

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

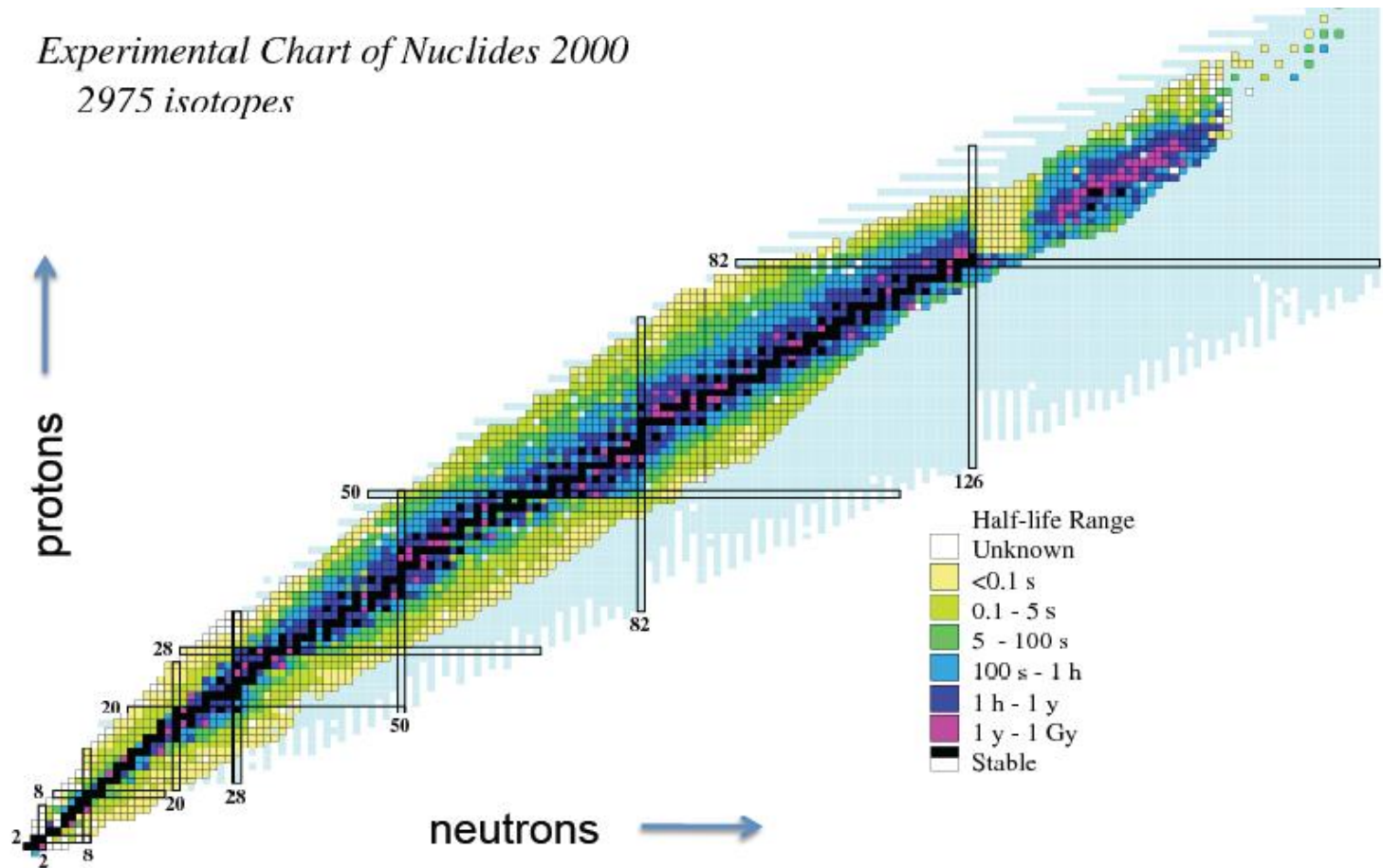
EXL – **Exotic Light-ions** (exotic nuclei studied in light-ion induced reactions at the NESR ring)

• **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) –

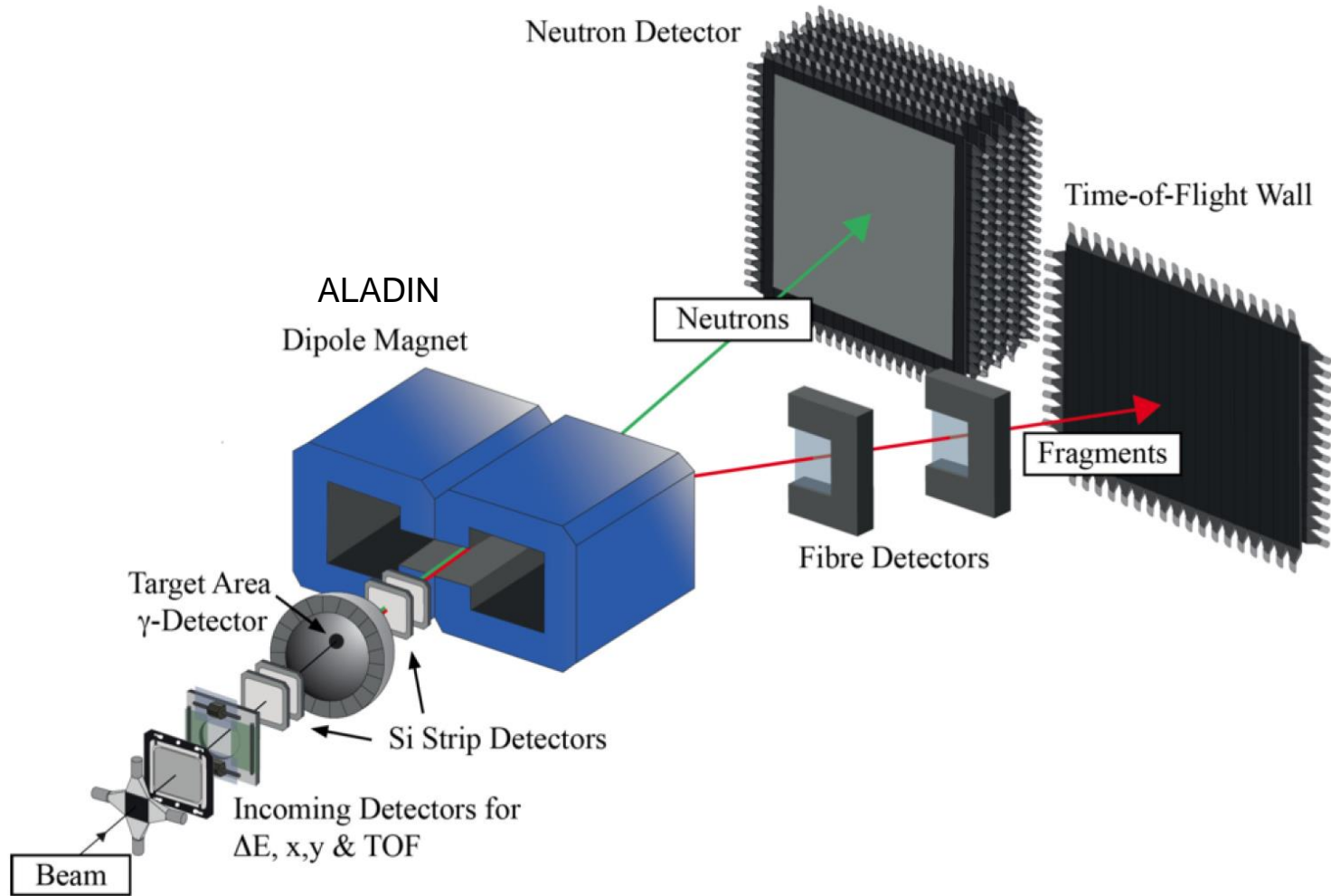
энергии протонных и нейтронных дырочных состояний,

импульсные распределения нуклонов на выделенных оболочках

Исследование несвязанных резонансных ядерных состояний

Сечения делений экзотических ядер

LAND



R3B

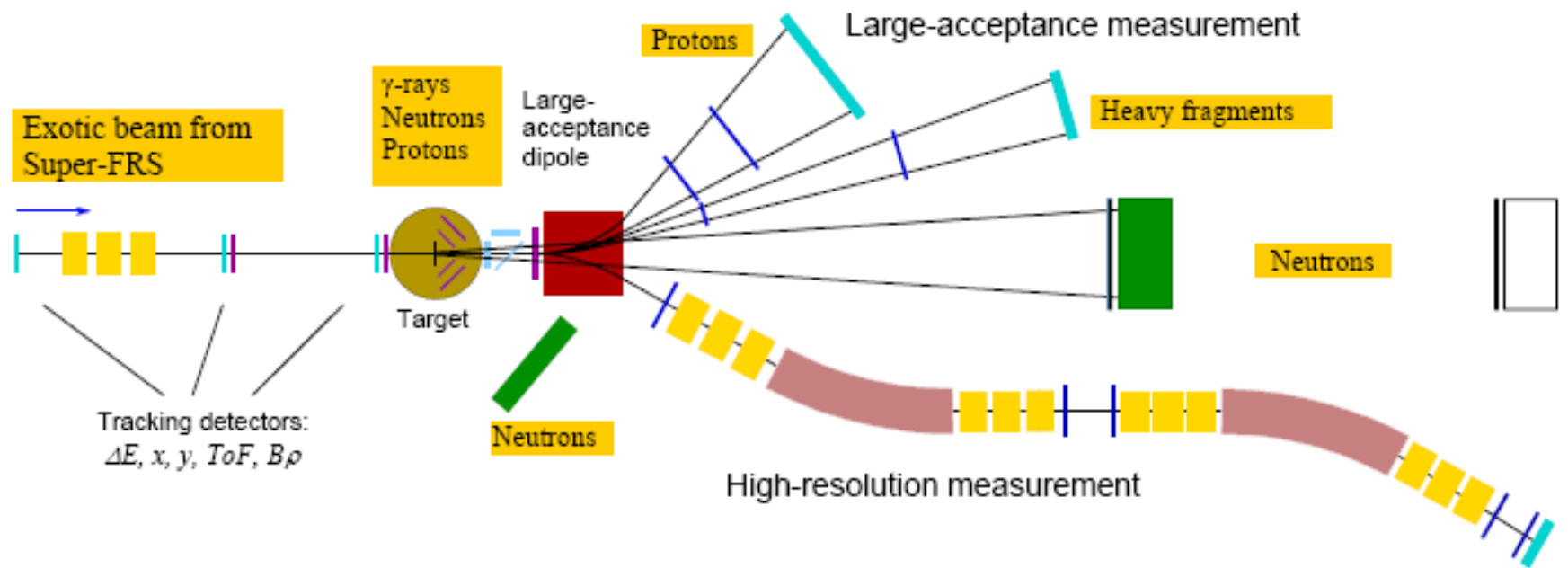


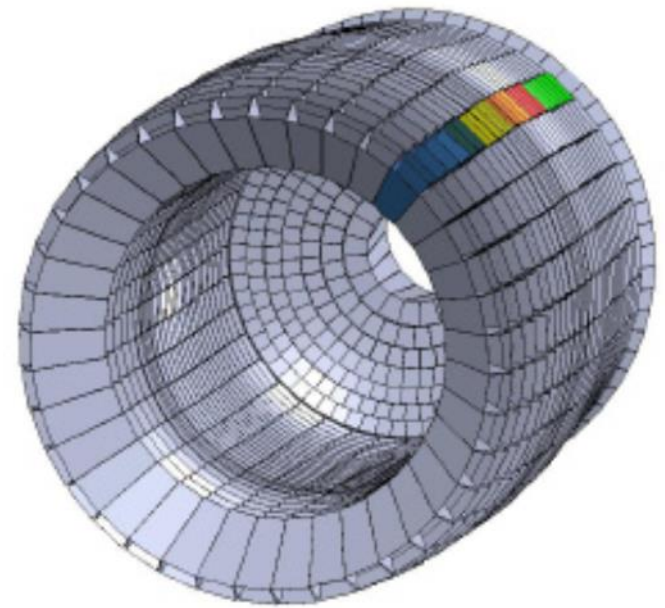
Figure 1: Schematic drawing of the experimental setup comprising γ -ray and target recoil detection, a large-acceptance dipole magnet, a high-resolution magnetic spectrometer, neutron and light-charged particle detectors, and a variety of heavy-ion detectors.

Intended PNPI participation:

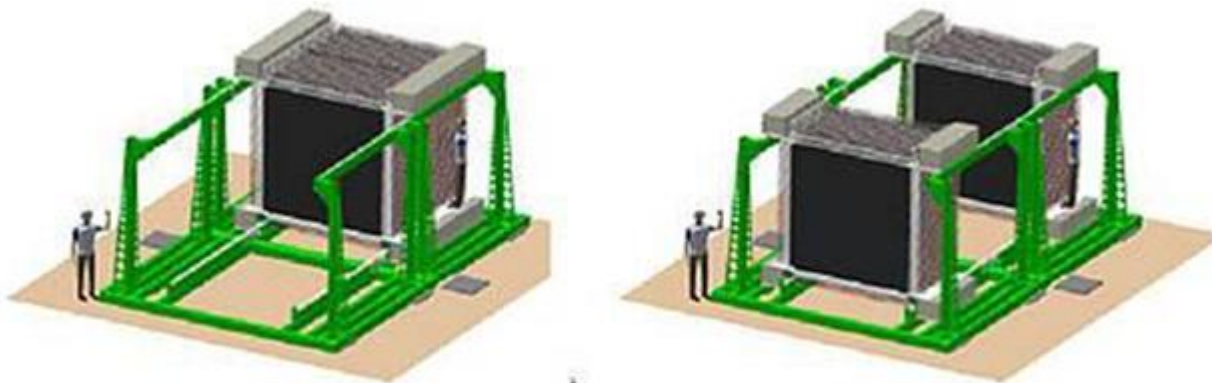
**Neutron detector NeuLAND (HV system),
proton tracking detector, active target(s).**



Магнит GLAD



Гамма детектор CALIFA



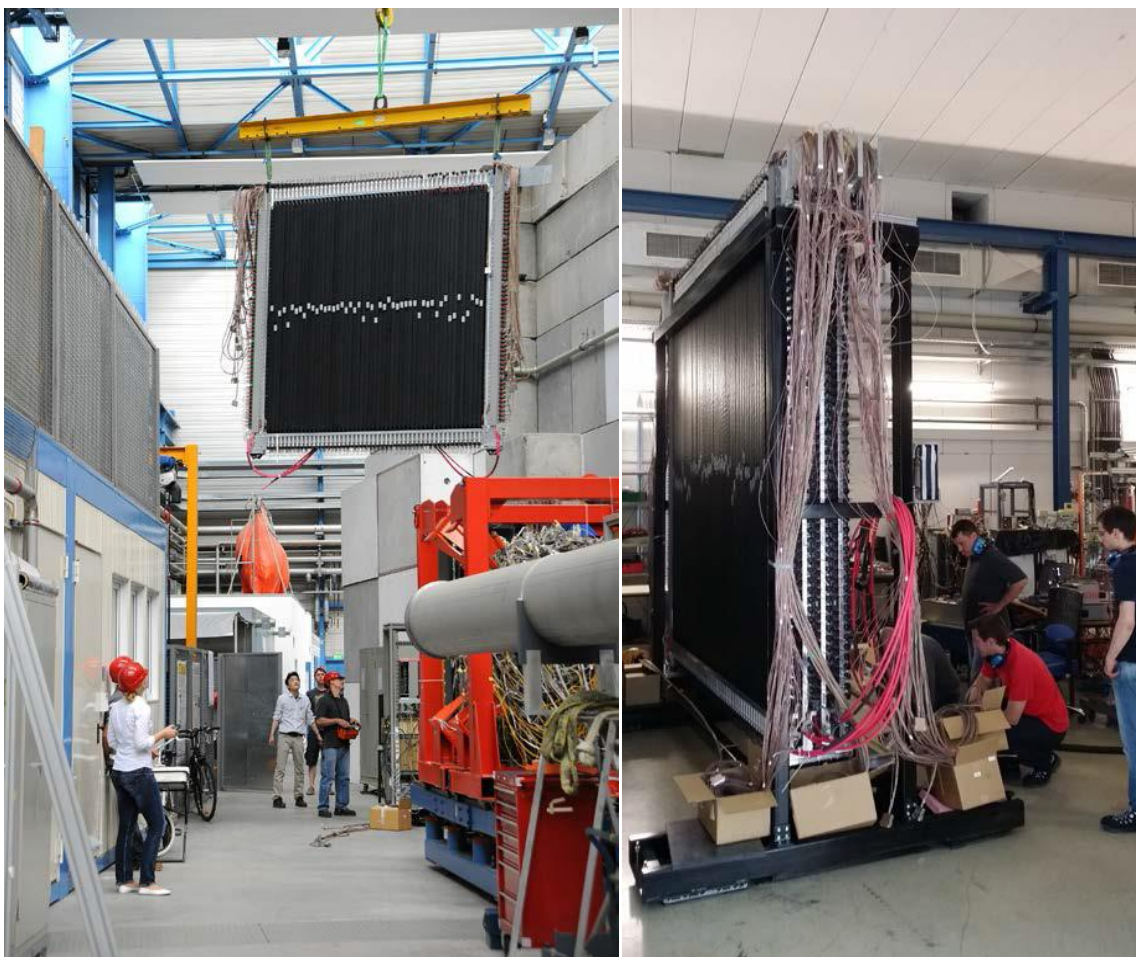
Время-пролетный нейтронный детектор NeuLAND

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

Детектор состоит из пластин сцинтилляционного пластика с поперечными размерами – $5 \times 5 \times 250$ см³, всего 3000 брусков и 6000 ФЭУ . Детектор имеет размер $250 \times 250 \times 300$ см³.

Эффективность регистрации нейтронов ~ 95%, $\sigma_{x,y,z} \leq 1.5$ см, $\sigma_{x,y,z} \leq 150$ ps.

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



Сборка первых 5 двойных плоскостей детектора NeuLAND в GSI
К настоящему времени изготовлено >80% первой половины детектора

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)

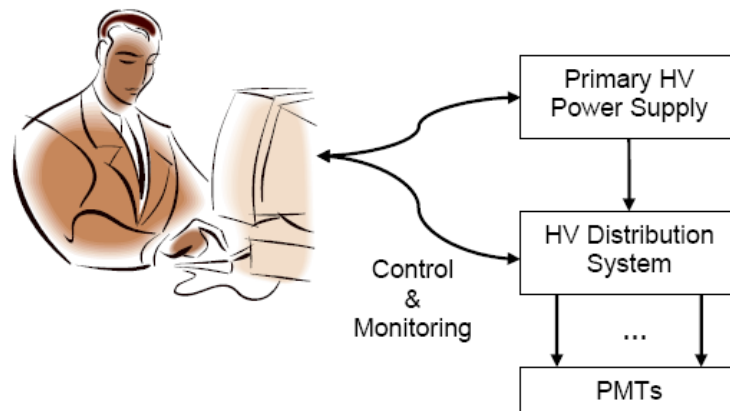
Регулировка напряжения: 0 – 1.5 kV

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

Проблемы – оплата только в сентябре 2016.

2017 г. – следующая партия модулей на 2000 каналов.

2018(19) г. – последняя партия модулей на 3000 каналов.



Трековый детектор для R3B – 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 – **ПИЯФ**; readout – **GSI**.

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

TDR одобрен в августе 2015 г. 480 – 13 = 467 (~650) кЕвро

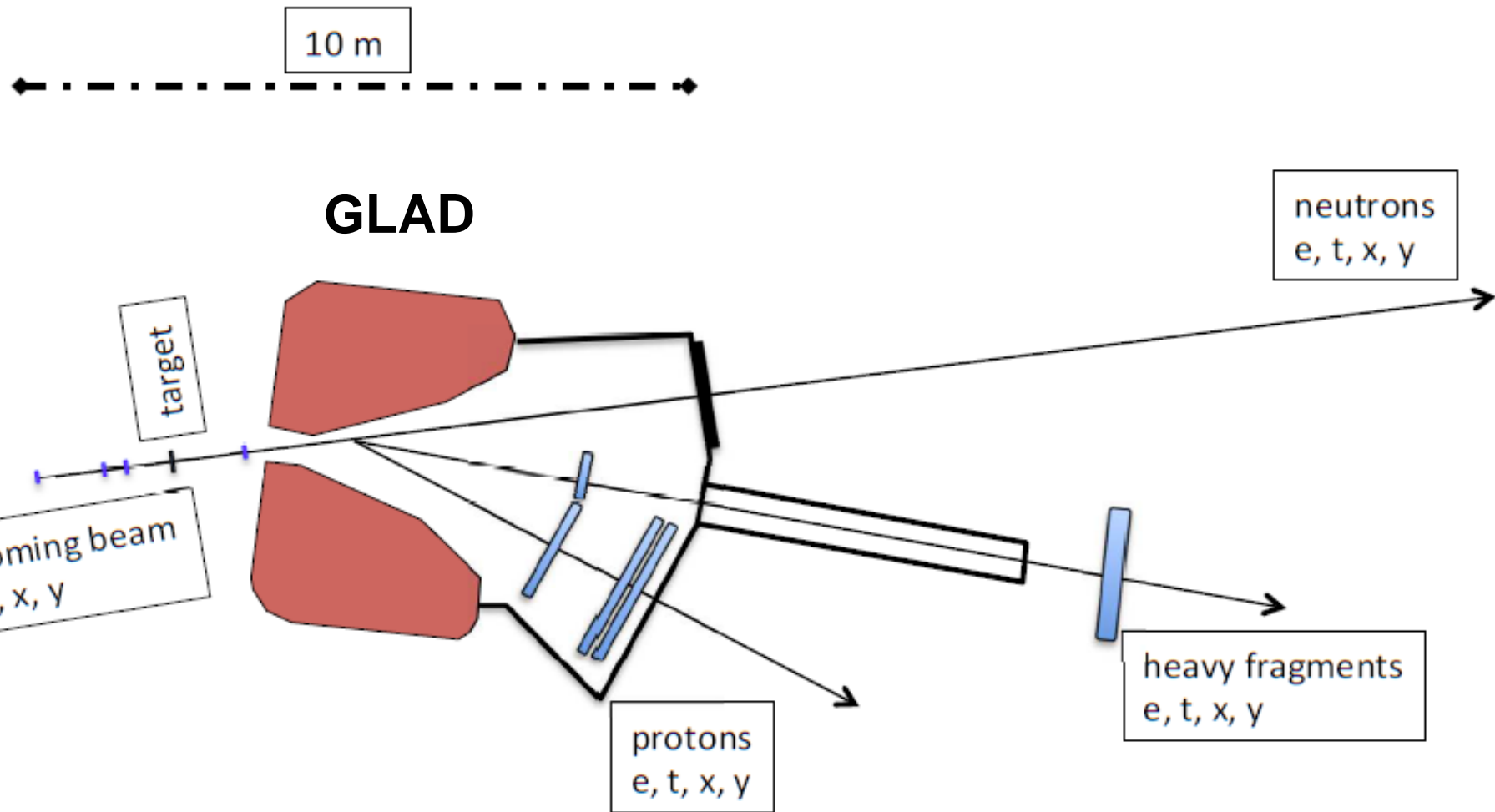
В 2016 изготовлен прототип (1м) и испытан на пучке углерода в ГСИ

В 2017 г. изготовлен 2-ой прототип (2.5м)

**К настоящему моменту подготовлен контракт (соглашение) на
изготовление системы PAS.**

2018 г. – заключение контракта

R³B Setup



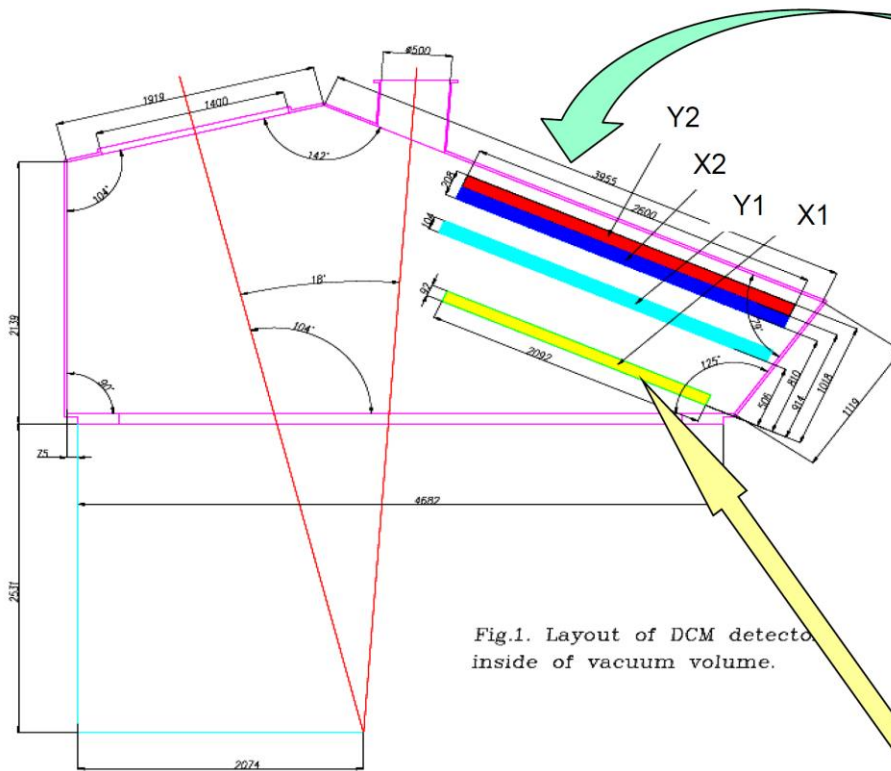
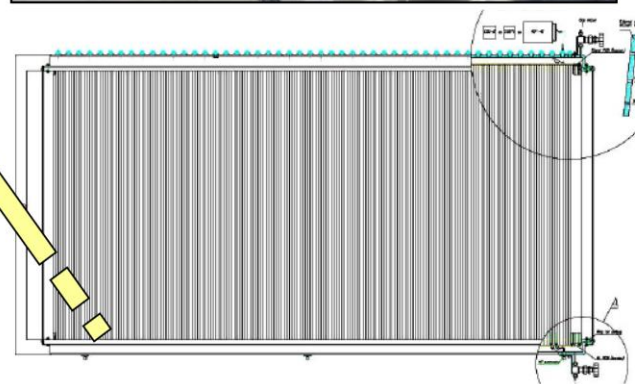
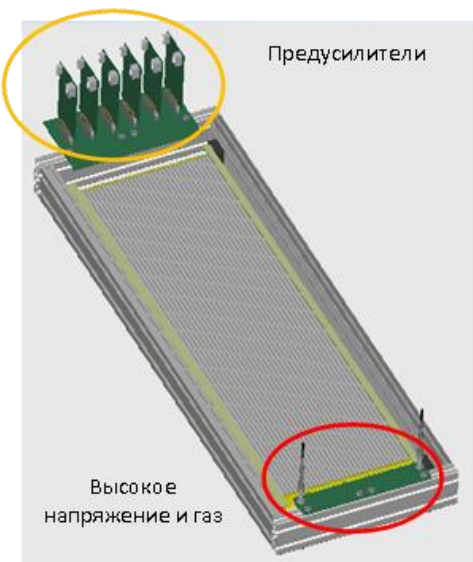


Fig.1. Layout of DCM detectors inside of vacuum volume.



Общий вид STW (X1 - coordinate)

Proton Arm Spectrometer - структура



2016 г.

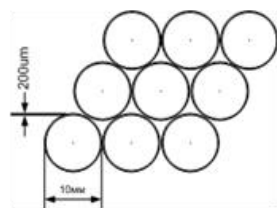


Рис. 2. Чертеж прототипа и структура размещения дрейфовых трубок.

Рис. 2а . Общий вид прототипа.

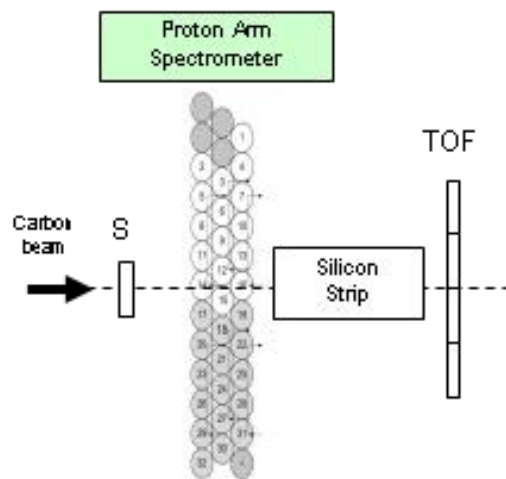


Рис. 3 Пучковые испытания PAS-прототипа в GSI

2017 г.

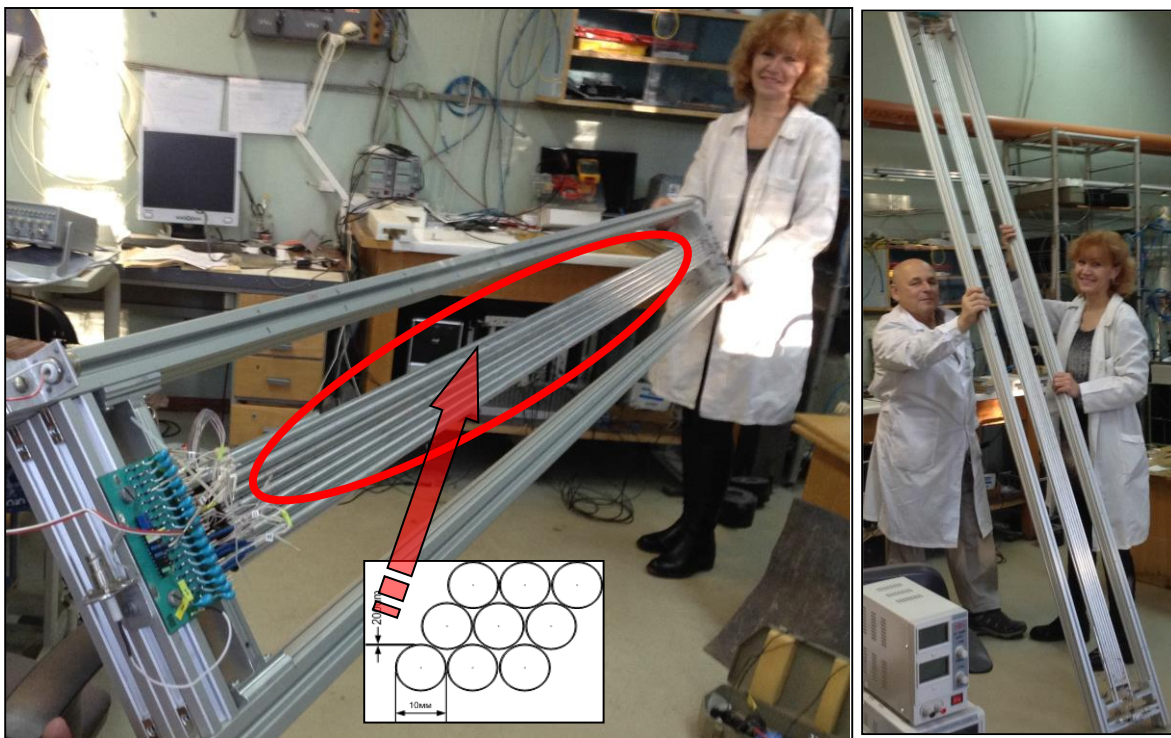


Рис. 4. Прототип Y-координаты Протонного спектрометра (PAS). Прототип выполнен на базе работающих в вакууме дрейфовых трубок с тонкими алюминиевыми стенками (200 мкм). Длина рабочей части – 250 см, число каналов – 16.

β ^{55}Fe

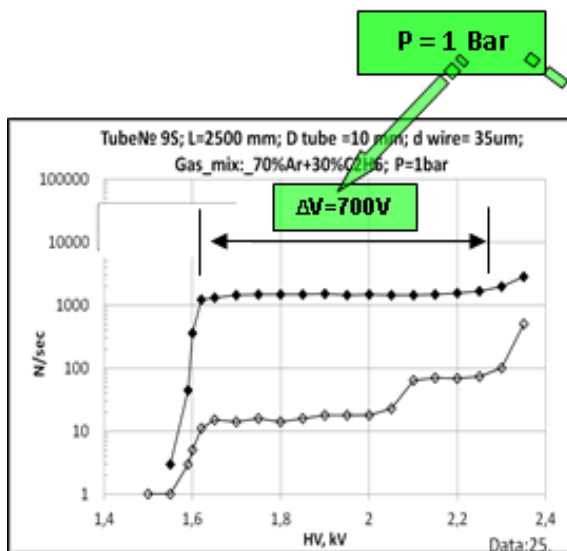


Рис. 4а

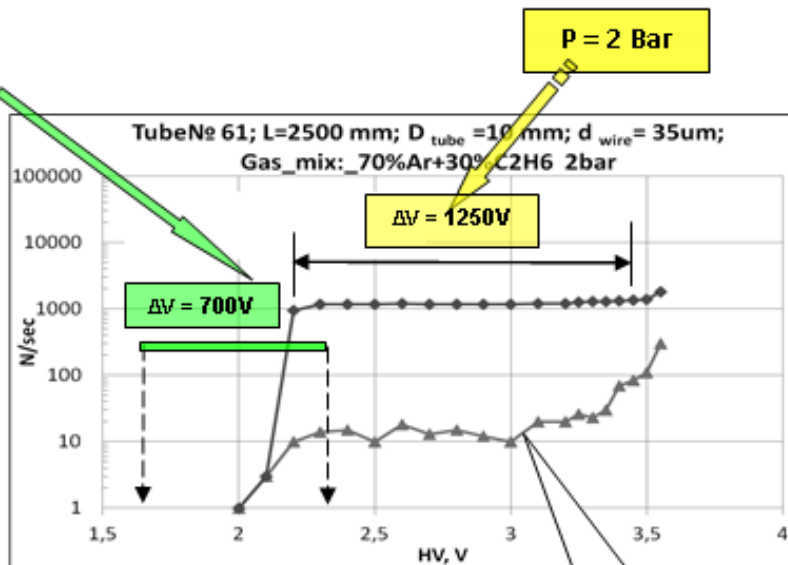


Рис. 4б

β ⁵⁵Fe

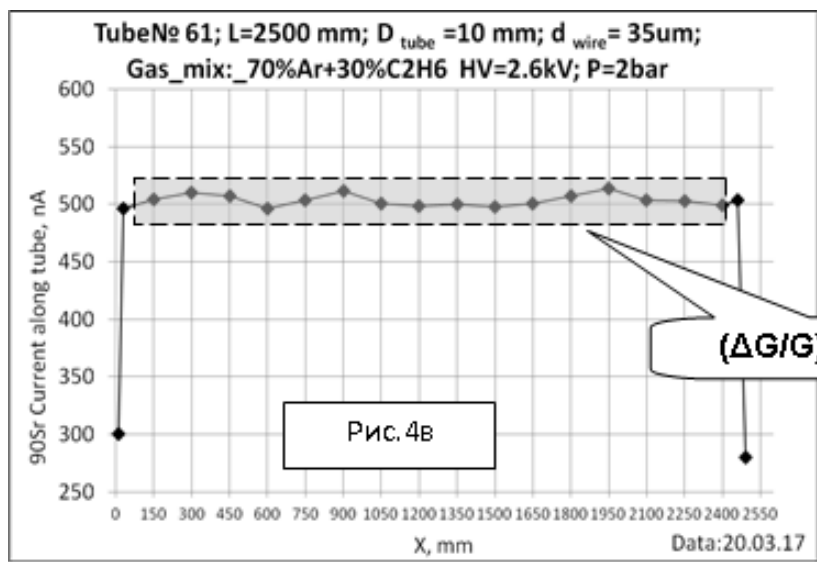


Рис. 4в

Однородность величины КГУ вдоль трубки

ACTAF (ACTAR)

Gas – target and working gas of the detector.

Low momentum transfers,
Short-lived isotopes.

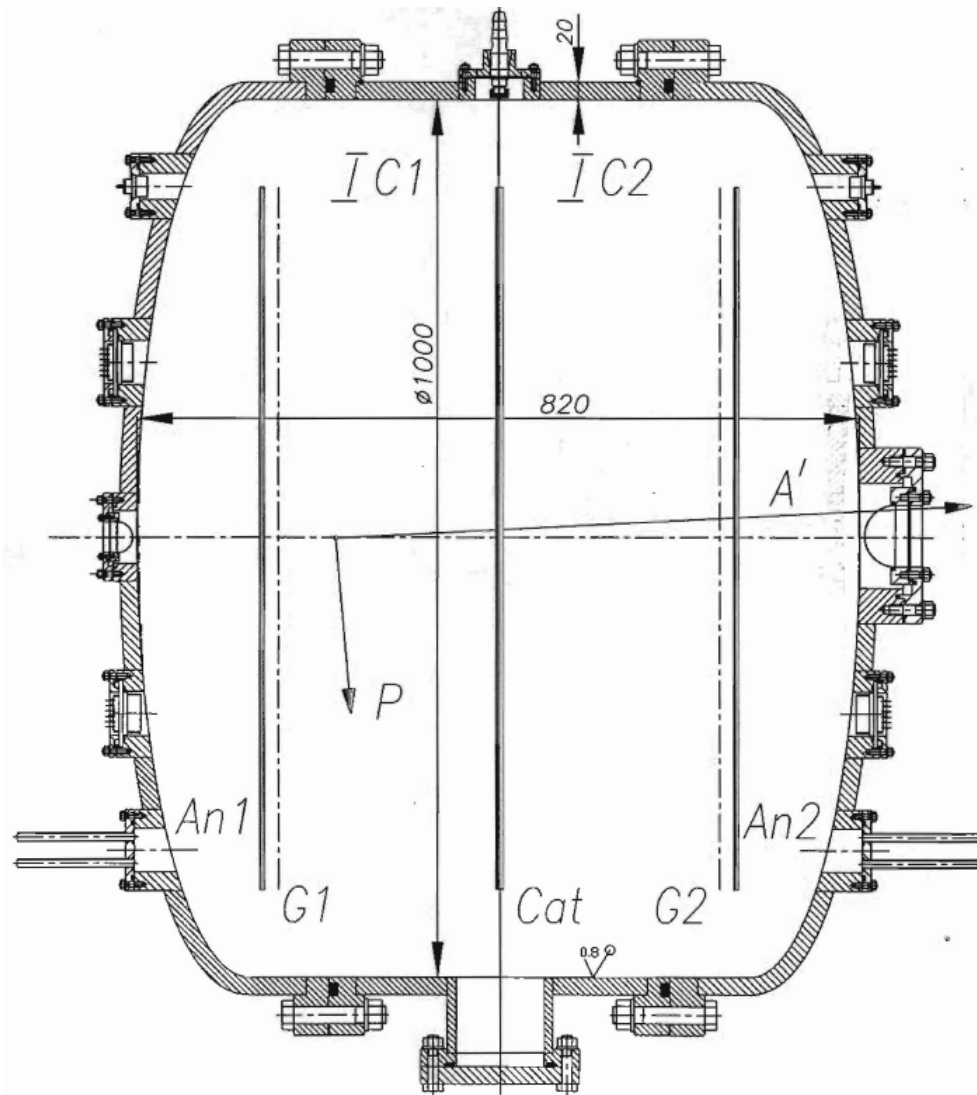
- **Elastic (p,p') scattering** in inverse kinematics (for nuclei with $T_{1/2} < 1$ s) –
ground-state matter distributions
- **($^3\text{He},t$) charge exchange reactions** –
Gamow-Teller resonances ?
- **(α,α') inelastic scattering** –
ISGM resonances, nuclear matter compressibility

955 кЕвро

TDR готов в 2015 г., одобрен в конце 2017 г. Деньги (174.7кЕвро) на ACTAF2

2018 г. – подготовка контракта (~250 кЕвро)

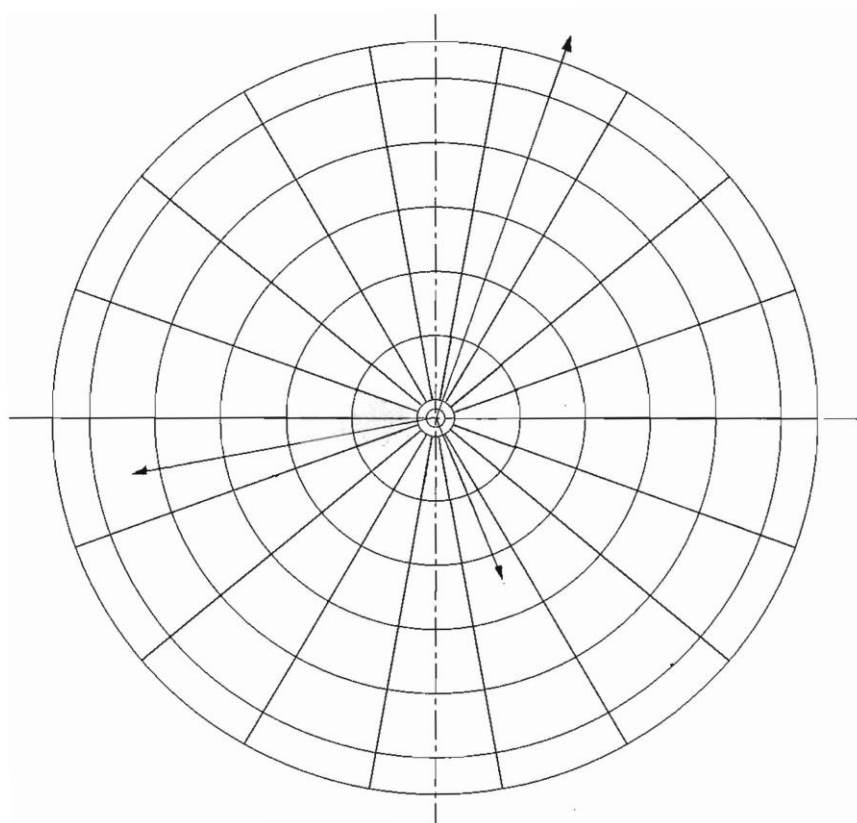
PNPI Gatchina: Е.М. Маев, Г.Д. Алхазов, Д.В. Балин, Л.Х. Батист, А.В. Добровольский, А.Г. Инглесси, Г.А. Королев, А.В. Ханзадеев, Г.Е. Петров, В.В. Саранцев, Л.О. Сергеев, В.И. Яцура.



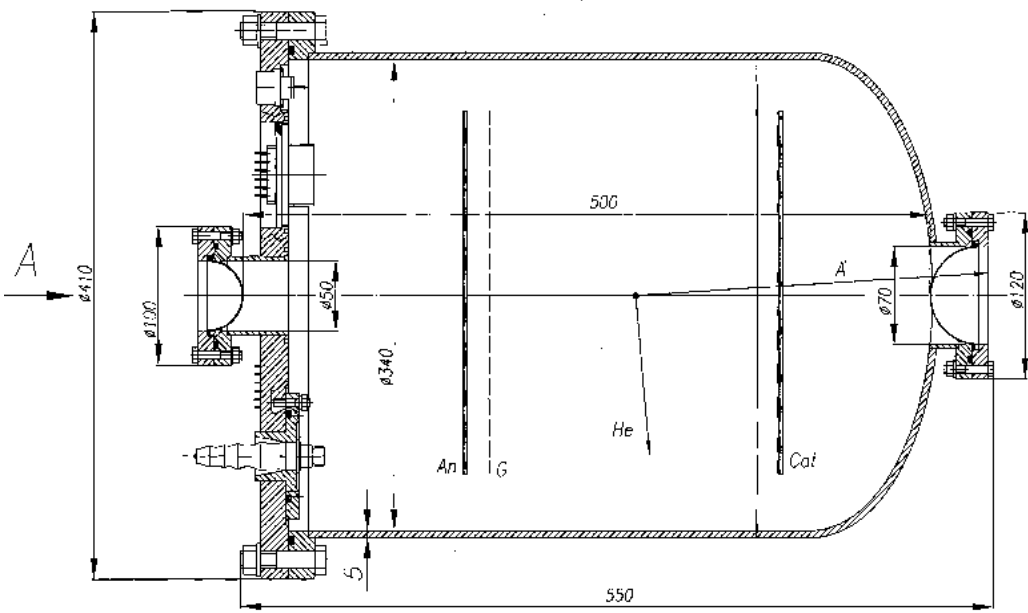
Камера
АСТАФ1

Прототип –
ИКАР

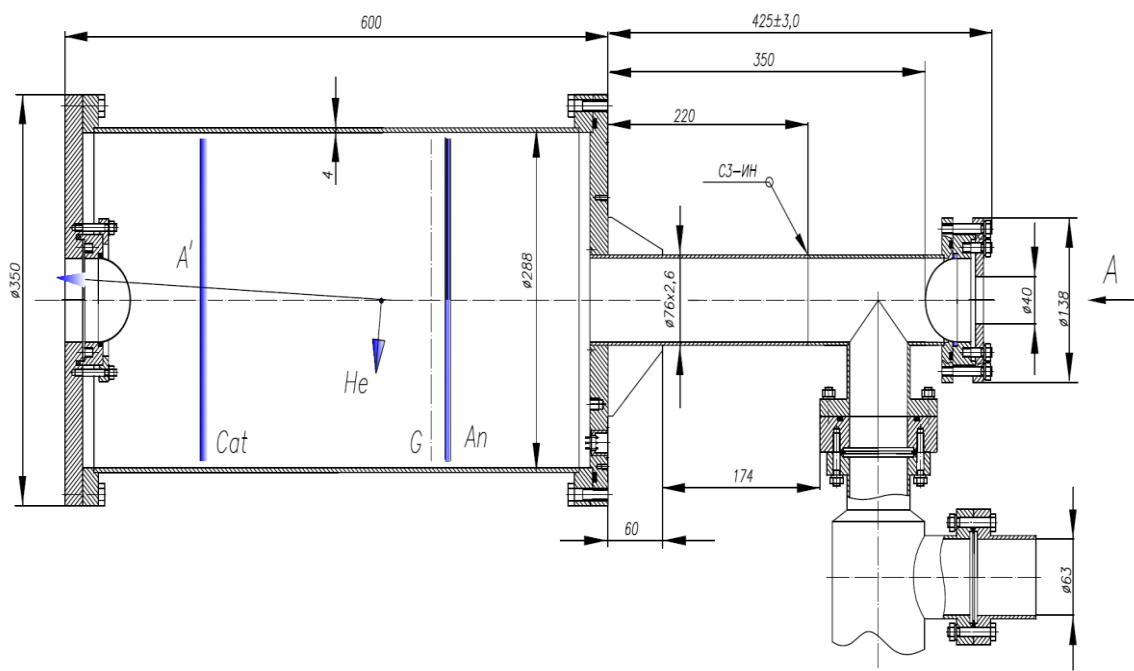
Давление: 1 – 20 bar $E_{p(\max)} \approx 11 \text{ MeV}$



Секционированный анод камеры АСТАФ1



Камера АСТАФ2



Прототип камеры АСТАФ2

Неупругое рассеяние на ядрах α -частиц в инверсной кинематике



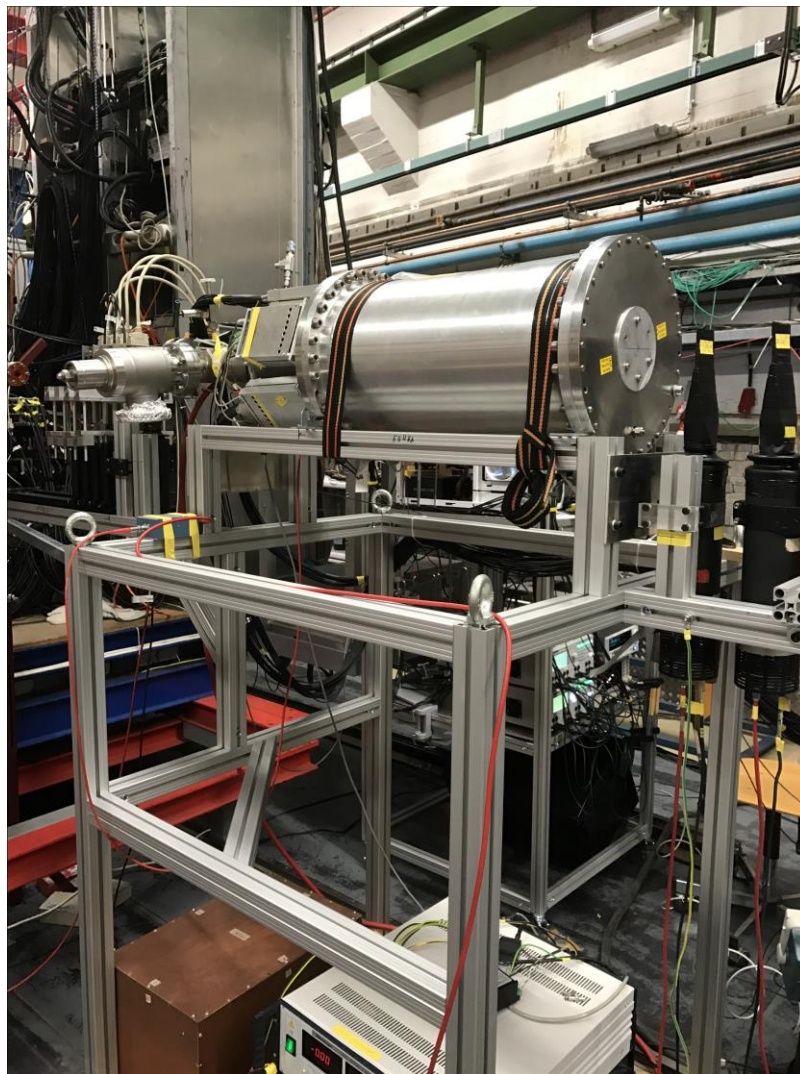
Прототип камеры ACTAF2 $E_{\alpha} = 1-10$ МэВ

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

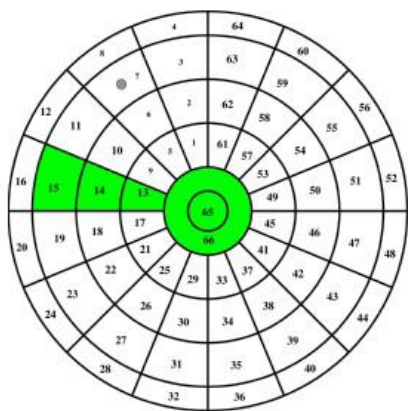
Segmented anode

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

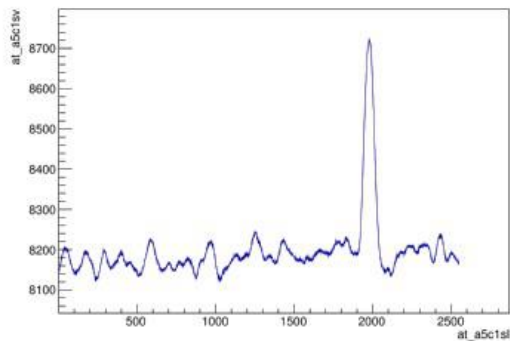
**Тестовый эксперимент в GSI
в 2016 г. на пучке ^{124}Xe**



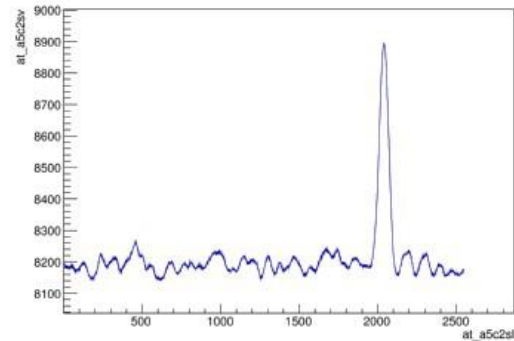
2017 г. – прототип активной мишени АСТАФ2
в экспериментальном зале ускорителя
МАМИ; ${}^4\text{He} + 4\%\text{CO}_2$



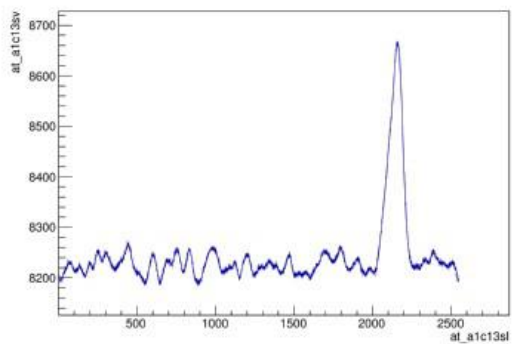
65



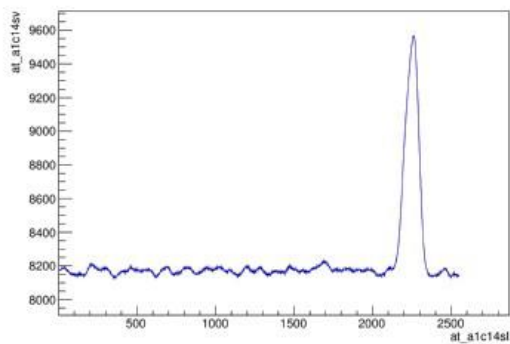
66



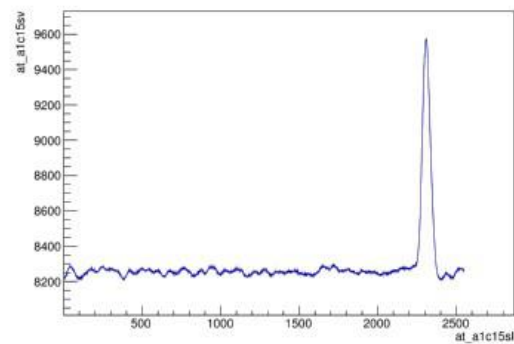
13



14



15



Сигналы от рассеянных α -частиц в камере АСТАФ2

Задачи 2018 г.:

- продолжить работу по созданию HV-системы для NeuLAND (570 кЕвро)
(изготовить электронику на 3 000 каналов)
- заключить контракт по трековому детектору PAS (650 кЕвро)
- подготовить контракт по активной мишени АСТАФ2 (250 кЕвро)

$\Sigma \approx 1.5$ МЕвро