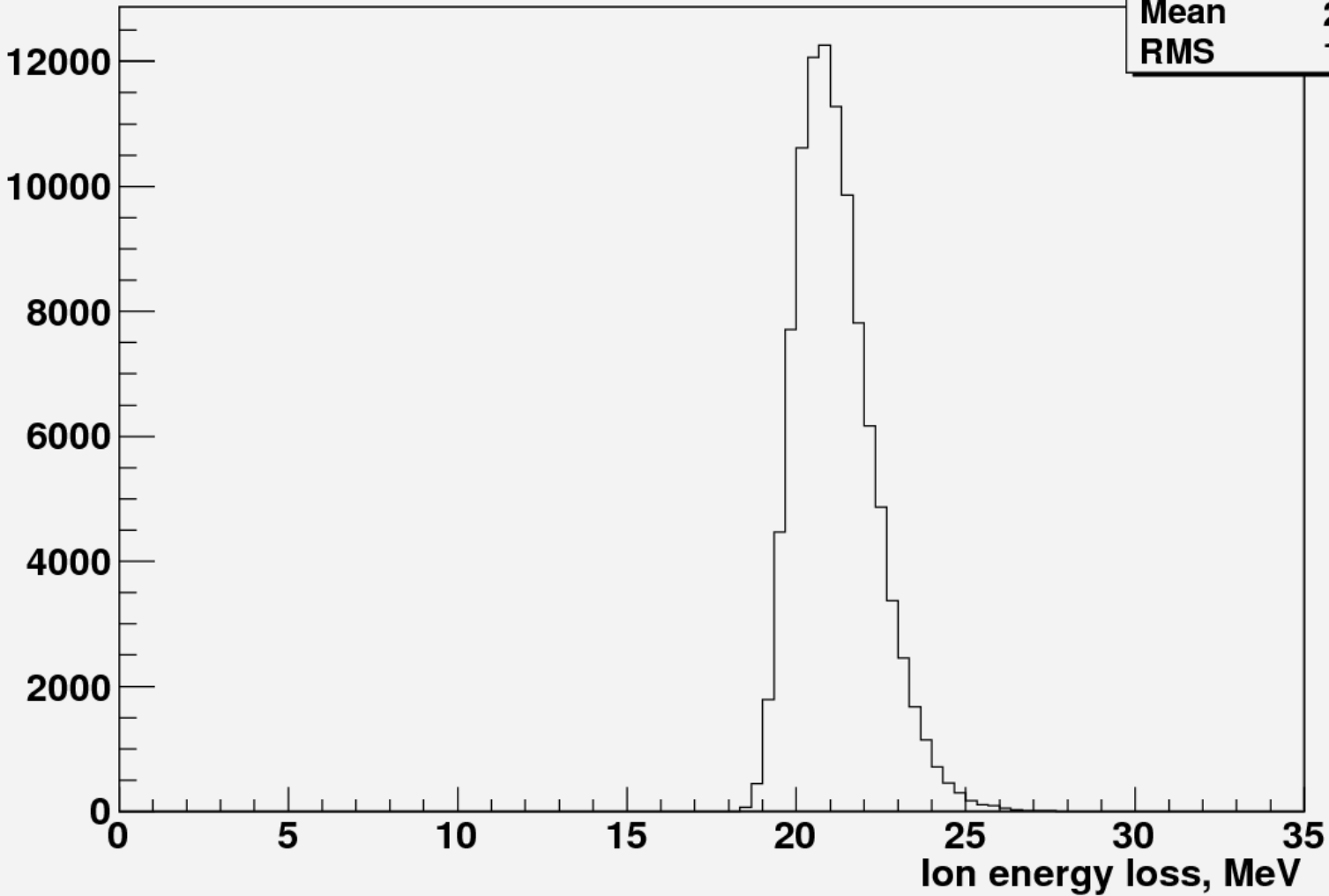
$\Delta E$  [MeV/u]  
 $\delta E$  [MeV/u]  
 $\delta\theta$  [mrad] - cumulative

Energy loss and straggling for a **Sn132** beam at 700 MeV/u





**Events**



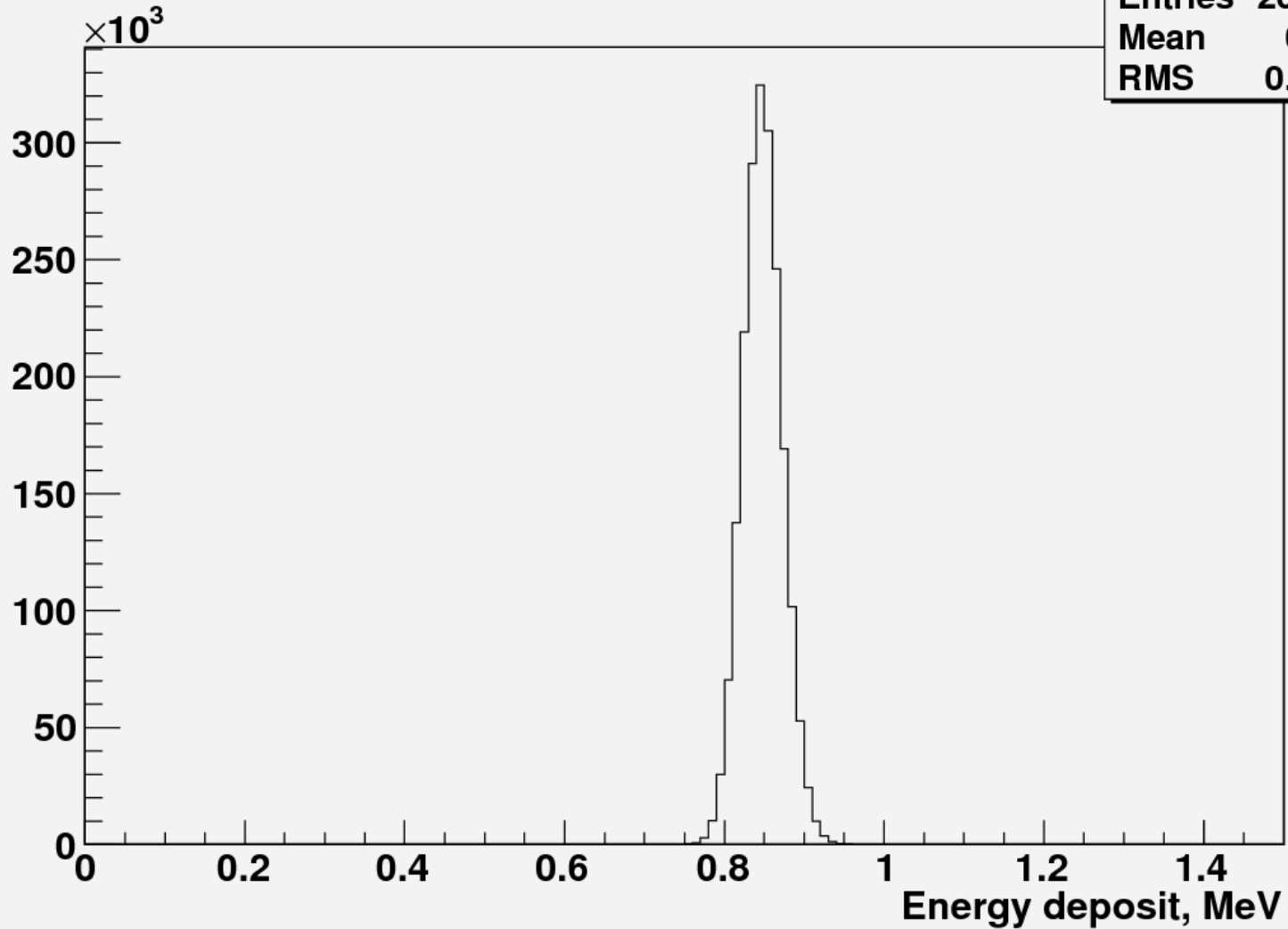
**A1.01.01**

<b>Entries</b>	<b>100000</b>
<b>Mean</b>	<b>21.17</b>
<b>RMS</b>	<b>1.156</b>

**Hits. Ring #1**

**A1.01.09**

Entries	200000
Mean	0.8479
RMS	0.02449

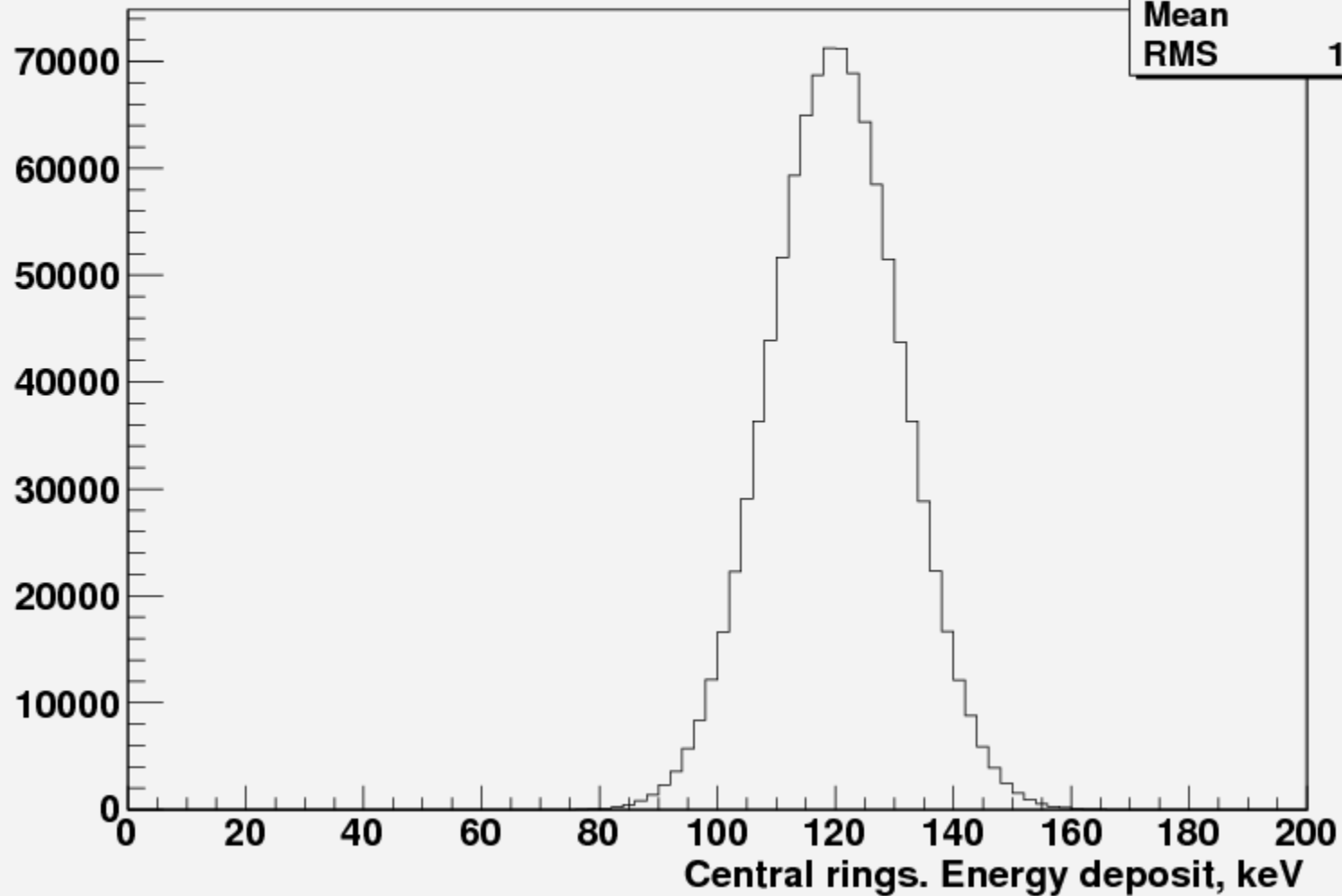




## Middle layer events

C1.01.06

Entries	998944
Mean	120
RMS	11.13



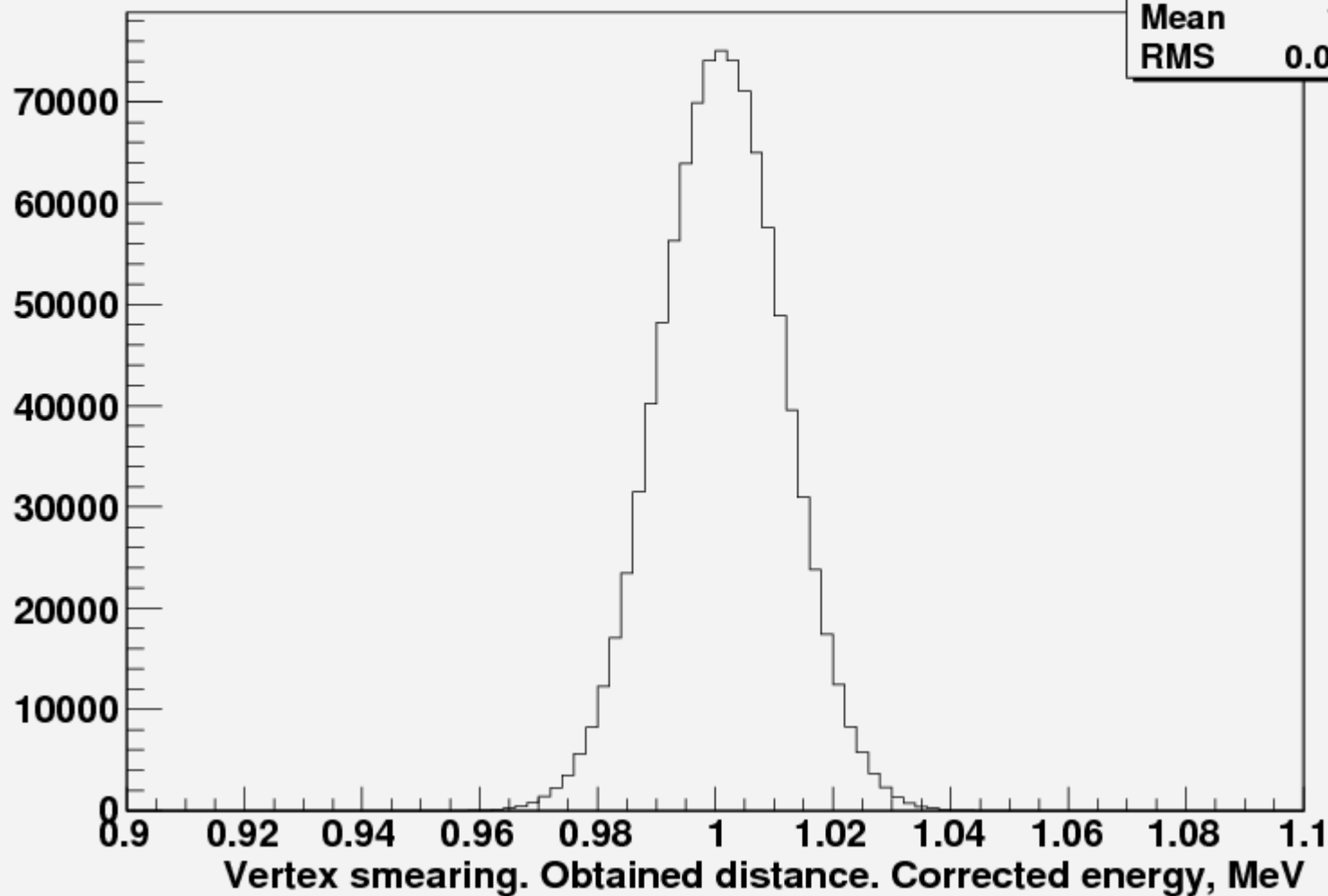
**1 atm, 1 MeV. Middle layer events**

**Hist.02.03**

**Entries 999001**

**Mean 1.001**

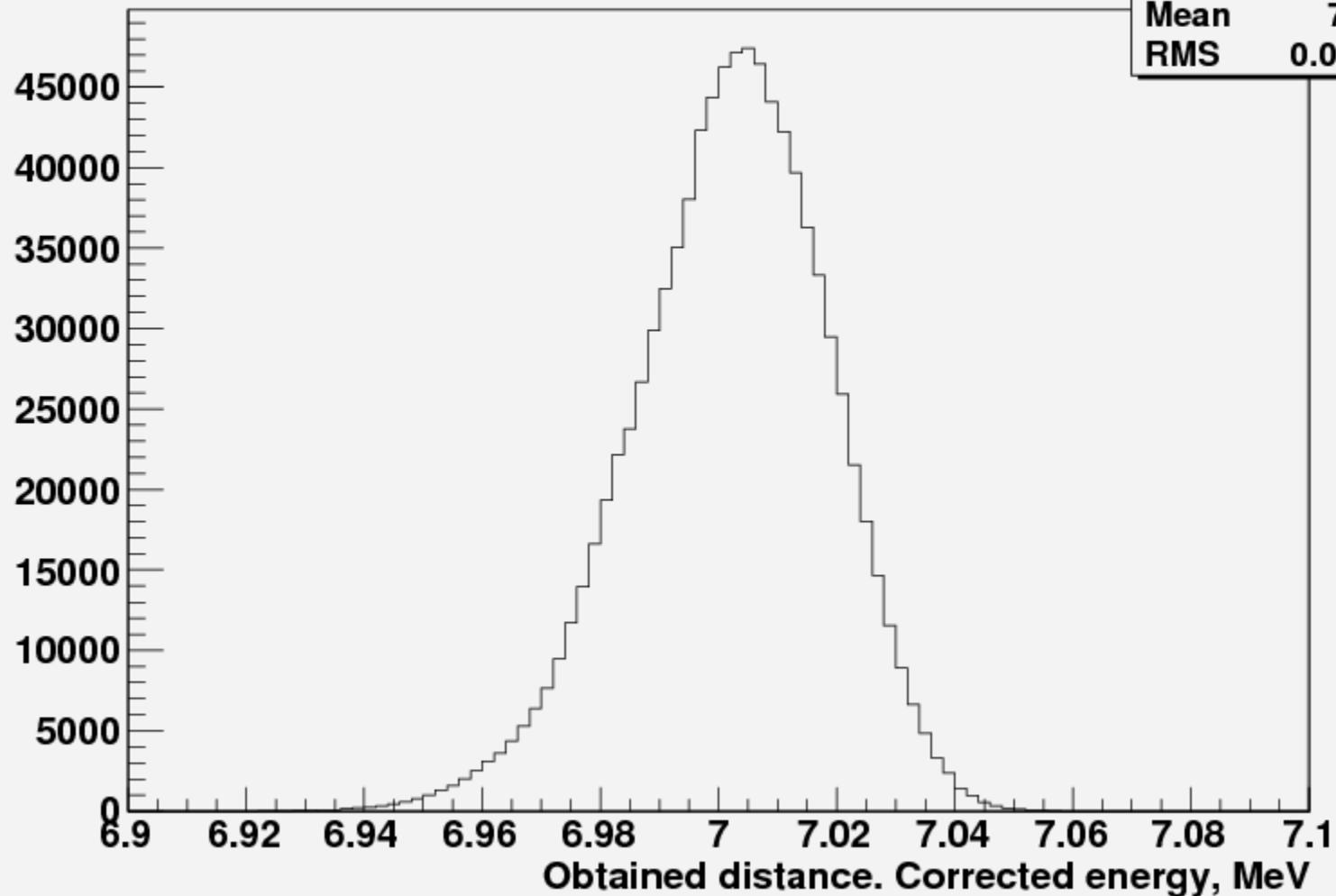
**RMS 0.01053**



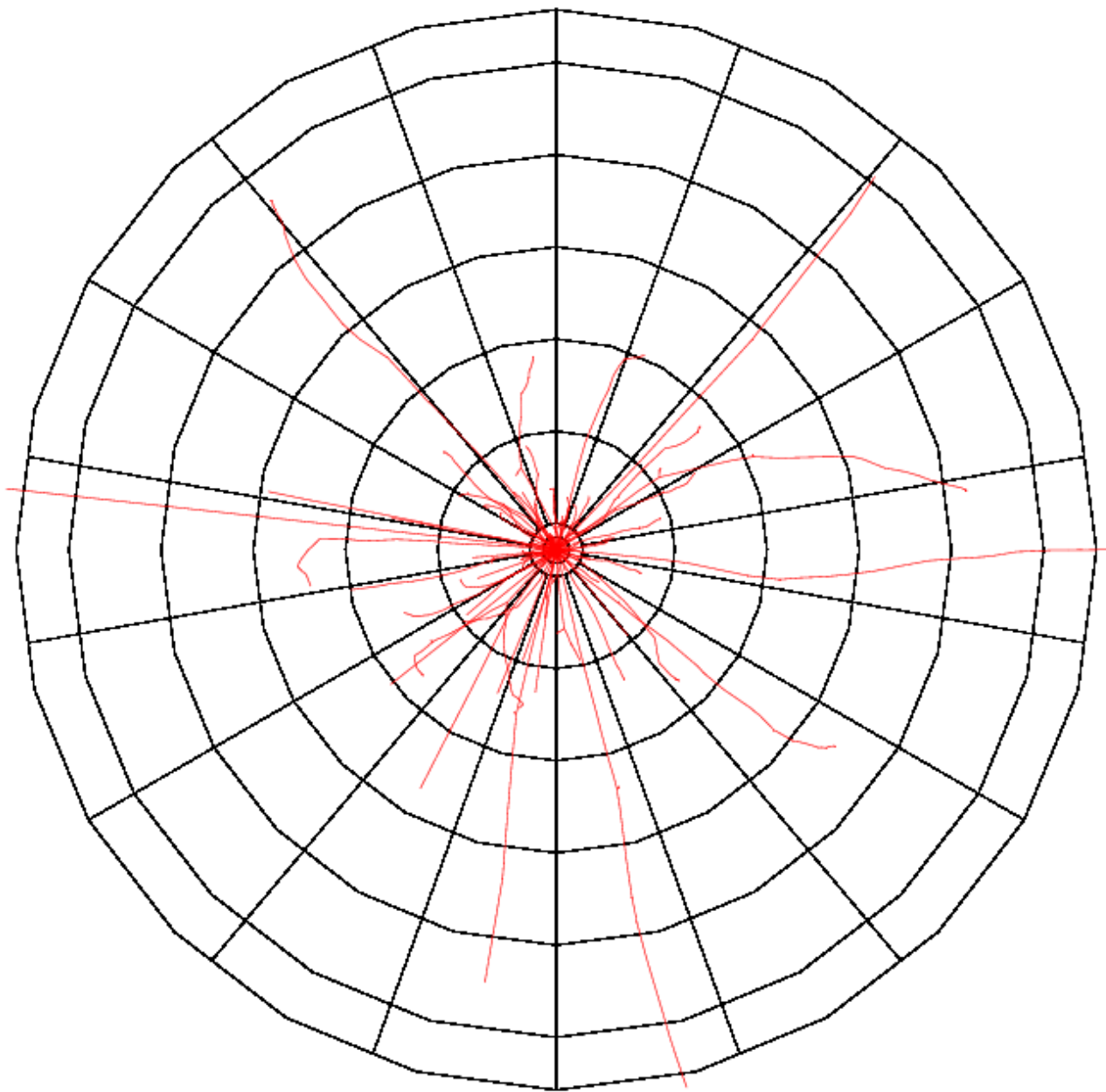
10 atm, 7 MeV. Middle layer events

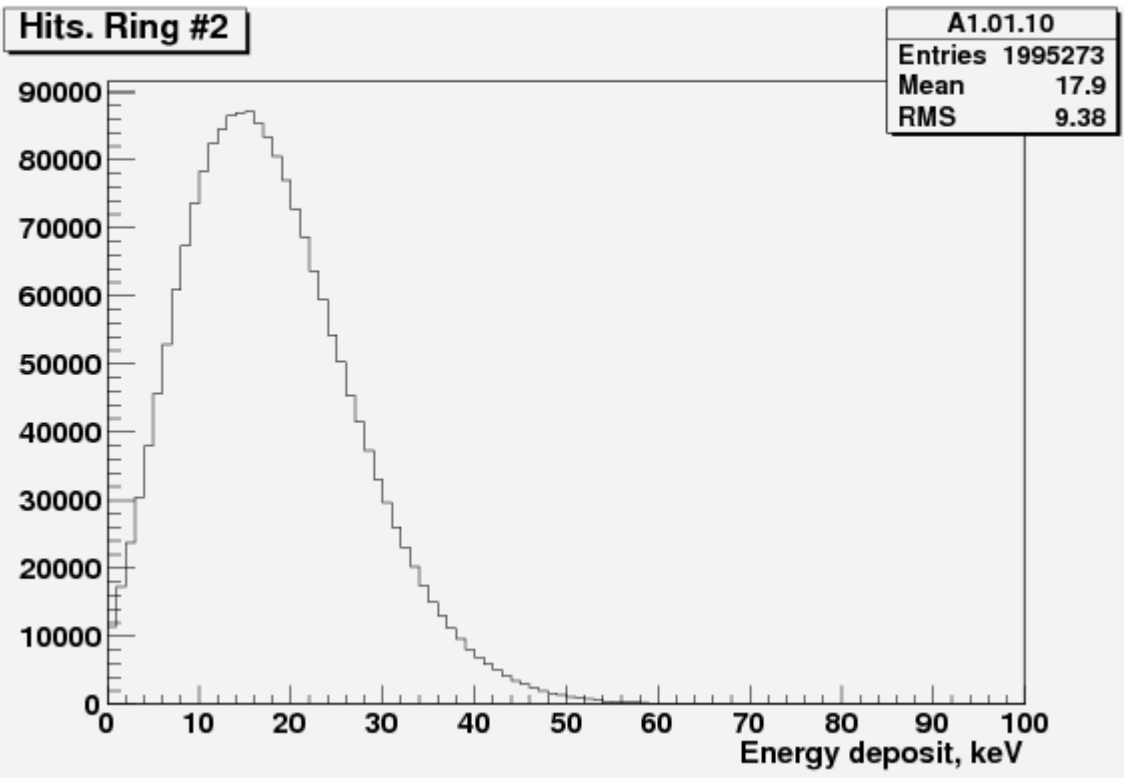
Hist.08.01

Entries	941906
Mean	7.002
RMS	0.01657

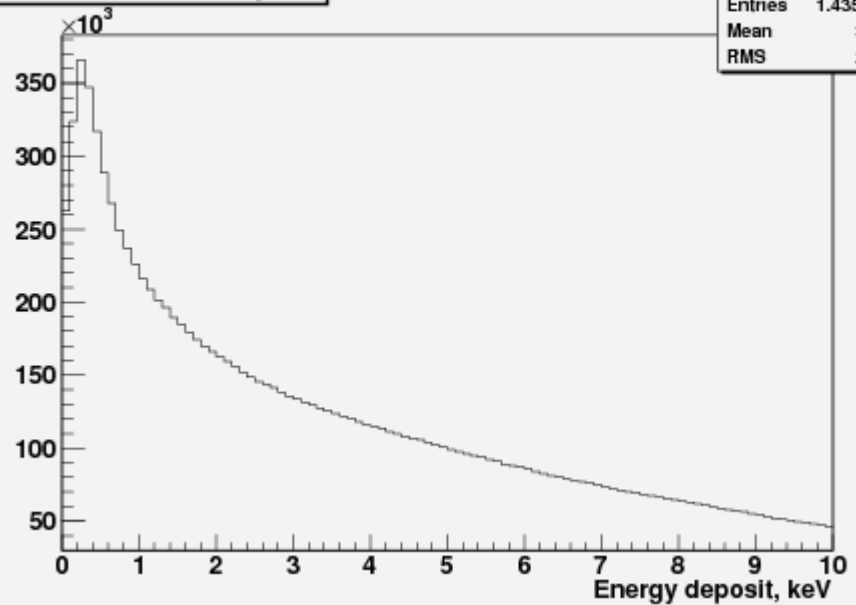








Hits. Sectors of ring #3

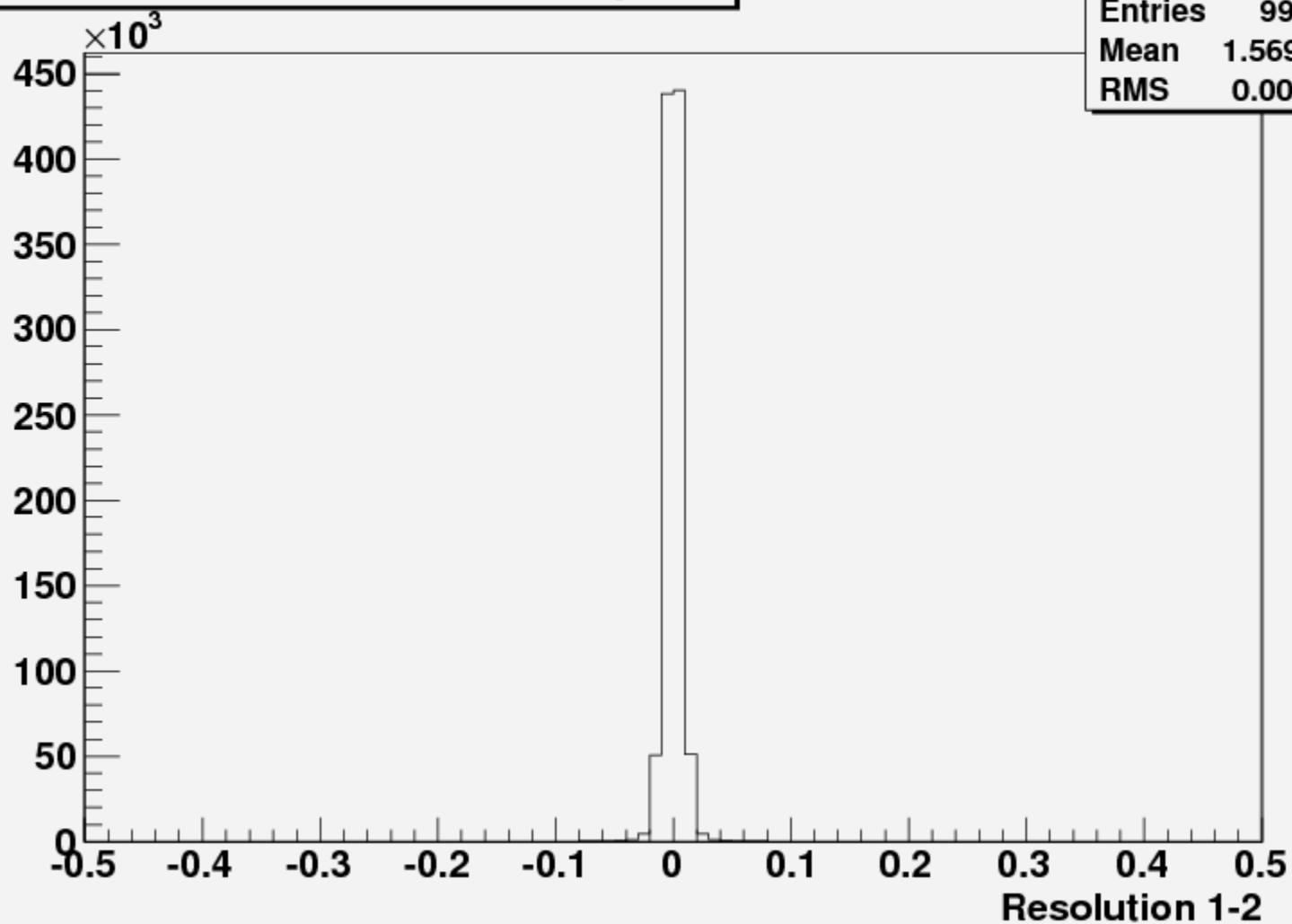


A1.01.12	
Entries	1.435e+07
Mean	3.493
RMS	2.763

1 atm, 1 MeV. Events. Last ring #2.

Hist.02.01

Entries	993596
Mean	1.569e-05
RMS	0.007513

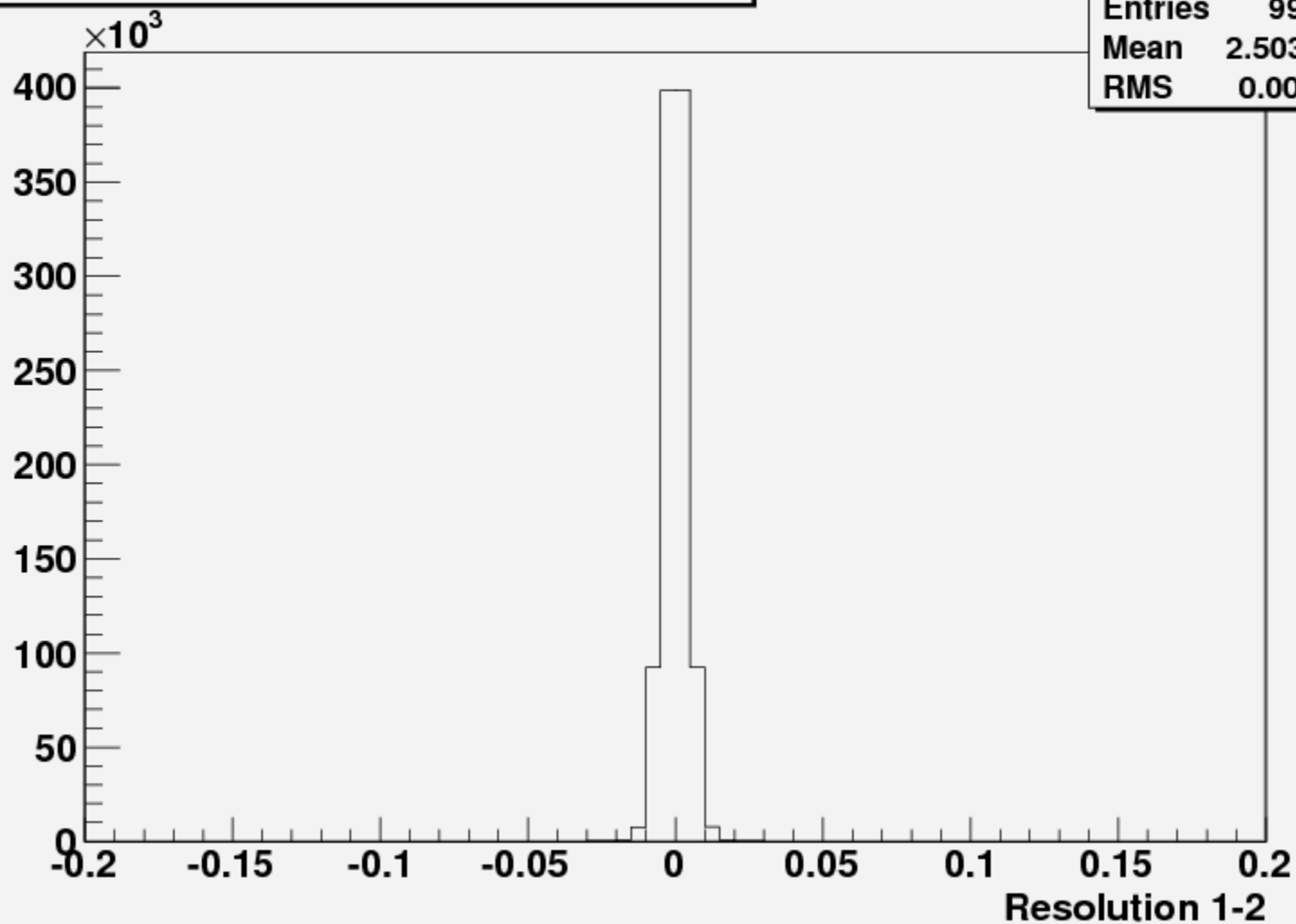




10 atm, 7 MeV. Events. Last ring #5

Hist.08.01

Entries	999861
Mean	2.503e-06
RMS	0.004082



# (He,He') inelastic scattering

Active target from PSI muon capture experiment (MuCap).

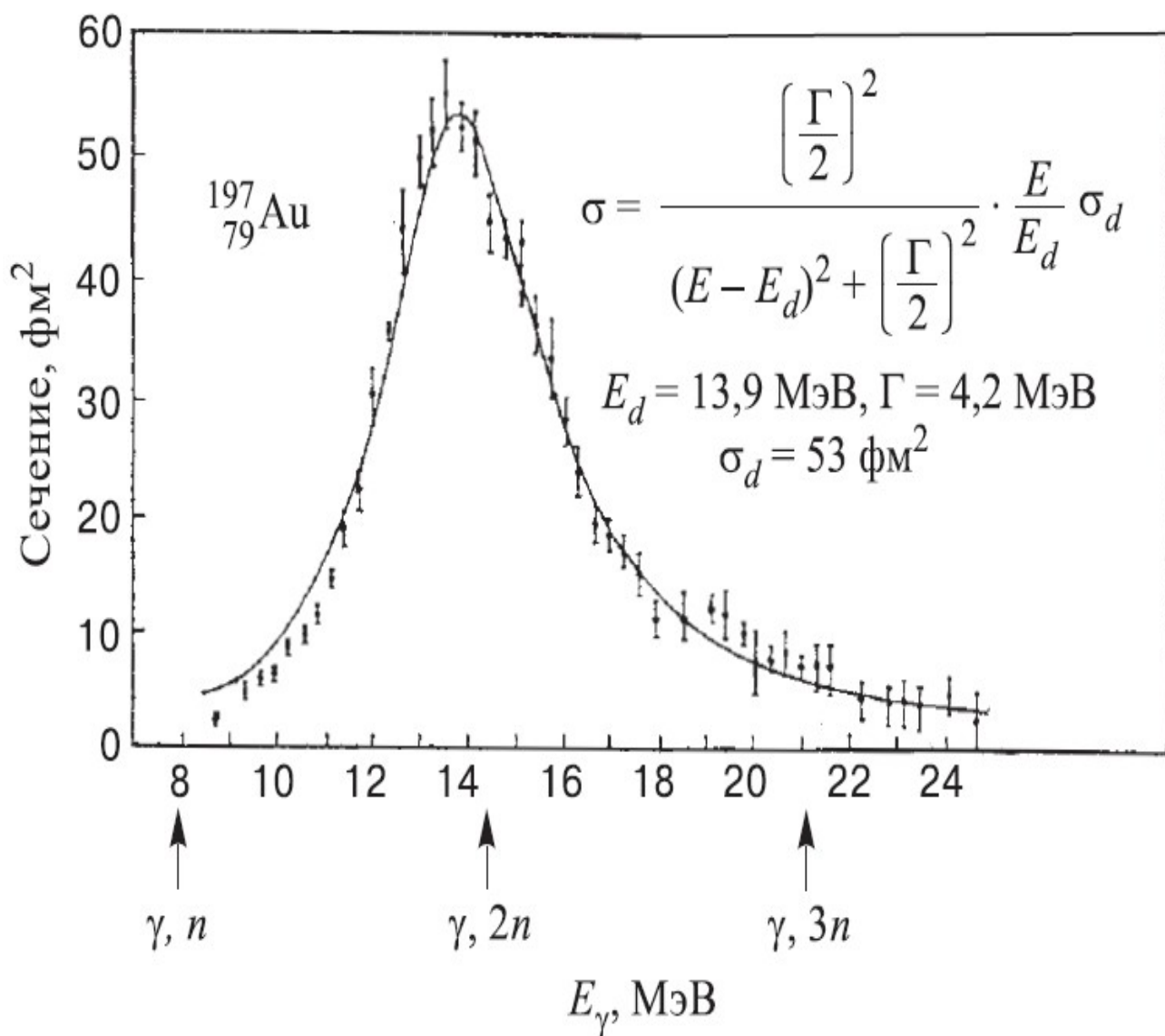
PNPI TPC in coincidence with Gamma spectrometer (CALIFA).

# GIANT RESONANCE

- Collective oscillations of all protons and all neutrons in nucleus in phase (isoscalar) or out of phase (isovector).
- Characterized by multipolarity, spin and isospin.

	$\Delta S=0, \Delta T=0$	$\Delta S=0, \Delta T=1$	$\Delta S=0, \Delta T=1$	$\Delta S=1, \Delta T=1$	$\Delta S=1, \Delta T=1$
L=0: Monopole	ISGMR $r^2 Y_0$	IAS $\tau Y_0$	IVGMR $\tau^2 Y_0$	GTR $\tau \sigma Y_0$	IVSGMR $\tau \sigma r^2 Y_0$
L=1: Dipole			IVGDR $\tau r Y_1$		IVSGDR $\tau \sigma r Y_1$
L=2: Quadrupole	ISGQR $r^2 Y_2$		IVGQR $\tau^2 Y_2$		IVSGQR $\tau \sigma r^2 Y_2$

гии связи,  $M$  — масса нуклона.





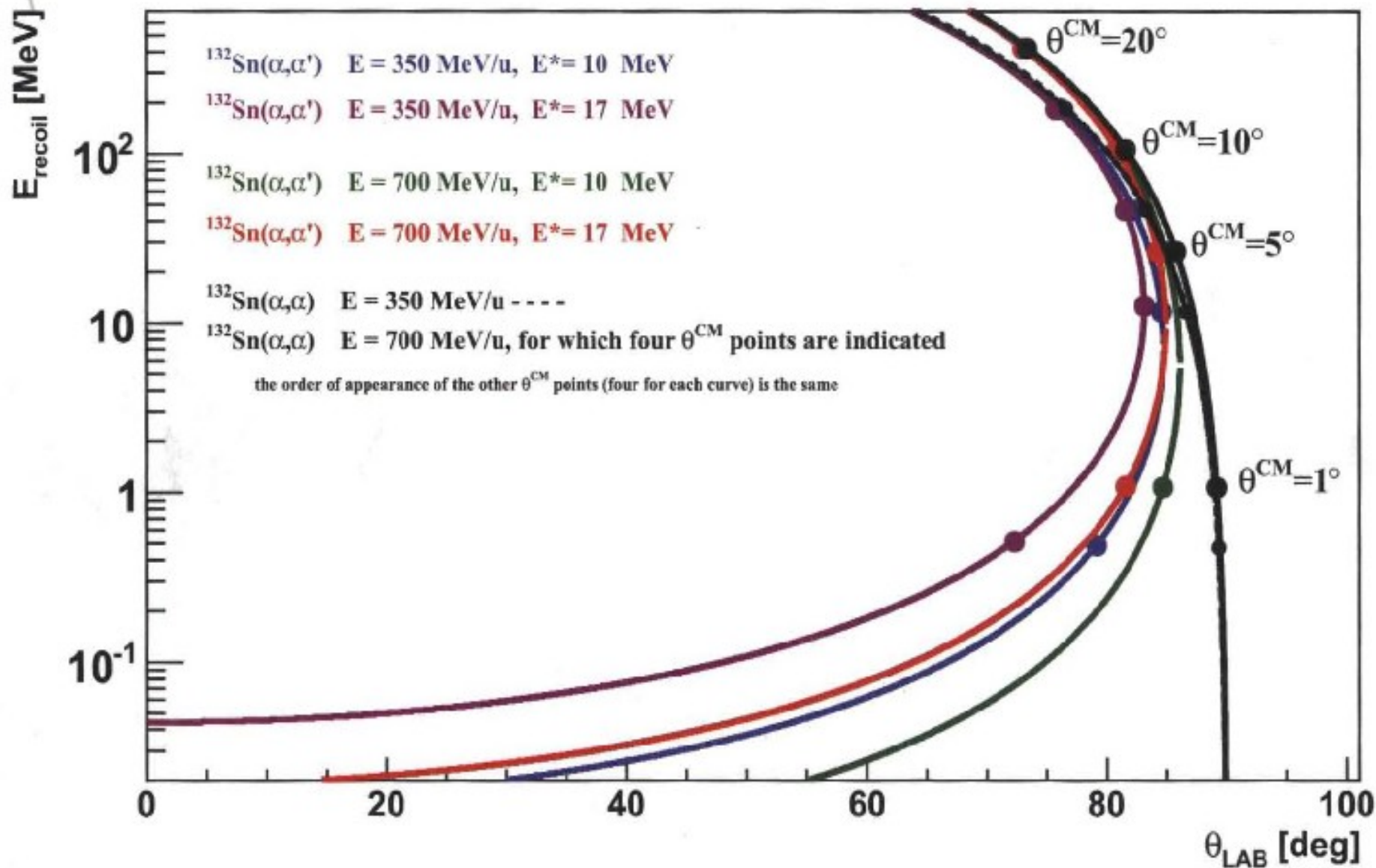
## Why ISGDR (ISGMR) and how?

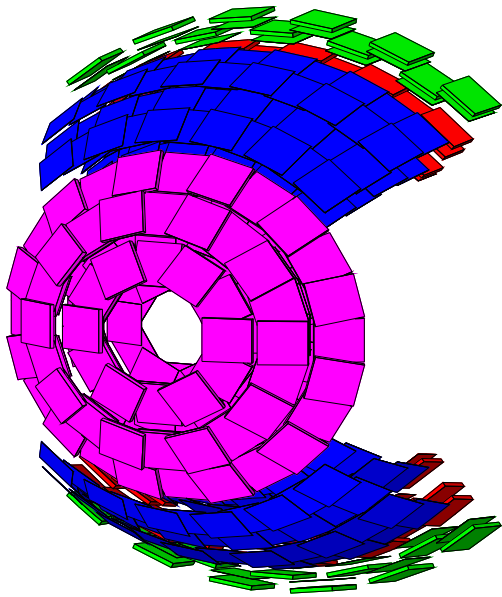
- Provides to determine experimentally the nucleus incompressibility.

$$E_{ISGMR} = \hbar \sqrt{\frac{K_A}{m \langle r^2 \rangle}}$$

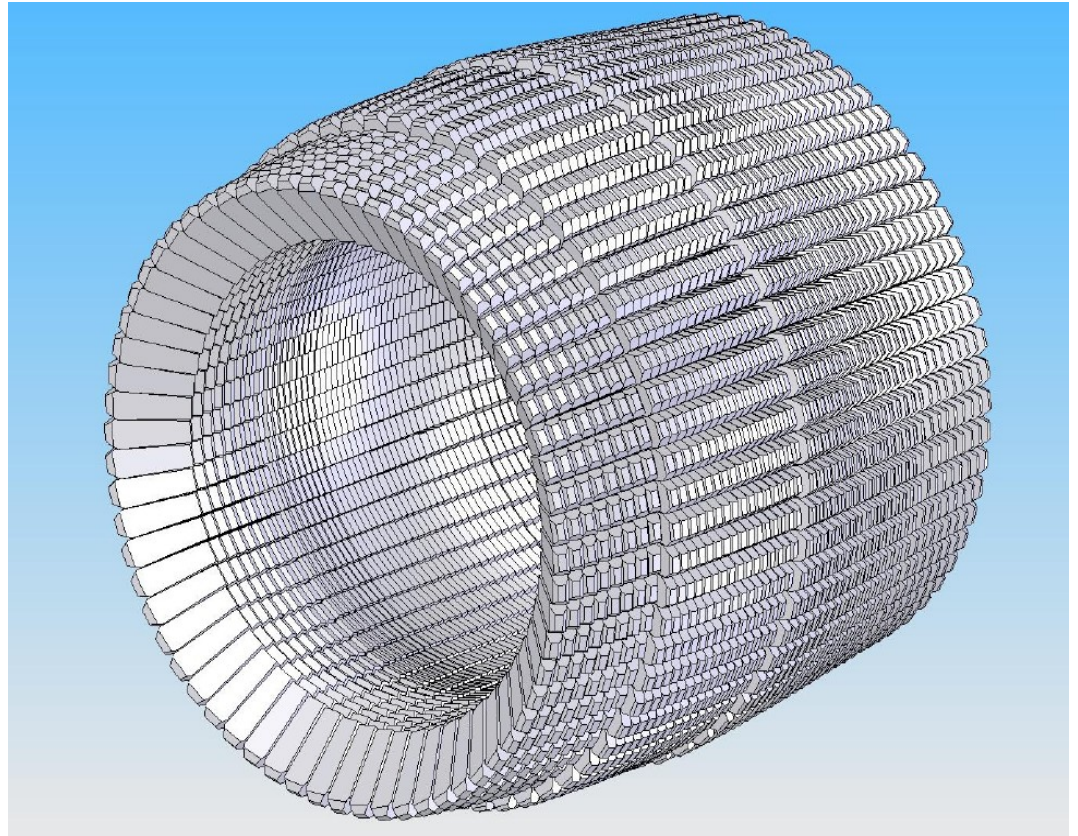
$$E_{ISGDR} = \hbar \sqrt{\frac{7 K_A + \frac{27}{25} \epsilon_F}{3 m \langle r^2 \rangle}}$$

- The EoS of nuclear matter governs the supernovae explosions and formation of neutron



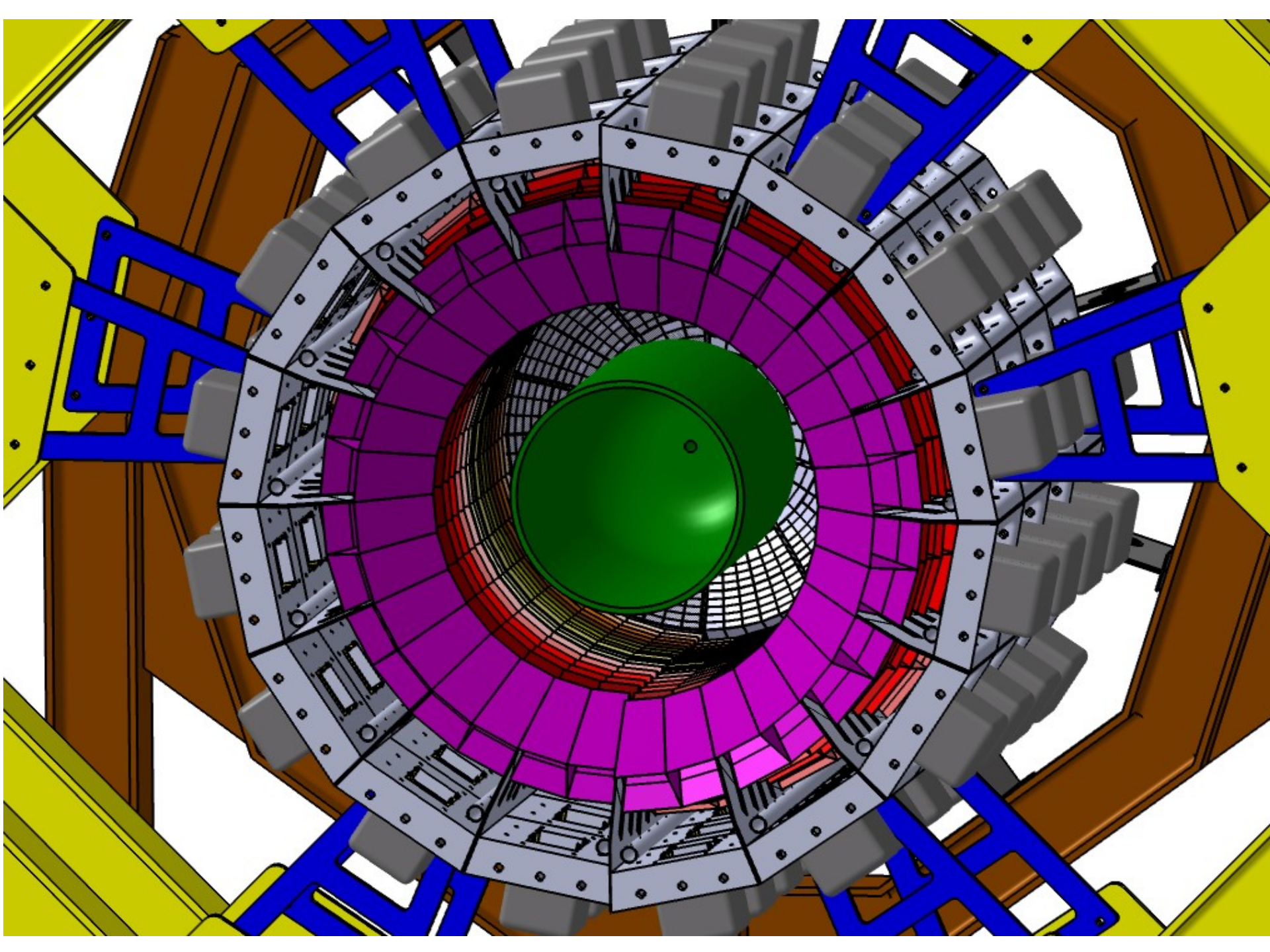


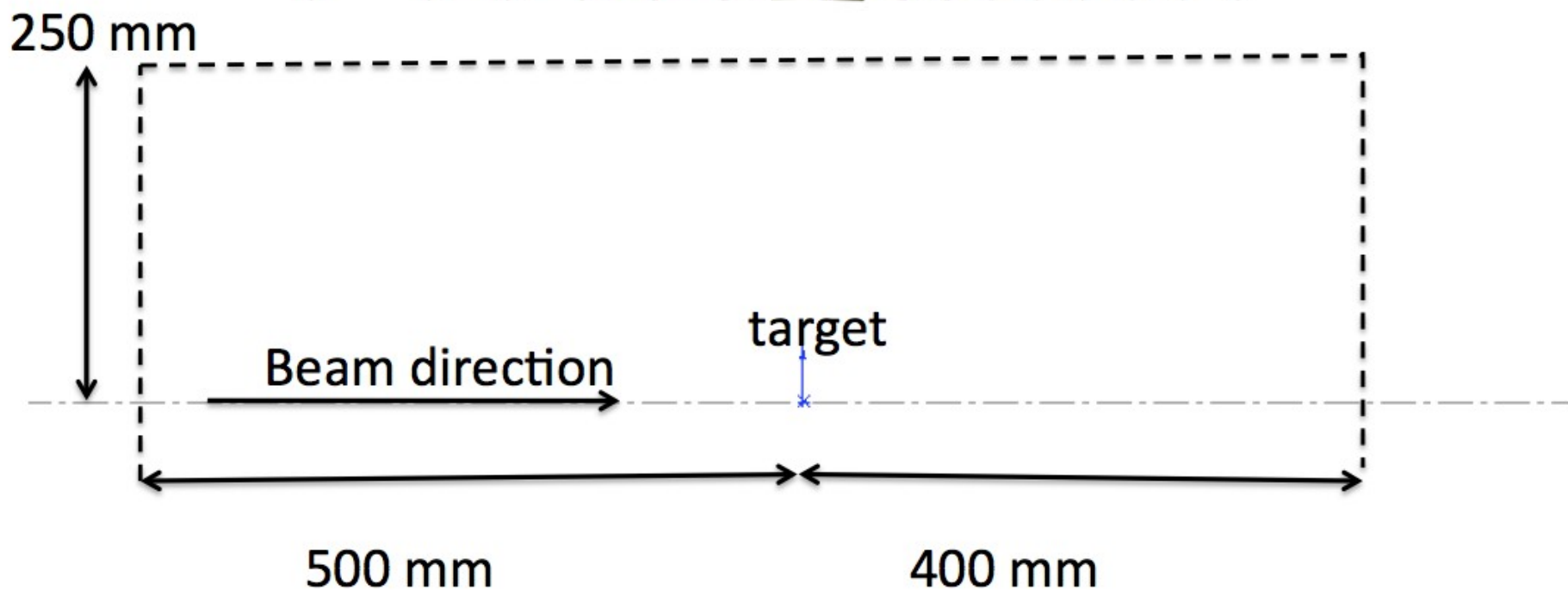
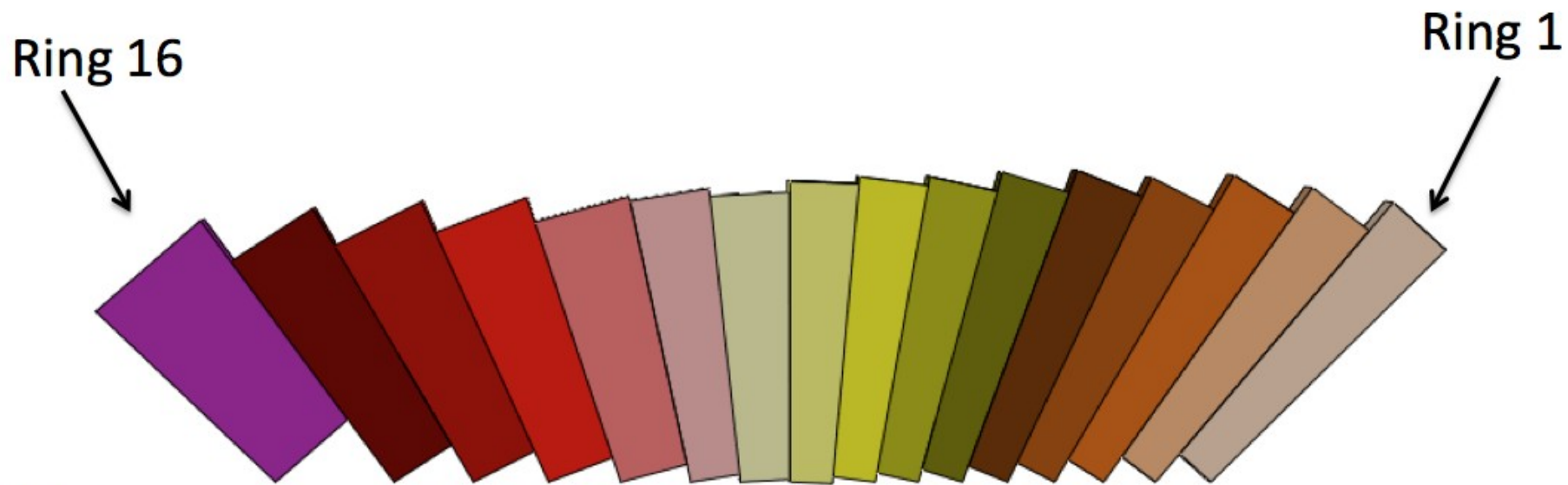
**Particle-recoil  
semiconductor detector**



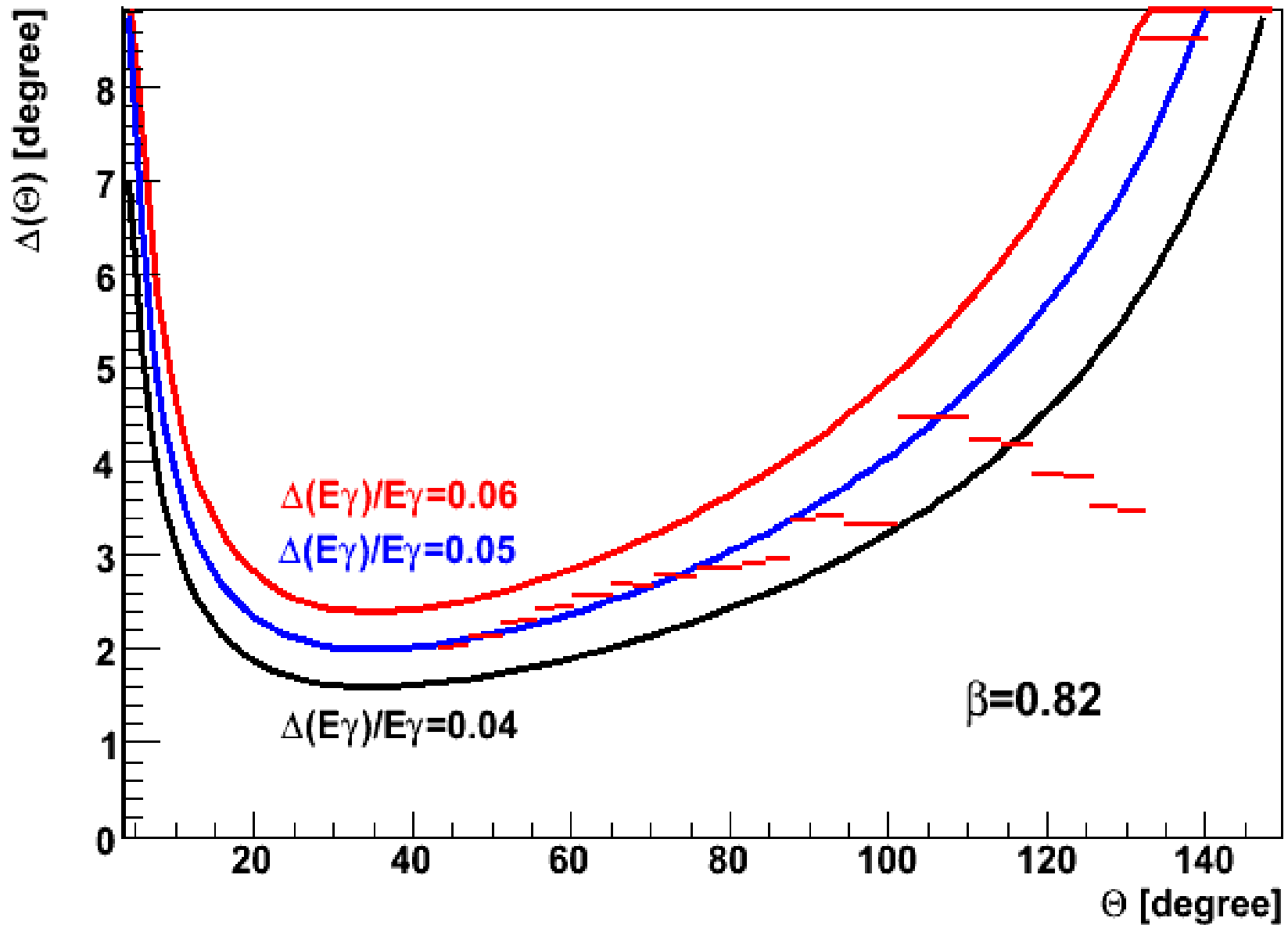
**Gamma-detector**

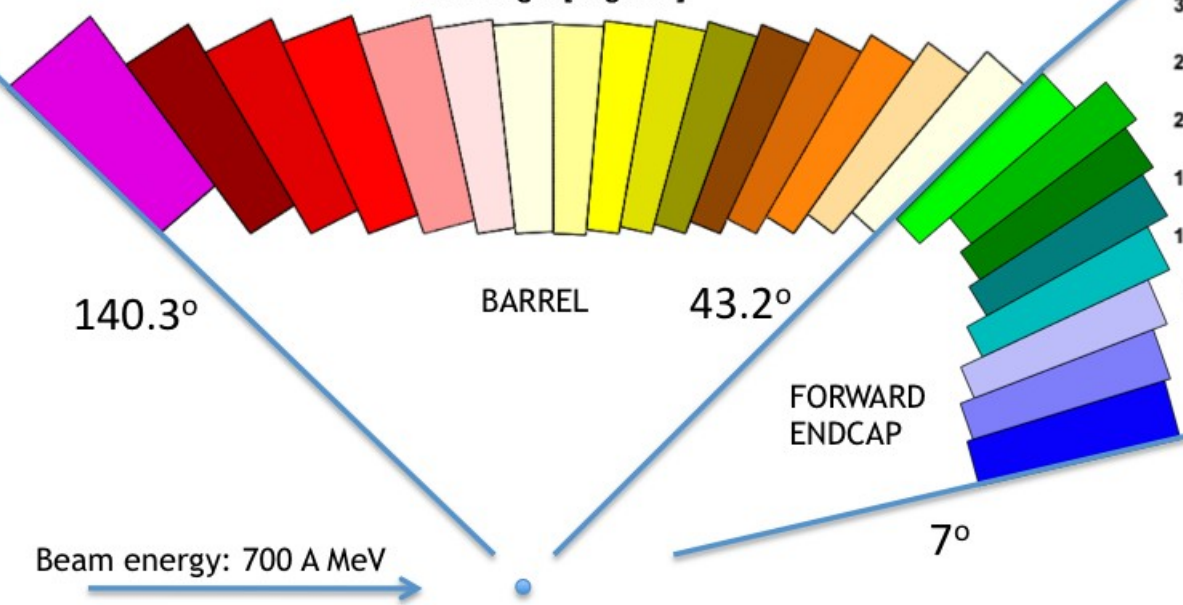
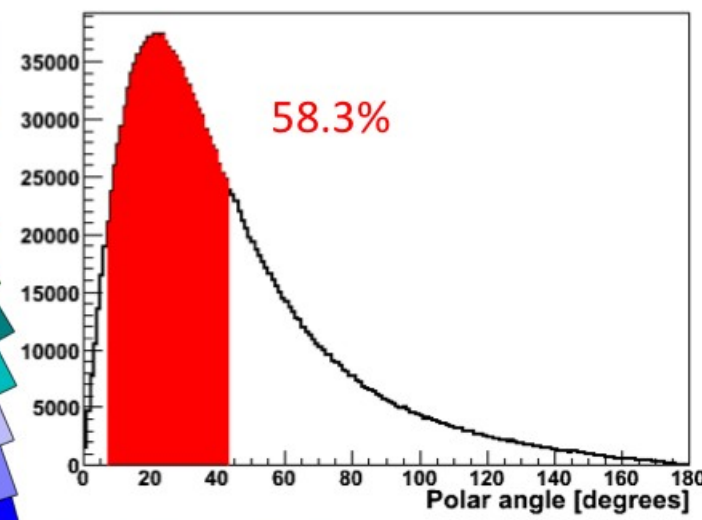
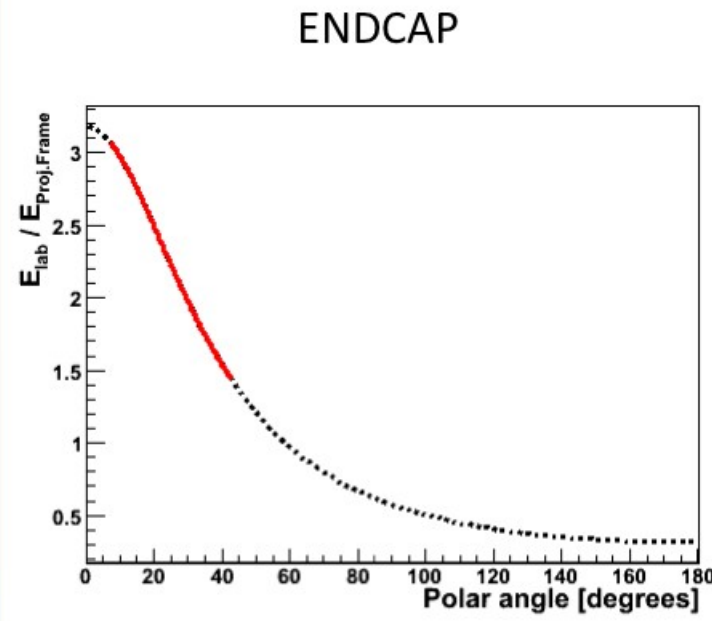
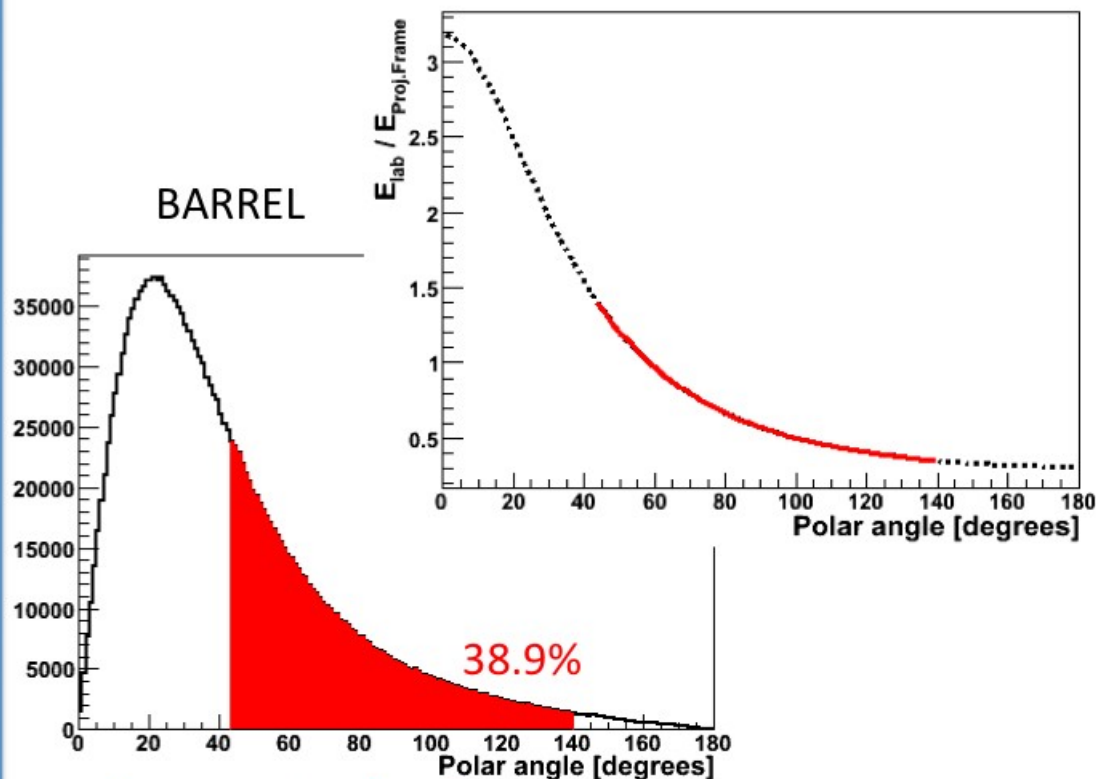




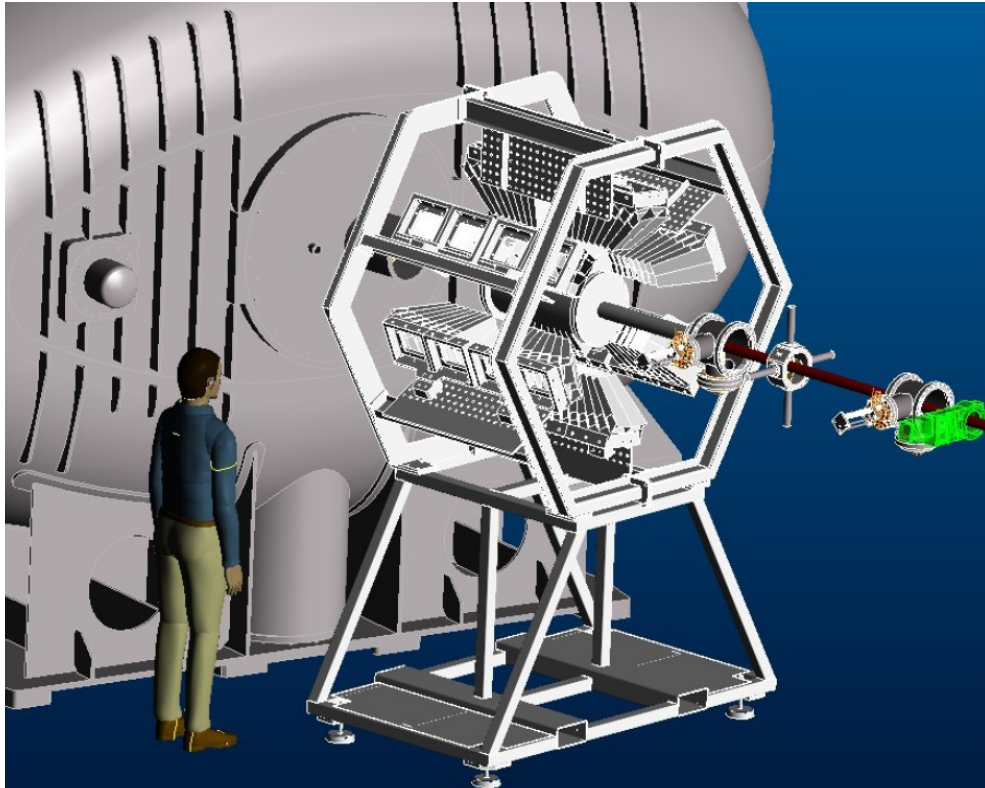




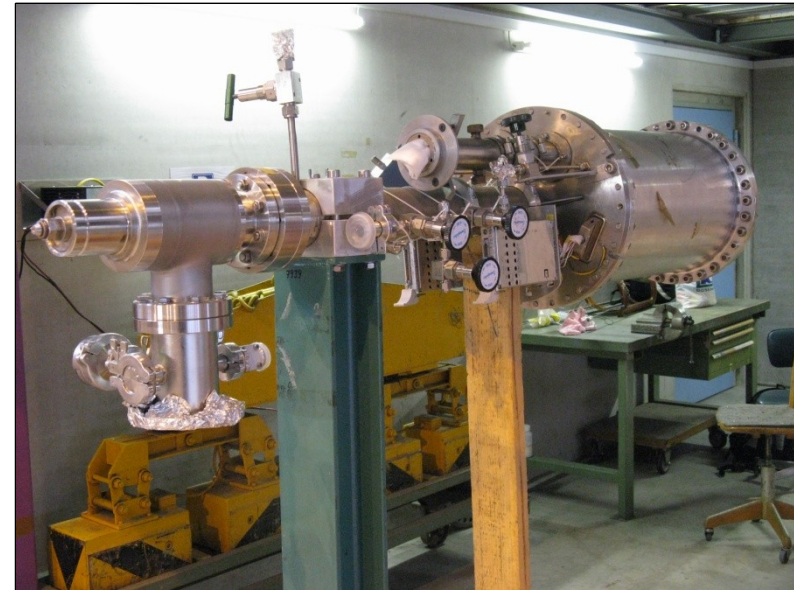




## Small Active Target inside calorimeter



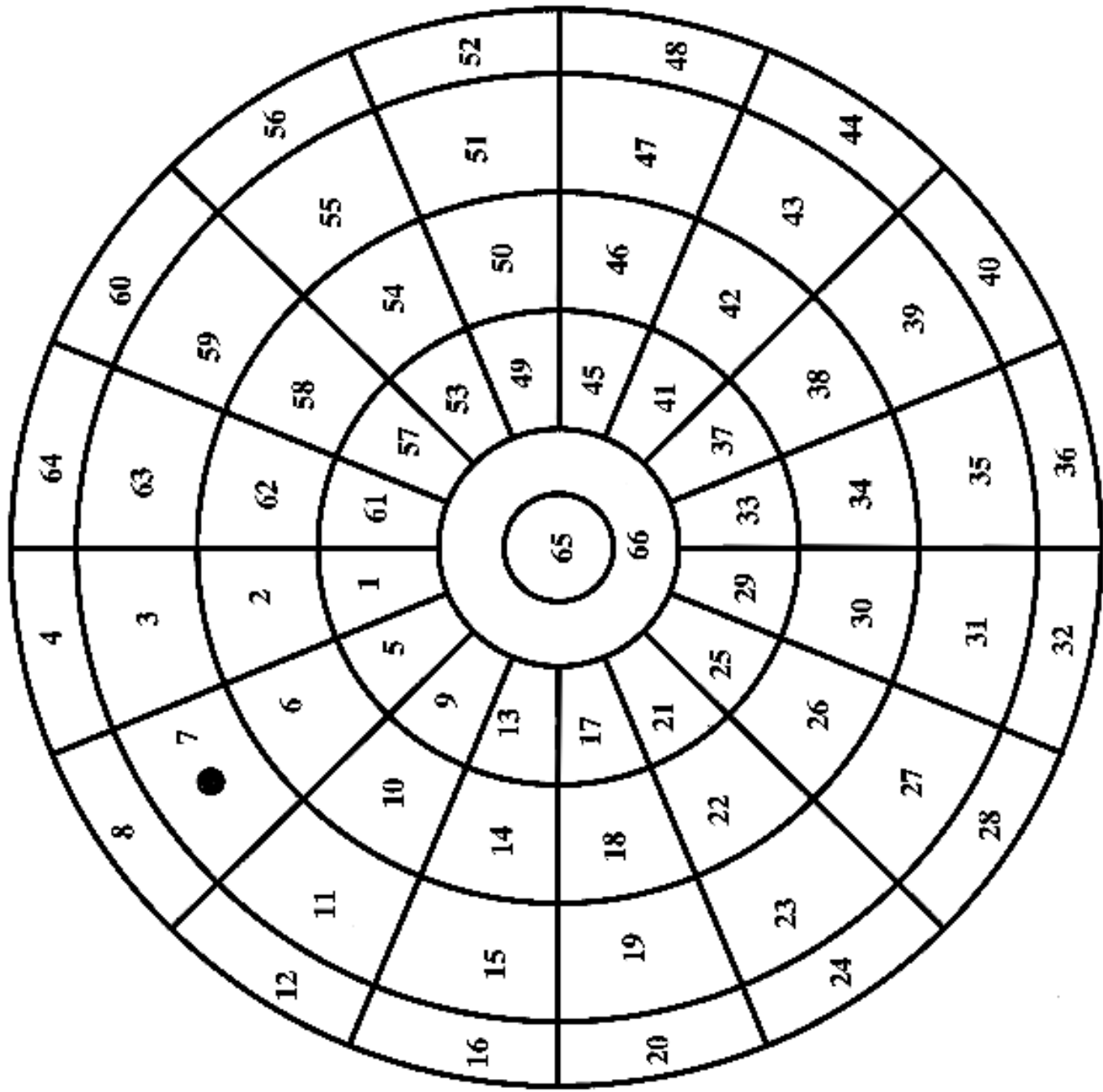
Possible arrangement of the active target inside a gamma calorimeter



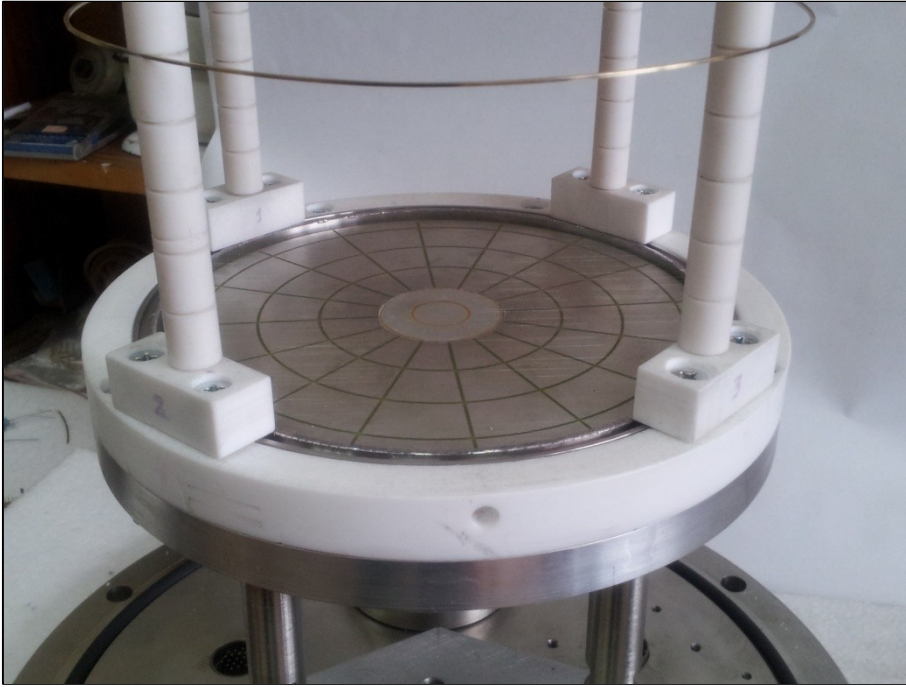
Existing cylinder of ionization chamber and vacuum parts at PSI, Switzerland  
Mechanical parts will be used  
Transported to GSI in May 2012



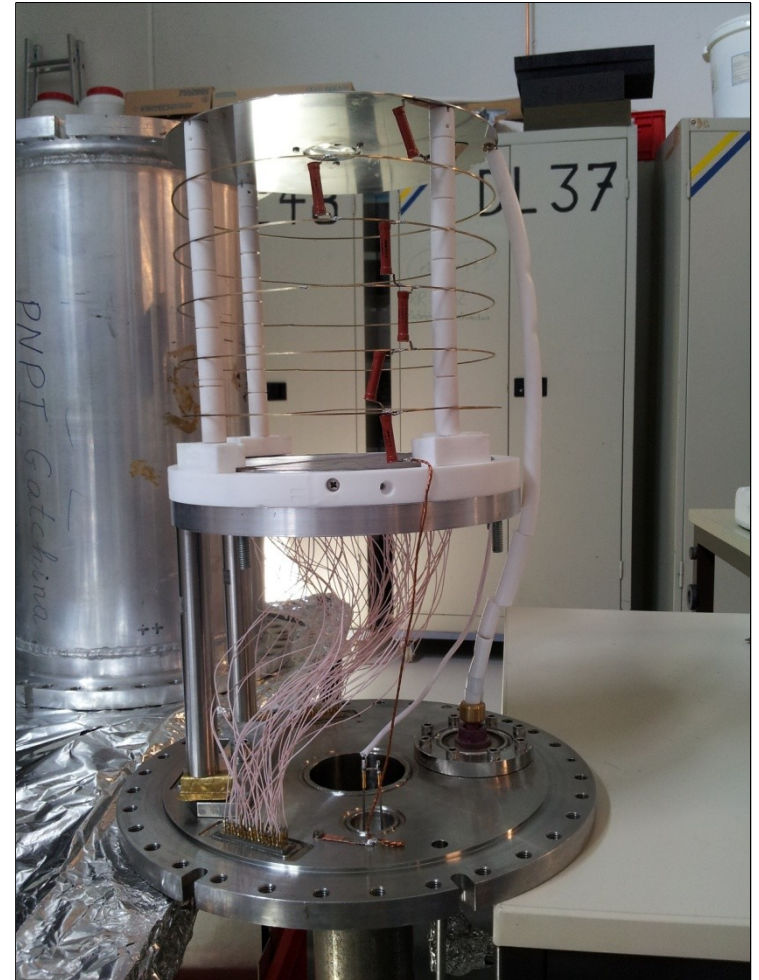




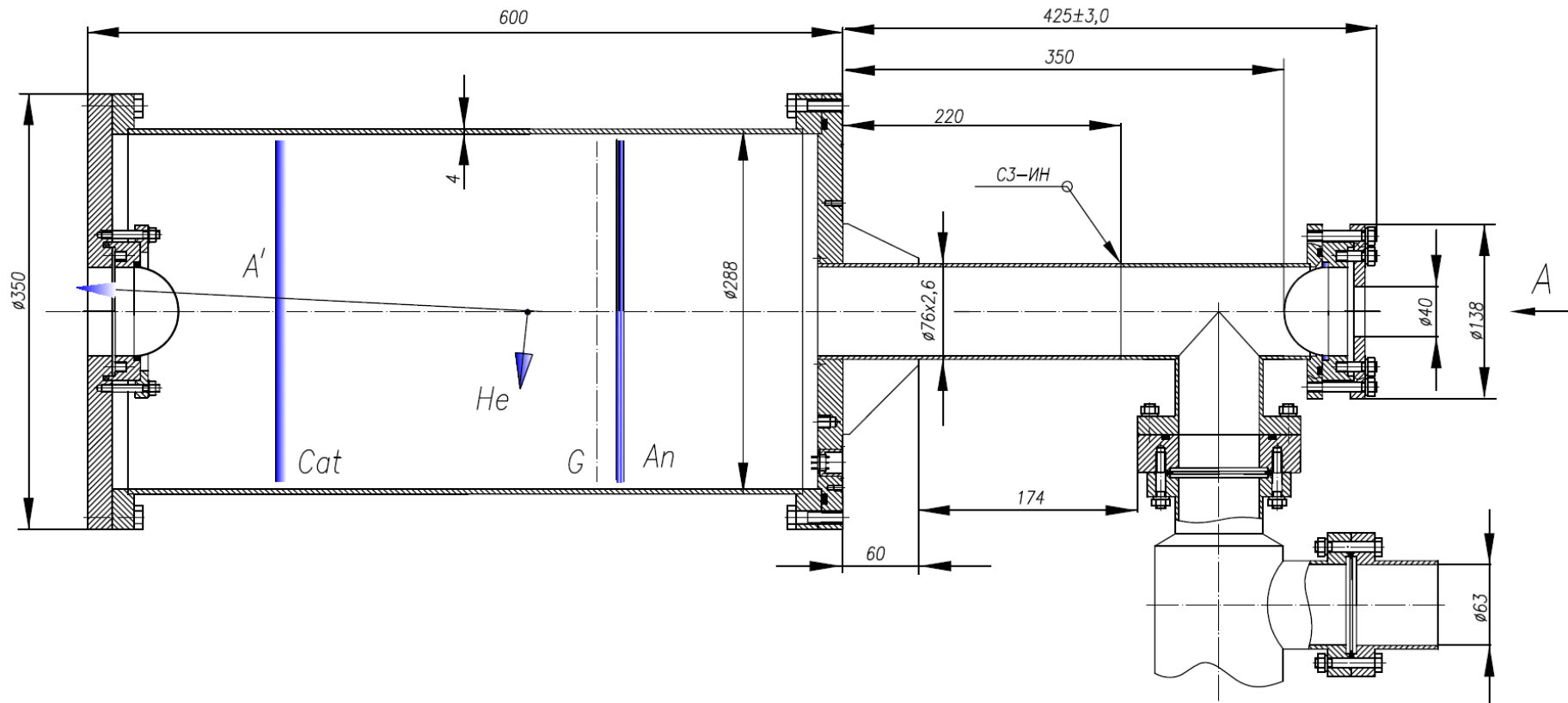
## New electrodes of the small Active Target



New electrodes made at PNPI  
In the middle – electrodes for beam  
shielding  
Field cage with voltage dividers  
Assembled at GSI detector lab



# Vacuum system, support



- ▶ Design of the vacuum system and support is available
- ▶ Entrance and exit windows – Be, 0.5 mm



## New digitizers for new Active Target

FADC SIS3316 from Struck GmbH

16 independent channels, 14-bit resolution

Up to 250 MS/s per channel

64 MSamples memory/channel

Two programmable input ranges

Offset DACs

125 MHz analog bandwidth

Internal/External clock

Multi event mode

Readout in parallel to acquisition

Pre/Post trigger capability

Trigger OR output (16 individual thresholds)

Gigabit Ethernet and Multi-Gigabit optical link

*Modules for smaller and larger chambers are available*

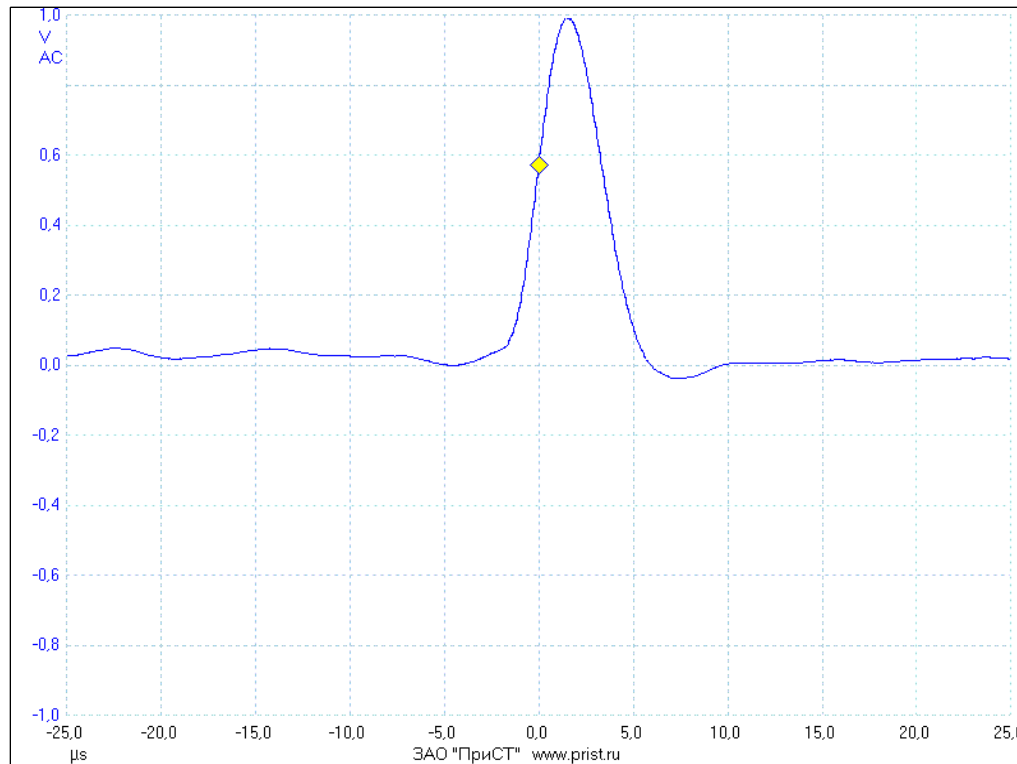
*(240 channels)*



*GSI contribution*



## First signals from the new Active Target



- ✓ New electrode structure inside test chamber at PNPI
- ✓ Gas – Ar at 1 bar, N<sub>2</sub> -10 bar, H<sub>2</sub>-10 bar, He+10%(H<sub>2</sub>)- 1,5,10 bar.
- ✓ <sup>241</sup>Am source on cathode (22 cm drift path)
- ✓ Signals digitized with 14-bit FADC
- ✓ Very low noise

## **СТАТУС И ПЕРСПЕКТИВЫ ЭКСПЕРИМЕНТА**

- 1. Изготовлены новые электроды (анодная плоскость и сетка).**
- 2. Спроектированы и изготовлены 160 новых усилителей.**
- 3. Закуплены 240 каналов FADC (14 бит, 250 МГц).**
- 4. Спроектирована и изготовлена система откачки.**
- 5. Закуплены турбомолекулярный и фор. насосы.**
- 6. Спроектирована и изготавливается подставка.**
- 7. Изготавливается система перемещения всей установки.**
- 8. Собрана новая ионизационная камера (ИК).**
- 9. Закуплены высоковольтные источники.**
- 10. Проведена высоковакуумная тренировка ИК с нагревом до 100 градусов (120 часов).**
- 11. Проведены испытания ИК на давление (11 атм) и получено разрешение на работу с газами от TUF.**
- 12. Проведены методические исследования работы ИК с помощью альфа источника ( $Am^{241}$ ) в Ar, N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, He +(10%N<sub>2</sub>).**
- 13. Протестирована система чтения и записи данных с FADC.**
- 14. Выделено время на пучке в GSI ( $Ni^{58}$ ) в апреле 2014 (5 дней).**