

PNPI in R3B

PNPI in R3B

NUSTAR – **Nu**clear **St**tructure, **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

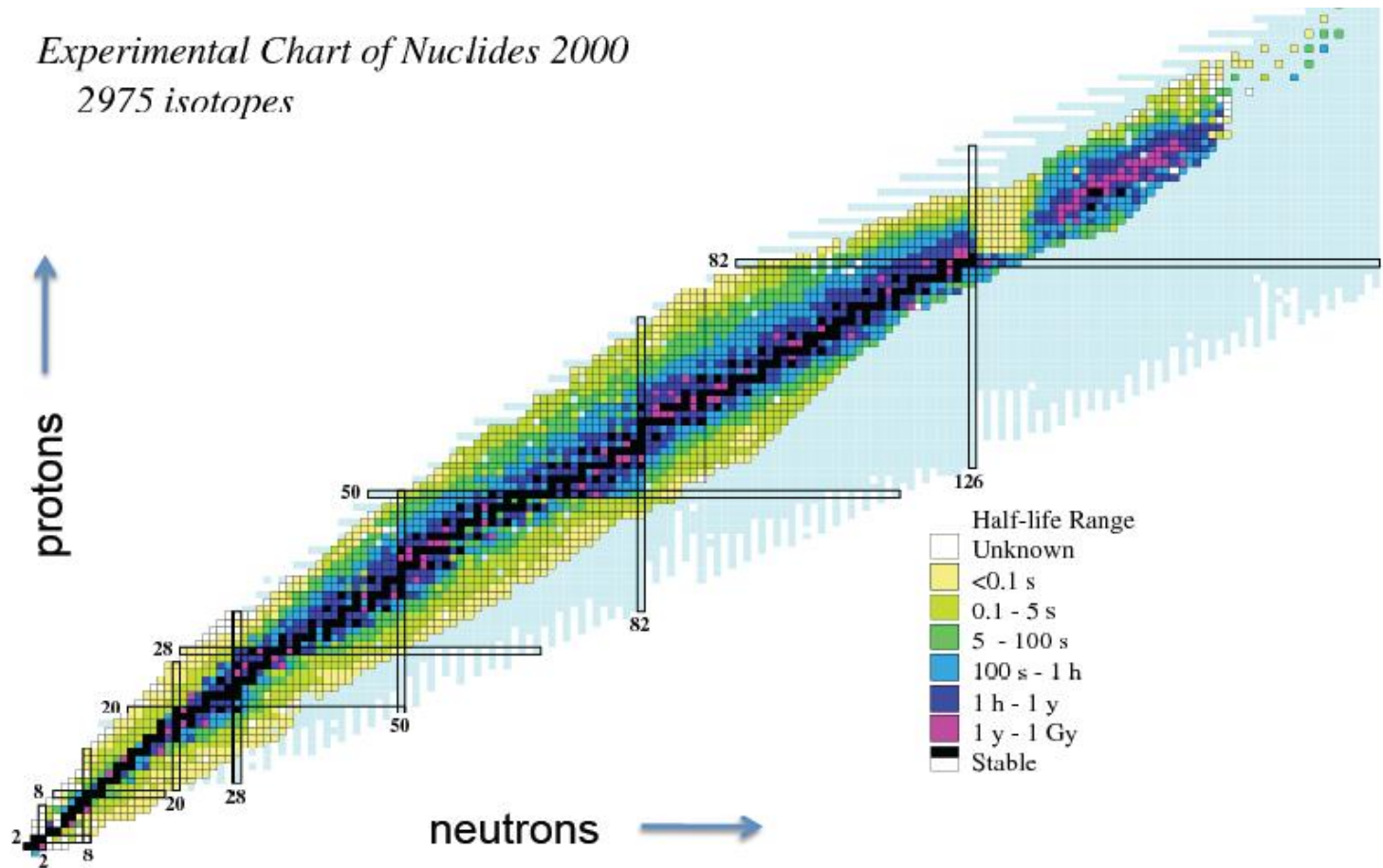
EXL – **Exotic Light-ions** (exotic nuclei studied in light-ion induced reactions at the NESR ring)

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

С 04.10.2016 А.Г. Крившич – технический и финансовый координатор участия ПИЯФ в NuSTAR

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

ИРИНА – LASPEC

ИРИНА – MATS

ИРИНА – ILIMA

ИРИНА – HISPEC-DESPEC

ИРИНА – R3B – ?

Зарядовые радиусы легких экзотических ядер

ИРИНА – лазерная спектроскопия

R3B – сечения зарядовообменных реакций
(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) –

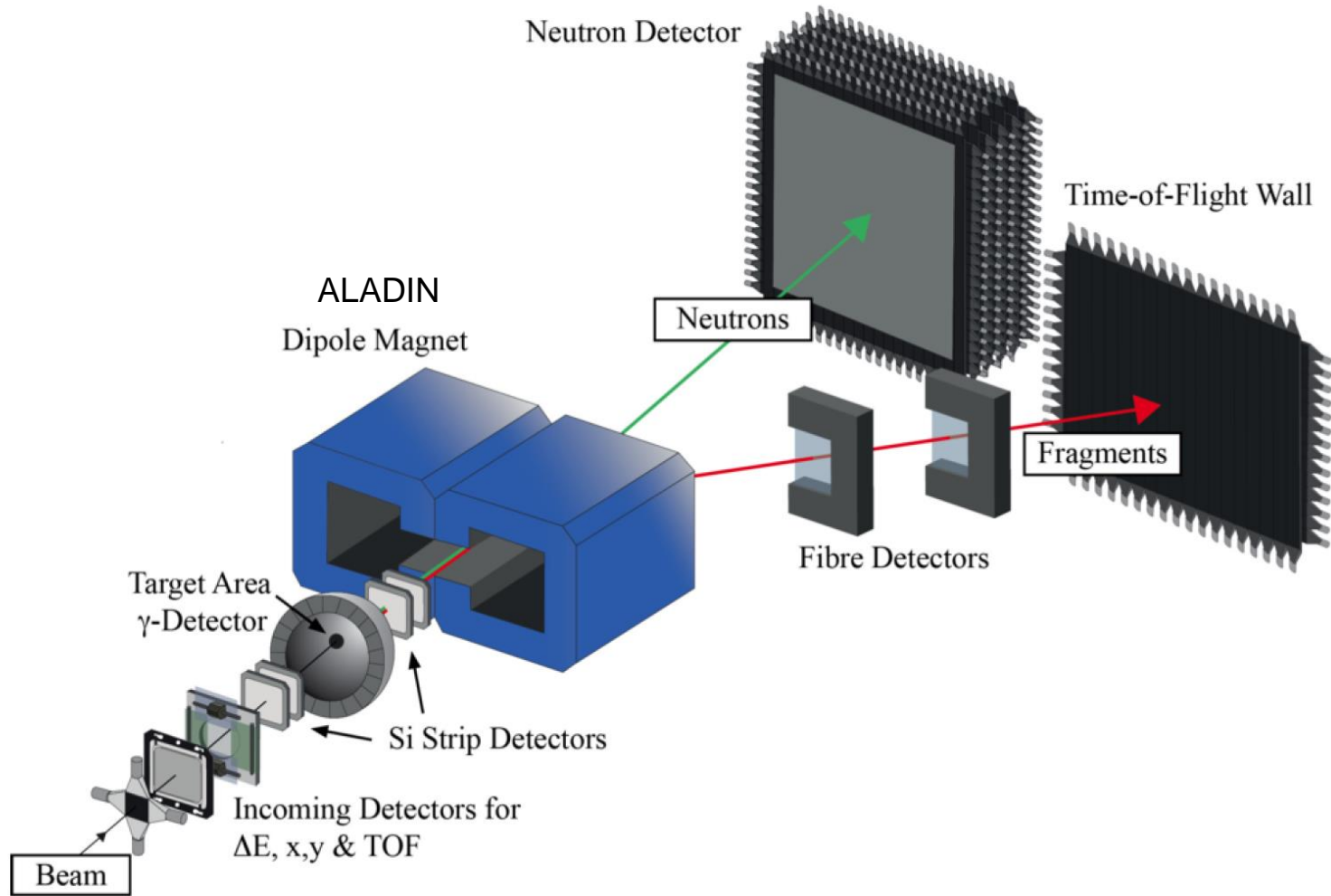
энергии протонных и нейтронных дырочных состояний,

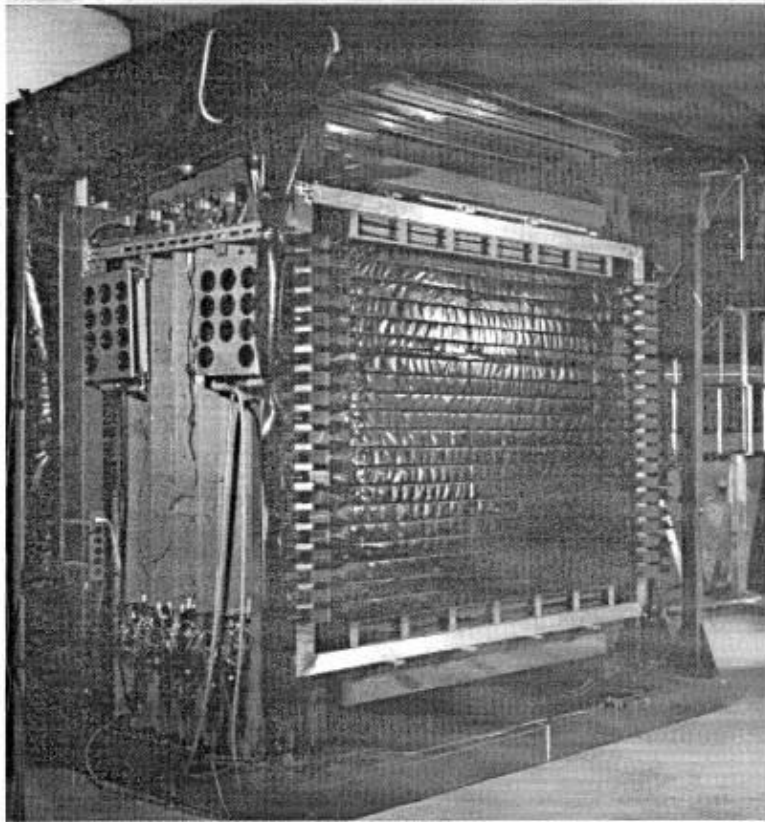
импульсные распределения нуклонов на выделенных оболочках

Исследование несвязанных резонансных ядерных состояний

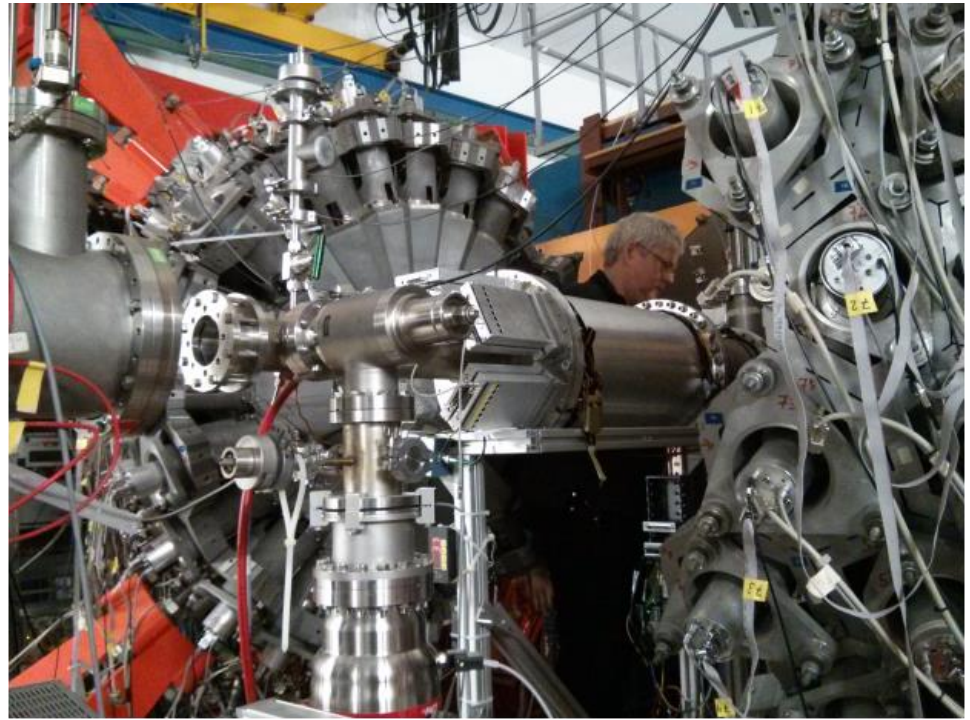
Сечения делений экзотических ядер

LAND





Нейтронный время-пролетный
детектор LAND



Гамма детектор Crystal ball

Детектор медленных нейтронов LENA

R3B

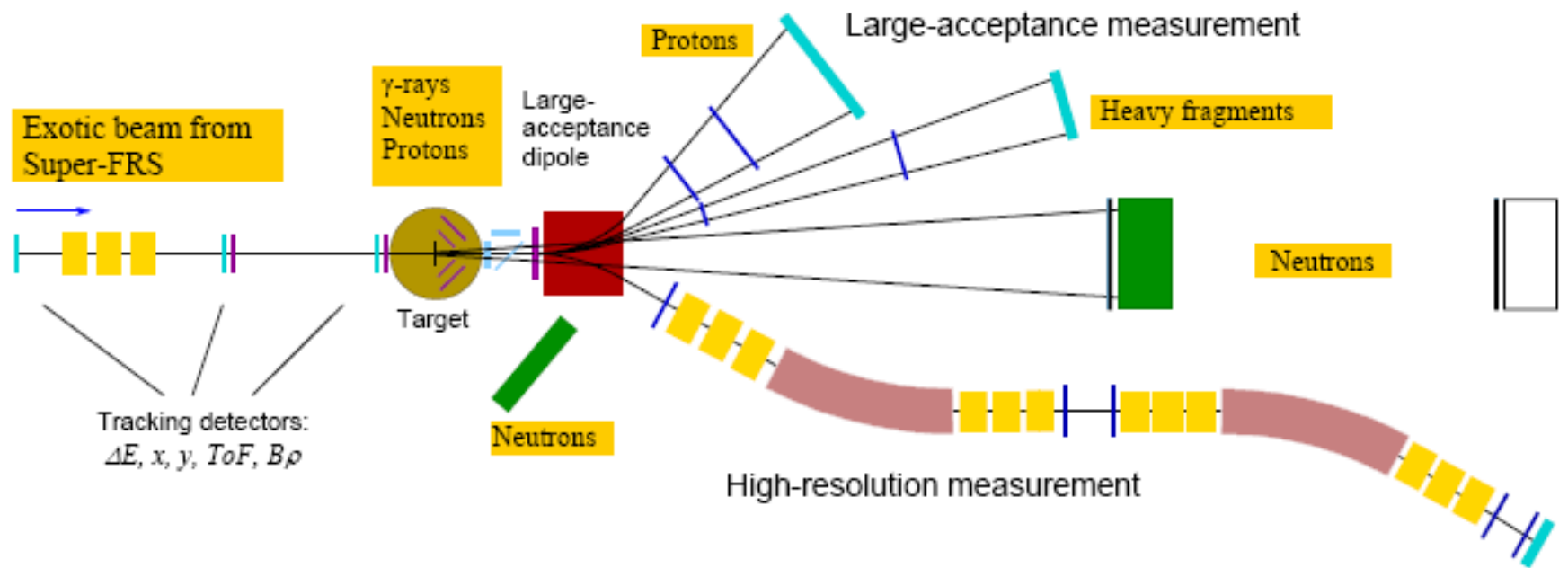


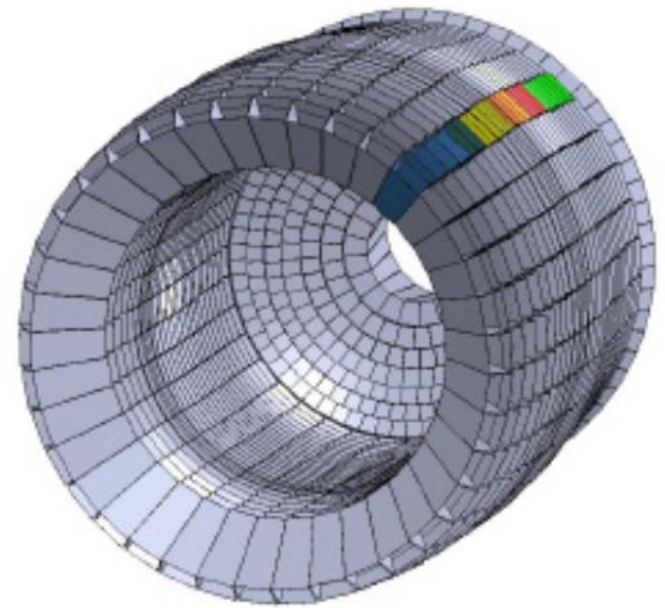
Figure 1: Schematic drawing of the experimental setup comprising γ -ray and target recoil detection, a large-acceptance dipole magnet, a high-resolution magnetic spectrometer, neutron and light-charged particle detectors, and a variety of heavy-ion detectors.

Intended PNPI participation:

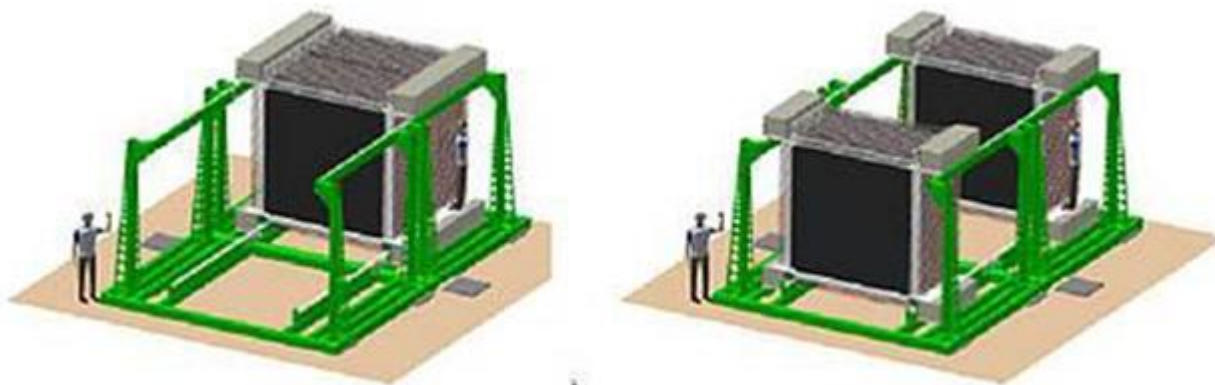
Neutron detector NeuLAND (HV system),
proton tracking detector, active target(s).



Магнит GLAD



Гамма детектор CALIFA



Время-пролетный нейтронный детектор NeuLAND

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

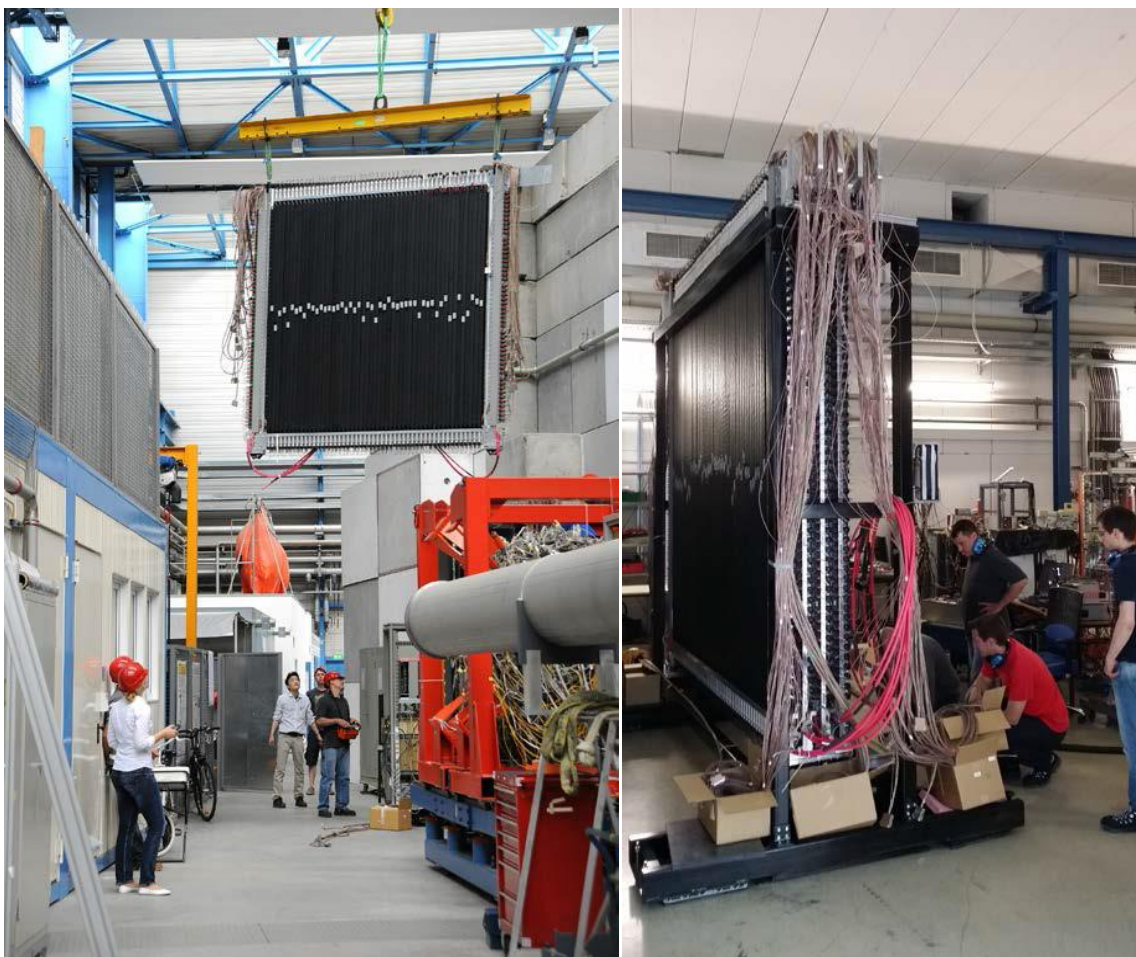
Новый вариант детектора NeuLAND:

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

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



Сборка первых 5 двойных плоскостей детектора NeuLAND в GSI

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 – **415 (570) кЕвро.**

PNPI – HV system:

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

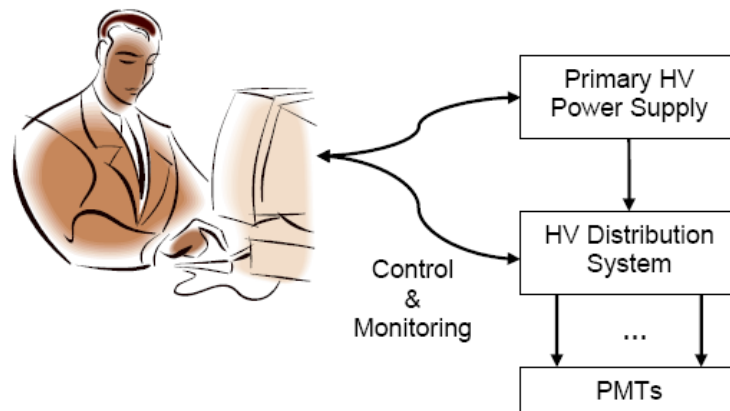
Регулировка напряжения: 0 – 1.5 kV

Установка напряжения с точностью 0.1%

Стабильность лучше 0.1%

Флуктуации $\leq 0.02\%$

Ток измеряется с точностью 0.1%



PNPI Gatchina: В.Л. Головцов, Л.Н. Уваров, С.В. Бондарев,
С.С. Волков, Н.В. Грузинский, Е.М. Орицин.

В 2014 г. изготовлена и поставлена предварительная серия системы HVDS на 200 каналов из 4-х модулей DB50 и 1-ого модуля HVCB, обеспечивающая высоковольтным питанием одну сдвоенную плоскость сцинтилляторов (100 штук).

В 2015 г. изготовлена партия модулей на 1000 каналов

Оплата – только в сентябре 2016.

Следующая партия модулей на 2000 каналов – 2016–2017.



Трековый детектор для R3В – детектор быстрых протонов

PAS - 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

Придетекторная электроника + CROS3 readout ($\sigma_t = 0.8$ нс) (?).

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

TDR одобрен в августе 2015 г. 480 (664) кЕвро

В 2016 изготовлен прототип и испытан на пучке углерода в ГСИ

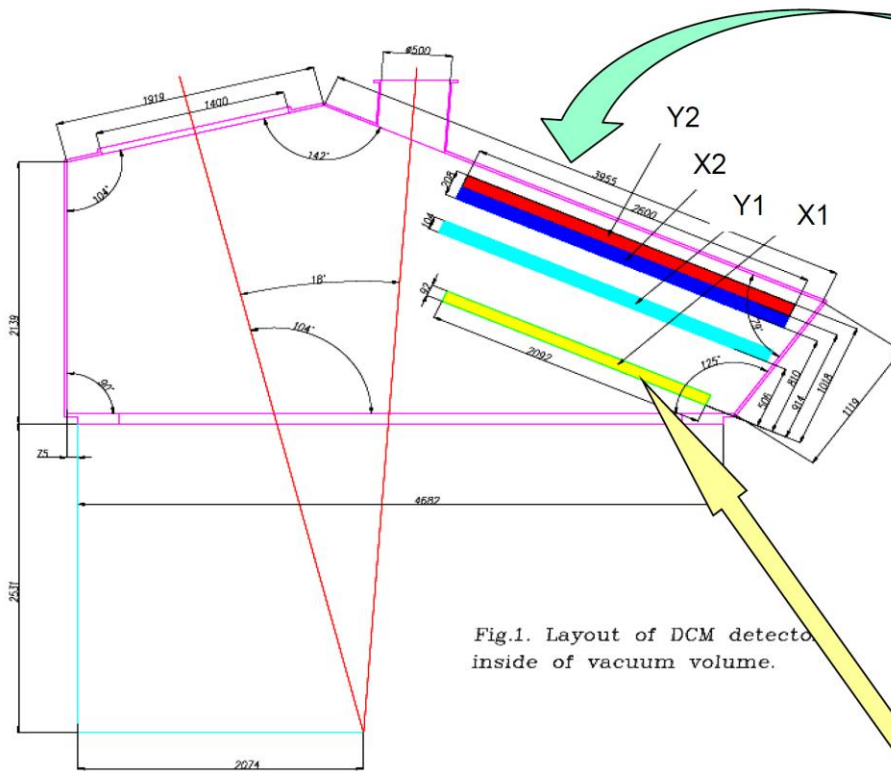
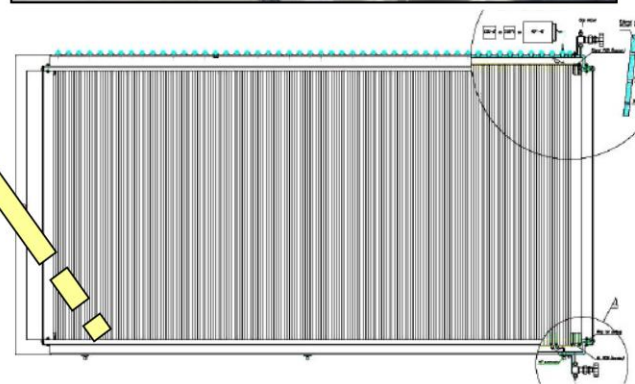


Fig.1. Layout of DCM detectors inside of vacuum volume.



Общий вид STW (X1 - coordinate)

Proton Arm Spectrometer - структура

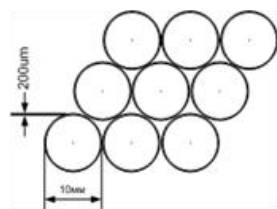
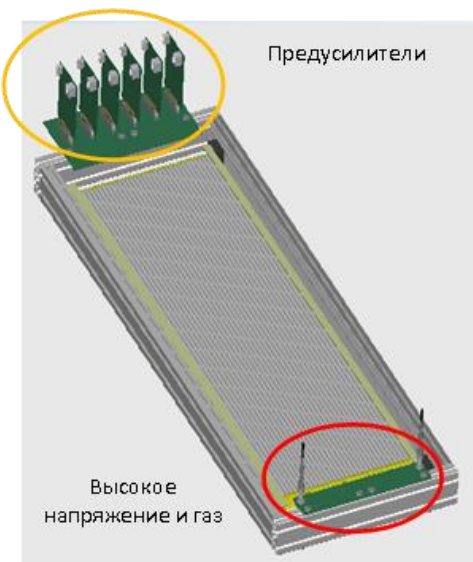


Рис. 2. Чертеж прототипа и структура размещения дрейфовых трубок.

Рис. 4. Общий вид прототипа.

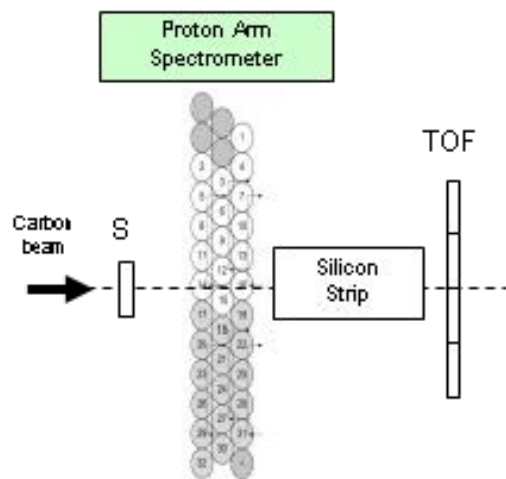


Рис. 5. Пучковые испытания PAS-прототипа в GSI

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)

Органический сцинтиллятор из поливинилтолуола BC-408 фирмы Saint Gobaine (Франция);
RP408 фирмы REXON в штате Огайо, США

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

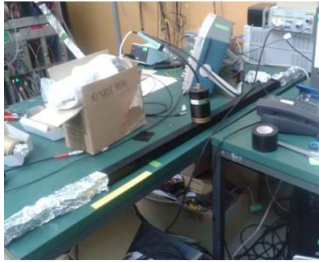
Предполагавшийся вклад ПИЯФ - 7 двойных слоев

Русские ФЭУ вместо японских

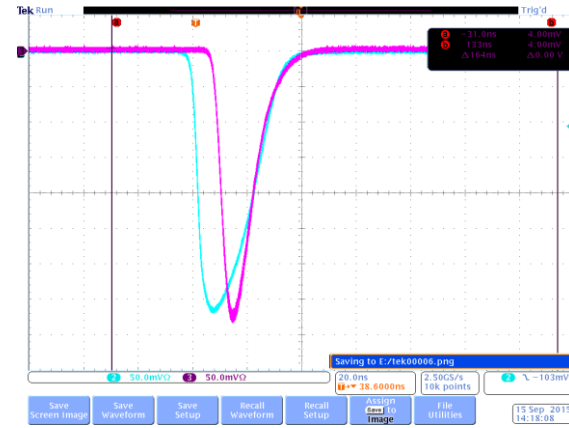
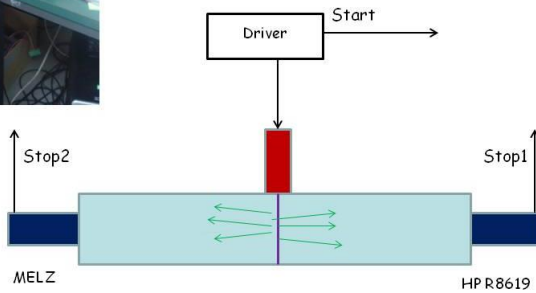
Испытания сцинтилляторов и ФЭУ на пучке протонов ПИЯФ, с радиоактивным источником ^{90}Sr , с использованием космических лучей и с пикосекундным UV лазером в GSI:

ФЭУ R8619 (Hamamatsu Photonics)
и ФЭУ 115МКЦ (ООО МЭЛЗ-ФЭУ)

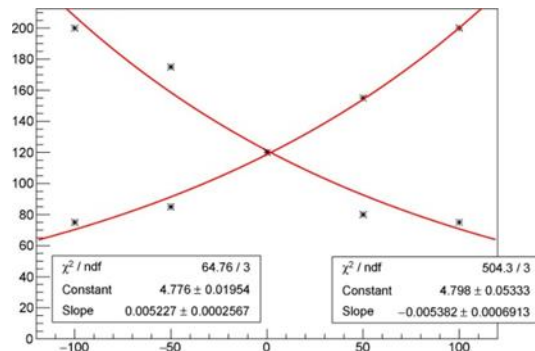
PNPI Gatchina: В.А. Кузнецов, Н.Г. Козленко, А.А. Жданов.



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
ФЭУ 115МКЦ ! $\Delta t = 25 - 40$ пкс

Результаты тестирования счетчиков с источником ^{90}Sr

- Проблемы:**
- 1) большое время изготовления сцинтилляторов
 - 2) недостаточное финансирование: **835 кЕвро = 335 + 250 + 250**
 - 3) второй приоритет: 31.08.16 – приоритет 1; 02.09.16 – приоритет 2.

ACTAR

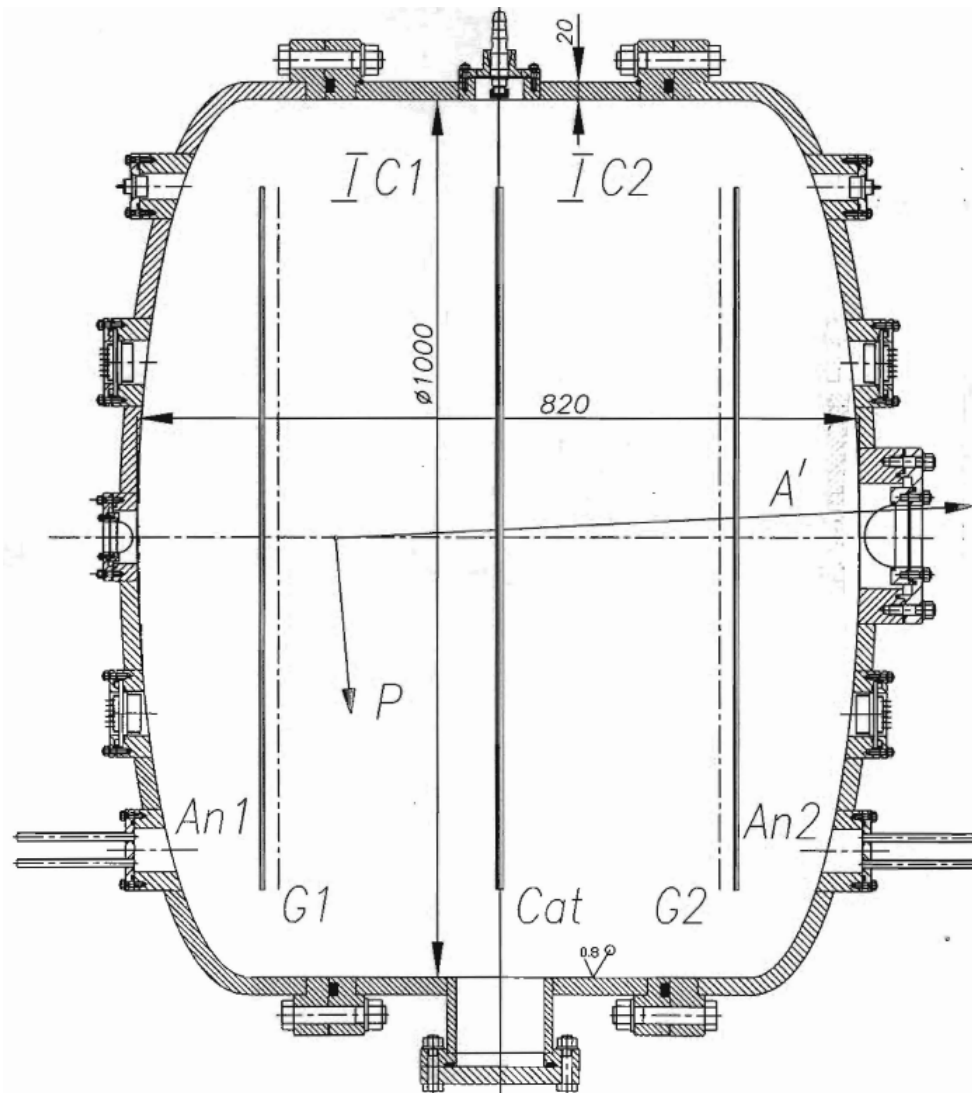
Gas – target and working gas of the detector.

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

955 кЕвро (+ 150 кЕвро)

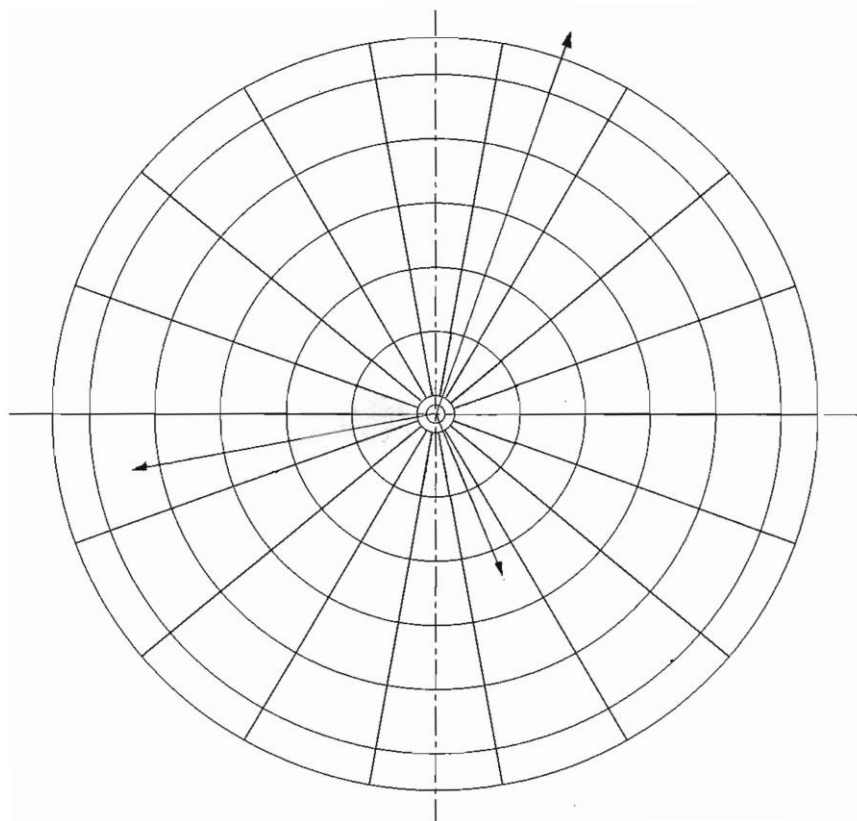
PNPI Gatchina: Е.М. Маев, Г.Д. Алхазов, Д.В. Балин, Л.Х. Батист, А.В. Добровольский, А.Г. Инглесси, Г.А. Королев, А.В. Ханзадеев, Г.Е. Петров, В.В. Саранцев, Л.О. Сергеев, В.И. Яцура.



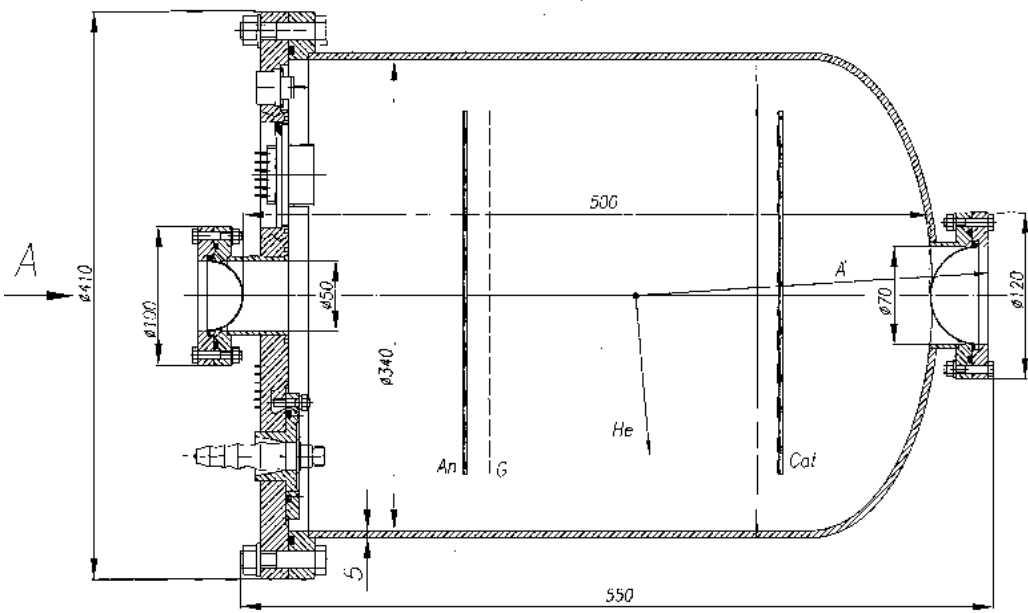
Камера
АСТАР1

Прототип –
ИКАР

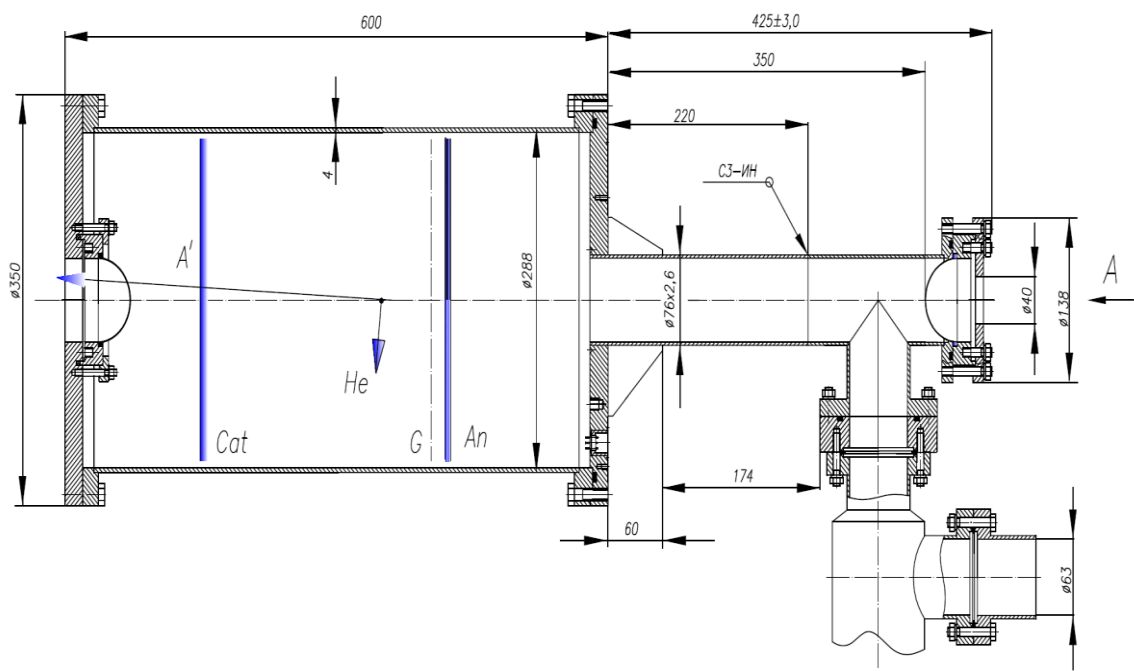
Давление: 1 – 20 bar $E_{p(max)} \approx 11$ MeV



Секционированный анод камеры Astar1



Камера Actar2



Прототип камеры Actar2

Неупругое рассеяние на ядрах α -частиц в инверсной кинематике



Прототип камеры ACTAR2 $E_{\alpha} = 1-10$ МэВ

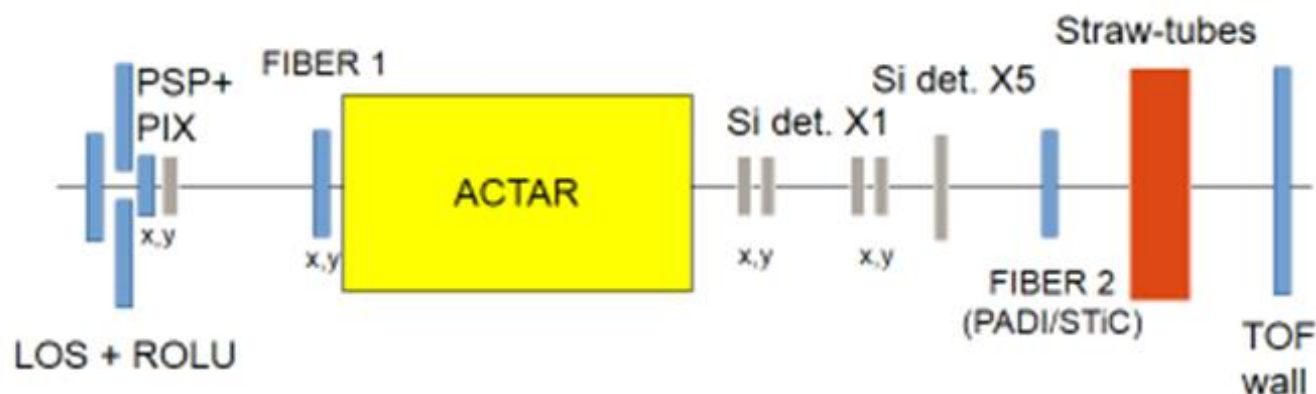
The length – 60 cm, the inner diameter – 28 cm,
the working pressure – 10 bar.

Segmented anode

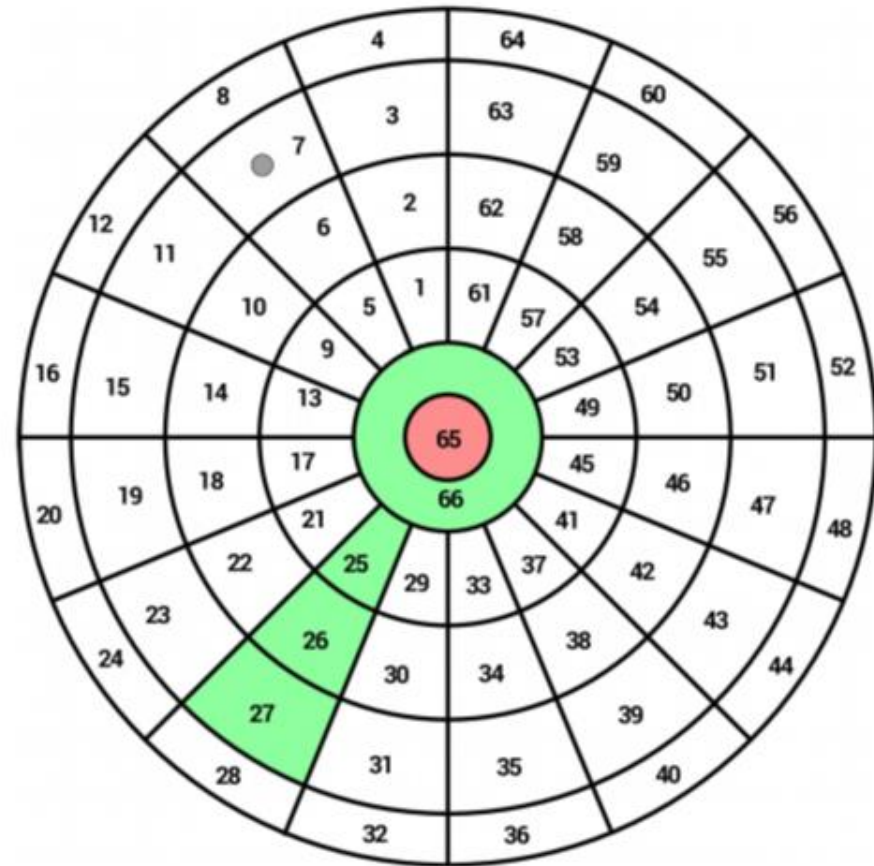
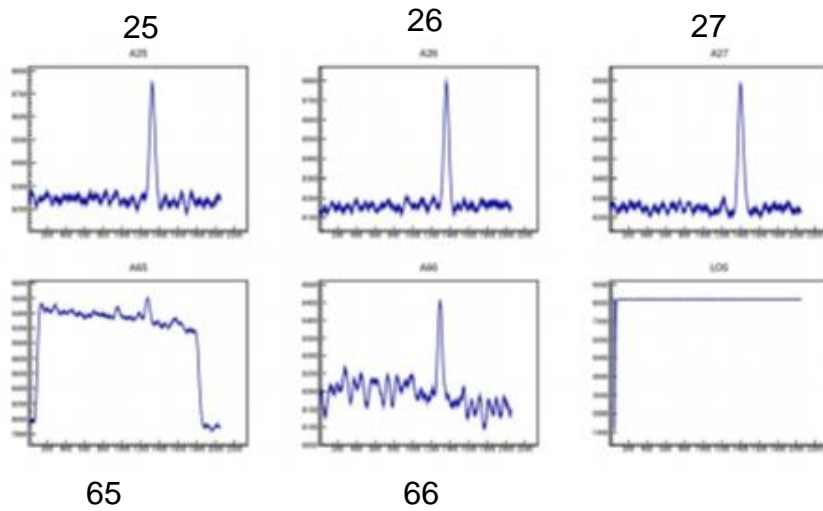
Тестовый эксперимент в GSI
в 2014 г. на пучке ^{58}Ni

**Тестовый эксперимент в GSI
в 2016 г. на пучке ^{124}Xe**

- GSI beam time
 - Tracking for ACTAR (Xe beam) and STW (C beam)
 - Testing of FIB, PSP and TOF detectors



Typical scattering event



В 2016 – 1 публикация: Nuclear astrophysics with radioactive ions at FAIR
R. Reifarth,... G. Alkhazov, V. Andreev, A. Fetisov, A. Khanzadeev,
O. Kiselev, E. Maev, L. Uvarov, V. Vikhrov, A. Zhdanov,... et al.
J. Phys. Conf. Ser. 665 (2016) 012044

19–23 сентября 2016 – митинг коллаборации R3B

~ 50 ученых из 12 стран; ~ 60 докладов (13 – ОФВЭ)

ОФВЭ: Е.М. Маев, В.А. Мурзин, Г.А. Инглесси, А.А. Фетисов, Н.Ю. Швецова, Л.Ф. Никитина

Задачи 2017 г.:

- **продолжить работу по созданию HV-системы для NeuLAND
(изготовить электронику на 2 000 каналов)**
- **изготовить и испытать новый прототип трекового детектора и подготовить контракт**
- **проработать возможность заключения контракта по российскими ФЭУ**
- **подготовить контракт по теме АСТАР (если будет одобрен TDR)**