

PNPI in R3B

NUSTAR – Nuclear Structure, Astrophysics, and Reactions :

HISPEC-DESPEC – High-Resolution In-Flight and Decay Spectroscopy

ILIMA - Schottky and Isochronos mass spectroscopy

• **MATS** - Mass measurements with Penning Traps

LASPEC – Laser Spectroscopy investigations

ELISE – Electron scattering in a storage ring

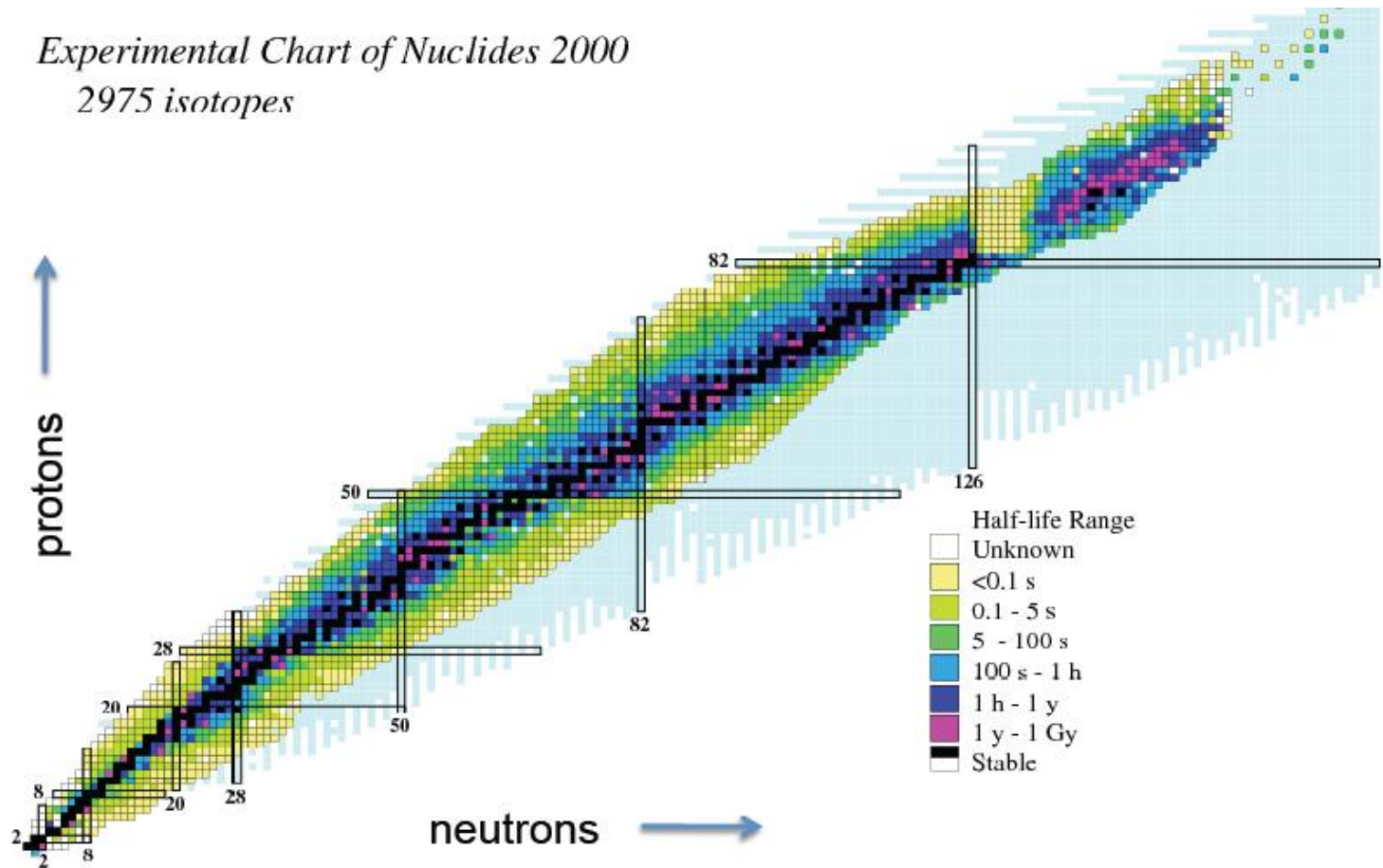
AIC – Antiproton Ion Collider

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

• **R3B** – Reactions with Relativistic Radioactive Beams

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

R3B

R3B – studies at external beams of nuclei

pA and AA scattering experiments

Physics goals:

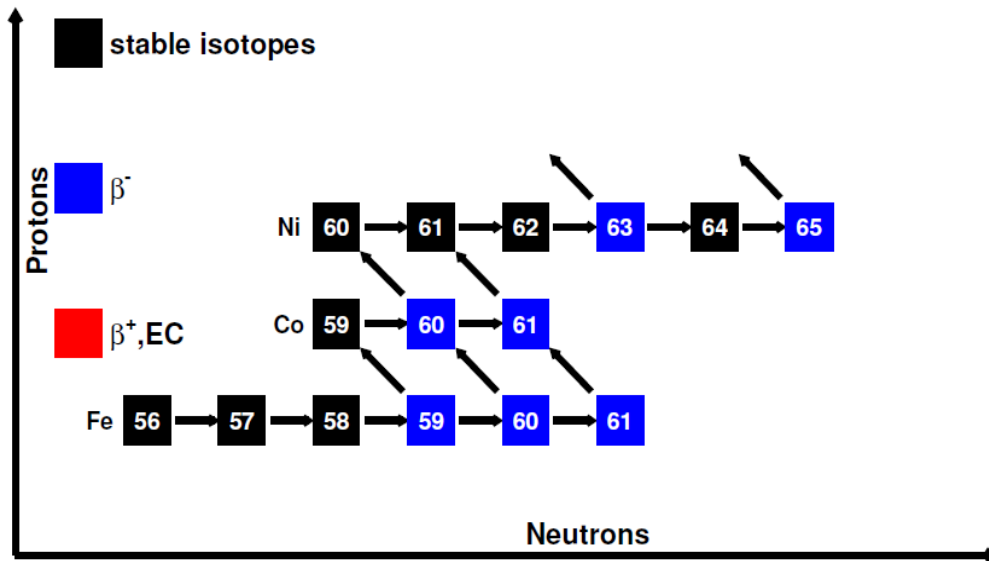
Nuclear density distributions, single-particle structure, shell-occupation probabilities, unbound states, nuclear resonances, transition strengths, astrophysical S factor, giant dipole and quadrupole strength, $B(E2)$, deformations, Gamov-Teller strength, γn reaction rates (for r-process nuclei), reaction mechanism, nuclear waste transmutation,...

Reaction type:

Elastic and inelastic pA scattering, total reaction and interaction cross sections, knockout and quasifree scattering, electromagnetic excitation and dissociation, charge-exchange reactions, fission, spallation, fragmentation

R3B и астрофизика

s-процесс в массивных звездах – ^{59}Fe , ^{60}Fe



$^{59}\text{Fe}(n,\gamma)$ via $^{60}\text{Fe}(\text{CD})$ – нейтроны детектируются детектором быстрых нейтронов.

Для теоретических расчетов s-процесса требуется информация о распределении силы $B(\text{GT})$ Гамов-Теллеровских переходов для низколежащих возбужденных состояний ядер.

$B(\text{GT})$ via $d\sigma/d\Omega(\text{CE})$ CE (charge exchange (p,n)) – нейтроны детектируются детектором медленных нейтронов.

R3B и астрофизика

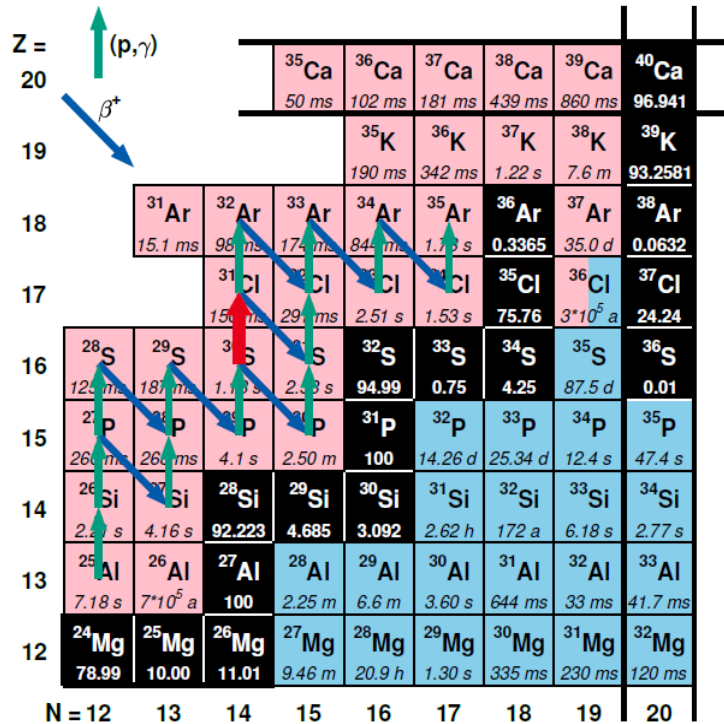
***r*-процесс** – более половины элементов тяжелее железа образуется в *r*-процессе

“neutrino-driven wind” model – реакции с ядрами легких элементов
 $^{11,12,13,14}\text{B}(n,\gamma)$ via $^{12,13,14,15}\text{Be}$ (CD)

***i*-процесс** – промежуточный между *r*- и *s*- процессами – при высоких плотностях нейтронов

Количество образуемых в *i*-процессе ядер тяжелее ^{135}I зависит от сечения $^{135}\text{I}(n,\gamma)$
сечение $^{135}\text{I}(n,\gamma)$ via ^{136}I (CD)

R3B и астрофизика



rp-процесс в области легких элементов

$^{30}\text{S}(p,\gamma)^{31}\text{Cl}$ (красная стрелка)

сечение $^{30}\text{S}(p,\gamma)^{31}\text{Cl}$ via $^{31}\text{Cl}(CD)$.

протоны – регистрируются детектором
быстрых протонов

R3B

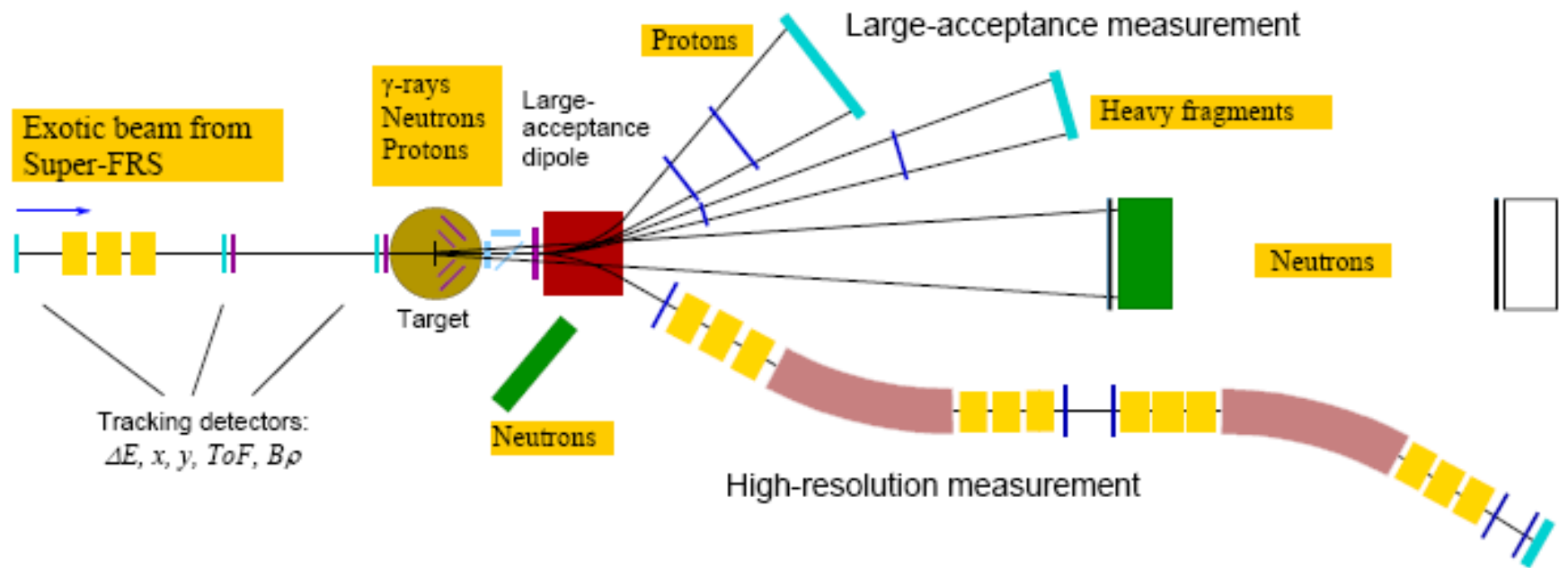


Figure 1: Schematic drawing of the experimental setup comprising γ -ray and target recoil detection, a large-acceptance dipole magnet, a high-resolution magnetic spectrometer, neutron and light-charged particle detectors, and a variety of heavy-ion detectors.

PNPI participation:

Neutron detector NeuLAND (HV system, construction of scintillator walls), proton tracking detector, active target(s).

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

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

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 RP408 из поливинилтолуола, фирма REXON в штате Огайо, США

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

Предполагаемый вклад ПИЯФ - 7 двойных слоев ?

Русские ФЭУ вместо японских ?

Испытания сцинтилляторов и ФЭУ на пучке протонов ПИЯФ.

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

В апреле 2013 принято решение о заключении договоров FAIR-PNPI по созданию системы высоковольтного питания ФЭУ и об участии в создании системы сцинтилляционных детекторов. В июле 2014 г. заключено соглашение о сотрудничестве ПИЯФ НИЦ КИ – FAIR GmbH.

PNPI – HV system:

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

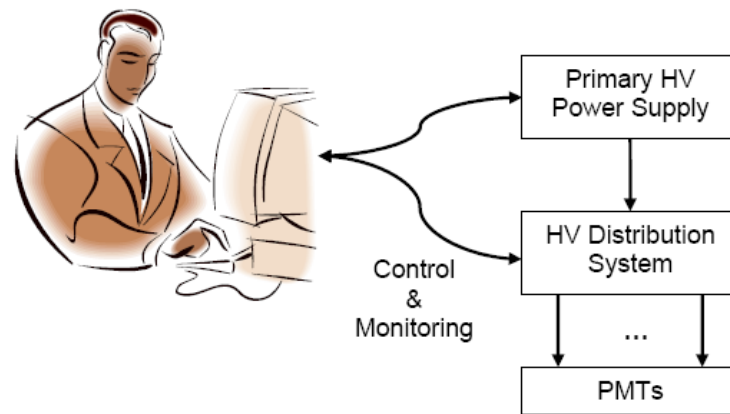
Регулировка напряжения: 0 – 1.5 kV

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.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).

Завершение работ по высоковольтной системе – в 2017 г.



Трековый детектор для R3B – детектор быстрых протонов

Вначале обсуждались дрейфовые камеры с гексагональной структурой.
(камеры расположены в воздухе)

ПИЯФ изготовил **две дрейфовые камеры** гексагональной структуры для регистрации протонов, размером **1.2x0.8 м²**, **со считывающей электроникой**. Каждая камера имеет 2 слоя ячеек X, и два слоя Y. Эти камеры используются в экспериментах LAND.

Теперь – **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 2x1 м² до 2.6x1.1 м².

Всего 2000 каналов + CROS3 readout ($\sigma_t = 0.8$ нс) (?).

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

TDR подготовлен.

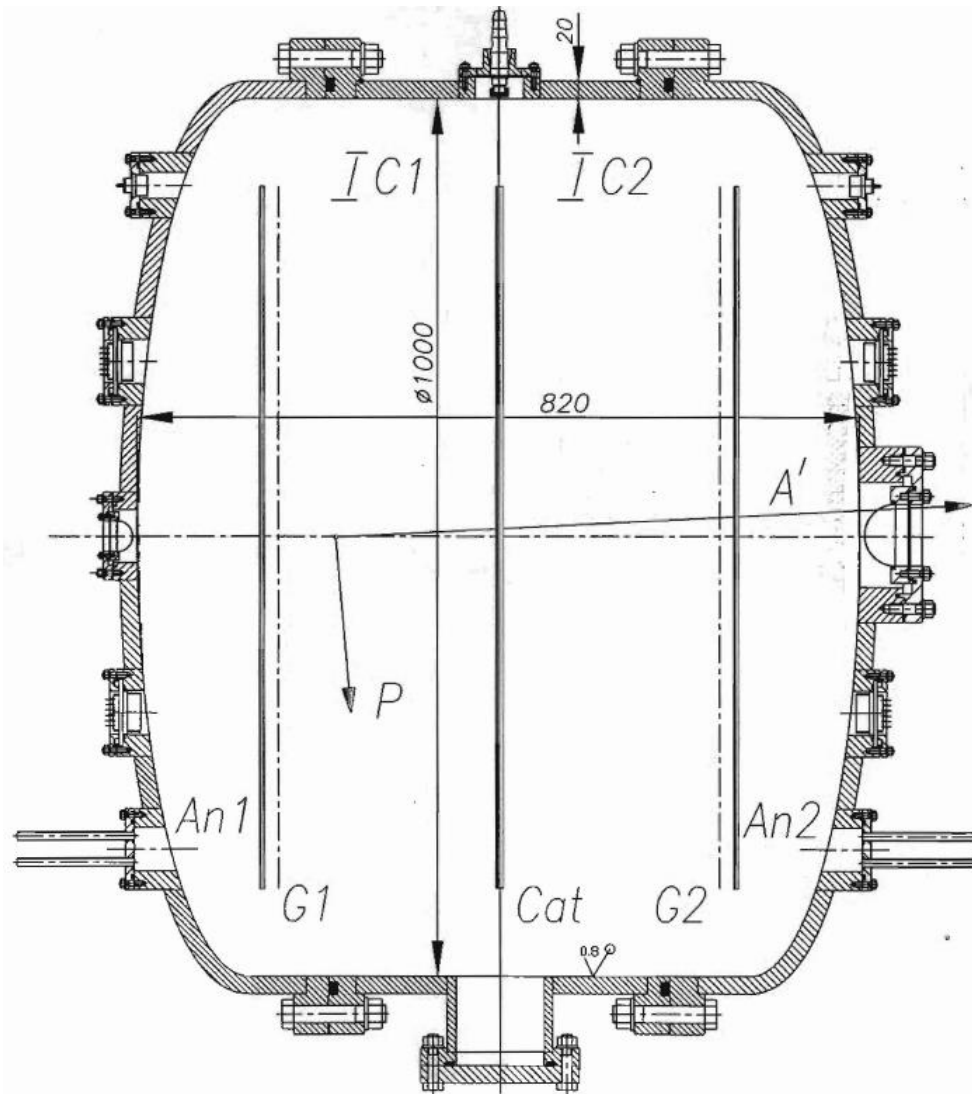
ACTAR

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

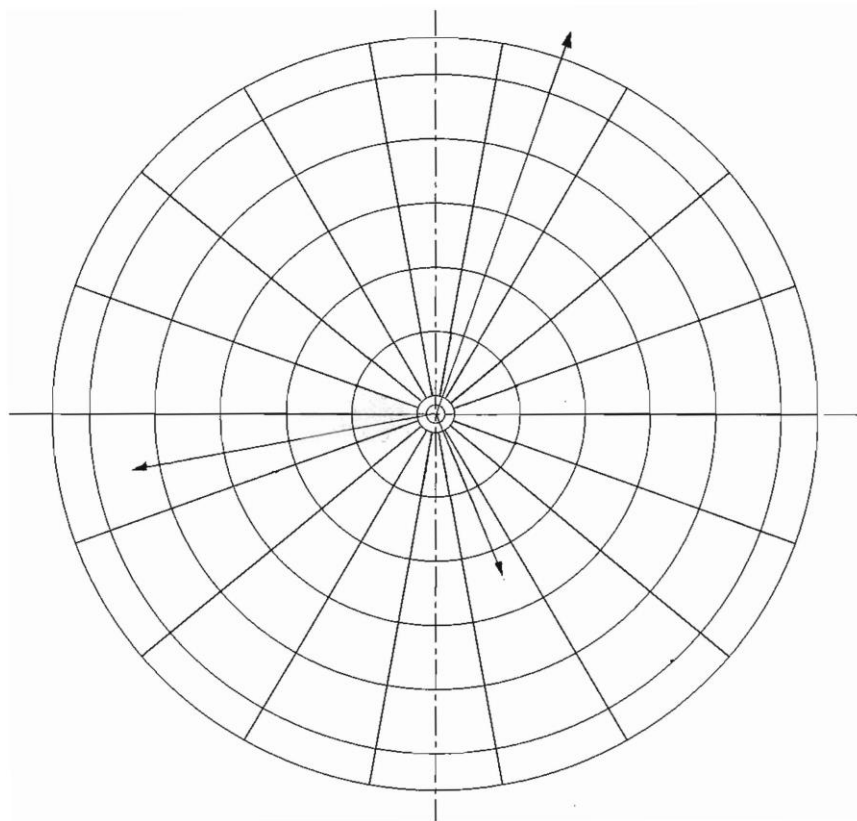
PNPI Gatchina: **Е.М. Маев**, Г.Д. Алхазов, Д.В. Балин, Л.Х. Батист, А.В. Добровольский, А.Г. Инглесси, Г.А. Королев, А.В. Ханзадеев, Г.Е. Петров, В.В. Саранцев, Л.О. Сергеев, В.И. Яцура.



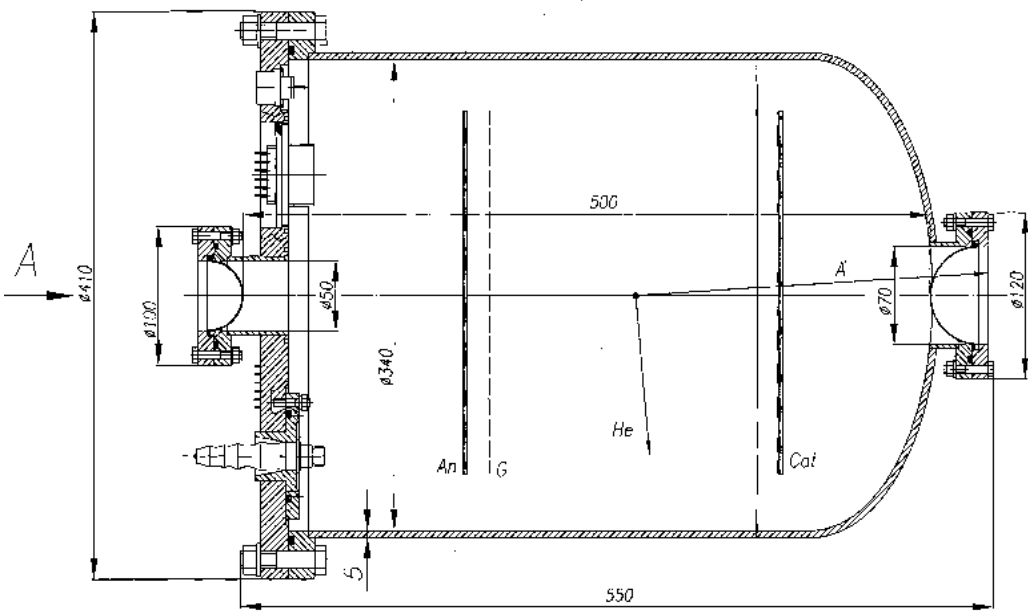
Камера
АСТАР1

Прототип –
ИКАР

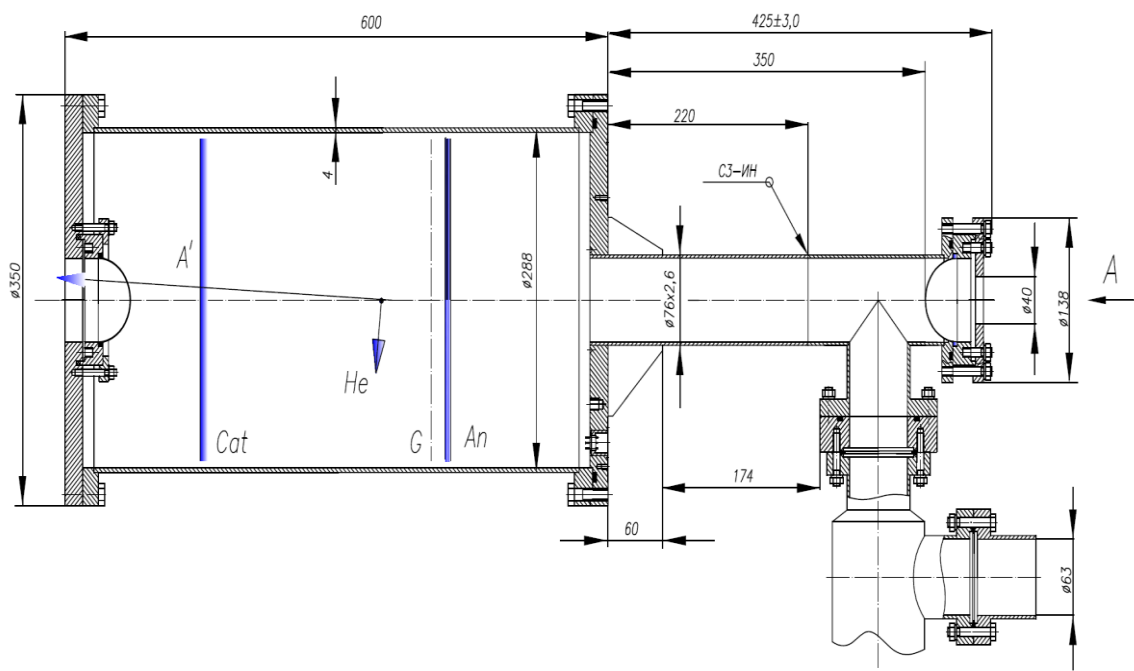
Давление: 1 – 20 bar $E_{p(max)} \approx 11$ MeV



Секционированный анод камеры Astar1



Камера Actar2

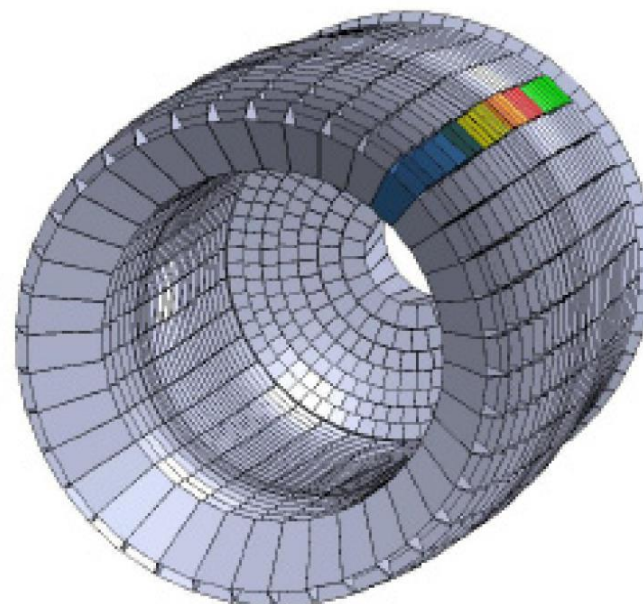


Прототип камеры Actar2

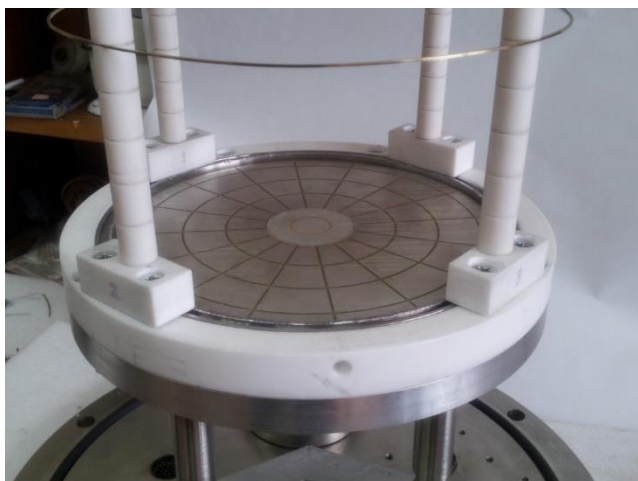
Неупругое рассеяние на ядрах α -частиц в инверсной кинематике



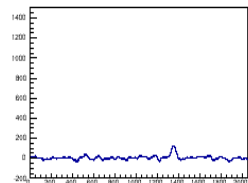
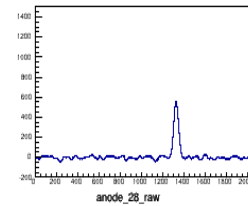
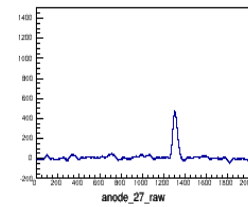
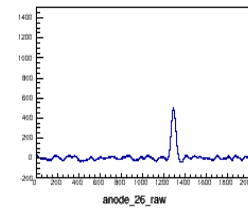
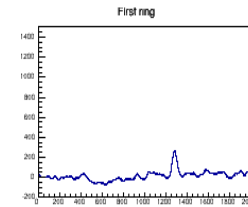
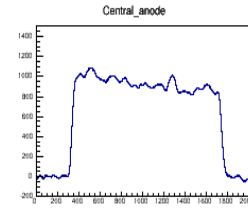
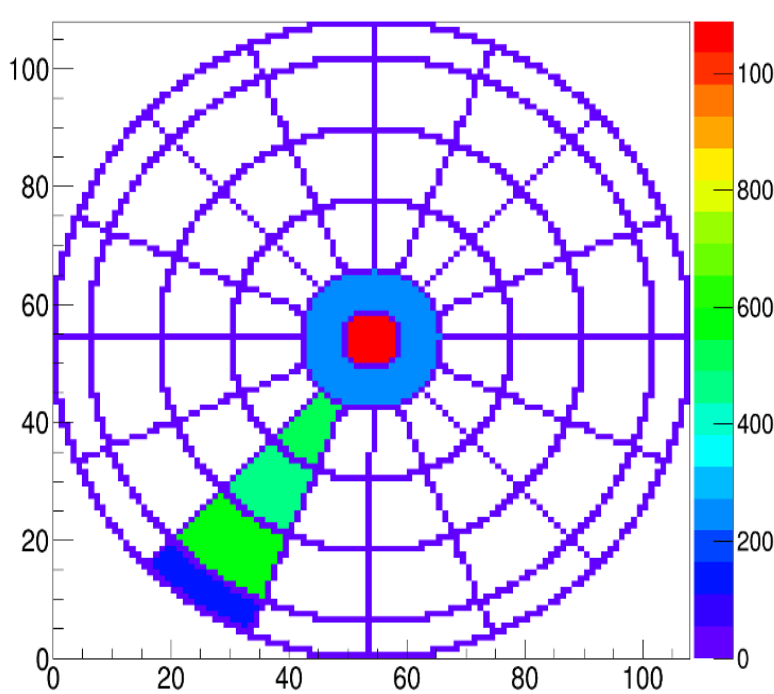
Прототип камеры ACTAR2 $E_{\alpha} = 1-10$ МэВ
The length – 60 cm, the inner diameter – 28 cm,
the working pressure – 10 bar.



Общий вид калориметра-спектрометра
CALIFA (вид по пучку) (Дубна).



Segmented anode



Эксперимент в GSI в апреле 2014 г.
 Пучок ^{58}Ni , ~ 700 МэВ/у.
 Сигнал от протона отдачи,
 $E_p = 2.2$ МэВ,
 $P = 5$ бар, He + 10% H_2

The list of the contracted and intended contributions of the Russian Federation to the construction of the FAIR experiments

19.08.2014

#	FAIR experiment	Russian Institutes, Contributions and Coordinators.	Contribution status.	Cost-book value (in 2005 prices), in M Euro.
4	NuSTAR	PNPI-Gatchina, High voltage system for NeuLAND (R3B), Victor Golovtsov.	The Collaboration contract between PNPI-Gatchina and FAIR was signed on 08.07.2014.	0. 415 → ~ 0.570
5	NuSTAR	PNPI-Gatchina, Scintillator plates and read-out electronics for NeuLAND (R3B), Viacheslav Kuznetsov.	Assigned by the FAIR Council on 09.07.2013. 0, 335 M Euro – scintillator plates, 0, 250 M Euro – read-out electronics	0. 585 ?
13	NuSTAR	PNPI-Gatchina, The remaining part of the NeuLAND detector in R3B, Viacheslav Kuznetsov.	TDR was approved by FAIR ECE in January 2013.	0. 250 ?
24	NuSTAR	PNPI-Gatchina, Active hydrogen target ACTAR , Evgeny Maev.	TDR is expected to be ready in 2015.	0. 955
32	NuSTAR	PNPI-Gatchina, the tracking detectors for R3B, Anatoli Krivchitch.	TDR is expected to be approved in 2015.	0. 480
			TOTAL COST OF ALL CONTRIBUTIONS	53. 578
			TOTAL COST OF PNPI CONTRIBUTION	2.685 → 3.600

Задачи 2015 г.:

- закончить TDR по активным мишеням
- продолжить работу по созданию HV-системы для NeuLAND
- подготовить контракт и начать работу по протонному трековому детектору
- выяснить возможность использования российских ФЭУ для детектора NeuLAND