

# FAIR, NUSTAR, R3B + EXL

**FAIR** – Facility for Antiproton and Ion Research

**NUSTAR** – Nuclear Structure, Astrophysics, and Reactions

## **NUSTAR:**

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

**ILIMA** - Schottky and Isochronos mass spectroscopy

**MATS** - Mass measurements with a Penning Trap

**LASPEC** – Laser Spectroscopy investigations

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

**AIC** – Antiproton Ion Collider

**R3B** – Reactions with Relativistic Radioactive Beams

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

# FAIR, NUSTAR, R3B + EXL

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

**EXL** – studies at internal beams of nuclei at the NESR ring

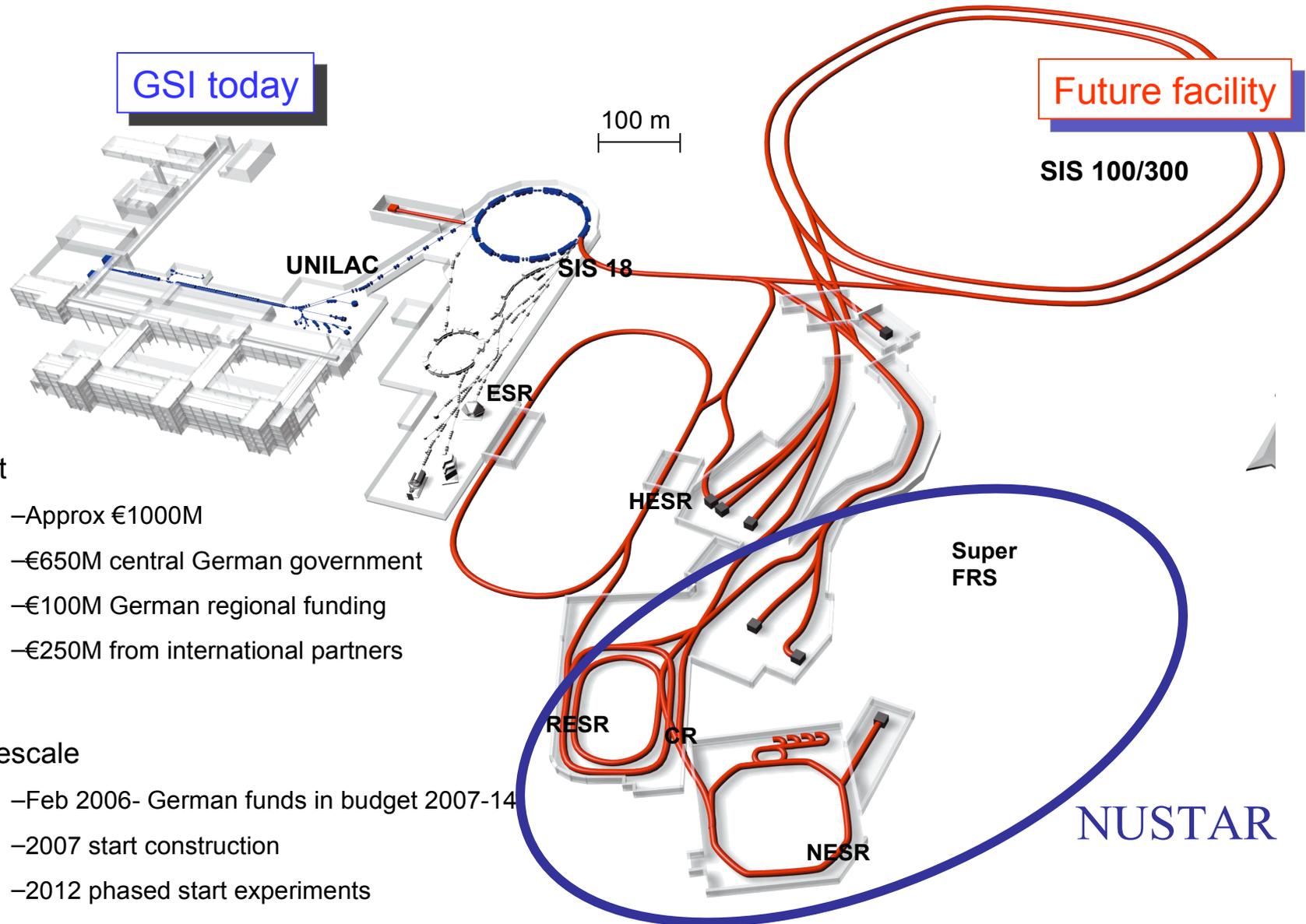
## Physics goals:

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, 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

# FAIR - Facility for Antiproton and Ion Research



## •Cost

- Approx €1000M
- €650M central German government
- €100M German regional funding
- €250M from international partners

## •Timescale

- Feb 2006- German funds in budget 2007-14
- 2007 start construction
- 2012 phased start experiments
- 2014 completion

NUSTAR

# NUSTAR facility (NUclear STructure Astrophysics and Reactions)

Exotic (radioactive) beams formed by fragmentation, selected by separator.

HiSpec : gamma spec  
DeSpec : decay spec  
LASPEC: laser spec  
MATS: Penning traps



Pre-Separator

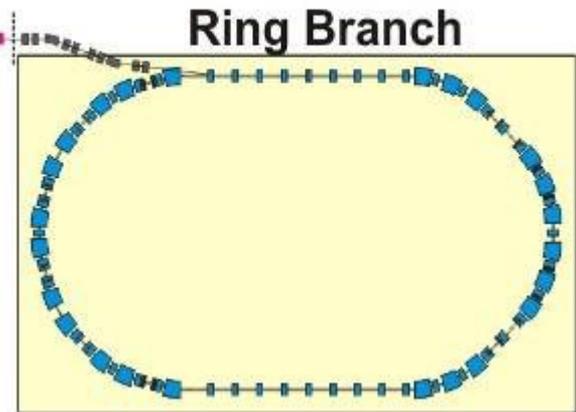
Main-Separator

High-Energy Branch

R<sup>3</sup>B: reactions

SIS-200  
Production Target

100 m



Stored beam (rings):  
EXL : hadron scattering  
ELISE : electron scattering  
AIC : antiproton scattering  
ILIMA : mass spectroscopy

## NESR

### ELISE:

Elastic and inelastic electron scattering  
(charge distributions, giant resonances)

### AIC:

Antiproton annihilation on nuclear surface  
(neutron skin thickness)

### EXL:

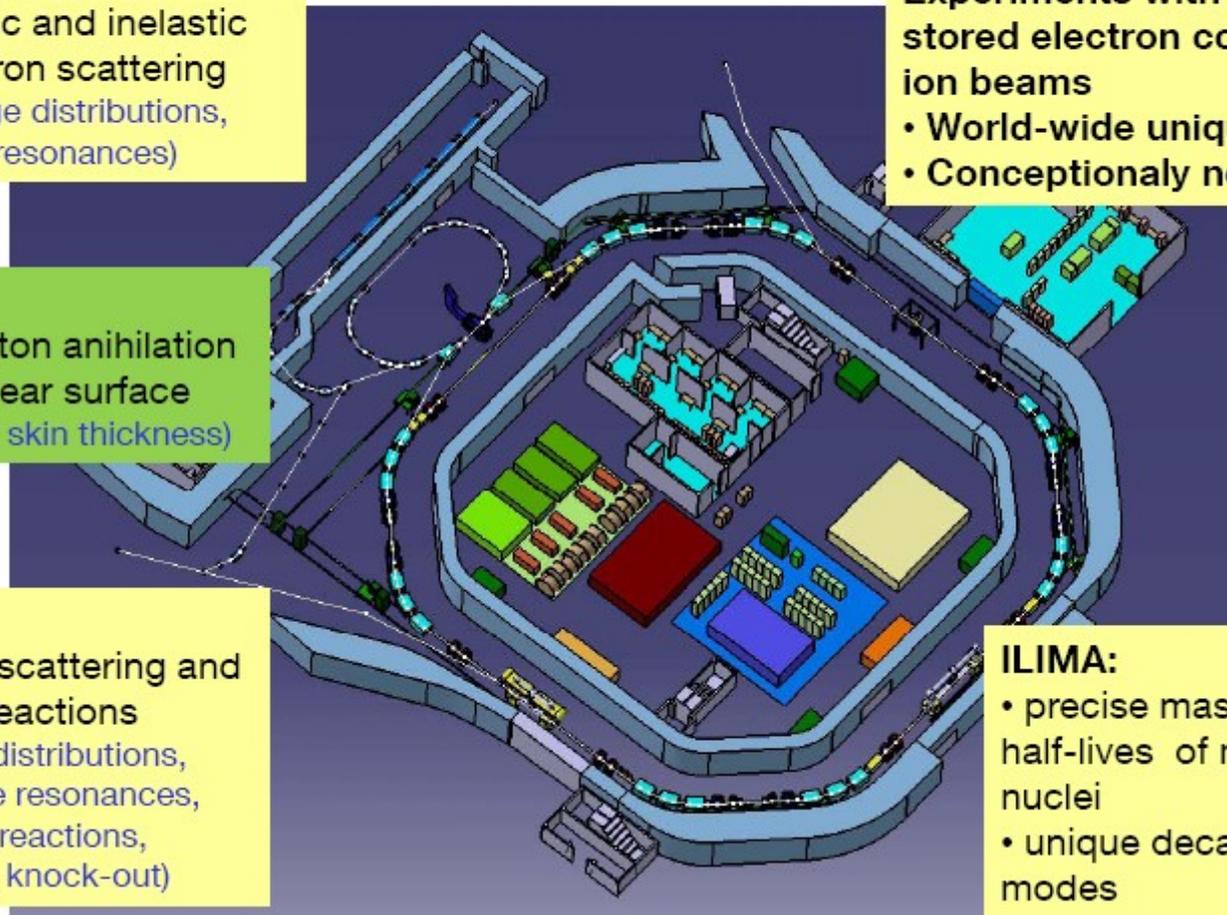
Elastic scattering and low-q reactions  
(matter distributions, monopole resonances, capture reactions, transfer, knock-out)

Experiments with stored electron cooled ion beams

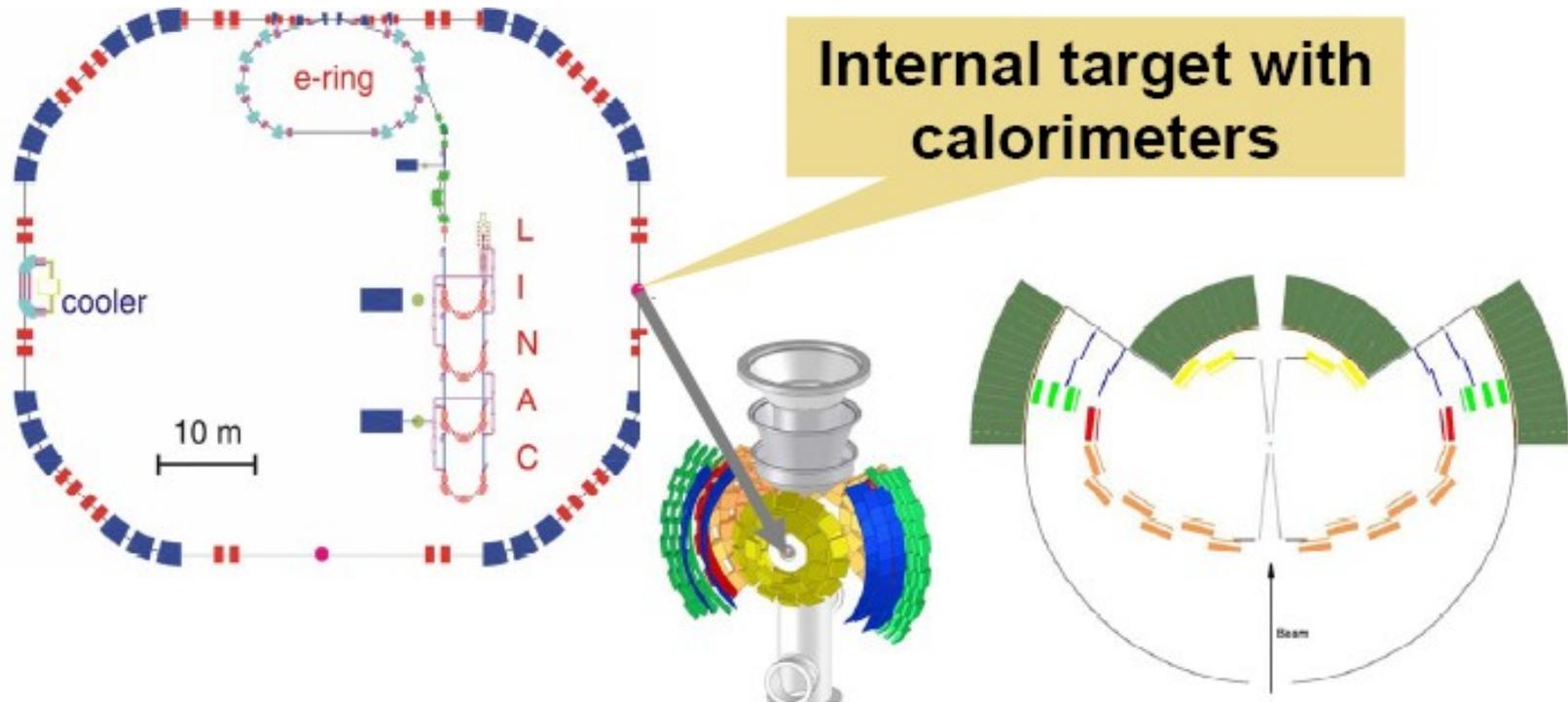
- World-wide unique
- Conceptionally new

### ILIMA:

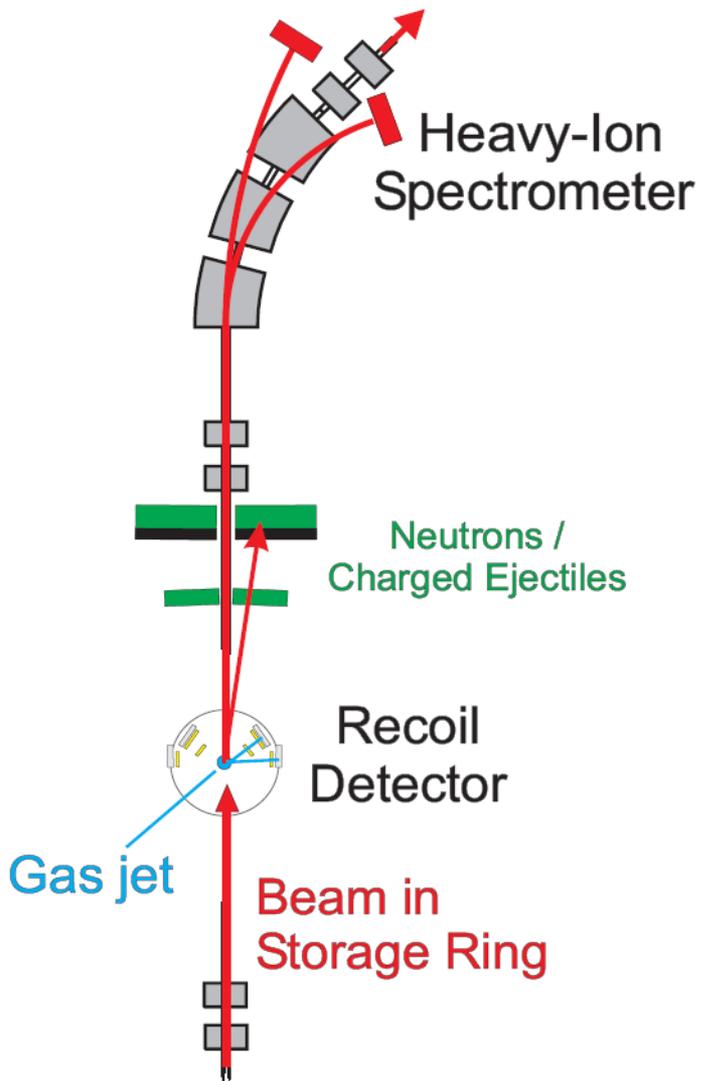
- precise masses and half-lives of many nuclei
- unique decay modes



# EXL

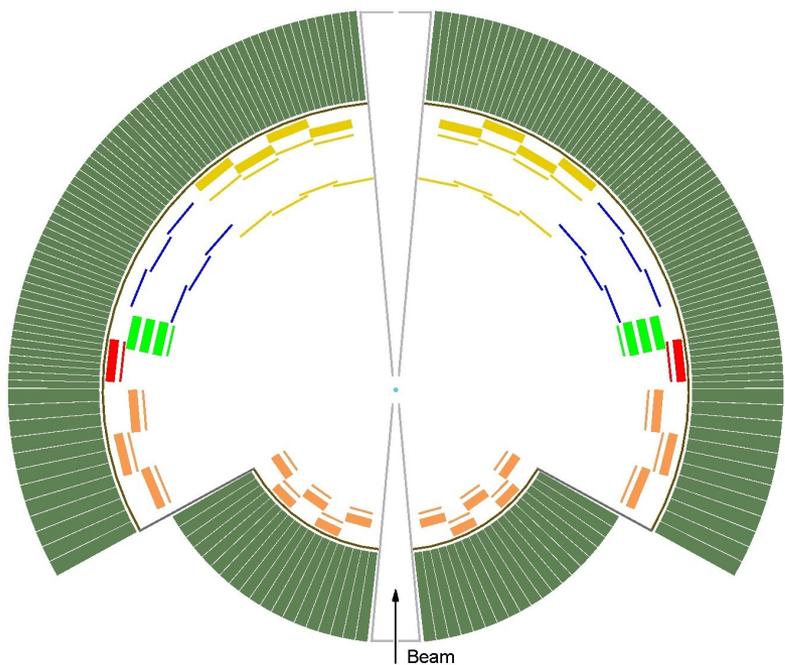


# EXL setup



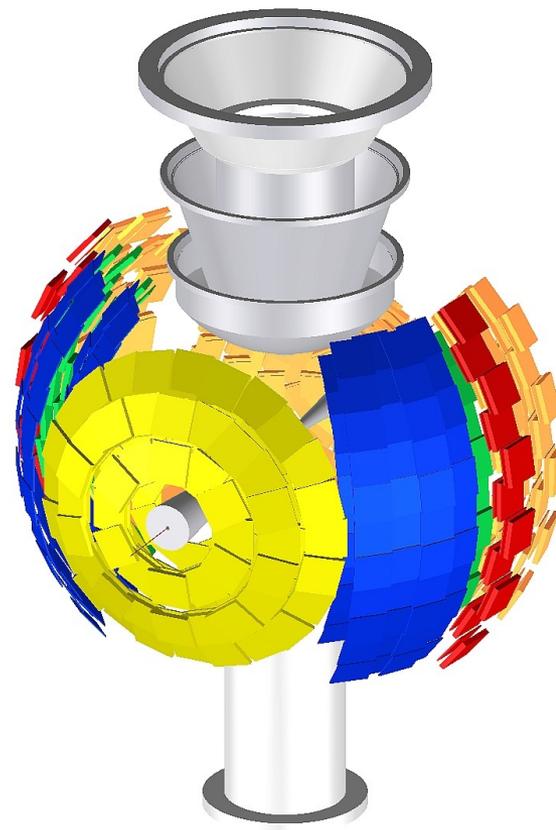
Детектор протонов (ядер) отдачи

Схематическое изображение установки EXL



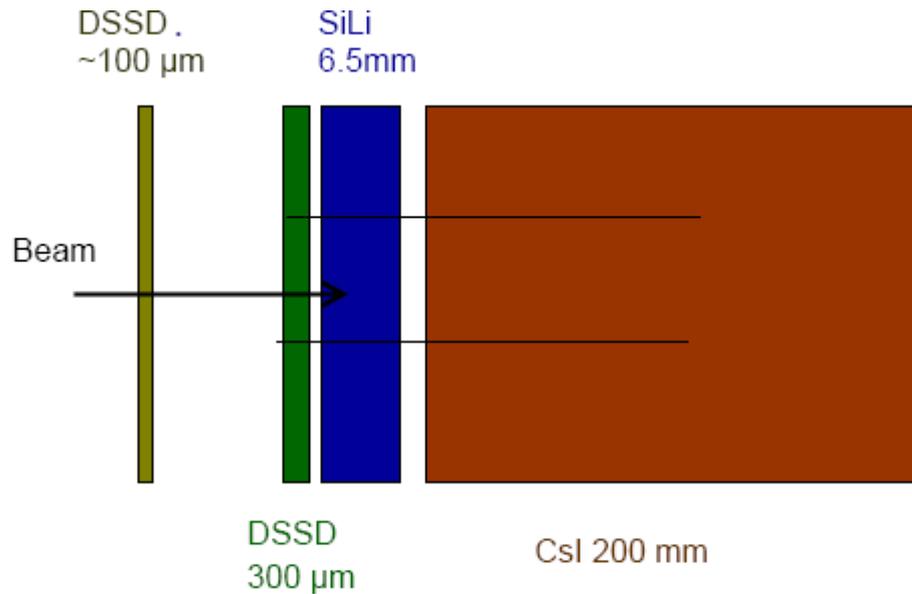
10 cm

- gasjet target
- thin window foil
- scintillator hodoscope for  $\gamma$ -rays and fast recoils
- silicon detectors:
- region A
- region B
- region C
- region D
- region E



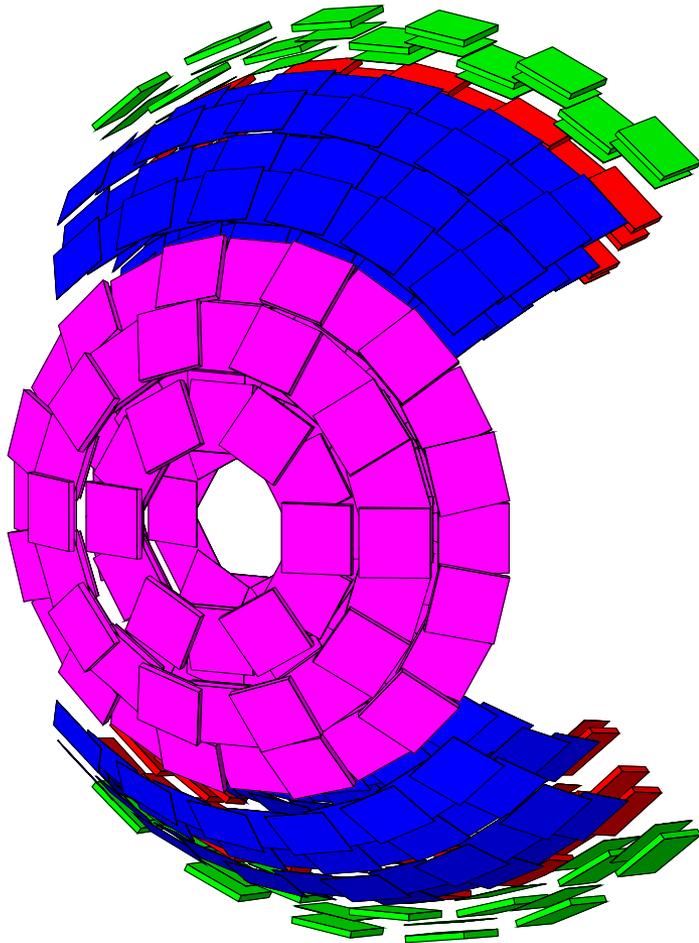
**Центральное сечение детектора эксперимента EXL в горизонтальной плоскости, показывающее состав детекторов, формирующих кремниевый позиционно чувствительный спектрометр и сцинтилляционную оболочку.**

Ю.К. Залите



First DSSD – e.g.  $2.1 \times 2.1 \text{ cm}^2$ , 0.3/1.25 mm pitch (PTI, EXL) or 0.1/0.1 mm pitch R<sup>3</sup>B  
 Second DSSD – e.g.  $5.2 \times 6.7 \text{ cm}^2$ , 0.1/0.2 mm pitch (Micron, EXL) or 0.1/0.1 mm pitch R<sup>3</sup>B  
 Si(Li) or Si – e.g.  $9 \times 5 \text{ cm}^2$ , 4 x 2 pads ---- EXL  
 CsI – e.g. volume  $3 \times 3 \text{ cm}^2 \times 20 \text{ cm}$

(DSSD – double side silicon detector)



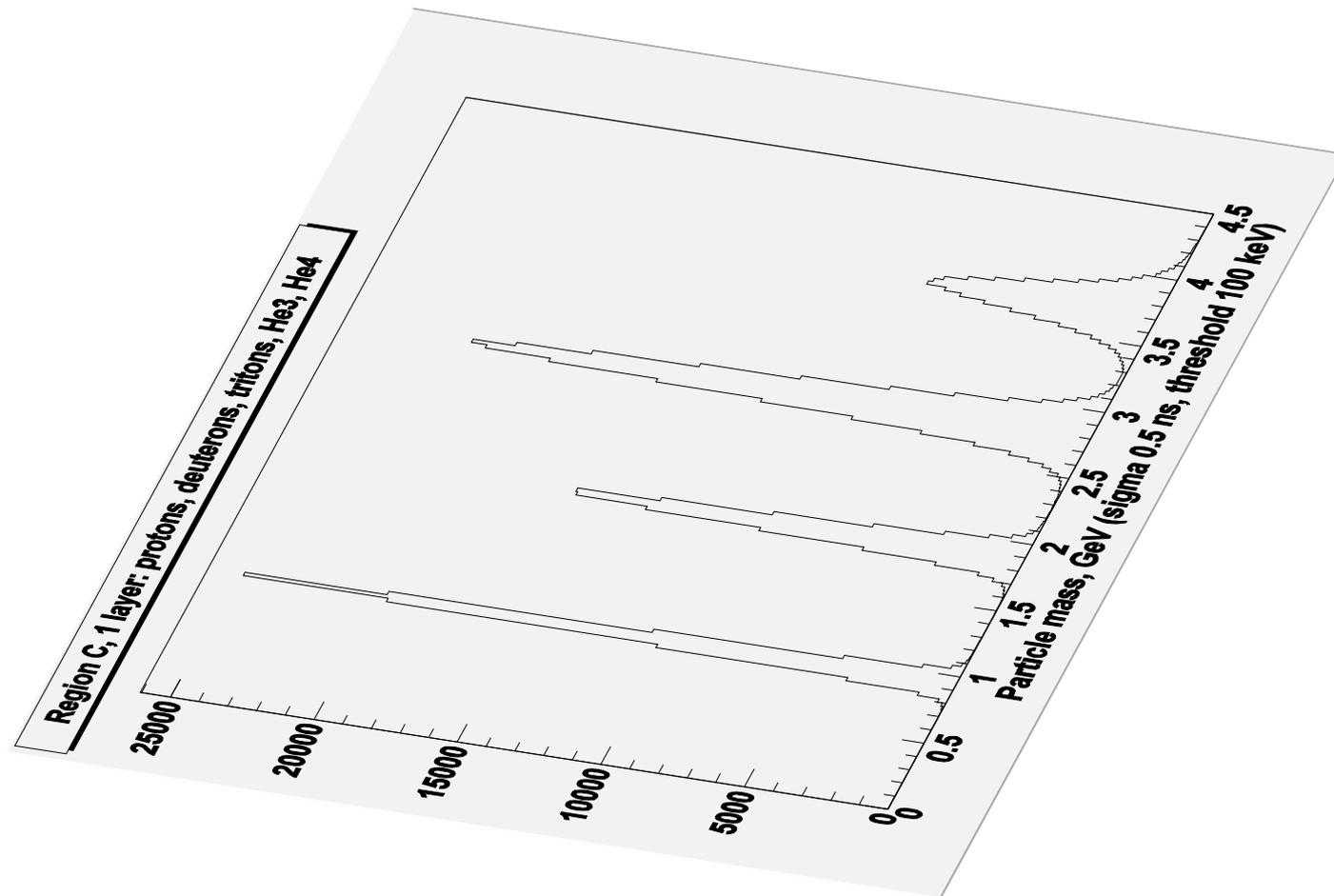
- Si, 300  $\mu\text{m}$  thick, double sided, spatial resolution better than 500  $\mu\text{m}$  in X and Y,  $\Delta E \approx 30$  keV (FWHM)
- Si,  $\leq 100$   $\mu\text{m}$  thick, double sided, spatial resolution better than 100  $\mu\text{m}$  in X and Y,  $\Delta E \approx 30$  keV (FWHM)
- Si(Li), 9 mm thick, large area 100\*100 mm<sup>2</sup>,  $\Delta E \approx 50$  keV (FWHM)
- CsI crystals, high efficiency, high resolution, 20 cm thick
- TOF resolution  $\approx 1$  ns (FWHM)

Залите А.Ю., Залите Ю.К.

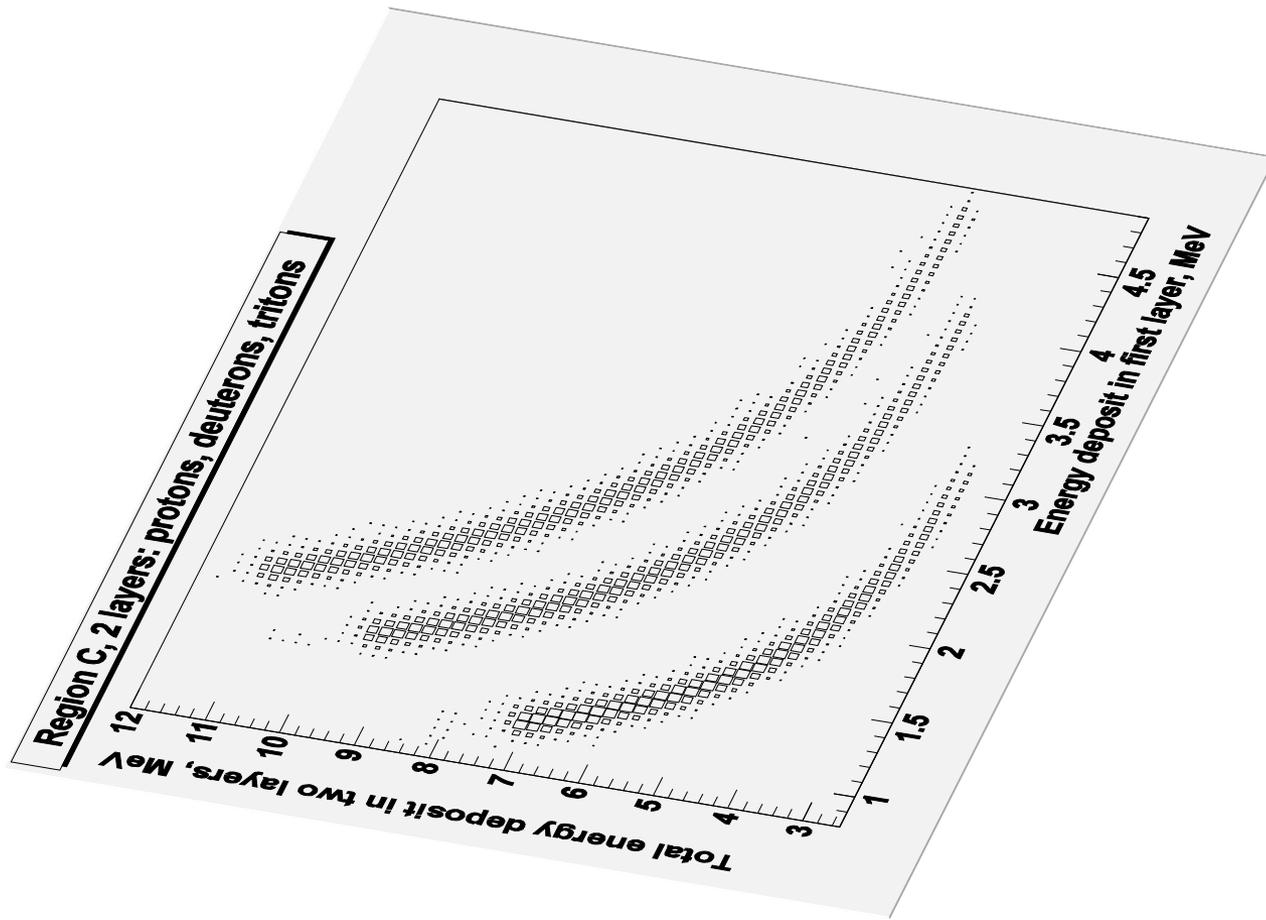
# Кремниевые детекторы в эксперименте EXL (и R3B)

Назначение	Тип детектора	Технология	Новизна
100 - 1000 кэВ Позиционно чувствительная спектрометрия	150 мкм DSSD	Планарная ИИ + CVD	Аналогов нет
10 - 10мэВ Позиционно чувствительная спектрометрия	300 мкм DSSD	Планарная ИИ + 3D	Аналогов нет
10 - 100мэВ Спектрометрия	(2.5 - 3 мм) x 3 Сегментированный	Планарная ИИ	Аналогов нет
10 - 100мэВ Спектрометрия	8 мм сегментированный	Si(Li)	Аналоги существуют
Детектирующая UHV оболочка	150 мкм DSSD,	Планарная ИИ + CVD	Аналогов нет

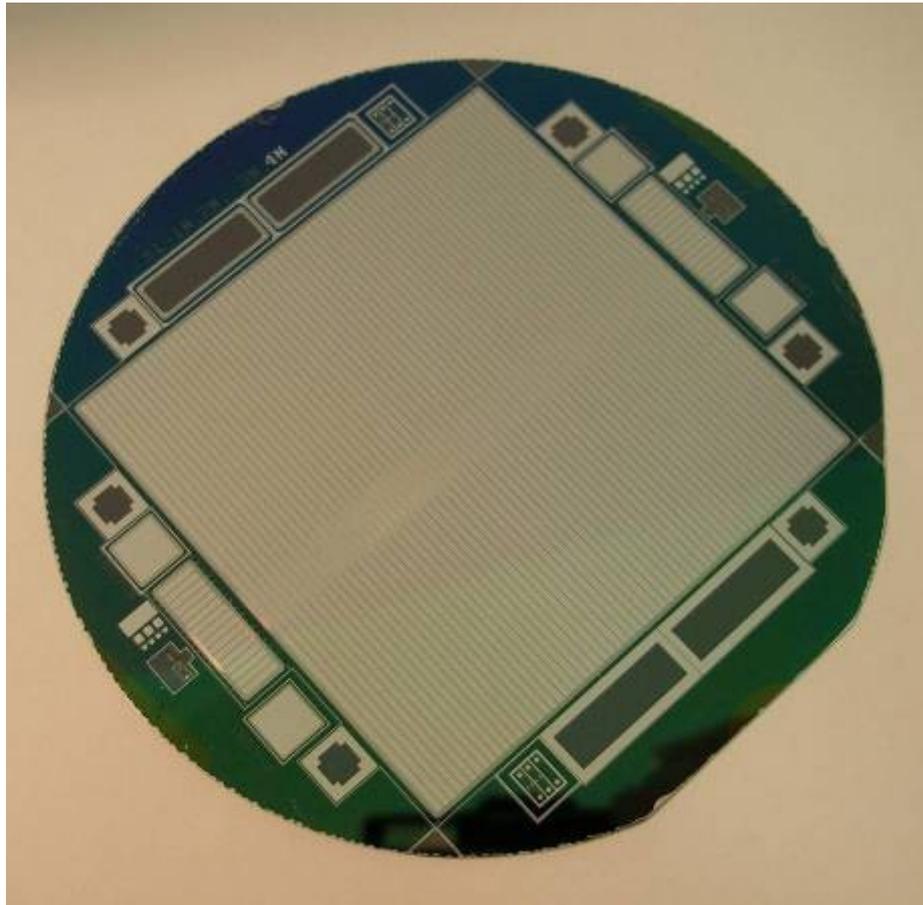
(ИИ – ионная имплантация, CVD – chemical vacuum deposition, 3D – 3-dimensional)



Identification of the particles stopped in the first layer.

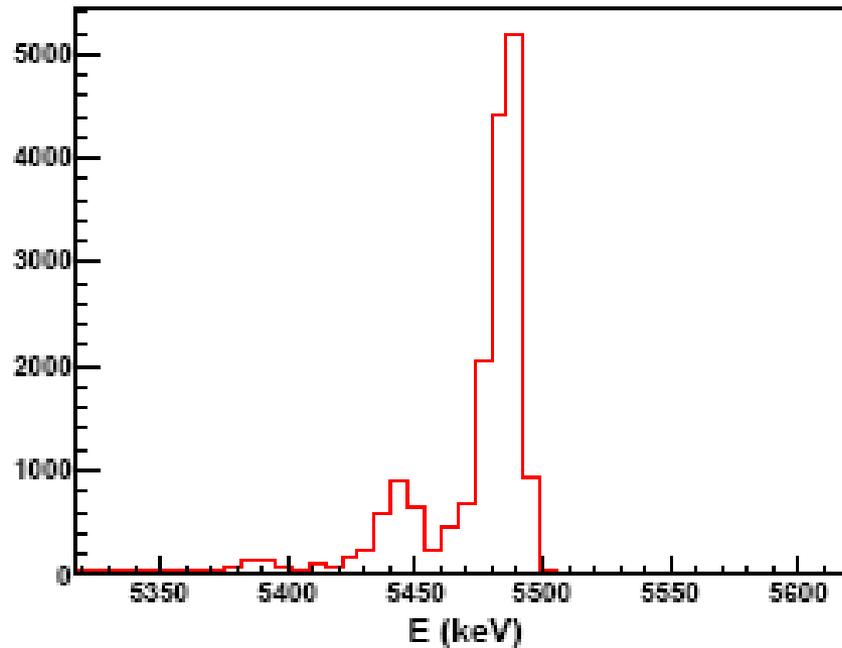


Identification of the particles stopped in the second layer

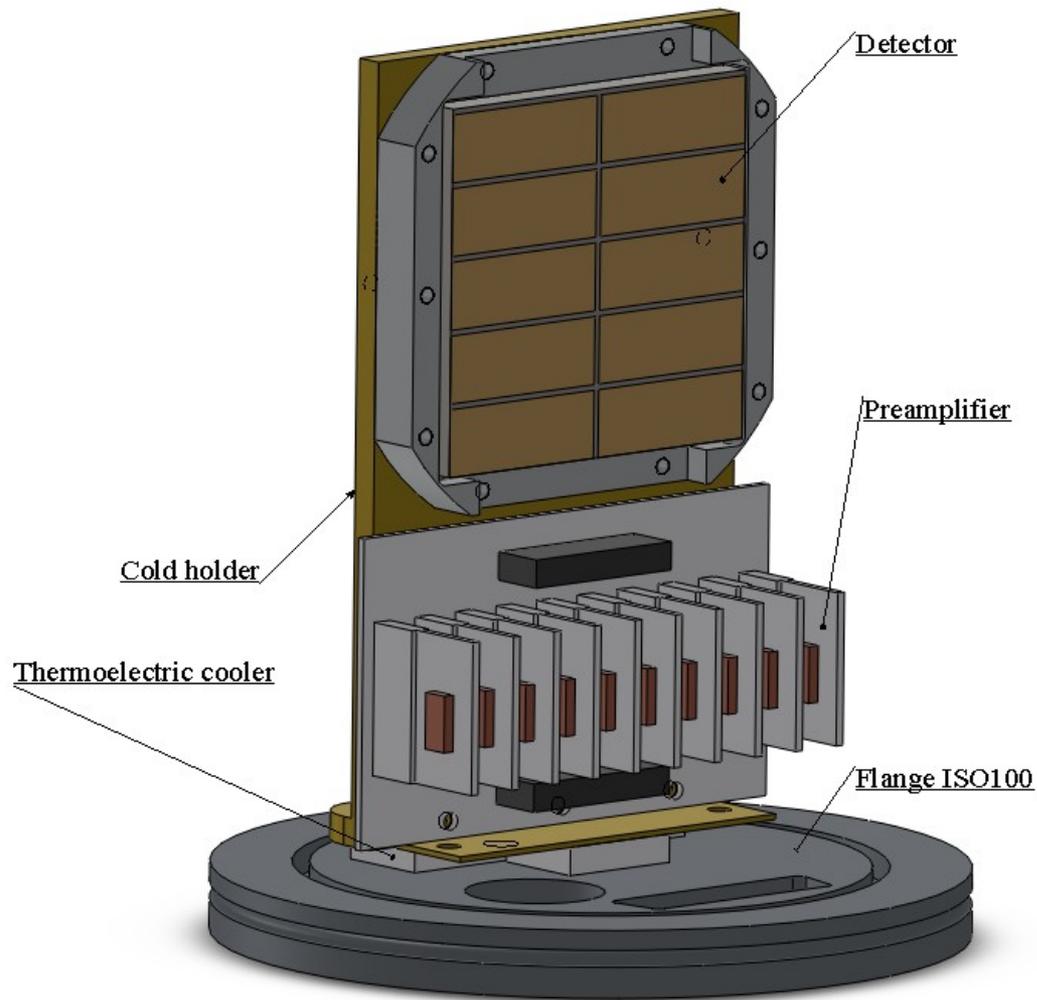


**Фотография прототипа планарного сегментированного кремниевого детектора толщиной 1.5 мм (ФТИ).**

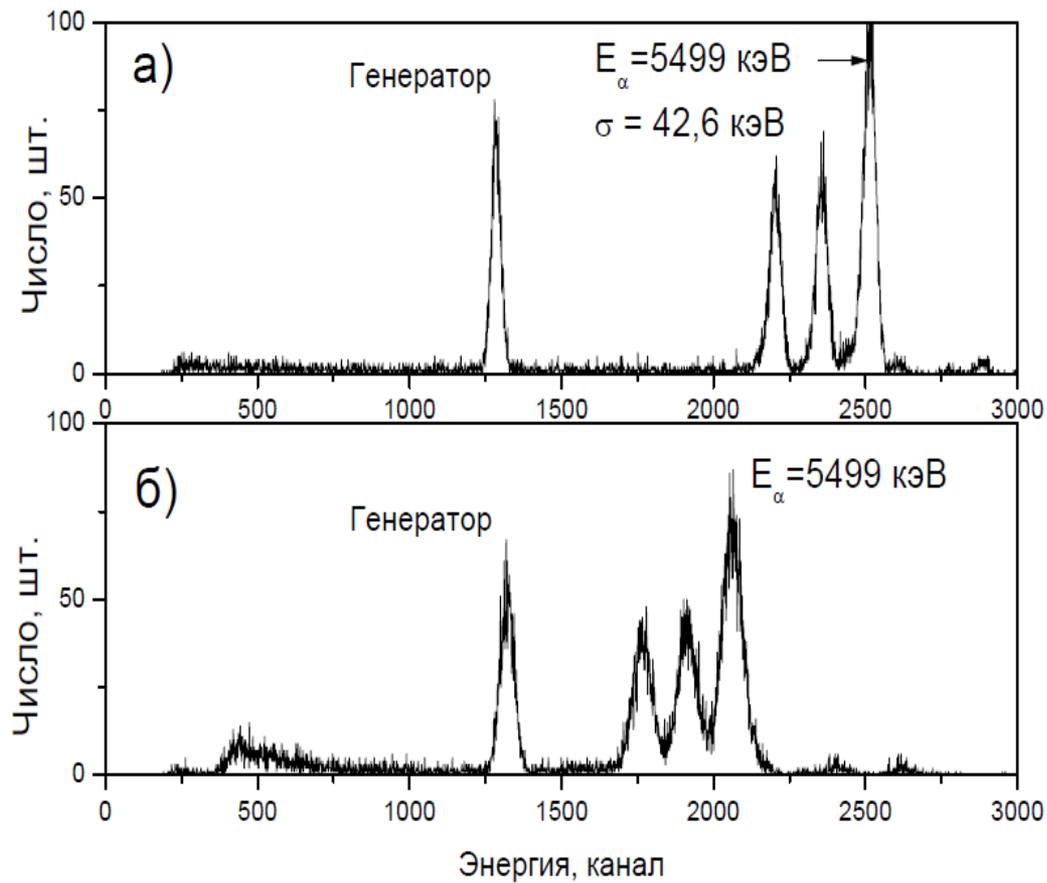
## P-side Energy Spectrum



Спектр альфа частиц изотопа  $^{241}\text{Am}$ , полученный на уменьшенном прототипе спектрометрического двухстороннего стрипового детектора, показывающий достигнутое энергетическое разрешение около 14 кэВ (ФТИ).

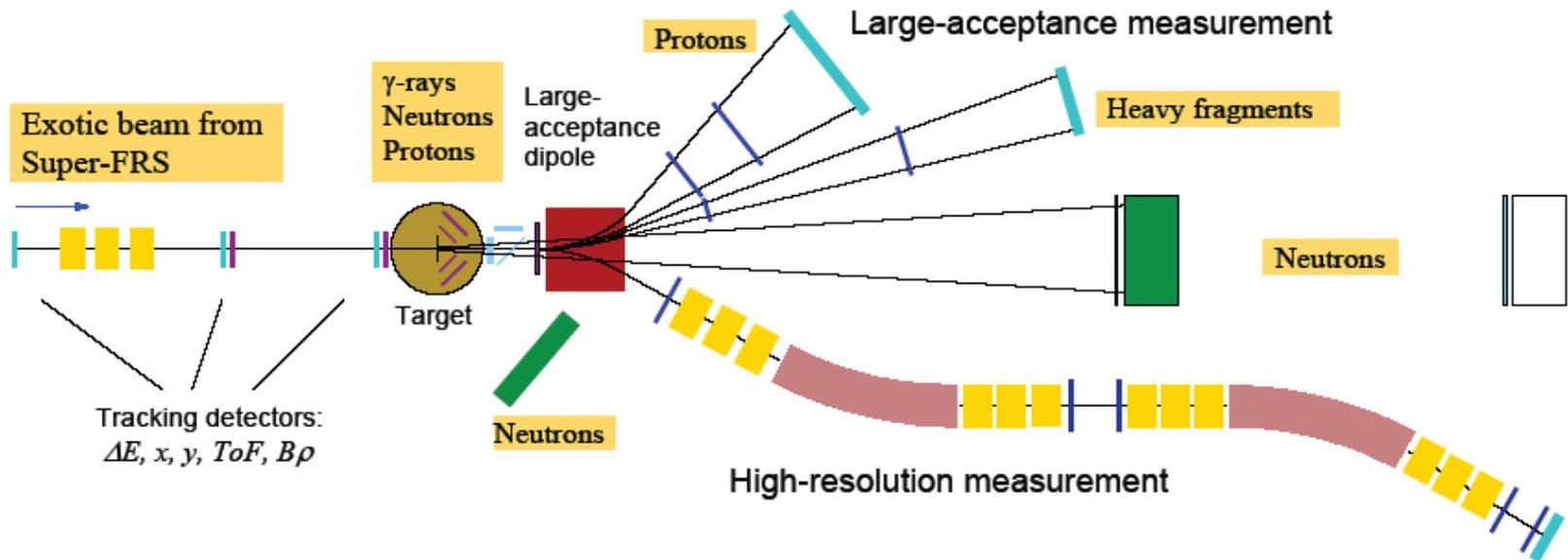


**Конструкция модуля с Si(Li) детектором, изготовленным в ПИЯФ (Д.М. Селиверстов, А.Х. Хусаинов).**

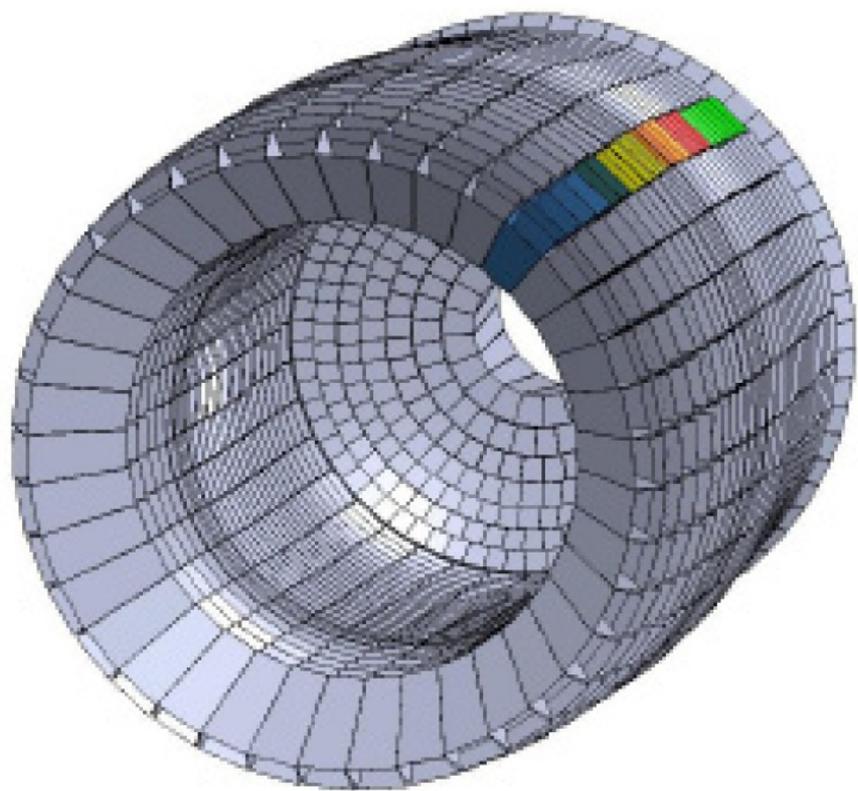


**Спектр альфа источника с триплетом линий, полученный на одном из сегментов изготовленного Si(Li) детектора (ПИЯФ).**

# R3B setup



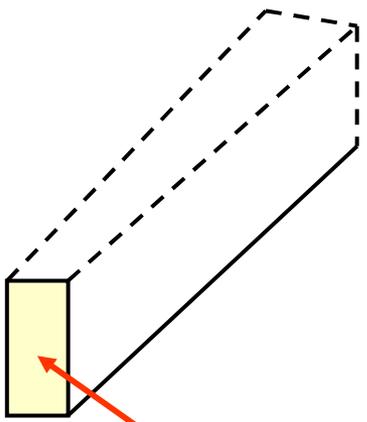
Схематическое изображение установки эксперимента R3B.



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

Total absorption efficiency	80 % ( $E_\gamma=15$ MeV lab R3B) ( $E_\gamma=2-4$ MeV lab EXL)	Very large crystals
$E_\gamma$ sum	$\sigma(E_{\text{sum}})/\langle E_{\text{sum}} \rangle < 10\%$	
$\gamma$ Multiplicity	$\sigma(N_\gamma)/\langle N_\gamma \rangle < 10\%$	
$\Delta E/E$ for $\gamma$	2-3 %	<b><math>R(\%)=5.15/\sqrt{E_\gamma}</math>, MeV</b>
$\Delta E/E$ for p (up to 300 MeV) Calorimeter for p	1 %	<b><math>R(\%)=5.1/\sqrt{E_p}</math>, MeV</b>

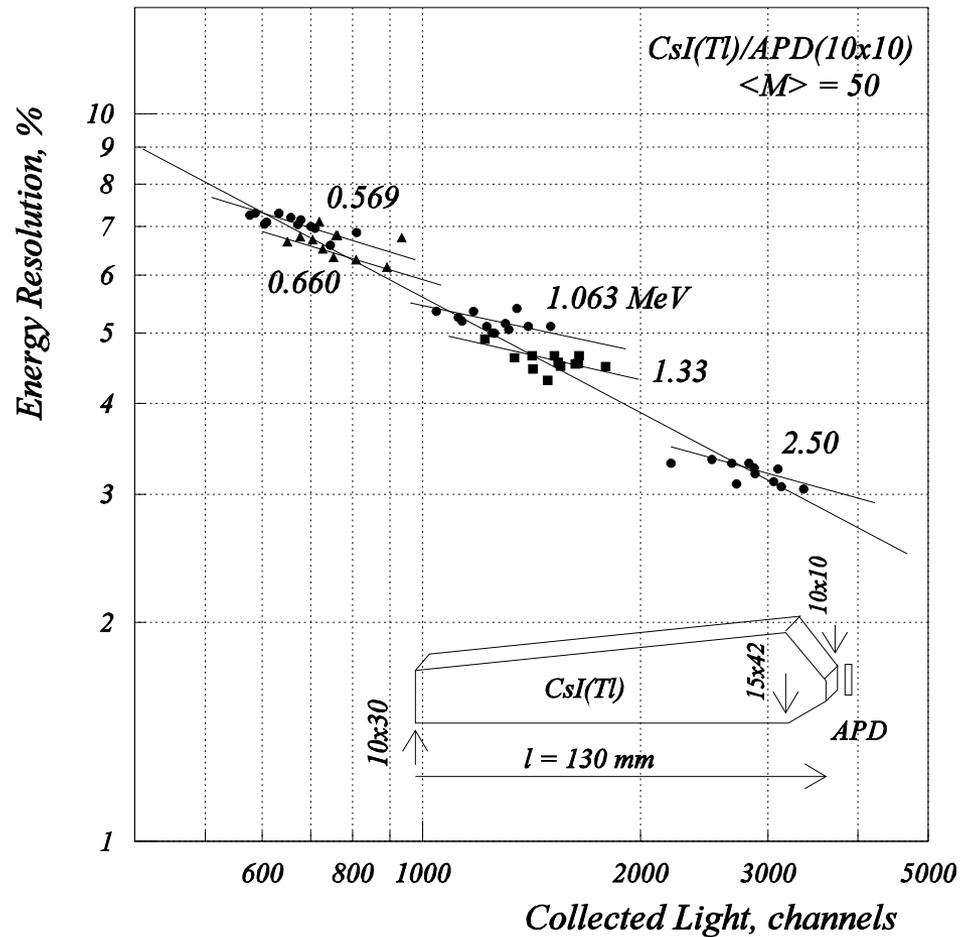
10 \* 30 \* 130 mm<sup>3</sup>



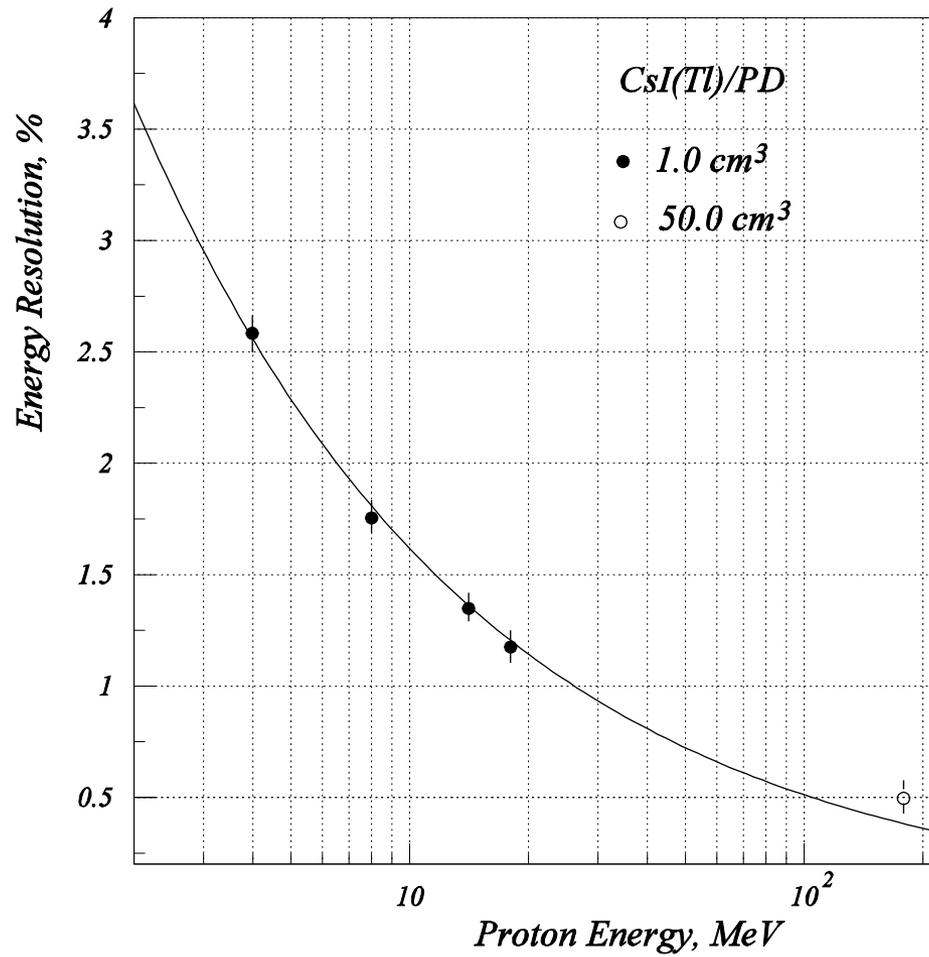
R3B  
Calorimeter  
element



**R3B Calorimeter Demonstrator: 15 CsI(Tl) elements**

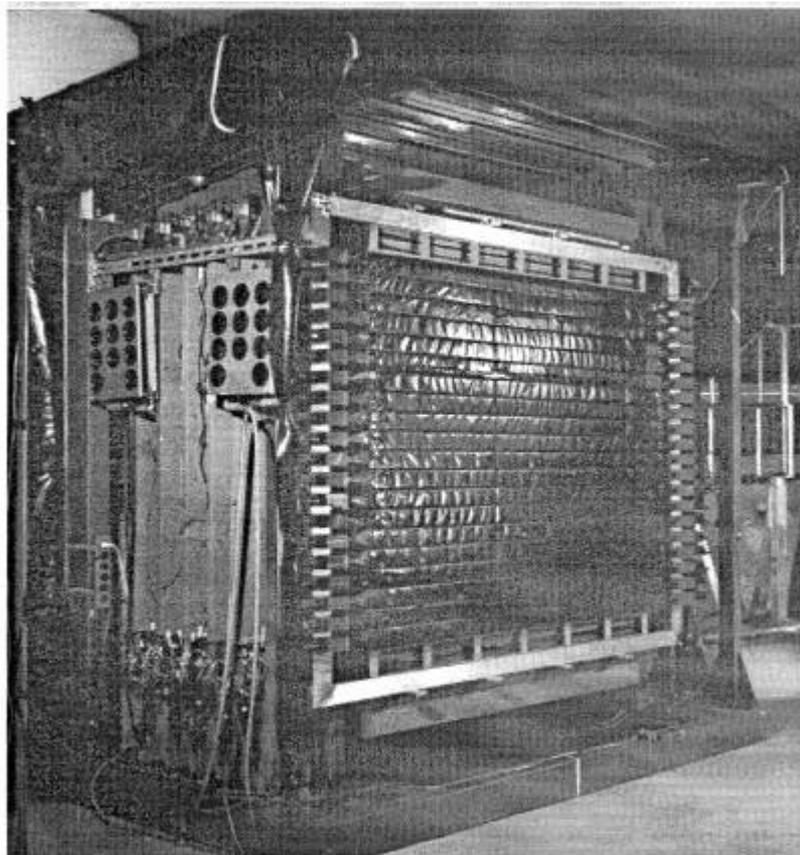


**Энергетическое разрешение CsI(Tl)/ЛФ элементов для  $\gamma$ -излучения с энергией 0.57 – 2.50 МэВ.**  
**На рисунке изображена также геометрия отдельного кристалла.**



**Энергетическое разрешение CsI(Tl)/ФЭУ элементов объемом  $1 \text{ cm}^3$  и  $50 \text{ cm}^3$  для протонов в зависимости от их энергии.**

## NeuLAND – детектор быстрых нейтронов

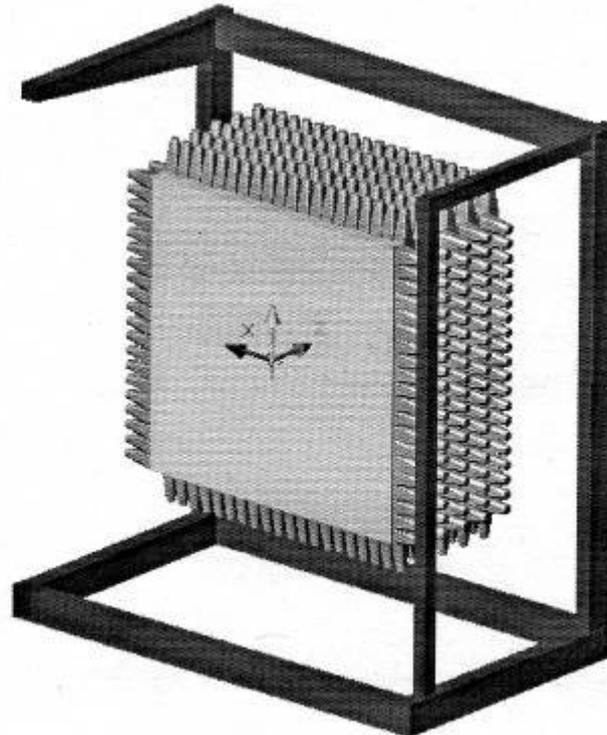


**LAND** – Large Area Neutron Detector

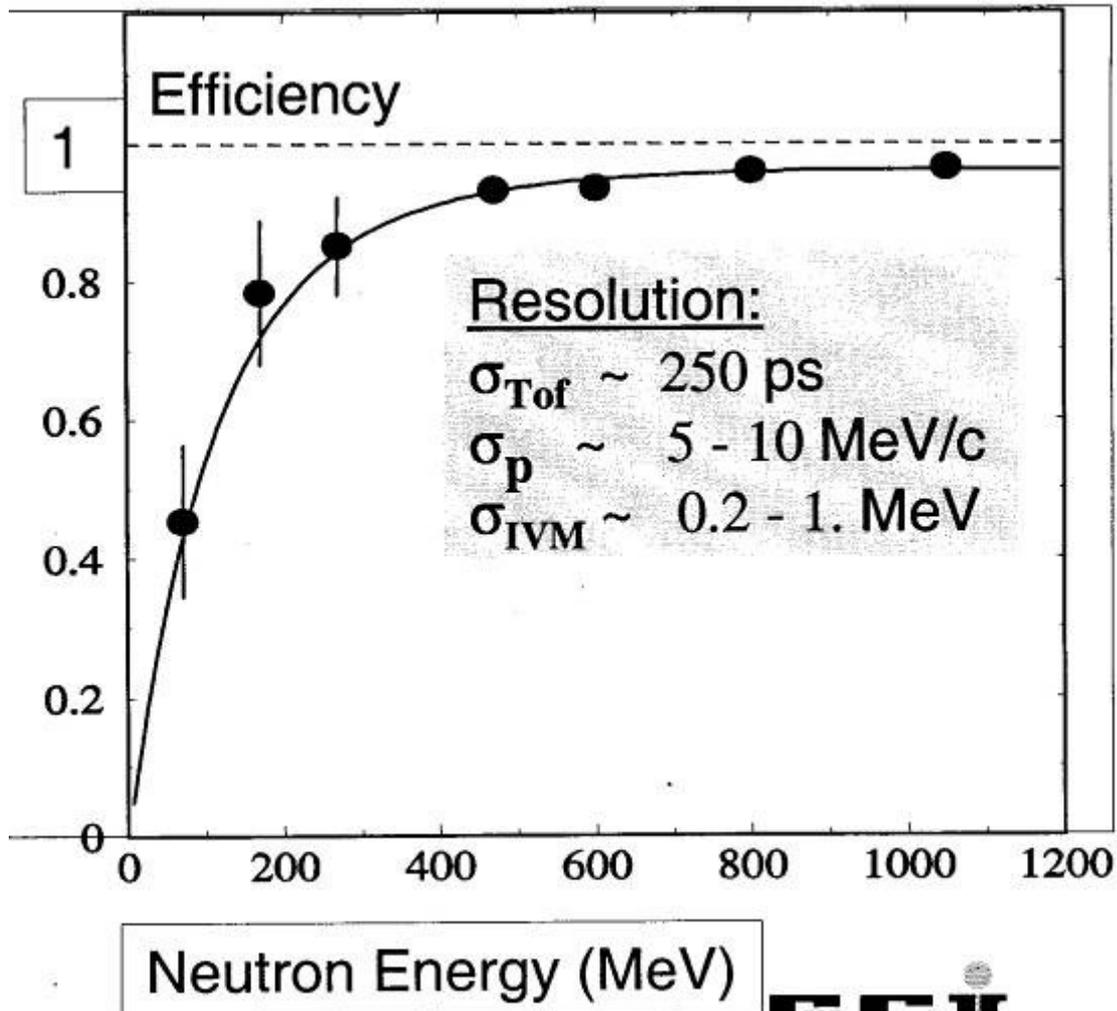
## Existing LAND detector:

- $\sigma_t < 250$  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



## Land efficiency



## 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



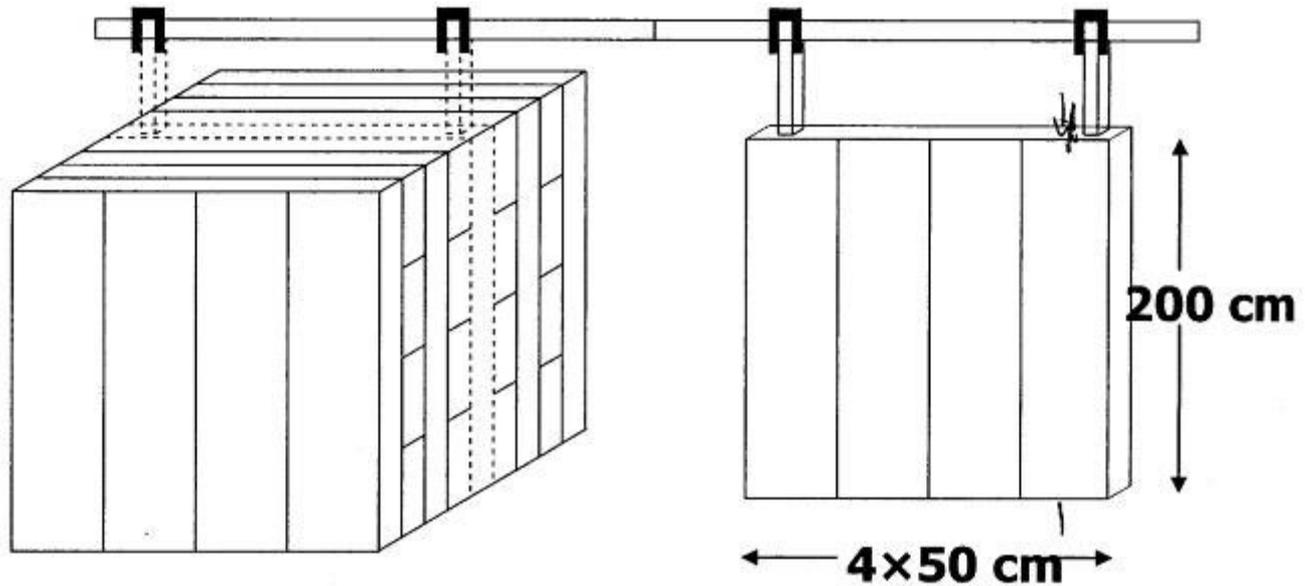
## Timing RPC concept:

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



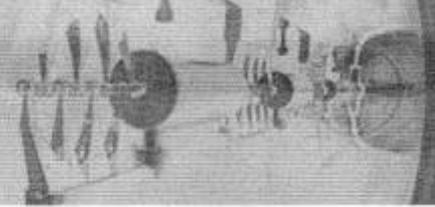
## Compared to existing RPC types:

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

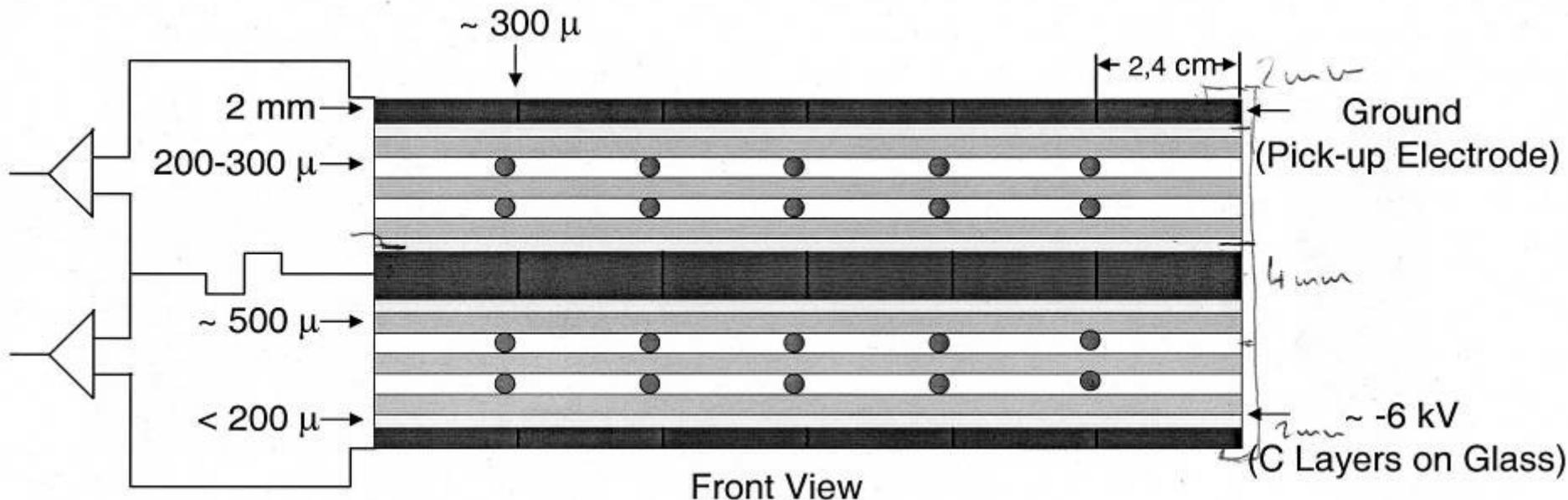


- total 140 m<sup>2</sup> RPC
- approx. 10<sup>4</sup> channels
- each module hanging on slide rod
- total weight app. 15 t

# first test RPC – planned at GSI



detector size  $20 \times 40 \text{ cm}^2$  with 8 anode strips  $2.4 \times 40 \text{ cm}^2$   
 converter material integrated in the detector



■ Fe ( $\lambda_n \approx 17 \text{ cm}$ )

■ Floating Glass ( $\sim 10^{12} \Omega/\text{cm}$ ,  $\lambda_n \approx 12 \text{ cm}$ )

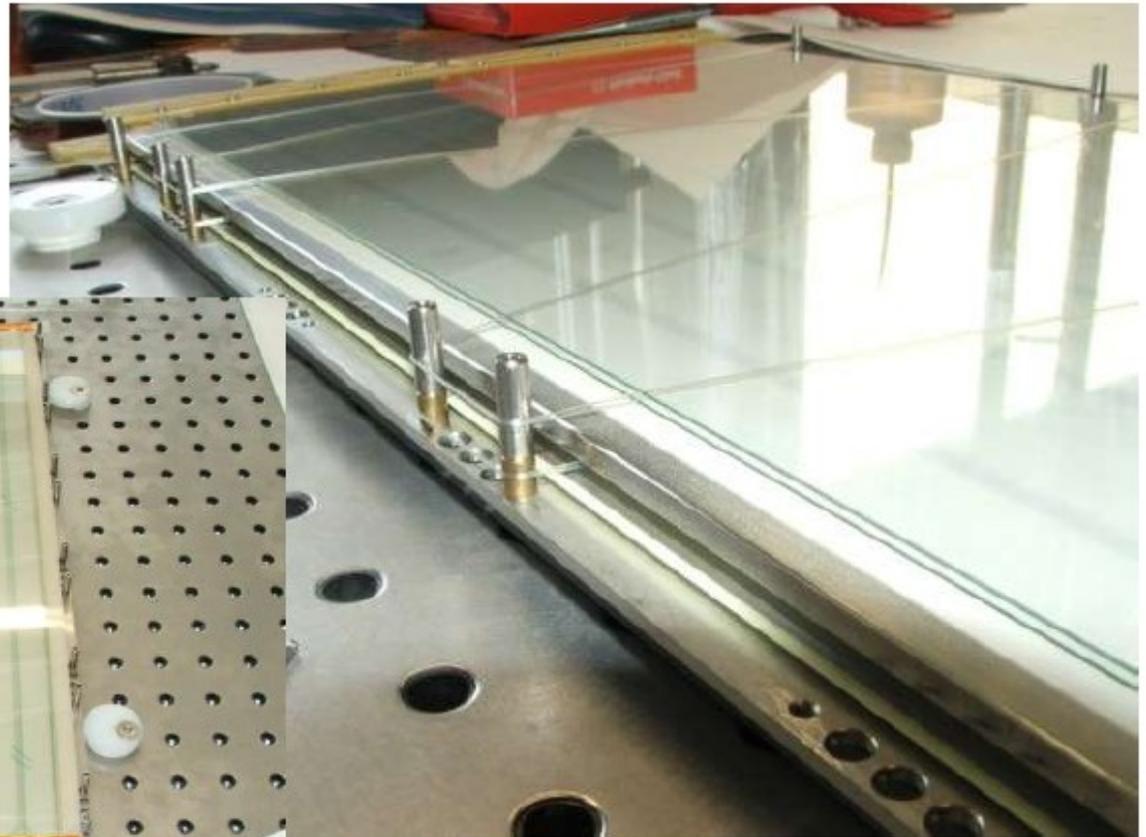
— Glue

■ Spacer (Fishing Line)

□ GAS  $\sim 98,5\% \text{ C}_2\text{H}_2\text{F}_4 + 1\% \text{ SF}_6 + 5\% \text{ iso-C}_4\text{H}_{10}$

□ Kapton

MRPC prototype developed and built at FZD: stack of glass plates



## **Новый вариант детектора:**

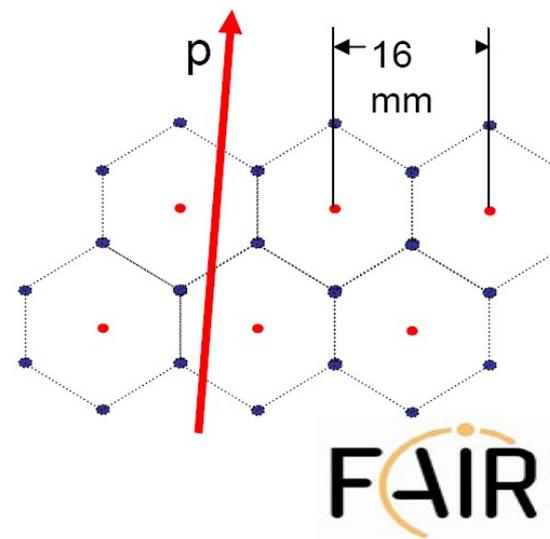
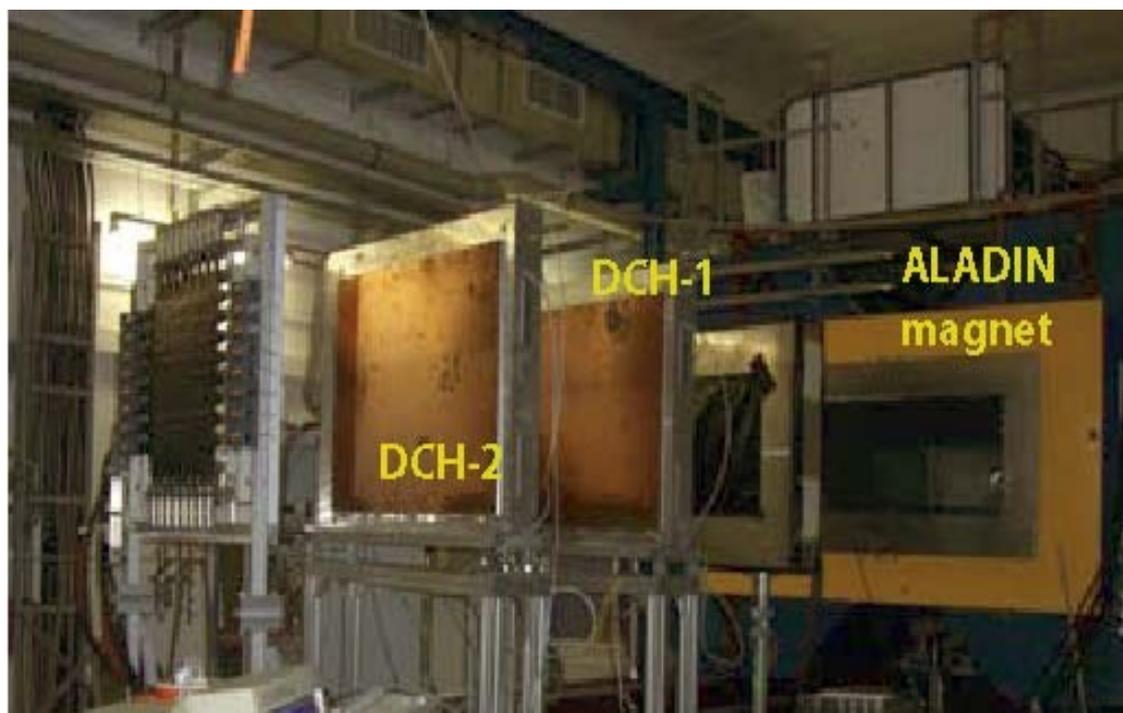
с использованием сцинтилляционных детекторов,  
но при этом без железного конвертора

Детектор состоит из пластин сцинтилляционного пластика с поперечными размерами –  $5 \times 5 \text{ см}^2$ , всего 1600 пластин и 3200 ФЭУ (или  $3 \times 3 \text{ см}^2$ , всего 4400 пластин и 8800 ФЭУ). Детектор имеет размер  $2 \times 2 \times 2 \text{ м}^3$ .

ПИЯФ – детекторы для R3B и EXL.

## Трековые детекторы для регистрации быстрых протонов и легких заряженных фрагментов в эксперименте R3B

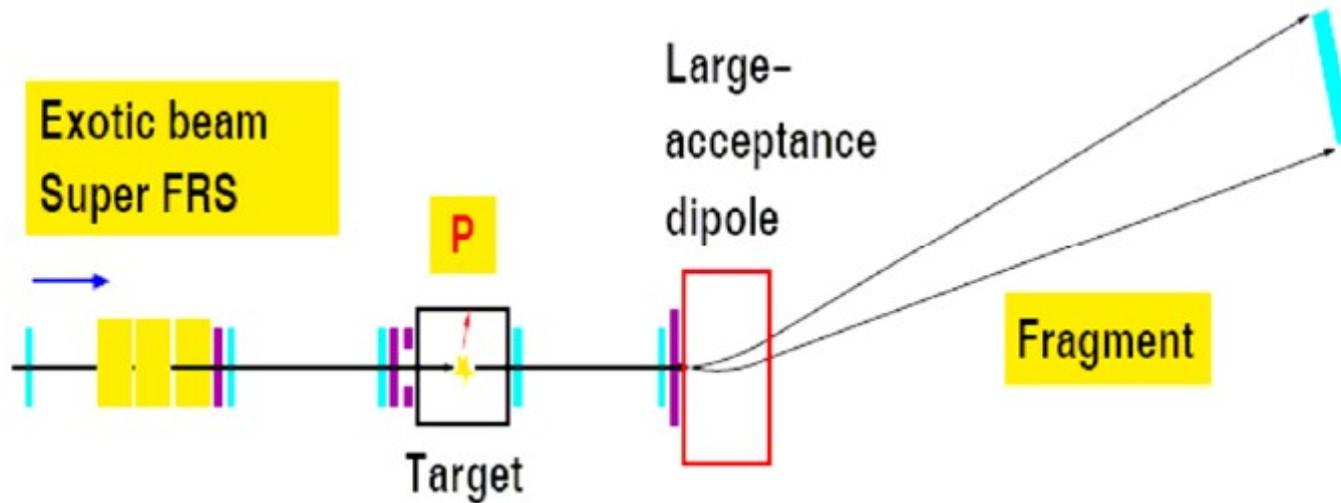
**ПИЯФ** уже внес свой вклад в **R3B** – две дрейфовые камеры гексагональной структуры для регистрации протонов, размером **1.2x0.8 м<sup>2</sup>**, со считывающей электроникой **CROS3**. Каждая камера имеет 2 слоя ячеек X, и два слоя Y. В настоящее время камеры успешно используются в эксперименте LAND.



Наши камеры – DCH1 и DCH2

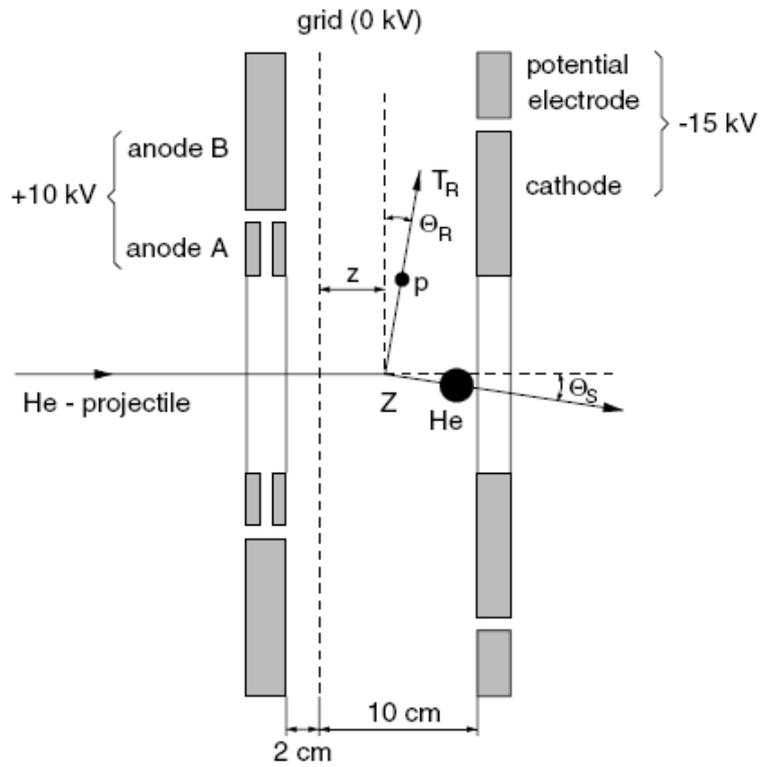
# ACTAR

## ACTAR at R3B

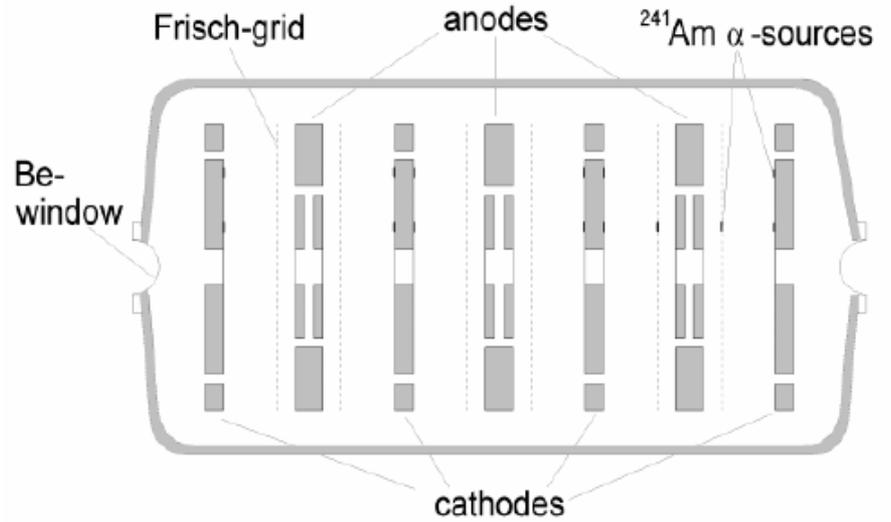


Preliminary study of  $^{132}\text{Sn}(p,p)^{132}\text{Sn}$  at 700 A.MeV

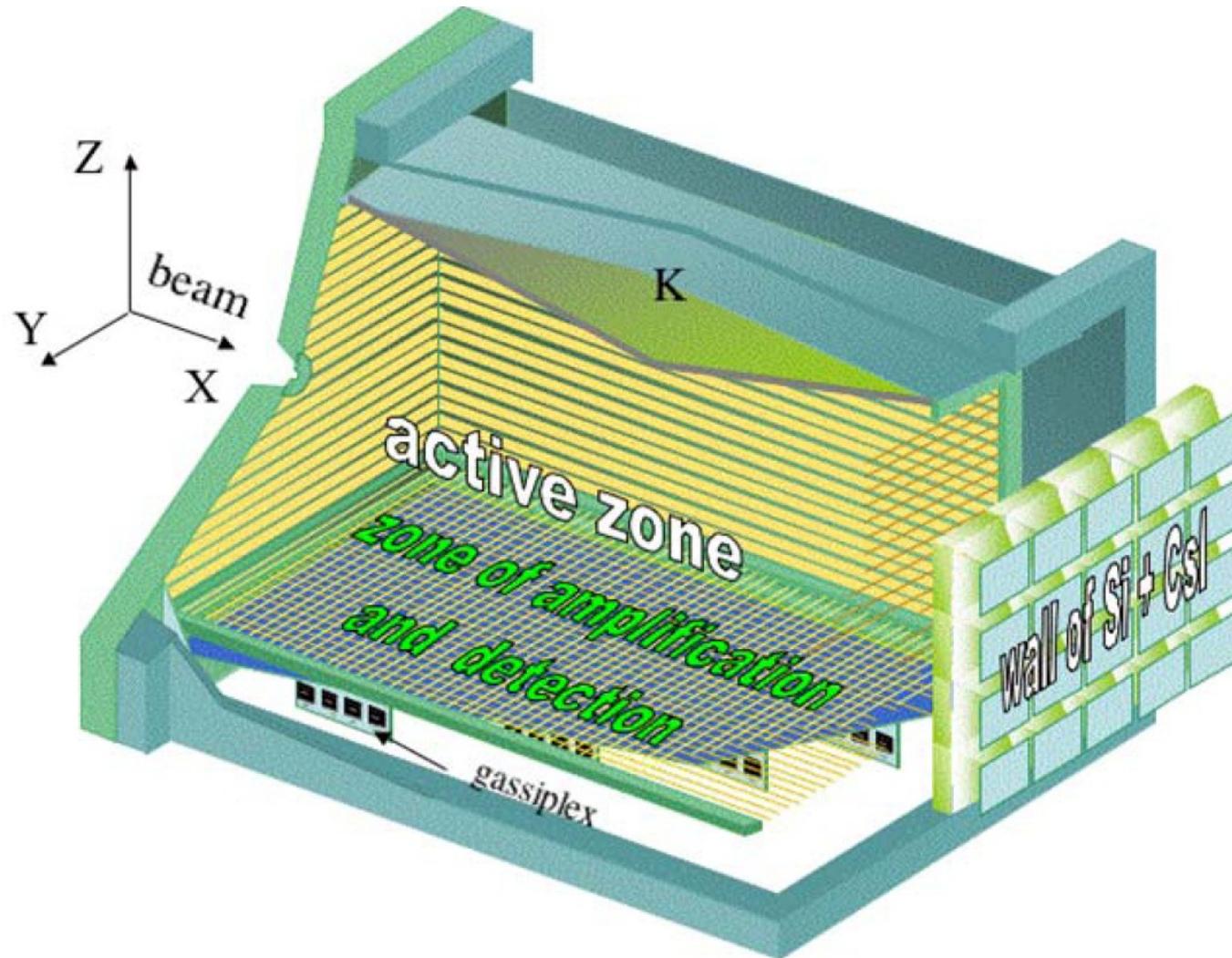
# ACTAR



# IKAR



# ACTAR



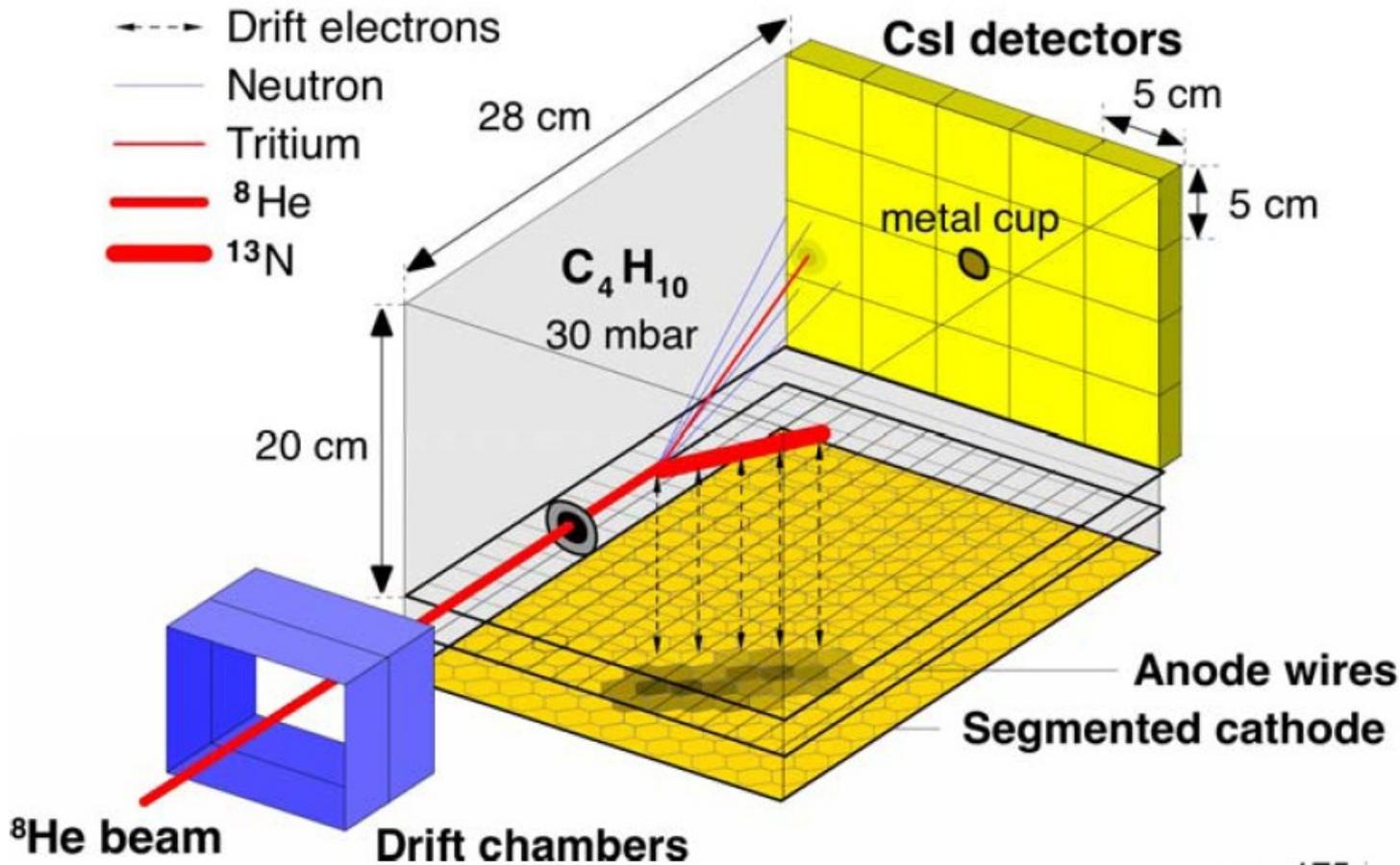


15.4 A MeV (SPIRAL)

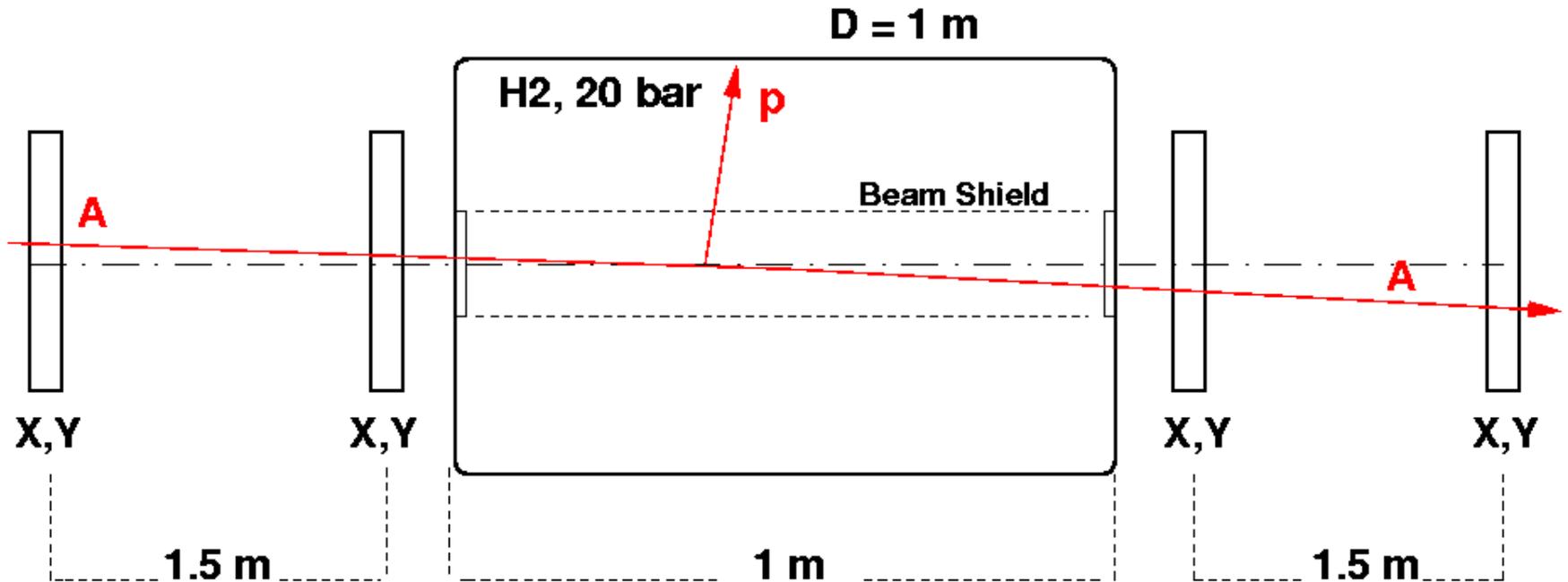
H. Savajols *et al.*

## Resonance State in ${}^7\text{H}$

MAYA: C. E. Demonchy *et al.* NIM A 583(2007) 341.



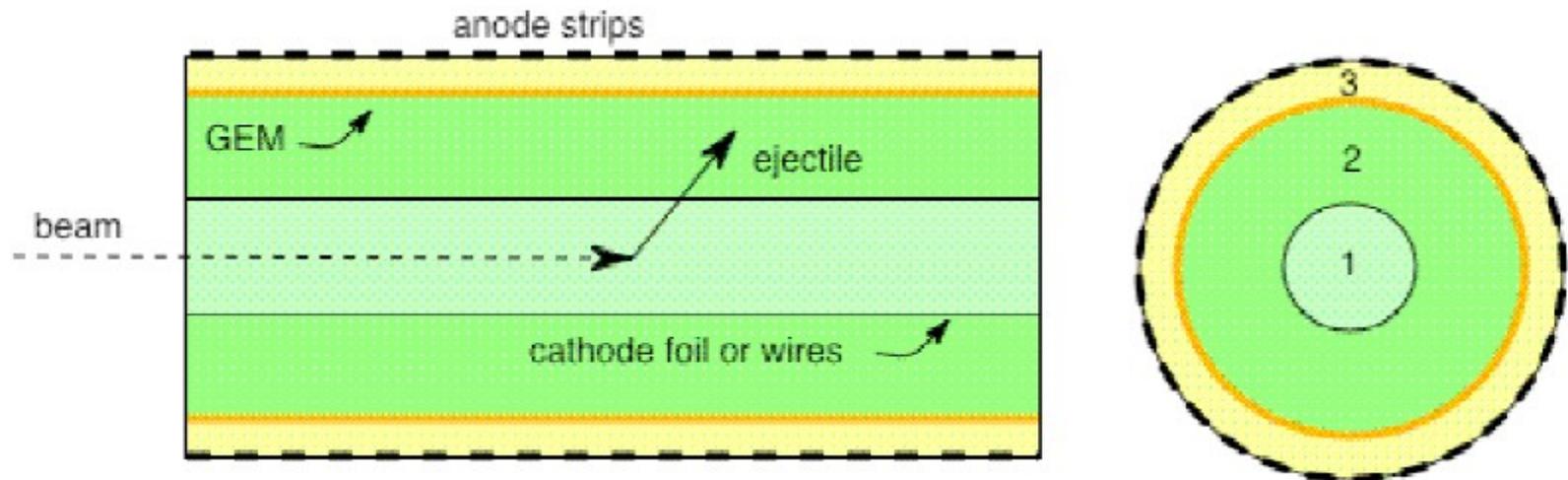
# $p, A$ elastic scattering scheme



- Cylinder with Be windows 500  $\mu\text{m}$
- Beam shield  $d = 2\text{ cm}$
- Beam tracking + vertex reconstruction
- Pressure  $P$  in the range 10 to 20 bar

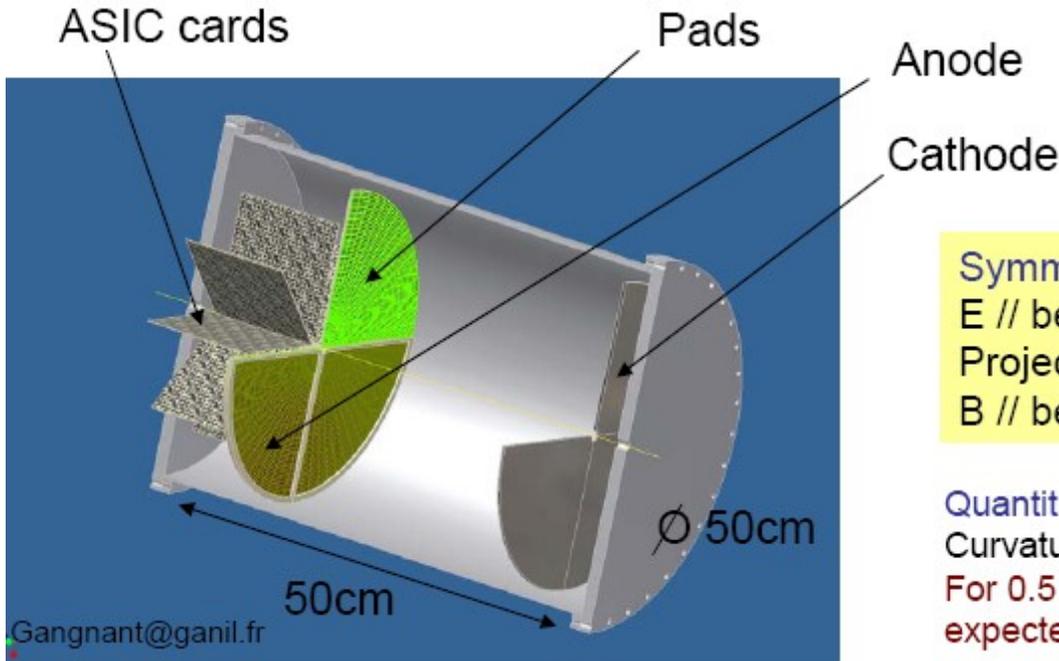
# ACTAR

## How is it going to work?



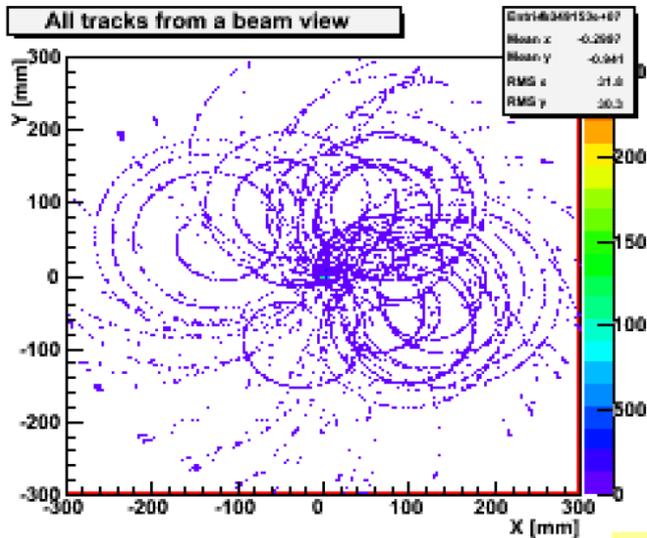
90% helium 10% CO<sub>2</sub> gas mixture  
Pressure of a few hundred mbar  
Drift voltage  $\sim 100\text{V/cm}$

# ACTAR



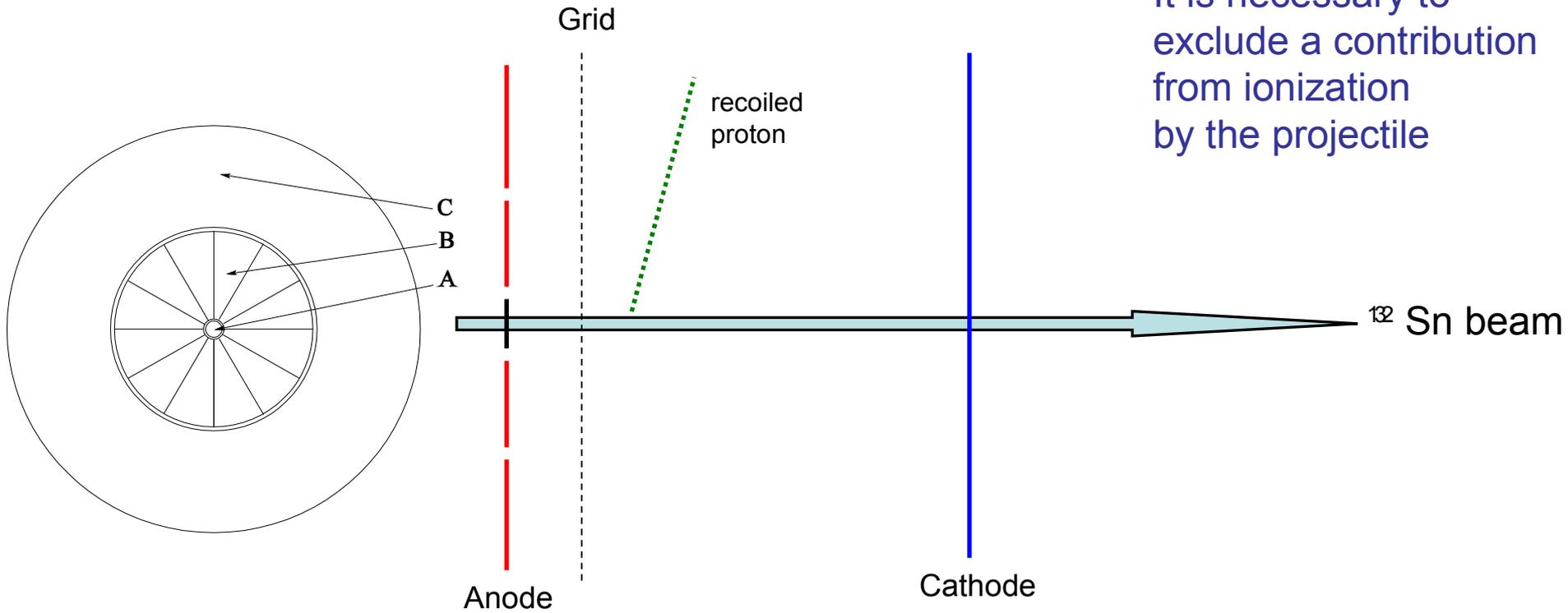
Symmetry around the beam axis  
E // beam axis, uniform  
Projection on the endcap of the cylinder  
B // beam axis

Quantities to be measured:  
Curvature radius, collected charge, range, angles.  
For 0.5 mm position resolution,  $\Delta E/E=2\Delta R/R$ ,  
expected energy resolution  $\approx 100$  keV for  $\theta_{cm} > 20^\circ$



## First step: IKAR chamber

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



A correction on the energy lost in the central dead region

## Запрос на финансирование для экспериментов NuStar

WBS	Вид работ	Исполнители	Запрашиваемая сумма
<b>1.2.5</b>	<b>R3B</b>		
1.2.5.1.2.5	Нейтронный спектрометр (узлы)	ПИЯФ	1400 к€
1.2.5.1.2.3	Гамма спектрометр (узлы)	РНЦ КИ, ОИЯИ, РФЯЦ-ВНИИЭФ	1000 к€
1.2.5.2.3	Активная мишень (полностью)	ПИЯФ	1238 к€
<b>1.2.9</b>	<b>EXL</b>		
1.2.9.4.2	Нейтрон. спектрометр (полностью)	ПИЯФ	2800 к€
1.2.9.3.1.1	Кремниевые планарн. детекторы	ФТИ, ЗАО НИИМВ, ПИЯФ	5880 к€
1.2.9.3.1.1	Толстые Si Li-дрейф. детекторы	ПИЯФ	1000 к€
1.2.9.3.1.2	Электроника к детекторам	ФТИ, ЗАО НИИМВ	1500 к€
1.2.9.3.2	Гамма спектрометр (полностью)	РНЦ КИ, ОИЯИ, РФЯЦ-ВНИИЭФ	3626 к€
1.2.9.4.1	Трек. детект. (проп. камеры) (полн.)	ПИЯФ	224 к€
<b>1.2.3</b>	<b>MATS</b>		
1.2.3.6	Блок калибровки (полностью)	ПИЯФ	275 к€
1.2.3.8	Детекторы медлен. частиц (узлы)	ПИЯФ	174 к€
<b>1.2.6</b>	<b>ILIMA</b>		
1.2.6.5	Кремниевые детекторы (полн.)	ПИЯФ	210 к€
<b>1.2.8</b>	<b>ELISE</b>		
1.2.8.3	Монитор светимости (полностью)	РНЦ КИ, ИЯИ	45 к€
1.2.8.4	Детекторы LAHReS	ИЯИ	425 к€

Финансирование работ в России: 2008 г., 2009 г., 2010 г., 2011 г.?

Индия – 1.6 МЕвро,  
Британия – 6 МЕвро  
Испания – 0.5 МЕвро  
Германия ...  
Венгрия ...  
Португалия...

Россия - ?

Взнос – 10-20 кЕвро в год...