

# Эксперимент R3B

## на ускорительном комплексе FAIR

**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

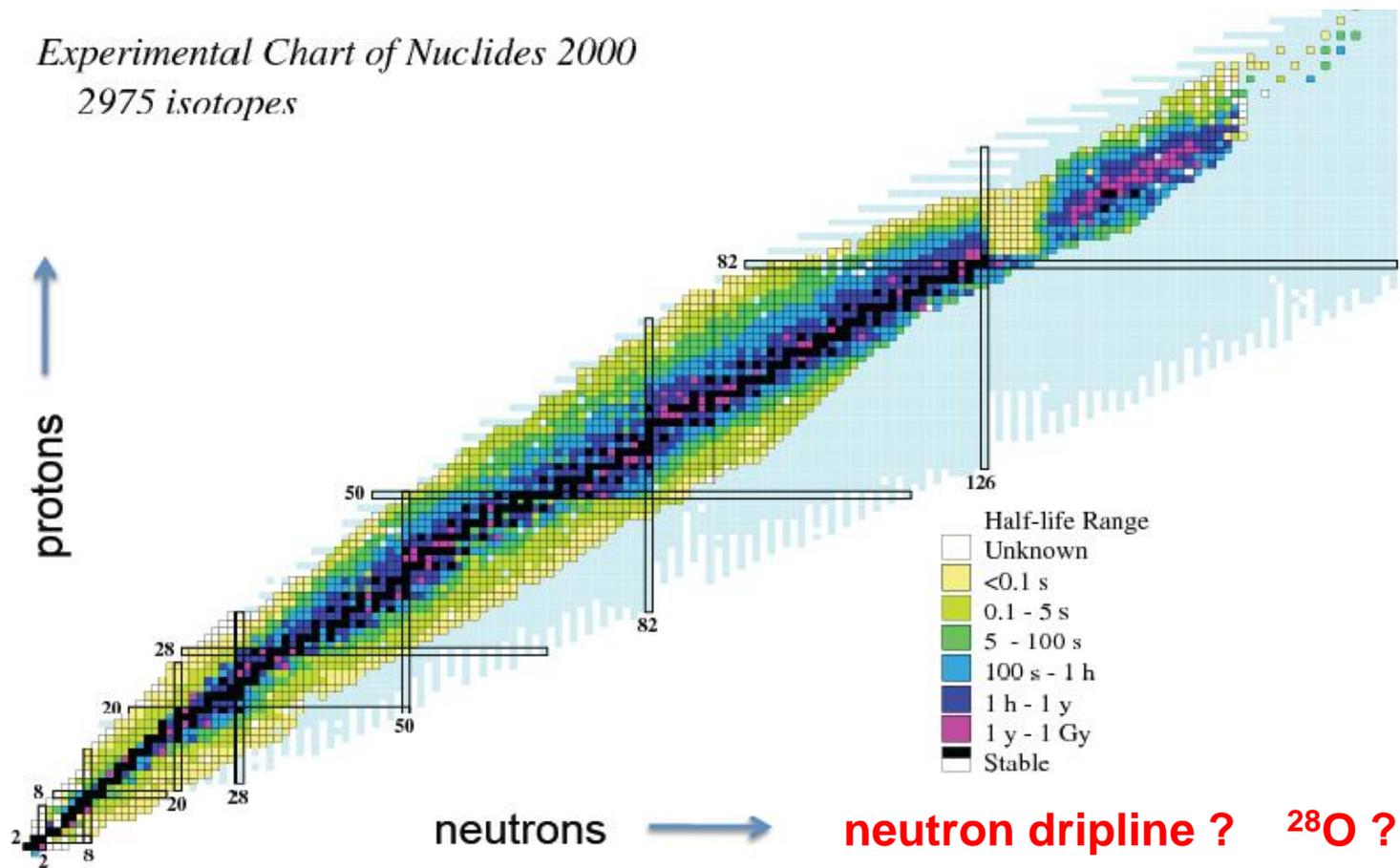
**ELISE** – Electron scattering in a storage ring

**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

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** – 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.)

Полные сечения реакций и сечения взаимодействия –  $R_m$

Сечения реакций с изменением заряда –  $R_{charge}$

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  $(p,pn)$  –

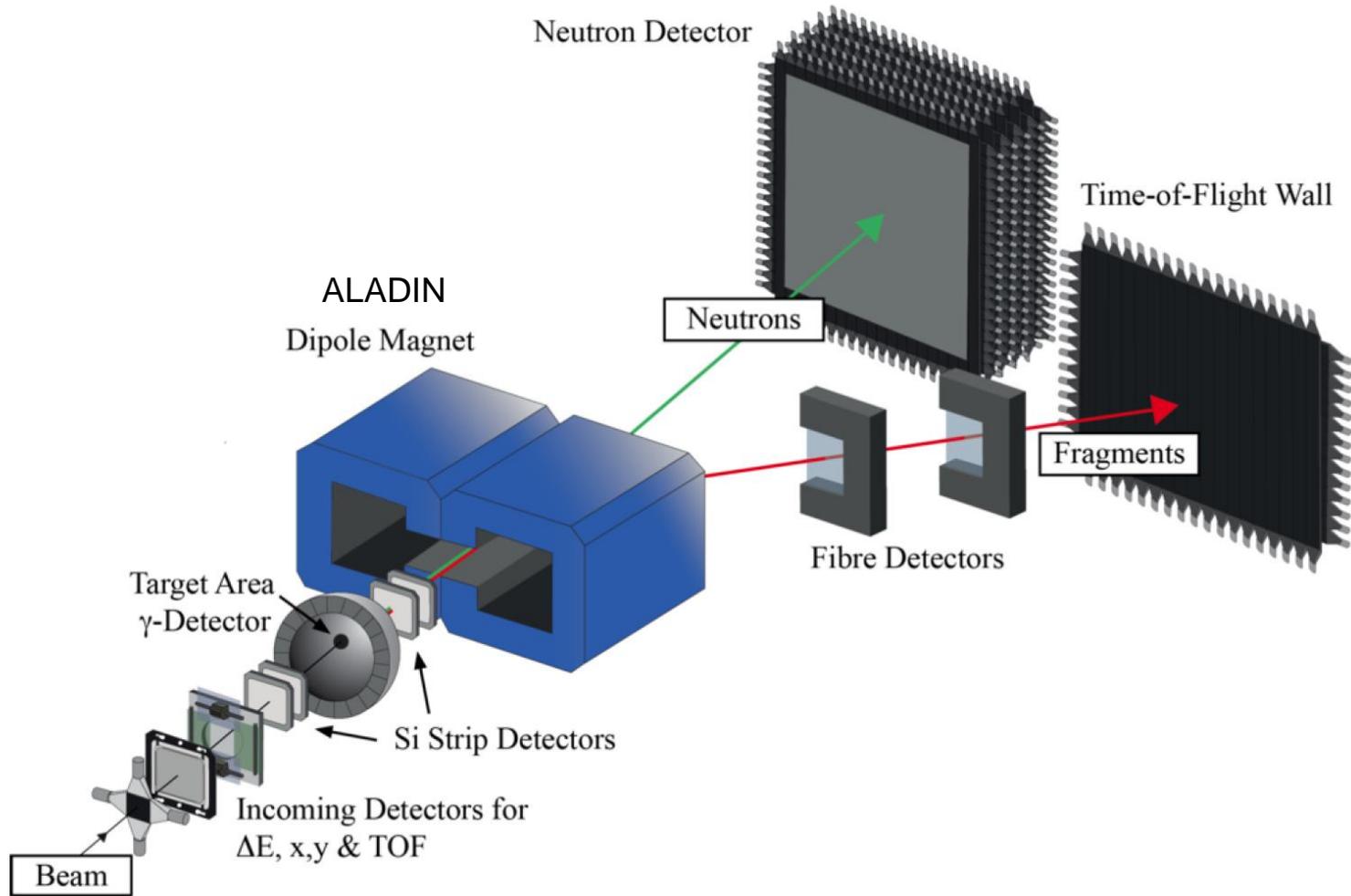
энергии протонных и нейтронных дырочных состояний,

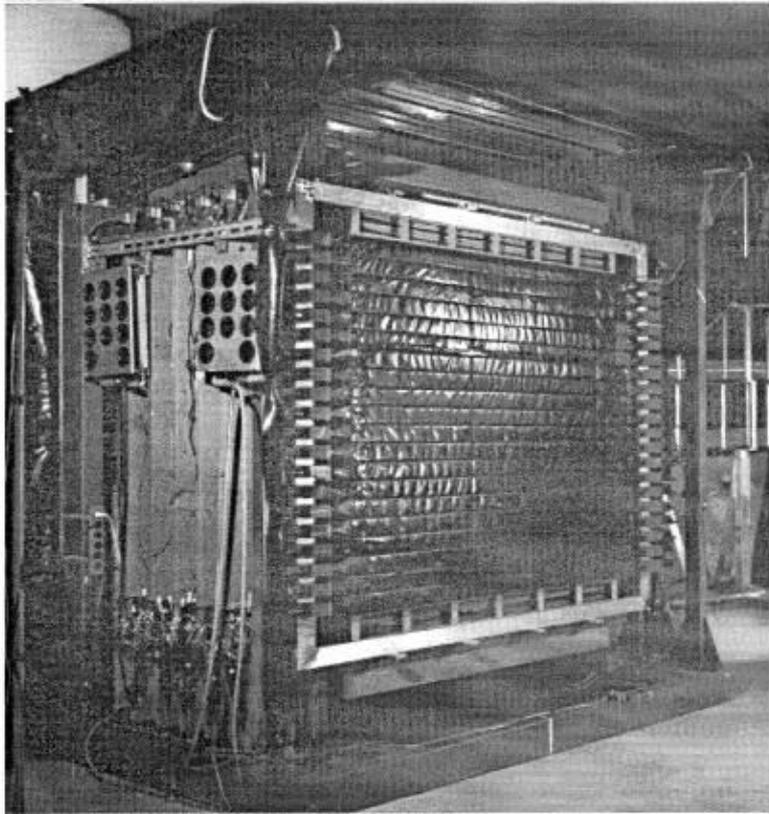
импульсные распределения нуклонов на выделенных оболочках

Исследование несвязанных резонансных ядерных состояний

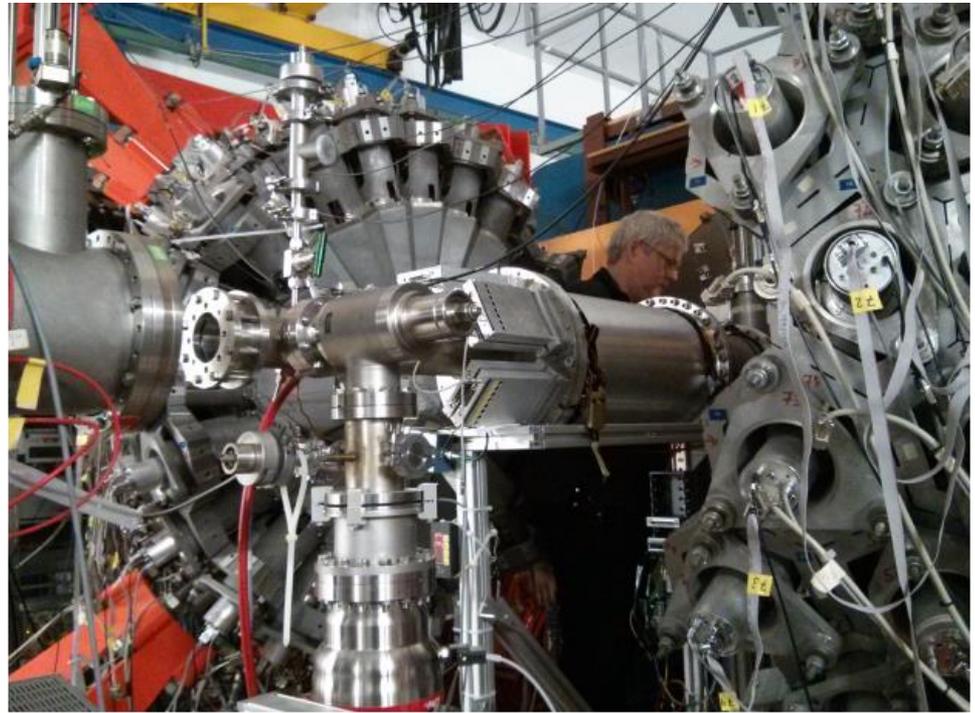
Сечения делений экзотических ядер

# LAND





Нейтронный время-пролетный  
детектор LAND



Гамма детектор Crystal ball

Детектор медленных нейтронов LENA

**R3B**

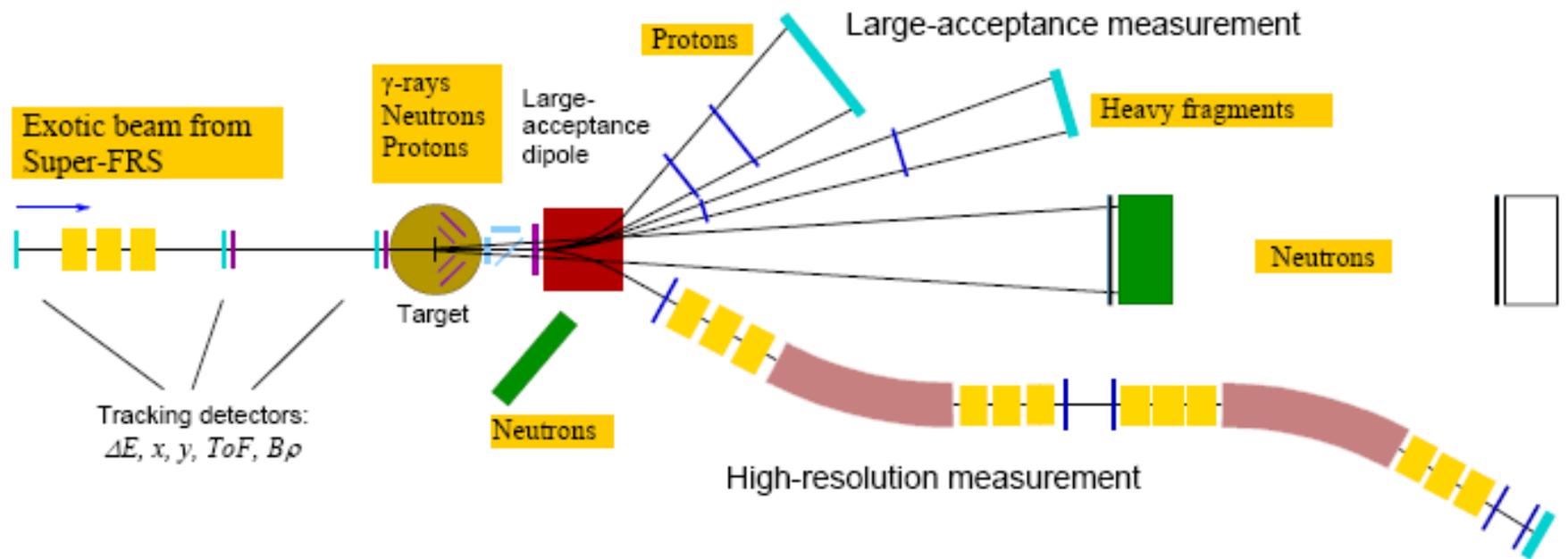


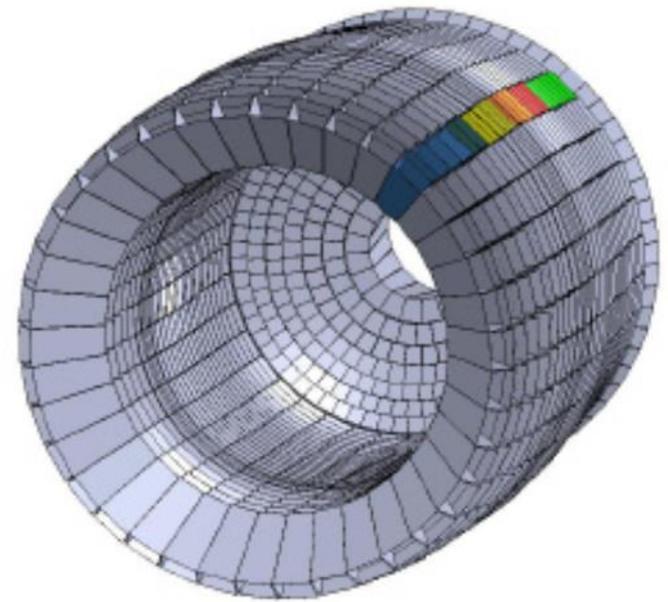
Figure 1: Schematic drawing of the experimental setup comprising  $\gamma$ -ray and target recoil detection, a large-acceptance dipole magnet, a high-resolution magnetic spectrometer, neutron and light-charged particle detectors, and a variety of heavy-ion detectors.

## PNPI participation:

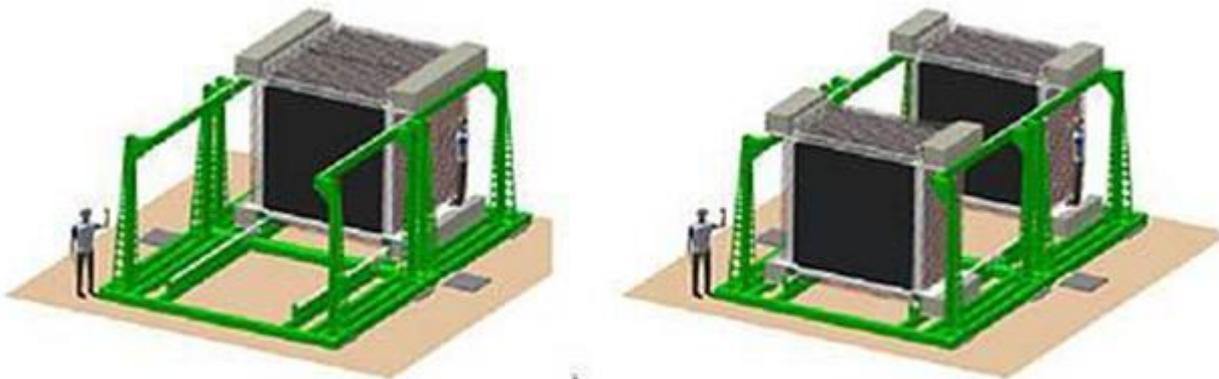
Neutron detector NeuLAND (HV system, construction of scintillator walls), proton tracking detector, active target(s).



Магнит GLAD



Гамма детектор CALIFA



Время-пролетный нейтронный детектор NeuLAND

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

## Новый вариант детектора NeuLAND:

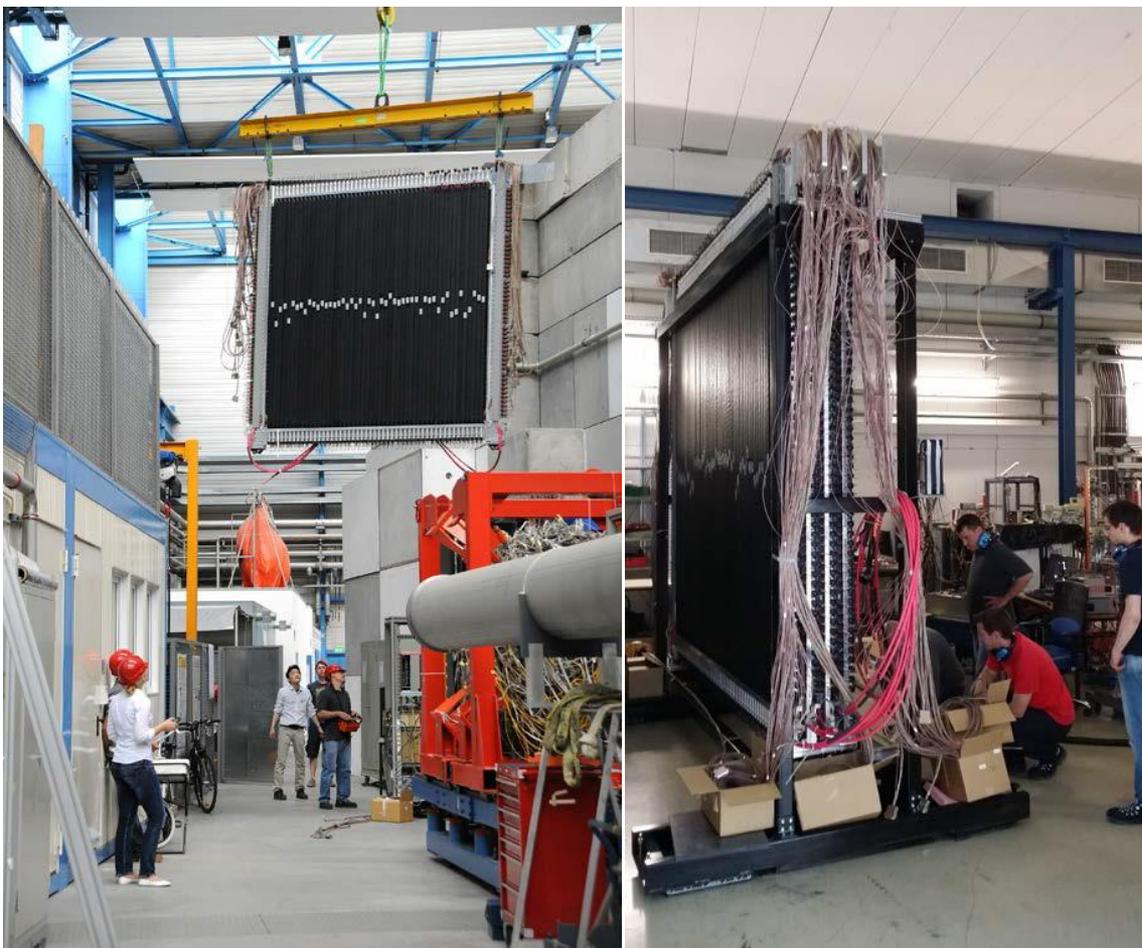
с использованием сцинтилляционных детекторов,  
но при этом без железного конвертора

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

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





Сборка первых 5 двойных плоскостей детектора NeuLAND в GSI

Полные сечения реакций и сечения взаимодействия –  $R_m$

Сечения реакций с изменением заряда –  $R_{charge}$

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,

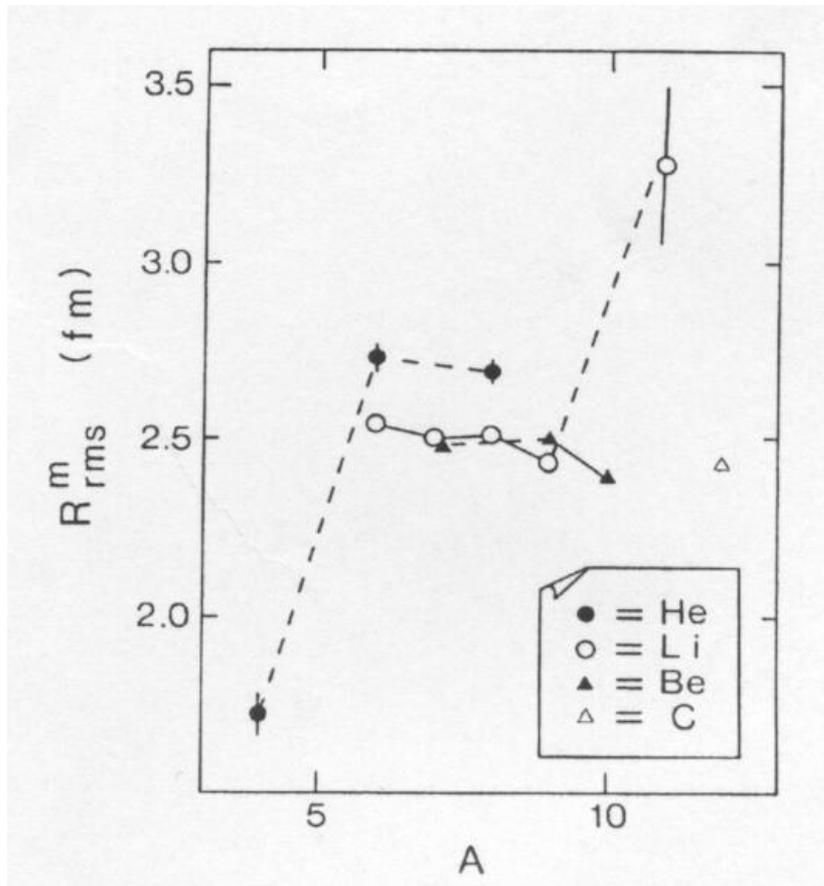
импульсные распределения нуклонов на выделенных оболочках

Исследование несвязанных резонансных ядерных состояний

Сечения делений экзотических ядер

I.Tanihata,

P.G.Hansen, B.Jonson



$$\sigma_{\text{react}} \approx \sigma_{\text{int}} = t^{-1} \ln (N_{\text{inc}} / N_{\text{out}})$$

$t$  – target thickness

(the number of nuclei per unit area)

$N_{\text{inc}}$  – number of incoming nuclei

$N_{\text{out}}$  – number of outgoing nuclei

$$\sigma_{\text{react}} \approx \pi (R_P + R_T)^2$$

Измерены сечения реакций у более сотни изотопов легких ядер

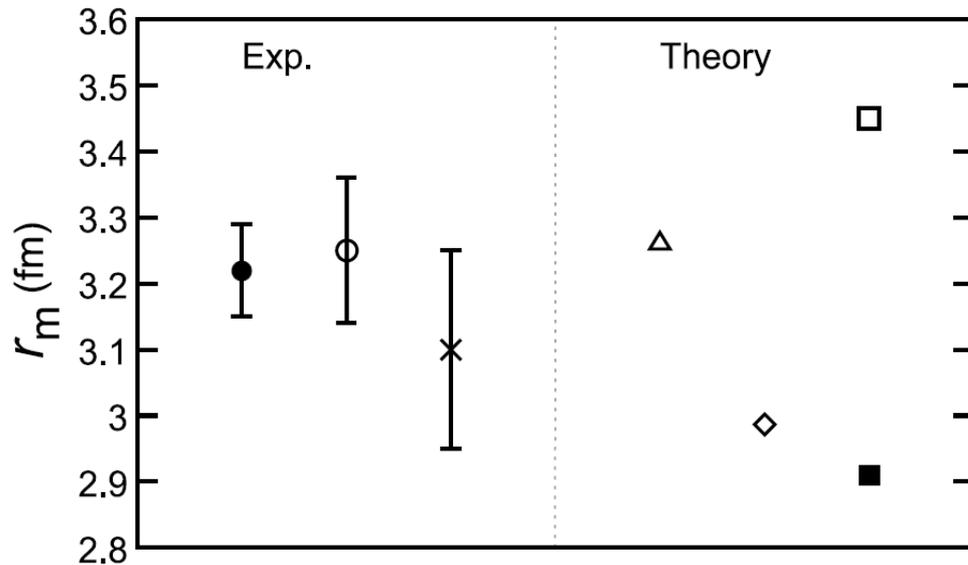
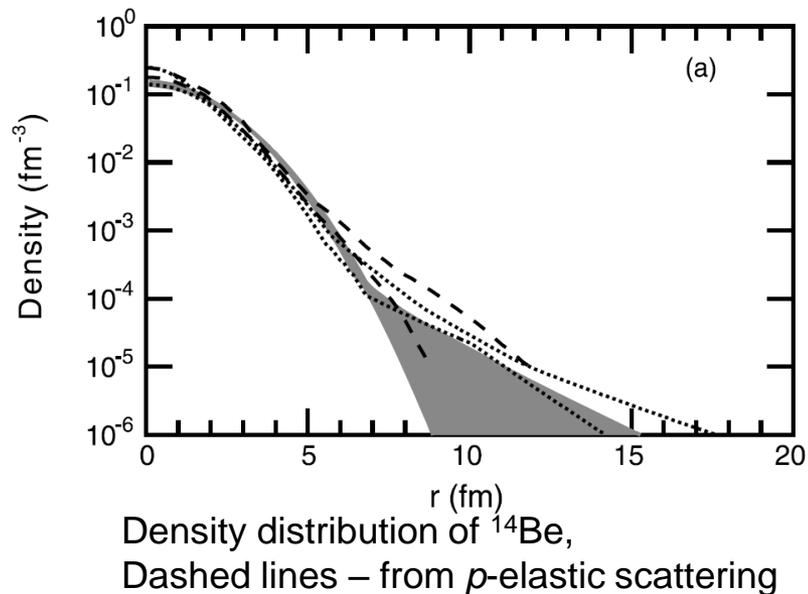
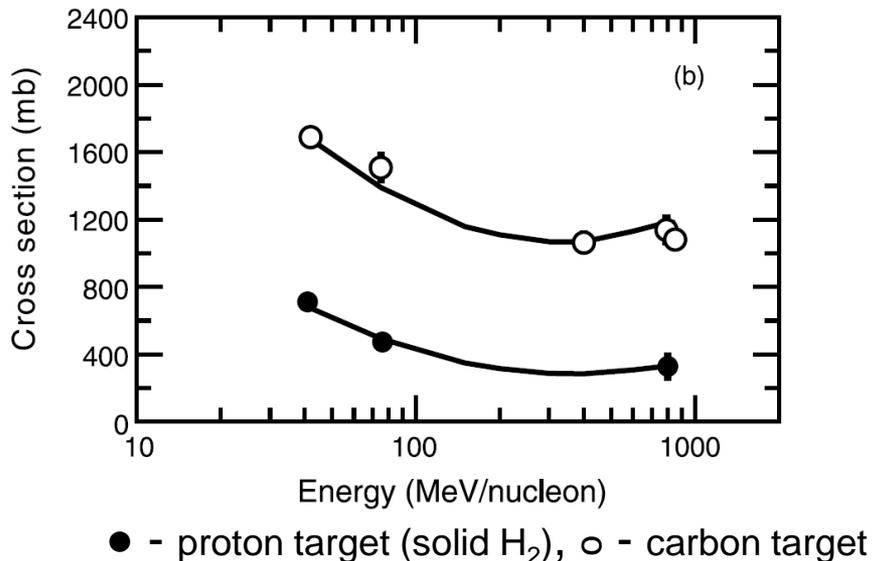


Isolde: R.Fergeau, F.Touchard, A.Poskanzer ( $^{11}\text{Li}$ ),  
B.Jonson, G.Hansen, S.Mattson, R.Klapish (sc. dir. CERN)



Bjorn Jonson, speech for the 2012 Nobel prize

## Density distribution of $^{14}\text{Be}$ from $\sigma_{\text{react}}$



● - this work,  
○ - from  $p$ -elastic scattering

astrophysics

## Charge changing cross section $\sigma_{cc} \rightarrow R_p$

### Proton radius of $^{14}\text{Be}$

$$^{14}\text{Be} + ^{12}\text{C}, 833 \text{ MeV/u: } \sigma_{cc} = 697 \pm 4 \text{ mb}; \quad (\sigma_{\text{int}} = 1089 \pm 40 \text{ mb})$$

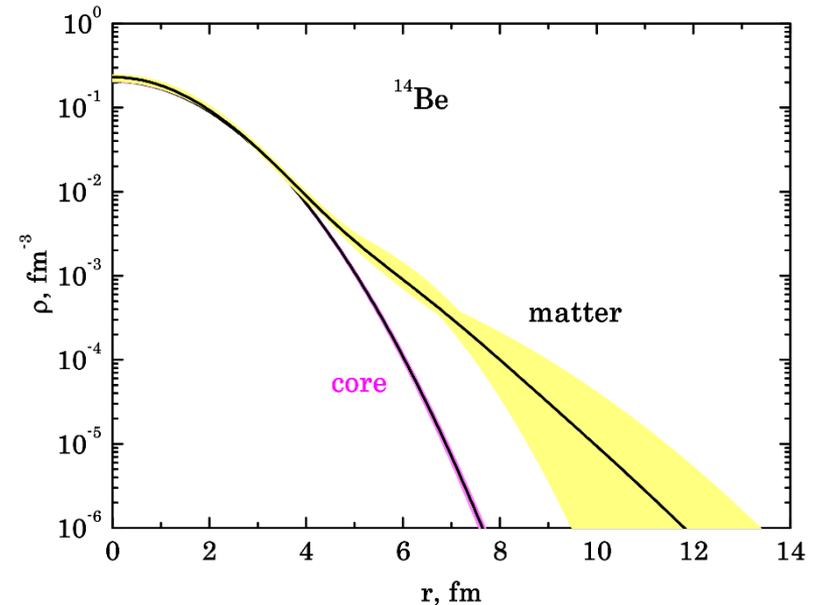
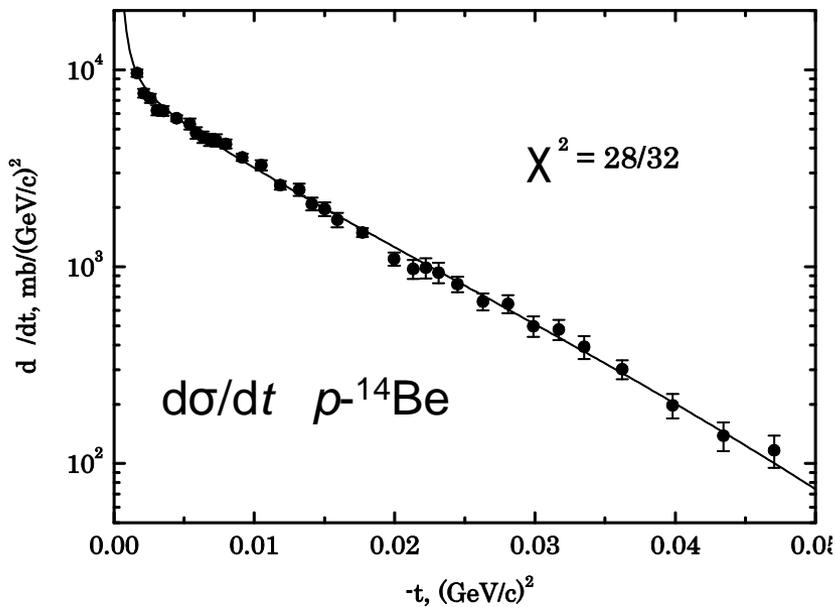
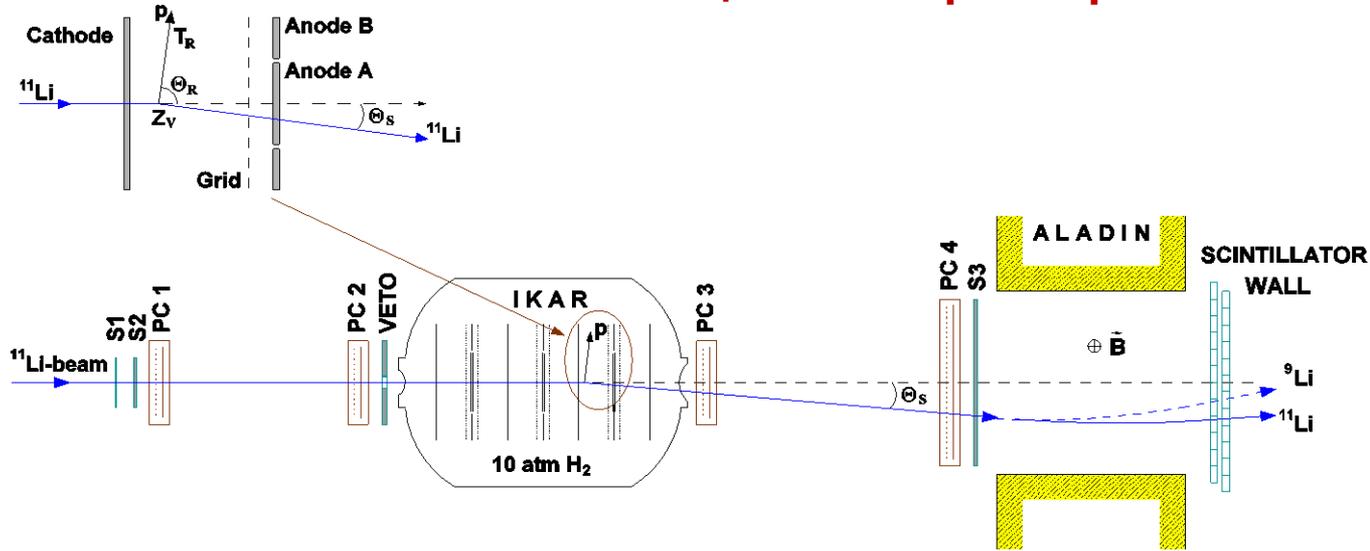
$$\sigma_{cc} = \pi[R_{\text{int}}(\text{T}) + R_p(\text{P})]^2$$

$$R_p = 2.41 \pm 0.06 \text{ fm}$$

$$\text{From } p\text{-elastic scattering: } R_{\text{core}}(^{10}\text{Be}) = 2.54 \pm 0.11 \text{ fm}, \\ R_{\text{m}}(^{14}\text{Be}) = 3.25 \pm 0.11 \text{ fm}.$$

$$Z = 4; N = 10; N - Z = 6. \quad R_n - R_p = 1.12 \pm 0.14 \text{ fm}.$$

# Исследование распределений материи в легких экзотических ядрах с помощью спектрометра ИКАР



Распределение ядерной материи в ядре  $^{14}\text{Be}$ ;  $R_{\text{core}}$ ,  $R_{\text{halo}}$ ,  $R_{\text{matter}}$

## Кулоновская диссоциация и $R_{\text{c-см}}$

При малых  $t$  сечение кулоновской диссоциации  
 $d\sigma/dt \sim R_{\text{c-см}}^2 \langle r_{\text{c-см}}^2 \rangle$ .

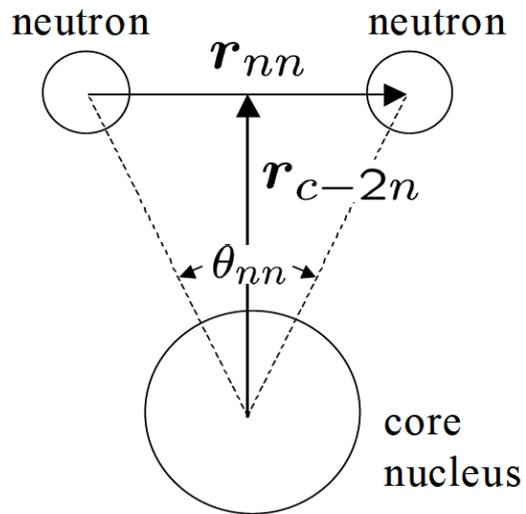
${}^6\text{He}$  :  $R_{\text{c-см}} = 1.12 \pm 0.13 \text{ fm}$  ;  $R_{\text{c}} = 1.88 \pm 0.12 \text{ fm}$  (из данных по упругому рассеянию)

$$R_{\text{c}}^* = (R_{\text{c}}^2 - R_{\text{c-см}}^2)^{1/2} = 1.51 \pm 0.18 \text{ fm} \quad (R_{\alpha} = 1.49 (1) \text{ fm})$$

$$R_{\text{h}} = 2.97 \pm 0.26 \text{ fm} ; R_{\text{dn}} = [R_{\text{h}}^2 - A_{\text{c}}^2 R_{\text{c}}^{*2}/4]^{1/2} = 1.95 \pm 0.50 \text{ fm}$$

Теория –  $R_{\text{dn}} = 2.3 - 2.5 \text{ fm}$

## Кулоновская диссоциация и геометрия ядра $^{11}\text{Li}$



$$r_{c-2n} = 5.15 \pm 0.33 \text{ fm}$$

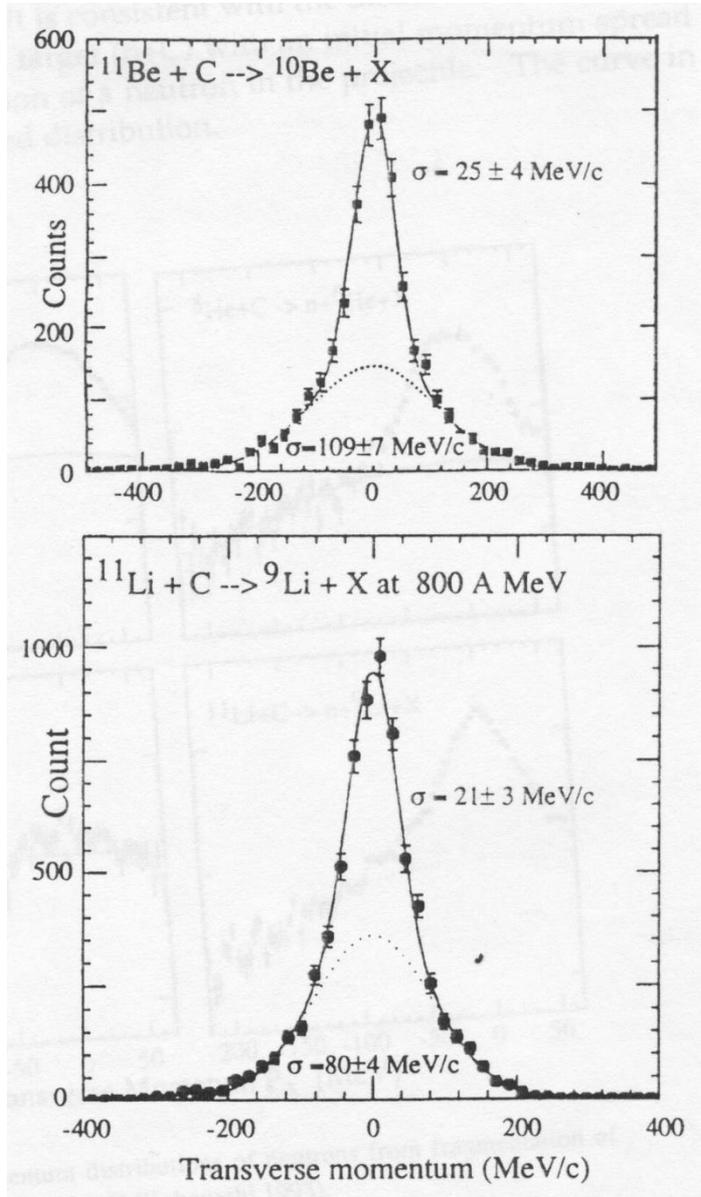
$$r_m = 3.12 \text{ fm}$$

$$r_{nn} = 5.50 \pm 2.24 \text{ fm}$$

$$\theta_{nn} = 56^\circ \pm 20^\circ$$

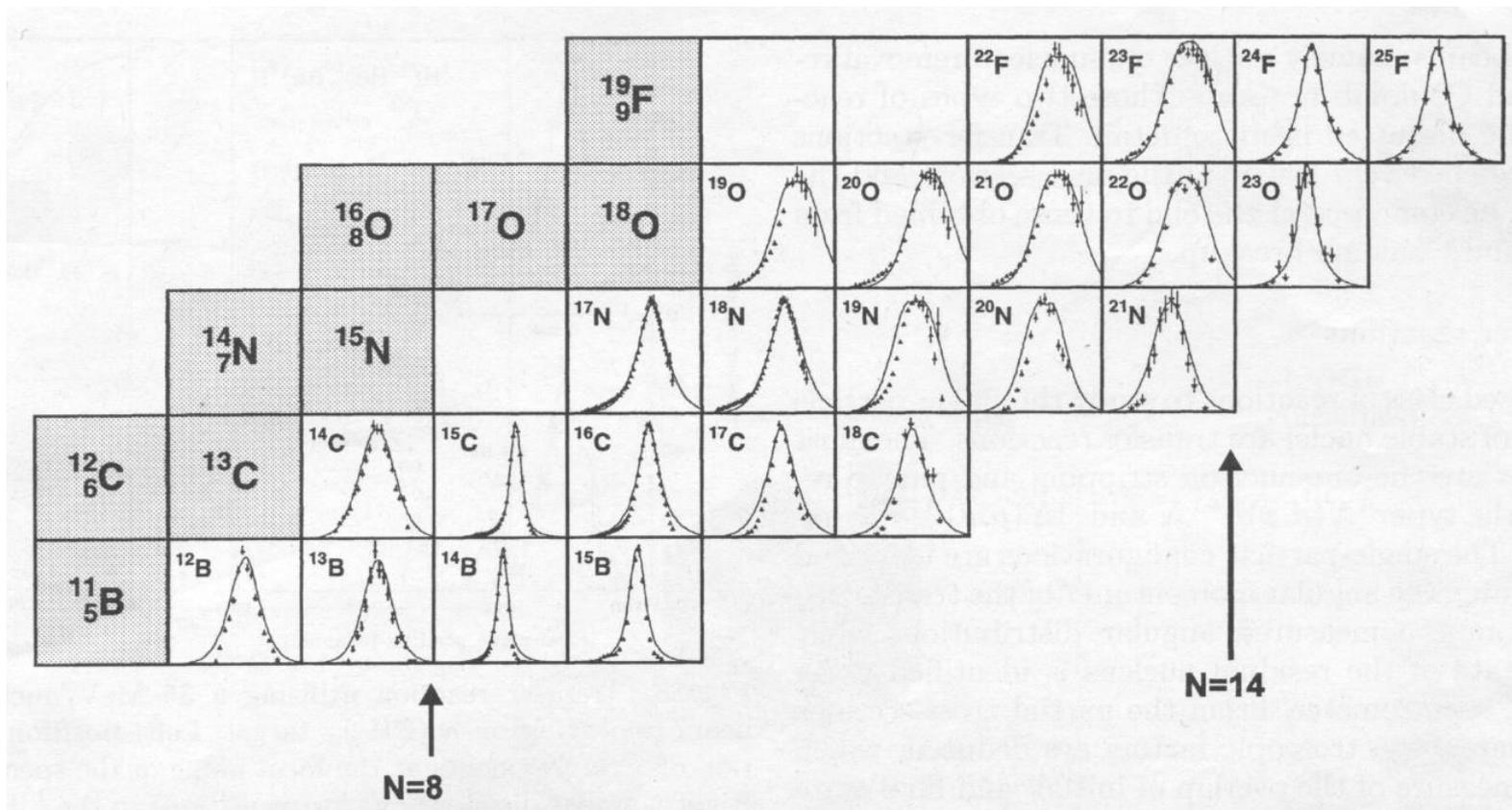
$^{14}\text{Be}$ ,  $^{15}\text{Ne}$

## Фрагментация ядер. Выбивание 1-ого нейтрона



Распределения фрагментов по поперечному импульсу

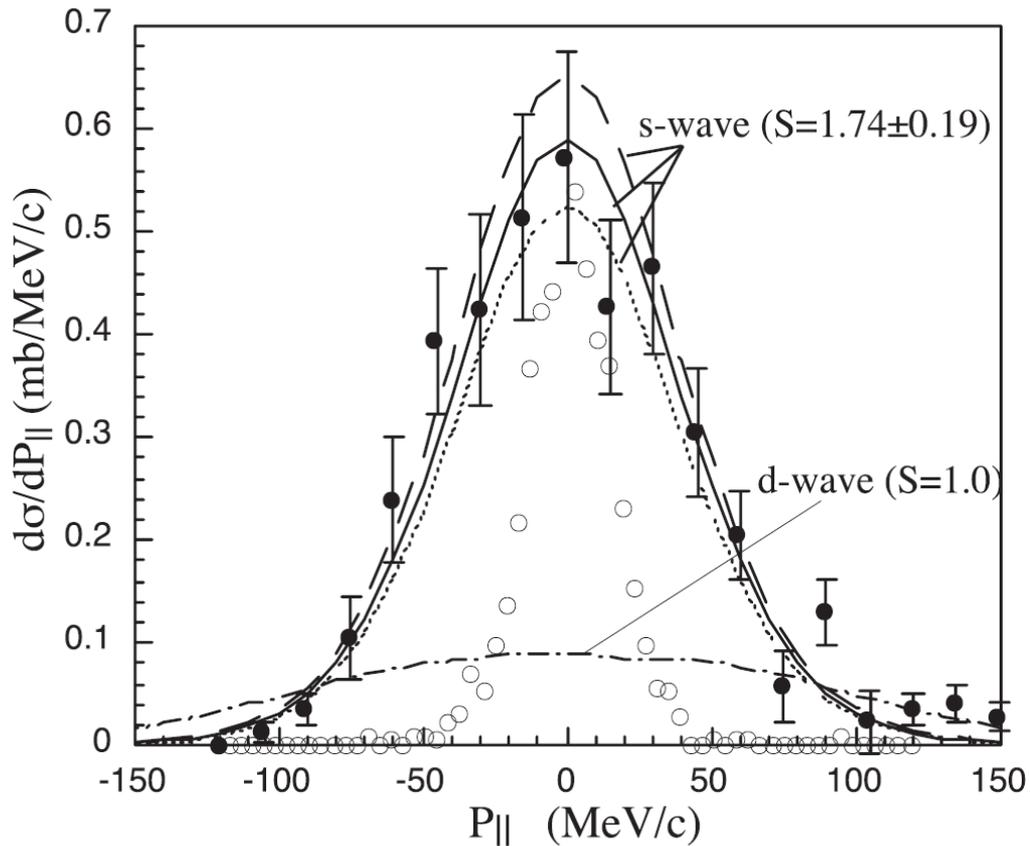
# Распределения A-1 фрагментов по продольному импульсу



Магические числа: 2, 8, 20, 28, 50, 82, 126

Новые магические числа:  $N = 14$ , 16 ( $^{24}\text{O}$ ), 34 ( $^{54}\text{Ca}$ )  $^{28}\text{O}$  ?

$^{24}\text{O} \rightarrow$  фрагментация ядер  $^{48}\text{Ca}$  (1 GeV/u) на бериллиевой мишени



Сплошная линия –  
Нейтроны с орбитали  $2s_{1/2}$

Штрих-пунктирная линия –  
нейтроны с  $1d_{5/2}$  орбитали

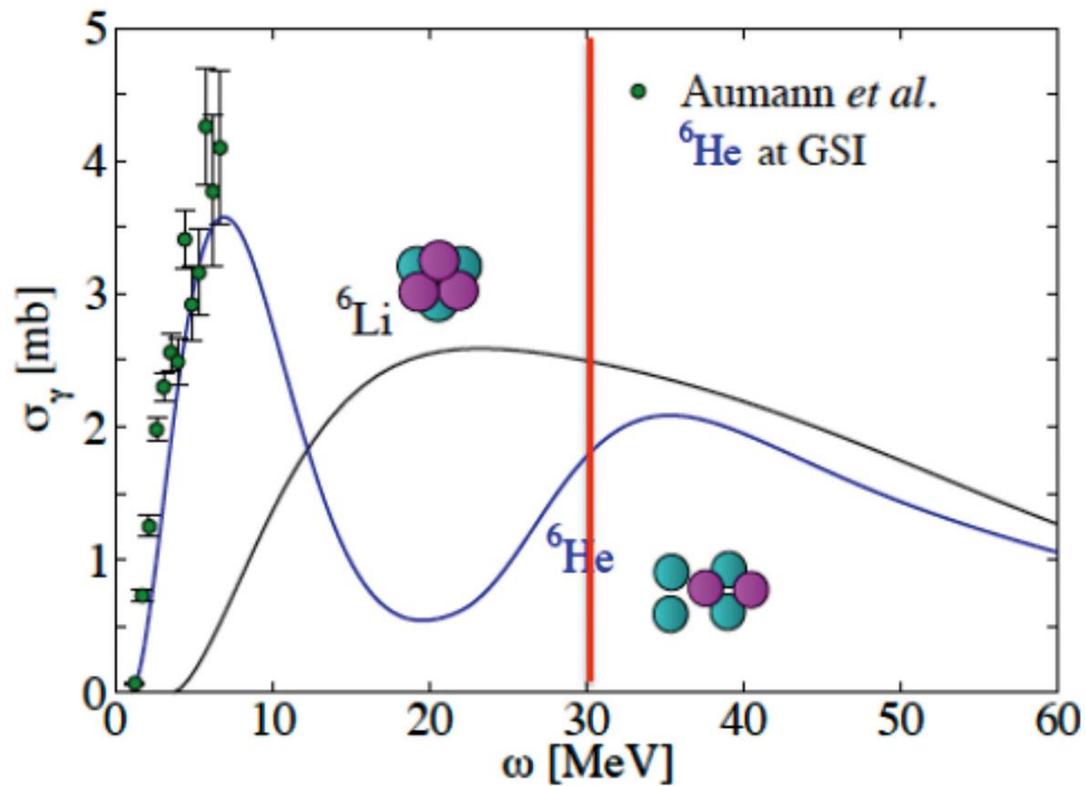
$$\sigma_n = 63 \pm 7 \text{ mb}$$
$$S = 1.74 \pm 0.19$$

$$s_n = 3.61 \pm 0.27 \text{ MeV}$$

Распределение продольных импульсов  $^{23}\text{O}$   
после фрагментации  $^{24}\text{O}$  на углеродной мишени

$^{24}\text{O}$  – дважды-магическое ядро

## Кулоновская диссоциация ядра ${}^6\text{He}$



## Кулоновская диссоциация и структура основного состояния ядер

Волновая функция  $^{35}\text{Al}$ :

$^{35}\text{Al}$  – фрагментация 530 MeV/u  $^{40}\text{Ar}$  на  $^9\text{Be}$  мишени

Кулоновская диссоциация на ядре  $^{208}\text{Pb}$ ,

ядерная фрагментация на ядре  $^{12}\text{C}$

Основное состояние ядра  $^{35}\text{Al}$  –  $(5/2)^+$

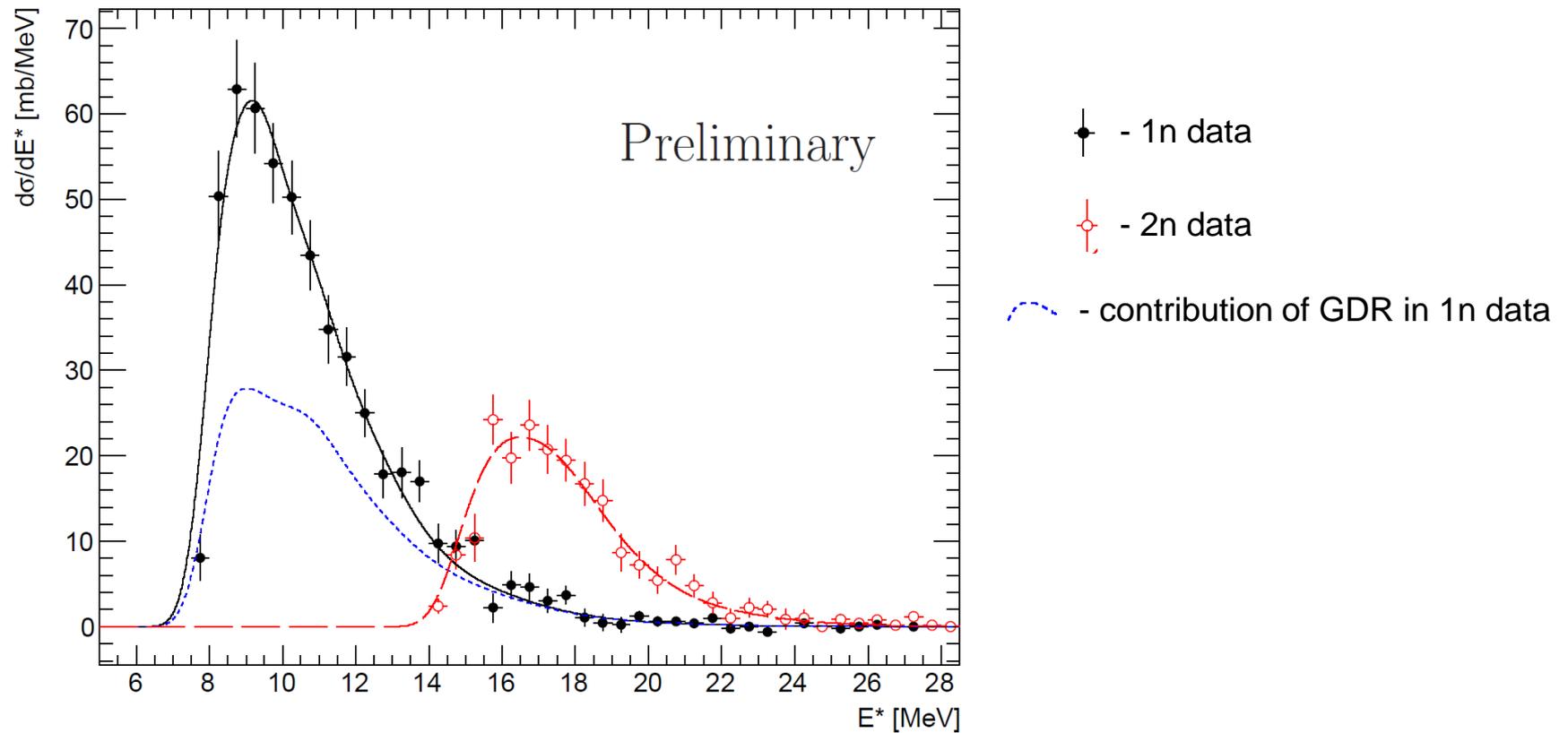
$^{35}\text{Al} = ^{34}\text{Al} + n$ ; нейтронная орбиталь –  $p_{3/2}$  или  $f_{7/2}$  ?

Теория:  $\sigma(p_{3/2}) = 69 \text{ mb}$ ,  $\sigma(f_{7/2}) = 3 \text{ mb}$ .

Эксперимент:  $\sigma = 65 \pm 10 \text{ mb}$ .

# Кулоновское возбуждение и сила E1 перехода в ядре $^{68}\text{Ni}$

Кулоновское возбуждение ядер изотопов Ni с энергией 500 MeV/u

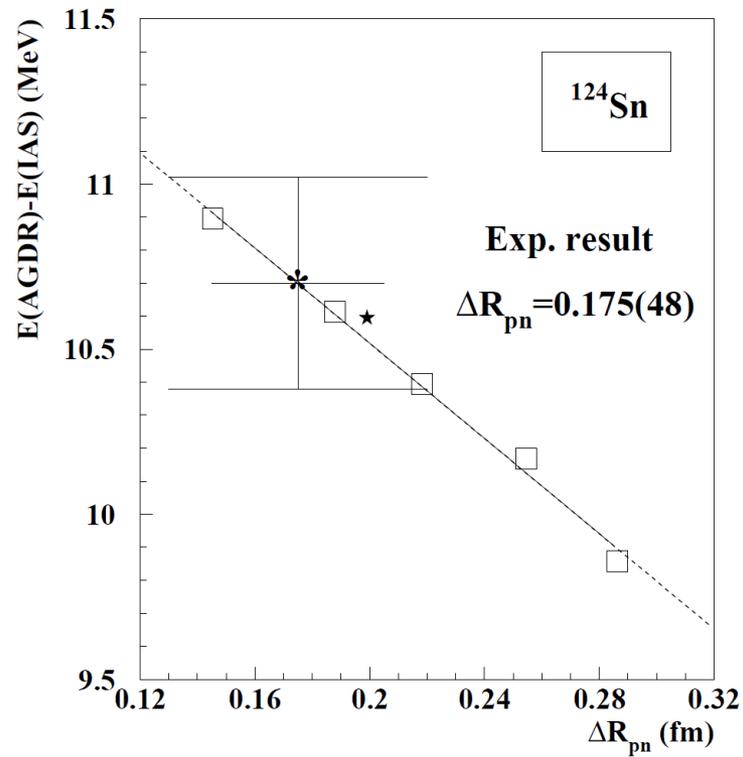
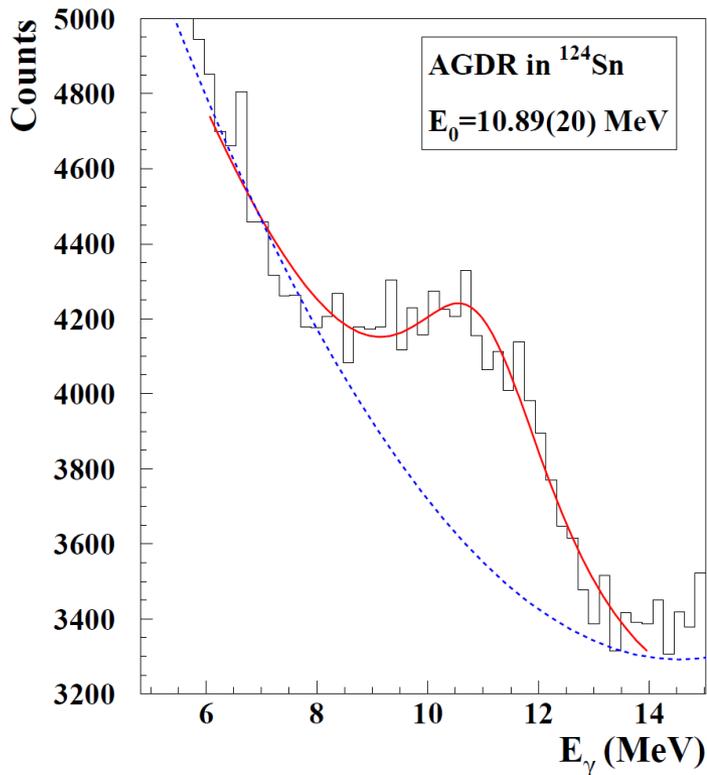


# Гигантские дипольные резонансы и толщина нейтронной шубы

GSI, 600 MeV/u  $^{124}\text{Sn}$ ,  $\text{CH}_2 - \text{C}$  targets, charge-exchange  $(p,n)$ -reaction:  $^{124}\text{Sn}(p,n)^{124}\text{Sb}$ ,

Target nucleus:  $T=T_0 = T_Z = 12$ . Daughter nucleus:  $T_Z = T_0 - 1$ ,  $T = T_0 - 1$ .

$E_n \approx 2.4$  MeV,  $\theta_n \approx 70^\circ$ ,  $E_{\text{ex}} = 10.7 \pm 0.3$  MeV



$$\Delta R_{np} = 0.175 \pm 0.048 \text{ fm}$$

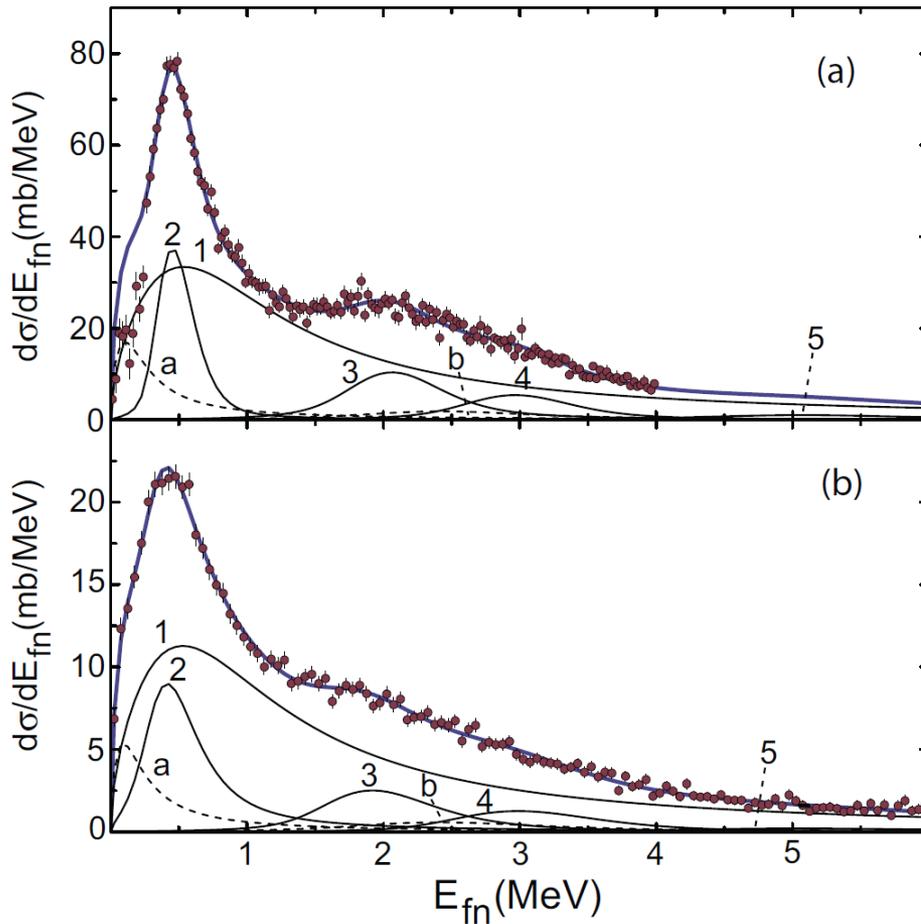
# Исследование несвязанных состояний ядер A-1

Structure of the unbound nucleus  $^{13}\text{Be}$ : One-neutron knockout reaction data from  $^{14}\text{Be}$

$^{14}\text{Be}$  from fragmentation of  $^{18}\text{O}$  beam, 304 MeV/u in a beryllium target,

$^{14}\text{Be}$  fragmentation on a hydrogen liquid target:  $^{13}\text{Be} = ^{12}\text{Be} + n$ ,

ALADIN + LAND



$(^{12}\text{Be} + n)$  relative-energy  $E_{fn}$  spectra from the neutron-knockout reaction  $^1\text{H}(^{14}\text{Be}, ^{12}\text{Be} + n)$

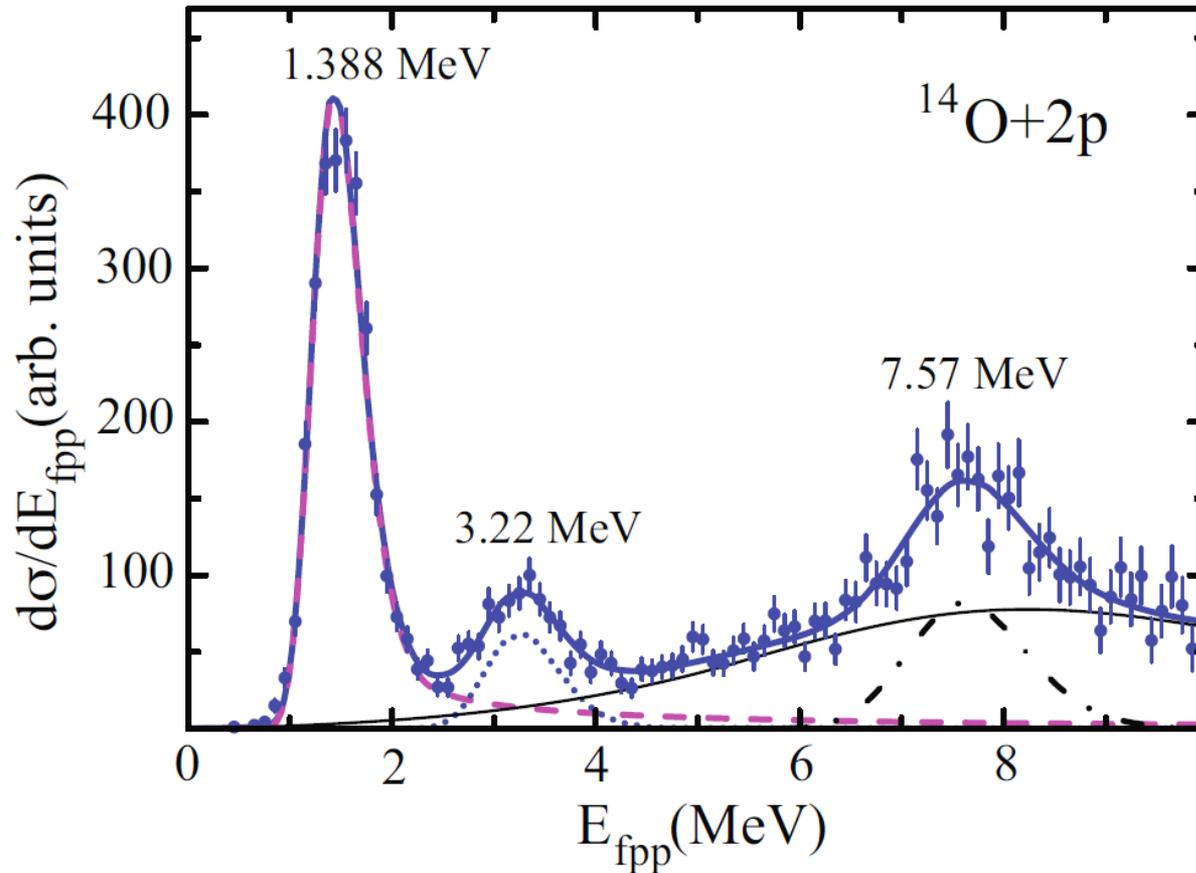
at

a) 69 MeV/u,

b) 304 MeV/u

## Studies of continuum states in $^{16}\text{Ne}$

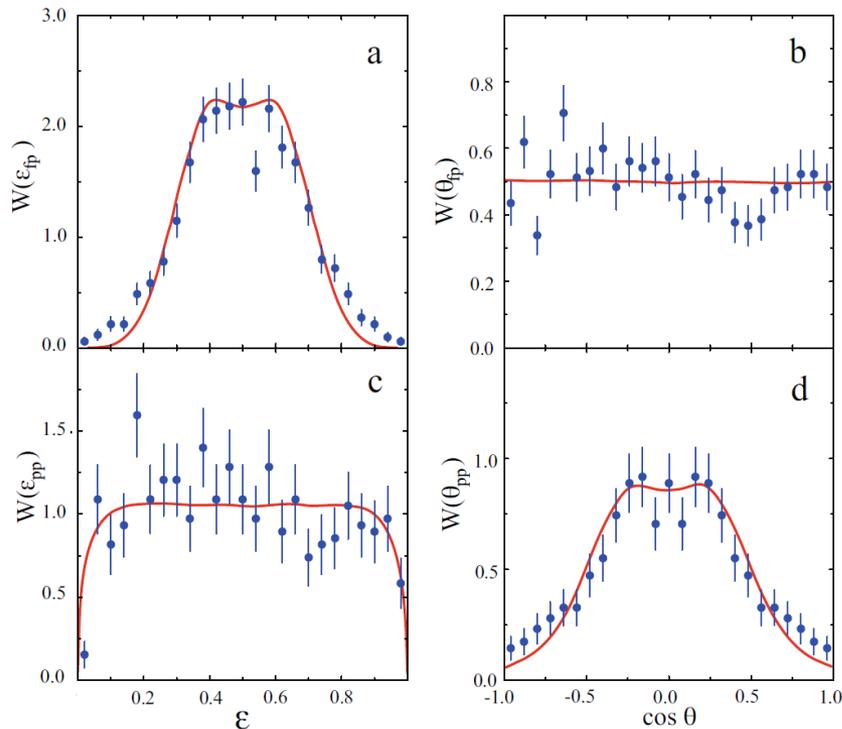
$^{16}\text{Ne}$  – one neutron knockout from 500 MeV/u  $^{17}\text{Ne}$  :  $^{16}\text{Ne} = ^{14}\text{O} + p + p$



( $^{14}\text{O} + p + p$ ) relative energy spectrum

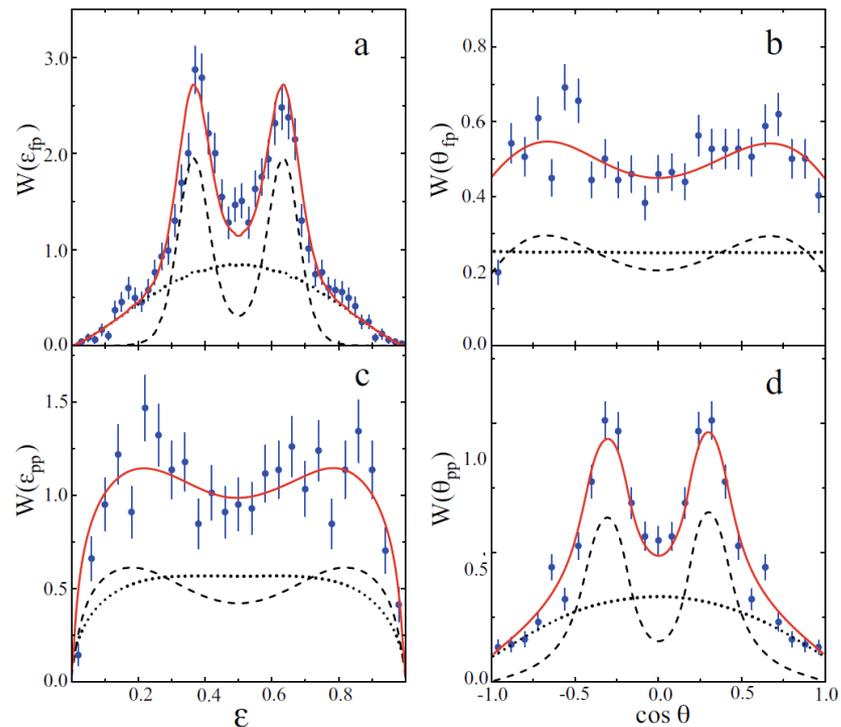
1.4 MeV –  $0^+$ , 3.2 MeV –  $2^+$ , 7.6 MeV –  $2^+$

# Корреляции между продуктами распада $^{16}\text{Ne}$ ( $^{14}\text{O} + p + p$ )



Распределения по относительной энергии  $\epsilon_{fp}$  и  $\epsilon_{pp}$  и по  $\cos \theta_{fp}$  и  $\theta_{pp}$  для состояния  $2^+$  (3.22 MeV) в предположении последовательного распада через основное состояние  $^{15}\text{F}$

$$\epsilon_{fp} = E_{fp}/E_{fpp}; \quad \epsilon_{pp} = E_{pp}/E_{fpp}$$



Распределения по относительной энергии  $\epsilon_{fp}$  и  $\epsilon_{pp}$  и по  $\cos \theta_{fp}$  и  $\theta_{pp}$  для состояния  $2^+$  (7.57 MeV) в предположении последовательного распада через возбужденное состояние  $5/2^+$   $^{15}\text{F}$

## Эксперименты по квазиупругому рассеянию $(p,2p)$ и $(p,pn)$ на экзотических ядрах в инверсной кинематике

Оболочечная структура экзотических ядер:  
энергии протонных и нейтронных дырочных состояний

Импульсные распределения нуклонов на конкретных оболочках

# **РЗВ и астрофизика**

## **Nuclear astrophysics with radioactive ions at FAIR**

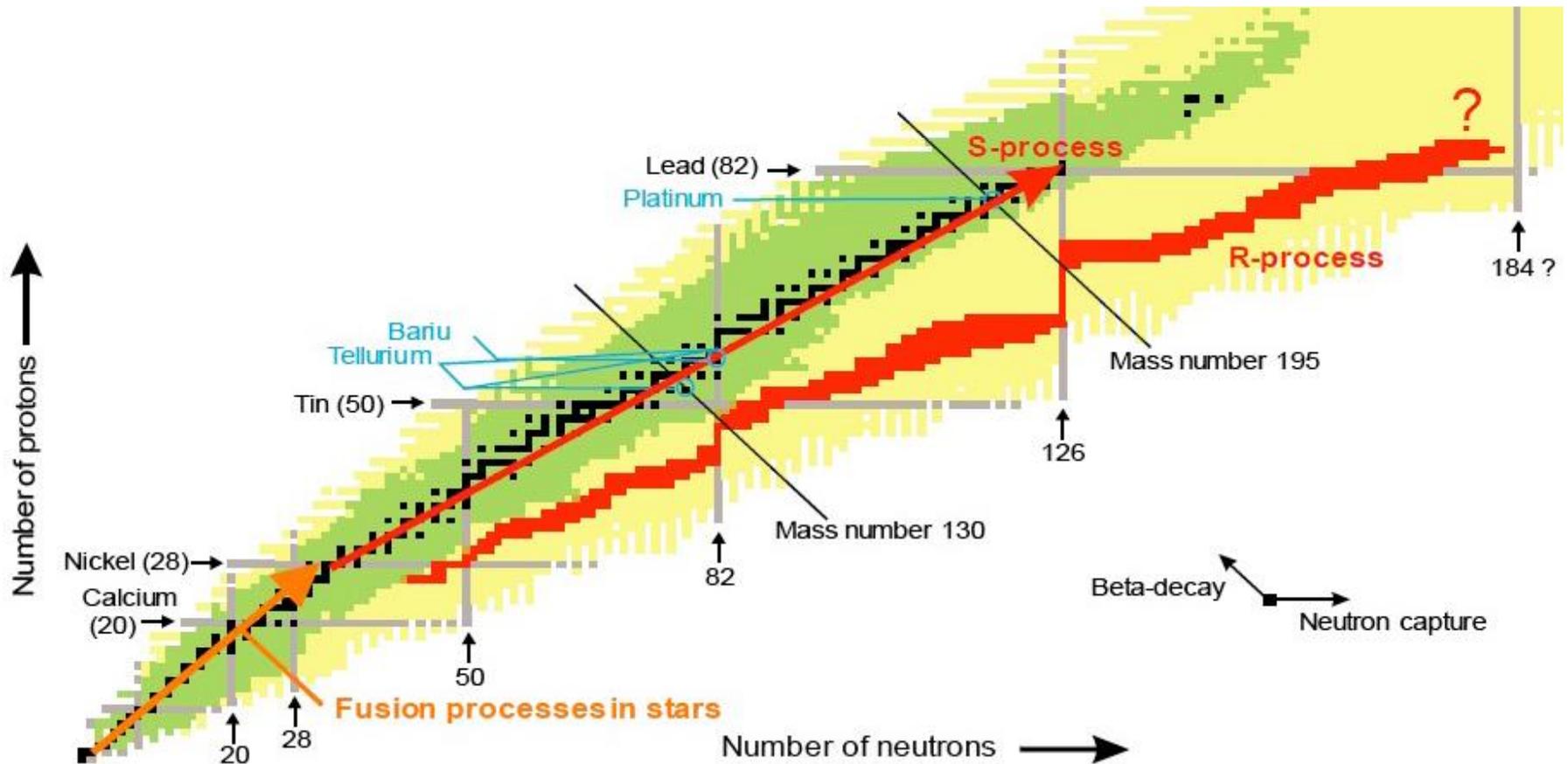
R. Reifarth,... G. Alkhazov, V. Andreev, A. Fetisov, A. Khanzadeev,  
O. Kiselev, E. Maev, L. Uvarov, V. Vikhrov, A. Zhdanov,... et al.

**J. Phys. Conf. Ser. 665 (2016) 012044**

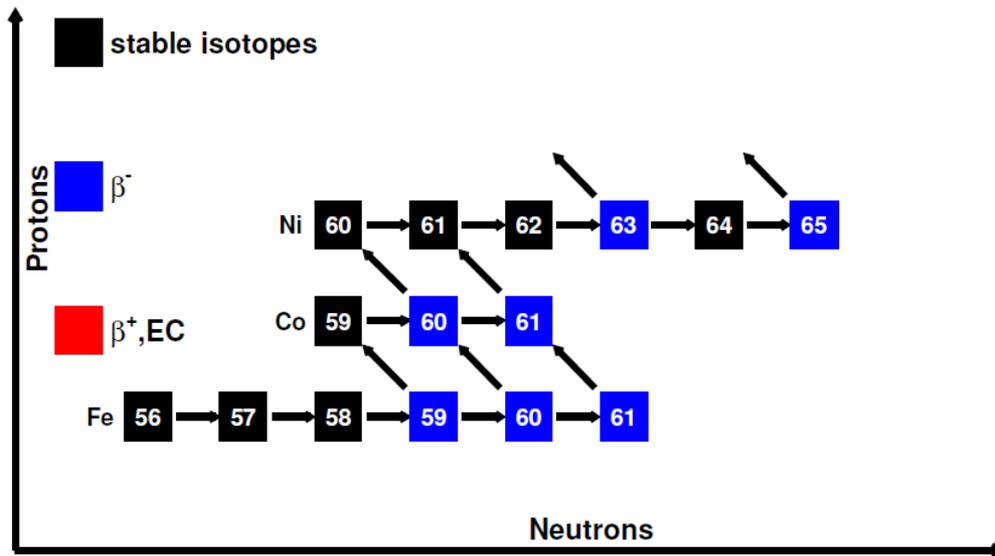
s-process, r-process, p-process, rp-process, i-process,  $\nu$  p-process

s-process:  $10^5\text{--}10^{11}$  n/cm<sup>2</sup>s;  $^{13}\text{C} + ^4\text{He} \rightarrow ^{16}\text{O} + \text{n}$ ,  $^{22}\text{Ne} + ^4\text{He} \rightarrow ^{25}\text{Mg} + \text{n}$

r-process:  $\sim 10^{22}$  n/cm<sup>2</sup>s; T- 2-3  $10^9$  K;  $\nu$  p-process:  $\nu + \text{p} \rightarrow \text{n} + \beta^+$



## s-процесс в массивных звездах – $^{59}\text{Fe}$ , $^{60}\text{Fe}$



$^{59}\text{Fe}(n,\gamma)$  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.

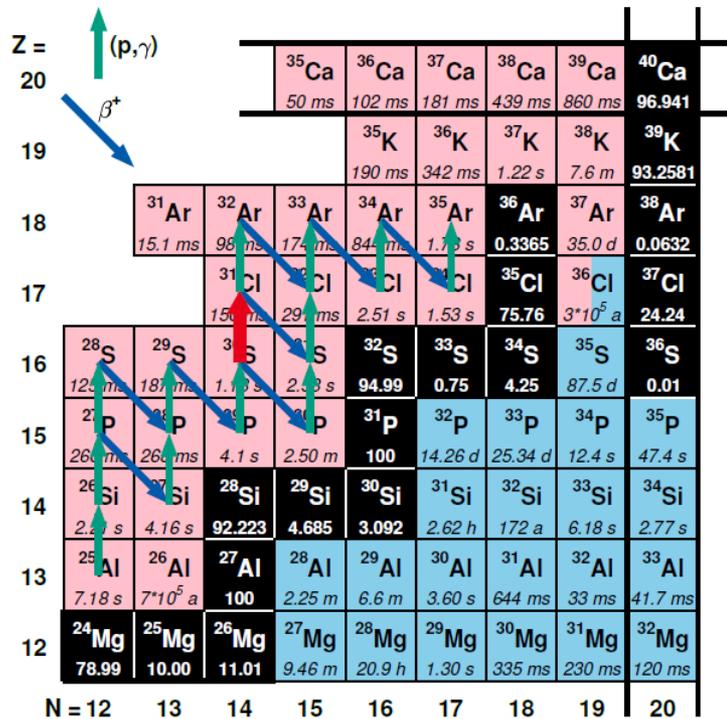
$B(\text{GT})$  via  $d\sigma/d\Omega(\text{CE})$  CE (charge exchange (p,n)) – нейтроны детектируются детектором медленных нейтронов.

***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  $^{12,13,14,15}\text{B}$  (CD)

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

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



*rp*-процесс в области легких элементов

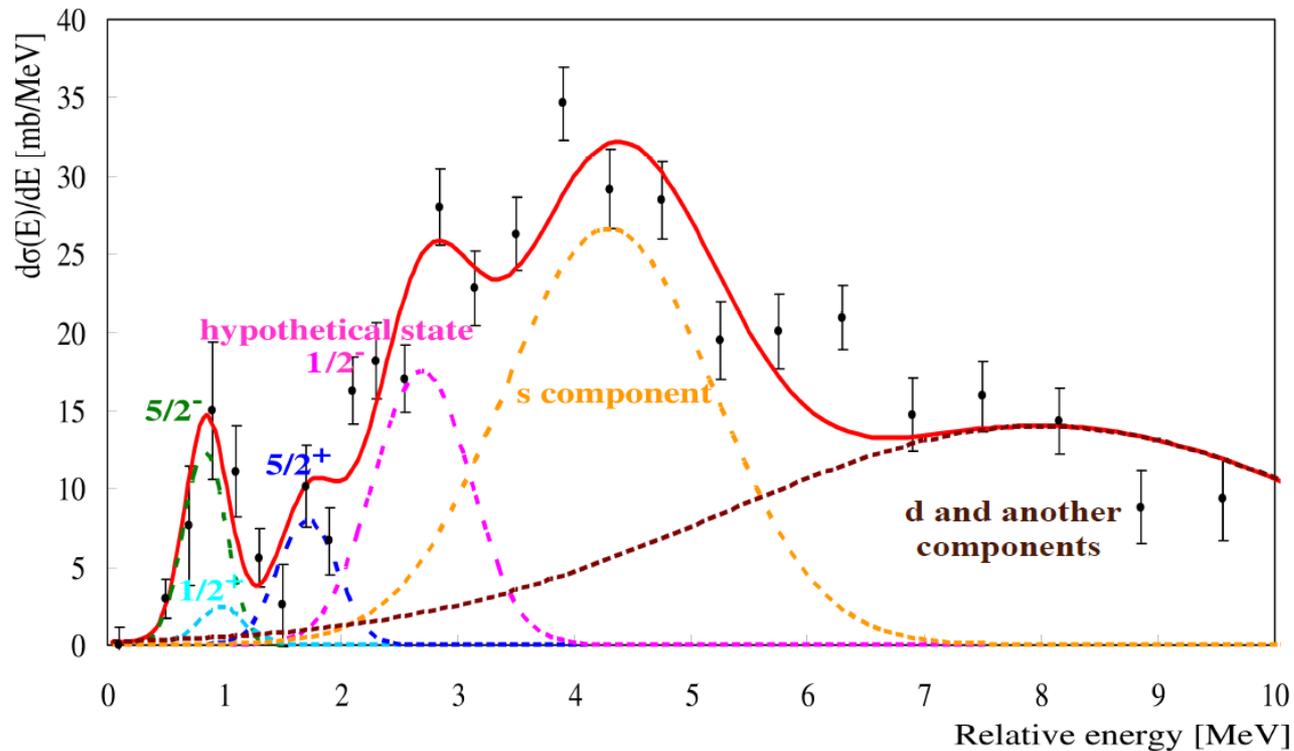
$^{30}\text{S}(p,\gamma)^{31}\text{Cl}$  (красная стрелка)

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

протоны – регистрируются детектором  
быстрых протонов

$^{15}\text{O}(2p,\gamma)^{17}\text{Ne}$  via CD of  $^{17}\text{Ne}$

$^{17}\text{Ne}$  was produced by fragmentation of 500 MeV/u  $^{20}\text{Ne}$



## **PNPI in R3B**

### **Участие ПИЯФ в создании системы скнтилляционных детекторов**

Всего – 30 двойных слоев скнтилляционных детекторов, по 50 скнтилляционных брусков (5см x 5см x 250 см) в каждом слое (X и Y)

Органический скнтиллятор BC-408 из поливинилтолуола, фирма Saint Gobaine (Франция)

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

Предполагаемый вклад ПИЯФ - 7 двойных слоев

Русские ФЭУ вместо японских

Испытания скнтилляторов и ФЭУ на пучке протонов ПИЯФ и с пикосекундным UV лазером в GSI:

ФЭУ R8619 (Hamamatsu Photonics)

и ФЭУ 115, 85-4, 115МКЦ, 85Б (ООО МЭЛЗ-ФЭУ)

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



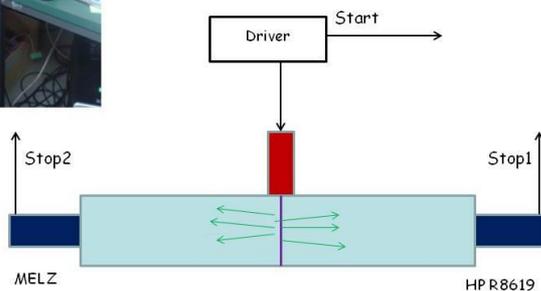
Два сцинтилляционных бруска



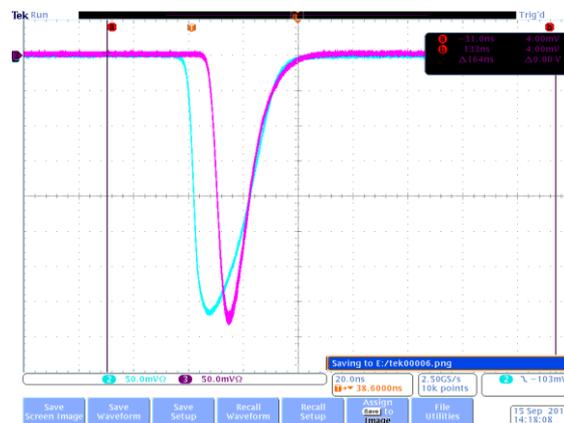
Испытания ФЭУ в ПИЯФ



Laser driver:  
PicoQuant PDL 800-B  
Laser head LDH-P-C-375B  
370 nm, 100ps pulse duration



Испытания ФЭУ в GSI



Сигналы от ФЭУ R8619 и 115МКЦ

**ФЭУ 115МКЦ !  $\Delta t = 25 - 40$  пкс**

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.

## **PNPI – HV system:**

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

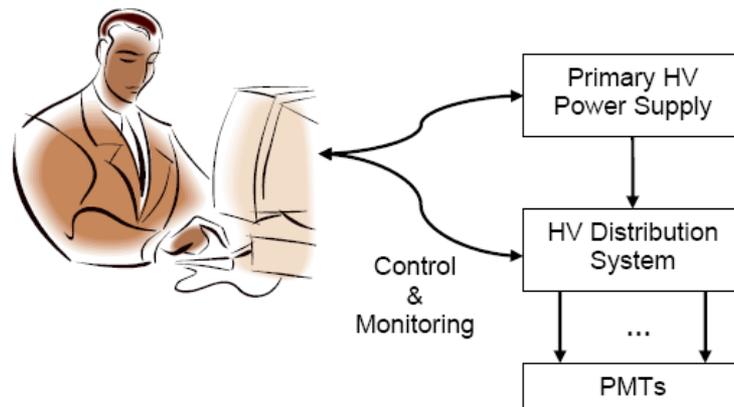
Регулировка напряжения: 0 – 1.5 kV

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**

**The work on In-kind and Collaboration contracts has started.**

**One Collaboration Contract for a contribution from PNPI, Russia, to R3B**

**(HV distribution system for NeuLAND) was signed and the construction is going well.**



## Трековый детектор для R3В – 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 м<sup>2</sup>**, **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 м<sup>2</sup> до 2.7x1.1 м<sup>2</sup>.

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 одобрен в июле 2015 г. !**

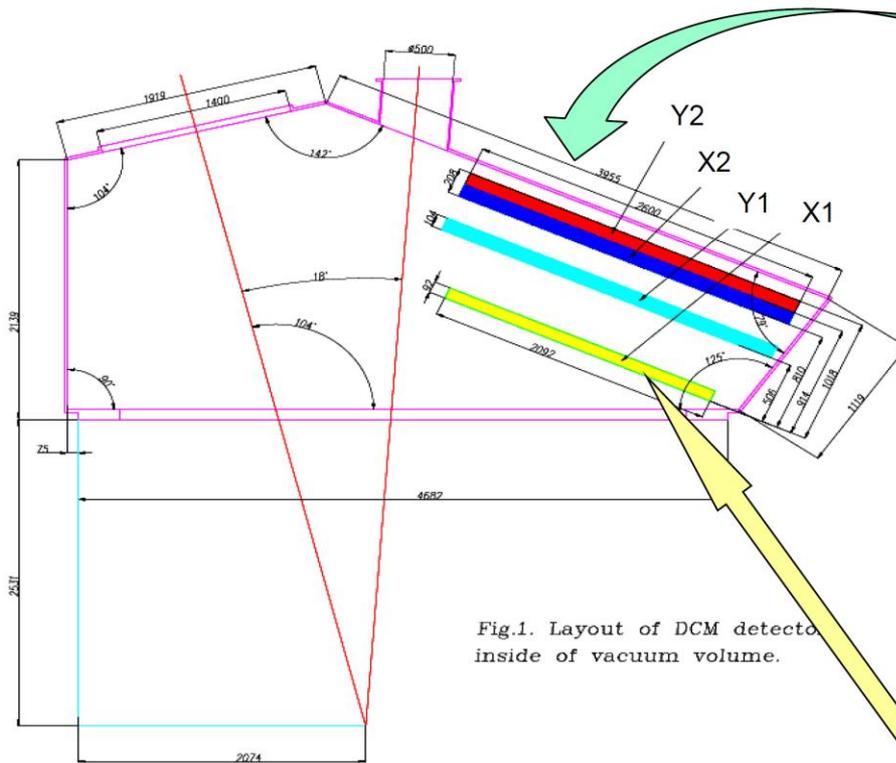
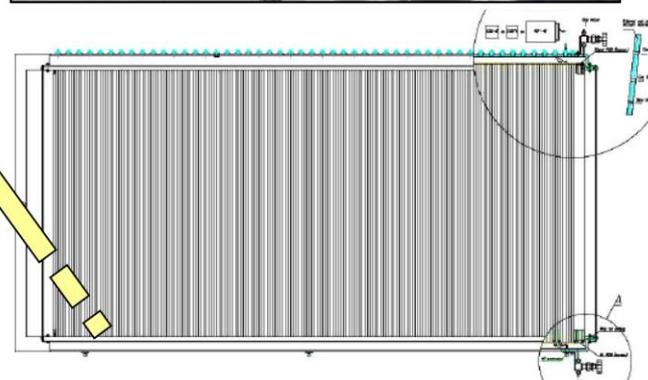


Fig.1. Layout of DCM detectors inside of vacuum volume.



Общий вид STW (X1 - coordinate)

Proton Arm Spectrometer - структура

Ar + 38%C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>



**Первая партия алюминиевых  
ультра-тонких трубок**

- Количество - 11 шт.
- Длина - 275см
- Внутренний диаметр - 9,5-9,7мм
- Наружный диаметр - 10,1-10.2мм.
- Толщина стенки - 0,2±0,25мм
- Прямолинейность - лучше 0,15мм.
- Брак по давлению (3Атм) - 2шт.

**Вторая партия алюминиевых  
ультра-тонких трубок**

- Количество - 50 шт.
- Начат входной контроль

Есть достаточно хорошая надежда, что технология производства ультра- тонкостенных трубок отлажена. Окончательное заключение будет дано после проведения входного контроля второй партии труб.

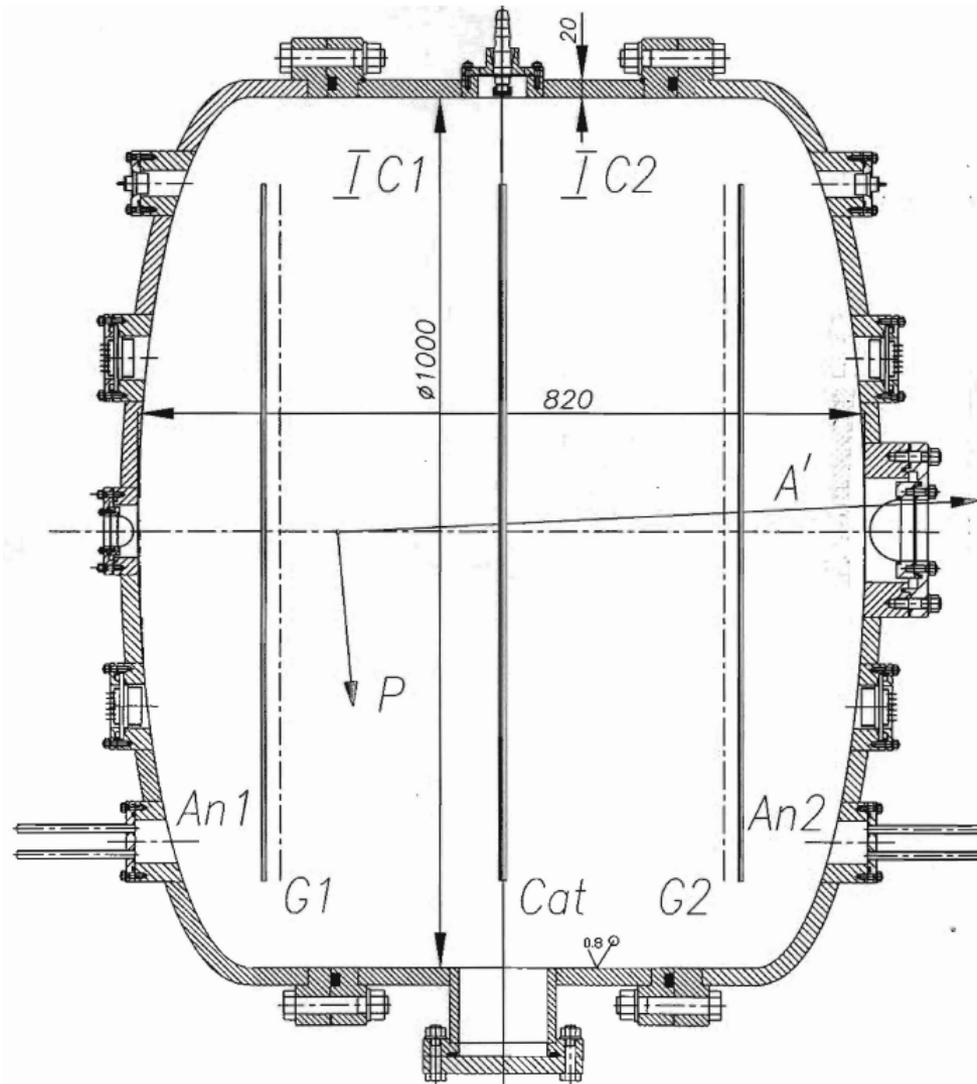
# ACTAR

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 ?**
- **( $\alpha,\alpha'$ ) inelastic scattering** –  
**ISGM resonances, nuclear matter compressibility**

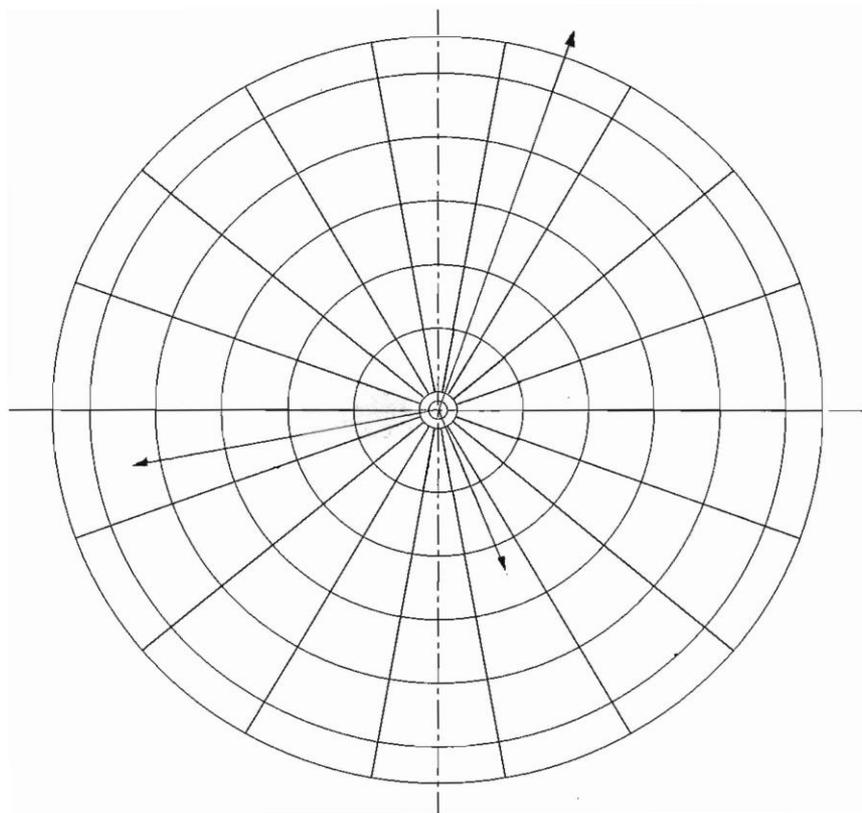
**PNPI Gatchina:** Е.М. Маев, Г.Д. Алхазов, Д.В. Балин, Л.Х. Батист, А.В. Добровольский, А.Г. Инглесси, Г.А. Королев, А.В. Ханзадеев, Г.Е. Петров, В.В. Саранцев, Л.О. Сергеев, В.И. Яцура.



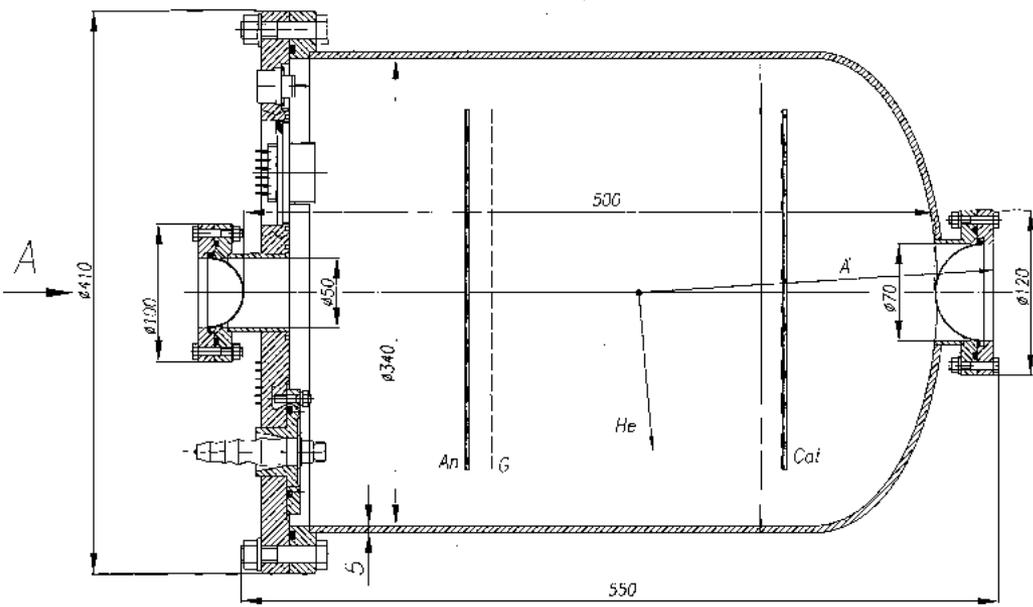
Камера  
АСТАР1

Прототип –  
ИКАР

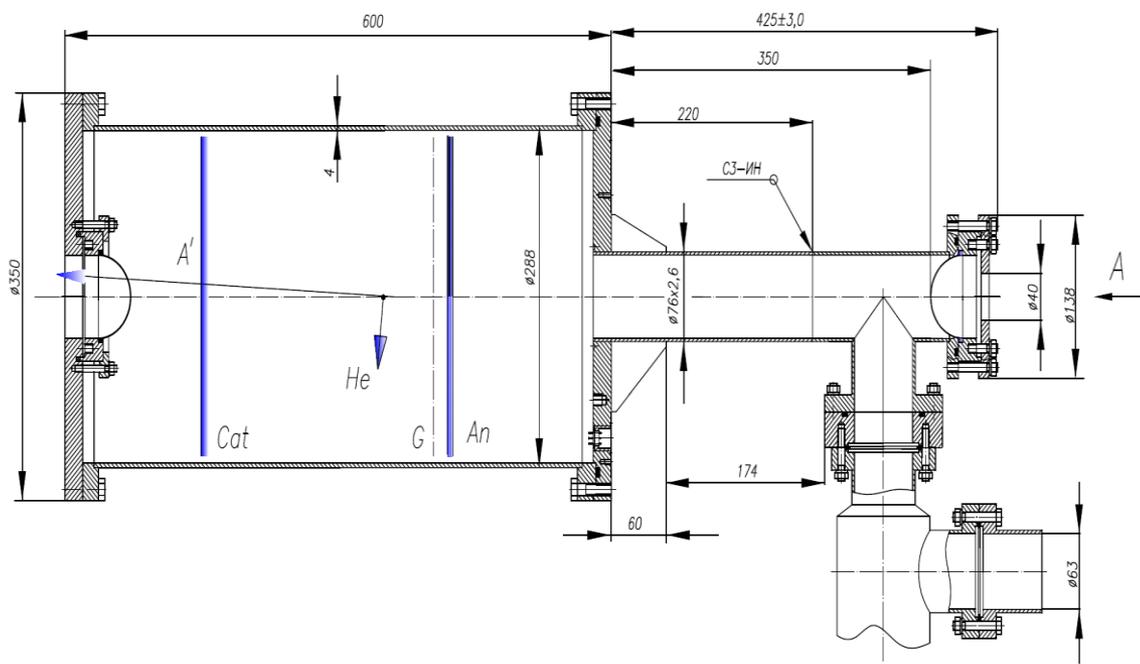
Давление: 1 – 20 bar  $E_{p(max)} \approx 11$  MeV



Секционированный анод камеры Astar1



Камера Actar2



Прототип камеры Actar2

# Неупругое рассеяние на ядрах $\alpha$ -частиц в инверсной кинематике



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

Прототип камеры ACTAR2  $E_{\alpha} = 1-10 \text{ МэВ}$

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

Segmented anode

## The list of intended contributions of PNPI to the construction of the R3B experimental set-up

Contributions and coordinators	Contribution status	Cost-book value in MEuro (in 2005 prices)
High voltage system for NeuLAND <i>Victor Golovtsov</i>	The contract was signed on 08.07.2014	0.415 (0.571 370)
Scintillator bars and Photomultipliers <i>Viacheslav Kuznetsov</i>	TDR was approved in January 2013	0.585
The remaining part of NeuLAND <i>Viacheslav Kuznetsov</i>	TDR was approved in January 2013	0.250
The tracking detector for R3B <i>Anatoly Krivshich</i>	TDR was approved in July 2015	0.480
Active hydrogen target ACTAR <i>Evgeny Maev</i>	TDR is ready and was submitted for approval in September 2015	0.955
	<b>Всего</b>	<b>2 685</b>

Зафиксировано в РосАтоме 19.08.2014