

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

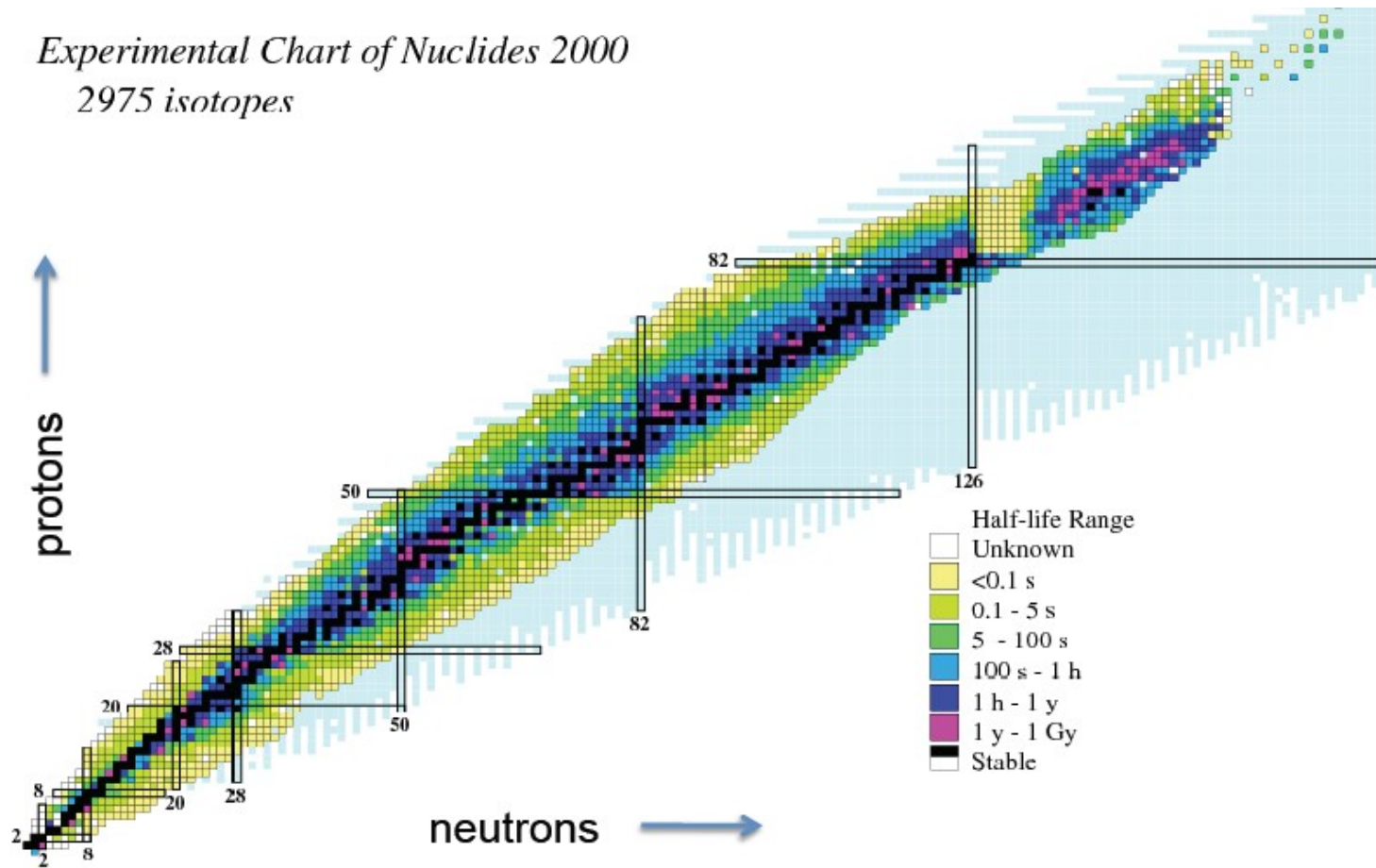
ELISE – Electron scattering in a storage ring

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}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 – ΔR_{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) –

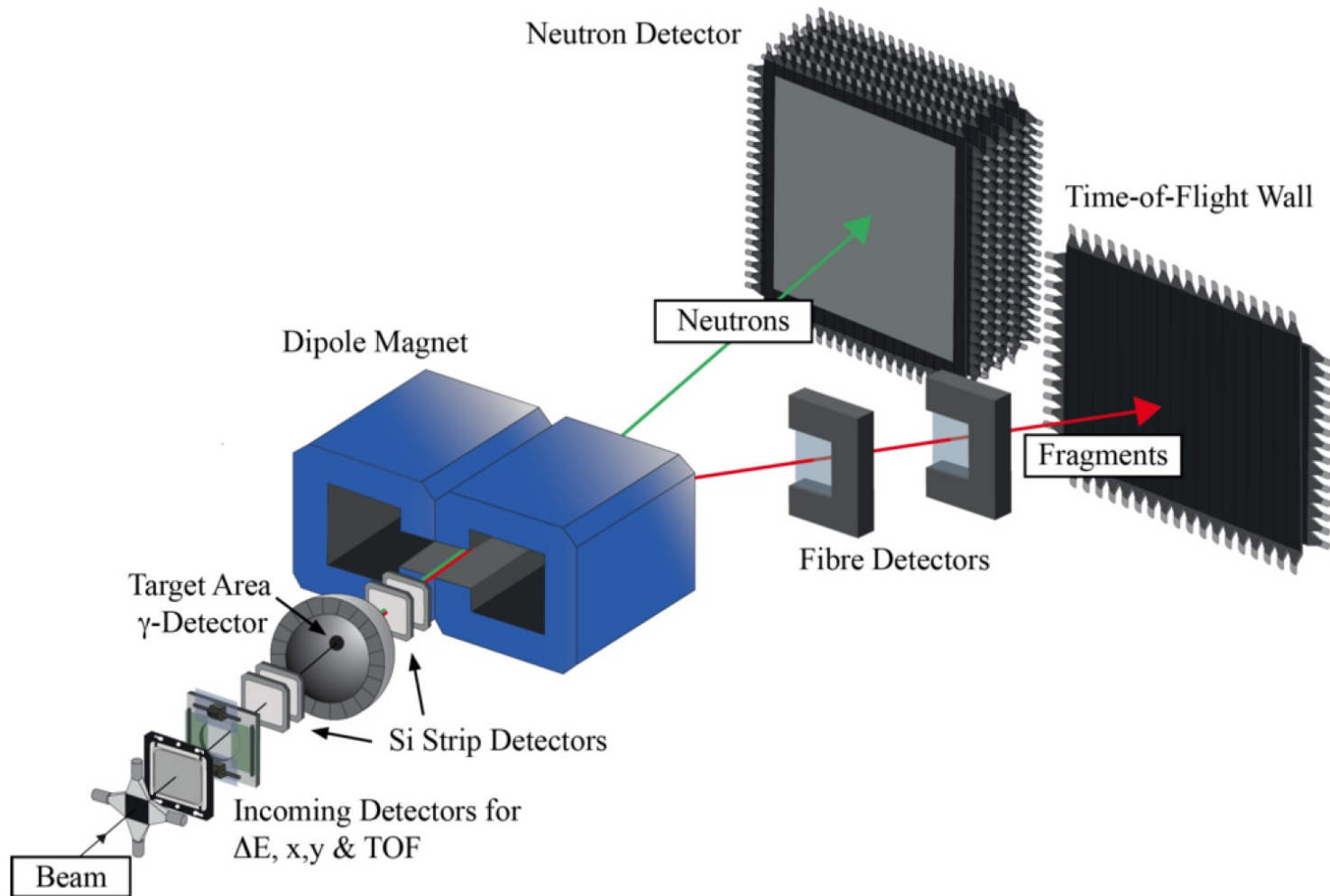
энергии протонных и нейтронных дырочных состояний,

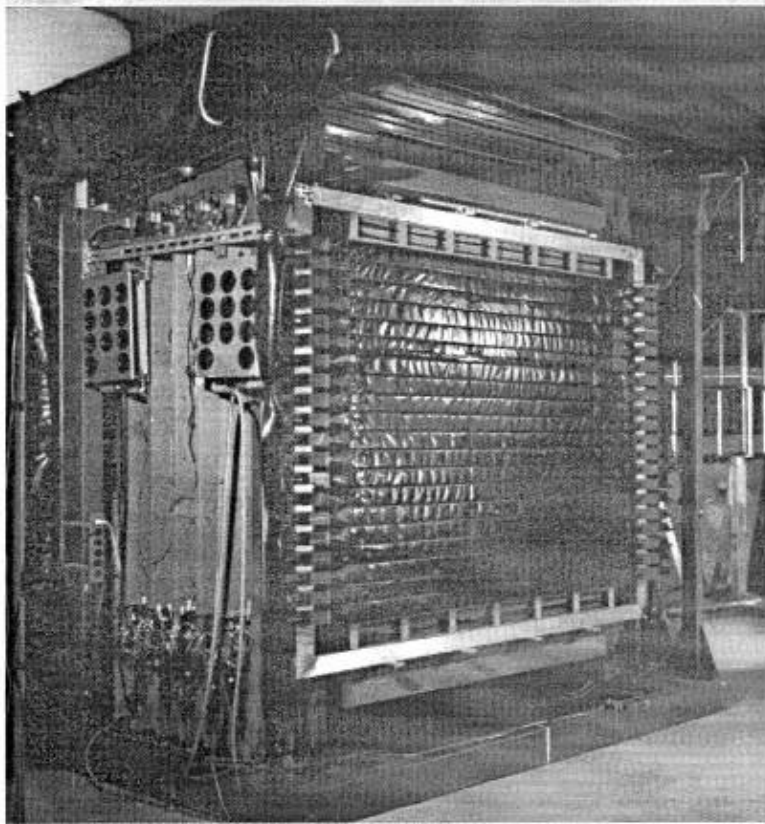
импульсные распределения нуклонов на выделенных оболочках

Исследование несвязанных резонансных ядерных состояний

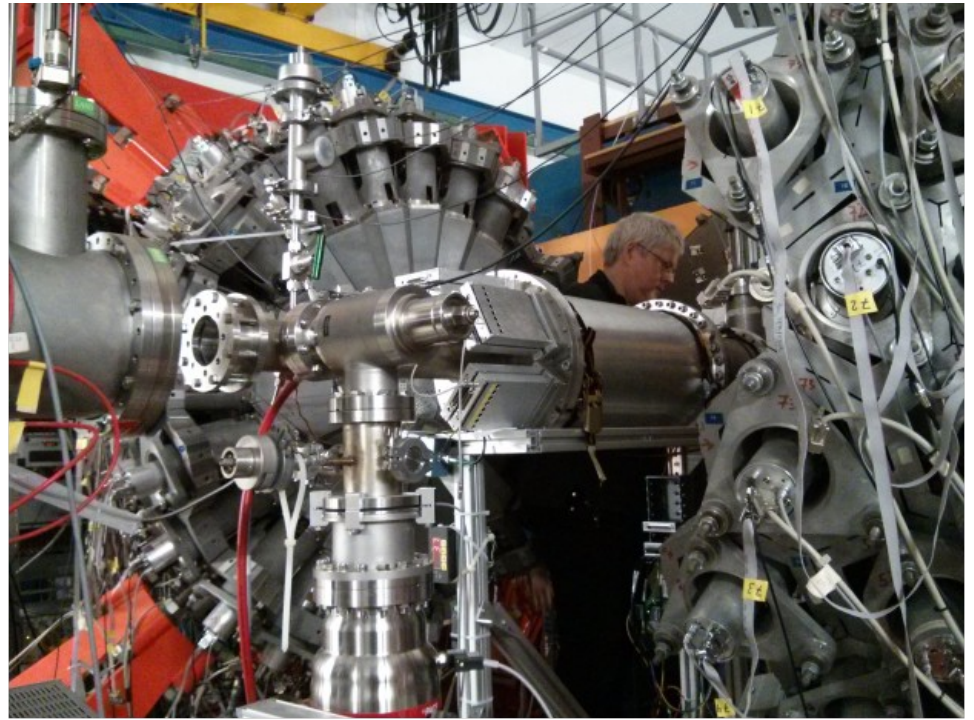
Сечения делений экзотических ядер

LAND





H



Гамма детектор Crystal ball

Детектор медленных нейтронов LENA

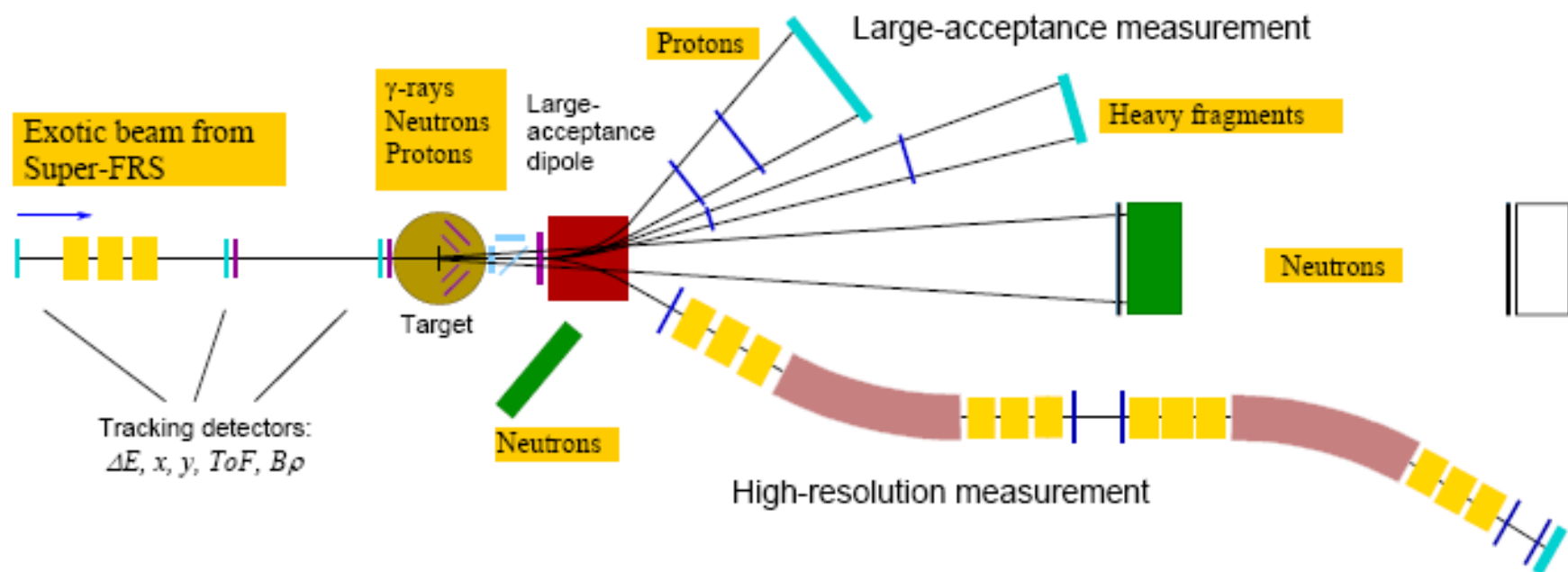
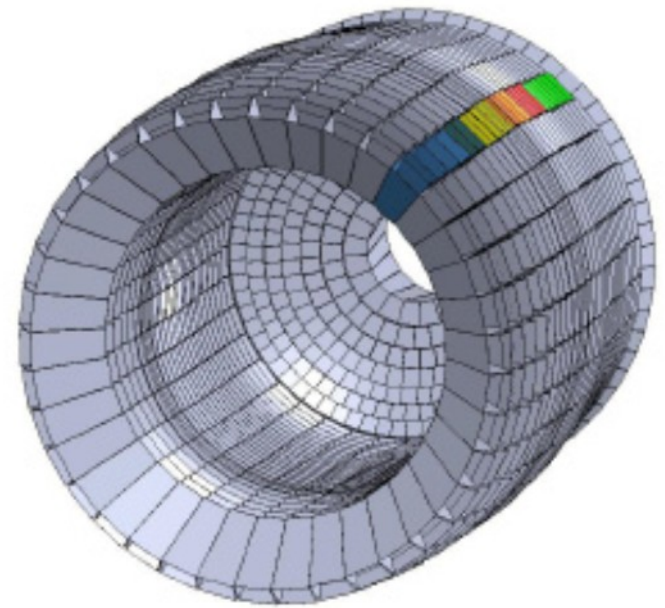
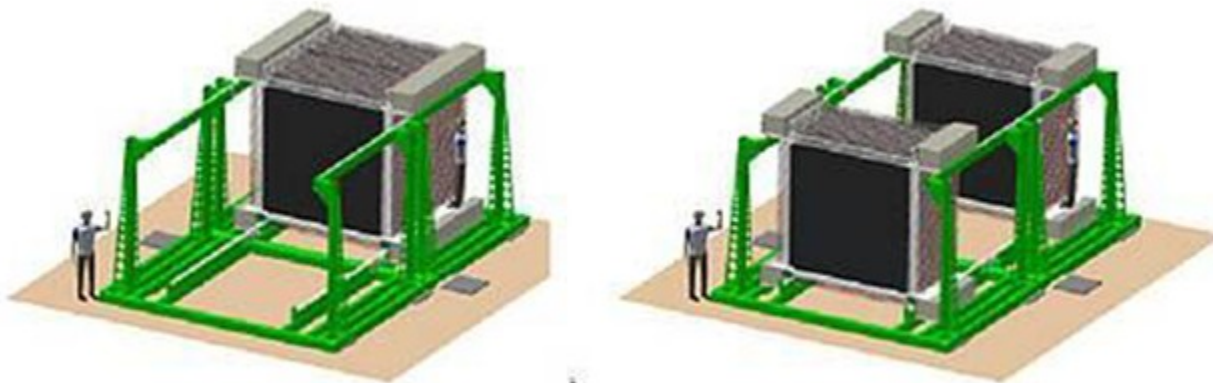


Figure 1: Schematic drawing of the experimental setup comprising γ -ray and target recoil detection, a large-acceptance dipole magnet, a high-resolution magnetic spectrometer, neutron and light-charged particle detectors, and a variety of heavy-ion detectors.



Гамма детектор CALIFA



Время-пролетный нейтронный детектор NeuLAND

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

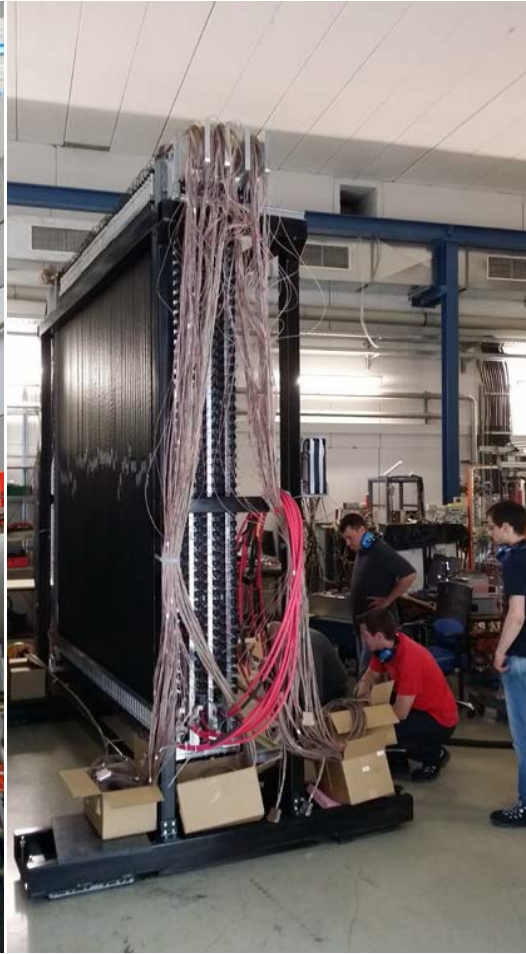
Новый вариант детектора NeuLAND:

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.



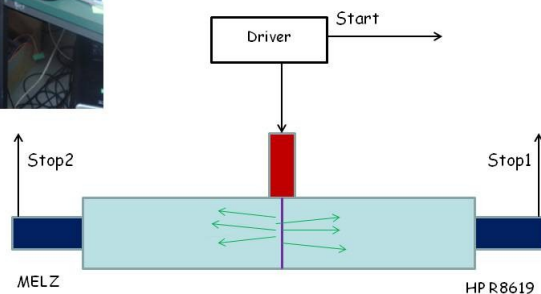
Два сцинтилляционных бруска



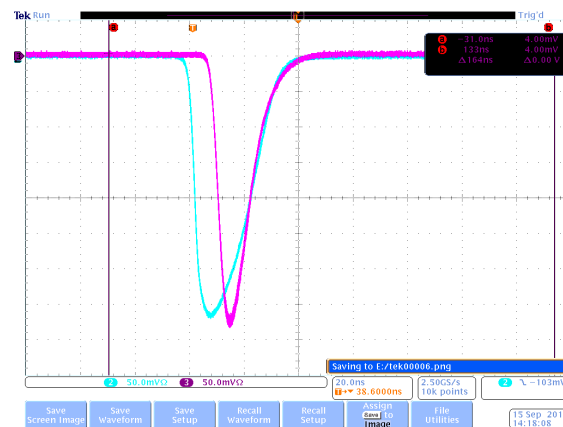
Испытания ФЭУ в ПИЯФ



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 (≤ 0.5 mA)

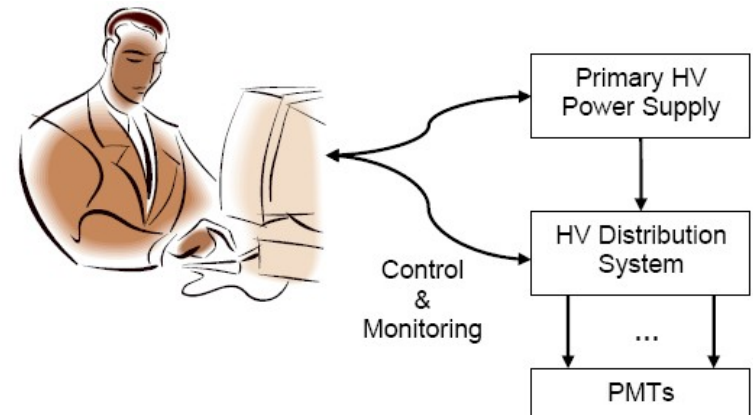
Регулировка напряжения: 0 – 1.5 kV

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 м²**, **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 2×1 м² до 2.7×1.1 м².

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. !

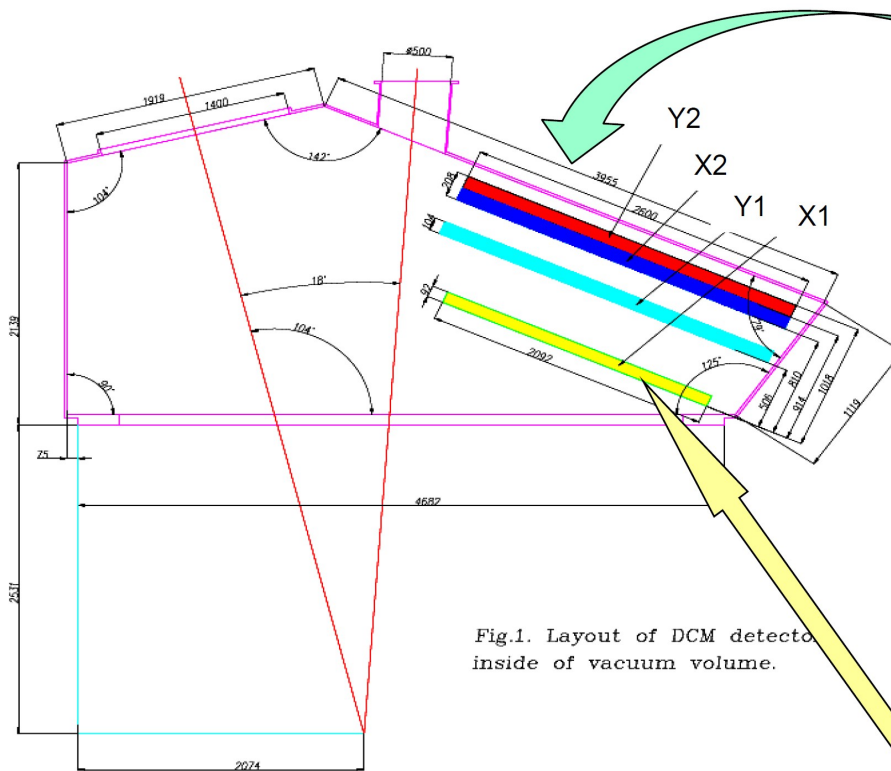
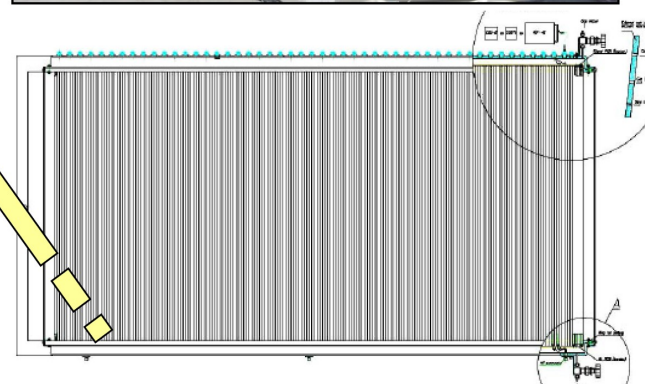


Fig.1. Layout of DCM detectors inside of vacuum volume.



Общий вид STW (X1 - coordinate)

Ar + 38%C₂H₆



**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

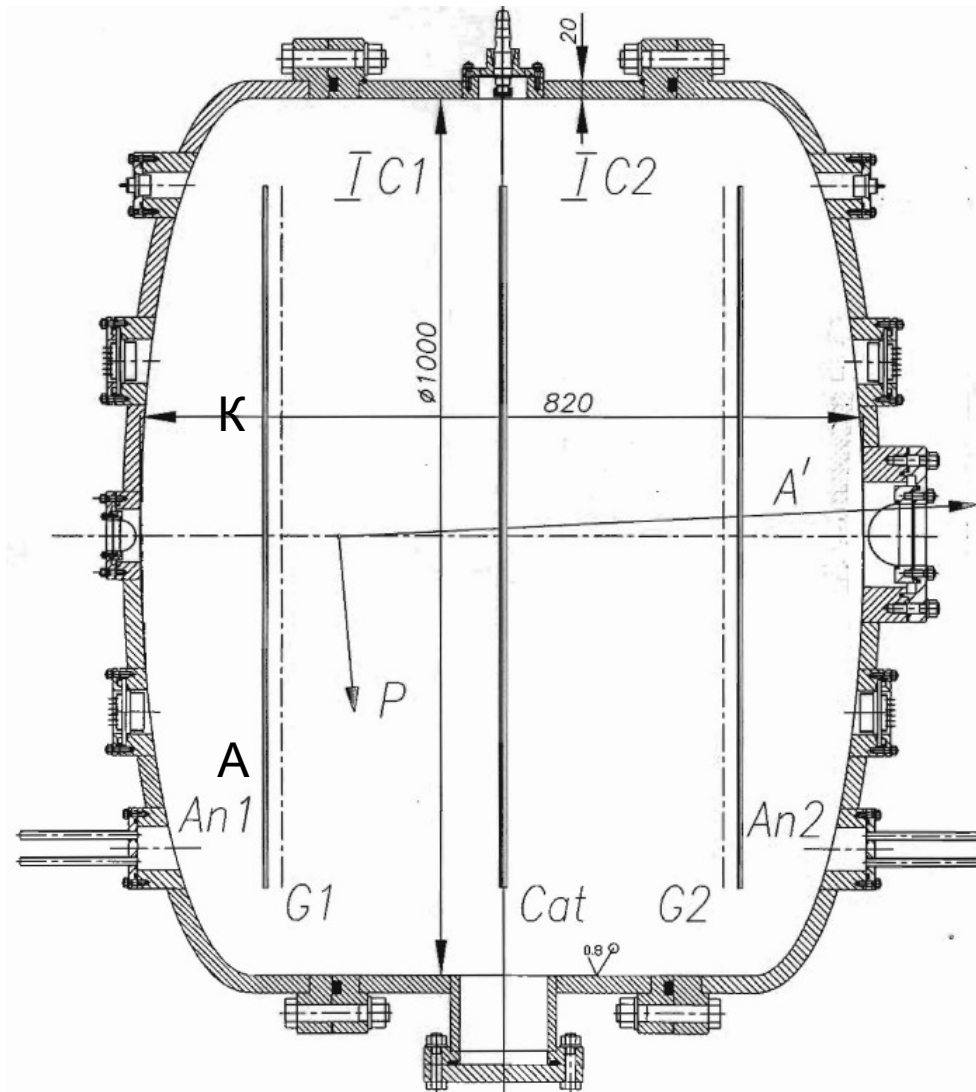
Есть достаточно хорошая надежда, что технология производства ультра- тонкостенных труб отлажена. Окончательное заключение будет дано после проведения входного контроля второй партии труб.

Gas – target and working gas of the detector.

Low momentum transfers,
Short-lived isotopes.

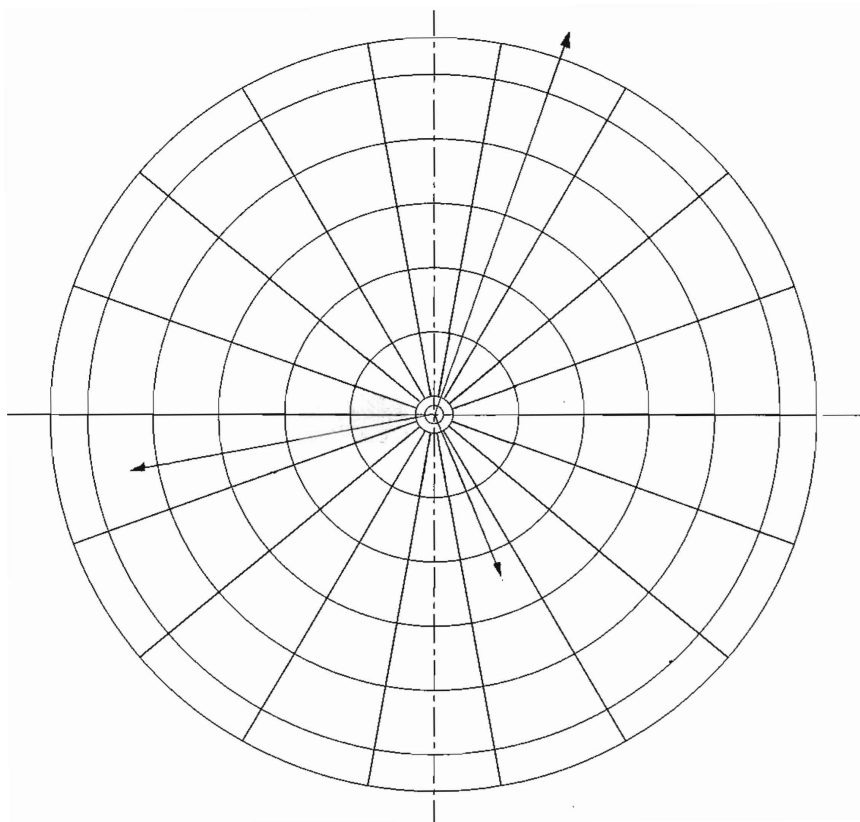
- **Elastic (p,p') scattering** in inverse kinematics (for nuclei with $T_{1/2} < 1$ s) –
ground-state matter distributions
- **($^3\text{He},t$) charge exchange reactions** –
Gamow-Teller resonances ?
- **(α,α') inelastic scattering** –
**ISGM resonances, nuclear matter
compressibility**

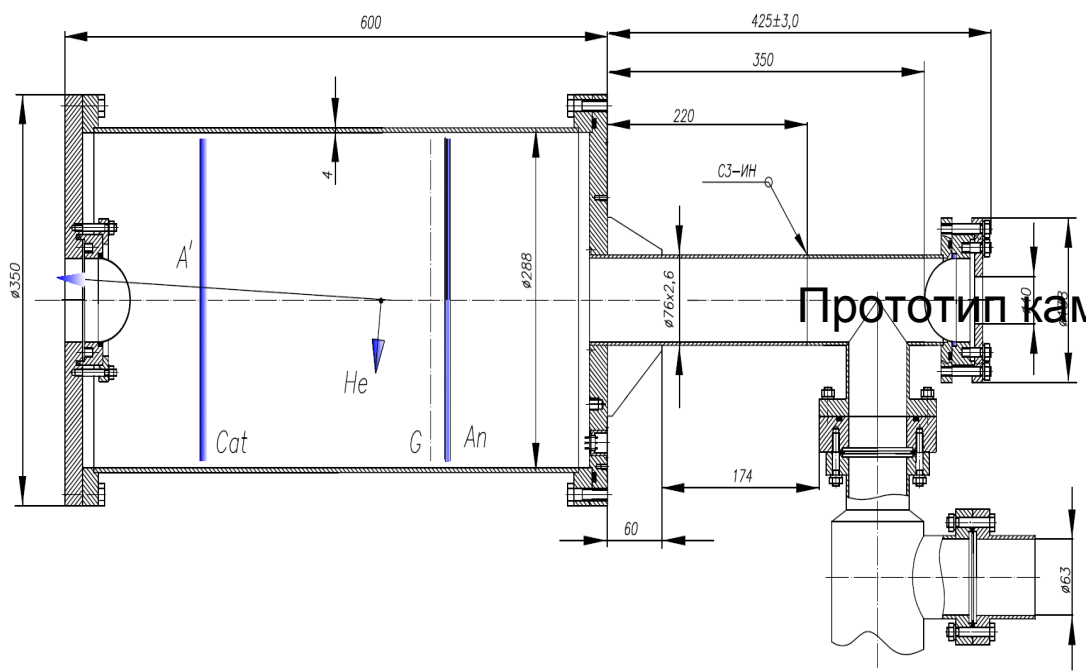
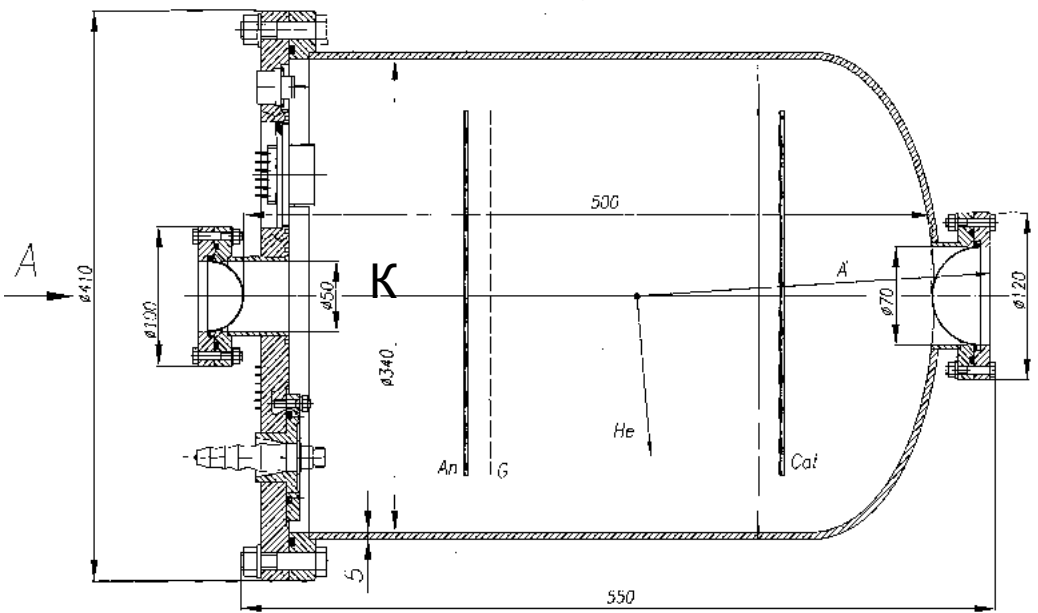
PNPI Gatchina: Е.М. Маев, Г.Д. Алхазов, Д.В. Балин, Л.Х. Батист, А.В. Добровольский, А.Г. Инглесси, Г.А. Королев, А.В. Ханзадеев, Г.Е. Петров, В.В. Саранцев, Л.О. Сергеев, В.И. Яцура.



Прототип –
ИКАР

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





Прототип камеры Астар2

Неупругое рассеяние на ядрах α -частиц в инверсной кинематике



Тестовый эксперимент в GSI
в 2014 г. на пучке ^{58}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 |
| | Всего | 2 685 |

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