

# PNPI in R3B

**NUSTAR** – **N**uclear **S**tstructure, **A**strophysics, and **R**eactions :

**HISPEC-DESPEC** – High-Resolution In-Flight and Decay Spectroscopy

**ILIMA** - Schottky and Isochronos mass spectroscopy

**MATS** - Mass measurements with Penning Traps

**LASPEC** – Laser Spectroscopy investigations

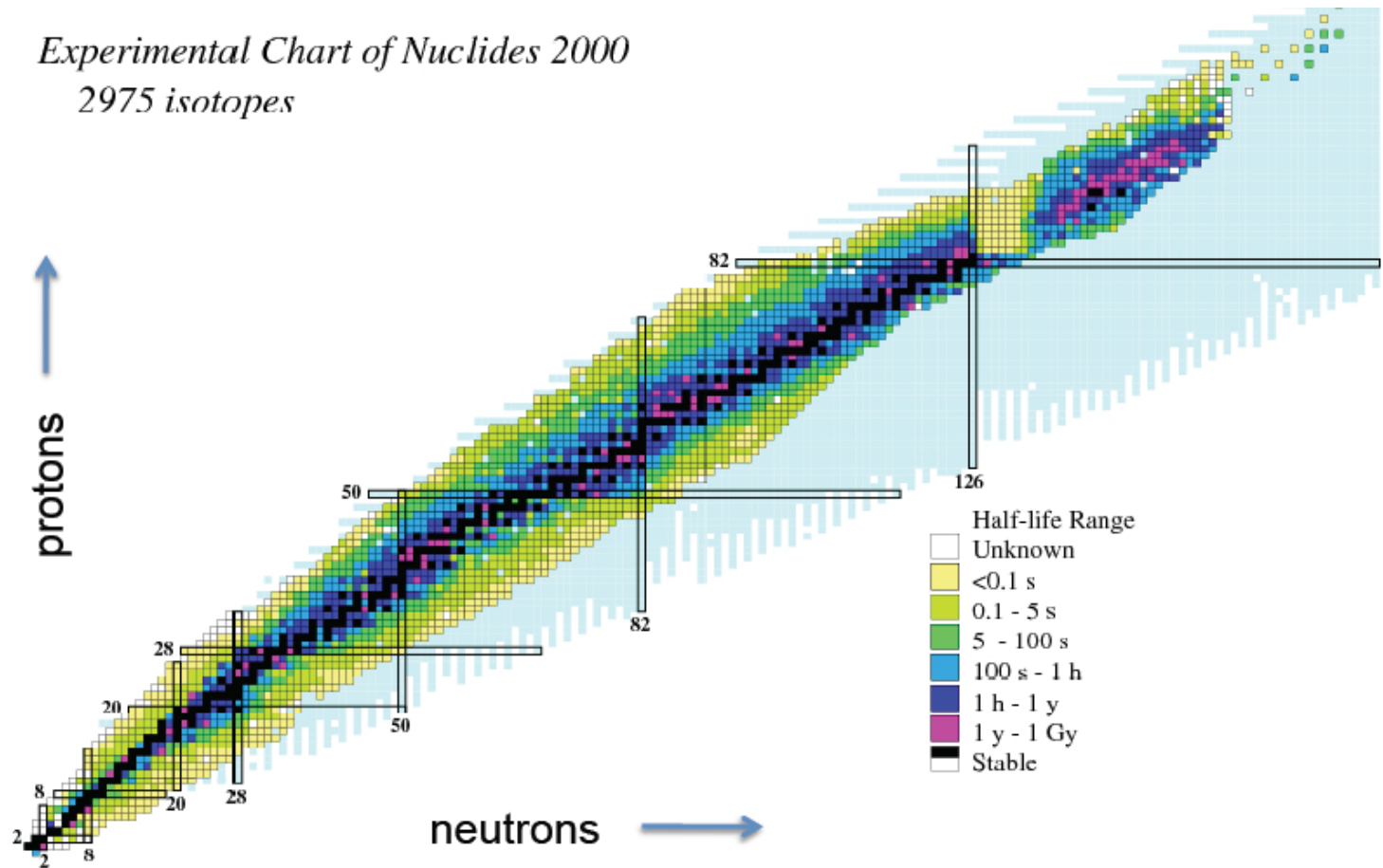
**ELISE** – Electron scattering in a storage ring

**AIC** – Antiproton Ion Collider

**EXL** – **Exotic Light-ions** (exotic nuclei studied in light-ion induced reactions at the NESR ring)

**R3B** – **R**eactions with **R**elativistic **R**adioactive **B**eams

*Experimental Chart of Nuclides 2000*  
2975 isotopes



**GSI FAIR:** SIS-100 → Super FRS → experimental setups

**FAIR:** Beam intensities  $\times 10^4$ , clean beams, more sophisticated detectors

# R3B

**R3B** – studies at external beams of nuclei

## pA and AA scattering experiments

### **Physics goals:**

Nuclear density distributions, single-particle structure, shell-occupation probabilities, unbound states, nuclear resonances, transition strengths, astrophysical S factor, giant dipole and quadrupole strength,  $B(E2)$ , deformations, Gamov-Teller strength,  $\gamma n$  reaction rates (for r-process nuclei), reaction mechanism, nuclear waste transmutation,...

### **Reaction type:**

Elastic and inelastic pA scattering, total reaction and interaction cross sections, knockout and quasifree scattering, electromagnetic excitation and dissociation, charge-exchange reactions, fission, spallation, fragmentation

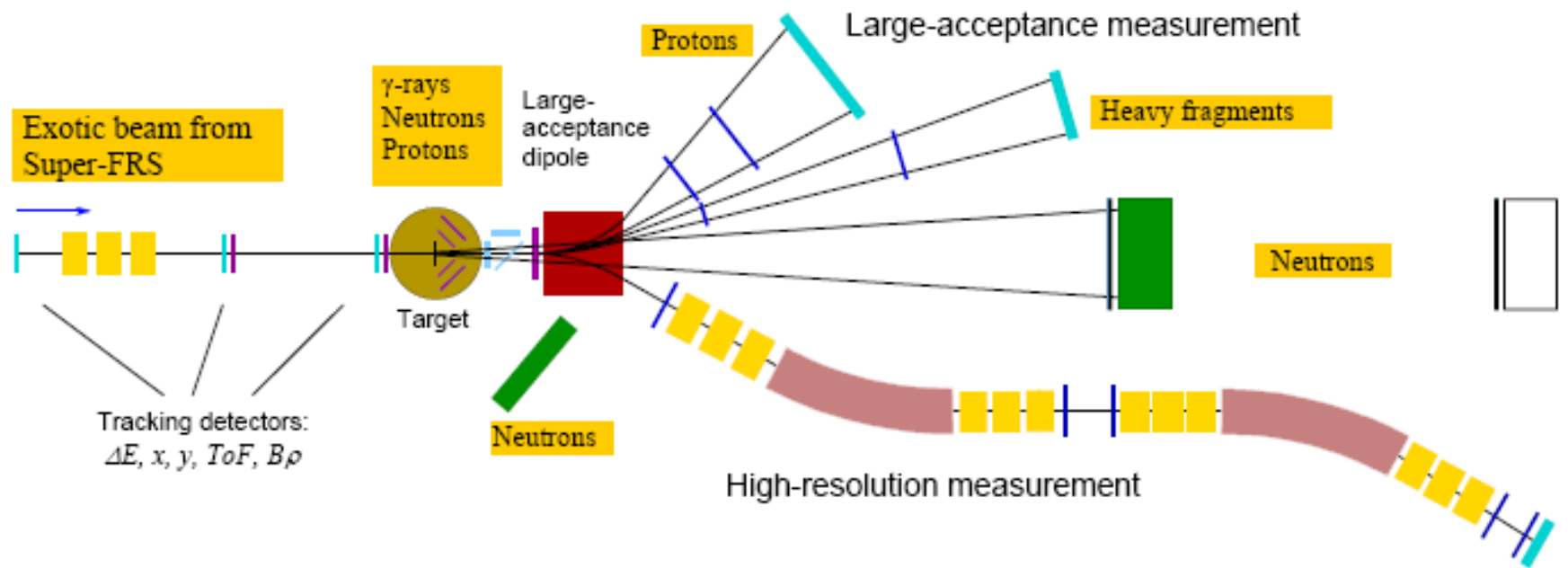
**Theory of nuclear structure,  
mechanism of nuclear reactions,  
astrophysics**

“Nuclear astrophysics with radioactive ions at FAIR”

arXiv:1310.1632 [astro-ph.IM]

R. Reifarth,... G. Alkhazov, V. Andreev, A. Fetisov, A. Khanzadeev,  
E. Maev, L. Uvarov, V. Vikhrov, A. Zhdanov, *et al.*,

**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.*

## **PNPI participation:**

**Neutron detector (HV system, construction of scintillator walls), tracking detectors, active target(s).**

№	Experiment, кто подал заявку?	Оборудование	Цена в Costbook-2005, М евро	Примечания
22	NuSTAR, А.Г. Крившич, В. Л. Г о л о в ц о в (ПИЯФ, Гатчина)	Эксперимент <b>R3B</b> , нейтронный времяпролетный спектрометр NeuLAND	<b>1.250 000</b>	<i>TDR пока не утвержден (2011).</i>  <b>Утвержден, 2013</b>
23	NuSTAR, Г.Д. Алхазов (ПИЯФ, Гатчина)	Эксперимент <b>R3B</b> Активная мишень АСТАР на водороде	<b>1.105 000</b>	<i>TDR пока не утвержден.</i>
24	NuSTAR, А.Г. Крившич (ПИЯФ, Гатчина)	Эксперимент <b>R3B</b> Трековые детекторы (43% всей системы) PSP code 1.2.5.1.2.1 (straw tubes)	<b>0.160 000</b>	<i>TDR пока не утвержден.</i>
	Полная заявка от России на эксперименты на апрель 2011		<b>50.141.000</b>	

**1.250 → 0.600**  
**→ 1.250**

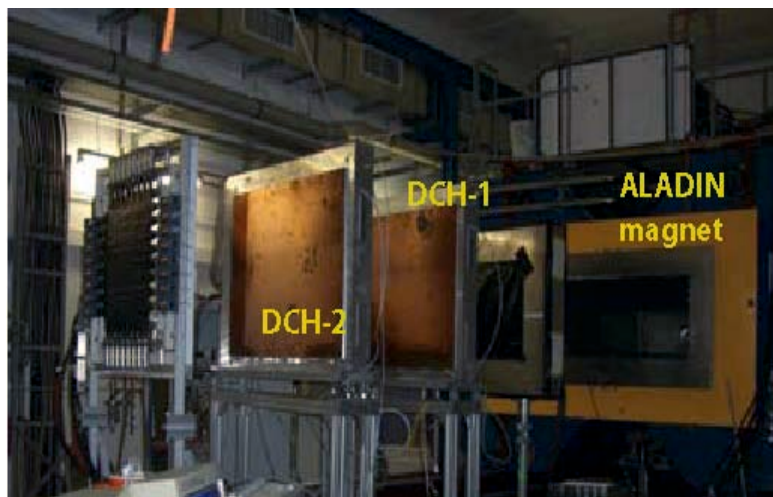
**?**

Инфляция – 3% в год

# Трековые детекторы для R3В

Вначале обсуждались дрейфовые камеры с гексагональной структурой.

**ПИЯФ** изготовил **две дрейфовые камеры** гексагональной структуры для регистрации протонов, размером **1.2x0.8 м<sup>2</sup>**, **со считывающей электроникой**. Каждая камера имеет 2 слоя ячеек X, и два слоя Y. Эти камеры используются в экспериментах LAND.



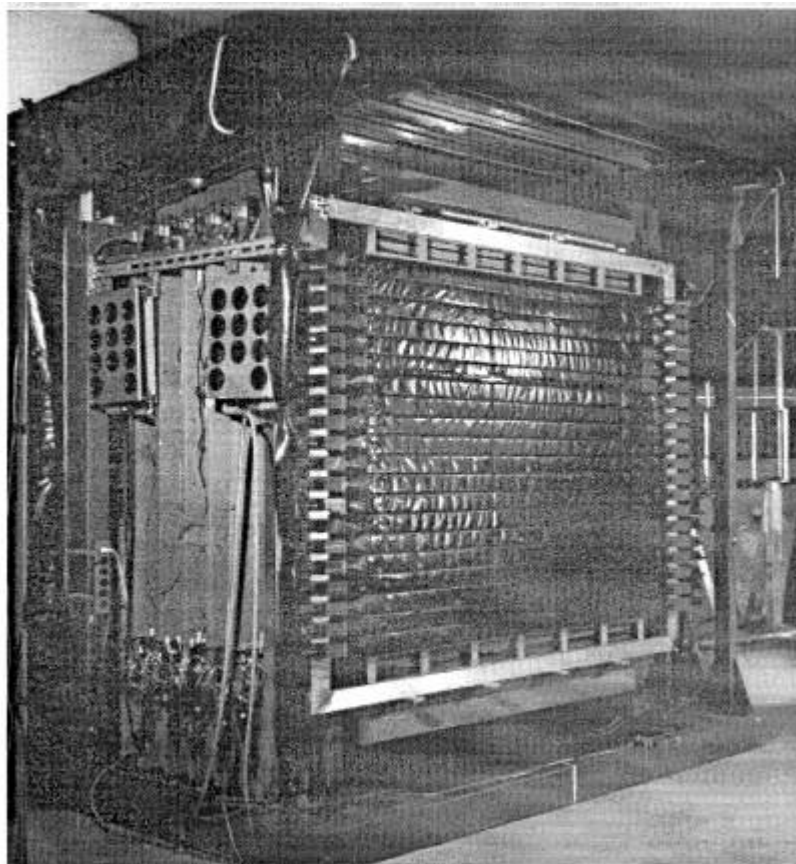
Камеры ПИЯФ – DCH1 и DCH2

Теперь – **детектор на основе straw-трубок**.

2 станции  $S = 100 \times 200$  см, X и Y, три слоя трубок  $\varnothing = 10$  мм, каптон 50  $\mu\text{м}$  или алюминий 200  $\mu\text{м}$ . Всего 2000 каналов.

+ CROS3 readout.

## NeuLAND – детектор быстрых нейтронов



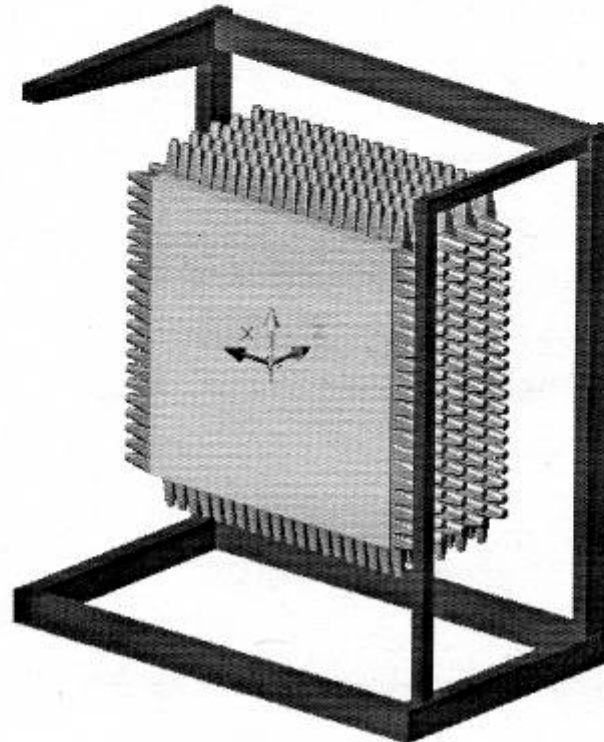
**LAND** – Large Area Neutron Detector



## Existing LAND detector:

- $\sigma_t < 250$  ps
- $\sigma_{x,y,z} \approx 3$  cm
- Size: 2 x 2 x 1 m<sup>3</sup>
- Plastic scintillator / Fe converter sandwich structure

Th. Blaich *et al.*, NIM A **314** (1992), 136



## NeuLAND design goals:

- $\sigma_t < 100$  ps
- $\sigma_{x,y,z} \approx 1$  cm
- Size : approx.  $2 \times 2 \times 0.8$  m<sup>3</sup>
- Efficiency  $> 90\%$  for 1-n hits
- Improvement of multi-n recognition



## Timing RPC concept:

- Total of 140 m<sup>2</sup> RPC
- Approx. 10'000 channels
- Converter material: integrated in RPC structure



## Compared to existing RPC types:

- Low count rates ( $< 1$  Hz/cm<sup>2</sup>)
- Massive detector for higher efficiency
- Protons at various energies (non-MIPs)

**~ 15 t**

## Новый вариант детектора NeuLAND:

с использованием сцинтилляционных детекторов,  
но при этом без железного конвертора

Детектор состоит из пластин сцинтилляционного пластика  
с поперечными размерами –  $5 \times 5 \times 250 \text{ см}^3$ , всего 3000 брусков и 6000 ФЭУ .  
Детектор имеет размер  $250 \times 250 \times 300 \text{ см}^3$ .

Эффективность регистрации нейтронов  $\sim 95\%$ ,  $\sigma_{x,y,z} \leq 1.5 \text{ см}$ ,  $\sigma_{x,y,z} \leq 150 \text{ ps}$ .

$L = 15 - 35 \text{ м}$ ,  $\Delta E_{\text{ex}} \approx 100 \text{ keV}$

**PNPI Gatchina:** Georgy Alkhazov, Vladimir Andreev, Andrey Fetisov, Victor Golovtsov, **Anatolii Krivshich**, Lev Uvarov, Vladimir Vikhrov, Sergey Volkov, Andrey Zhdanov

В апреле 2013 принято решение о заключении договоров FAIR-PNPI по созданию системы высоковольтного питания ФЭУ и об участии в создании системы сцинтилляционных детекторов.

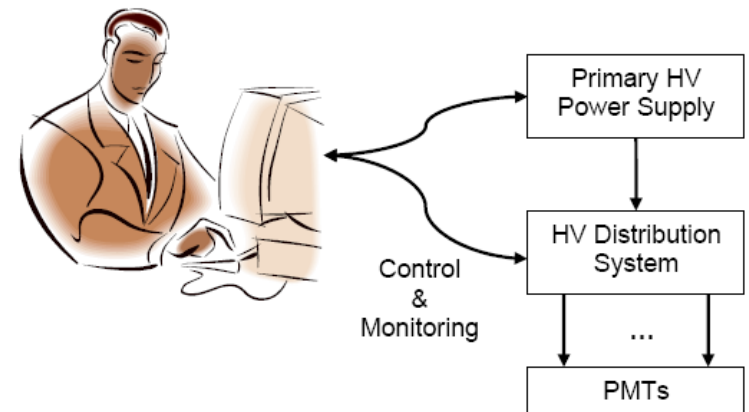
**Немцы** – регулируемые источники низкого напряжения и преобразователи низкое напряжение → высокое напряжение на каждом ФЭУ.

## **PNPI – HV system:**

2 мощных HV источника – 2 kV, 1 A,  
+ активные регулируемые делители на  
6000 каналов 0.3 mA ( $\leq 0.5$  mA)

Регулировка напряжения: 0 – 1.5 kV  
Установка напряжения с точностью 0.1%  
Стабильность лучше 0.1%  
Флуктуации  $\leq 0.02\%$   
Ток измеряется с точностью 0.1%

**Цена за канал – 88 Евро**



## **Участие ПИЯФ в создании системы сцинтилляционных детекторов**

Всего – 30 двойных слоев сцинтилляционных детекторов, по 50 сцинтилляционных брусков (5см x 5см x 250 см) в каждом слое (X и Y)

Предлагаемый вклад ПИЯФ - 7 двойных слоев

Органический сцинтиллятор RP408 из поливинилтолуола,  
фирма REXON в штате Огайо, США

Время высвечивания – 0.9 нс, длина затухания – 4 м.

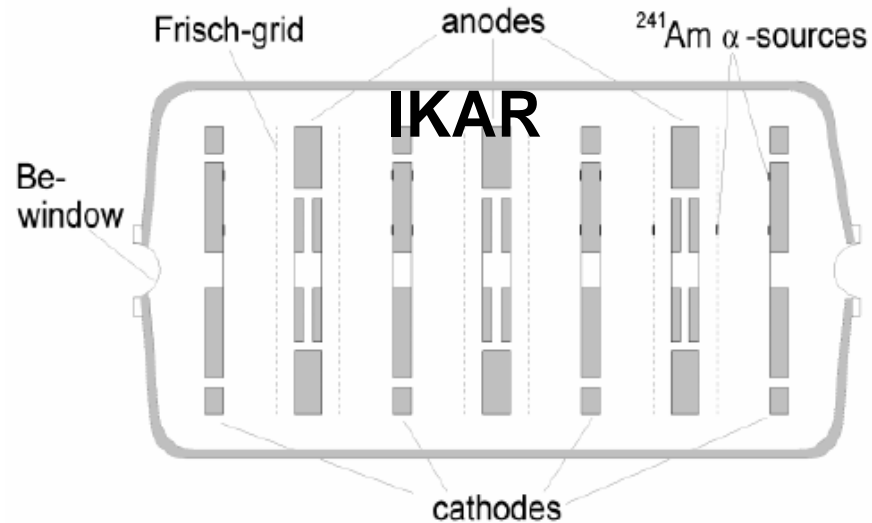
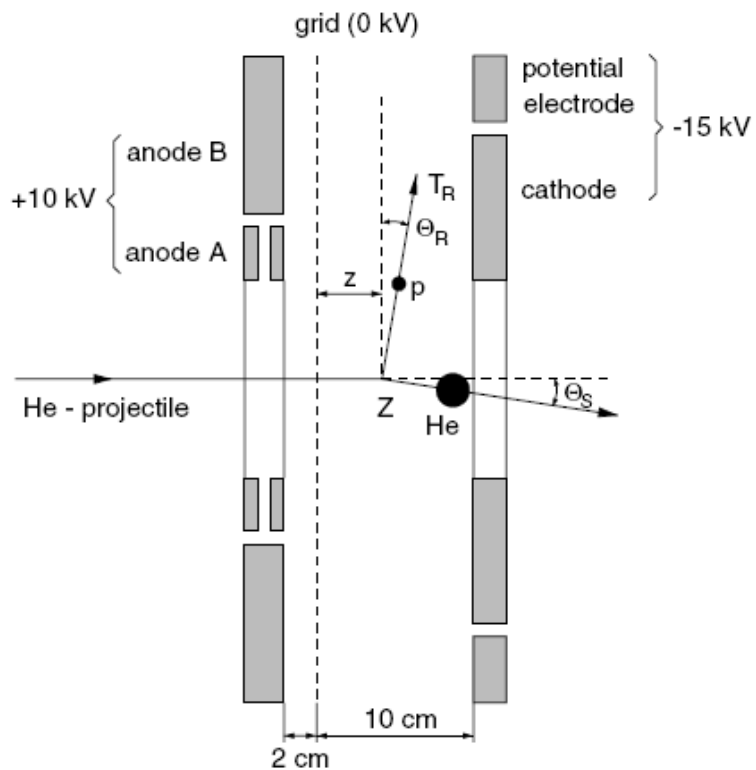
# ACTAR

Gas – target and working gas of the detector.

Low momentum transfers,  
Short-lived isotopes.

- **Elastic (p,p') scattering** in inverse kinematics (for nuclei with  $T_{1/2} < 1$  s) –  
**ground-state matter distributions**
- **( $^3\text{He},t$ ) charge exchange reactions** –  
**Gamow-Teller resonances**
- **( $\alpha,\alpha'$ ) inelastic scattering** –  
**ISGM resonances, nuclear matter compressibility**

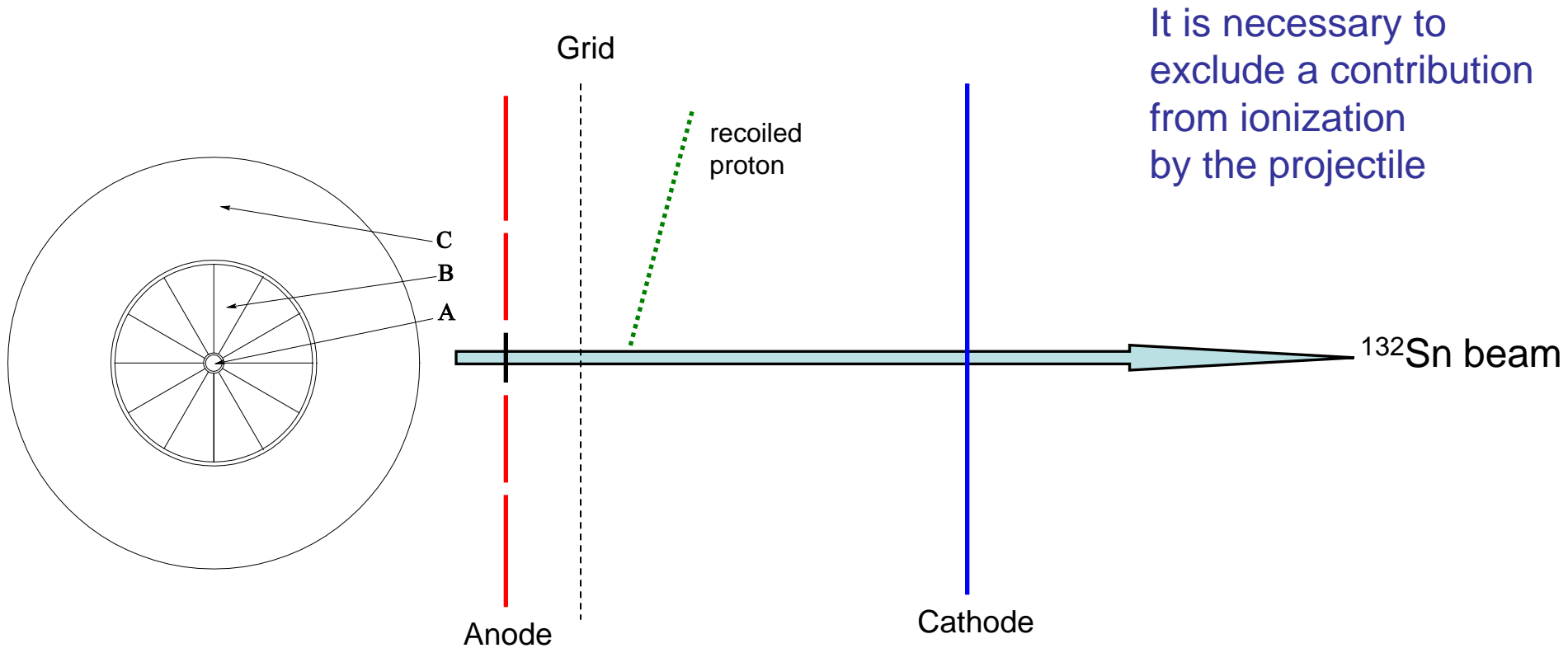
**PNPI participants:** G.Alkhazov, D.Balin, A.Dobrovolsky, A.Inglessi, A.Khanzadeev,  
G.Korolev, O.Kisilev, G.Petrov, L.Sergeev, V.Sarantsev,  
V.Yatsoura, E.Maev, Yu.Zalite.



Исследованы ядра изотопов He, Li, Be, B, C:

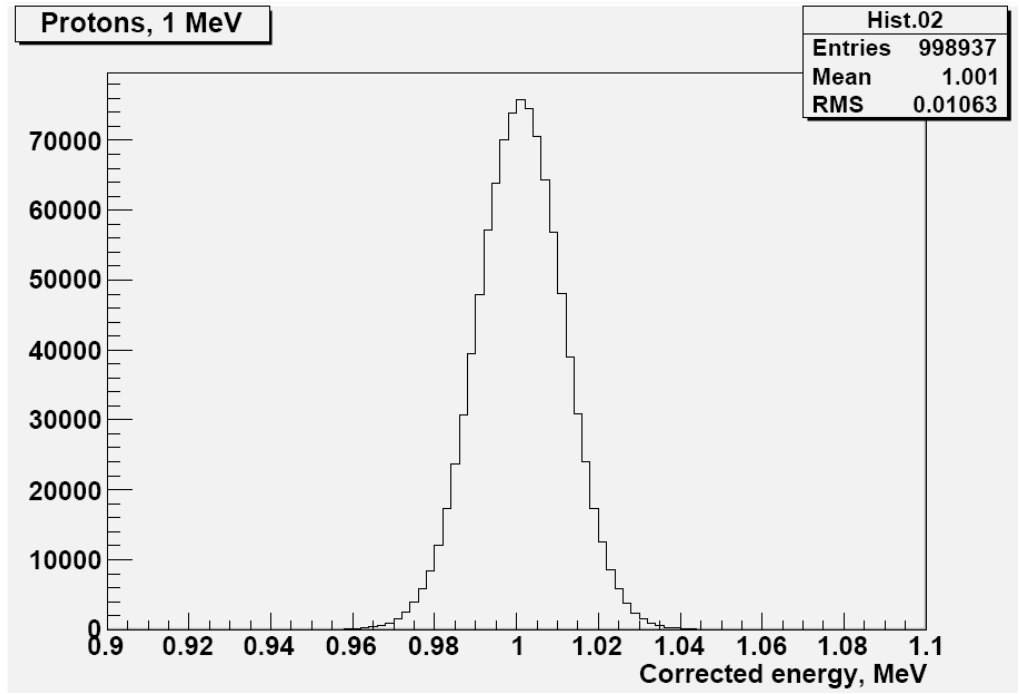
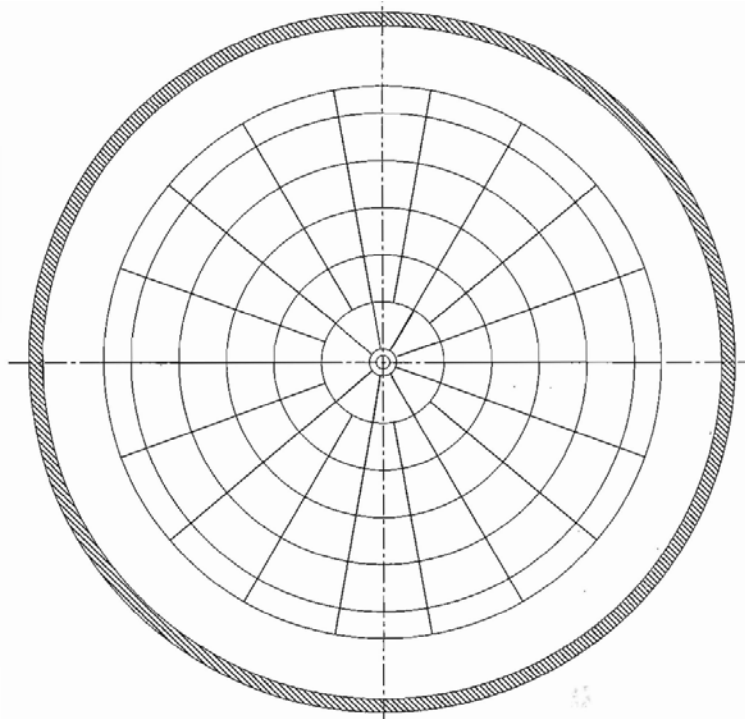
$^4,6,8\text{He}$ ,  $^6,8,9,11\text{Li}$ ,  $^{12,14}\text{Be}$ ,  $^8\text{B}$ ,  $^{14,15,16,17}\text{C}$ .

## First step: IKAR chamber

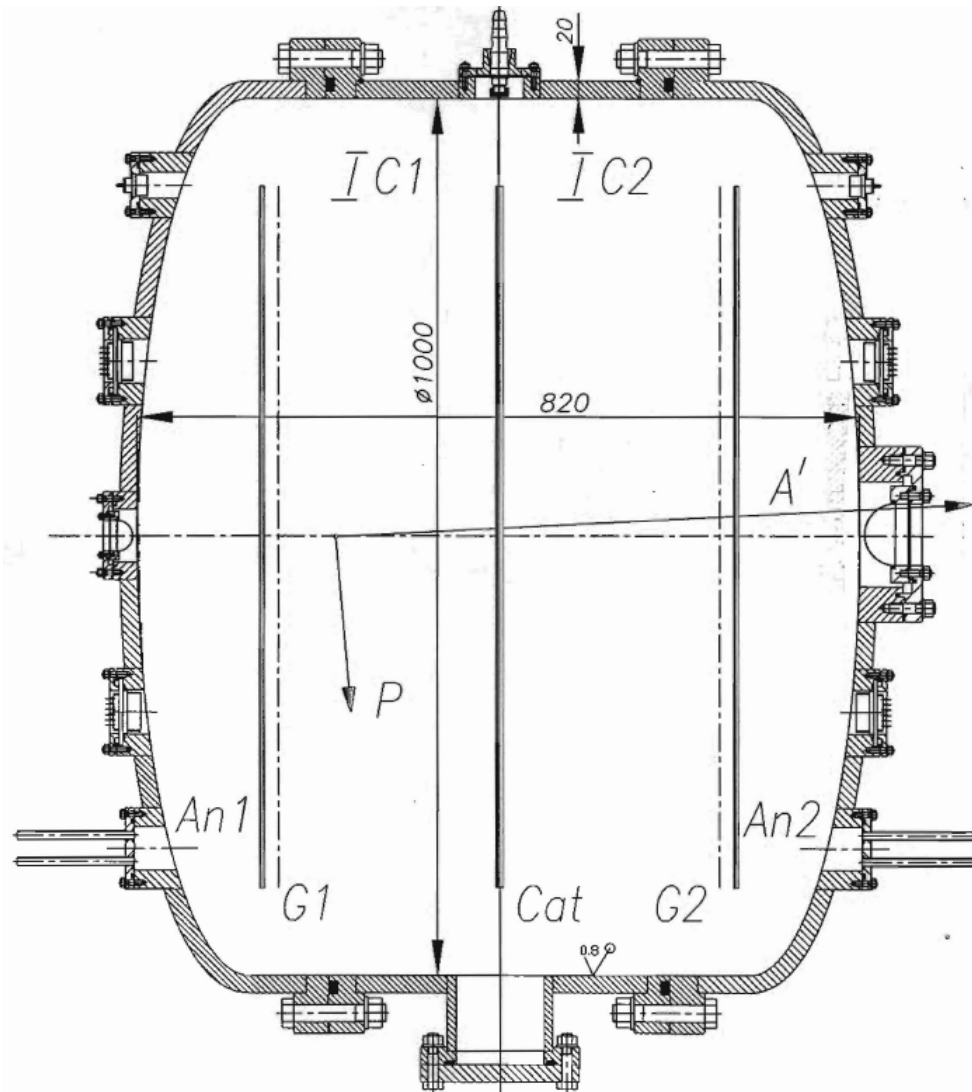


A correction on the energy lost in the central dead region,  
 $\delta\theta \approx 5 \text{ mrad}$ ,  $\Delta E \approx 2 \text{ MeV}$ ,  $^{56}\text{Ni}$ ,  $^{132}\text{Sn}$





$\delta E \approx 100 \text{ keV}$



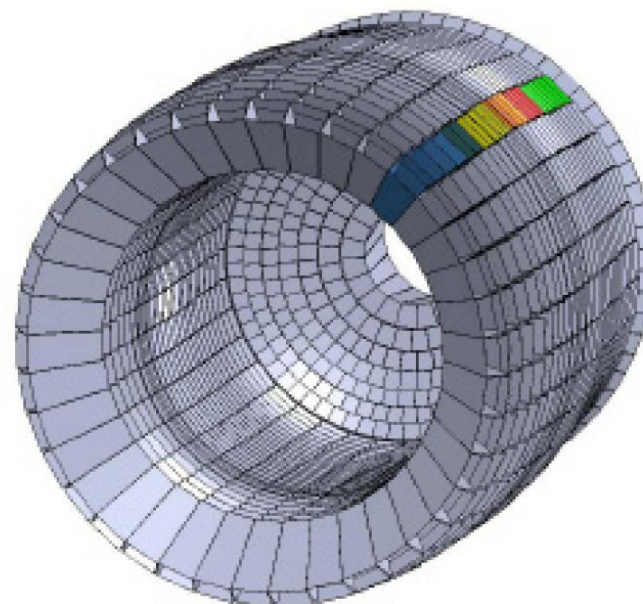
ACTAR1

Давление: 1 – 20 bar  $E_{p(\max)} \approx 11$  MeV

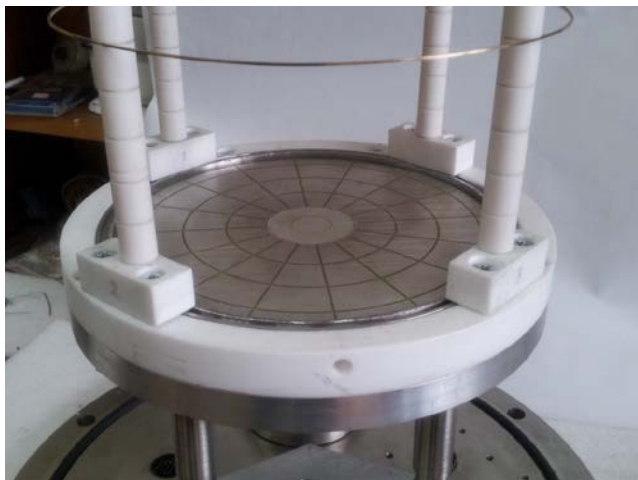
# Неупругое рассеяние на ядрах $\alpha$ -частиц в инверсной кинематике



Прототип камеры ACTAR2  $E_{\alpha} = 1-10$  МэВ  
The length - 60cm, the inner diameter - 28 cm,  
working pressure - 10 bar.



Общий вид калориметра-спектрометра  
CALIFA (вид по пучку) (Дубна).



Segmented anode