



Эксперимент POLFUSION

П. Кравцов

коллаборация PolFusion



Институты-участники



Петербургский институт ядерной физики, Россия



Forschungszentrum Jülich, Germany



Cologne University, Germany



KVI, Gronningen, Netherlands



Университет ИТМО, Россия

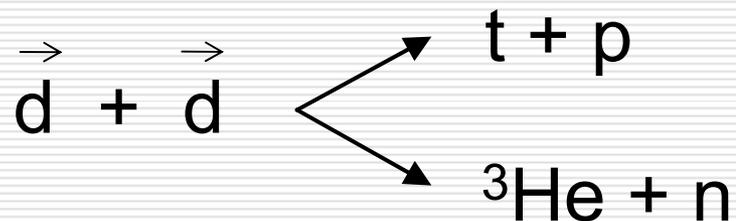


Ferrara University, Italy



Цели и задачи эксперимента

Исследование основной 4-нуклонной реакции с поляризацией **обеих** исходных частиц при низких энергиях (до 100кэВ).



- Систематические измерения спин-корреляционных коэффициентов
- Измерение сечения реакции поляризованного синтеза

[[R.M. Kulsrud et al., Phys. Rev. Lett. **49**, 1248 \(1982\)](#)]

${}^3\text{He} + d \rightarrow {}^4\text{He} + p$: Factor ~ 1.5 at 430 keV

[[Ch. Leemann et al., Annals of Phys. **66**, 810 \(1971\)](#)]

- Измерение подавления нейтронного канала реакции

Quintet suppression factor

[[H. Paetz gen. Schieck, Eur. Phys. J. A **44**, 321–354 \(2010\)](#)]

[[Deltuva and Fonseca, Phys. Rev. C **81** \(2010\)](#)]

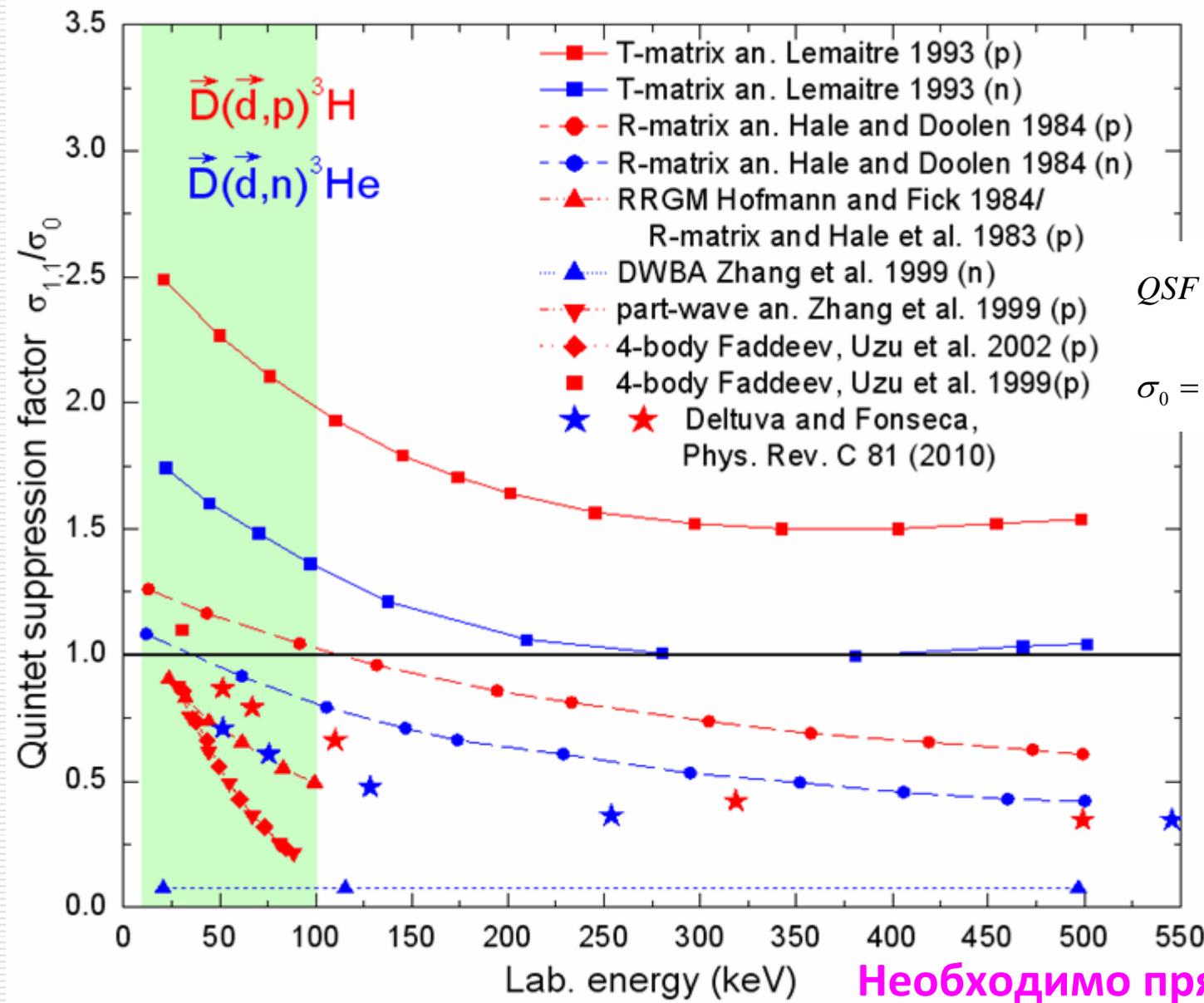
- Измерение углового распределения продуктов реакции
- Исследование возможности практического использования поляризованного топлива

Persistence of the Polarization in a Fusion Process

[[J.-P. Didelez and C. Deutsch. Few-Body Conference, Bonn \(2009\)](#)]

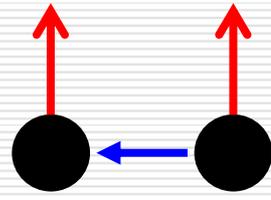


The Quintet suppression factor



$$QSF = \frac{\sigma_{1,1}}{\sigma_0}$$

$$\sigma_0 = \frac{1}{9} (2\sigma_{1,1} + 4\sigma_{1,0} + \sigma_{0,0} + 2\sigma_{1,-1})$$



Необходимо прямое измерение!



Схема эксперимента

${}^3\text{He}^{2+}$ (0.8 MeV),
 ${}^3\text{H}^+$ (1.0 MeV)

ABS

Polarized Atomic Beam Source

$I \sim 1 \cdot 10^{16}$ at/s

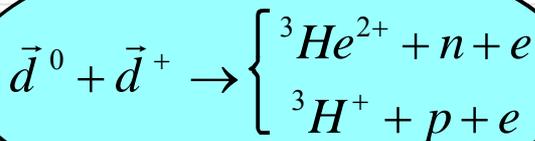
Target density $\sim 7 \cdot 10^{10}$ at/cm²

Vector polarization: ± 0.7

\vec{d}^0 (0.1 eV)

dd-polarimeter
or LSP

\vec{d}^+



\vec{d}^+ (1-32 keV)

Ion
source

Polarized Ion Source

Ion beam: $I \leq 20 \mu\text{A}$

$(1.3 \cdot 10^{14}$ d/s)

$E_{\text{beam}} \leq 32$ keV

Vector polarization: ± 0.7

\vec{d}^0 (0.1 eV)

LSP

Lamb-Shift Polarimeter

~~n (2.4 MeV),
 p (3.0 MeV)~~

Luminosity: $8.32 \cdot 10^{24}$ 1/cm² s

→ count rate: $\sim 30/\text{h}$ (30keV)

→ 12 week beam time
(60000 events)



Схема эксперимента

${}^3\text{He}^{2+}$ (0.8 MeV),
 ${}^3\text{H}^+$ (1.0 MeV)

ABS

Ferrara (IUCF) ABS

$I \sim 4 \cdot 10^{16}$ at/s

~~$1 \cdot 10^{16}$ at/s~~

Target density $\sim 2.7 \cdot 10^{11}$ at/cm²

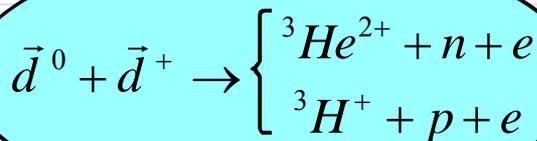
~~Target density $\sim 7 \cdot 10^{10}$ at/cm²~~

Vector polarization: ± 0.7

\vec{d}^0 (0.1 eV)

dd-polarimeter
or LSP

\vec{d}^+



\vec{d}^+ (1-32 keV)

Ion
source

Polarized Ion Source

Ion beam: $I \leq 20 \mu\text{A}$

$(1.3 \cdot 10^{14}$ d/s)

$E_{\text{beam}} \leq 32$ keV

Vector polarization: ± 0.7

\vec{d}^0 (0.1 eV)

LSP

Lamb-Shift Polarimeter

~~n (2.4 MeV),
 p (3.0 MeV)~~

Luminosity: $3.3 \cdot 10^{25}$ 1/cm² s

~~Luminosity: $8.32 \cdot 10^{24}$ 1/cm² s~~

\rightarrow count rate: $\sim 120/\text{h}$ (30keV)

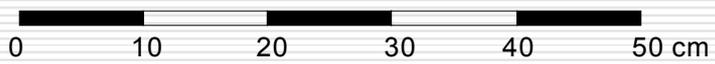
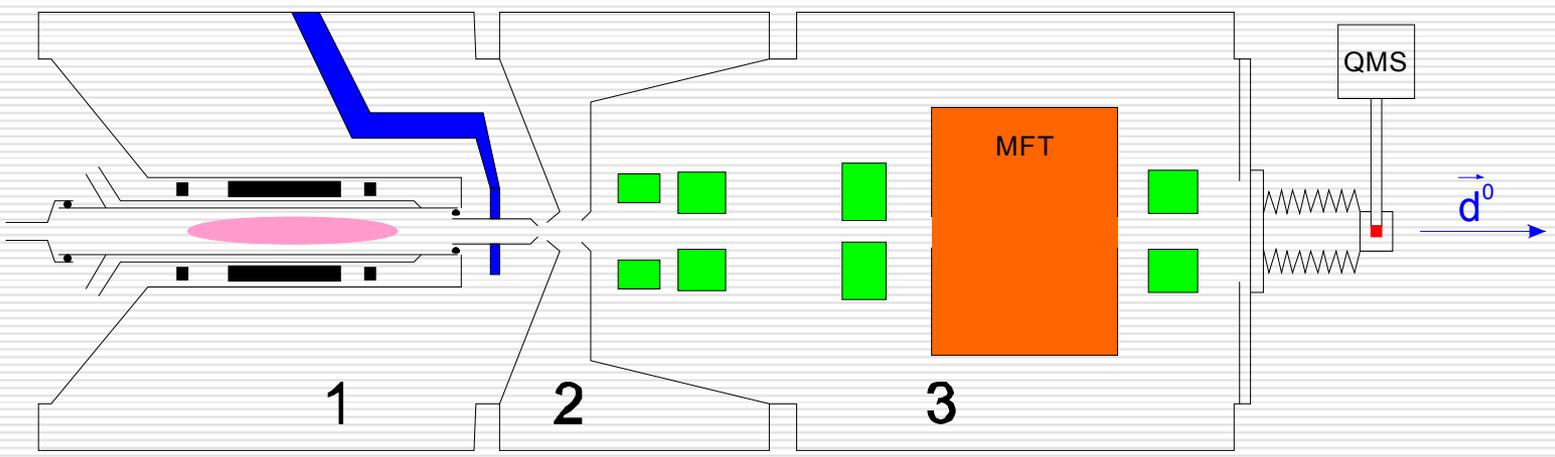
~~\rightarrow count rate: $\sim 30/\text{h}$ (30keV)~~

\rightarrow 3 week beam time

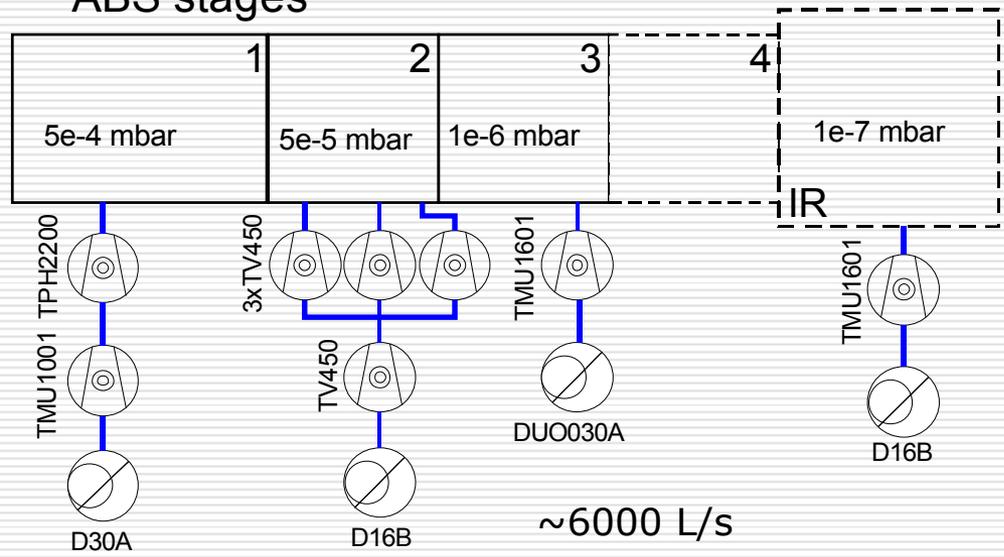
~~\rightarrow 12 week beam time~~

(60000 events)

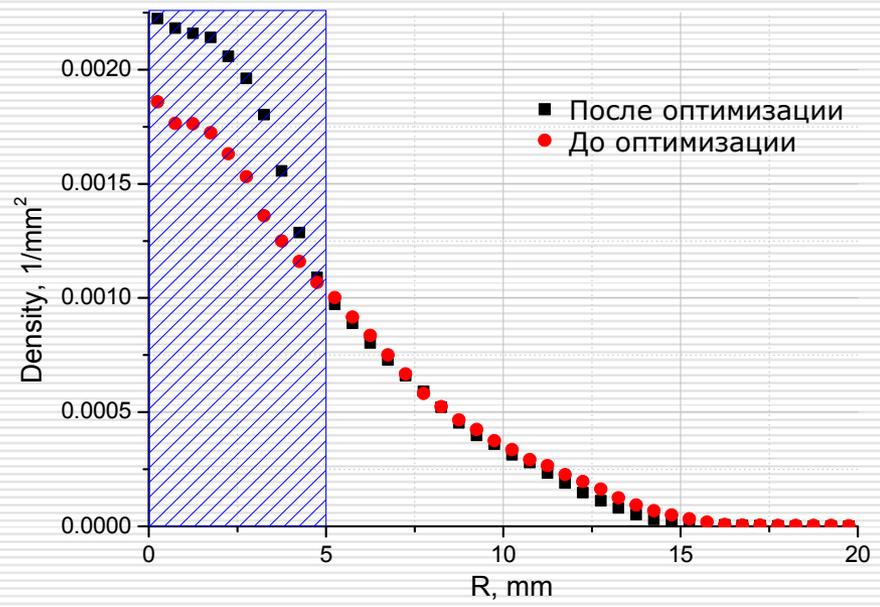
Источник поляризованных атомов (ABS)



ABS stages

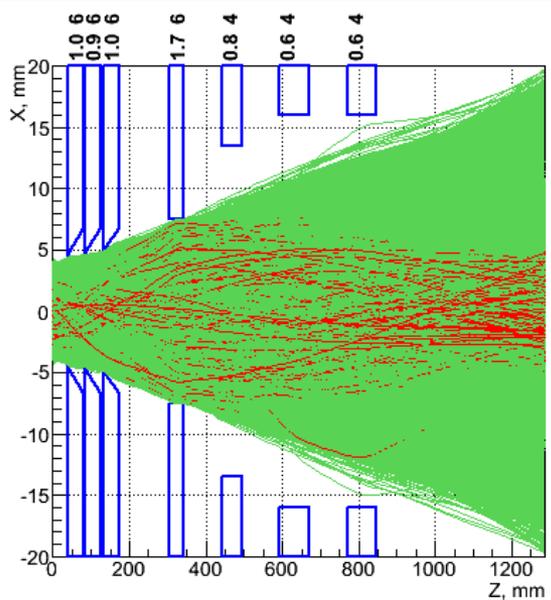


Оптимизация магнитной системы

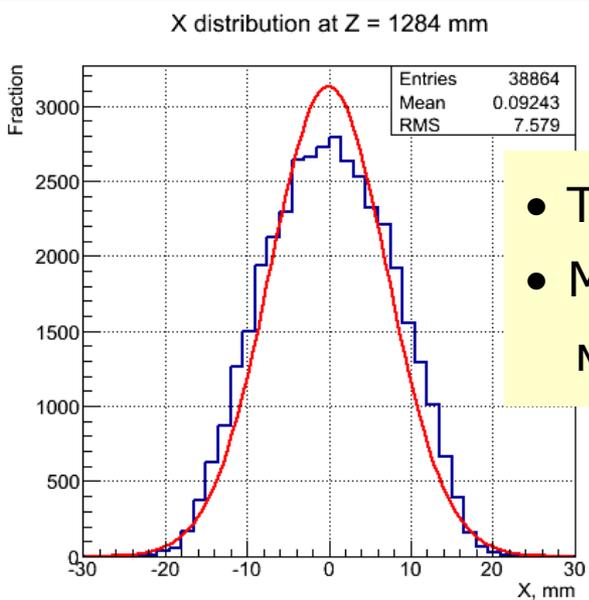




ABS. Моделирование атомного пучка

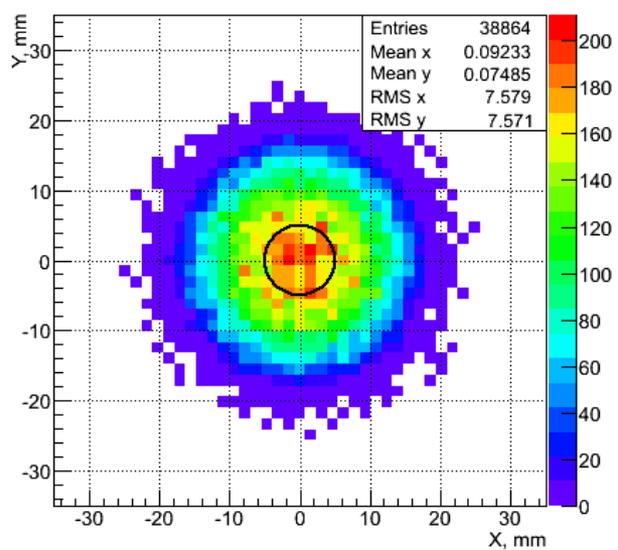
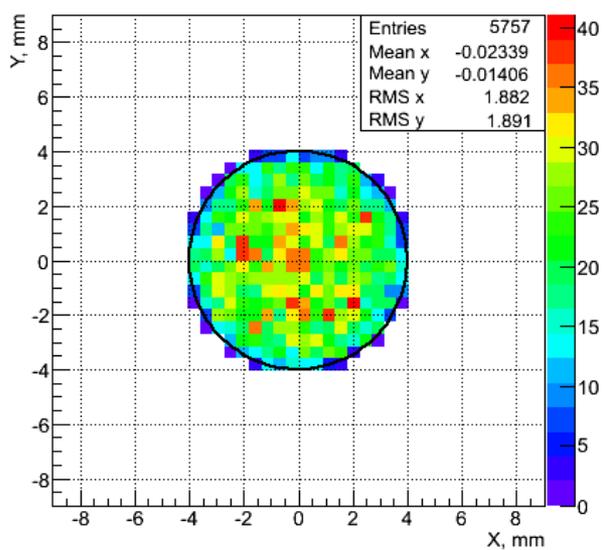


Nozzle distribution



Hits distribution at Z = 1284 mm

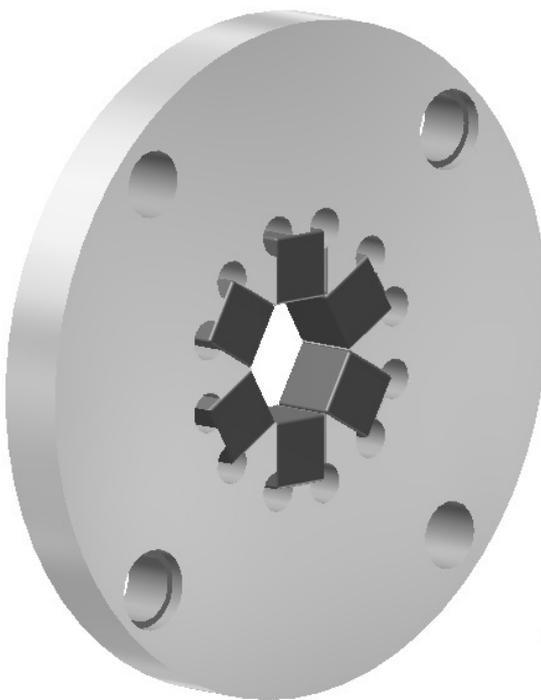
- Трехмерное моделирование
- Математическая модель
МНОГОПОЛЮСНЫХ МАГНИТОВ



Построение модели магнитного поля многополюсных магнитов.
А. Васильев., С. Шерман,
Препринт РНФИ-2720 (2007)

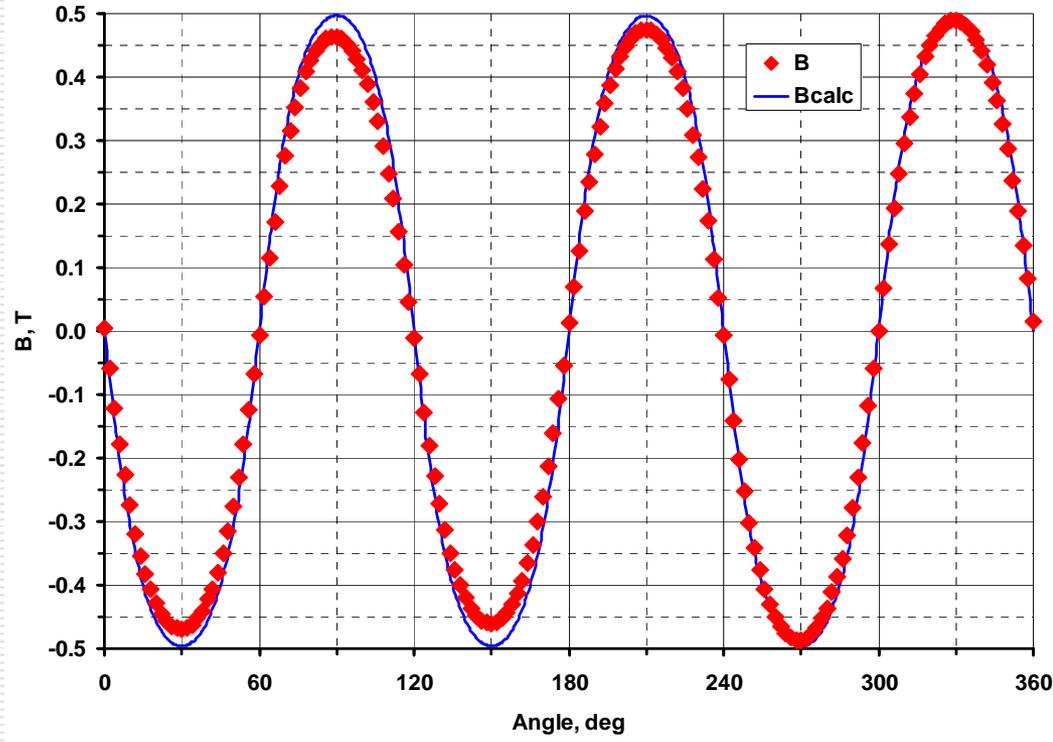
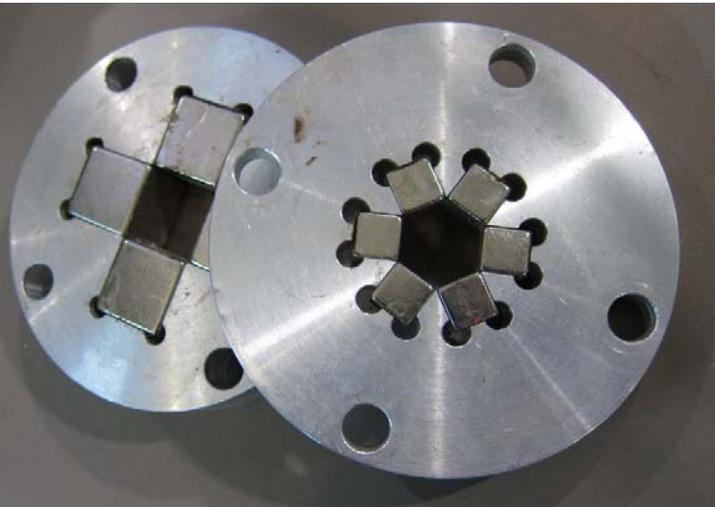
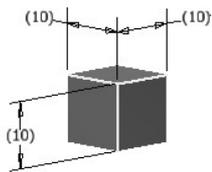
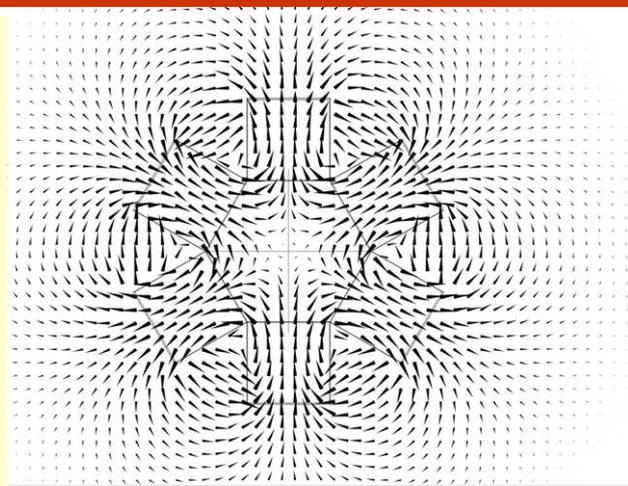


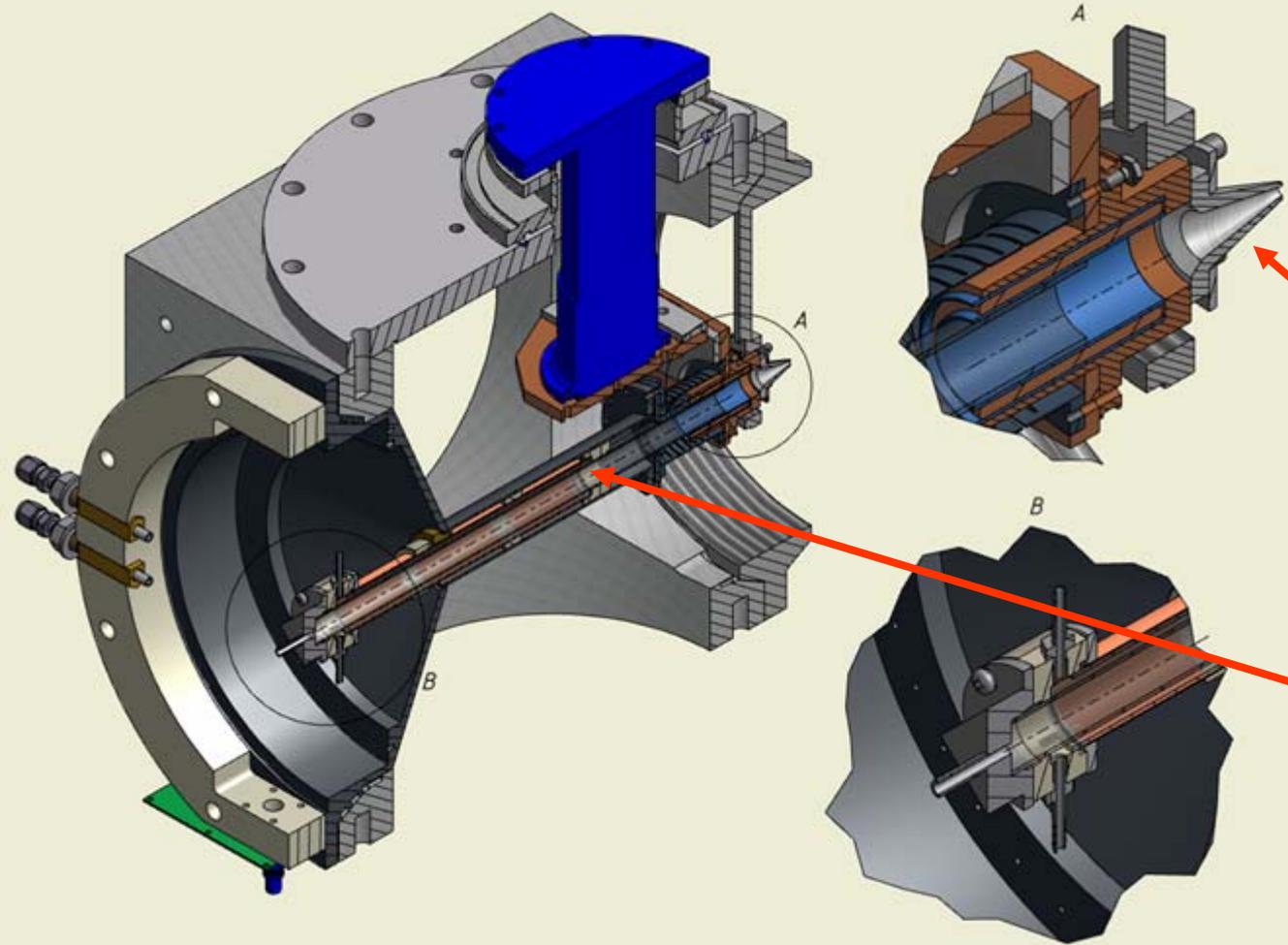
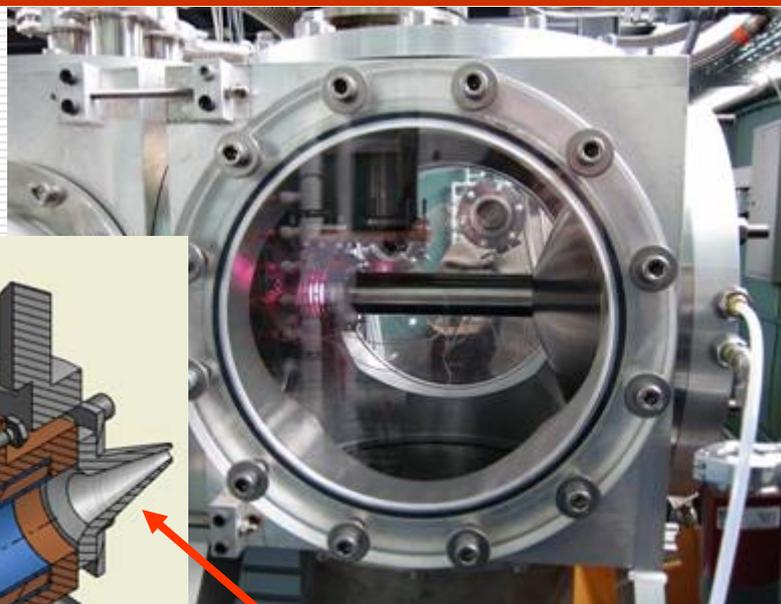
Постоянные многополюсные магниты



- Трехмерный расчет поля
- Бюджетные NdFeB магниты

Многополюсные неодимовые магниты для источника поляризованных атомов
К. Ившин и др.,
Препринт РНФИ-2925 (2013)





Охлаждаемое сопло
(70-300K)

плазма

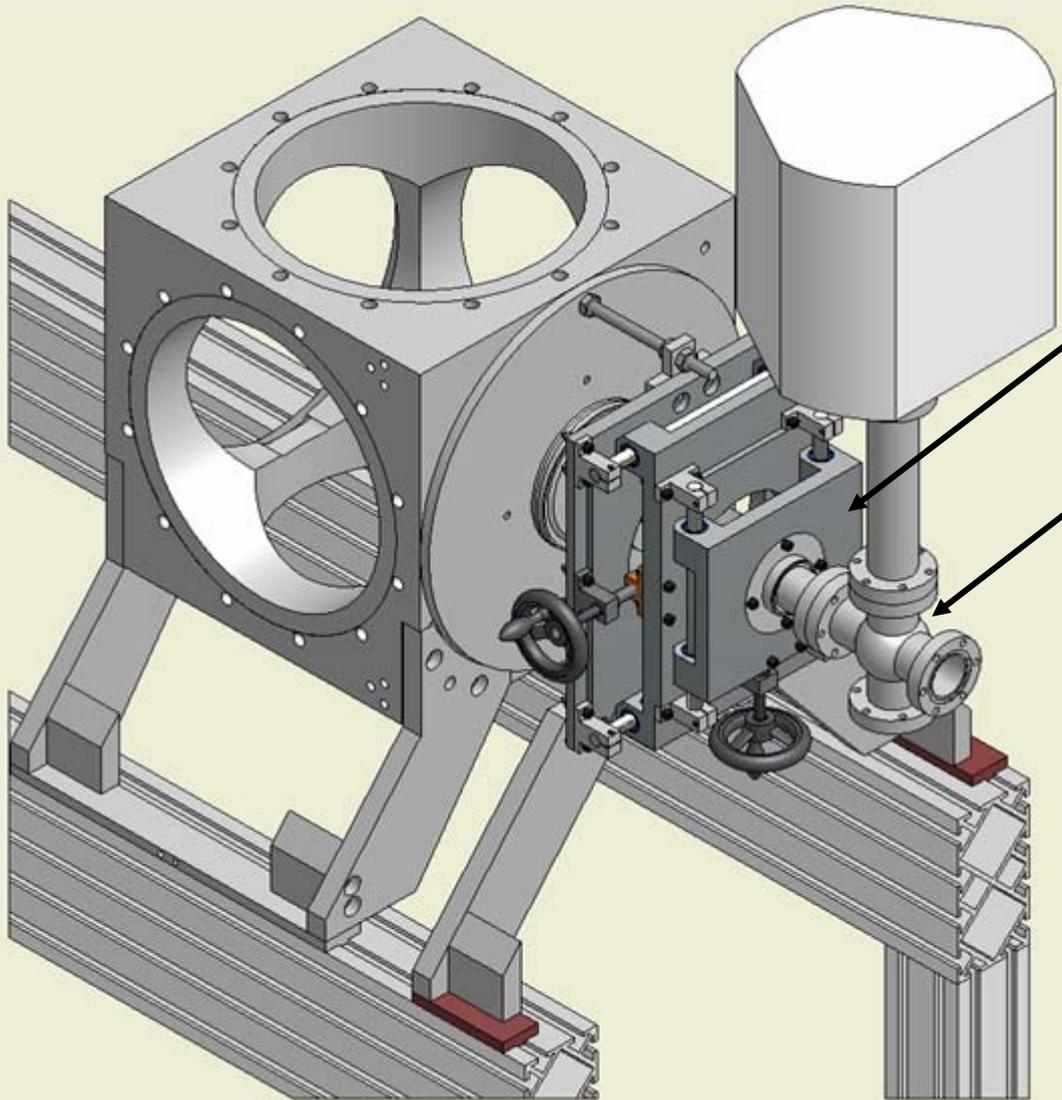


- В 4 раза большая интенсивность
- Монтаж и запуск – февраль 2014



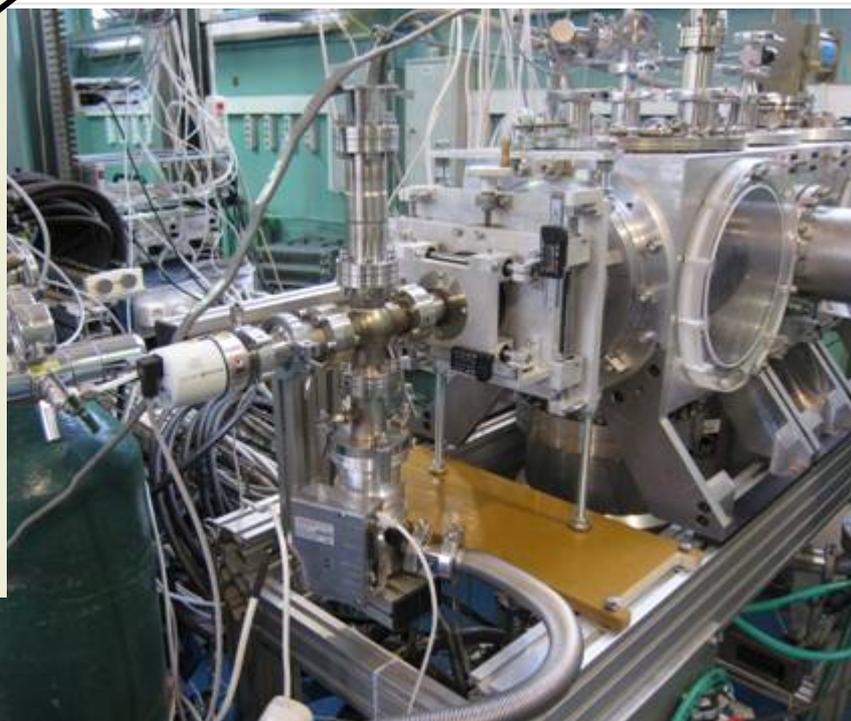


Измерение интенсивности и степени диссоциации



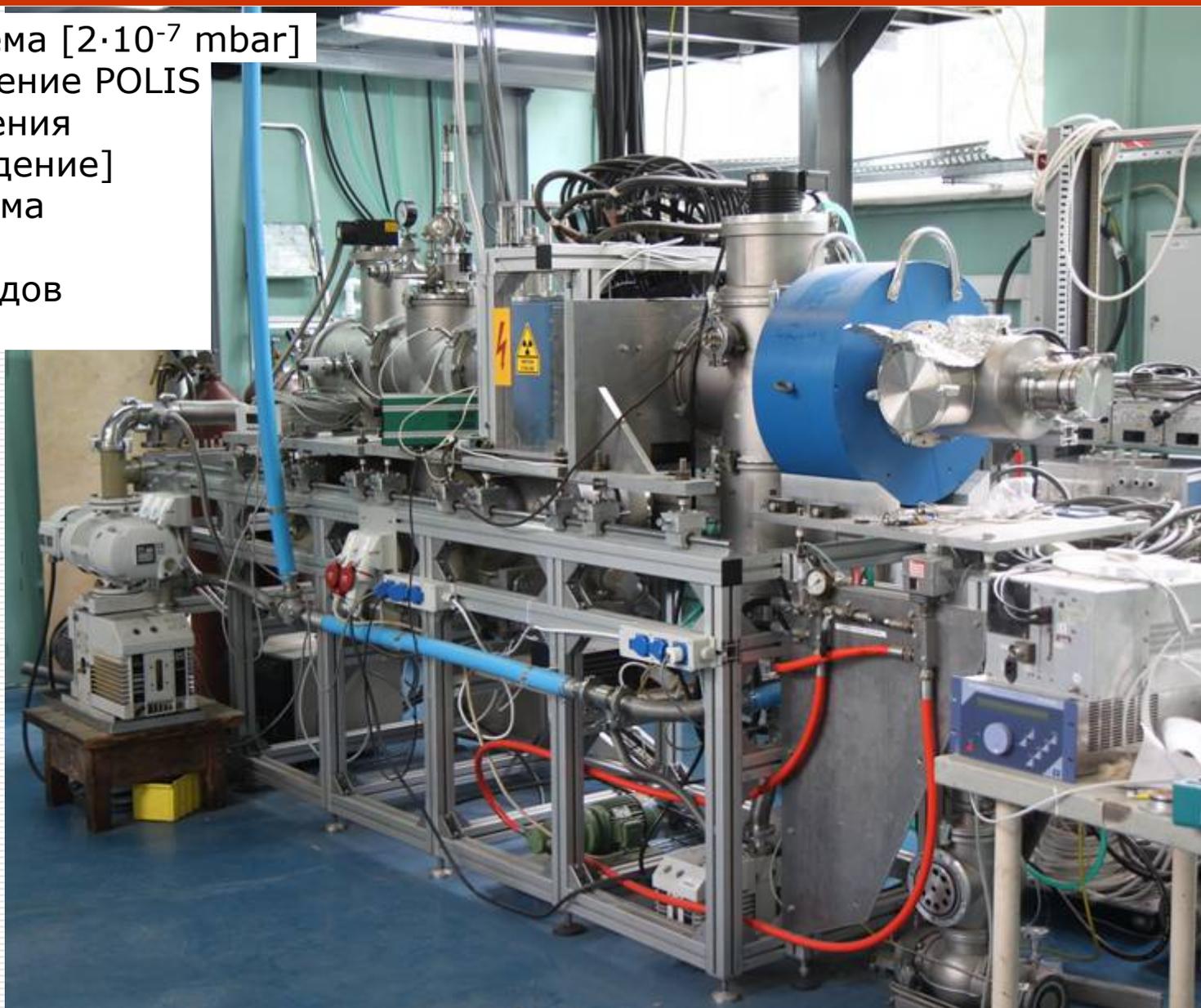
Двухкоординатный стол

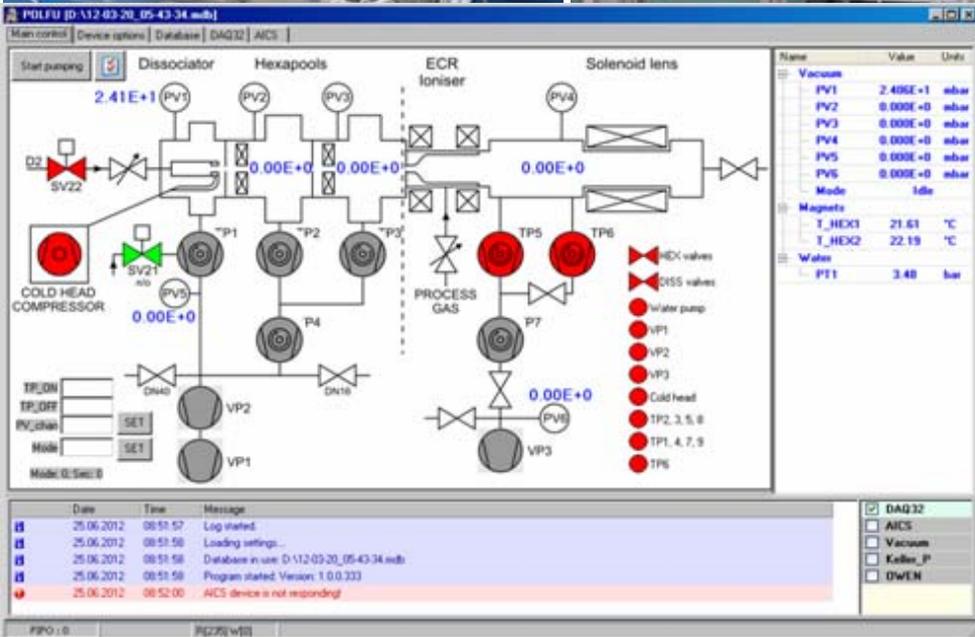
- QMS
- компрессионная трубка
- Faraday cup





- ✓ Вакуумная система [$2 \cdot 10^{-7}$ mbar]
- ✓ Водяное охлаждение POLIS
- ✓ Система управления [вакуум+охлаждение]
- ✓ Магнитная система
- Диссоциатор
- ВЧ блоки переходов



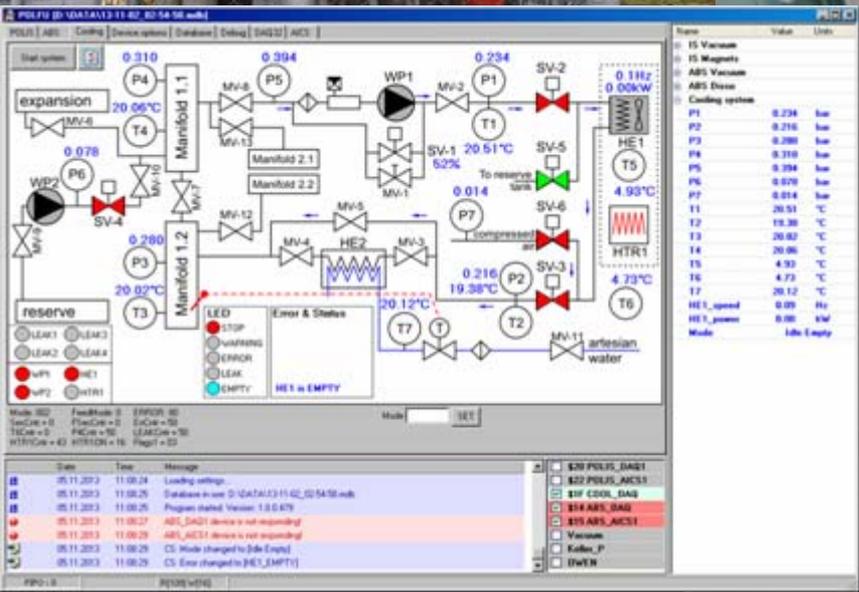


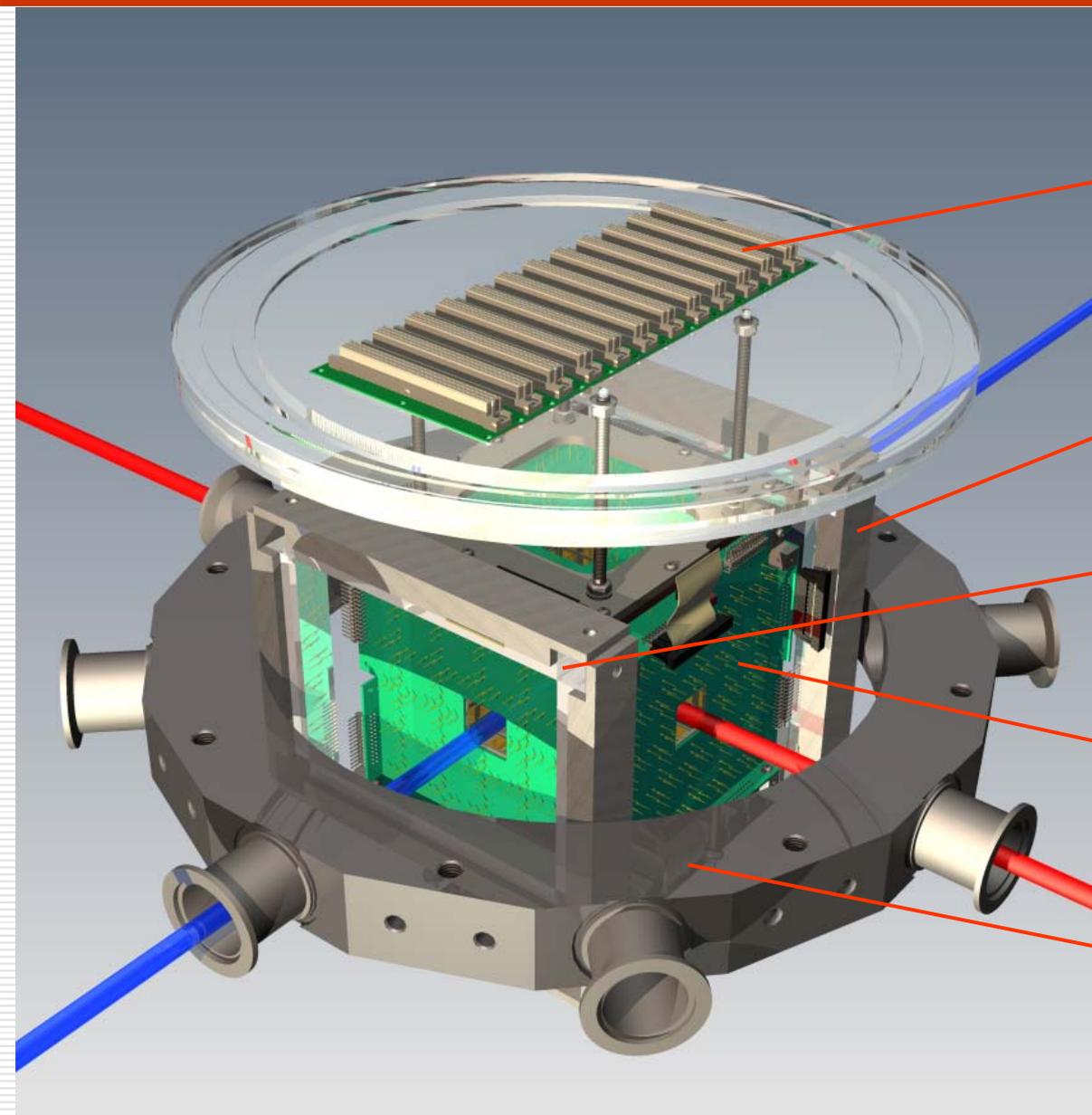
- compact (high channel density)
- widely used in our systems at BNL, FZJ, PSI, GSI and AIRBUS test rig



Система водяного охлаждения

- Параметры системы:
- Воздушный теплообменник
 - Холодильная мощность: 100kW
 - Жидкость: вода + 10% этанол
 - Рабочий поток: 1.4 l/s
 - Перепад температуры: 30-50°C





Разъемы для подключения электроники

Кольца Гельмгольца

Постоянные NdFeB магниты

Детекторная система

Детекторная камера



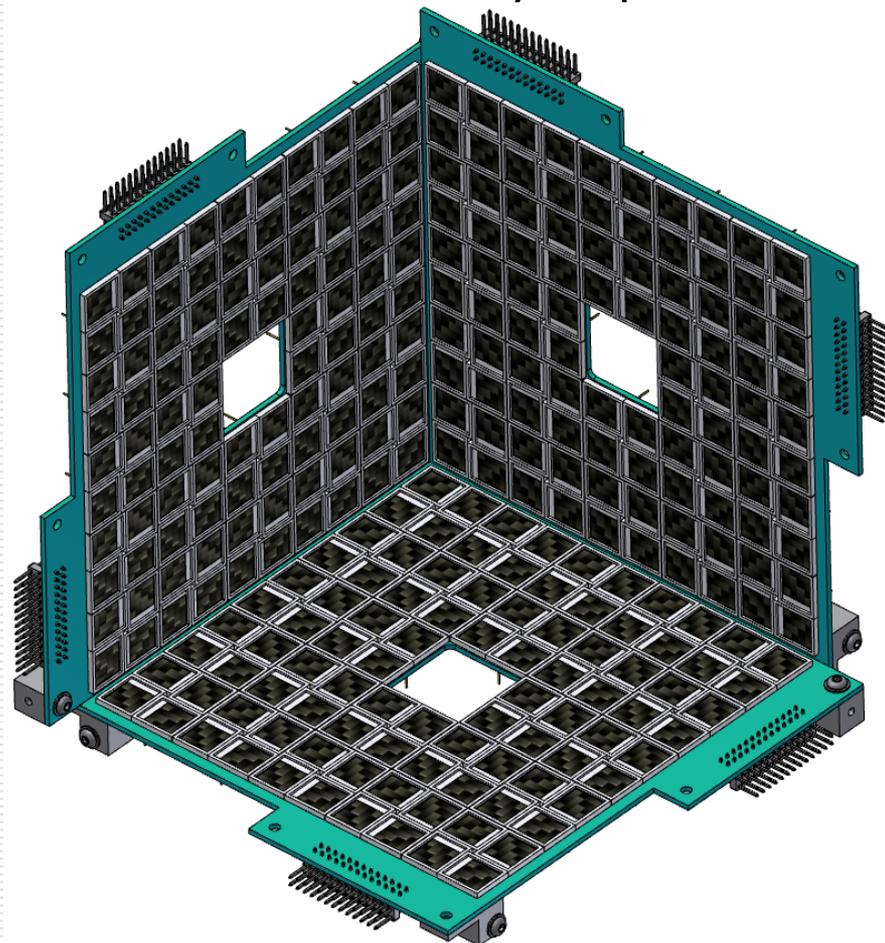
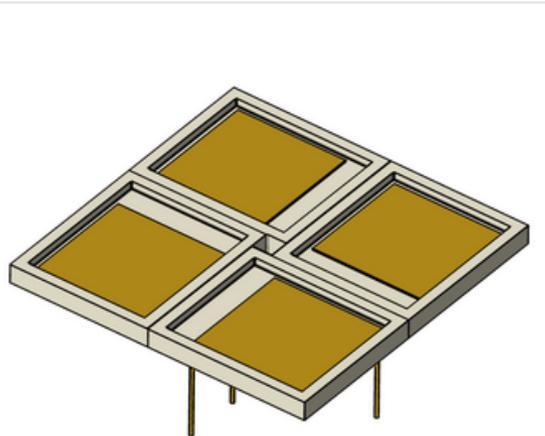
Детекторная система. PIN-диодная версия.



4-π детектор с заполнением 51%

~ 576 Hamamatsu PIN фотодиодов (S3590-09)

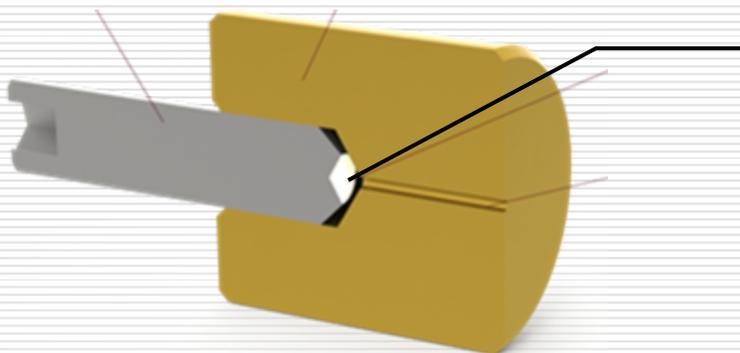
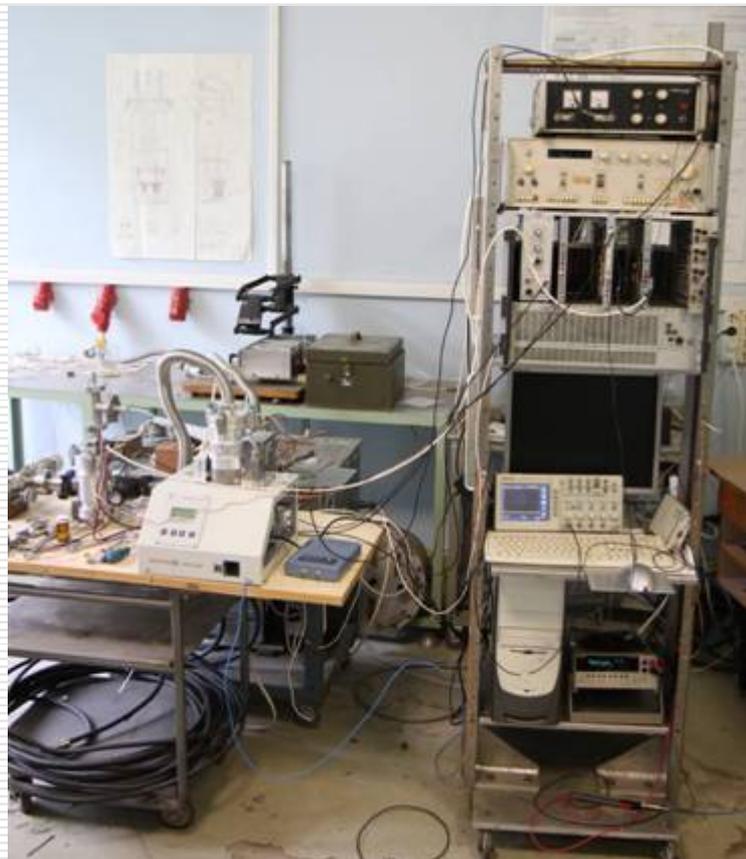
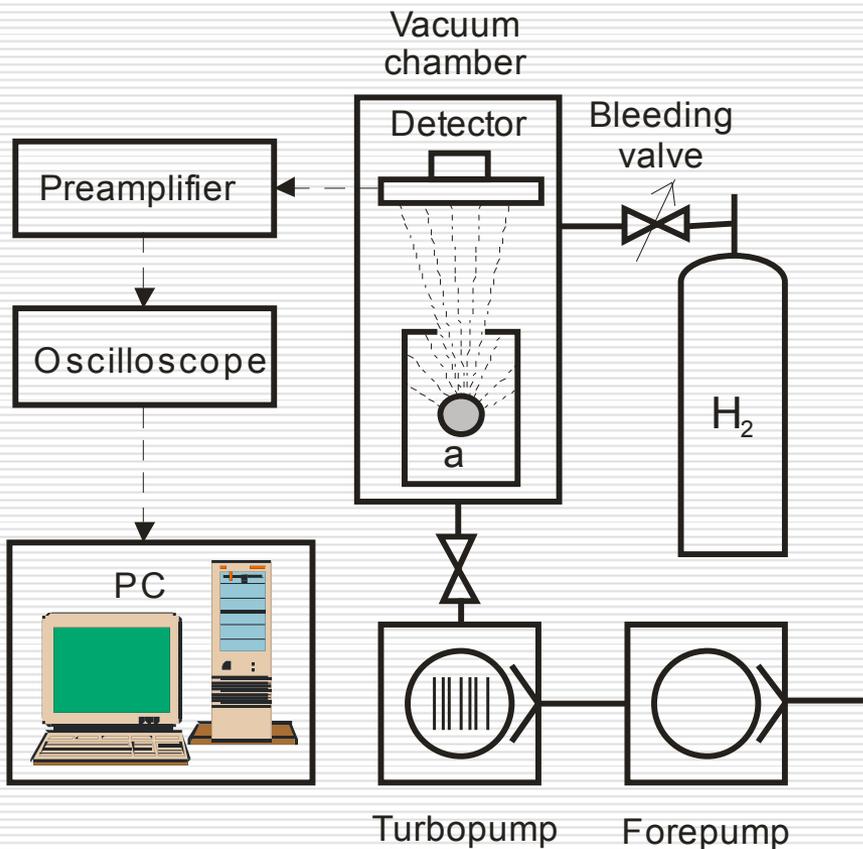
- активная область диода: 1 см²
- толщина обедненного слоя: 300 мкм
- хорошее разрешение (17keV для 1MeV ионов углерода: RHIC)



Квадратные элементы детектора (4x4)
PCB-монтаж в пружинные контакты
(без пайки)



Тестовая система для детекторов



Alpha-source:
$^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu} = 80.4\%$
$^{238}\text{Pu} + ^{241}\text{Am} = 19.6\%$
$^{234}\text{U} + ^{235}\text{U} + ^{238}\text{U}$
^{241}Am



- ✓ Измерение толщины мертвого слоя ($D \leq 1 \mu\text{m}$)
П.Монич. Бакалаврская диссертация (2011). Университет ИТМО.
- ✓ Однородность чувствительности активной области
Лучше 0.5% по всей активной области детектора
- ✓ Стабильность детектора в атмосфере водорода/дейтерия
Лучше 0.16% при давлении водорода 10^{-4} мбар.
В эксперименте ожидается $10^{-5} \div 10^{-6}$ мбар.

PIN-диоды Hamamatsu S3590-09 полностью удовлетворяют условиям эксперимента.

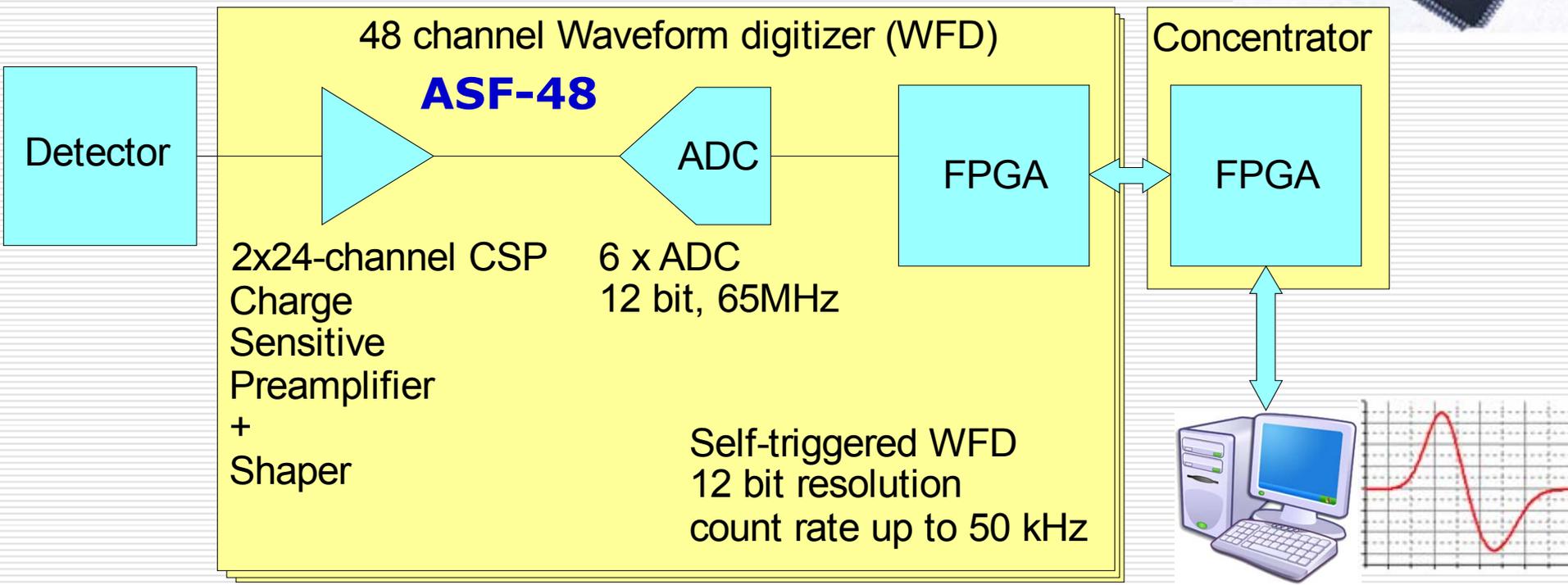
CSP from ATLAS CSC [BNL]

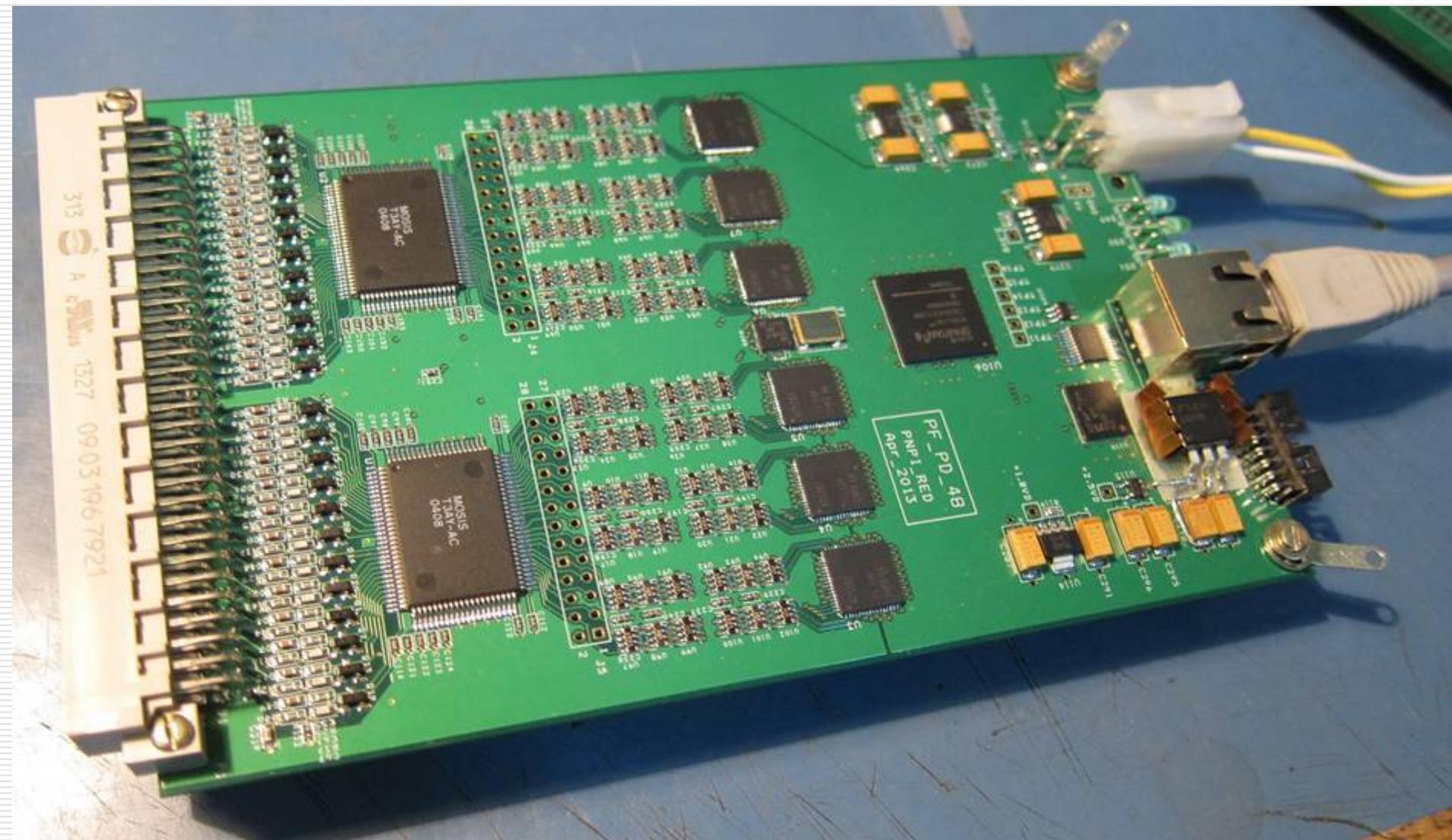
Junnarkar et al. IEEE Nuclear Science Symposium Conference Record (2005)



Требования:

- ❑ 600 каналов
- ❑ Полная скорость счета $\leq 1\text{kHz}$
- ❑ Стандартный интерфейс с ПК (Ethernet?)
- ❑ Self-trigger
- ❑ Синхронизация для анализа совпадений





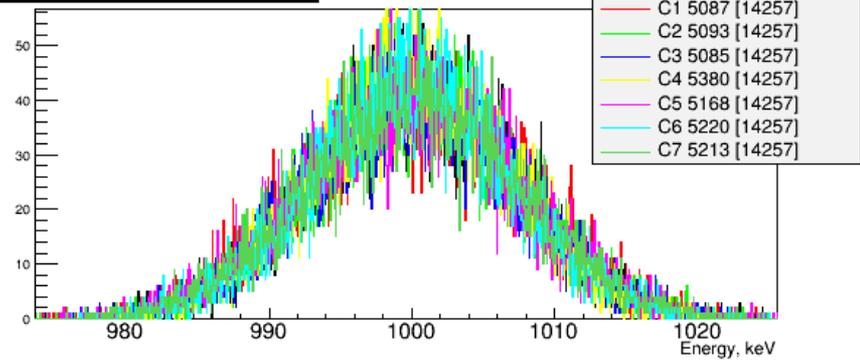
Ноябрь 2013: эксперимент НЕЙТРИНО-4 (без предусилителей)



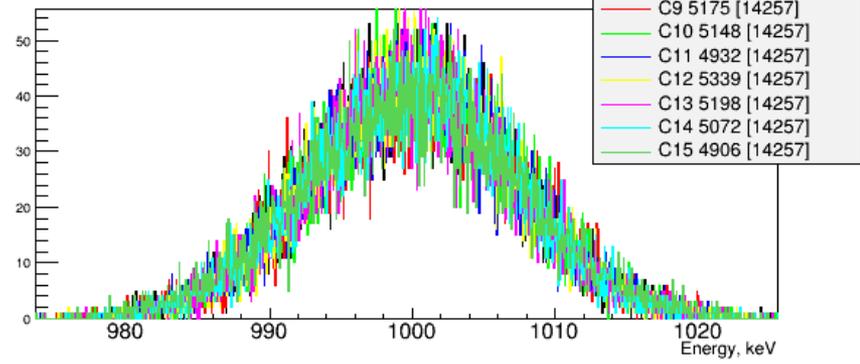
Readout electronics: test signal (1MeV)

20131220/test_screen.Integral

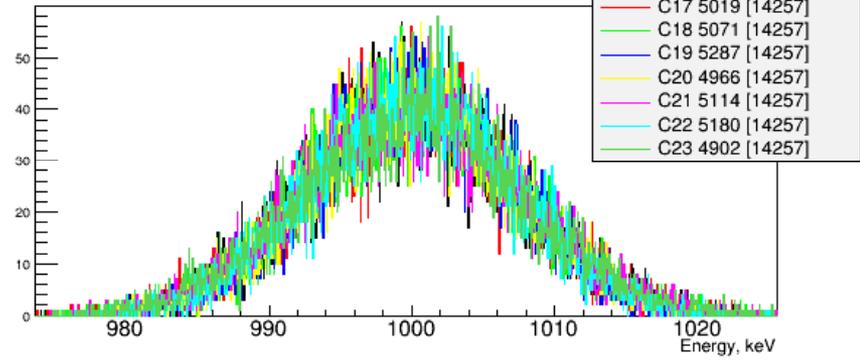
Channels 0 - 7



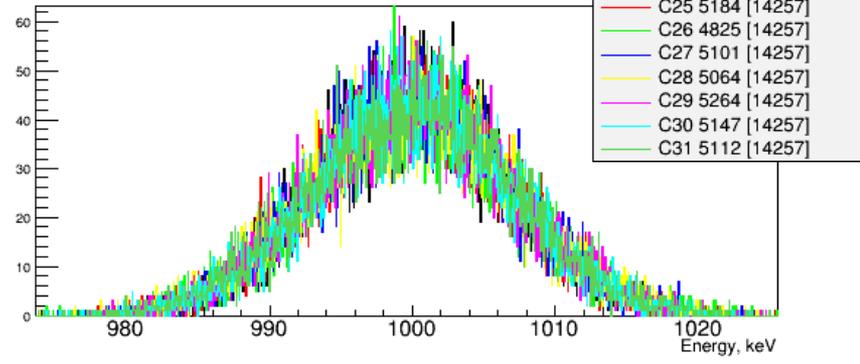
Channels 8 - 15



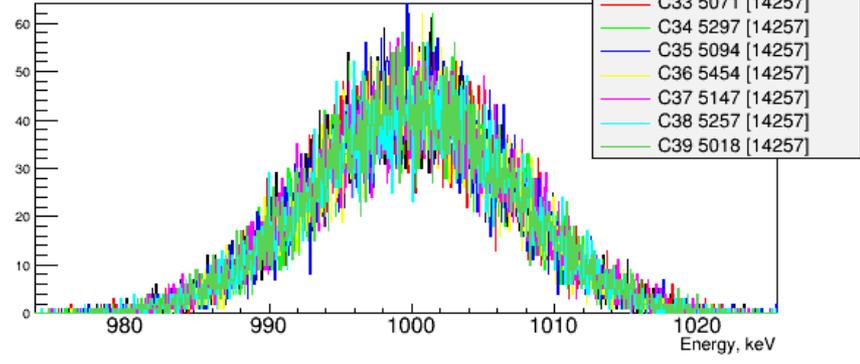
Channels 16 - 23



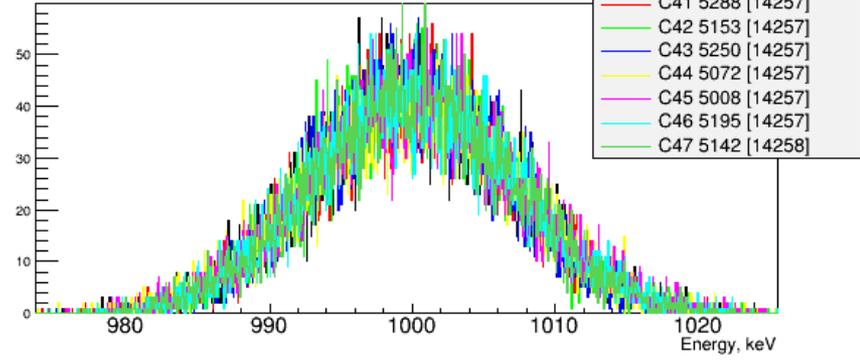
Channels 24 - 31



Channels 32 - 39



Channels 40 - 47





- ❑ K Grigoryev et al., Double polarized dd-fusion experiment.
SPIN-2010. Journal of Physics: Conference Series 295 (2011) 012168
- ❑ P. Kravtsov et al., Double polarized dd-fusion.
PSTP-2011, St.-Petersburg, Russia.
- ❑ R. Engels et al., Polarized Fusion.
SPIN-2012. Physics of Particles and Nuclei, Vol. 45, No. 1, pp. 341–343 (2014).
- ❑ P. Kravchenko, Current status of physics analysis and data analysis software for PolFusion experiment in PNPI, Gatchina Nuclear fusion with polarized nucleons. International meeting, Trento (**2013**).
- ❑ P. Kravtsov, Status of the double-polarized DD-Fusion Experiment.
Nuclear fusion with polarized nucleons. International meeting, Trento (**2013**).



План работ

- **Инфраструктура**
 - Подготовка экспериментального зала ✓ март 2011
 - Платформа для электроники ✓ май 2011
 - Система охлаждения ✓ август 2013
- **Сборка и запуск ионного источника**
 - Вакуумная и водяная система ✓ декабрь 2011
 - Система управления ✓ март 2012
 - Пуско-наладка 🔄 зима 2013-2014
 - Эксперимент с твердотельной мишенью 2014
- **Создание атомарного источника** **осень 2013**
 - Вакуумная система ✓ весна 2013
 - Разработка магнитной системы ✓ март 2013
 - Получение атомарного пучка ✓ август 2013
 - Конструкция ВЧ блоков перехода 🔄 февраль 2013
 - Пуско-наладка Ferrara ABS 1 половина 2014
- **Детекторная система** **конец 2013**
 - Детекторная камера ✓ апрель 2011
 - Разработка механики ДС ✓ весна 2012
 - Разработка электроники ✓ весна 2013
 - Производство электроники 🔄 **осень 2013**
 - Покупка PIN-диодов 🔄 **осень 2013**



Спасибо за внимание!