

# **PNPI in R3B**

**2019 г.**

**FAIR** – экспериментальные программы:

**NUSTAR, CBM, PANDA, APPA**

**PNPI – NUSTAR, CBM, PANDA**

**NUSTAR** – структура ядра, астрофизика и реакции:

**NU**clear **ST**ructure, **A**strophysics, and **R**eactions

**CBM** – плотная барионная материя:

**C**ompressed **B**aryon **M**atter

**PANDA** – антипротонная программа:

anti**P**roton **AN**ihilation in **DA**rmstadt

**APPA** – физика сверхплотной плазмы, материаловедение и биология:

**A**tomic **P**lasma **P**hysics and **A**pplications

# PNPI in NUSTAR

**NUSTAR** – **NU**clear **ST**ructure, **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

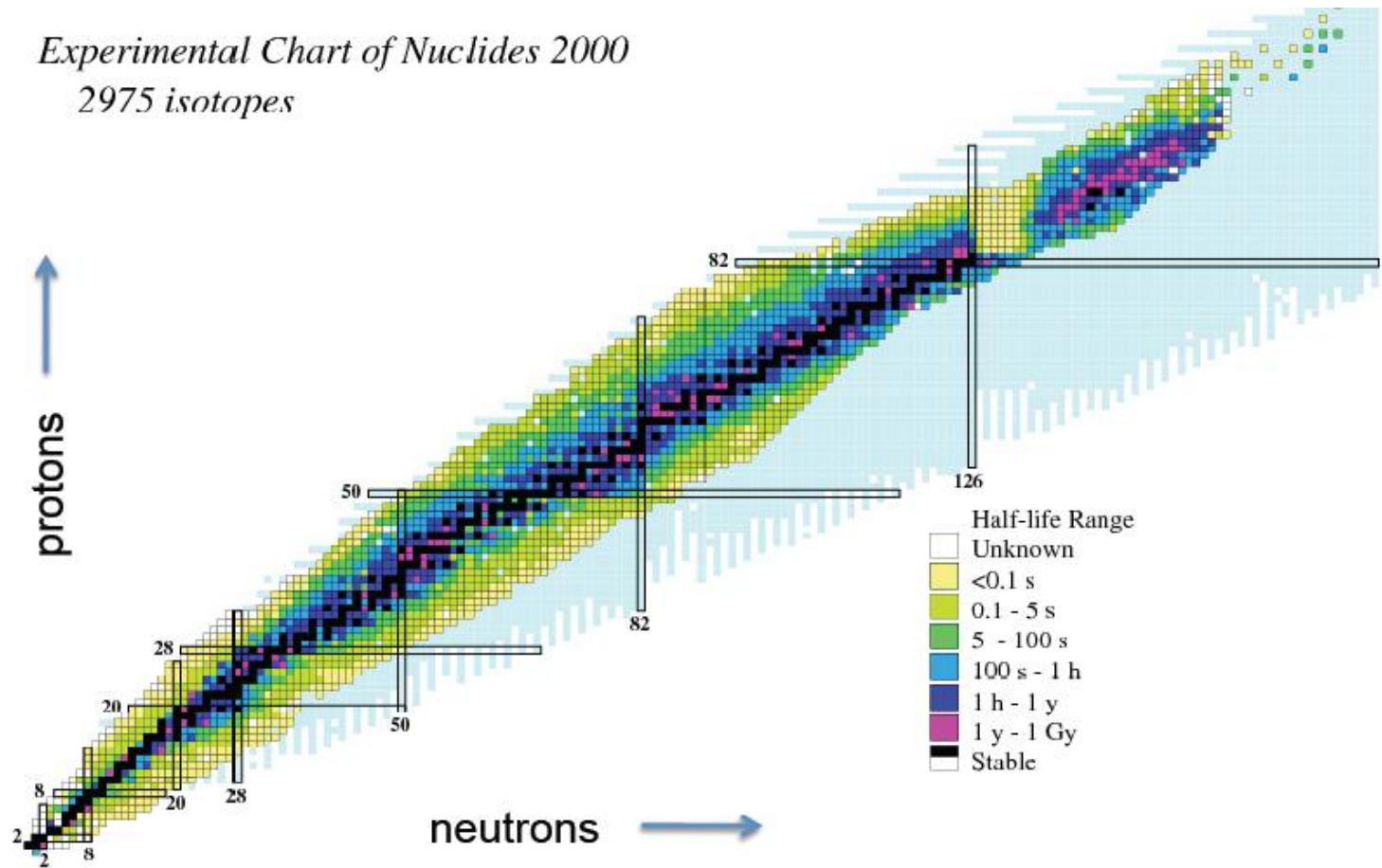
**AIC** – Antiproton Ion Collider

**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 set-ups**

**FAIR: Beam intensities  $\times 10^4$ , clean beams, more sophisticated detectors**

# R3B

**R3B** – исследования на внешних релятивистских пучках экзотических ядер:

**эксперименты по рассеянию экзотических ядер на протонах и ядрах**

**Направления исследований:**

- **ядерная структура**
- механизм ядерных реакций
- 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  $(p,pn)$  –

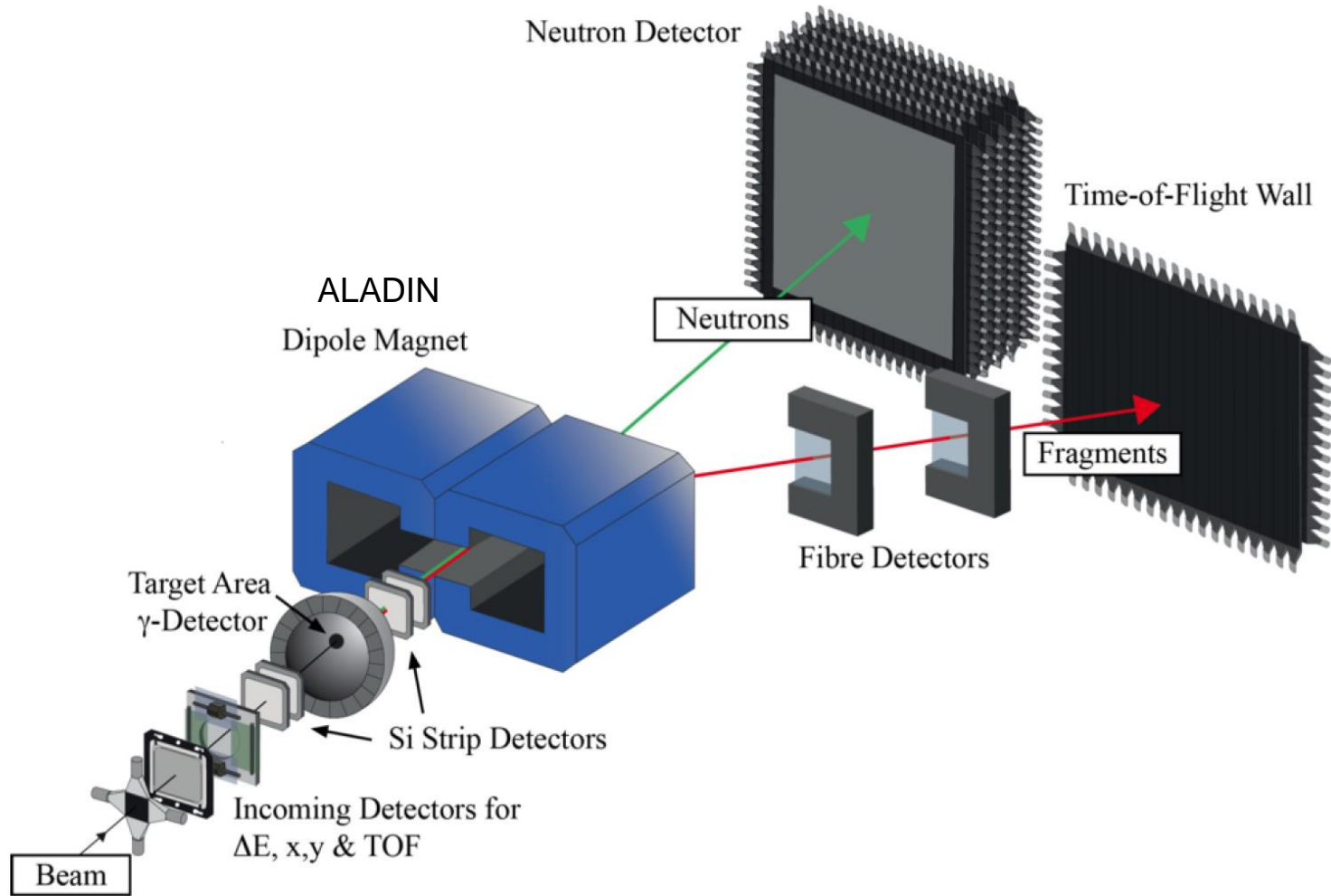
энергии протонных и нейтронных дырочных состояний,

импульсные распределения нуклонов на выделенных оболочках

Исследование несвязанных резонансных ядерных состояний

Сечения делений экзотических ядер

# LAND



## R3B set-up

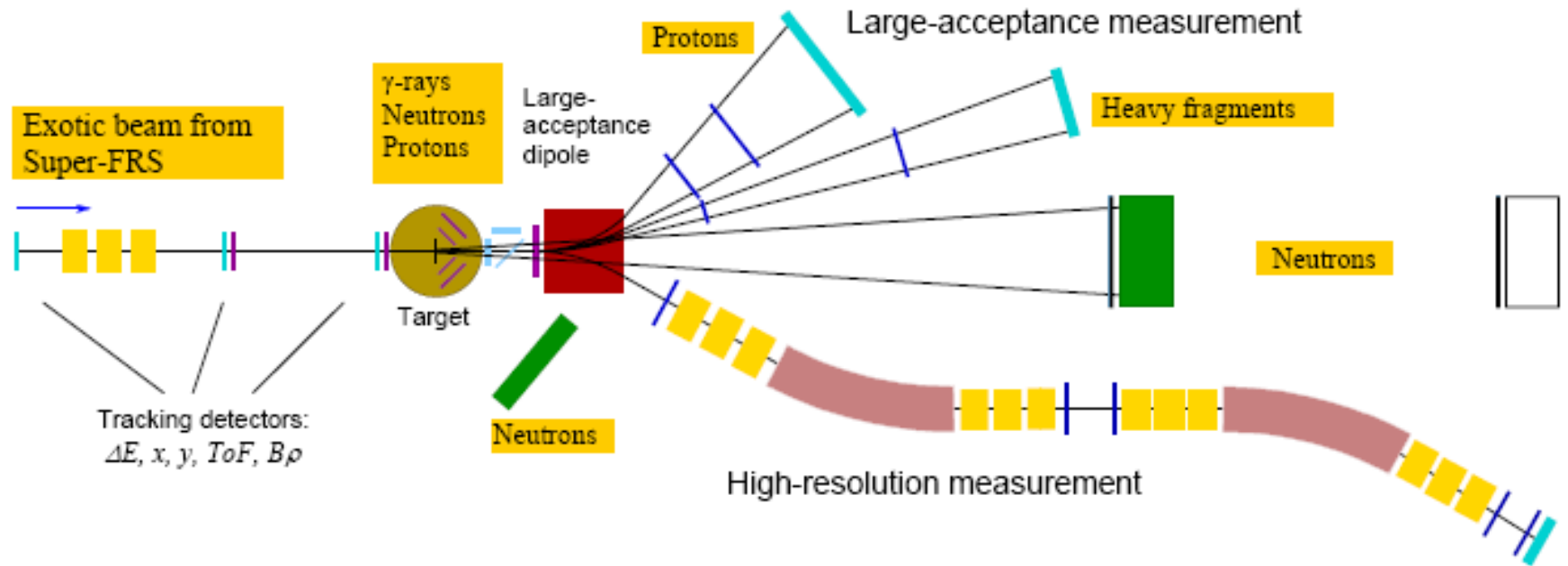


Figure 1: Schematic drawing of the experimental setup comprising  $\gamma$ -ray and target recoil detection, a large-acceptance dipole magnet, a high-resolution magnetic spectrometer, neutron and light-charged particle detectors, and a variety of heavy-ion detectors.

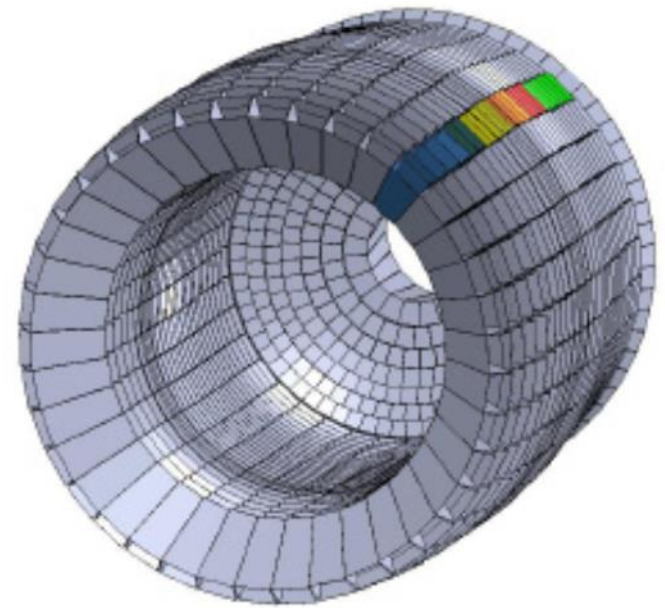
## PNPI participation:

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

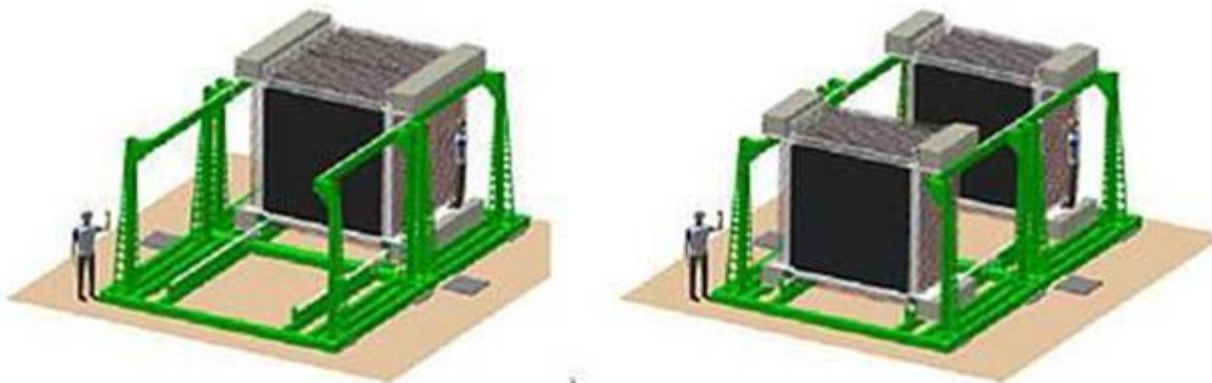




Магнит GLAD



Гамма детектор CALIFA



Время-пролетный нейтронный детектор NeuLAND



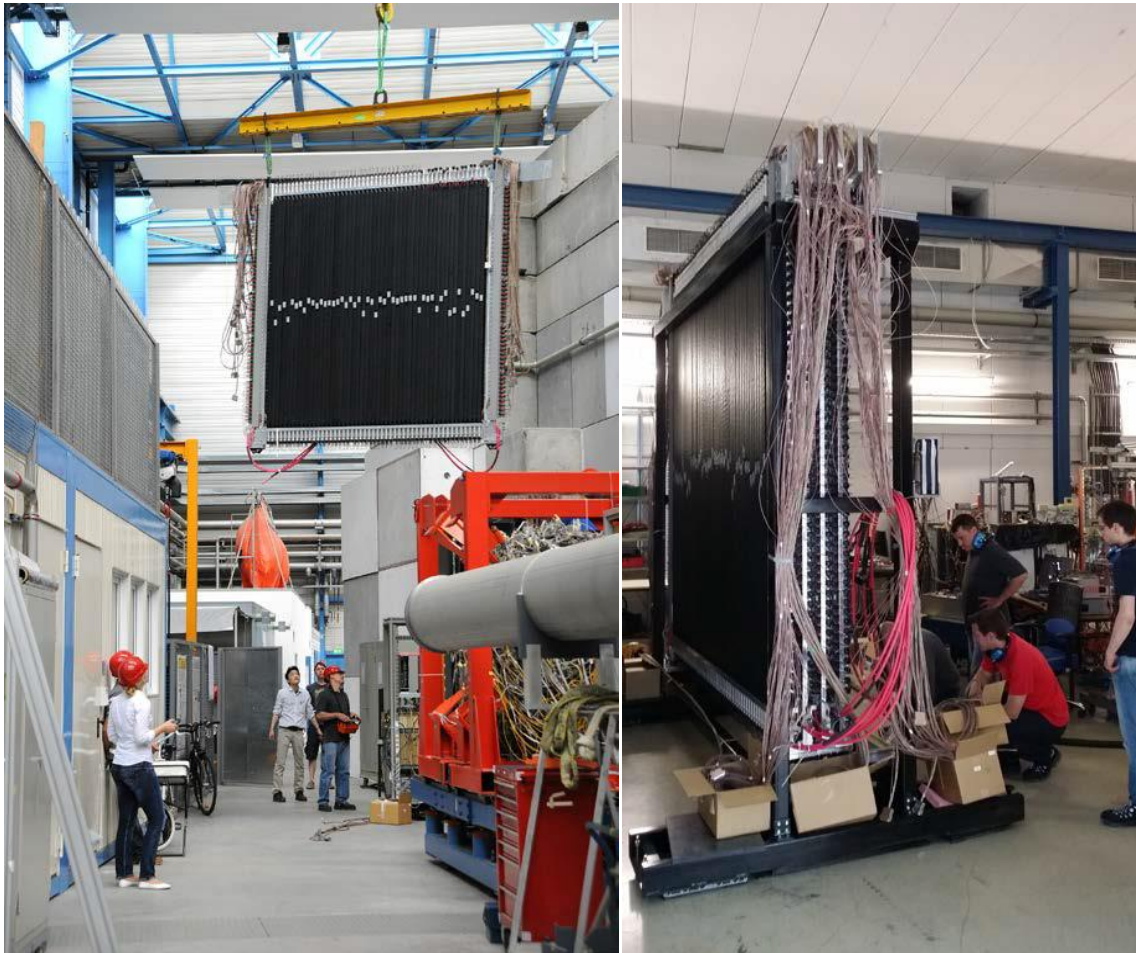
**Magnet GLAD in cave C**

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

Детектор состоит из брусков сцинтилляционного пластика RP408 (поливинилтолуол) с поперечными размерами –  $5 \times 5$  см<sup>2</sup> и длиной 250 см, всего 3000 брусков и 6000 ФЭУ . Детектор имеет размер  $250 \times 250 \times 300$  см<sup>3</sup>.

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

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



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 – **контракт 415 (571.37) к Евро.**

## **PNPI – HV system:**

2 мощных HV источника – 2 кВ, 1 А,  
+ активные регулируемые делители на  
6000 каналов 0.3 мА ( $\leq 0.5$  мА)

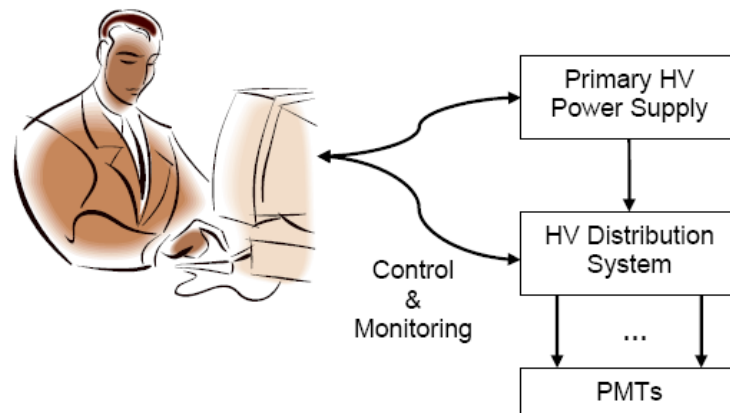
Регулировка напряжения: 0 – 1.5 кВ

Установка напряжения с точностью 0.1%

Стабильность лучше 0.1%

Флуктуации  $\leq 0.02\%$

Ток измеряется с точностью 0.1%



**ПИЯФ Гатчина:** 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 мкм или алюминий 200 мкм.

Размеры – от  $2 \times 1$  м<sup>2</sup> до  $2.7 \times 1.1$  м<sup>2</sup>.

Всего ~2000 каналов

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

**ПИЯФ Гатчина**: А.Г. Крившич, В.А. Андреев, Д.А. Майсузенко,  
А.А. Фетисов + **ОРЭ** + **ЛКСТ**.

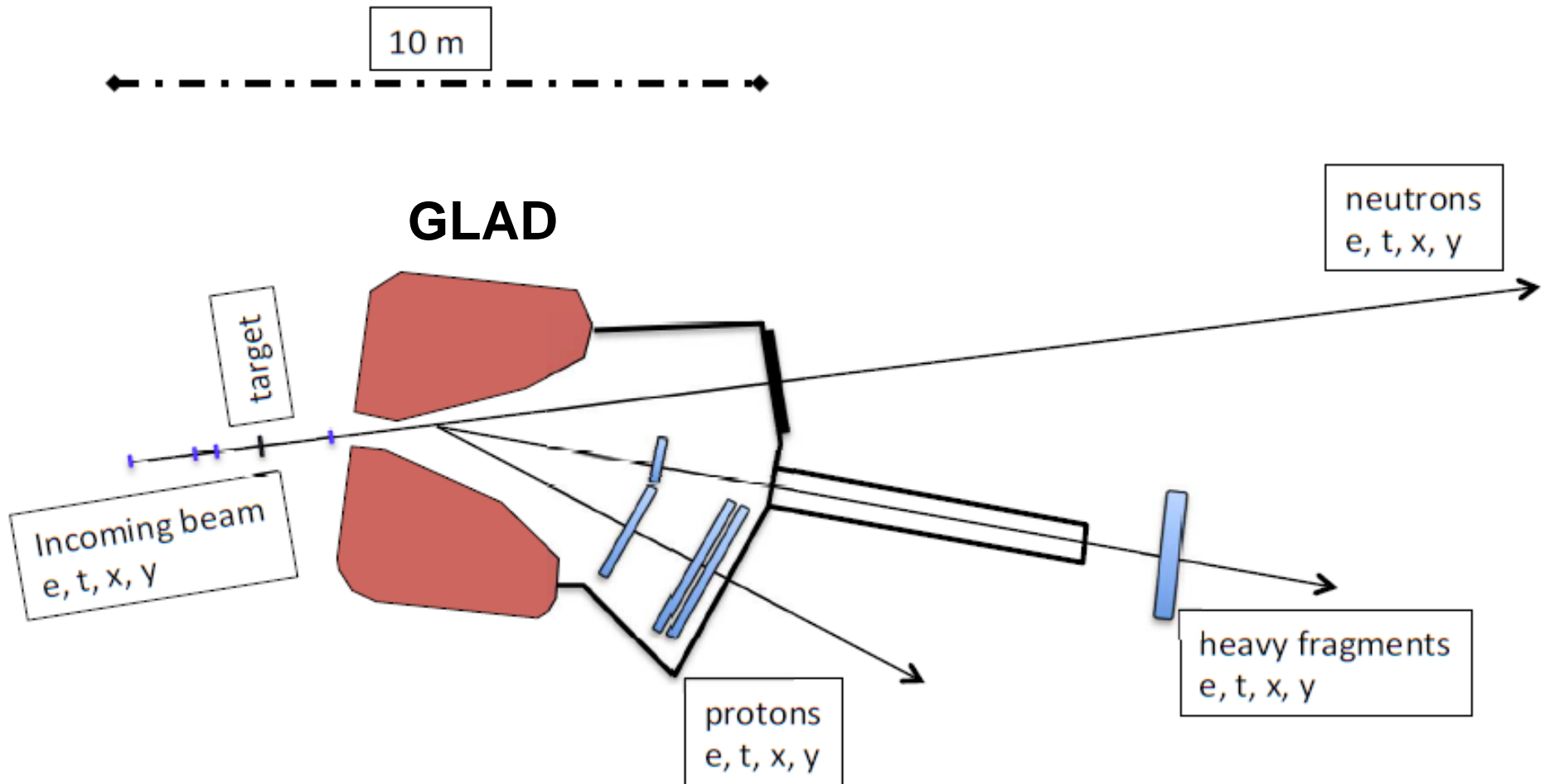
**TDR одобрен в августе 2015 г.** 480 – 13 = 467 к Евро (в ценах 2005 г.)

**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



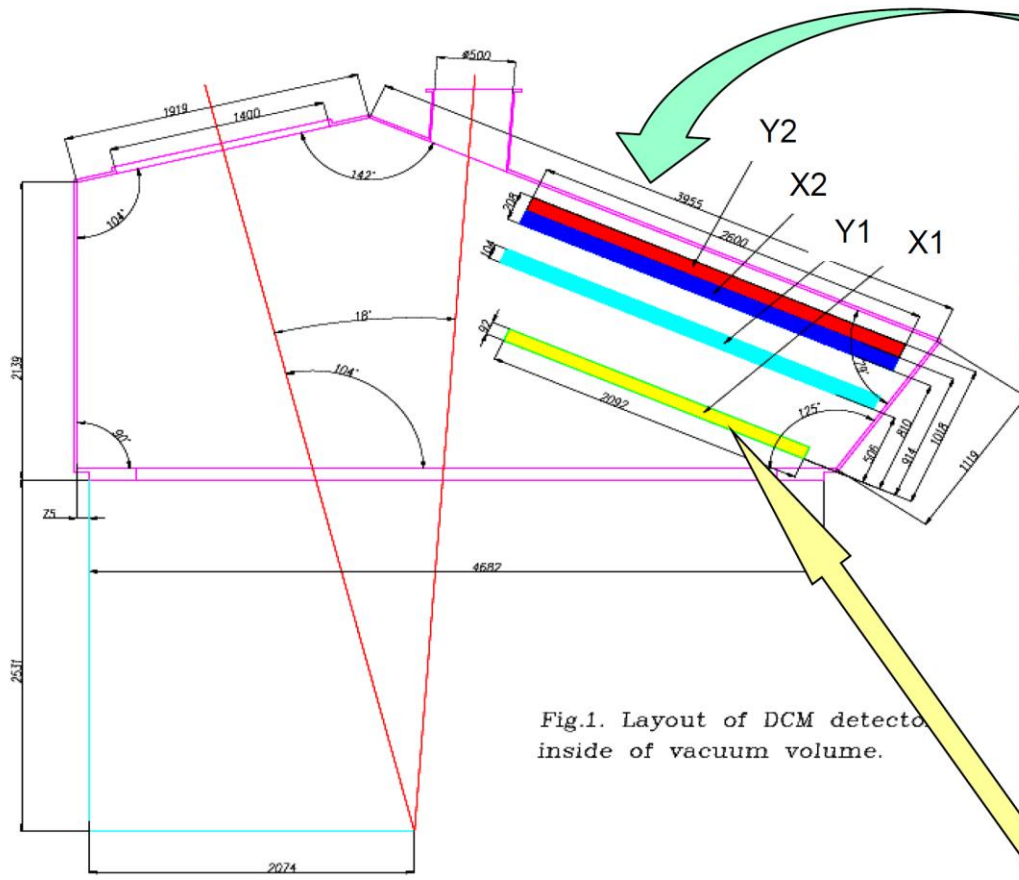
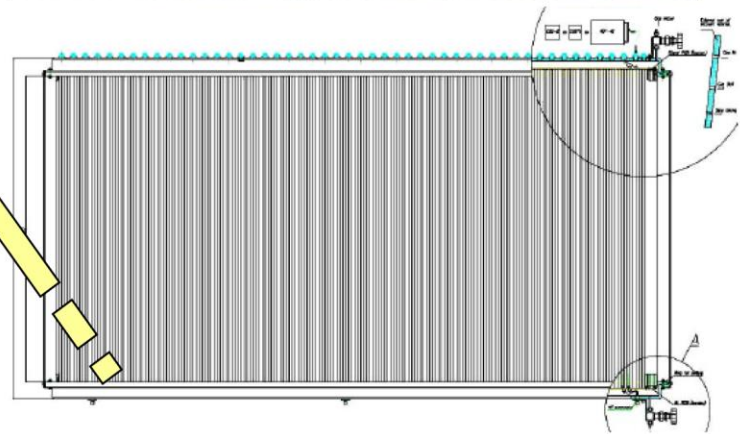


Fig.1. Layout of DCM detector inside of vacuum volume.



Общий вид STW (X1 - coordinate)

Рис.2. Proton Arm Spectrometer - структура



2019 г.



650 трубок, изготовленных для станции X2 спектрометра PAS



Сборка трубок станции X2 спектрометра PAS

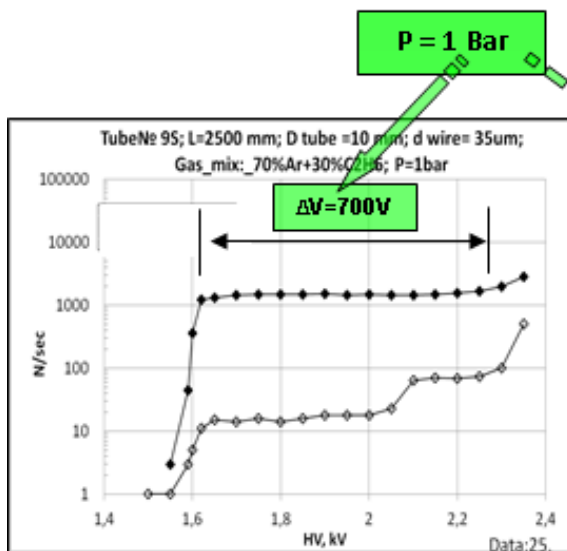


Рис. 4а

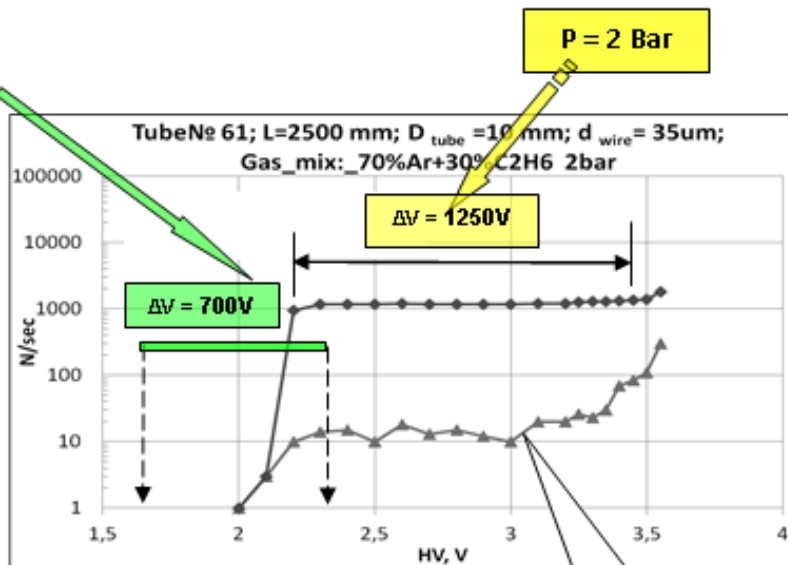


Рис. 4б

$\beta$  <sup>55</sup>Fe

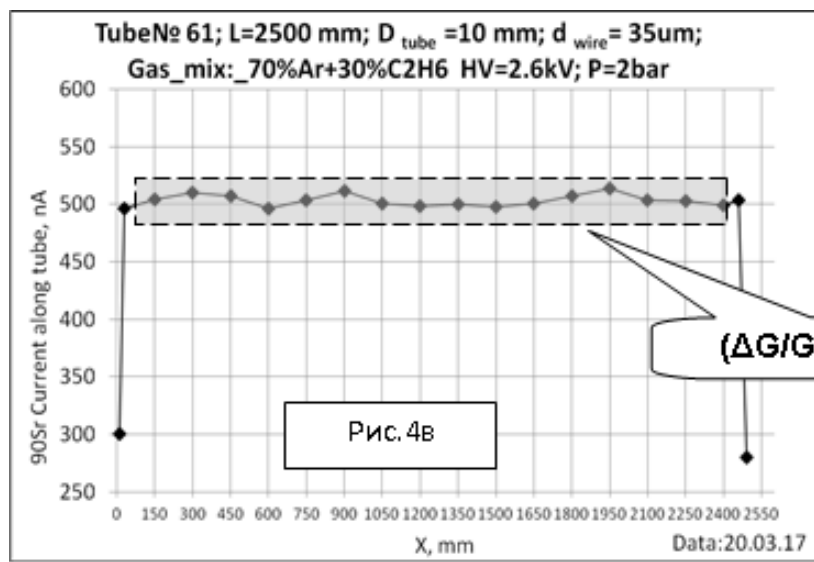


Рис. 4в

Однородность величины КГУ вдоль трубки

2019 г.



Газовая система спектрометра PAS

**Высоковольтный источник на 50 каналов**

# ACTAF – ACtive TArget for Fair

Gas – target and working gas of the detector.

Low momentum transfers,  
Short-lived isotopes.

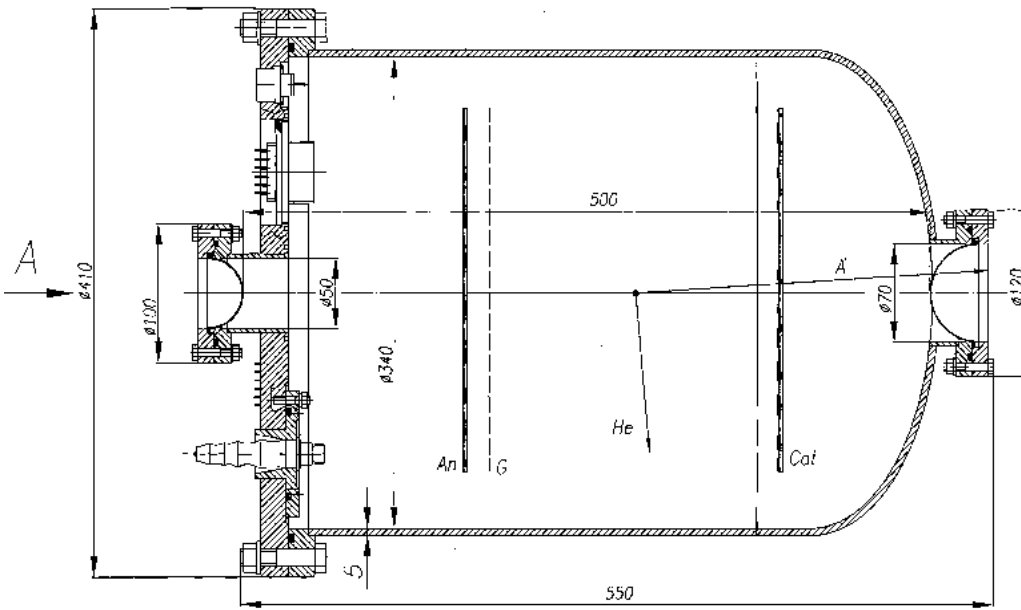
- **Elastic (p,p') scattering** in inverse kinematics (for nuclei with  $T_{1/2} < 1$  c) – **(ACTAF1) ground-state matter distributions**
- **( $\alpha,\alpha'$ ) inelastic scattering** – **(ACTAF2) ISGM resonances, nuclear matter compressibility**

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

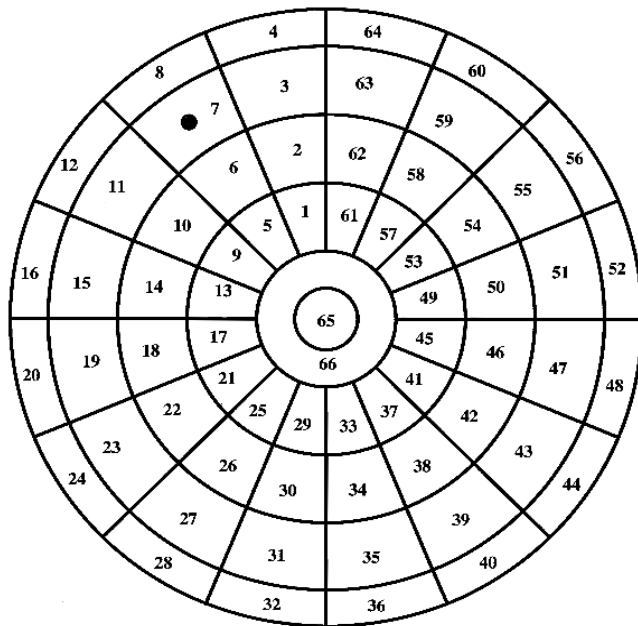
**Деньги (174.7 к Евро в ценах 2005 г.) на ACTAF2**

**Контракт (по ACTAF2) заключен в декабре 2018 г. (272.9 к Евро)**

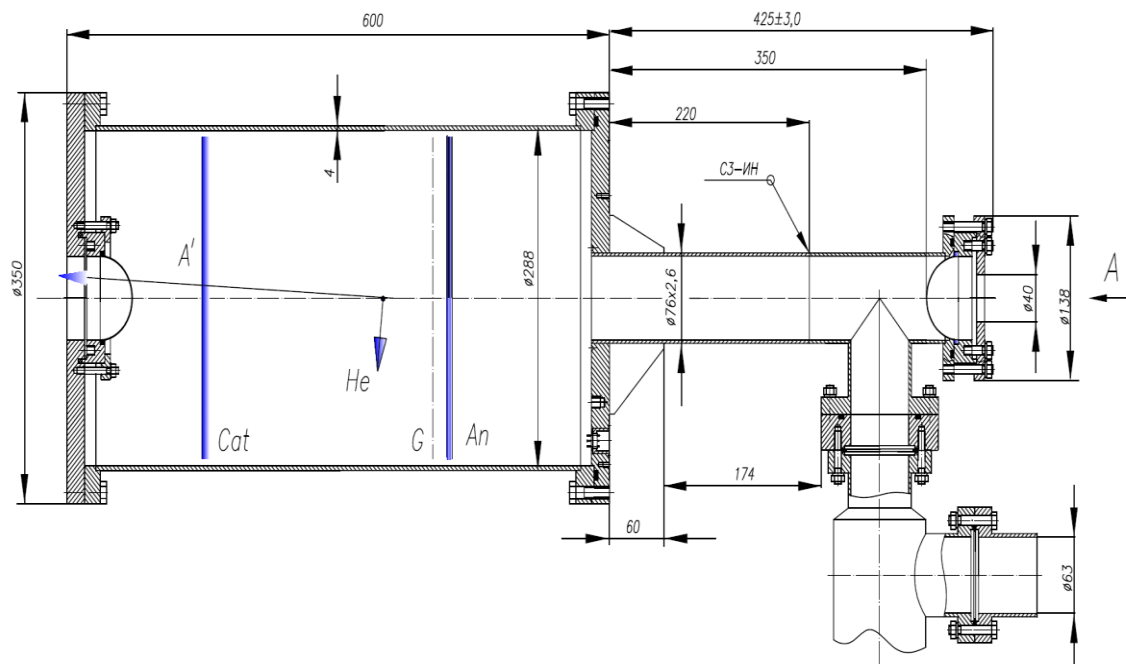
**ПИЯФ Гатчина:** Е.М. Маев, Г.Д. Алхазов, Д.В. Балин, Л.Х. Батист, А.В. Добровольский, А.Г. Инглесси, Г.А. Королев, А.В. Ханзадеев, Г.Е. Петров, В.В. Саранцев, Л.О. Сергеев, В.И. Яцюра.



Камера **ACTAF2**  
 D = 340 мм



Секционированный анод камеры ACTAF2



Прототип камеры АСТАФ2

## Неупругое рассеяние на ядрах He в инверсной кинематике



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

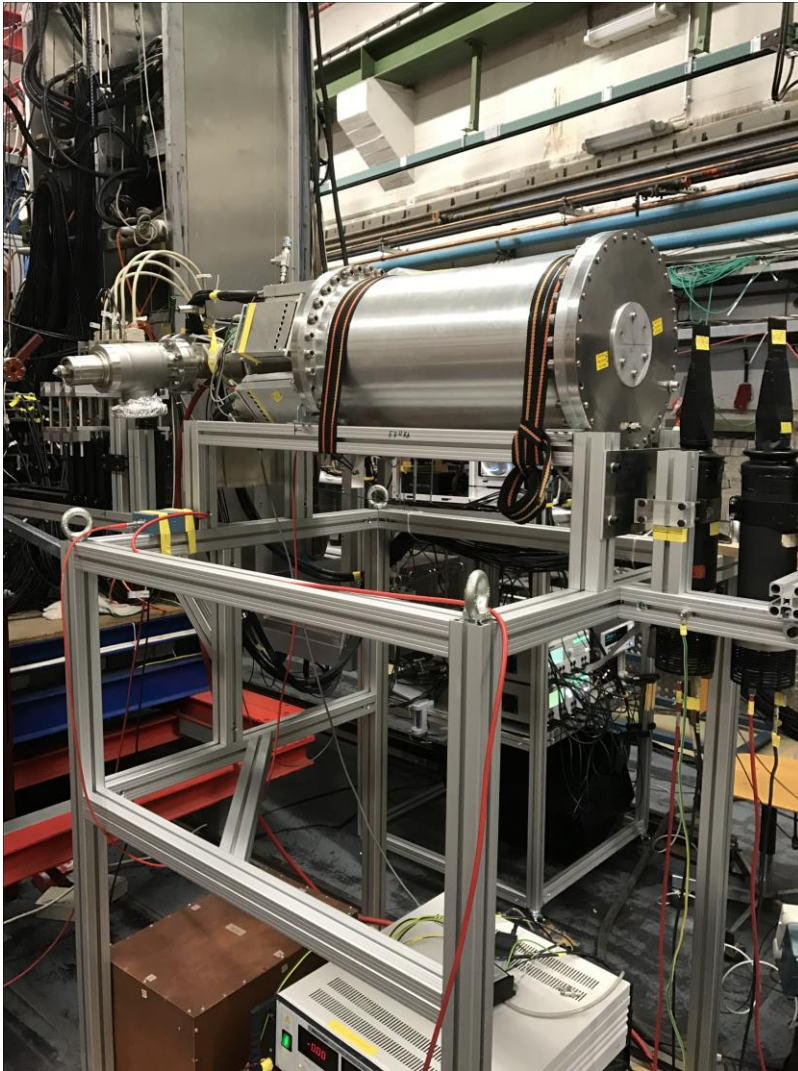
Длина – 60 см, внутренний диаметр – 28 см,  
сегментированный анод,  
рабочее давление – 10 бар.

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



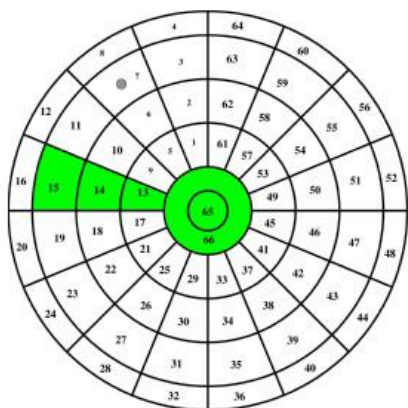
**2017 г.** – прототип активной мишени АСТАФ2 в экспериментальном зале ускорителя MAMI;  ${}^4\text{He} + 4\%\text{CO}_2$

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

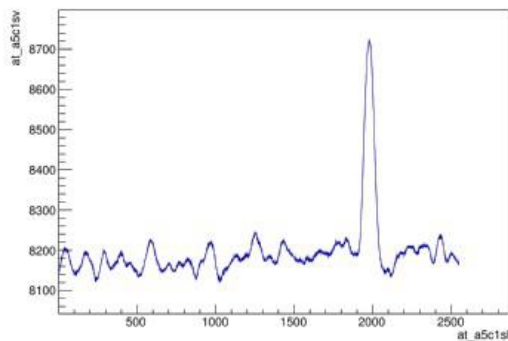
В 2018 г. тестовый эксперимент на мюонном пучке ускорителя SPS в ЦЕРН, эксп. COMPASS,  $E_\mu = 190$  ГэВ. Камера наполнялась водородом.

В **2019 г.** тестовый эксперимент на электронном пучке ускорителя MAMI в Майнце  $E_e = 720$  МэВ. Камера наполнялась водородом ( $p = 1.25$  бар)

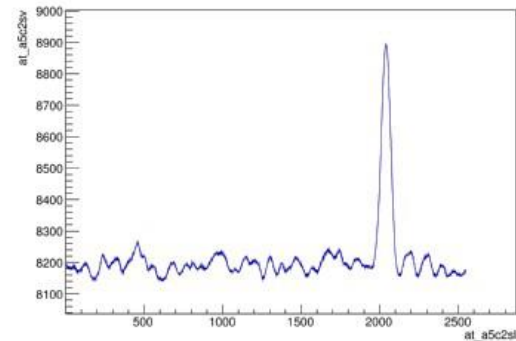




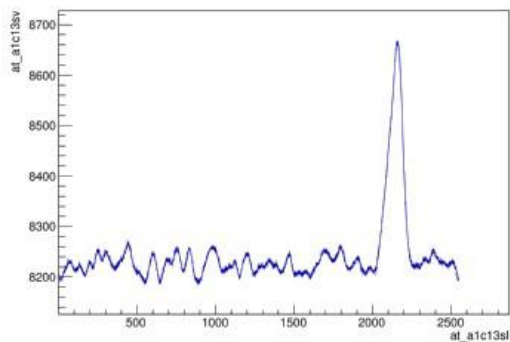
65



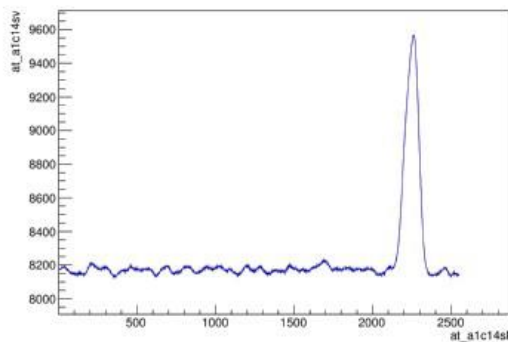
66



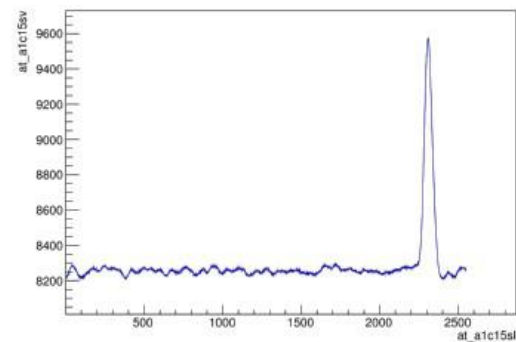
13



14

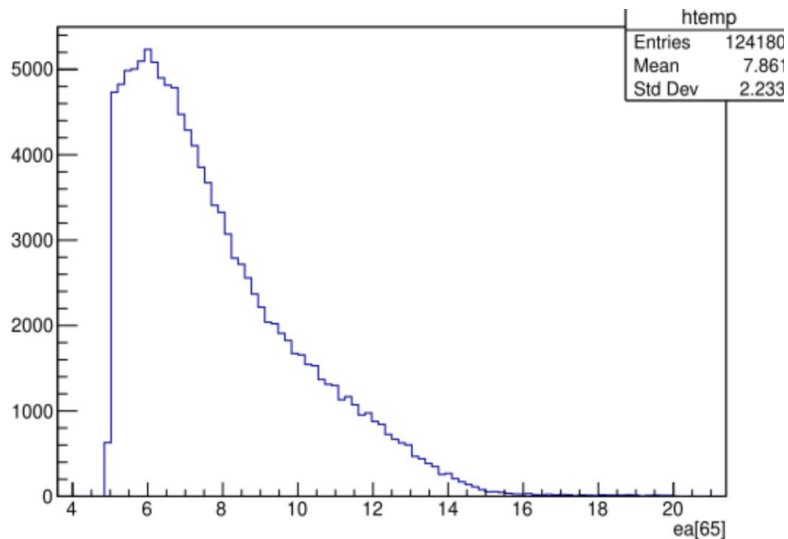


15



Сигналы от рассеянных  $\alpha$ -частиц в прототипе камеры АСТАФ2  
(эксперимент в Майнце в 2017 г.)

2019 г.



Энергетический спектр протонов отдачи на центральном аноде прототипа активной мишени АСТАФ2 в тестовом эксперименте на электронном пучке ускорителя МАМИ (ИКР). Цена канала – 30 кэВ.

2019 г.



Изготовленные детали (обечайка и крышка) камеры АСТАФ2

## **Итоги 2019 г.:**

- **завершена работа по созданию высоковольтной-системы на 6 000 (6200) каналов для детектора NeuLAND**
- **начата работа по созданию трекового детектора PAS: изготовлены и протестированы 650 трубок для станции X2, начато изготовление станции X2, изготовлен 50-канальный высоковольтный источник спектрометра PAS, создавалась газовая система спектрометра PAS**
- **начата работа по активной мишени АСТАФ2: изготовлены детали корпуса активной мишени АСТАФ2**

## Задачи 2020 г.:

- завершить в GSI сдачу созданной HV-системы на 6 000 каналов для нейтронного время-пролетного детектора NeuLAND
- завершить создание станции X2 трекового детектора PAS, изготовить и протестировать 300 трубок для станции Y2, начать сборку станции Y2  
завершить создание газовой системы спектрометра PAS  
создать электронику для станций X2 и Y2
- завершить работу по изготовлению корпуса активной мишени АСТАФ2, начать работу по изготовлению внутренних деталей активной мишени АСТАФ2

**Спасибо за внимание !**