

PNPI in R3B

2018 г.

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

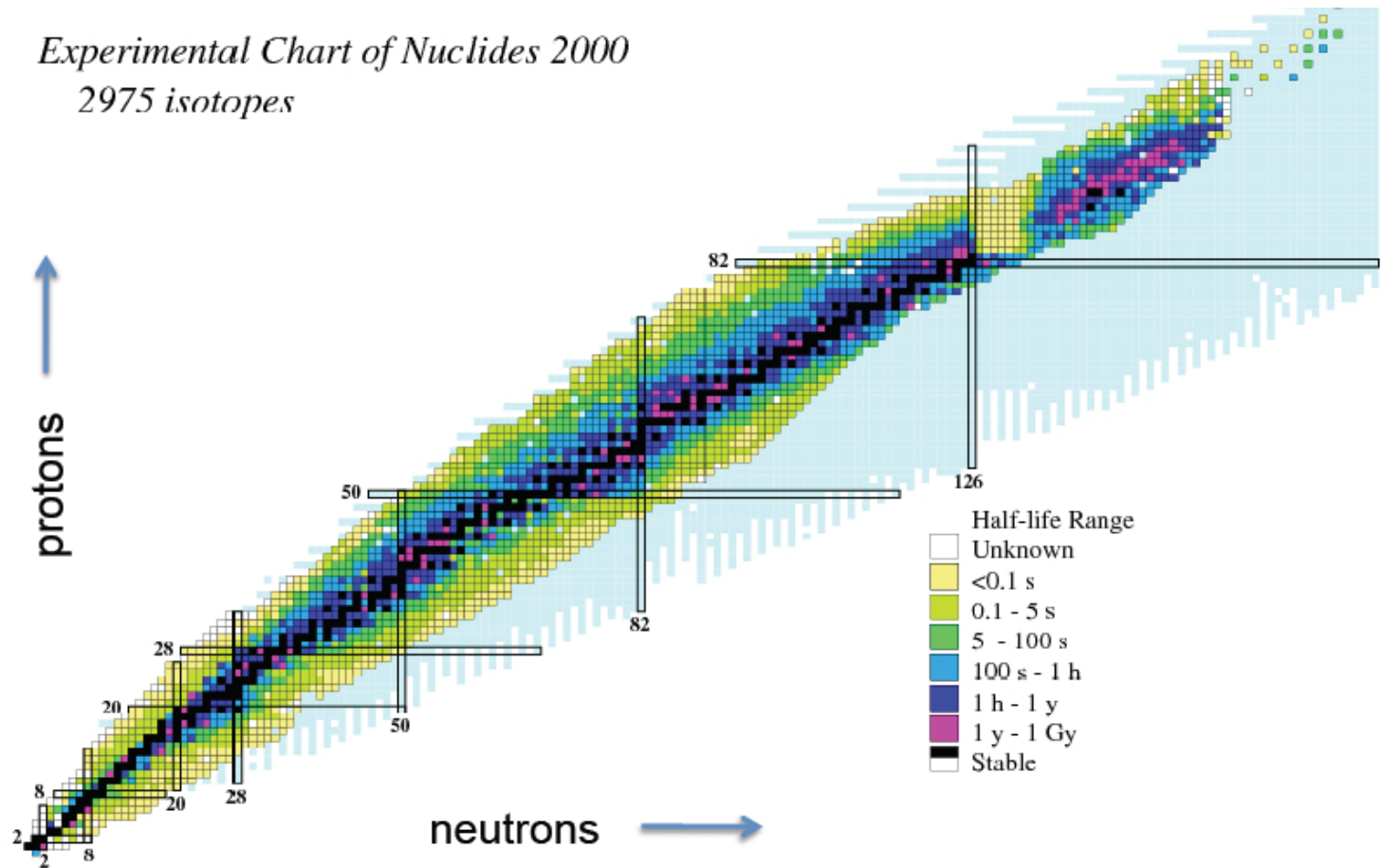
AIC – Antiproton Ion Collider

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: спины, магнитные моменты,
квадрупольные зарядовые моменты,
изотопические сдвиги: $\Delta \langle R \rangle_{\text{зар}}$ –
магические оболочки, изменения формы ядер;
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) –

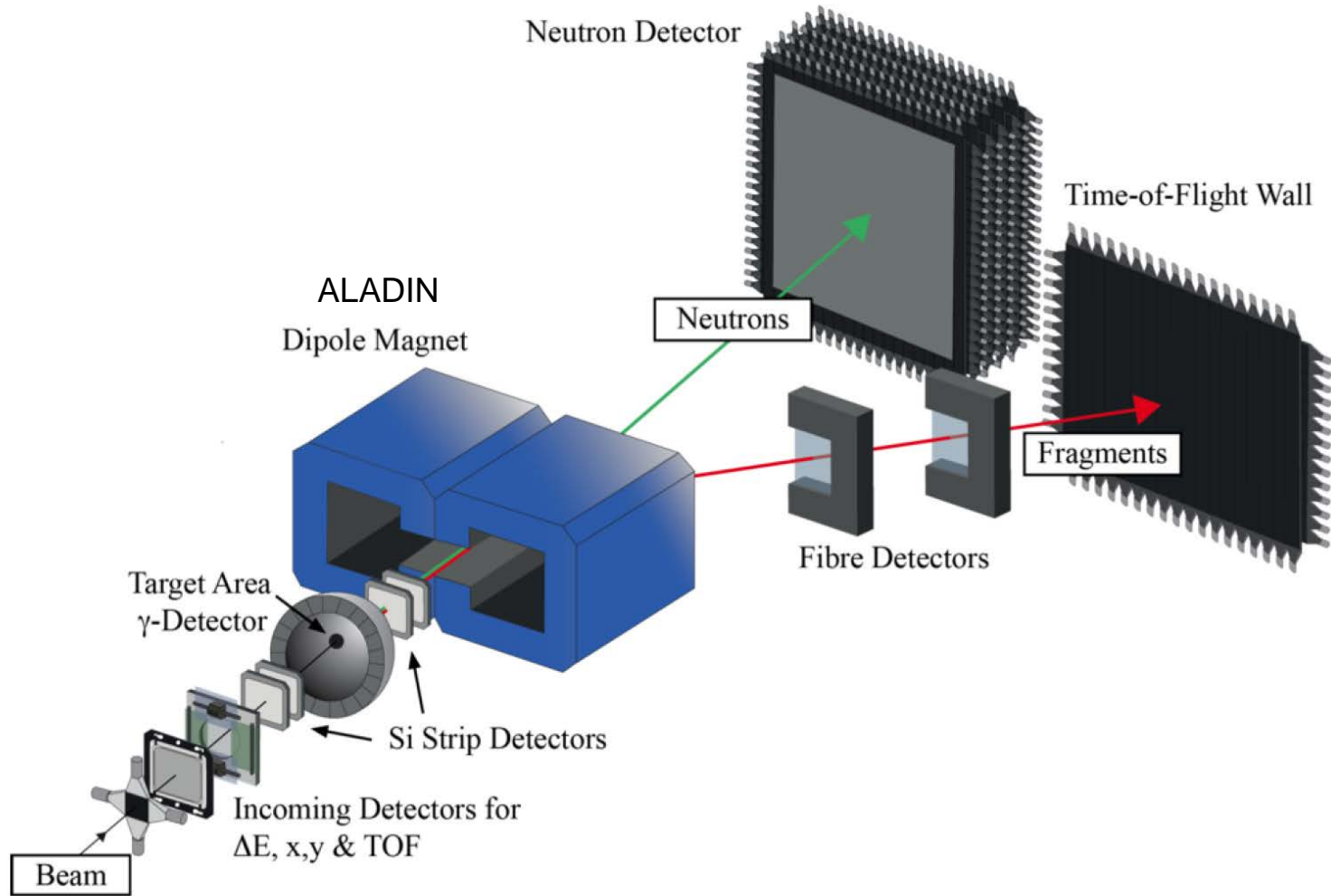
энергии протонных и нейтронных дырочных состояний,

импульсные распределения нуклонов на выделенных оболочках

Исследование несвязанных резонансных ядерных состояний

Сечения делений экзотических ядер

LAND



R3B

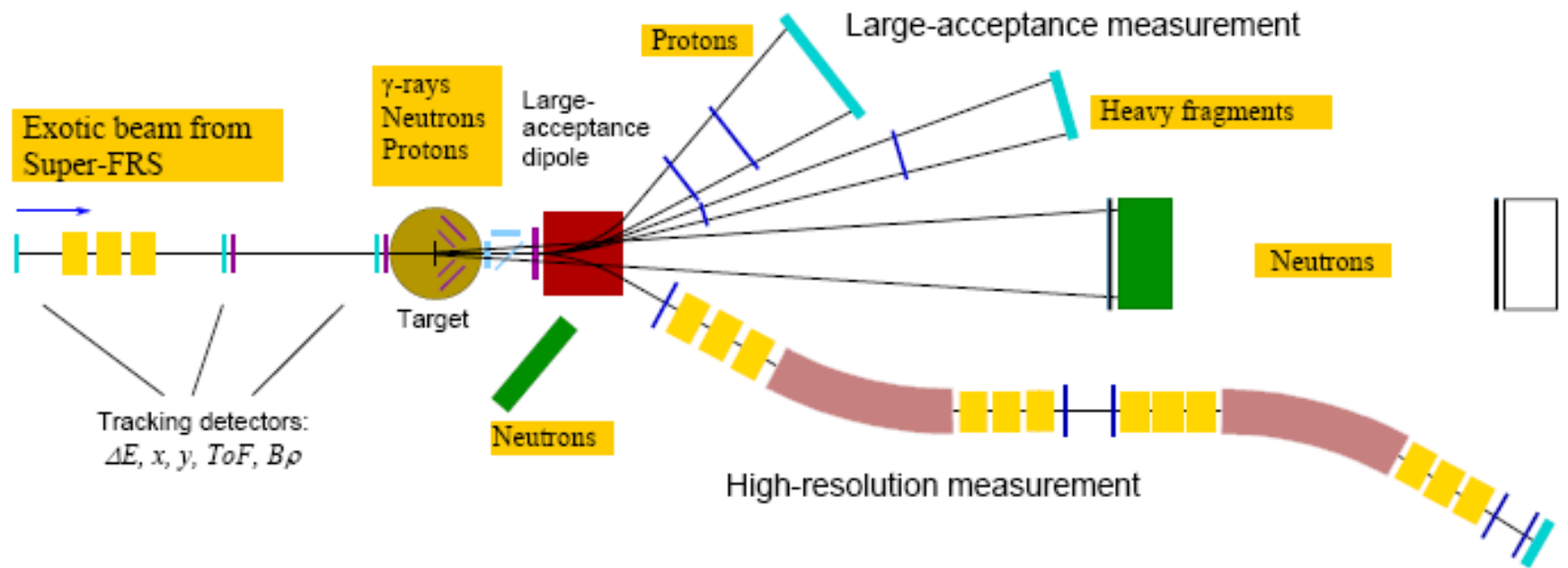


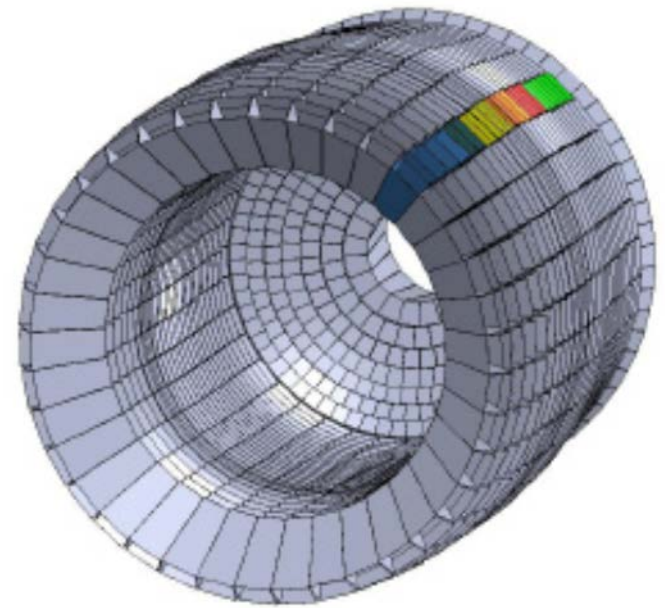
Figure 1: Schematic drawing of the experimental setup comprising γ -ray and target recoil detection, a large-acceptance dipole magnet, a high-resolution magnetic spectrometer, neutron and light-charged particle detectors, and a variety of heavy-ion detectors.

PNPI participation:

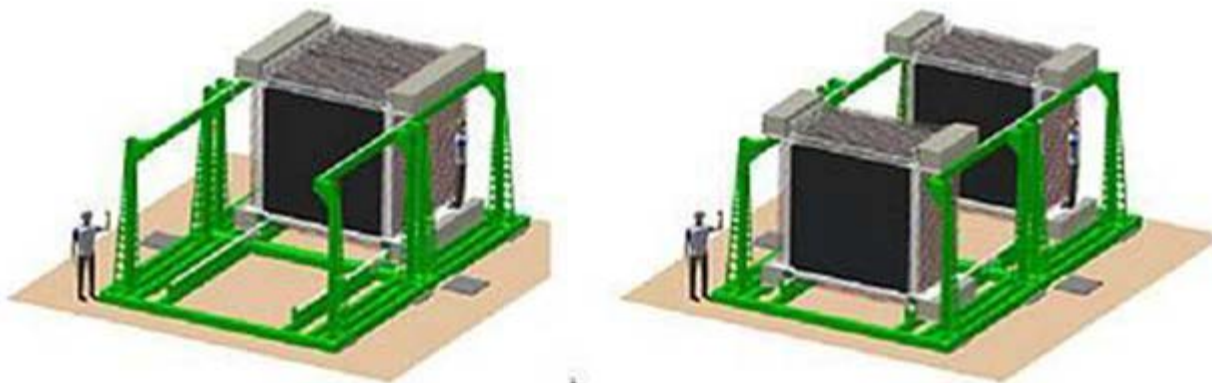
**Neutron detector NeuLAND (HV system),
proton tracking detector (PAS), active target(s) (ACTAF).**



Магнит GLAD



Гамма детектор CALIFA



Время-пролетный нейтронный детектор NeuLAND



Magnet DLAD in cave C

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

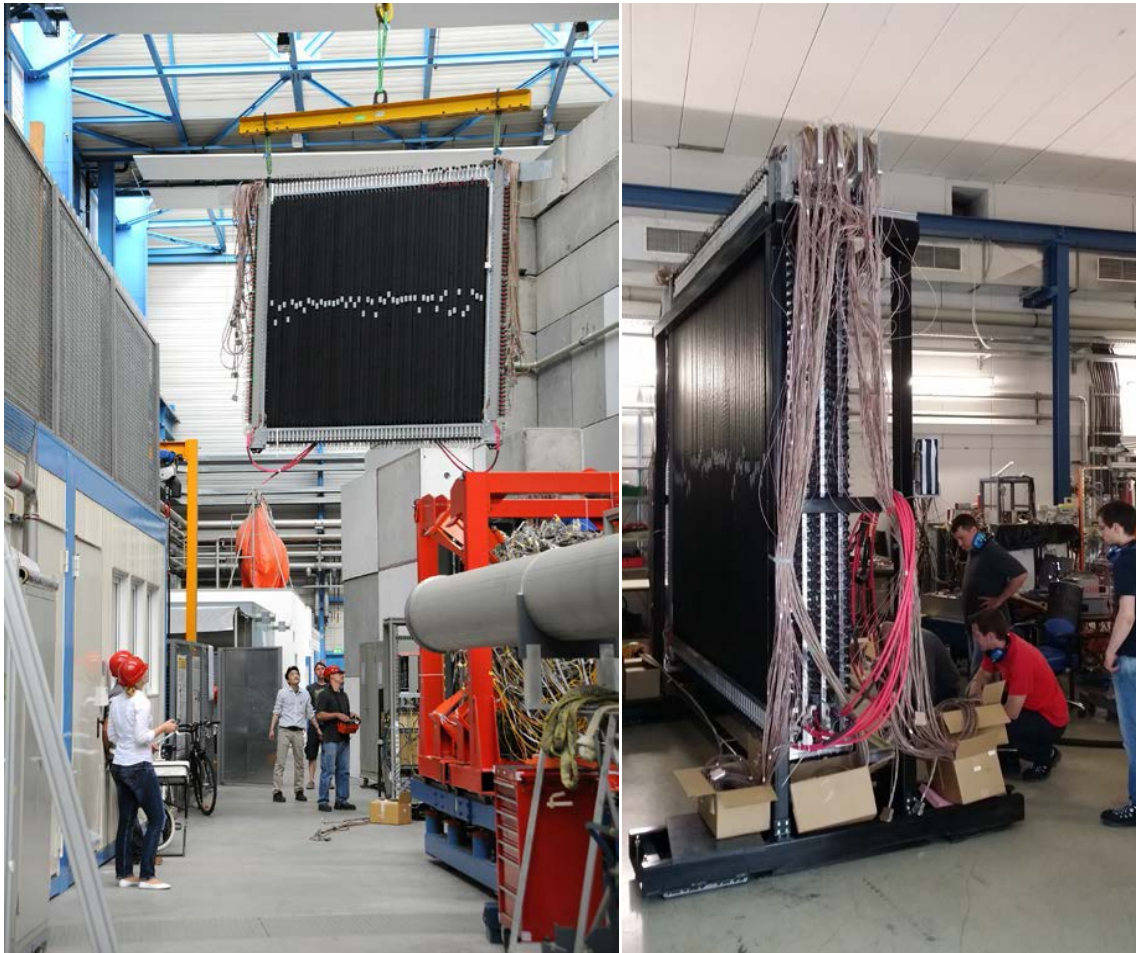
Детектор состоит из пластин сцинтилляционного пластика

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

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



Сборка первых 5 двойных плоскостей детектора NeuLAND в GSI
**К настоящему времени изготовлено
12 плоскостей первой половины детектора
(одна половина детектора состоит из 15 плоскостей)**

В июле 2014 г. заключено соглашение о сотрудничестве ПИЯФ НИЦ КИ – FAIR GmbH с целью создания системы высоковольтного питания ФЭУ – **HVDS – High Voltage Distribution System** и разработки соответствующего программного обеспечения – **415 (571.37) к Евро.**

PNPI – HV system:

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

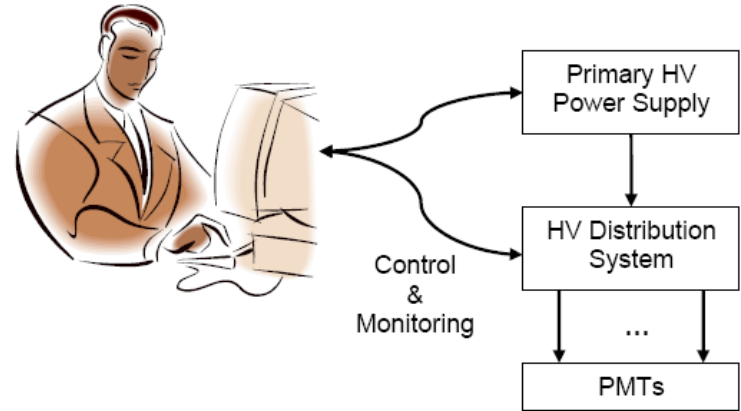
Регулировка напряжения: 0 – 1.5 kV

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

2017 г. – следующая партия модулей на 2000 каналов.

2018 – 2019 гг. – последняя партия модулей на 3000 каналов.



Трековый детектор для R3B – детектор быстрых протонов

PAS – **P**roton **A**rm **S**pectrometer – детектор на основе straw-трубок

(детектор расположен в вакуумной камере магнита 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 $2 \times 1 \text{ м}^2$ до $2.7 \times 1.1 \text{ м}^2$.

Всего ~2000 каналов

Придетекторная электроника – **ПИЯФ**; readout – **GSI**.

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

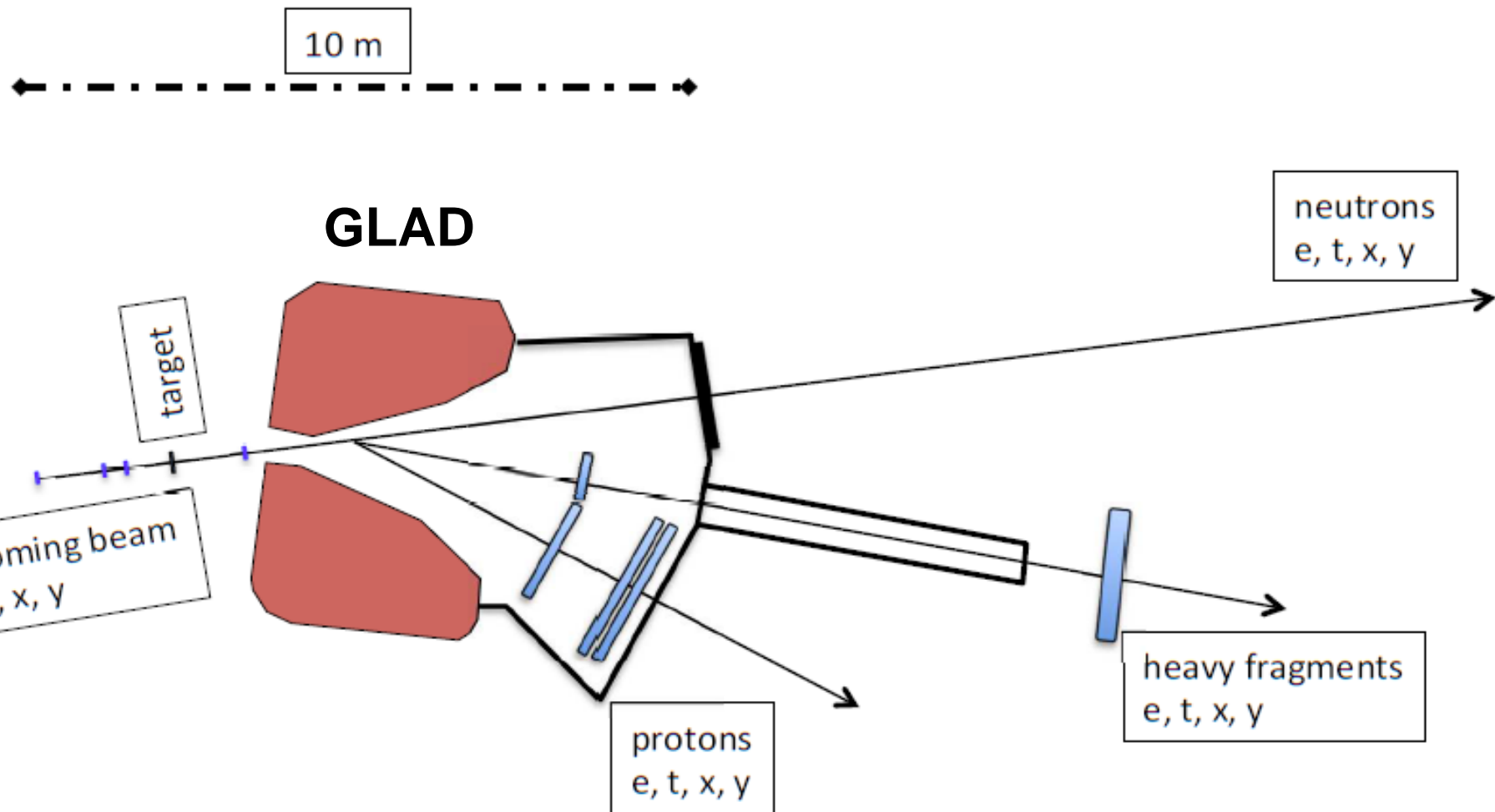
TDR одобрен в августе 2015 г. 480 – 13 = 467 к Евро (в ценах 2005 г.)

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

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

**01.04.2018 г. заключен контракт (соглашение) на
изготовление системы PAS на сумму 720.3 к Евро.**

R³B Setup



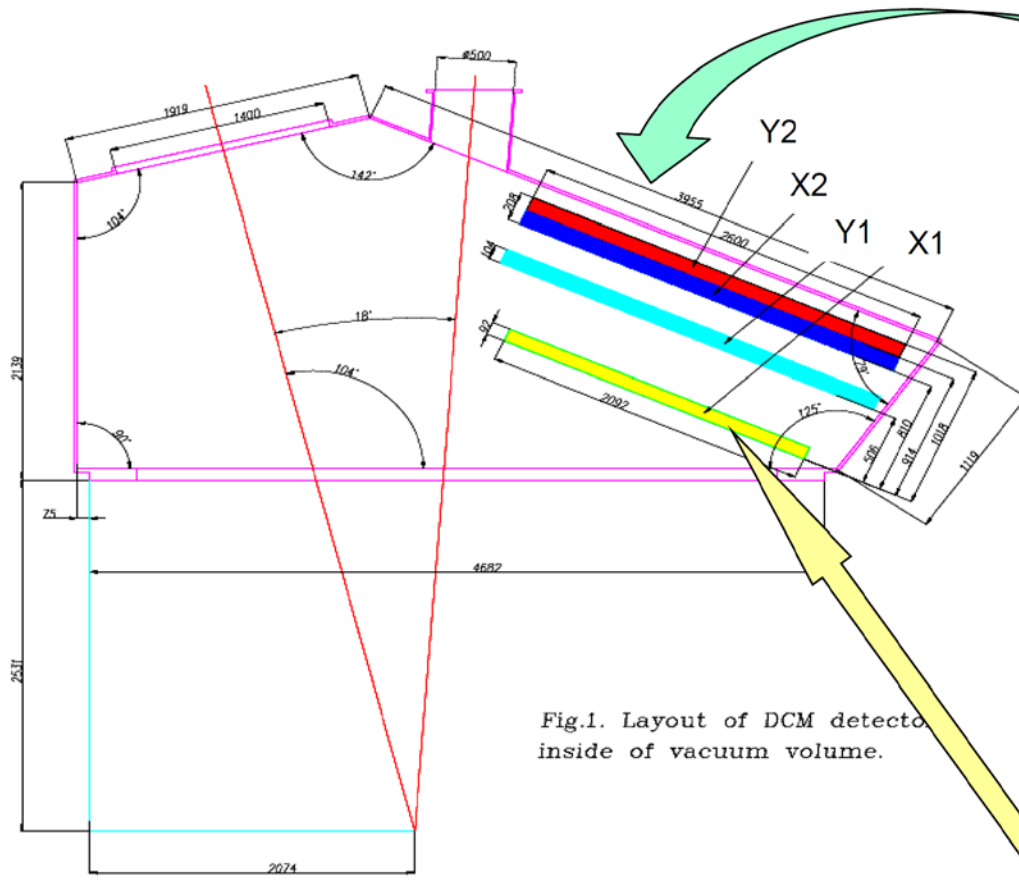
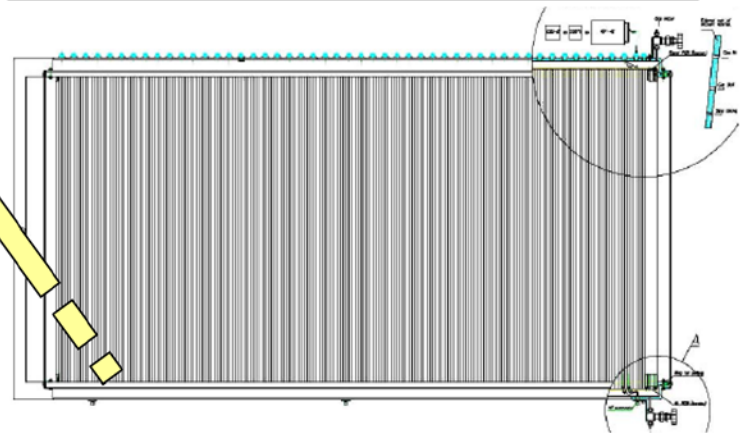


Fig.1. Layout of DCM detectors inside of vacuum volume.



Общий вид STW (X1 - coordinate)

Рис.2. Proton Arm Spectrometer - структура



2016 г.

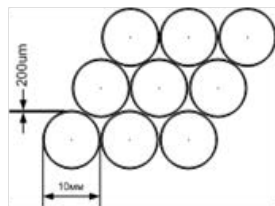


Рис. 2. Чертеж прототипа и структура размещения дрейфовых трубок.

Рис. 2а . Общий вид прототипа.

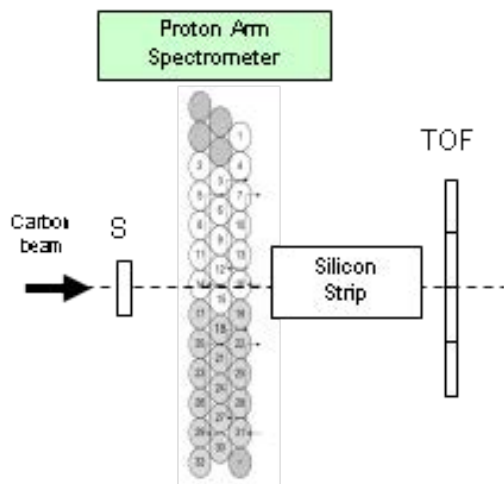


Рис. 3 Пучковые испытания PAS-прототипа в GSI

2017 г.

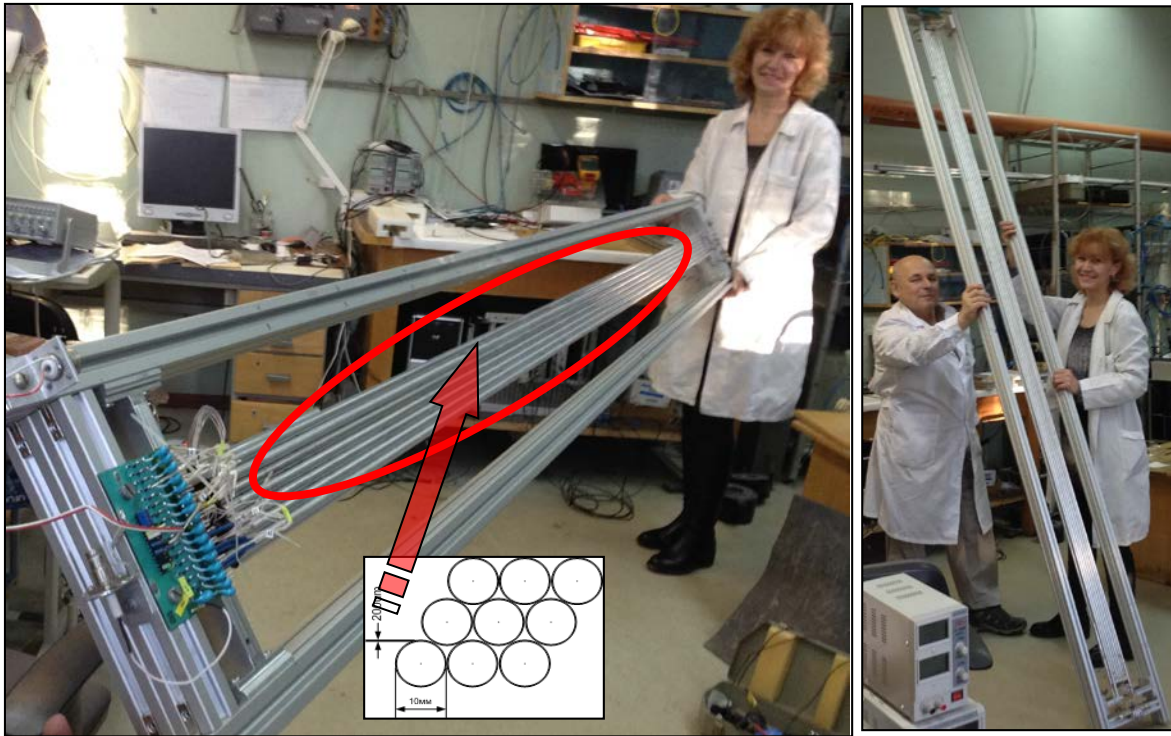


Рис. 4. Прототип Y-координаты Протонного спектрометра (PAS). Прототип выполнен на базе работающих в вакууме дрейфовых трубок с тонкими алюминиевыми стенками (200 мкм). Длина рабочей части – 250 см, число каналов – 16.

β ^{55}Fe

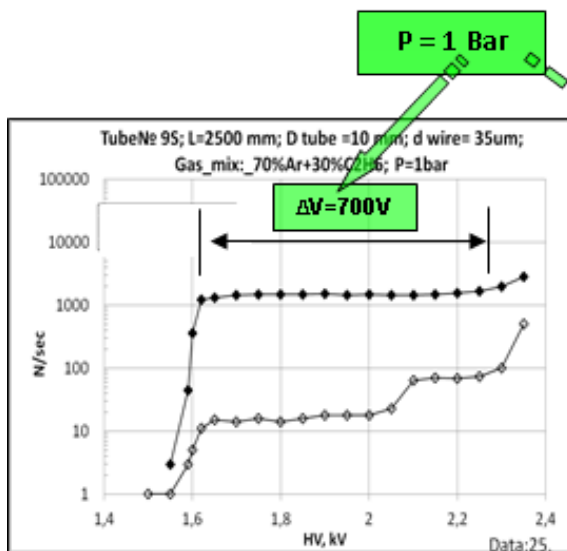


Рис. 4а

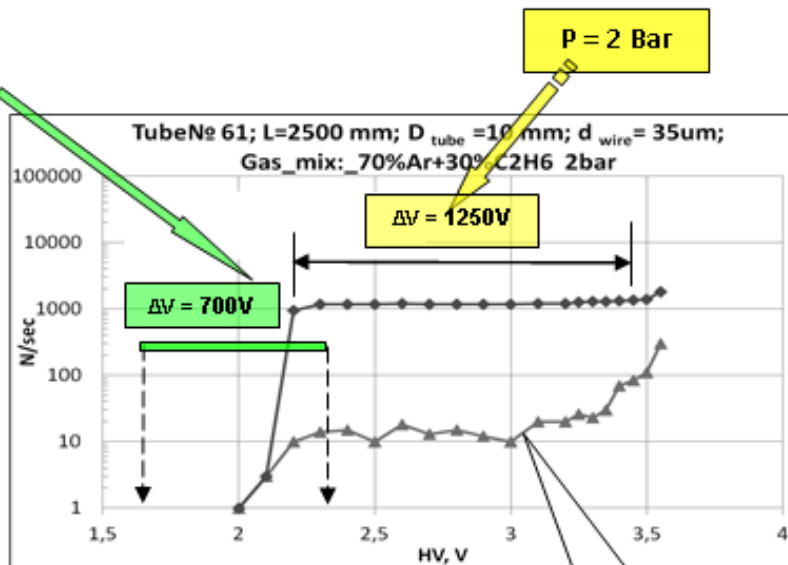


Рис. 4б

Dark count rate

β ^{55}Fe

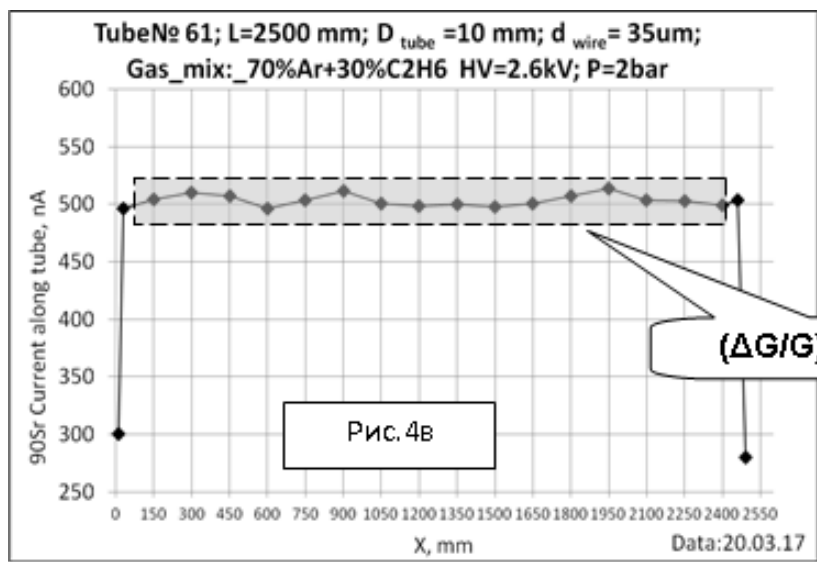
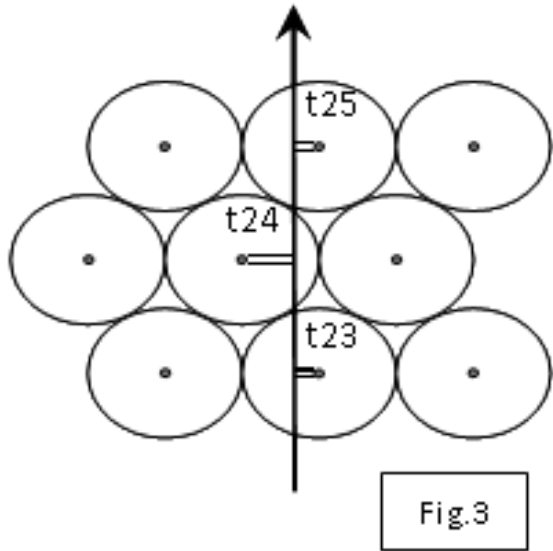
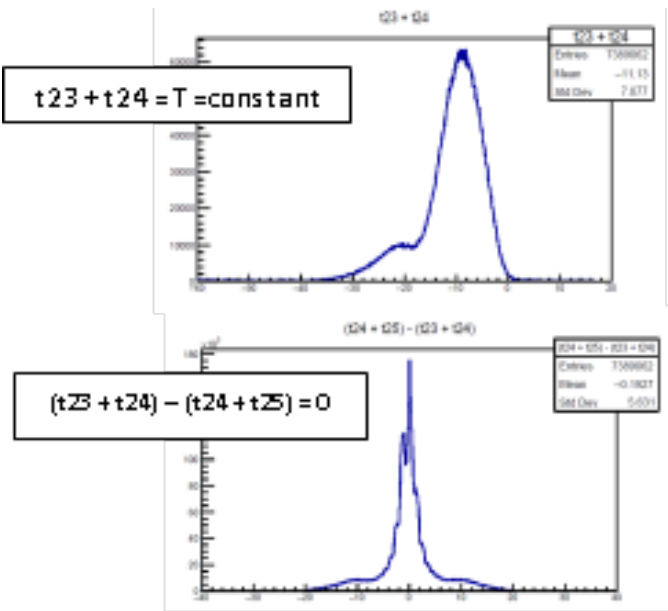


Рис. 4в

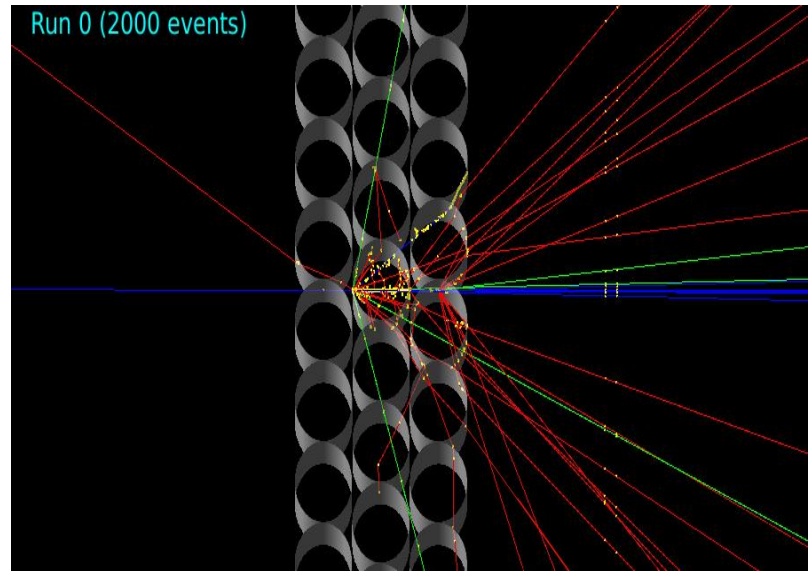
$(\Delta G/G)_{MAX} \leq \pm 4\%$

Однородность величины КГУ вдоль трубки

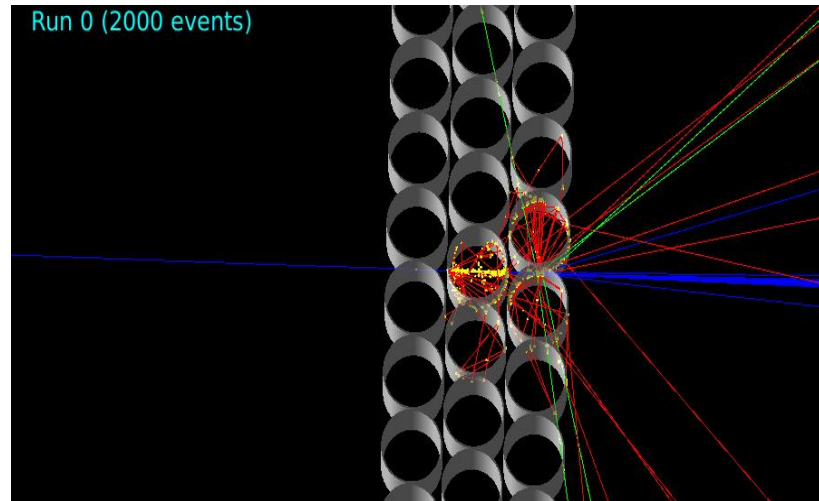


$$\Delta(t_{23} - t_{25}) = 5 \text{ ns} \rightarrow 250 \mu$$

Каптон



Al



* Синий – налетающие протоны; красный – δ электроны; зелёный – γ кванты; желтый – точки взаимодействия

В 2019 г. планируется создать стенд для исследования работы трубок на космических мюонах.

Планируется окончательно выбрать состав газовой смеси и определить $X-T$ зависимость.

ACTAF – ACtive TArget for Fair

Gas – target and working gas of the detector.

Low momentum transfers,
Short-lived isotopes.

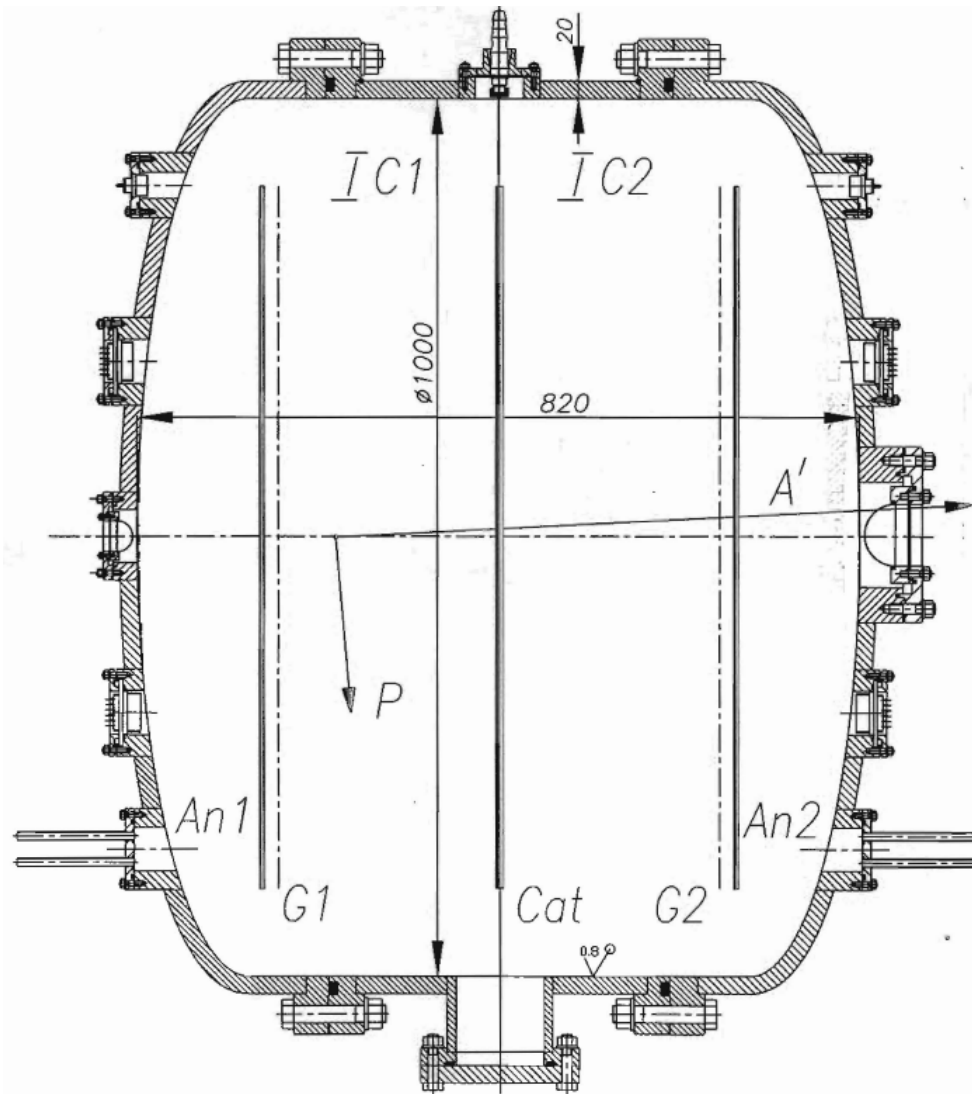
- **Elastic (p,p') scattering** in inverse kinematics (for nuclei with $T_{1/2} < 1$ s) – **(ACTAF1) ground-state matter distributions**
- **(α,α') inelastic scattering** – **(ACTAF2) ISGM resonances, nuclear matter compressibility**

**TDR (по ACTAF1 и ACTAF2) был готов в 2015 г., одобрен в декабре 2017 г.
955 к Евро (в ценах 2005 г.)**

Деньги (174.7 к Евро в ценах 2005 г.) на ACTAF2

Контракт (по ACTAF2) заключен в декабре 2018 г. (272.9 кЕвро)

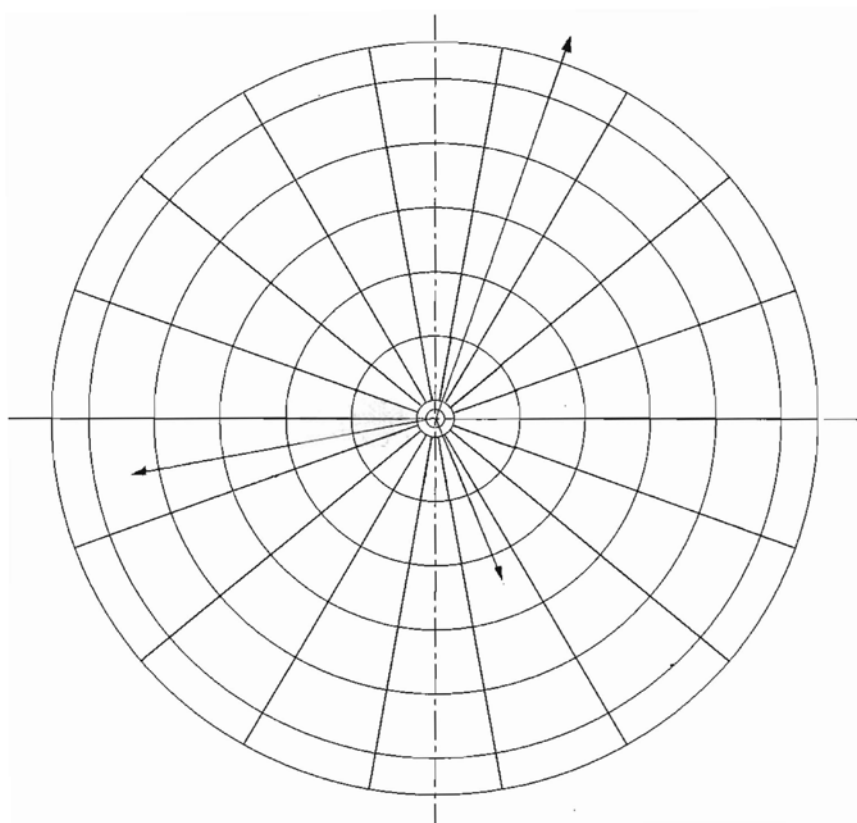
PNPI Gatchina: Е.М. Маев, Г.Д. Алхазов, Д.В. Балин, Л.Х. Батист, А.В. Добровольский, А.Г. Инглесси, Г.А. Королев, А.В. Ханзадеев, Г.Е. Петров, В.В. Саранцев, Л.О. Сергеев, В.И. Яцура.



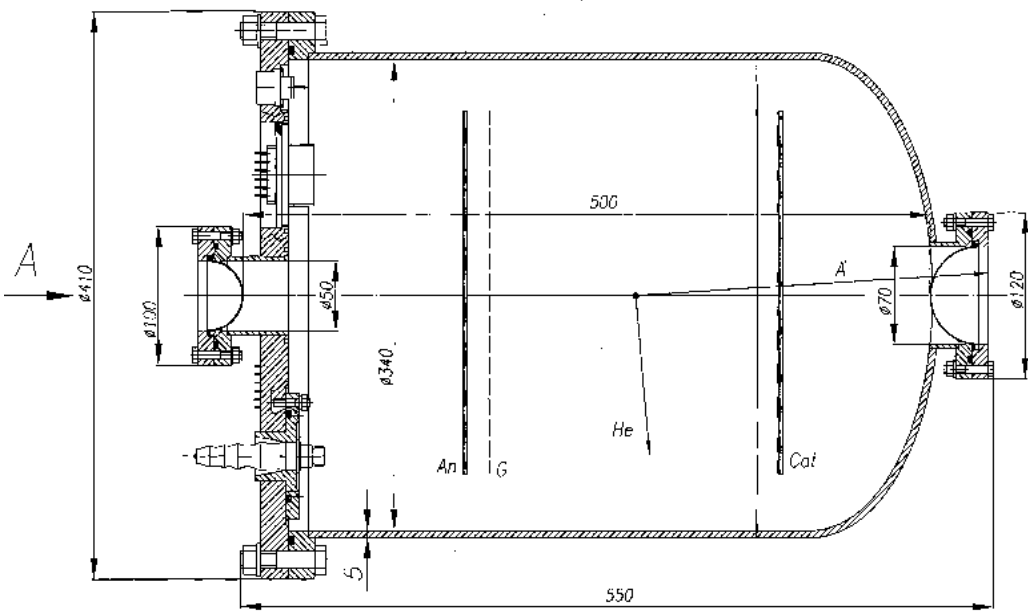
Камера
АСТАФ1

Прототип –
ИКАР

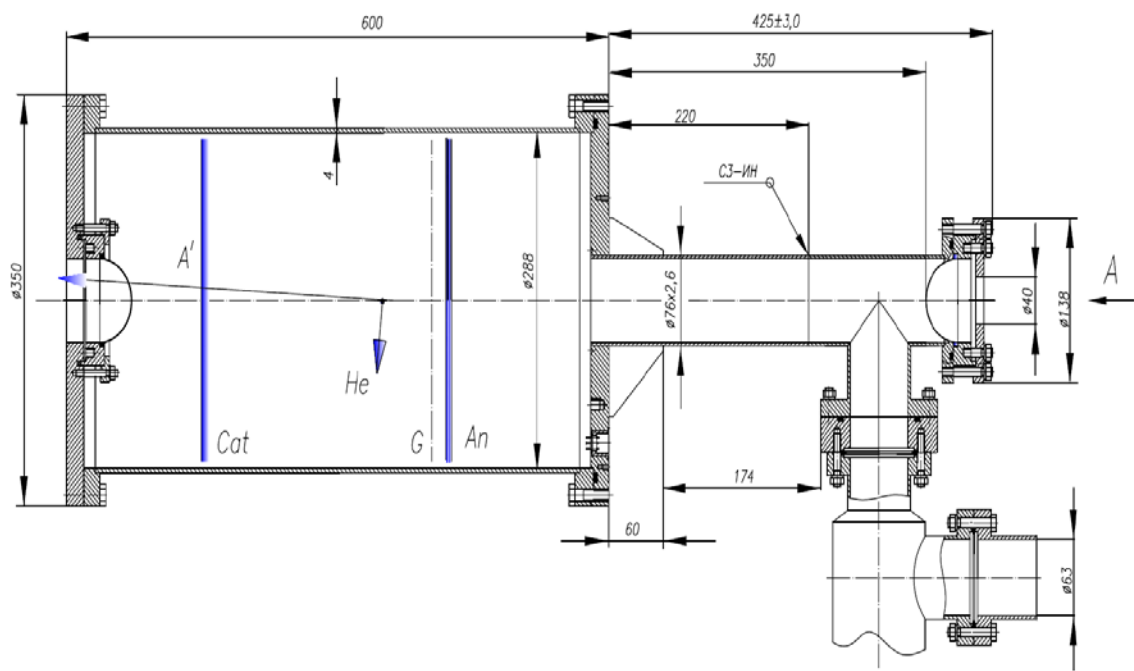
Давление: 1 – 20 bar $E_{p(\max)} \approx 11 \text{ MeV}$



Секционированный анод камеры АСТАФ1



Камера **ACTAF2**



Прототип камеры ACTAF2

Неупругое рассеяние на ядрах α -частиц в инверсной кинематике



Прототип камеры АСТАФ2 $E_{\alpha} = 1-10$ МэВ

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

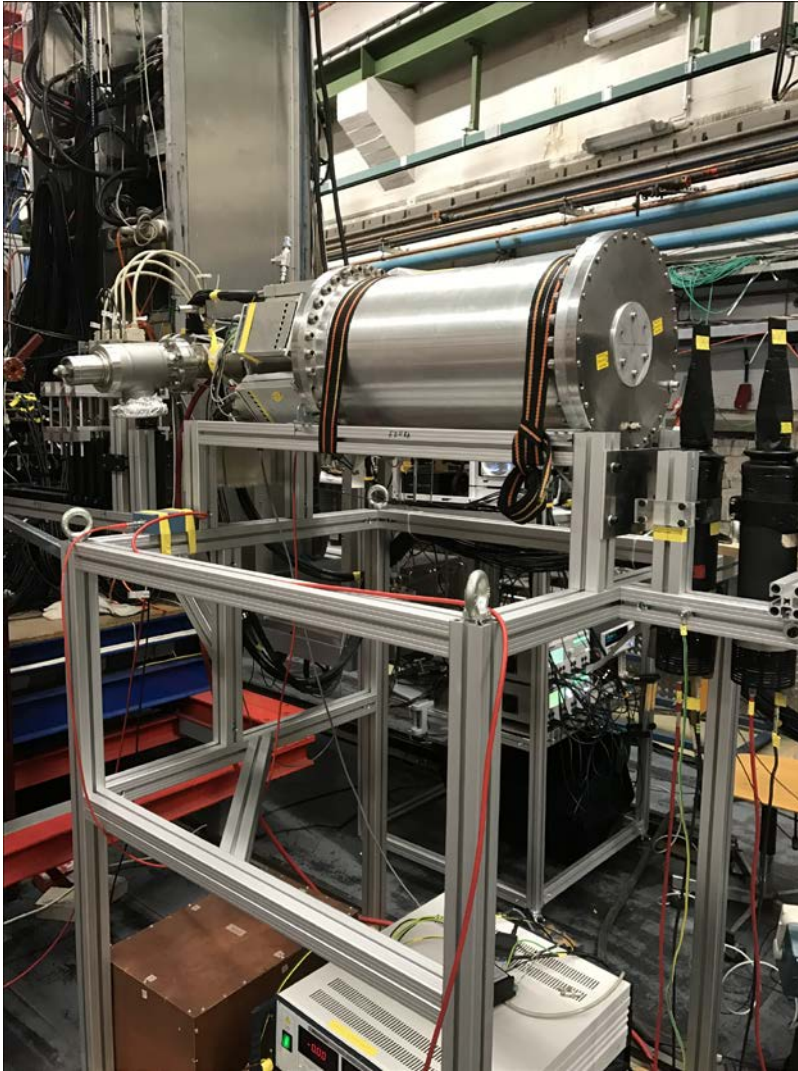
Segmented anode

Камера наполнялась гелием

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

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

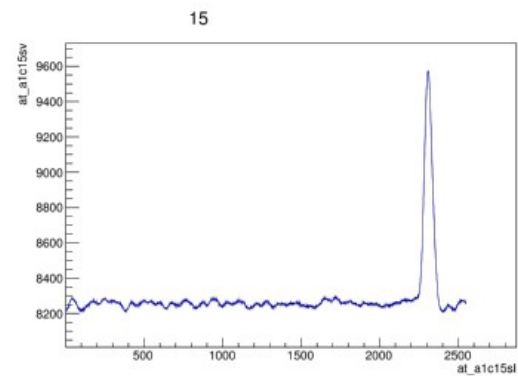
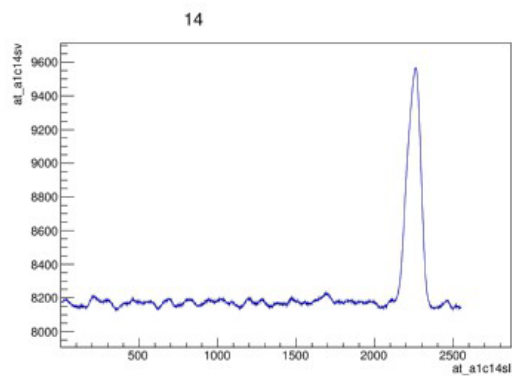
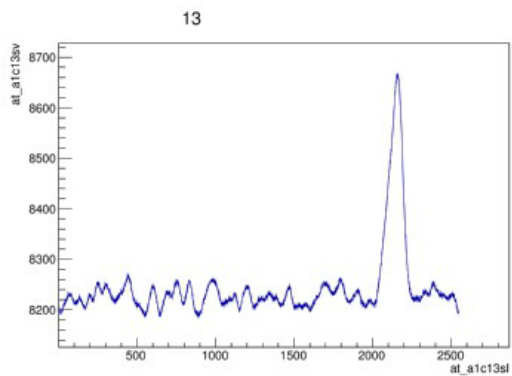
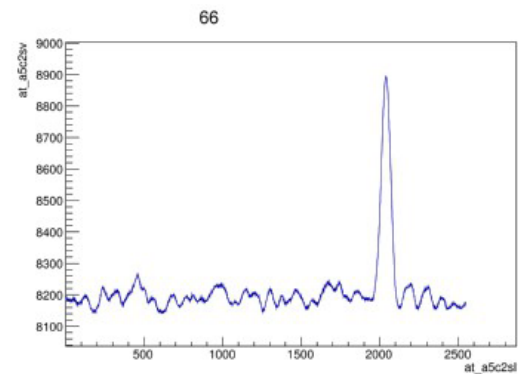
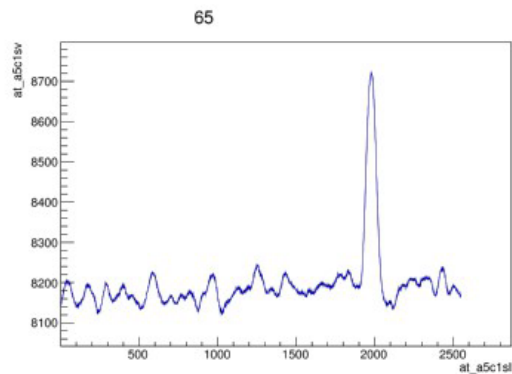
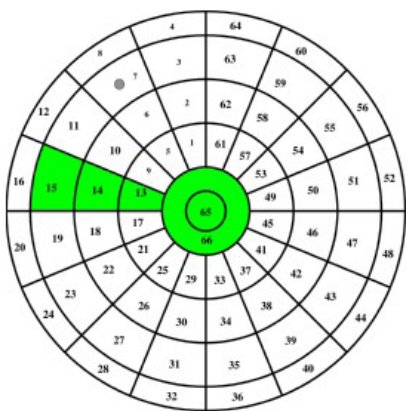
Зарядовый радиус протона



2017 г. – прототип активной мишени ACTAF2
в экспериментальном зале ускорителя
MAMI; ${}^4\text{He} + 4\%\text{CO}_2$

В 2017 г. тестовый эксперимент
на электронном пучке ускорителя
MAMI в Майнце $E_e = 720$ МэВ.
Камера наполнялась гелием.

В 2018 г. тестовый эксперимент
на мюонном пучке ускорителя
SPS в ЦЕРН, эксп. COMPASS,
 $E_\mu = 190$ ГэВ.
Камера наполнялась водородом.



Сигналы от рассеянных α -частиц в камере АСТАФ2

Задачи 2019 г.:

- закончить работу по созданию HV-системы для NeuLAND (571 к Евро)
(изготовить электронику на 3 000 каналов)
- начать работу по созданию трекового детектора PAS (720 к Евро)
- начать работу по активной мишени АСТАФ2 (273 к Евро)

$\Sigma \approx 1.564$ М Евро