

# **PNPI in R3B**

**2018 г.**

# PNPI in R3B

**NUSTAR** – **N**uclear **S**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

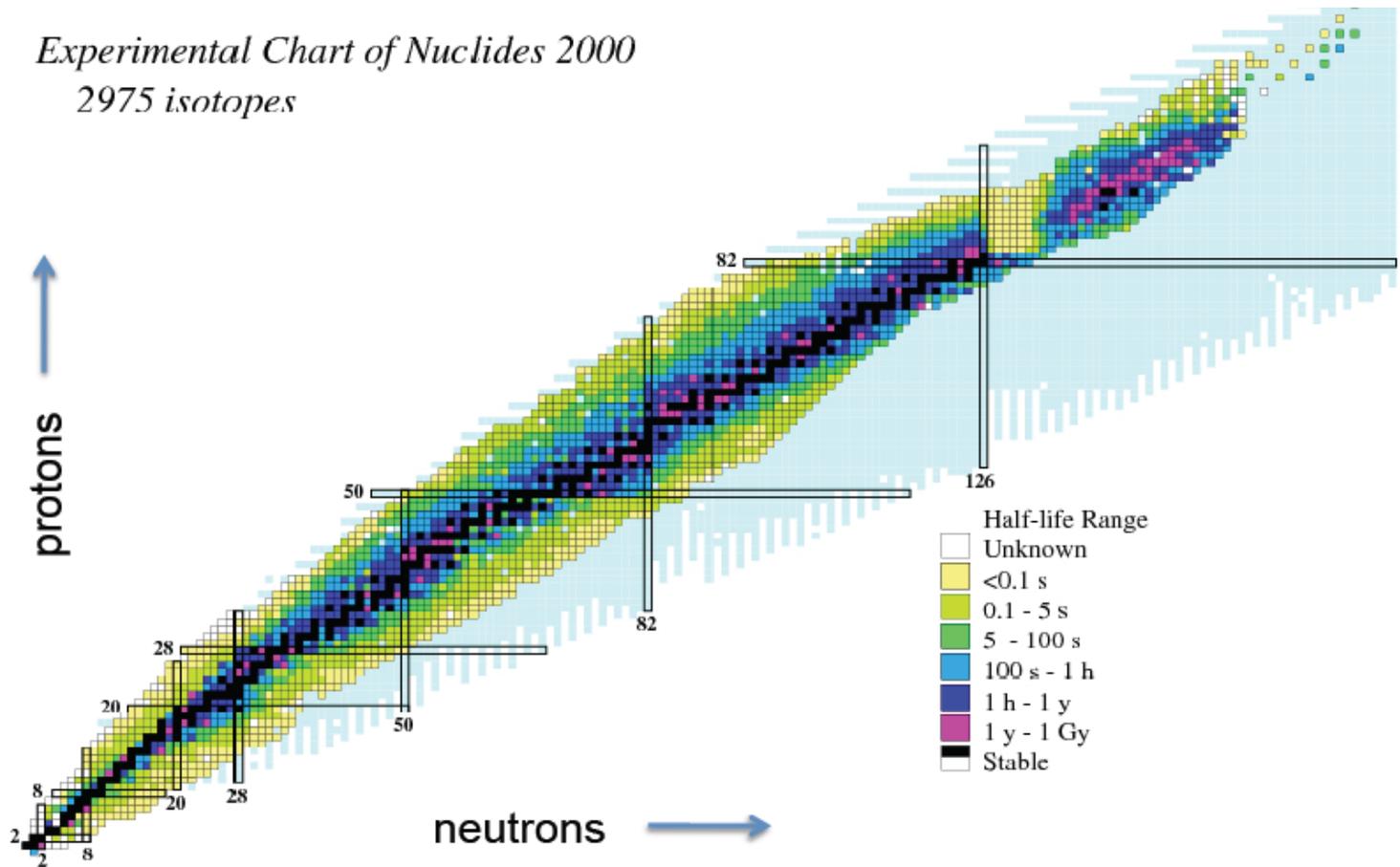
**AIC** – Antiproton Ion Collider

**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 –  $\Delta R_{pn}$ ;

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  $(p,pn)$  –

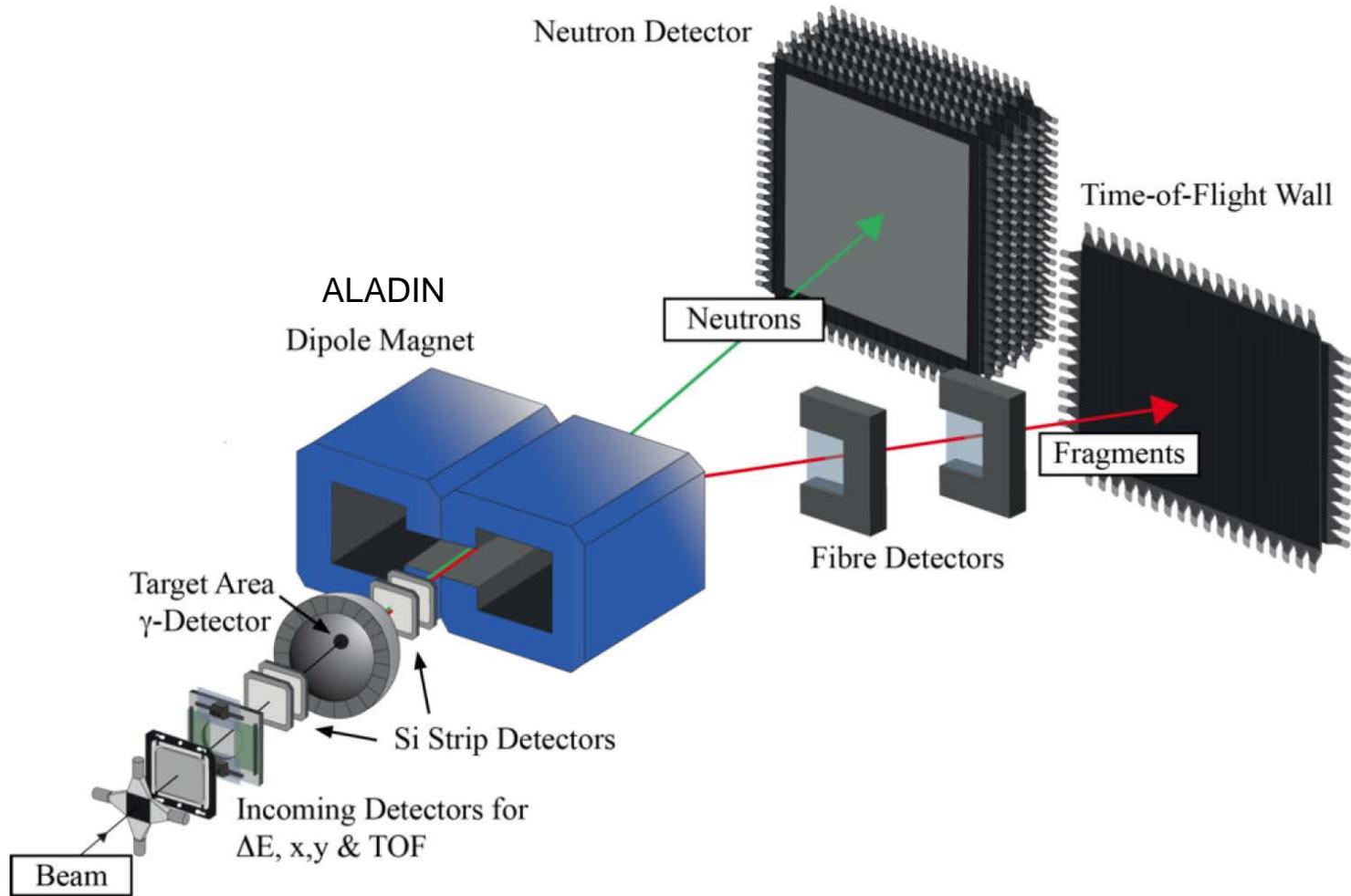
энергии протонных и нейтронных дырочных состояний,

импульсные распределения нуклонов на выделенных оболочках

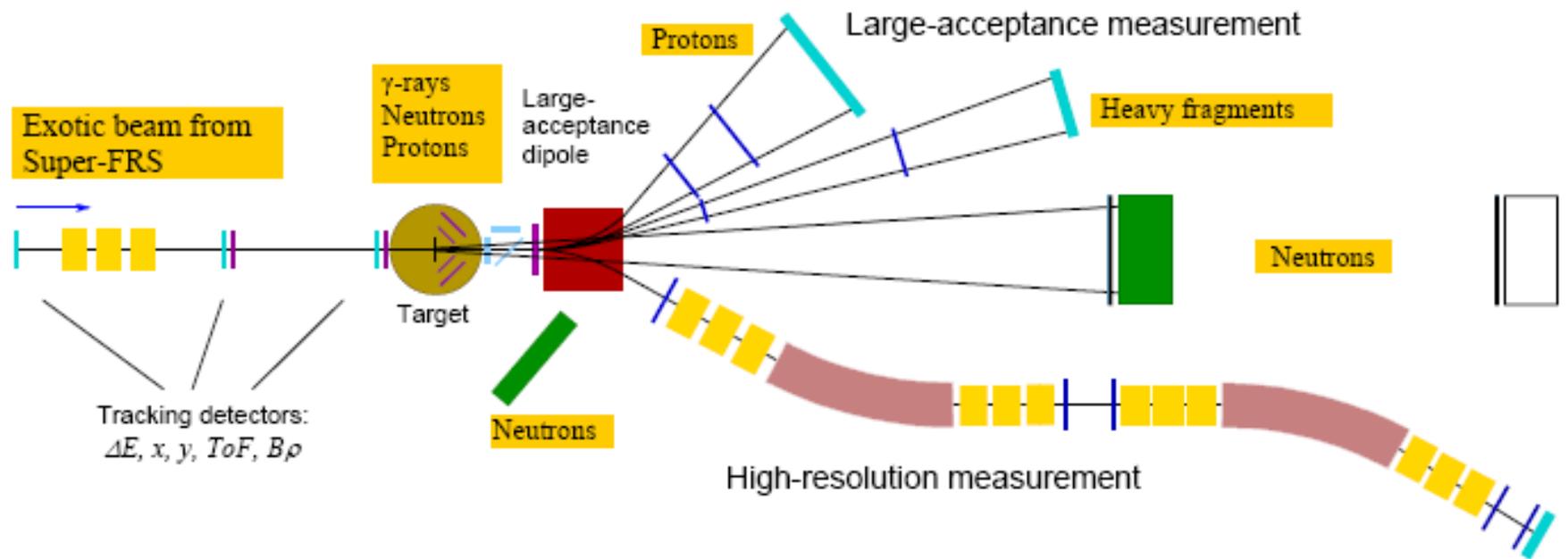
Исследование несвязанных резонансных ядерных состояний

Сечения делений экзотических ядер

# LAND



**R3B**



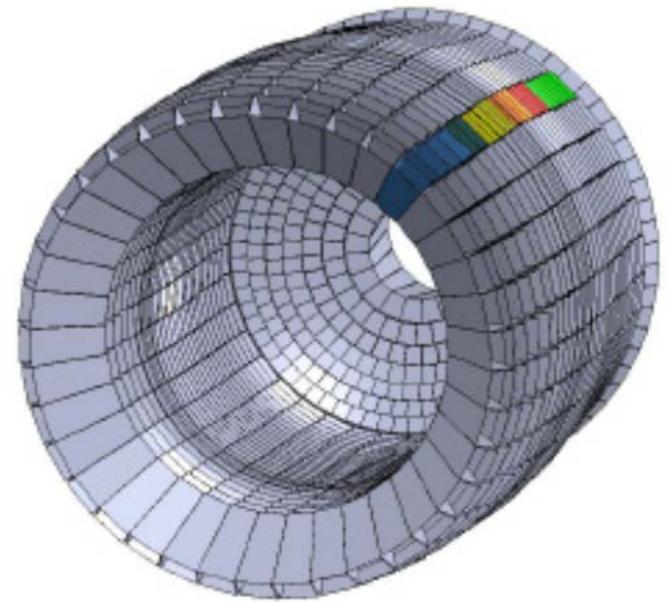
*Figure 1: Schematic drawing of the experimental setup comprising  $\gamma$ -ray and target recoil detection, a large-acceptance dipole magnet, a high-resolution magnetic spectrometer, neutron and light-charged particle detectors, and a variety of heavy-ion detectors.*

## **PNPI participation:**

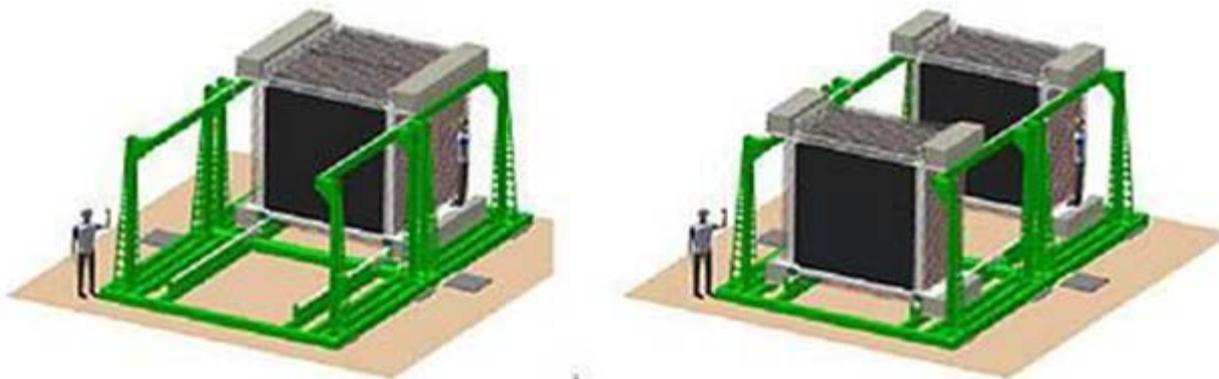
**Neutron detector NeuLAND (HV system),  
proton tracking detector (PAS), active target(s) (ACTAF).**



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 ( $\leq 0.5$  mA)

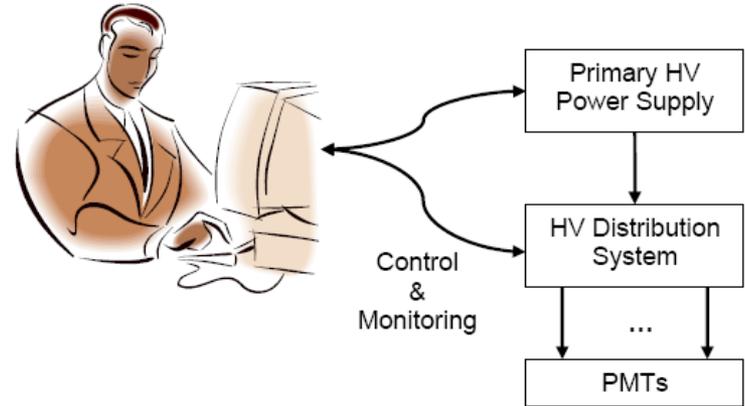
Регулировка напряжения: 0 – 1.5 kV

Установка напряжения с точностью 0.1%

Стабильность лучше 0.1%

Флуктуации  $\leq 0.02\%$

Ток измеряется с точностью 0.1%



**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**.

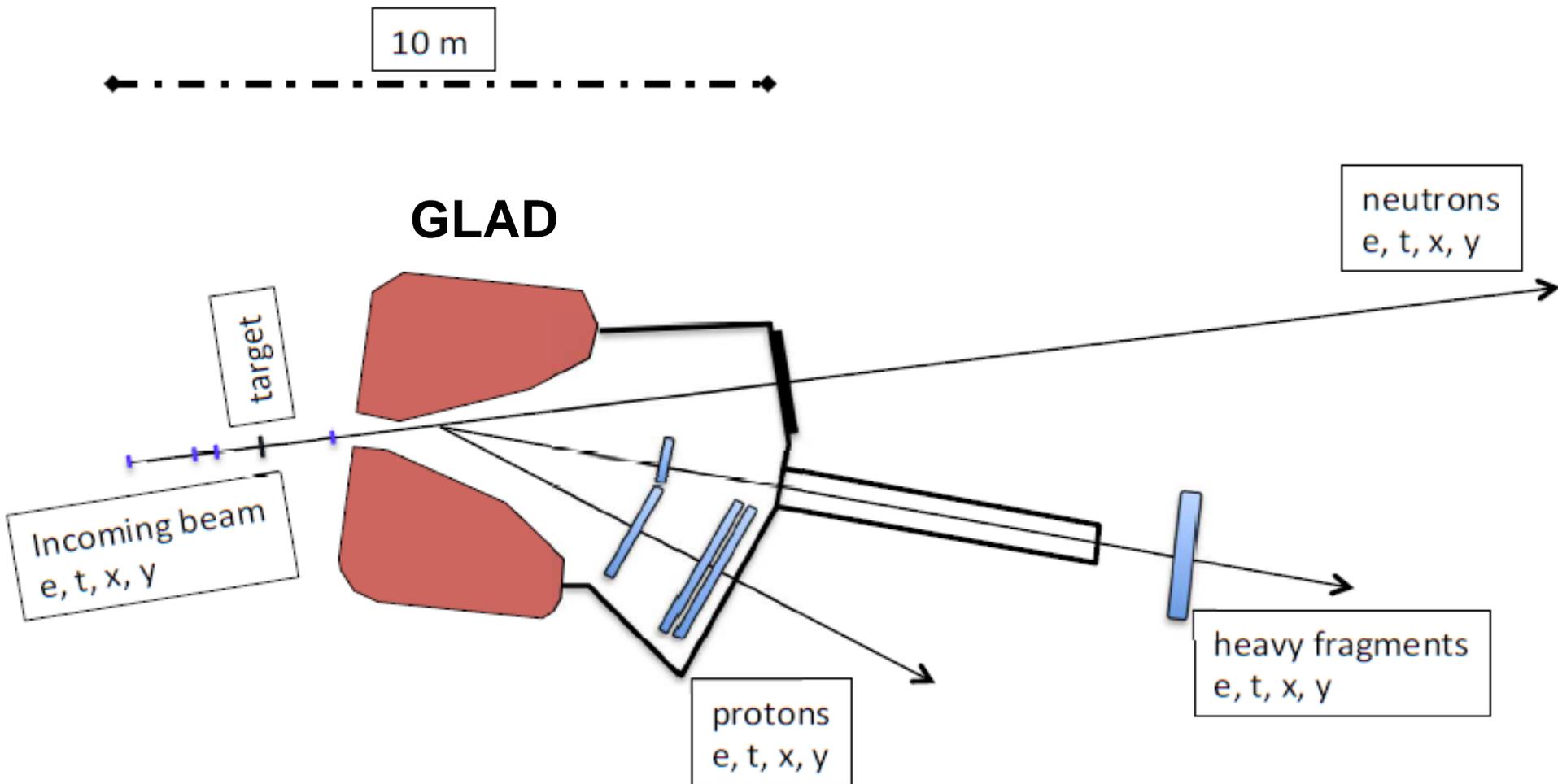
**TDR одобрен в августе 2015 г.** 480 – 13 = 467 к Евро (в ценах 2005 г.)

**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.**

# R<sup>3</sup>B Setup



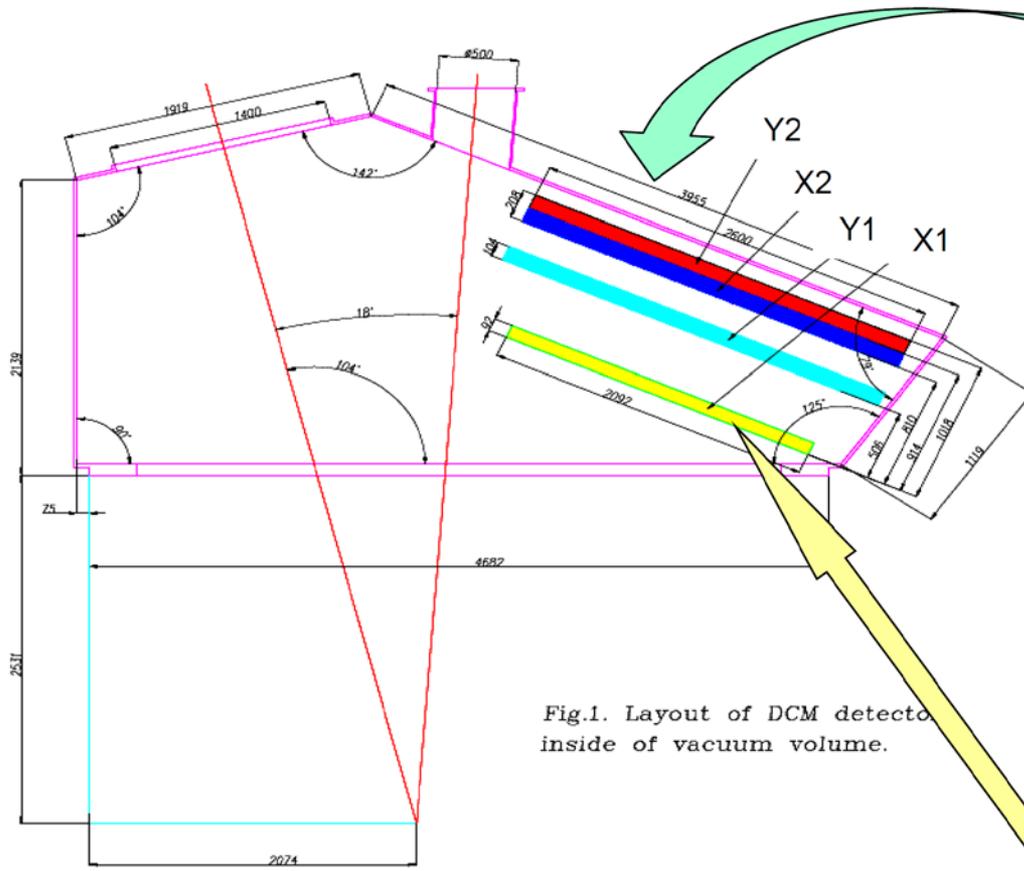
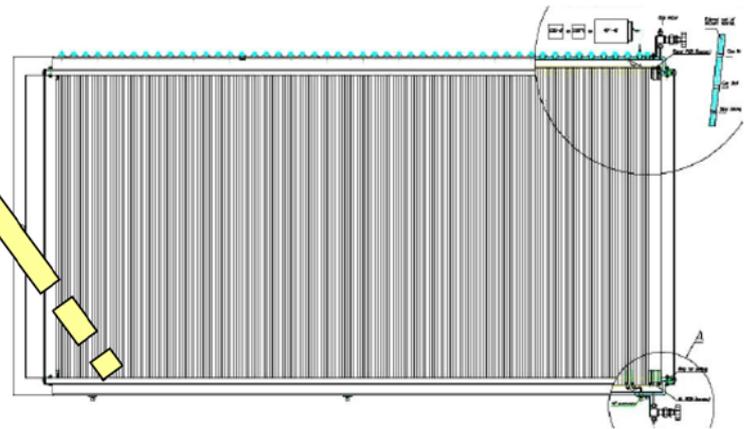


Fig.1. Layout of DCM detector inside of vacuum volume.



Общий вид STW (X1 - coordinate)

Рис.2. Proton Arm Spectrometer - структура



2016 г.

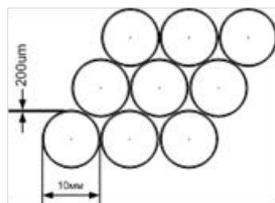


Рис. 2. Чертеж прототипа и структура размещения дрейфовых трубок.

Рис. 2а . Общий вид прототипа.

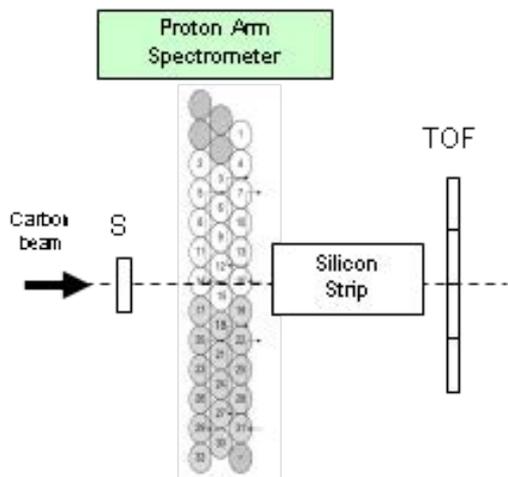


Рис. 3 Пучковые испытания PAS-прототипа в GSI

2017 г.

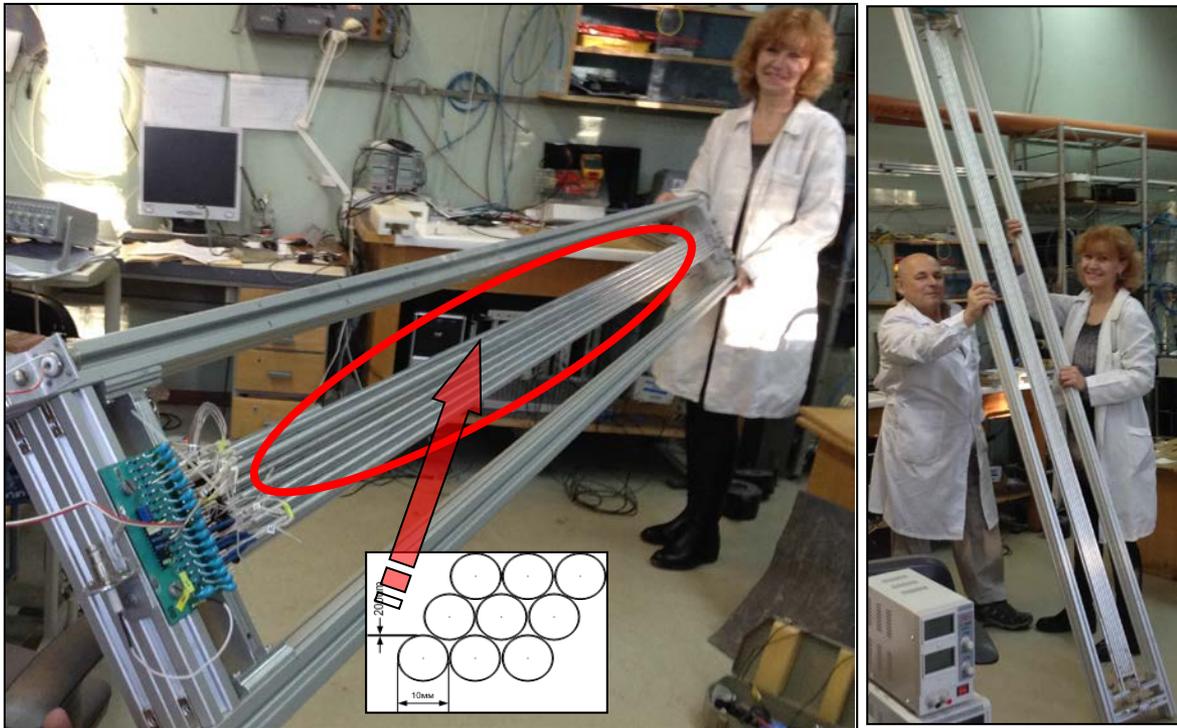


Рис. 4. Прототип Y-координаты Протонного спектрометра (PAS). Прототип выполнен на базе работающих в вакууме дрейфовых трубок с тонкими алюминиевыми стенками (200 мкм). Длина рабочей части – 250 см, число каналов – 16.

$\beta$   $^{55}\text{Fe}$

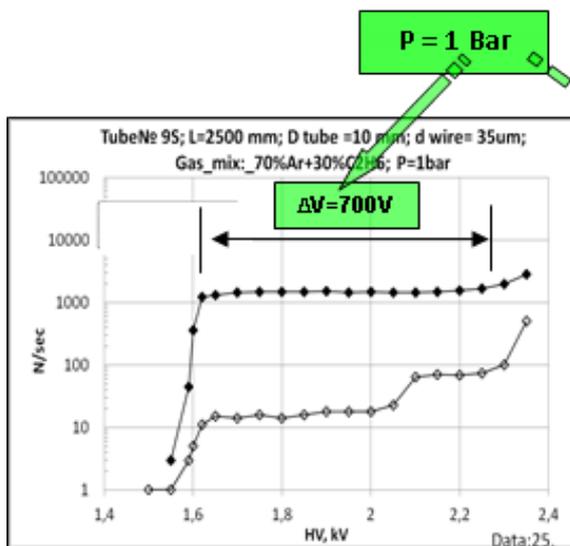


Рис. 4а

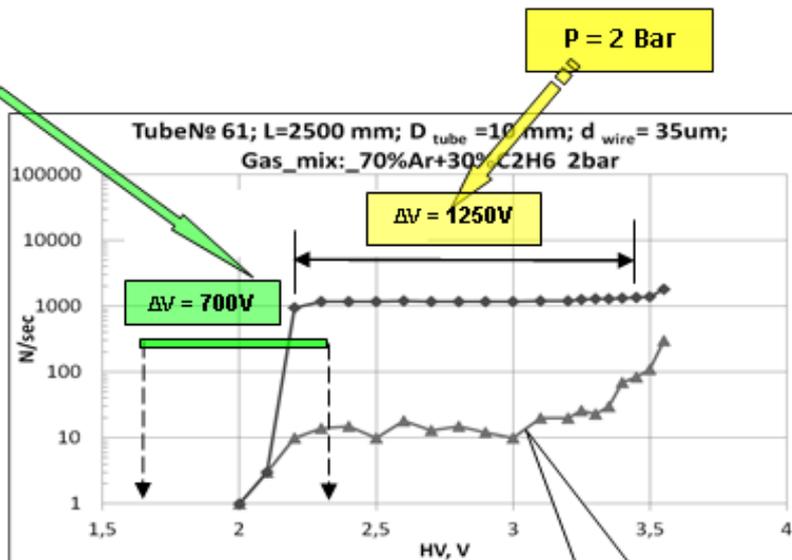


Рис. 4б

Dark count rate

$\beta$   $^{55}\text{Fe}$

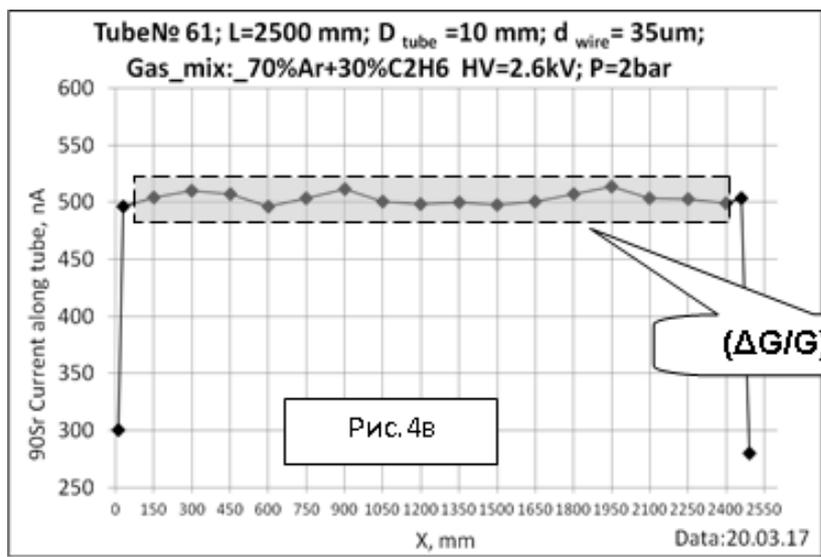
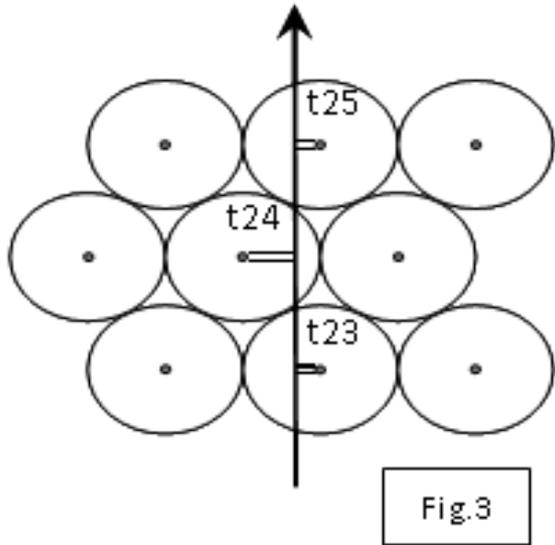
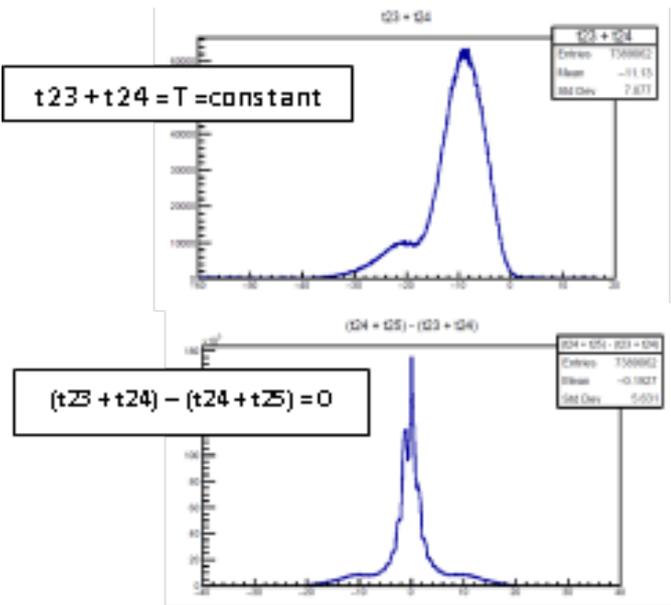


Рис. 4в

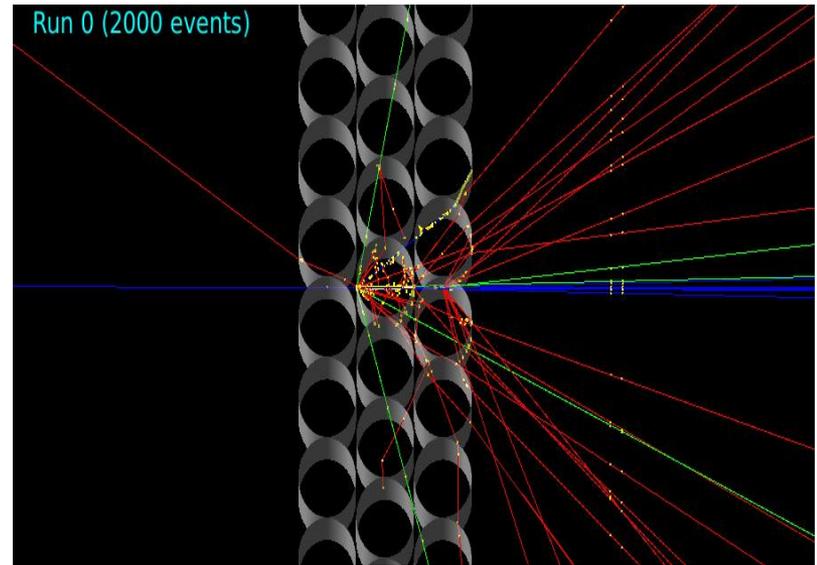
$(\Delta G/G)_{MAX} \leq \pm 4\%$

Однородность величины КГУ вдоль трубки

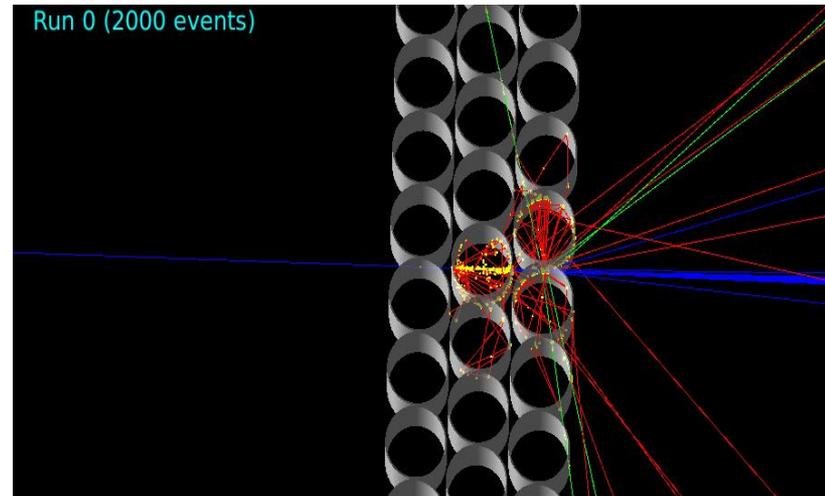


$$\Delta(t_{23} - t_{25}) = 5 \text{ ns} \rightarrow 250 \mu$$

Каптон



Al



\* Синий – налетающие протоны; красный –  $\delta$  электроны; зелёный –  $\gamma$  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.

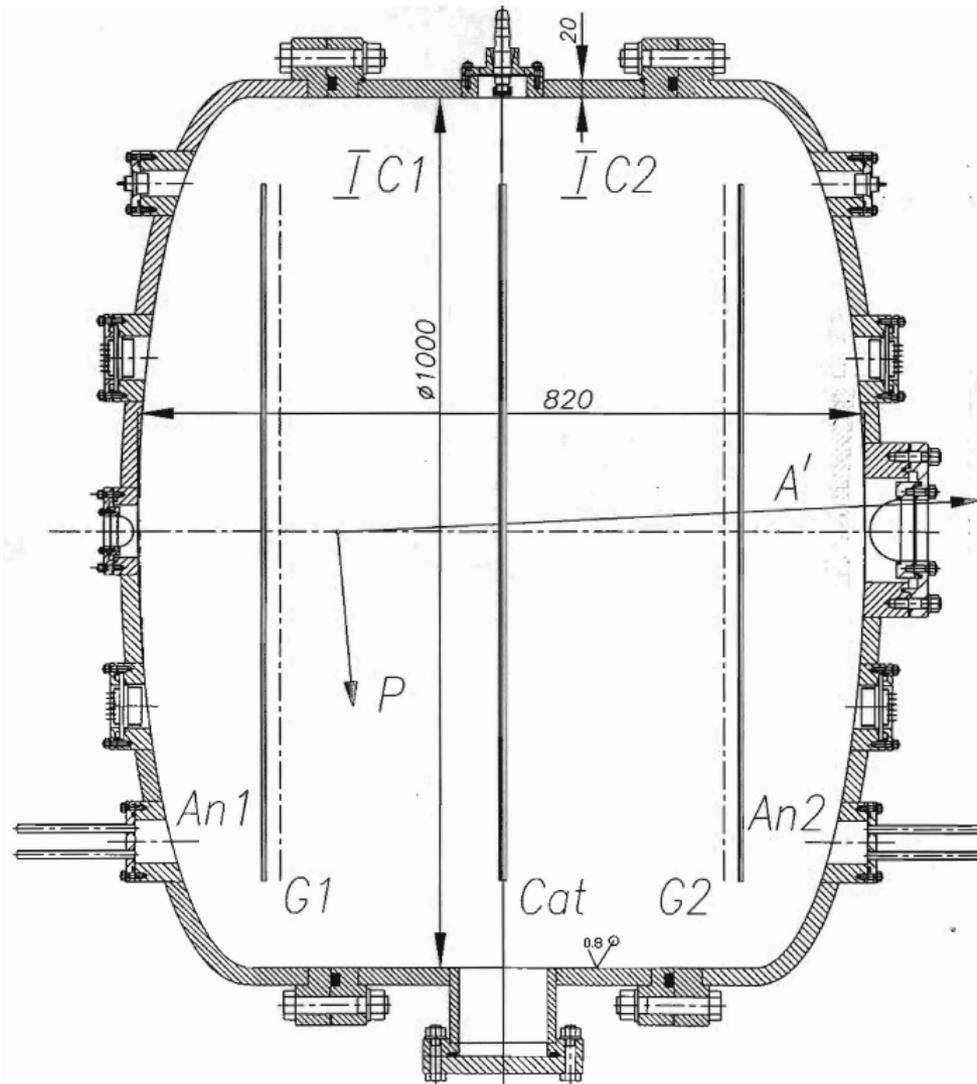
- **Elastic (p,p') scattering** in inverse kinematics (for nuclei with  $T_{1/2} < 1$  s) – **(ACTAF1) ground-state matter distributions**
- **( $\alpha,\alpha'$ ) inelastic scattering** – **(ACTAF2) ISGM resonances, nuclear matter compressibility**

**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)**

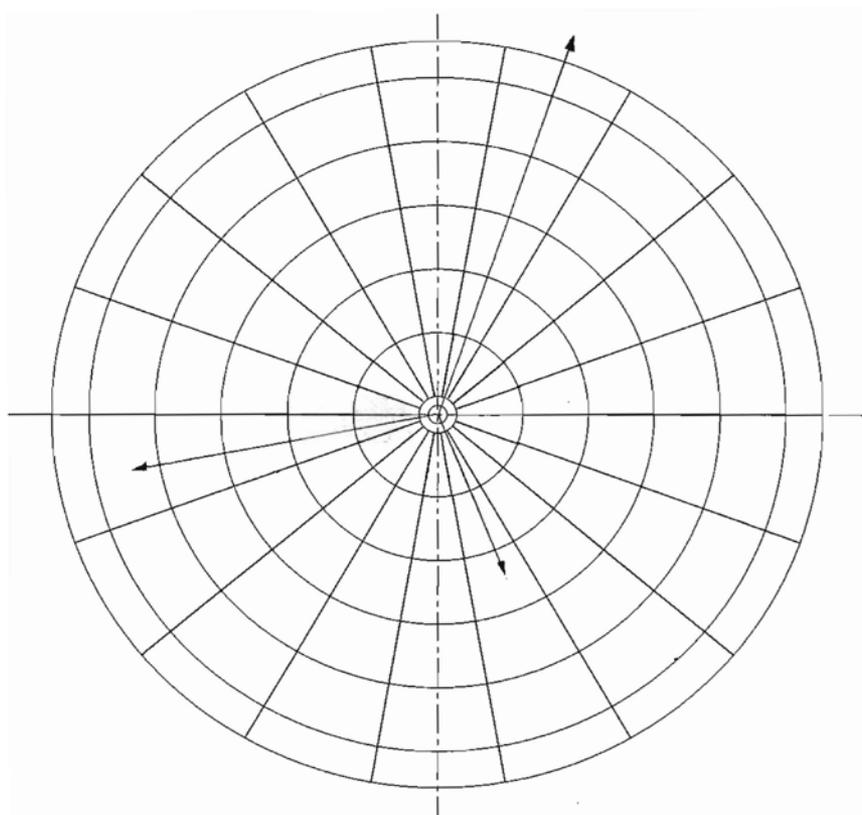
**PNPI Gatchina:** Е.М. Маев, Г.Д. Алхазов, Д.В. Балин, Л.Х. Батист, А.В. Добровольский, А.Г. Инглесси, Г.А. Королев, А.В. Ханзадеев, Г.Е. Петров, В.В. Саранцев, Л.О. Сергеев, В.И. Яцура.



Камера  
**АСТАФ1**

Прототип –  
ИКАР

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



Секционированный анод камеры АСТАФ1



# Неупругое рассеяние на ядрах $\alpha$ -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.

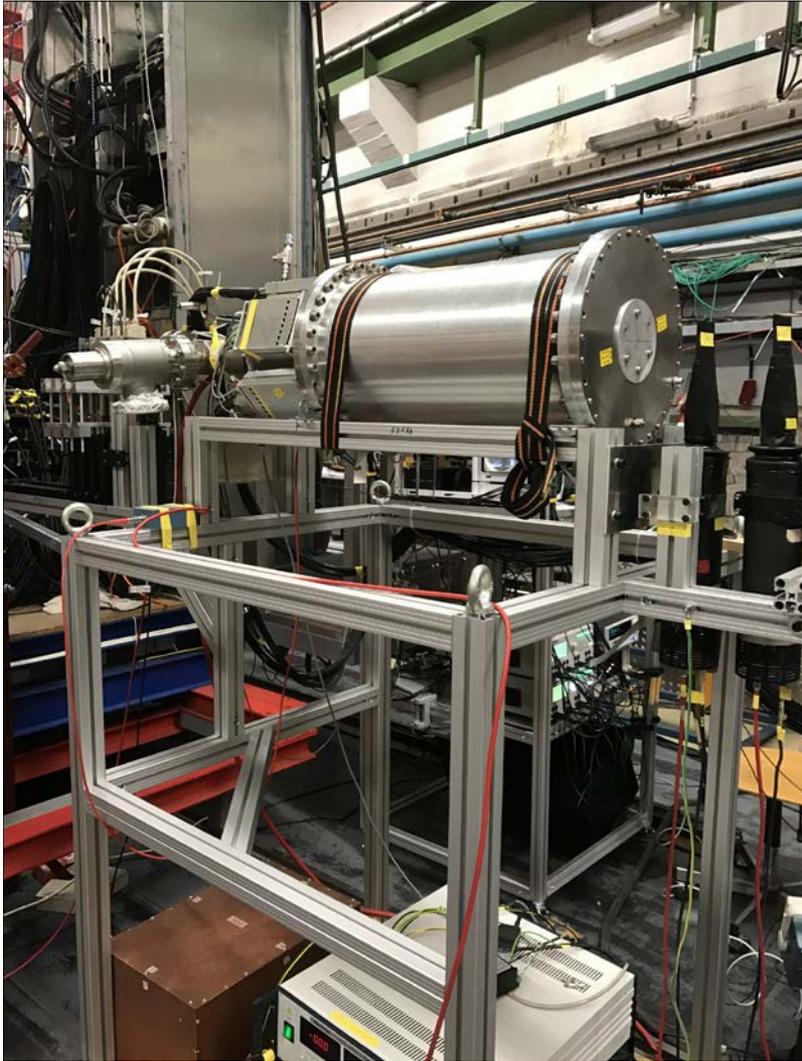
Segmented anode

Камера наполнялась гелием

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

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

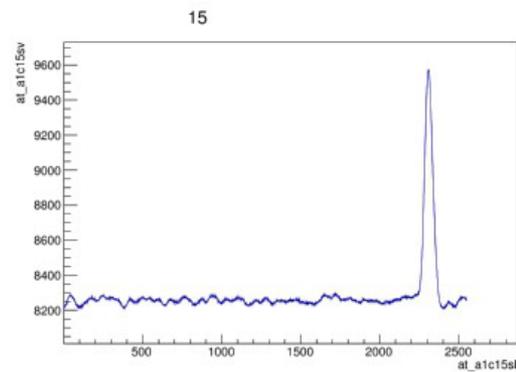
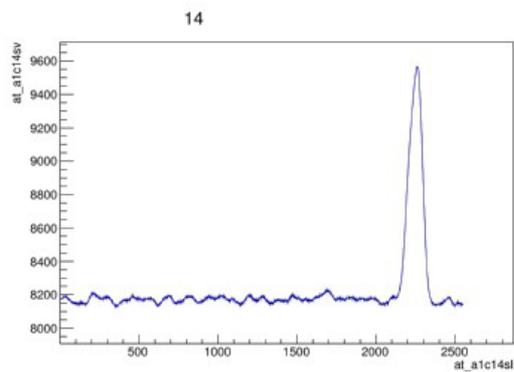
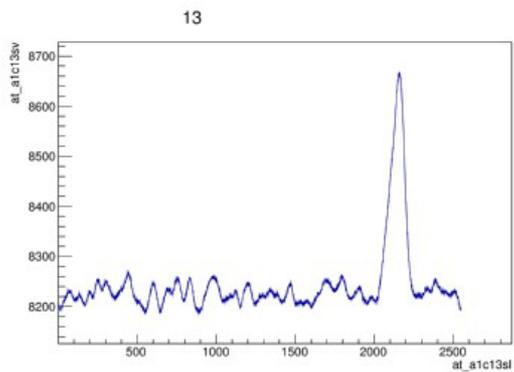
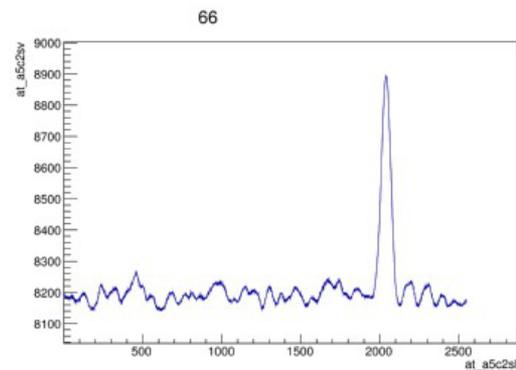
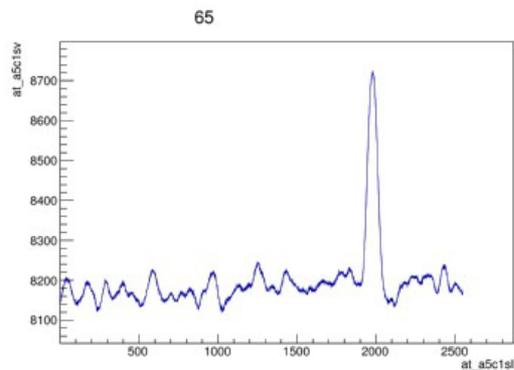
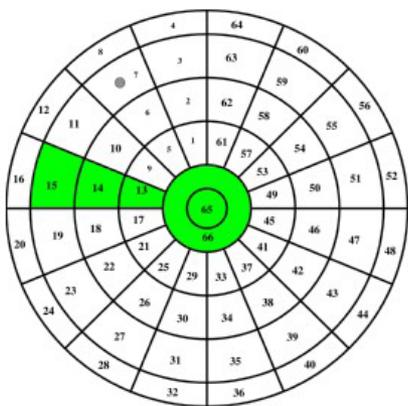
## Зарядовый радиус протона



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

В 2017 г. тестовый эксперимент  
на электронном пучке ускорителя  
МАМІ 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  $\alpha$ -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