

PNPI in R3B

NUSTAR – **N**uclear **S**tructure, **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

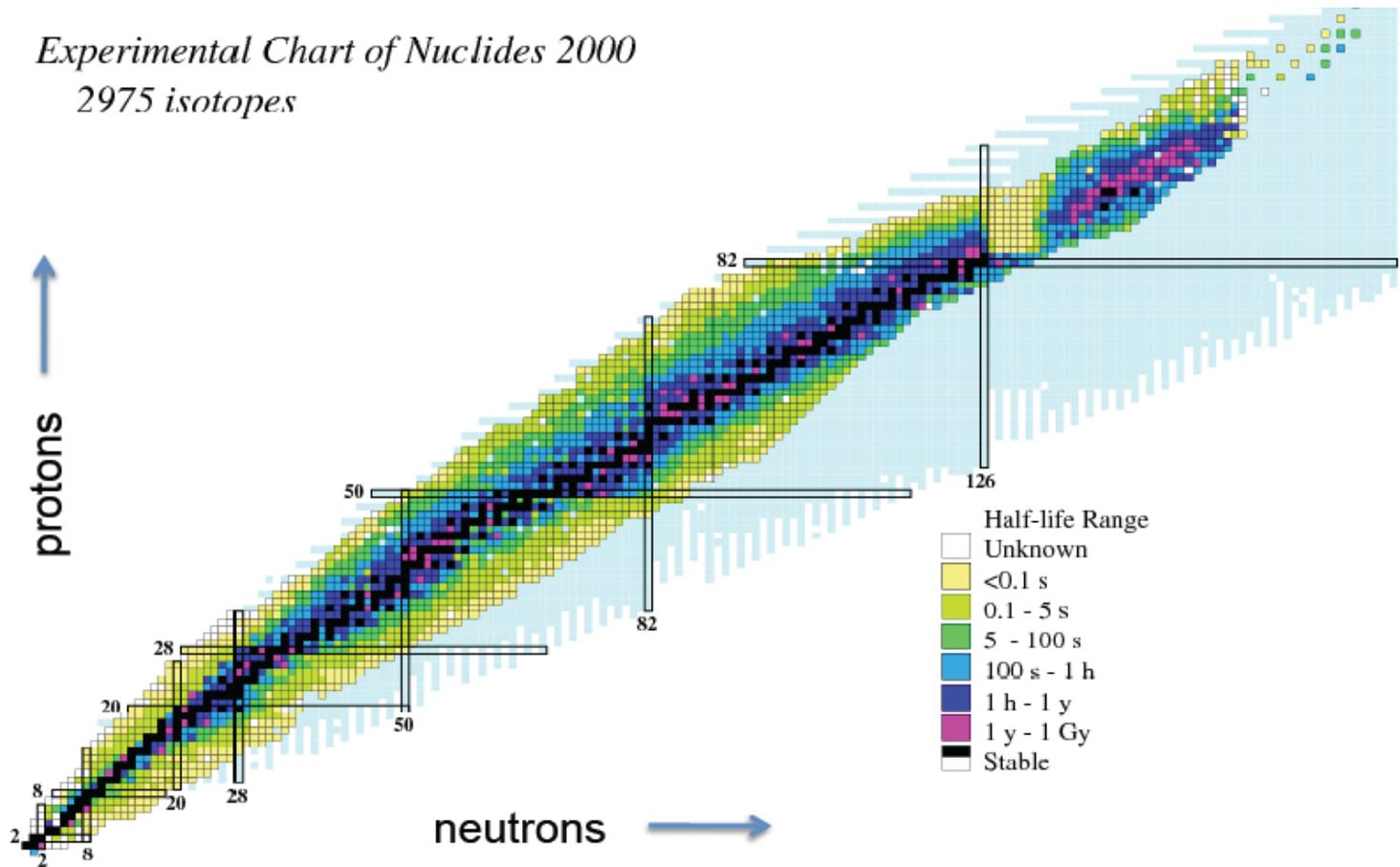
ELISE – Electron scattering in a storage ring

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, γn 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

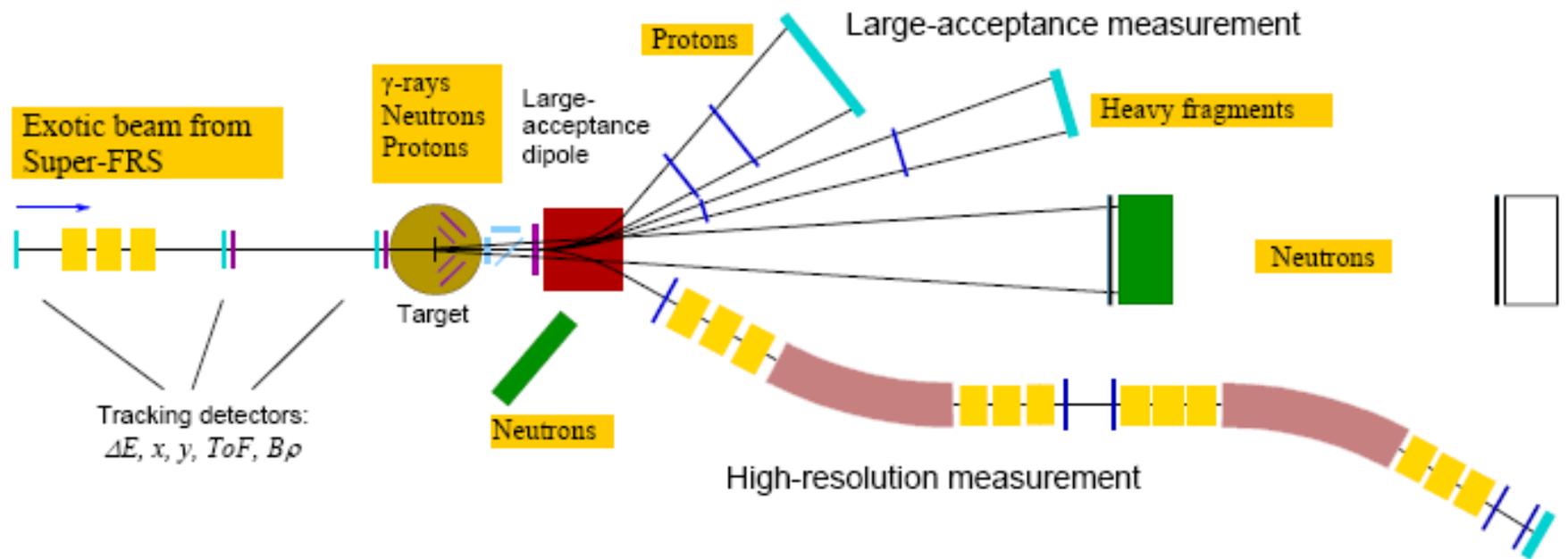


Figure 1: Schematic drawing of the experimental setup comprising γ -ray and target recoil detection, a large-acceptance dipole magnet, a high-resolution magnetic spectrometer, neutron and light-charged particle detectors, and a variety of heavy-ion detectors.

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 R3B , нейтронный времяпролетный спектрометр NeuLAND	1.250 000	<i>TDR пока не утвержден (2011).</i> Утвержден, 2013
23	NuSTAR, Г.Д. Алхазов (ПИЯФ, Гатчина)	Эксперимент R3B Активная мишень АСТАР на водороде	1.105 000	<i>TDR пока не утвержден.</i>
24	NuSTAR, А.Г. Крившич (ПИЯФ, Гатчина)	Эксперимент R3B Трековые детекторы (43% всей системы) PSP code 1.2.5.1.2.1 (straw tubes)	0.160 000	<i>TDR пока не утвержден.</i>
	Полная заявка от России на эксперименты на апрель 2011		50.141.000	

**1.250 → 0.600
→ 1.250**

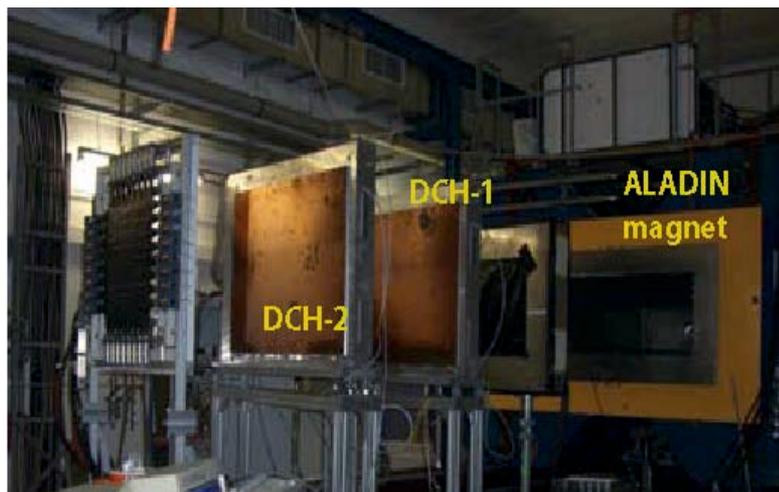
?

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 $1.2 \times 0.8 \text{ м}^2$, **со считывающей электроникой**. Каждая камера имеет 2 слоя ячеек X, и два слоя Y. Эти камеры используются в экспериментах LAND.



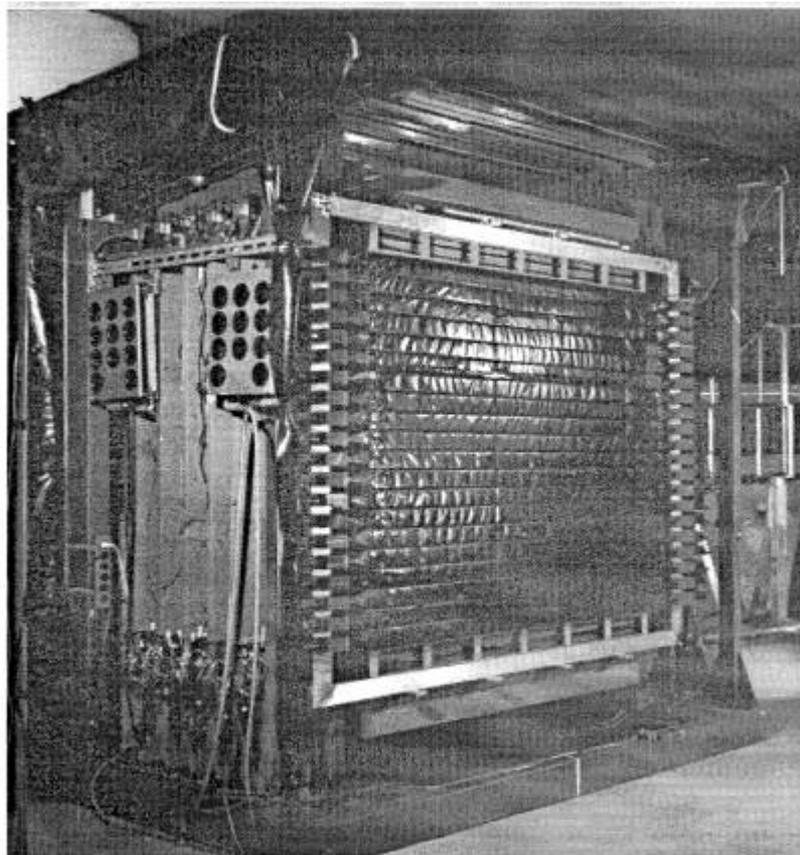
Камеры ПИЯФ – DCH1 и DCH2

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

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

+ CROS3 readout.

NeuLAND – детектор быстрых нейтронов

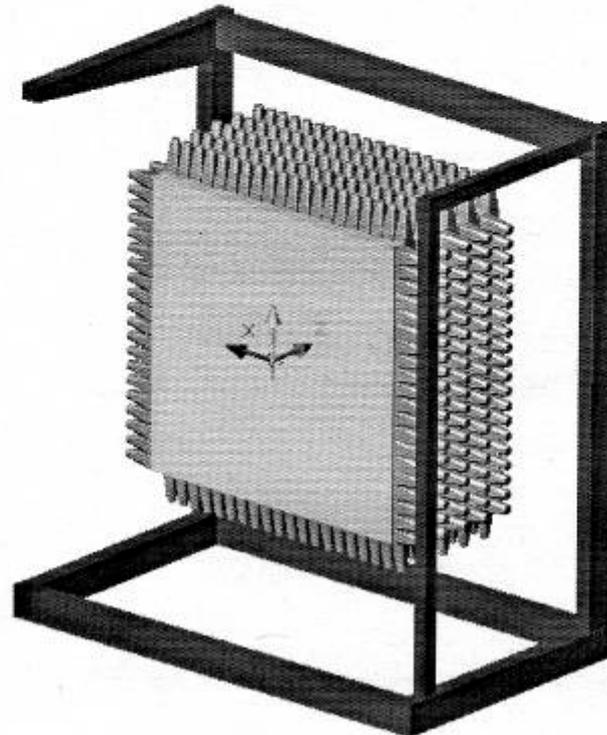


LAND – Large Area Neutron Detector

Existing LAND detector:

- $\sigma_t < 250$ ps
- $\sigma_{x,y,z} \approx 3$ cm
- Size: 2 x 2 x 1 m³
- 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. $2 \times 2 \times 0.8$ m³
- Efficiency $> 90\%$ for 1-n hits
- Improvement of multi-n recognition



Timing RPC concept:

- Total of 140 m² RPC
- Approx. 10'000 channels
- Converter material: integrated in RPC structure



Compared to existing RPC types:

- Low count rates (< 1 Hz/cm²)
- 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.

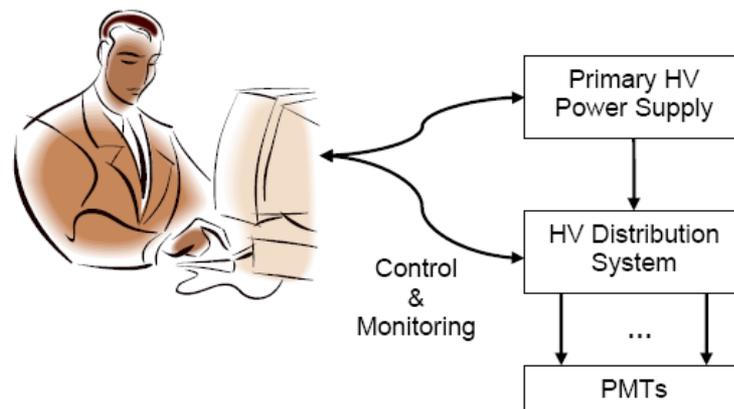
Немцы – регулируемые источники низкого напряжения и преобразователи низкое напряжение → высокое напряжение на каждом ФЭУ.

PNPI – HV system:

2 мощных HV источника – 2 kV, 1 A,
+ активные регулируемые делители на
6000 каналов 0.3 mA (≤ 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.

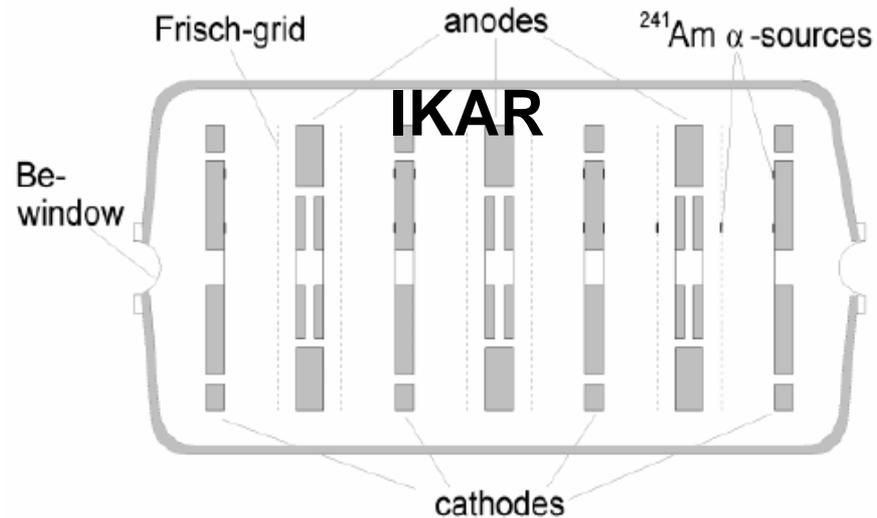
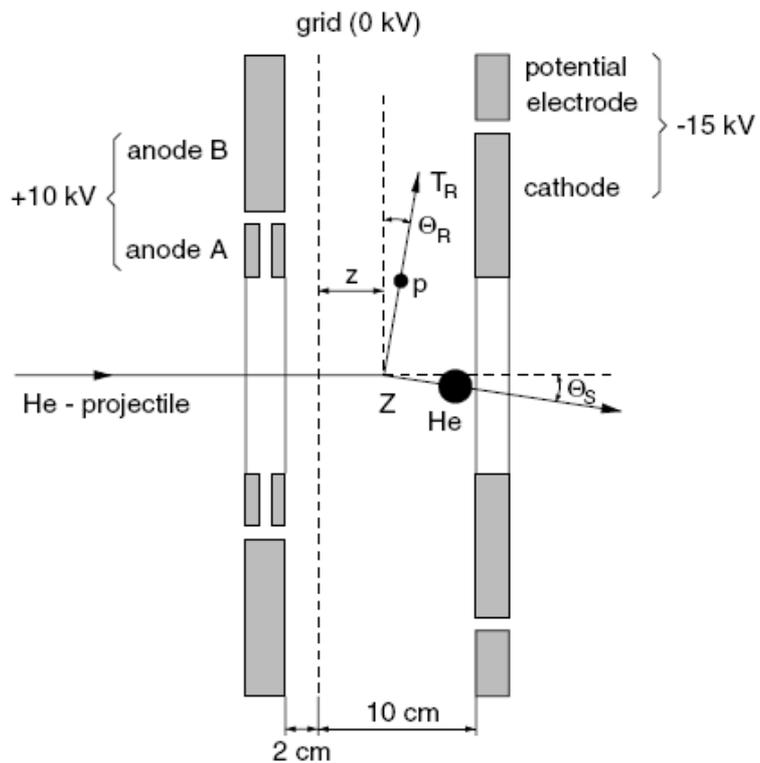
ACTAR

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
- **(α,α') inelastic scattering** –
ISGM resonances, nuclear matter compressibility

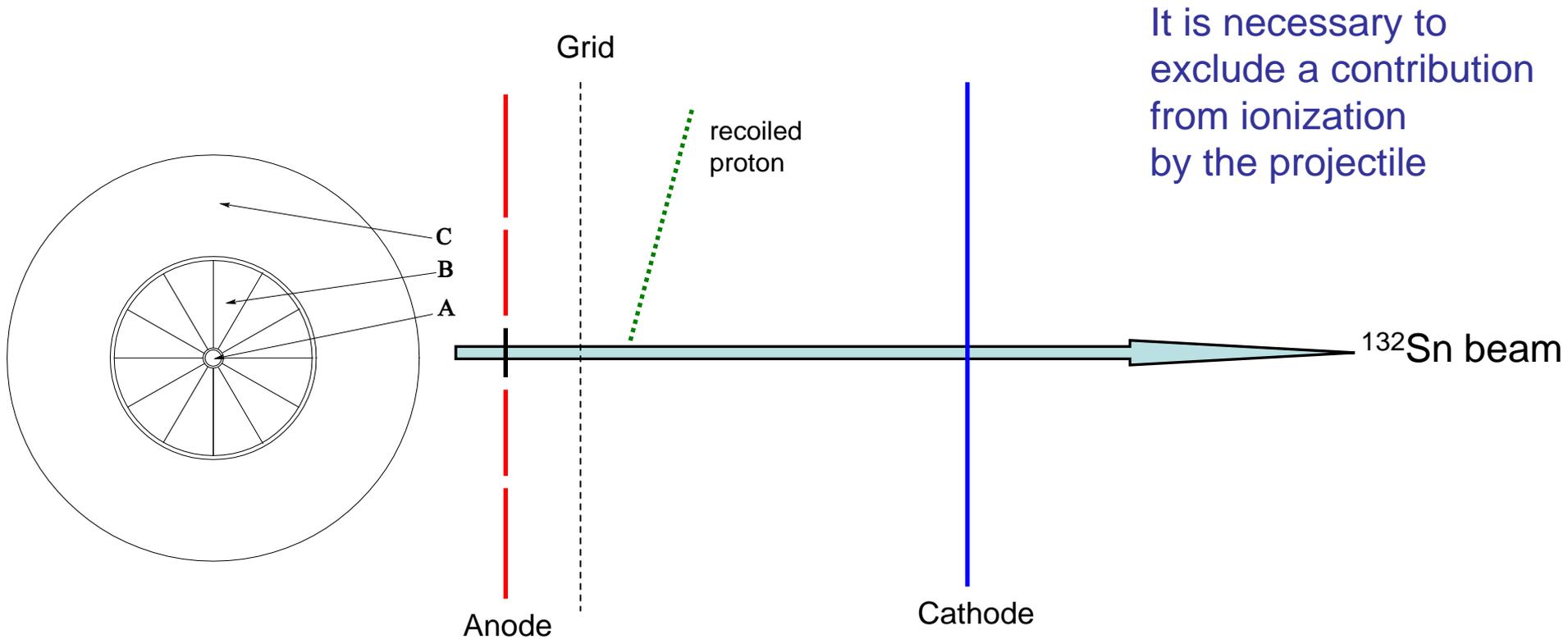
PNPI participants: G.Alkhazov, D.Balin, A.Dobrovolsky, A.Inglessi, A.Khanzadeev,
G.Korolev, O.Kisilev, G.Petrov, L.Sergeev, V.Sarantsev,
V.Yatsoura, E.Maev, Yu.Zalite.



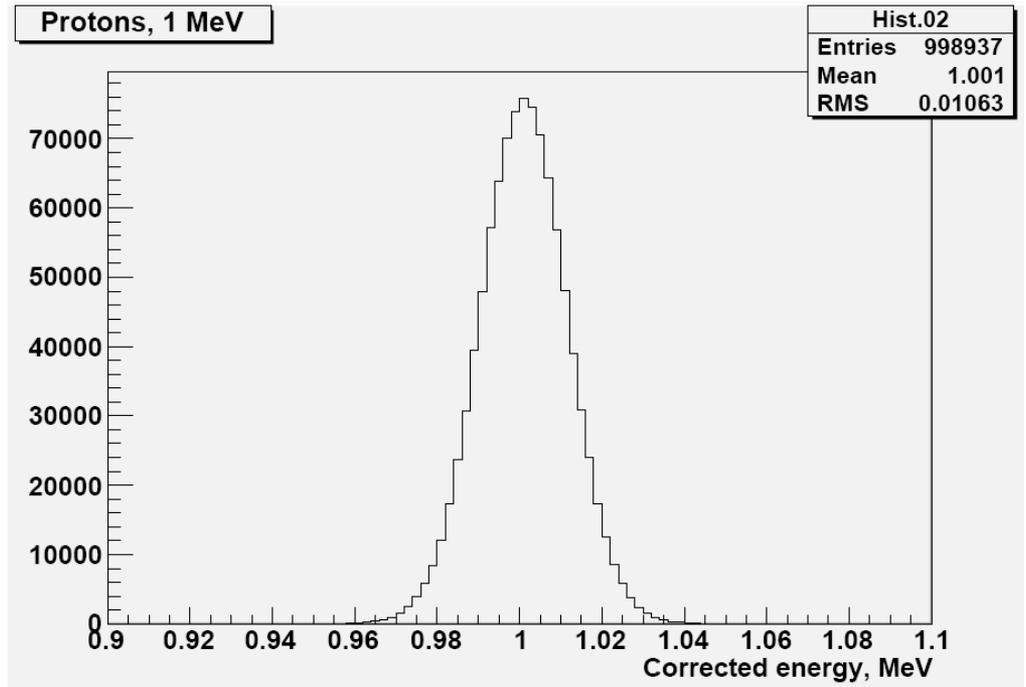
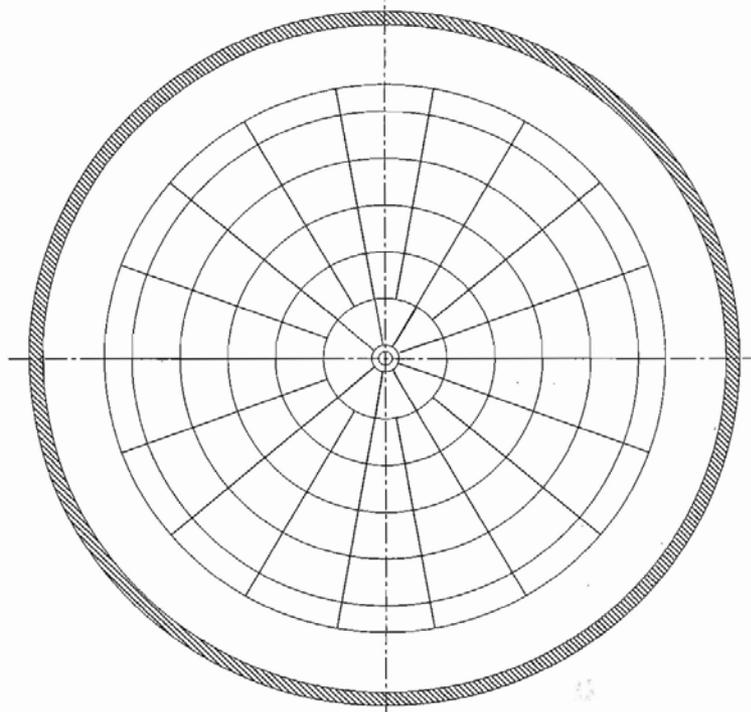
Исследованы ядра изотопов He, Li, Be, B, C:

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

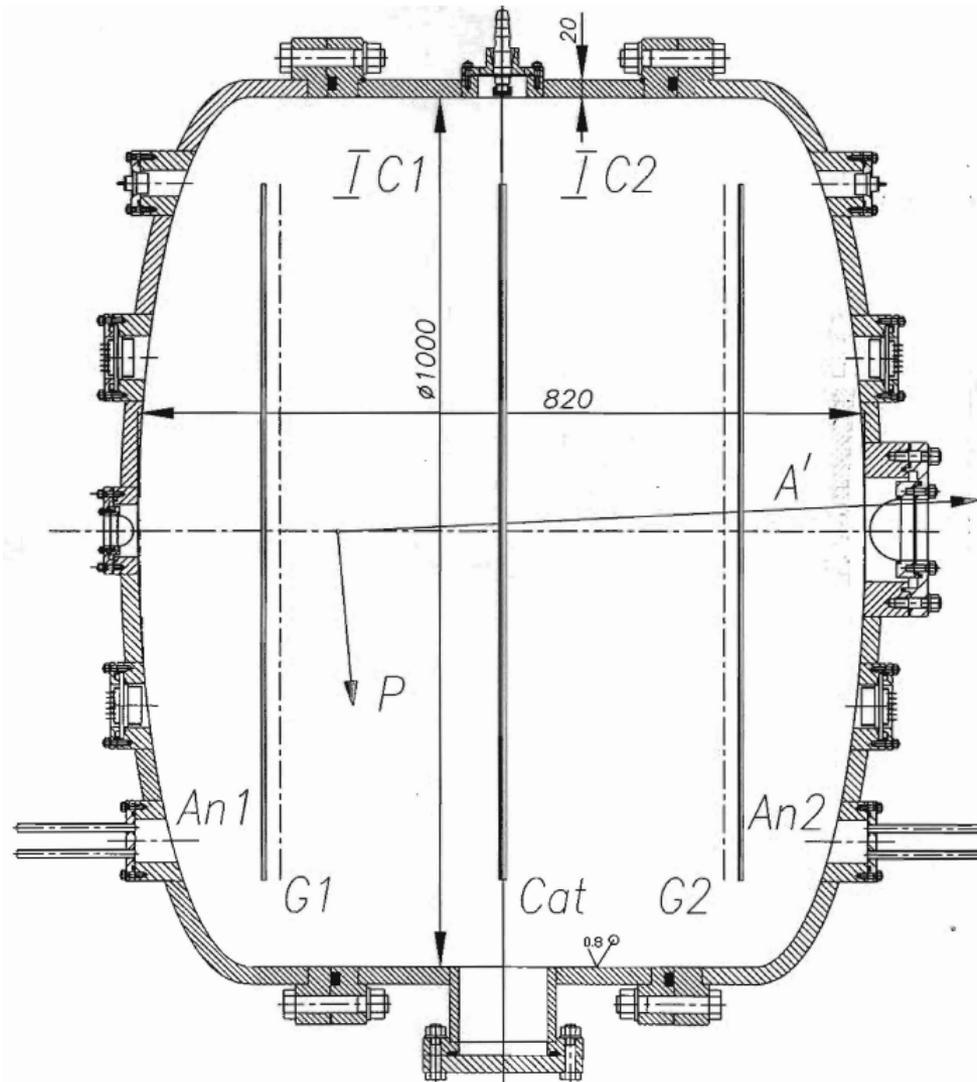
First step: IKAR chamber



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



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



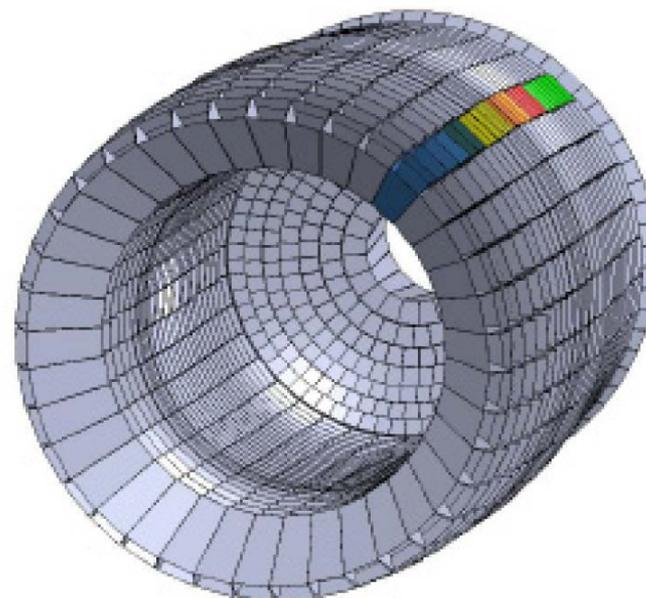
ACTAR1

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

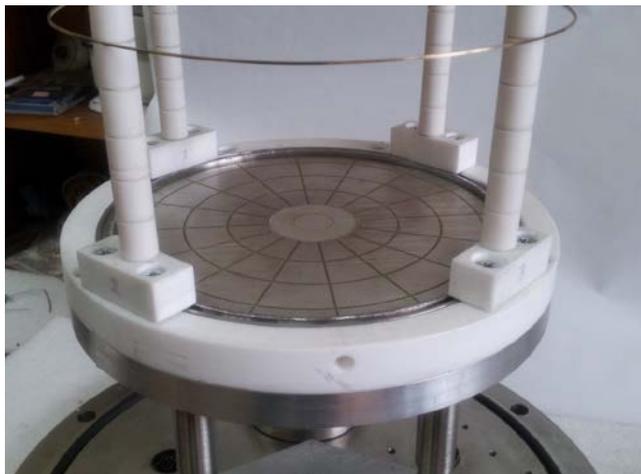
Неупругое рассеяние на ядрах α -частиц в инверсной кинематике



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