

# PNPI in R3B

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

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

**ILIMA** - Schottky and Isochronous mass spectroscopy

• **MATS** - Mass measurements with Penning Traps

**LASPEC** – Laser Spectroscopy investigations

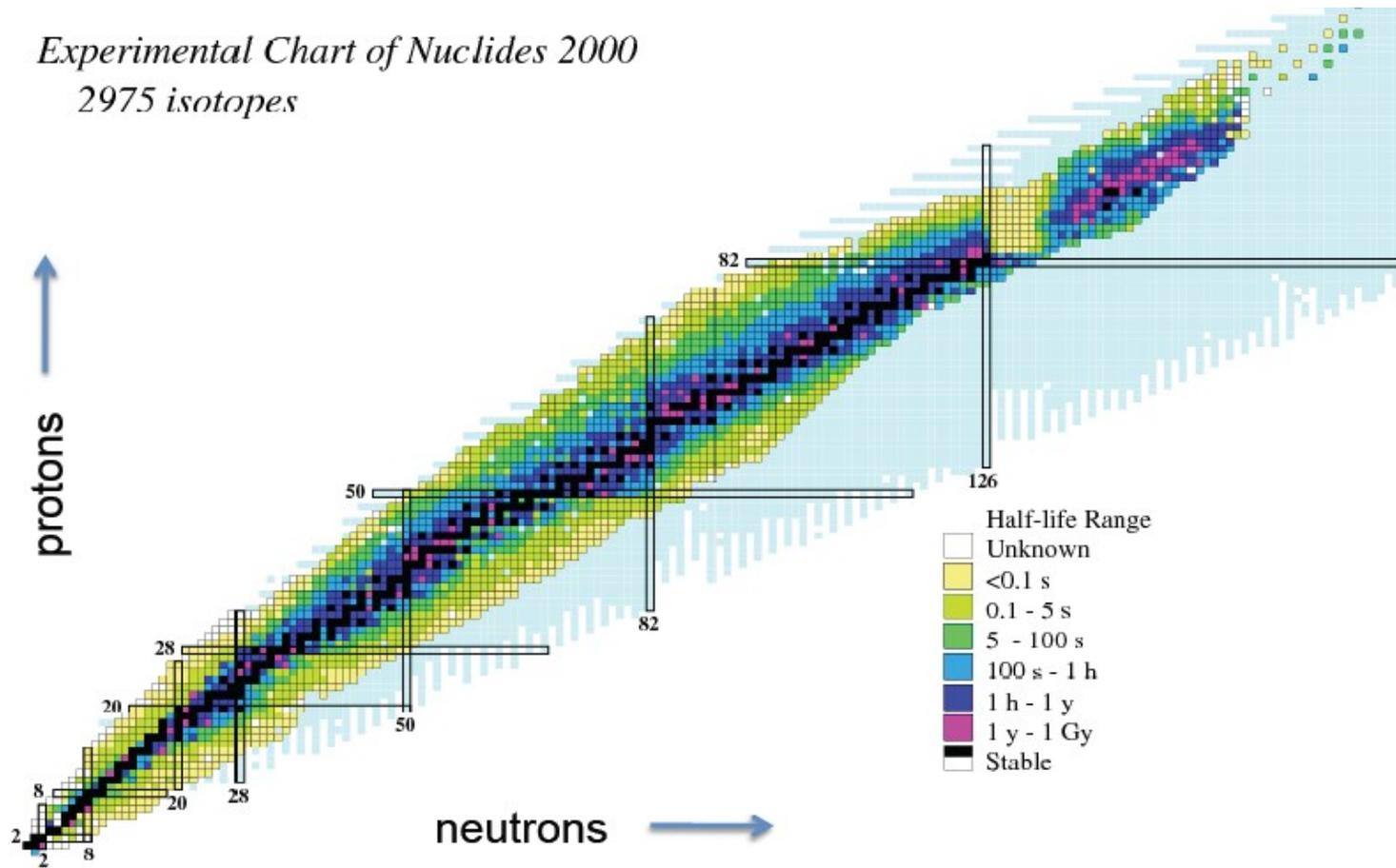
**ELISE** – Electron scattering in a storage ring

**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**

**F**

**ИРИНА – LASPEC**

**ИРИНА – MATS**

**ИРИНА – HISPEC-DESPEC**

**ИРИНА – R3B – ?**

**Зарядовые радиусы легких экзотических ядер**

ИРИНА – лазерная спектроскопия

R3B – сечения реакций с изменением заряда ядра  
(зарядовые радиусы  $^{14}\text{Be}$ ,  $^{12-17}\text{B}$ )

ИРИНА: спины, магнитные моменты, квадрупольные зарядовые моменты,  
**изотопические сдвиги:  $\Delta \langle R \rangle_{\text{зар}}$**  –  
магические оболочки, изменения формы ядер, тензорные силы,  
трехчастичные силы, релятивизм;  
массы ядер – астрофизика (s-процесс, r-процесс)

# R3B

**R3B** – исследования на внешних релятивистских пучках экзотических ядер:

**эксперименты по рассеянию экзотических ядер на протонах и ядрах**

**Направления исследований:**

- механизм ядерных реакций
- **ядерная структура**
- сечения реакций для астрофизики
- сечения реакций для прикладных задач (ядерная трансмутация и др.)

## R3B

Полные сечения реакций и сечения взаимодействия –  $R_m$

Сечения фрагментации на кор и 1 или 2 нейтрона гало –  $R_h$

Сечения упругого рассеяния –  $R_c, R_h, R_m; R_0, a, R_m$

Сечения кулоновской диссоциации при малых переданных импульсах –

$R_{c-cm} \rightarrow R_c^*$  – поляризация кора;  $R_{c-cm} \rightarrow nn$ - корреляции

Сечения неупругого рассеяния:

переходы  $0^+ \rightarrow 2^+$  –  $B(E2)$ ;

возбуждение изоскалярных гигантских монопольных и дипольных резонансов  
– сжимаемость ядерной материи;

возбуждение гигантских и пигми изовекторных дипольных резонансов –  $\Delta R_{pn}$ ;

Сечения зарядовообменного рассеяния:

гамов-теллеровские переходы – сила GT переходов (для астрофизики);

зарядовообменное рассеяние с возбуждением  $\Delta(1232)$  и  $N^*(1440)$  резонансов

Кулоновская диссоциация с отделением нейтрона:  $\sigma(n\gamma)$  (для астрофизики)

Кулоновская диссоциация с отделением протона:  $\sigma(p\gamma)$  (для астрофизики)

Фрагментация ядер: распределения поперечных импульсов фрагментов

Фрагментация ядер: распределения продольных импульсов фрагментов

Дифференциальные сечения реакций  $(p,2p)$  и  $(p,pn)$  –

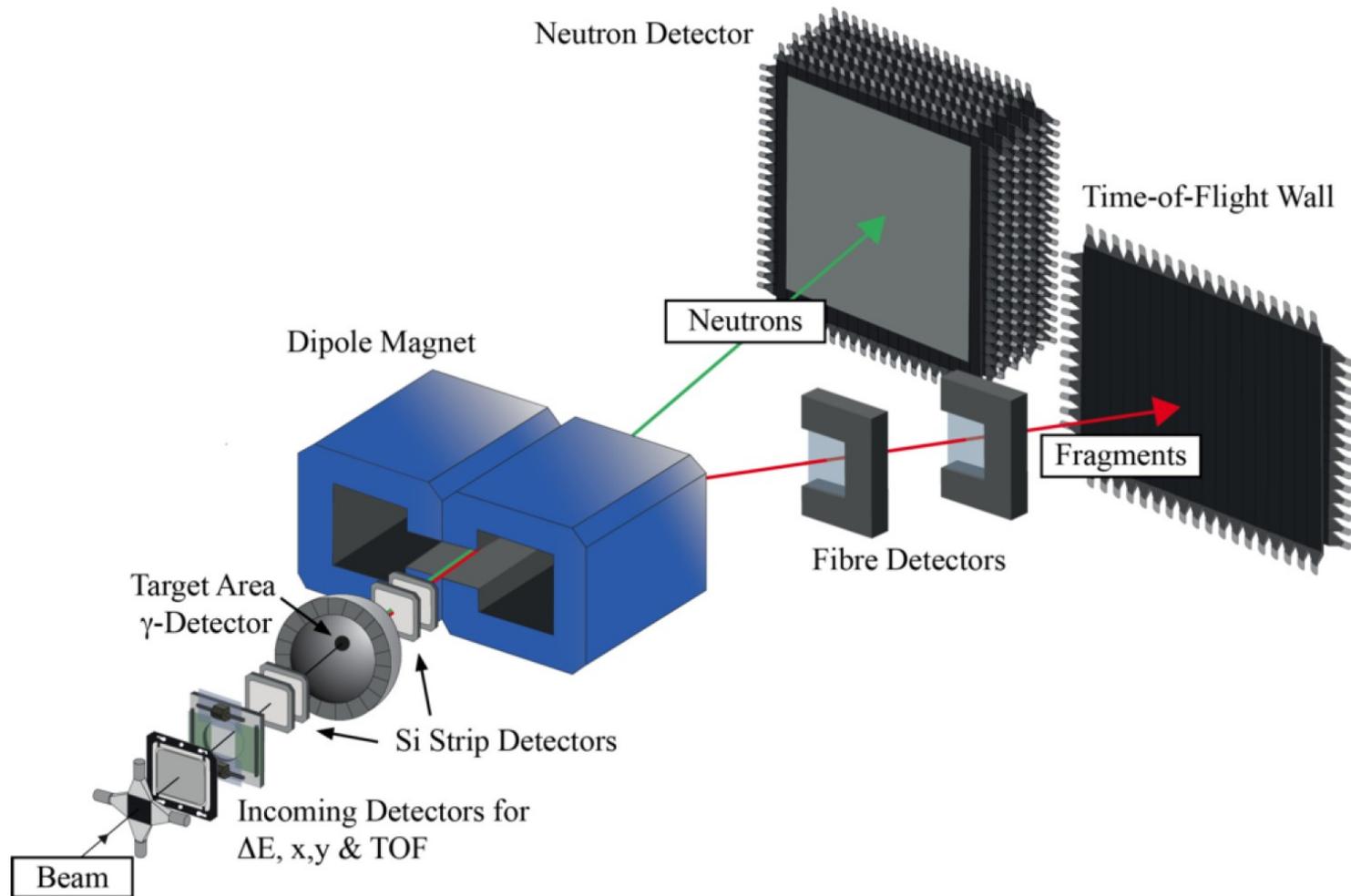
энергии протонных и нейтронных дырочных состояний,

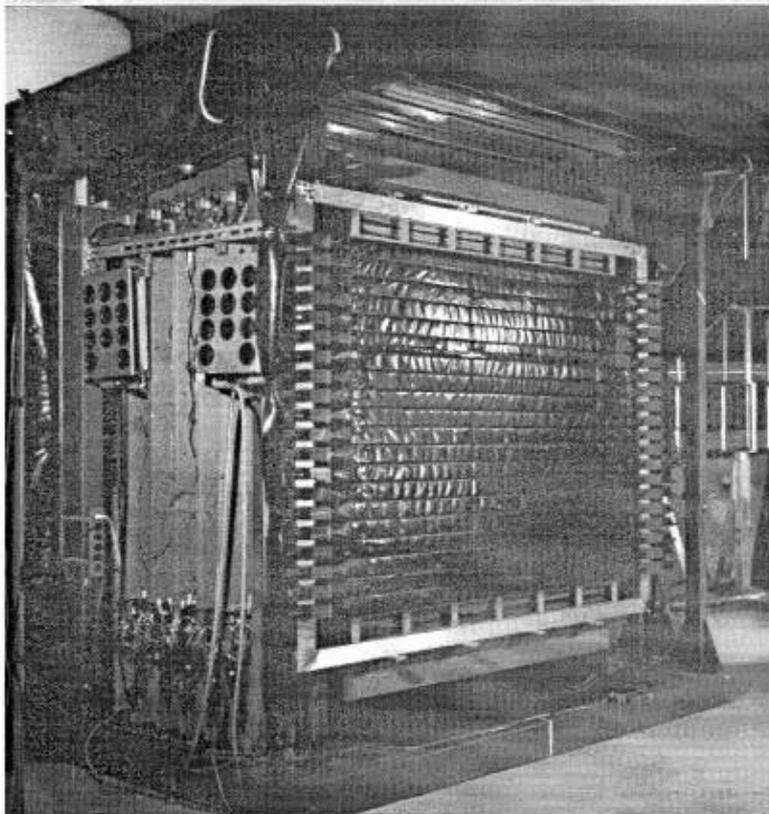
импульсные распределения нуклонов на выделенных оболочках

Исследование несвязанных резонансных ядерных состояний

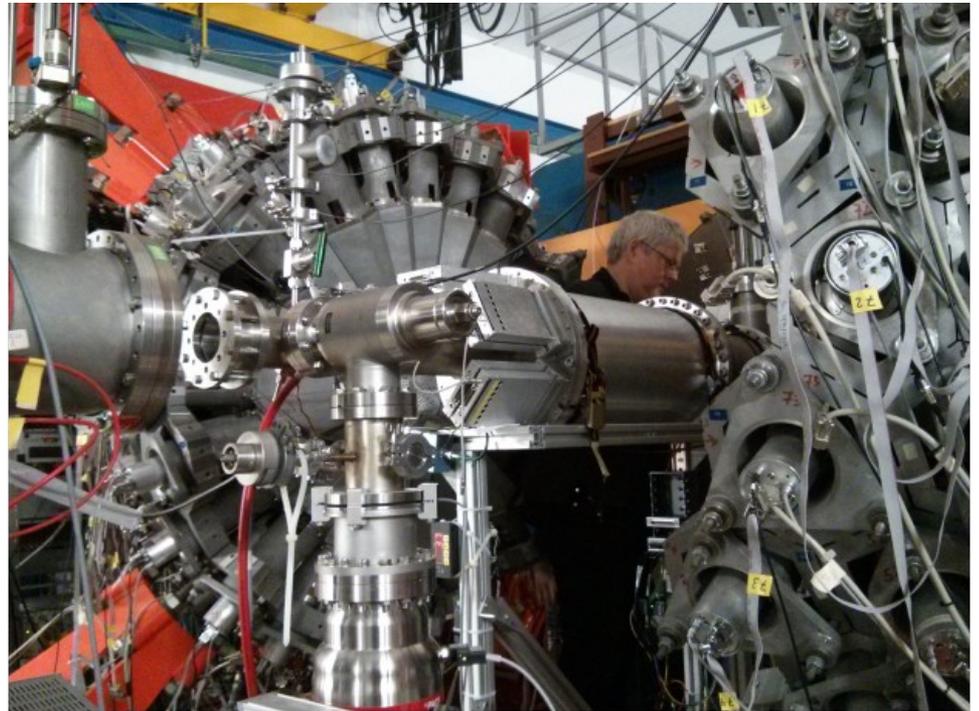
Сечения делений экзотических ядер

# LAND



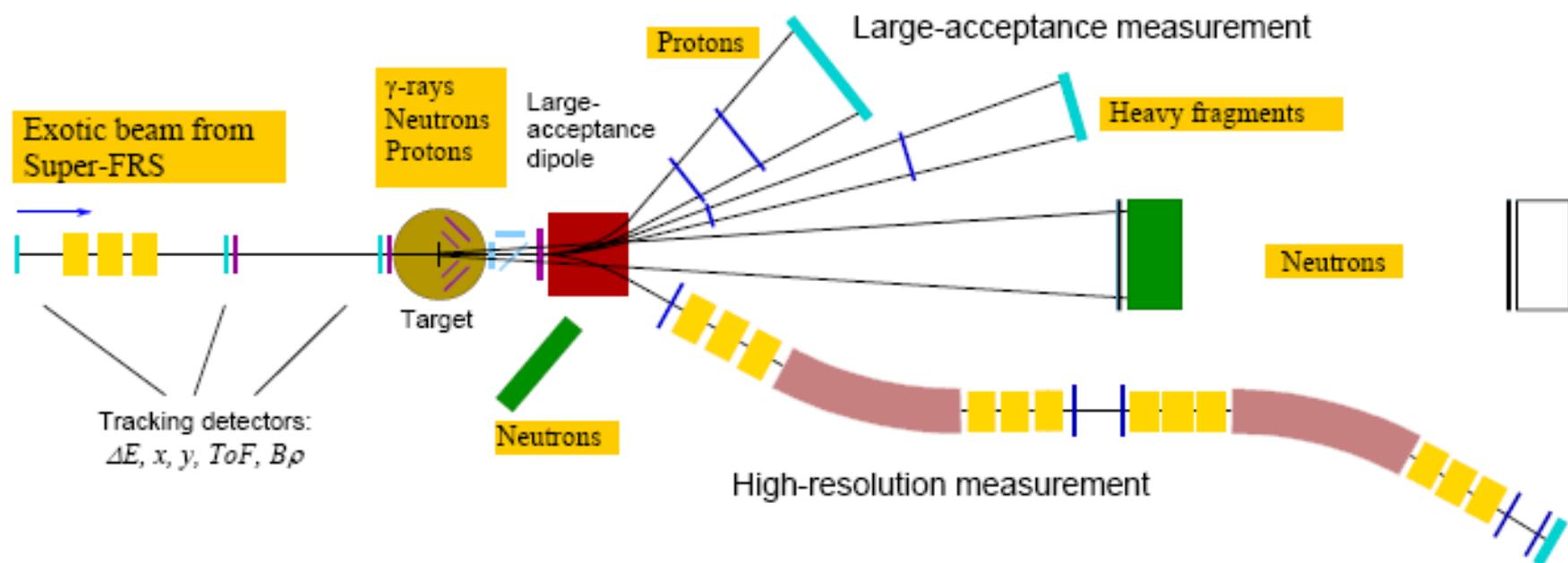


Н

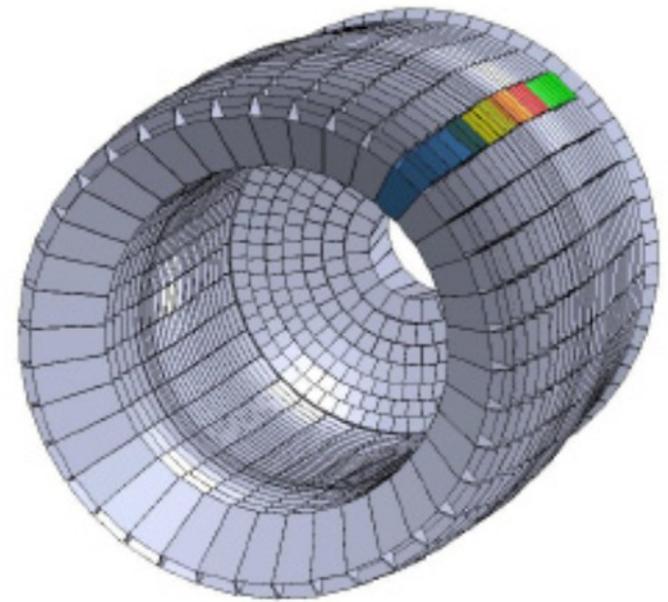


Гамма детектор Crystal ball

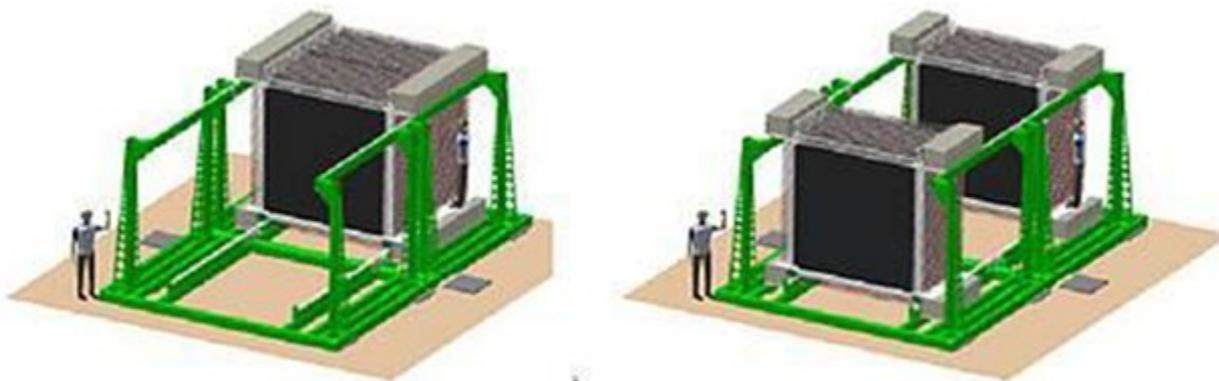
Детектор медленных нейтронов LENA



*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.*



Гамма детектор CALIFA



Время-пролетный нейтронный детектор NeuLAND

# NeuLAND – детектор быстрых нейтронов (New Large Area Neutron Detector)

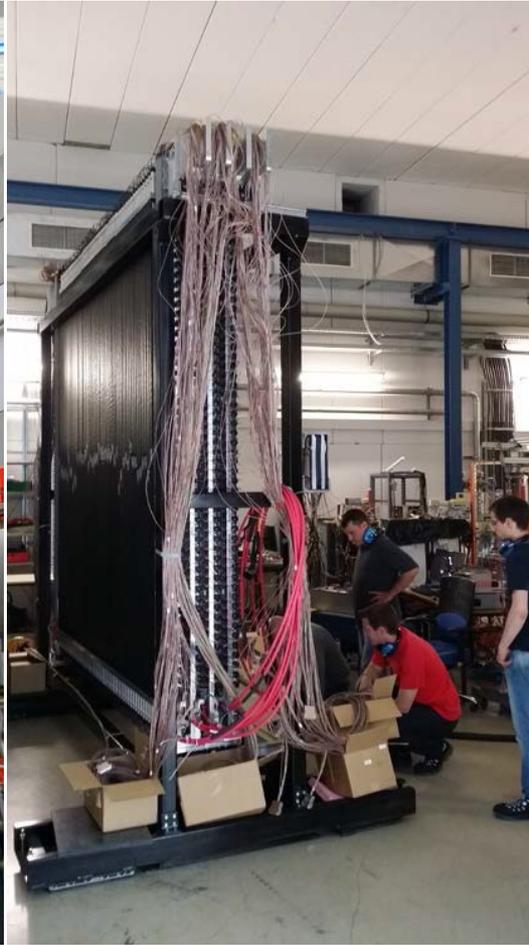
## Новый вариант детектора NeuLAND:

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

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



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

Органический сцинтиллятор BC-408 из поливинилтолуола, фирма Saint Gobaine (Франция)

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

Предполагаемый вклад ПИЯФ - 7 двойных слоев

Русские ФЭУ вместо японских

Испытания сцинтилляторов и ФЭУ на пучке протонов ПИЯФ и с пикосекундным UV лазером в GSI:

ФЭУ R8619 (Hamamatsu Photonics)

и ФЭУ 115, 85-4, 115МКЦ, 85Б (ООО МЭЛЗ-ФЭУ)

**PNPI Gatchina:** В.А. Кузнецов, Н.Г. Козленко, А.А. Жданов.



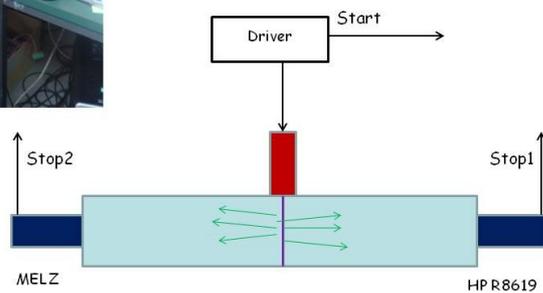
Два сцинтилляционных бруска



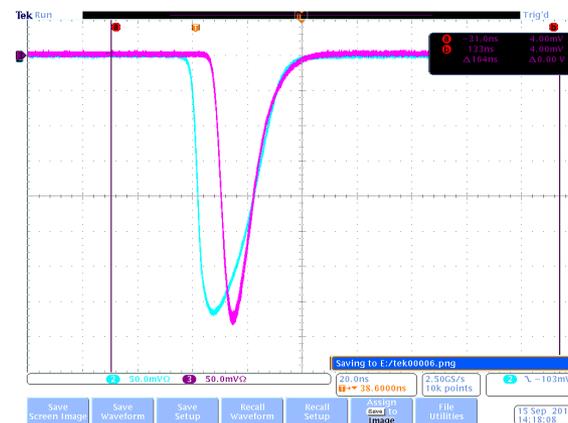
Испытания ФЭУ в ПИЯФ



Laser driver:  
PicoQuant PDL 800-B  
Laser head LDH-P-C-375B  
370 nm, 100ps pulse duration



Испытания ФЭУ в GSI



Сигналы от ФЭУ R8619 и 115МКЦ

В июле 2014 г. заключено соглашение о сотрудничестве ПИЯФ НИЦ КИ – FAIR GmbH с целью создания системы Высоковольтного питания ФЭУ и разработки соответствующего программного обеспечения.

## **PNPI – HV system:**

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

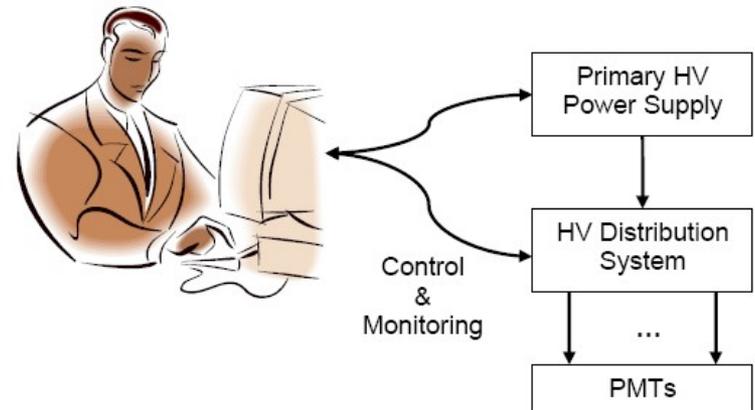
Регулировка напряжения: 0 – 1.5 kV

Установка напряжения с точностью 0.1%

Стабильность лучше 0.1%

Флуктуации  $\leq 0.02\%$

Ток измеряется с точностью 0.1%



## Трековый детектор для R3B – детектор быстрых протонов

Вначале обсуждались дрейфовые камеры с гексагональной структурой.  
(камеры расположены в воздухе)

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.

Теперь – **детектор на основе straw-трубок**.  
(детектор расположен в вакуумной камере за магнитом GLAD)

4 станции (X1, Y1, X2 и Y2) по 3 слоя трубок  $\varnothing = 10$  мм, каптон 50  $\mu\text{м}$  или алюминий 200  $\mu\text{м}$ .

Размеры – от  $2 \times 1$  м<sup>2</sup> до  $2.7 \times 1.1$  м<sup>2</sup>.

Всего ~2000 каналов + CROS3 readout ( $\sigma_t = 0.8$  нс) (?).

**PNPI Gatchina:** А.Г. Крившич, В.А. Андреев, Г.Е. Гаврилов, Д.А. Майсузенко, А.А. Фетисов.

**TDR одобрен в августе 2015 г. !**

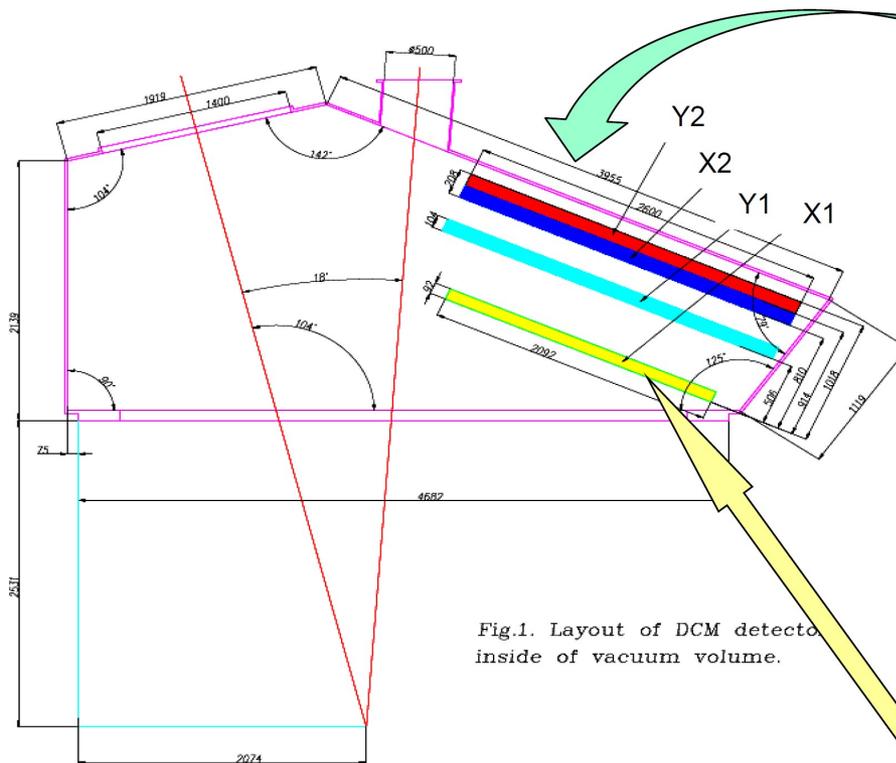
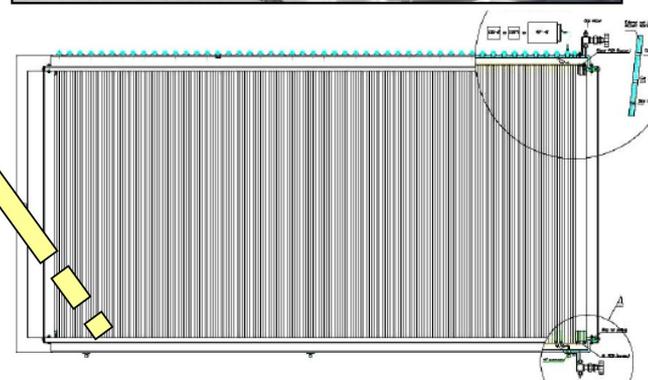


Fig.1. Layout of DCM detectors inside of vacuum volume.



Общий вид STW (X1 - coordinate)

Ar + 38%C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>



**Первая партия алюминиевых  
ультра-тонких трубок**

- Количество - 11 шт.
- Длина - 275см
- Внутренний диаметр - 9,5-9,7мм
- Наружный диаметр - 10,1-10,2мм.
- Толщина стенки - 0,2±0,25мм
- Прямолинейность - лучше 0,15мм.
- Брак по давлению (3Атм) - 2шт.

**Вторая партия алюминиевых  
ультра-тонких трубок**

- Количество - 50 шт.
- Начат входной контроль

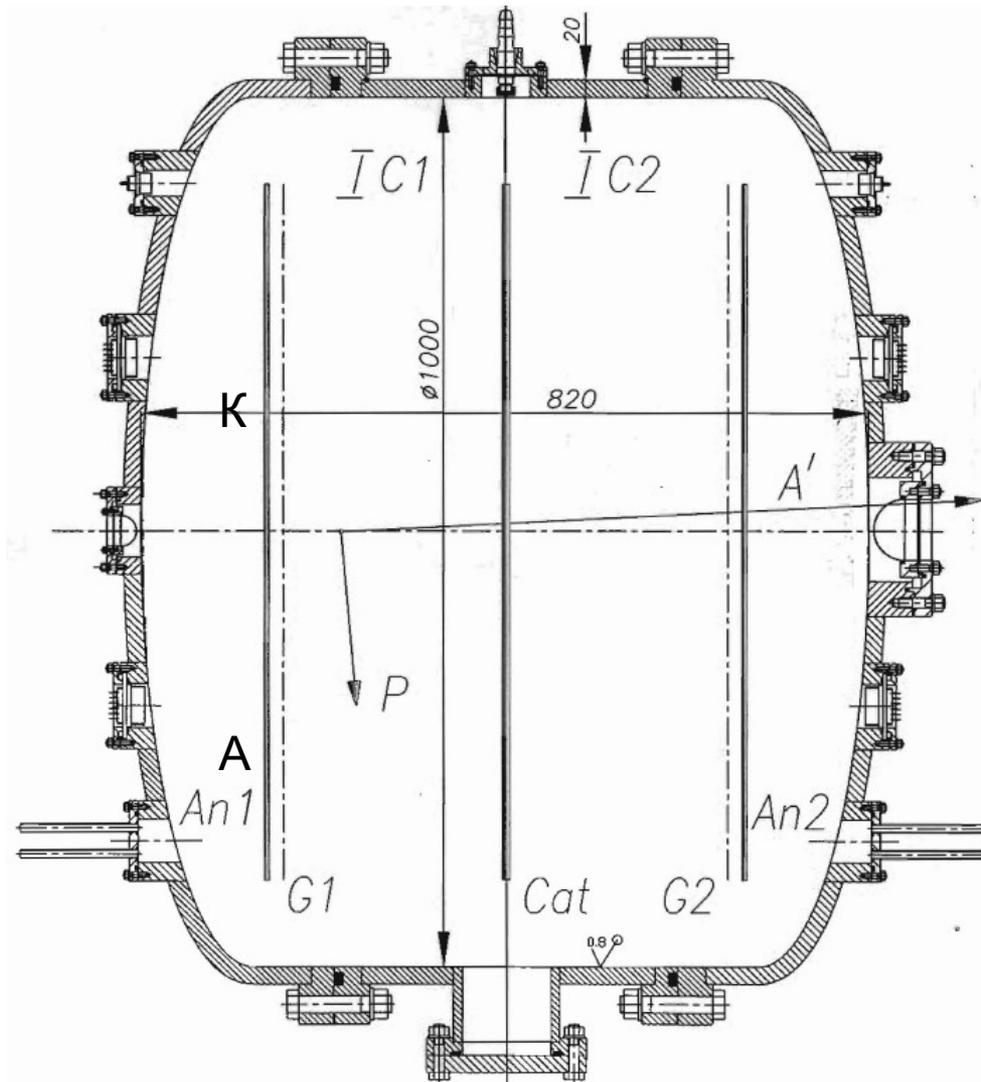
Есть достаточно хорошая надежда, что технология производства ультра- тонкостенных труб отлажена. Окончательное заключение будет дано после проведения входного контроля второй партии труб.

Gas – target and working gas of the detector.

Low momentum transfers,  
Short-lived isotopes.

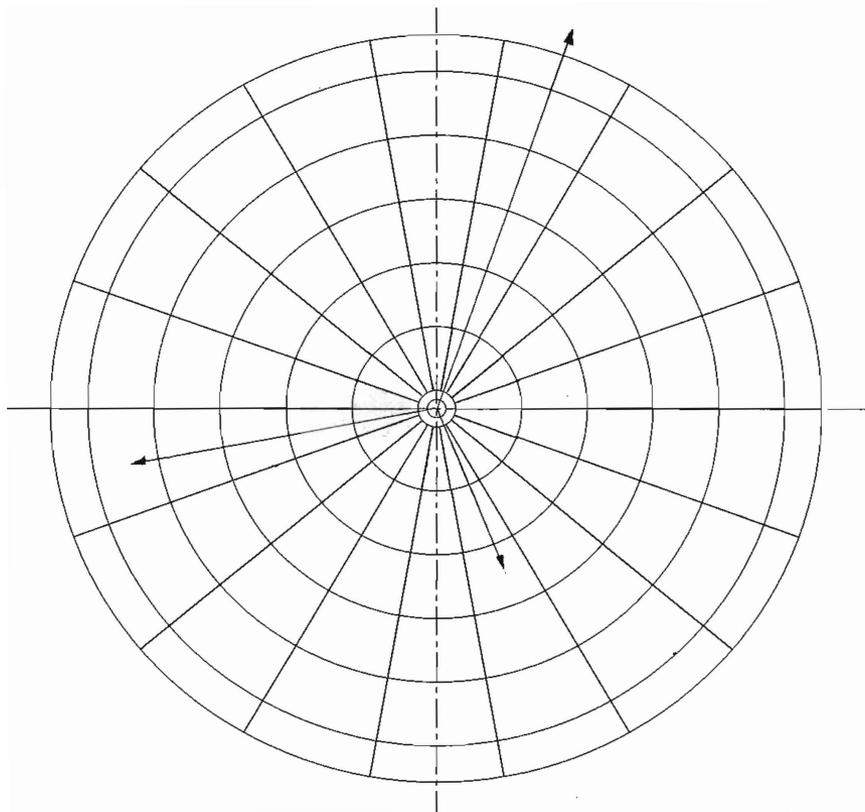
- **Elastic (p,p') scattering** in inverse kinematics (for nuclei with  $T_{1/2} < 1$  s) –  
**ground-state matter distributions**
- **( $^3\text{He},t$ ) charge exchange reactions** –  
**Gamow-Teller resonances ?**
- **( $\alpha,\alpha'$ ) inelastic scattering** –  
**ISGM resonances, nuclear matter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

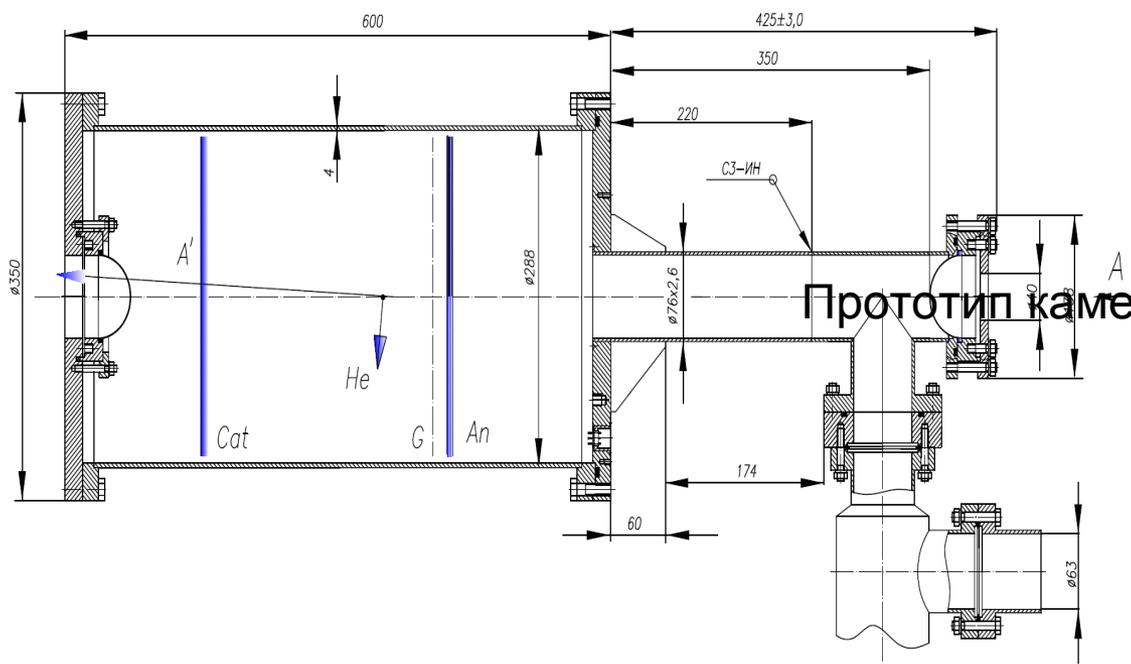
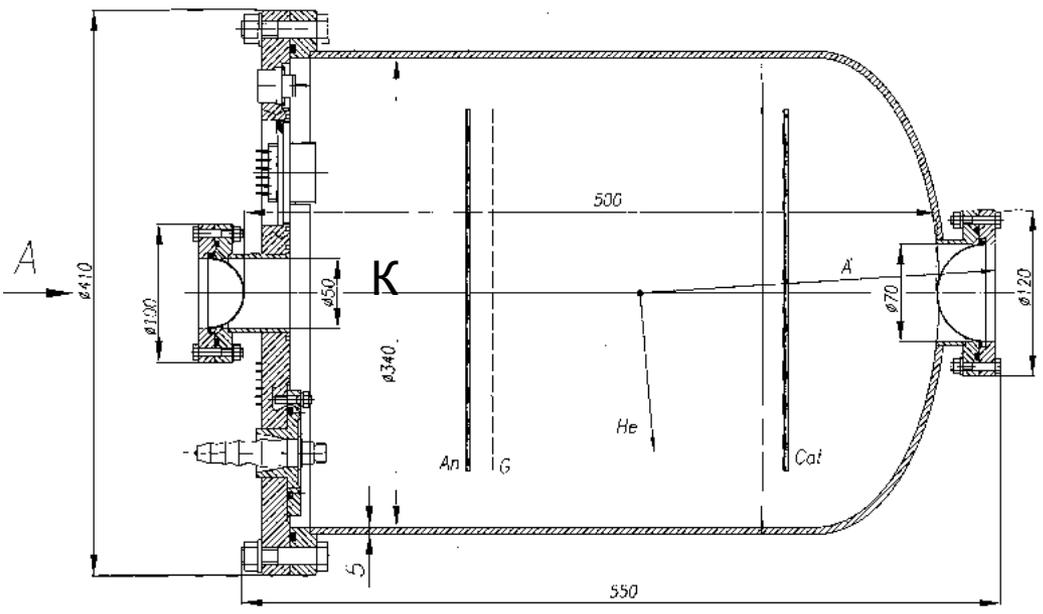
**PNPI Gatchina:** Е.М. Маев, Г.Д. Алхазов, Д.В. Балин, Л.Х. Батист, А.В. Добровольский, А.Г. Инглесси, Г.А. Королев, А.В. Ханзадеев, Г.Е. Петров, В.В. Саранцев, Л.О. Сергеев, В.И. Яцура.



Прототип –  
ИКАР

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





Прототип камеры Астар2

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



Тестовый эксперимент в GSI  
в 2014 г. на пучке  $^{58}\text{Ni}$

$$E_{\alpha} = 1-10 \text{ МэВ}$$

The length – 60 cm, the inner diameter – 28 cm,  
the working pressure – 10 bar.

Segmented anode

## The list of intended contributions of PNPI to the construction of the R3B experimental set-up

Contributions and coordinators	Contribution status	Cost-book value in MEuro (in 2005 prices)
High voltage system for NeuLAND Victor Golovtsov	The contract was signed on 08.07.2014	0.415 (~ 0.570)
Scintillator bars and Photomultipliers Viacheslav Kuznetsov	TDR was approved in January 2013	0.585
The remaining part of NeuLAND Viacheslav Kuznetsov	TDR was approved in January 2013	0.250
The tracking detector for R3B Anatoly Krivshich	TDR was approved in August 2015	0.480
Active hydrogen target ACTAR Evgeny Maev	TDR is ready and was submitted for approval in September 2015	0.955
	<b>Всего</b>	<b>2 685</b>

Зафиксировано в РосАтоме 19.08.2014

## **Задачи 2016 г.:**

- **провести тестовый эксперимент в GSI с прототипом ACTAR2 на пучках Xe и U, подготовить контракт по теме ACTAR (если будет одобрен TDR)**
- **продолжить работу по созданию HV-системы для NeuLAND (изготовить электронику на 2 000 каналов)**
- **изготовить и испытать прототип трекового детектора и подготовить контракт**
- **изготовить и испытать прототип сцинтилляционных счетчиков с российскими ФЭУ**

**В июле 2016 г. коллаборационный митинг R3B в С. Петербурге**