



# Эксперимент POLFUSION

П. Кравцов

коллаборация PolFusion



# Институты-участники



Петербургский институт ядерной физики, Россия



Forschungszentrum Jülich, Germany



Cologne University, Germany



KVI, Groningen, Netherlands



Университет ИТМО, Россия



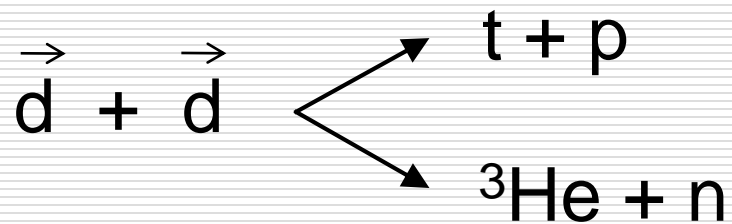
Ferrara University, Italy

Финансовая поддержка:  
РНФ



## Цели и задачи эксперимента

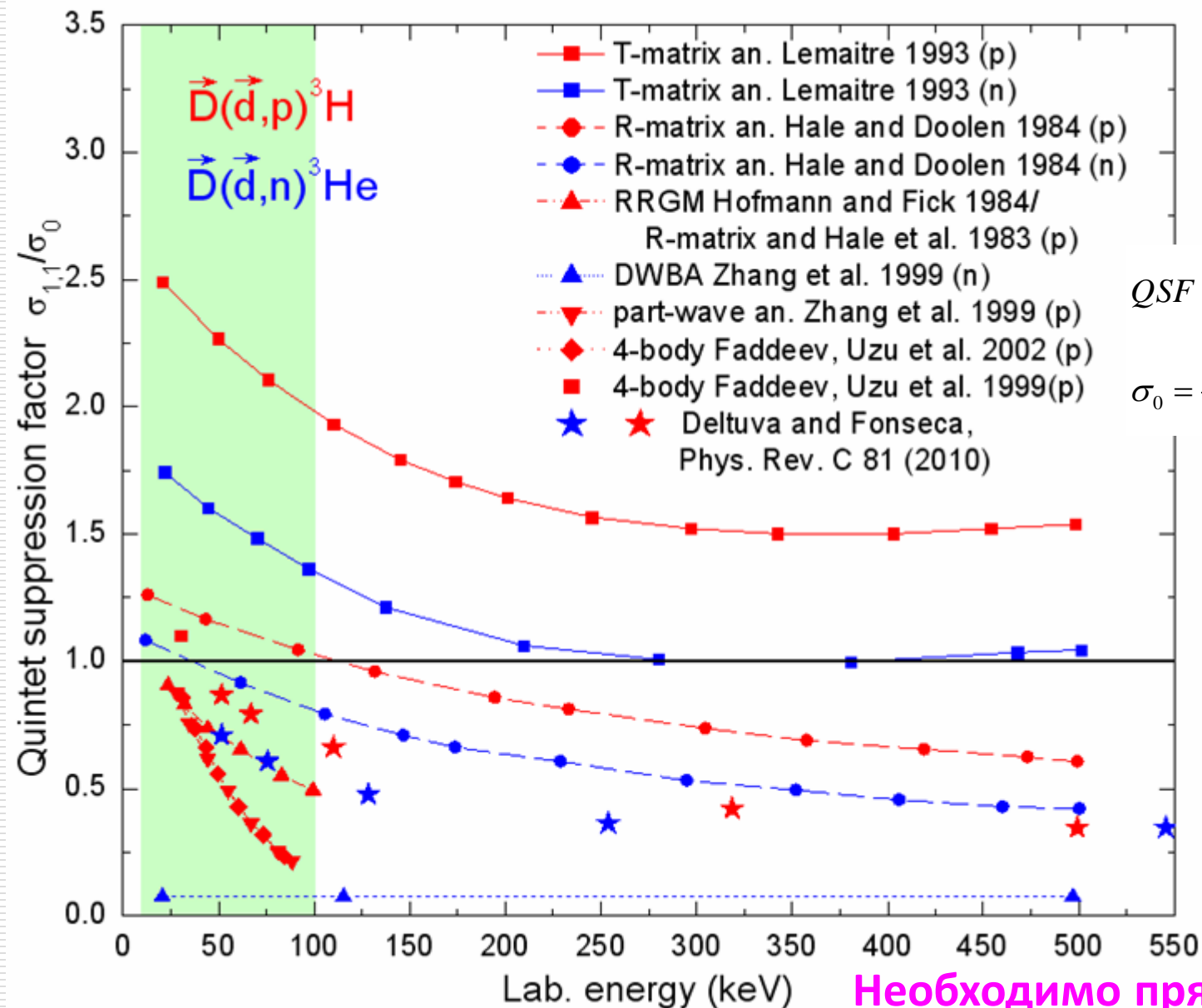
Исследование основной 4-нуклонной реакции с поляризацией **обеих** исходных частиц при низких энергиях (до 100кэВ).



- 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  $\sim 1.5$  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)]

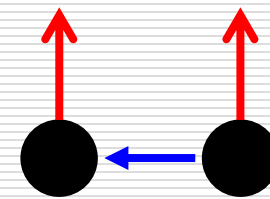


# The Quintet suppression factor



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

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



Необходимо прямое измерение!



# Схема эксперимента

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

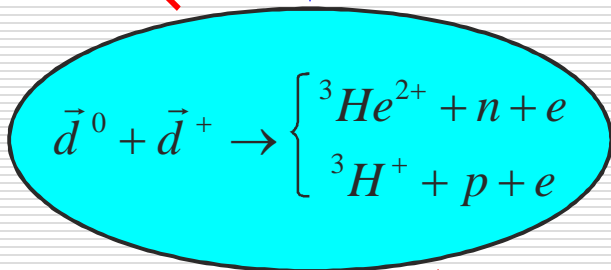
ABS

Ferrara (IUCF) ABS  
 $I \sim 4 \cdot 10^{16}$  at/s  
Target density  $\sim 2.7 \cdot 10^{11}$  at/cm<sup>2</sup>  
Vector polarization:  $\pm 0.7$

$\vec{d}^0$  (0.1 eV)

dd-polarimeter  
or LSP

$\vec{d}^+$



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

Ion  
source

Polarized Ion Source  
Ion beam:  $I = 20 \mu\text{A}$   
( $1.3 \cdot 10^{14}$  d/s)  
 $E_{\text{beam}} = 32 \text{ keV}$   
Vector polarization:  $\pm 0.7$

$\vec{d}^0$  (0.1 eV)

LSP

Lamb-Shift Polarimeter

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

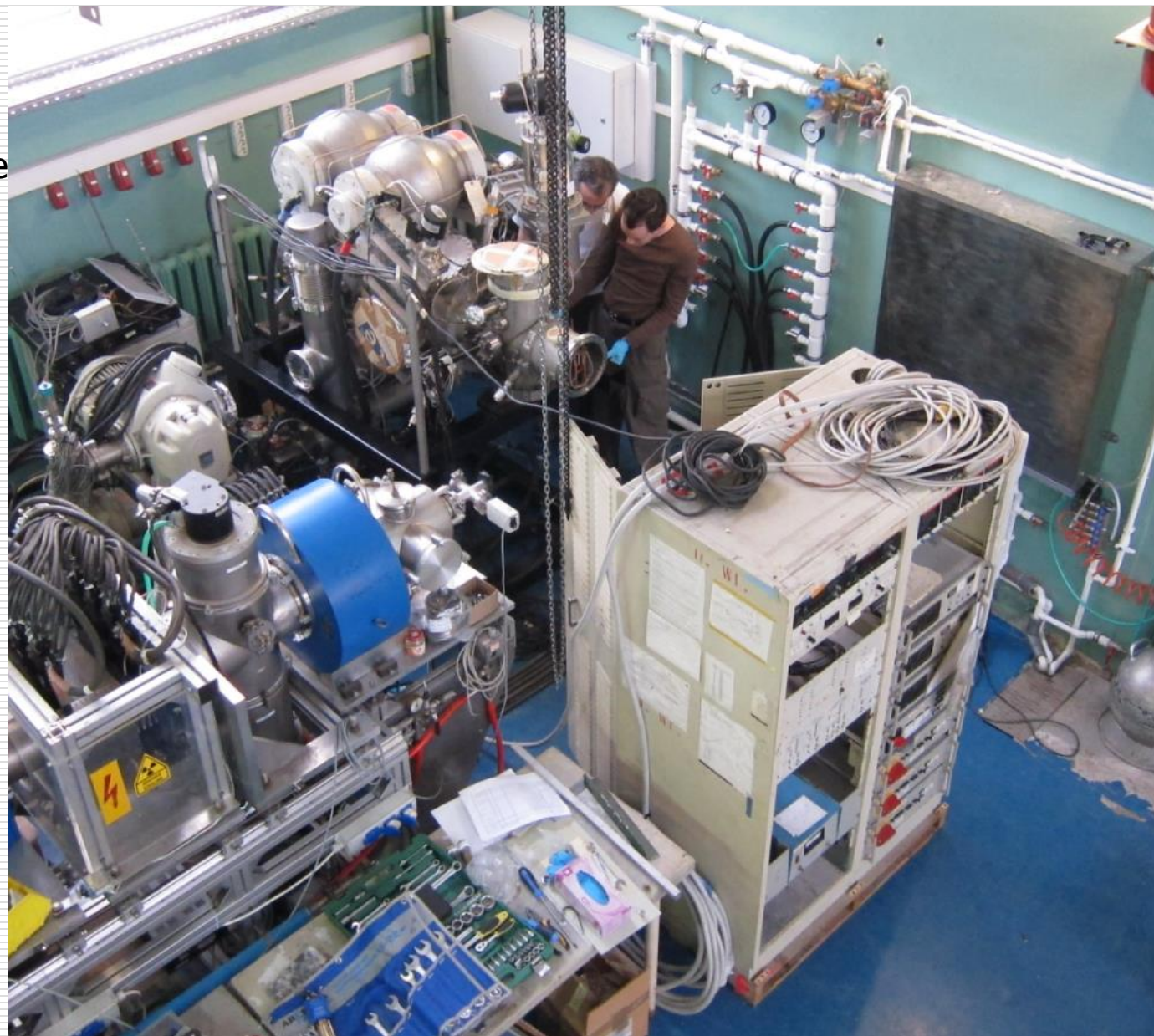
Luminosity:  $3.3 \cdot 10^{25}$  1/cm<sup>2</sup> s  
count rate:  $\sim 120/\text{h}$  (30keV)  
3 week beam time

(60000 events)

## Ferrara ABS

Февраль 2014:

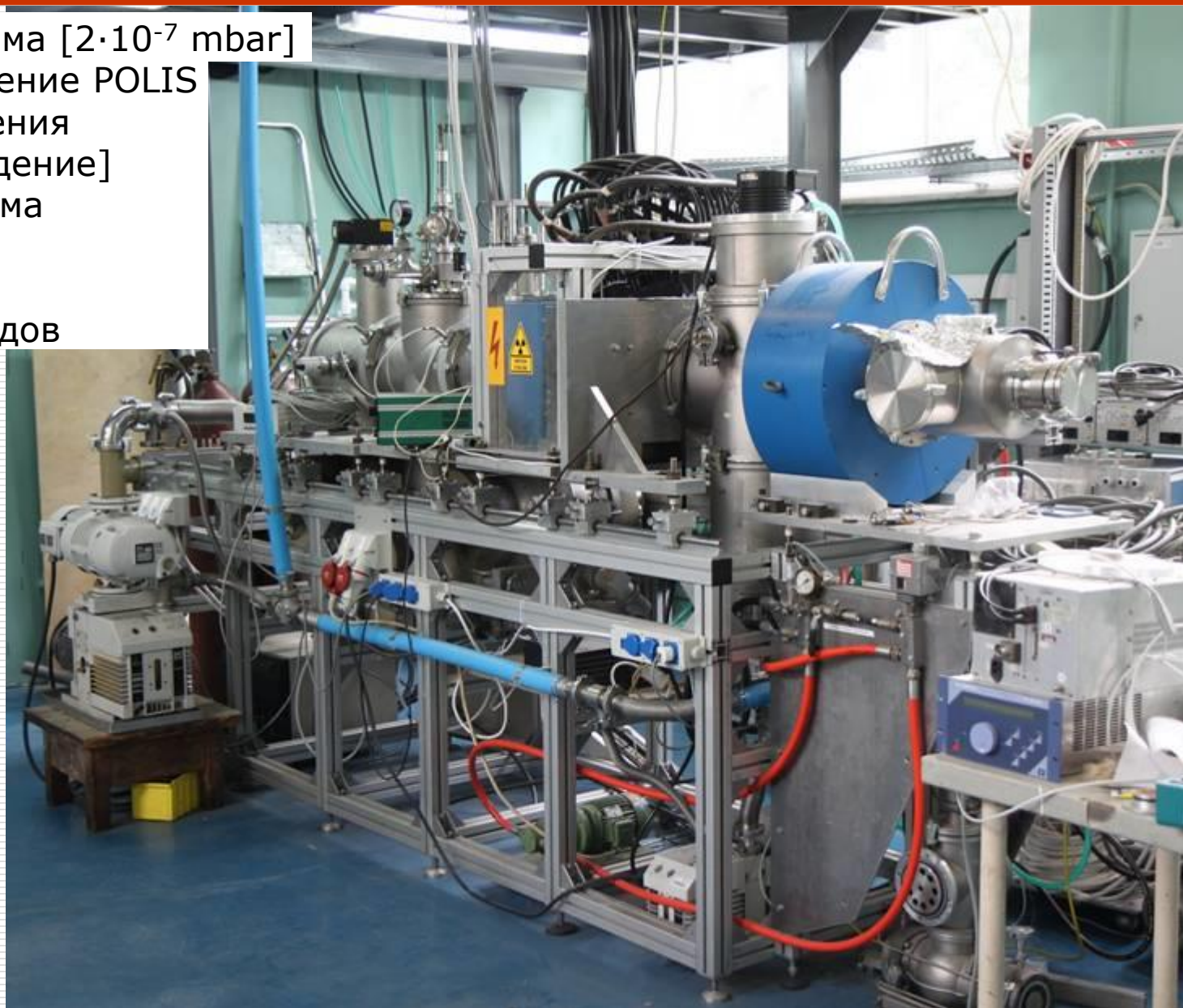
- Вакуумная система
- ✓ Водяное охлаждение
- ✓ Магнитная система
- ✓ Диссоциатор
- Система управления
- ВЧ блоки переходов

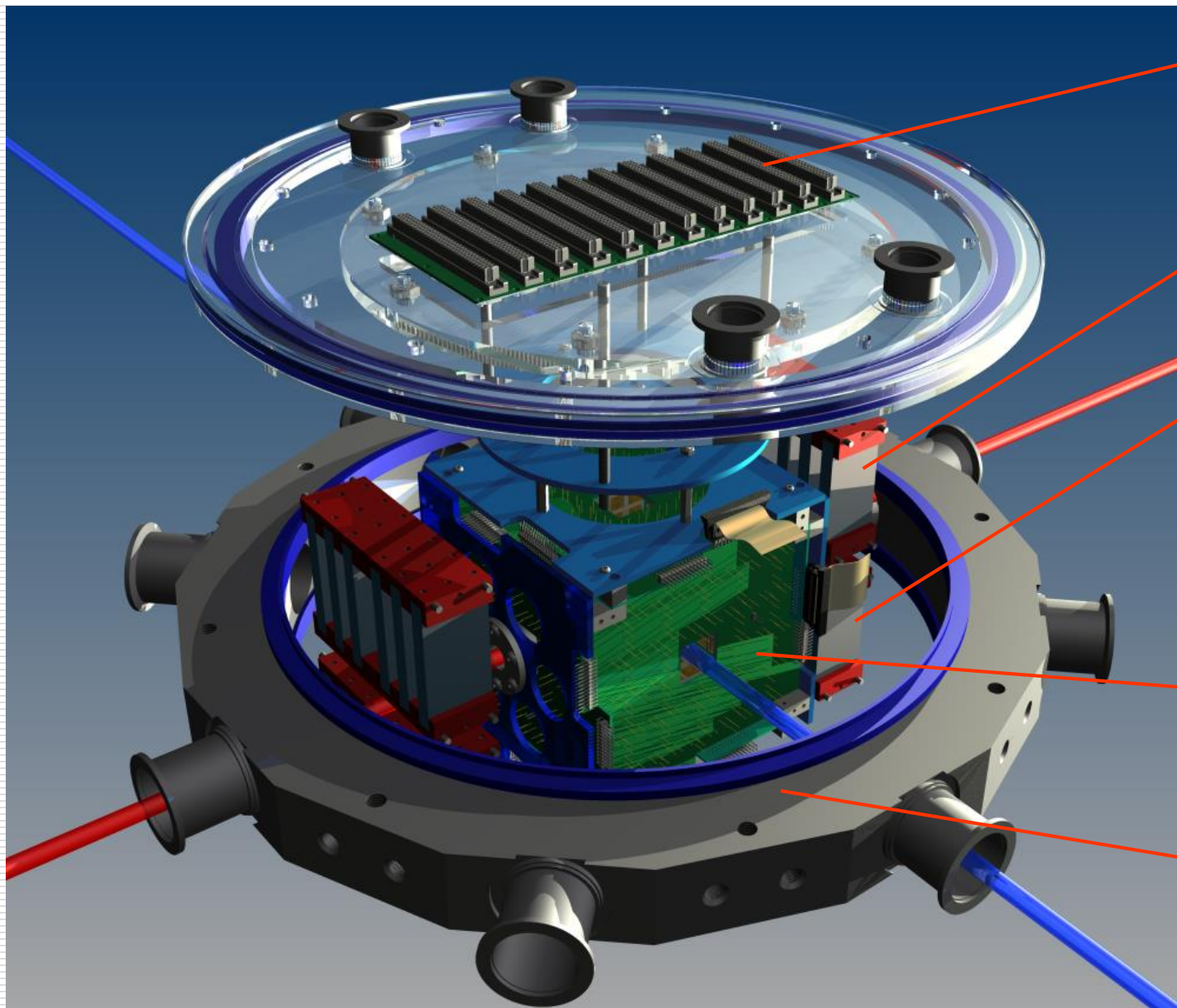






- ✓ Вакуумная система [ $2 \cdot 10^{-7}$  mbar]
- ✓ Водяное охлаждение POLIS
- ✓ Система управления [вакуум+охлаждение]
- ✓ Магнитная система
- ✓ Диссоциатор
- Ионизатор
- ВЧ блоки переходов





Разъемы для подключения электроники

Кольца Гельмгольца

Постоянные NdFeB магниты

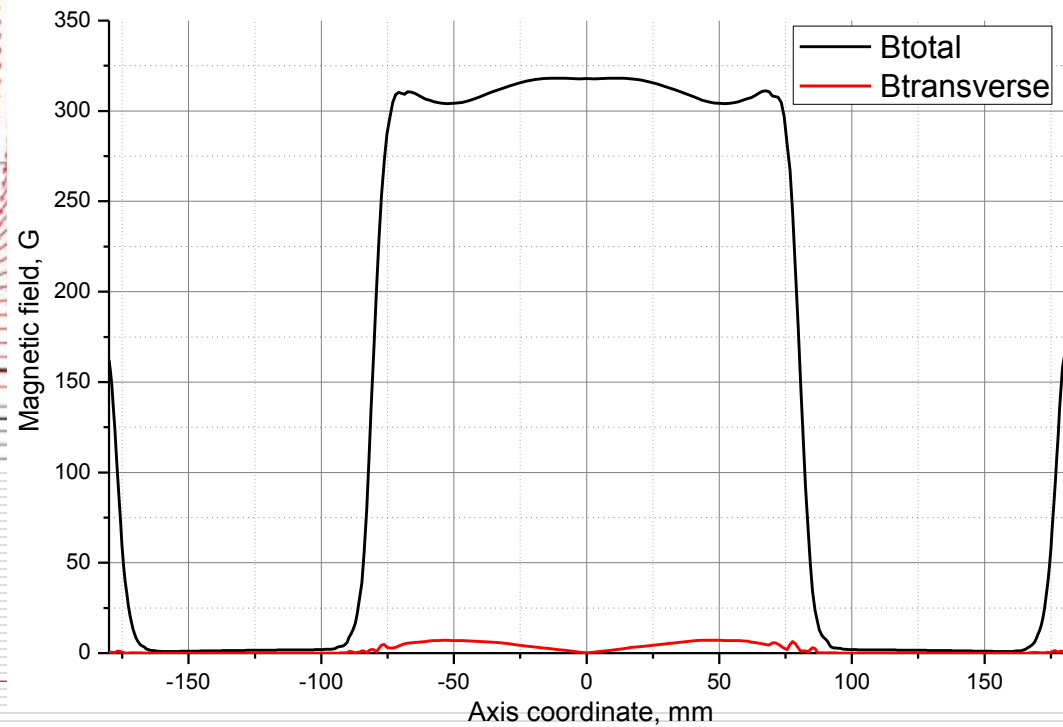
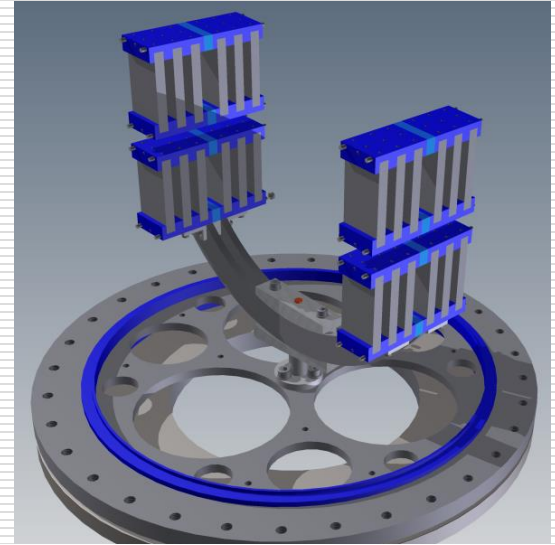
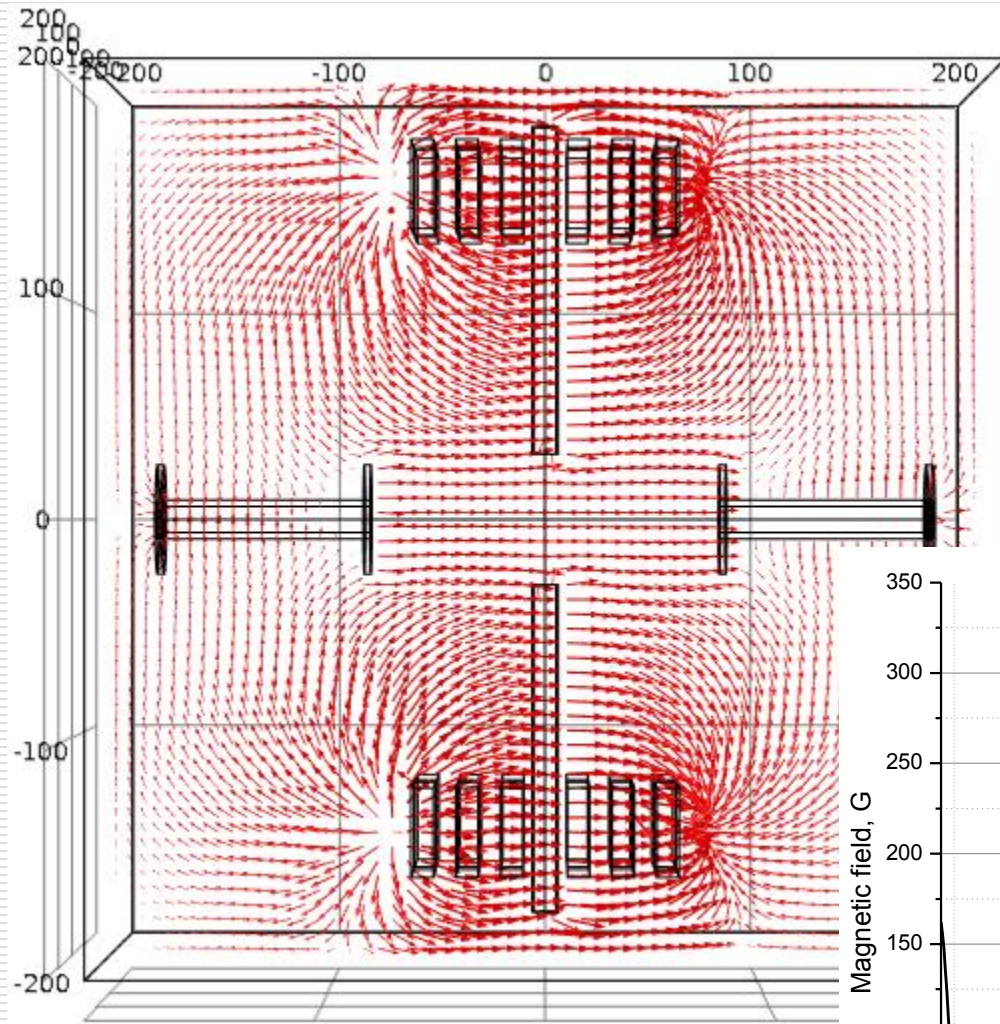
Детекторная система

Детекторная камера





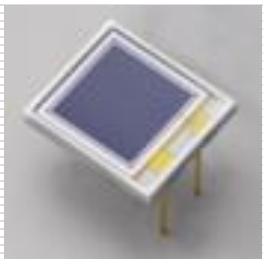
# Магнитная система детектора





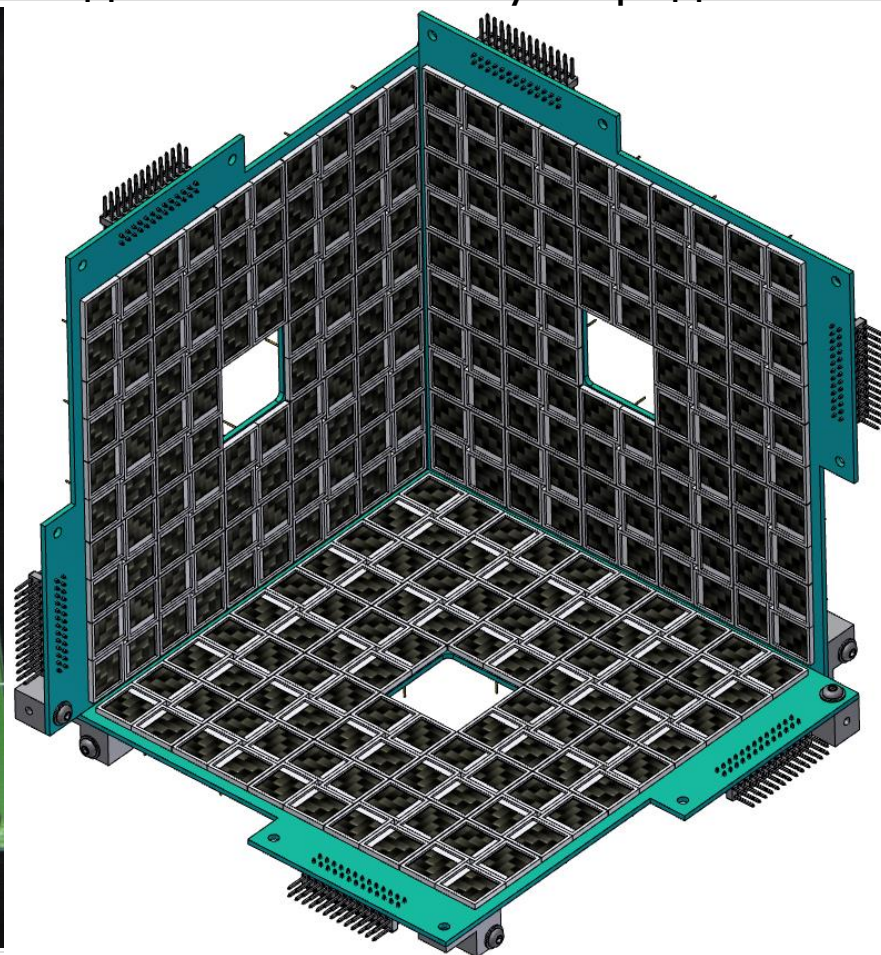
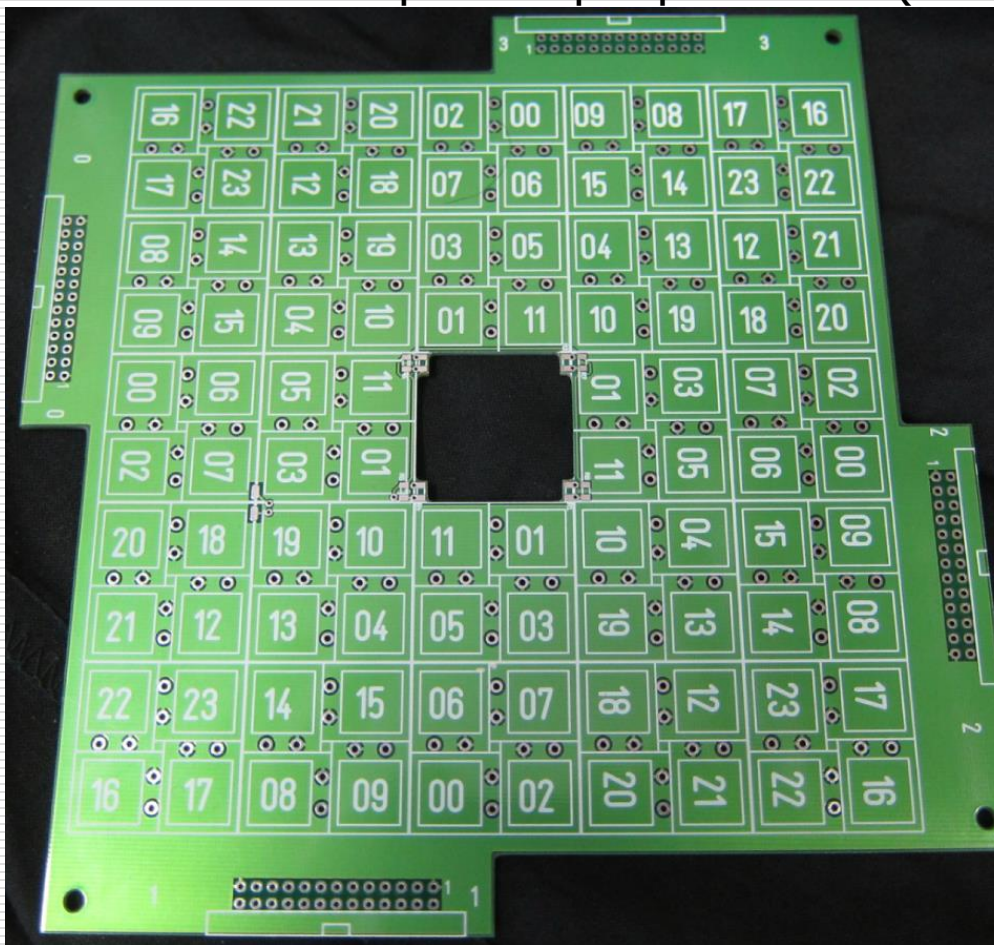


# Детекторная система



4-π детектор с заполнением 51%  
576 Hamamatsu PIN фотодиодов (S3590-09)

- активная область диода:  $1 \text{ cm}^2$
- толщина обедненного слоя:  $300 \text{ um}$
- хорошее разрешение ( $17 \text{ keV}$  для  $1 \text{ MeV}$  ионов углерода: RHIC)

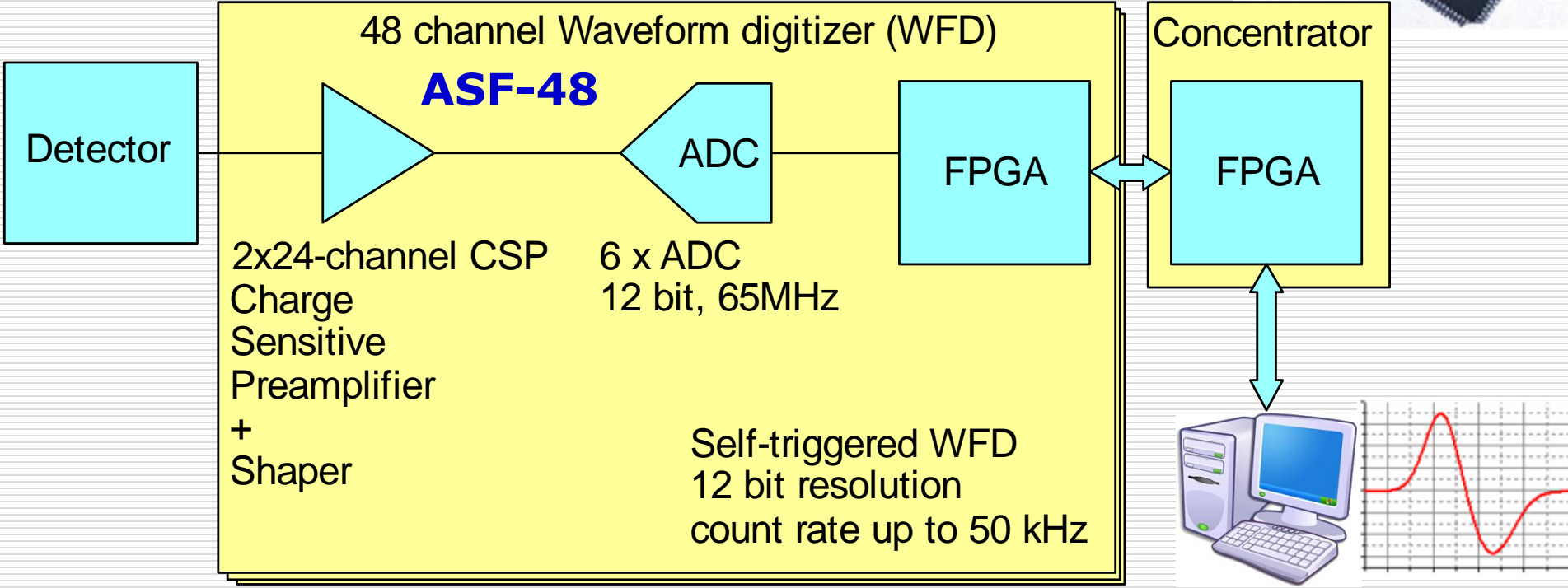
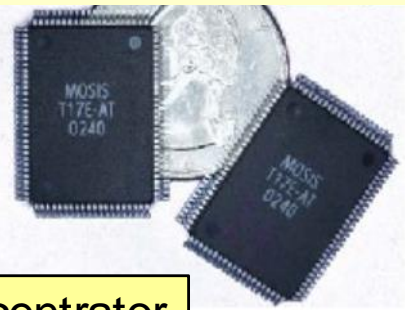


CSP from ATLAS CSC [BNL]

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





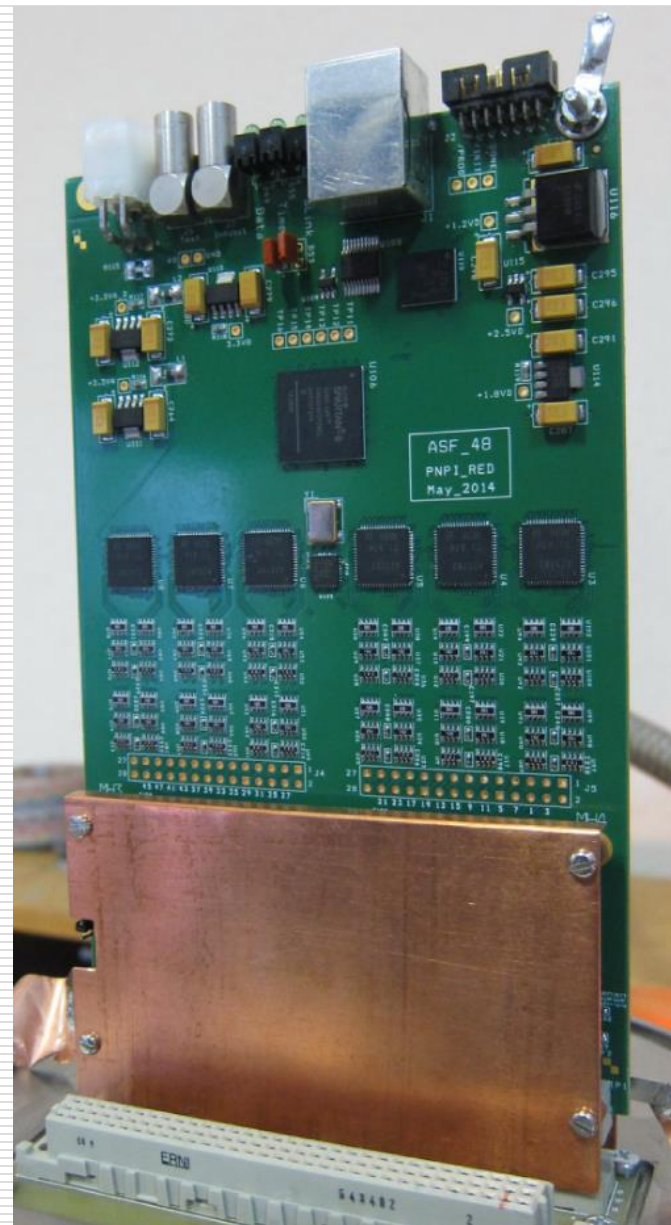
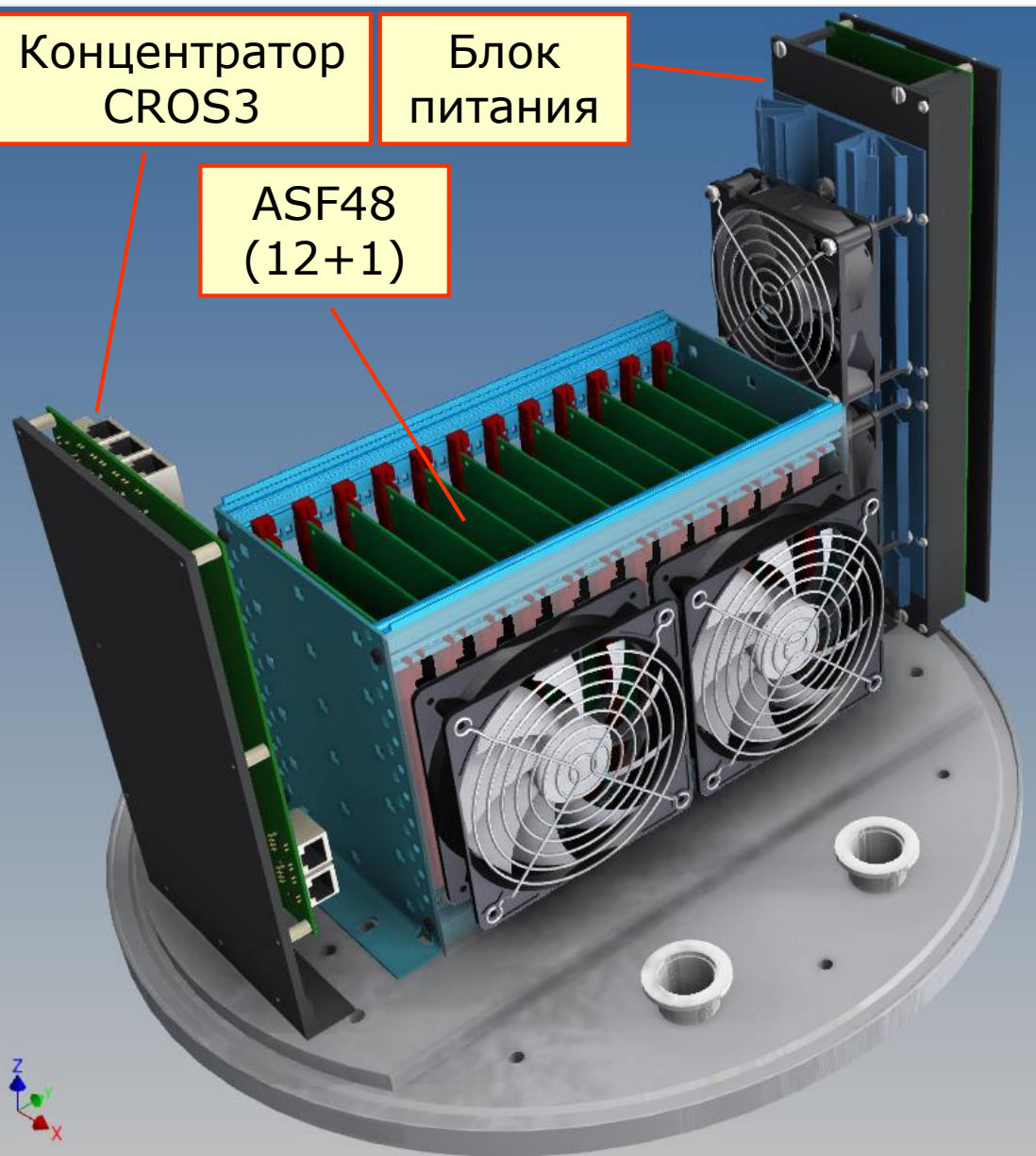


# Модуль АЦП ASF-48

Концентратор  
CROS3

Блок  
питания

ASF48  
(12+1)

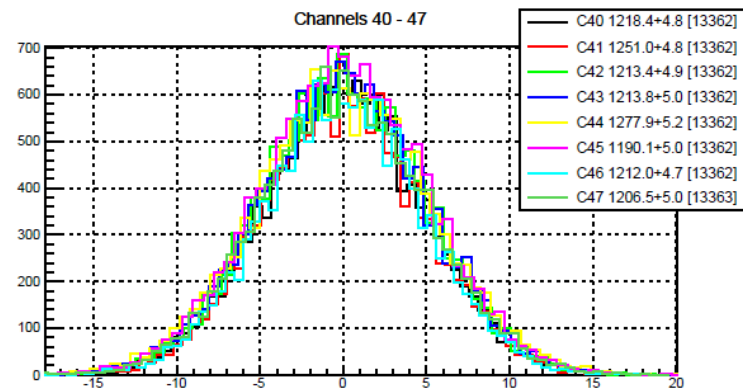
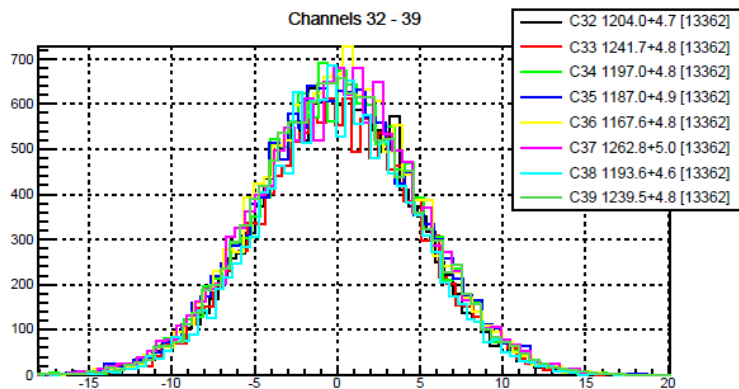
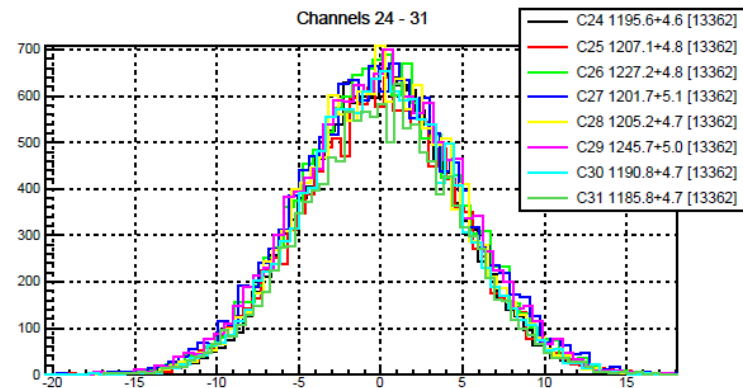
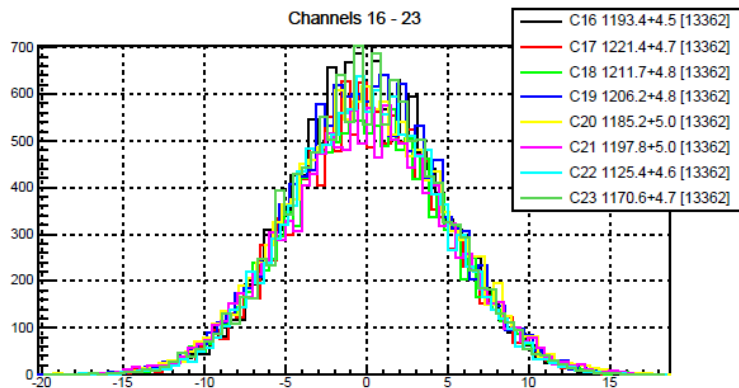
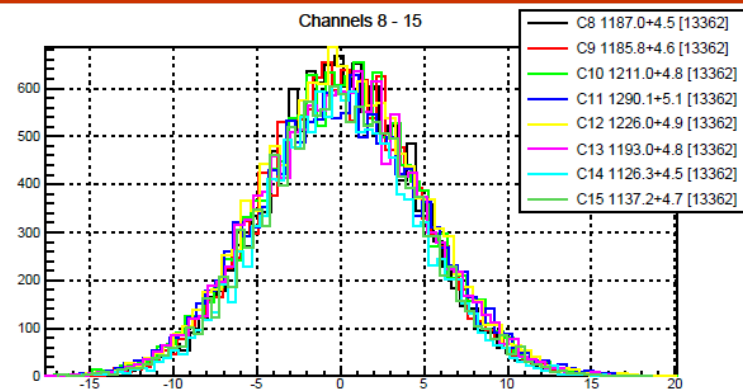
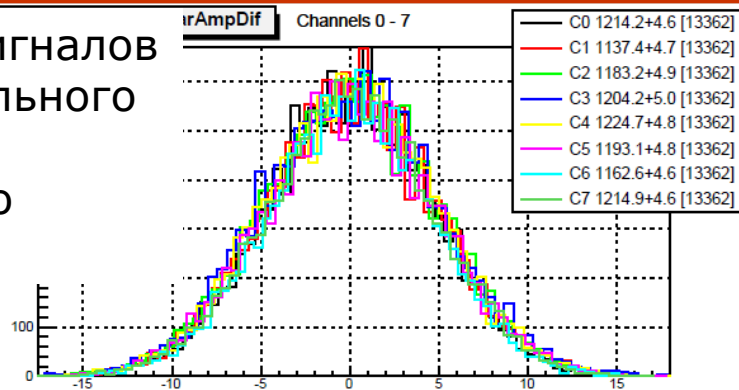






# Readout electronics: test signal (1MeV)

- ✓ Обработка сигналов
- ✓ Выбор сигнального кабеля
- ✓ Производство 20 модулей





- 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**).
- R. Engels et al., Polarized Fusion: Can Polarization Help to Increase the Energy Output of Fusion Reactors? **SPIN-2014**.



Review of Scientific Instruments: Editor's Picks  

[View Online](#) Or [Forward to a friend.](#)

## AIP | Review of Scientific Instruments

[Submit Your Manuscript](#) | [Author Guidelines](#) | [Current Issue](#) | [Most Read](#)

### Editor's Picks from *Review of Scientific Instruments*

The articles listed below are editor's picks from *Review of Scientific Instruments*. These articles have been made free to download for a limited time.

---

**[A novel planar ion funnel design for miniature ion optics](#)**  
A. Chaudhary, Friso H. W. van Amerom, R. T. Short  
[Rev. Sci. Instrum. 85, 105101 \(2014\)](#)

**[Measurement of the nuclear polarization of hydrogen and deuterium molecules using a Lamb-shift polarimeter](#)**  
Ralf Engels, Robert Gorski, Kiril Grigoryev, Maxim Mikirtychyan, Frank Rathmann, Hellmut Seyfarth, Hans Ströher, Philipp Weiss, Leonid Kochenda, Peter Kravtsov, Viktor Trofimov, Nikolay Tschernov, Alexander Vasilyev, Marat Vznuzdaev, Hans Paetz gen. Schieck  
[Rev. Sci. Instrum. 85, 103505 \(2014\)](#)

**[Adaptive AFM scan speed control for high aspect ratio fast structure tracking](#)**  
Ahmad Ahmad, Andreas Schuh, Ivo W. Rangelow  
[Rev. Sci. Instrum. 85, 103706 \(2014\)](#)

**[A novel low temperature scanning Hall probe microscope](#)**

#### Upcoming Events

**2014 MRS Fall Meeting**  
November 30 - December 5, 2014  
Boston, Massachusetts  
Booth #117

**AGU Fall Meeting**  
December 15 - 19, 2014  
San Francisco, California  
Booth #2608



**CALL FOR APPLICANTS**

Seeking new Editor-in-Chief

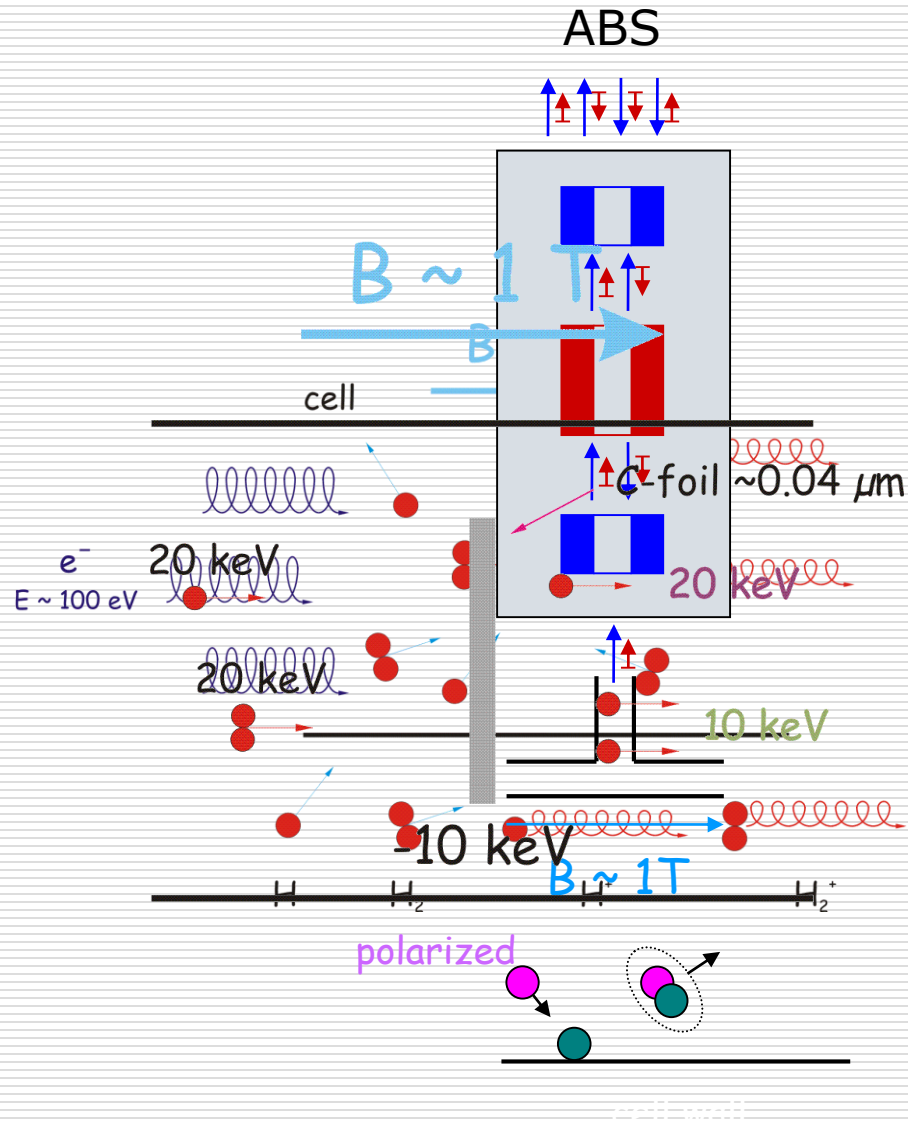


- **Время жизни** молекул на поверхности существенно меньше времени жизни атомов
  - ⇒ накопительную ячейку можно охлаждать до низких температур
  - ⇒ большая плотность мишени ( $d_t \sim T^{-1/2}$ )
- Поляризованные молекулы представляют интерес для **атомной физики**, поскольку никогда глубоко не изучались (в частности, деполяризация на поверхности)
- Рекомбинация поляризованных атомов в различных сверхтонких состояниях интересна для **астрофизики** (например, при описании формирования молекулярного водорода)





- Рекомбинация поляризованных атомов в молекулы в накопительной ячейке
- Ионизация поляризованных атомов и молекул в магнитном поле
- Получение протонов разных энергий из ионов  $H_2^+$  и  $H^+$  (W. Haerberli)
- Разделение протонов по энергии
- Измерение поляризации протонов с помощью LSP

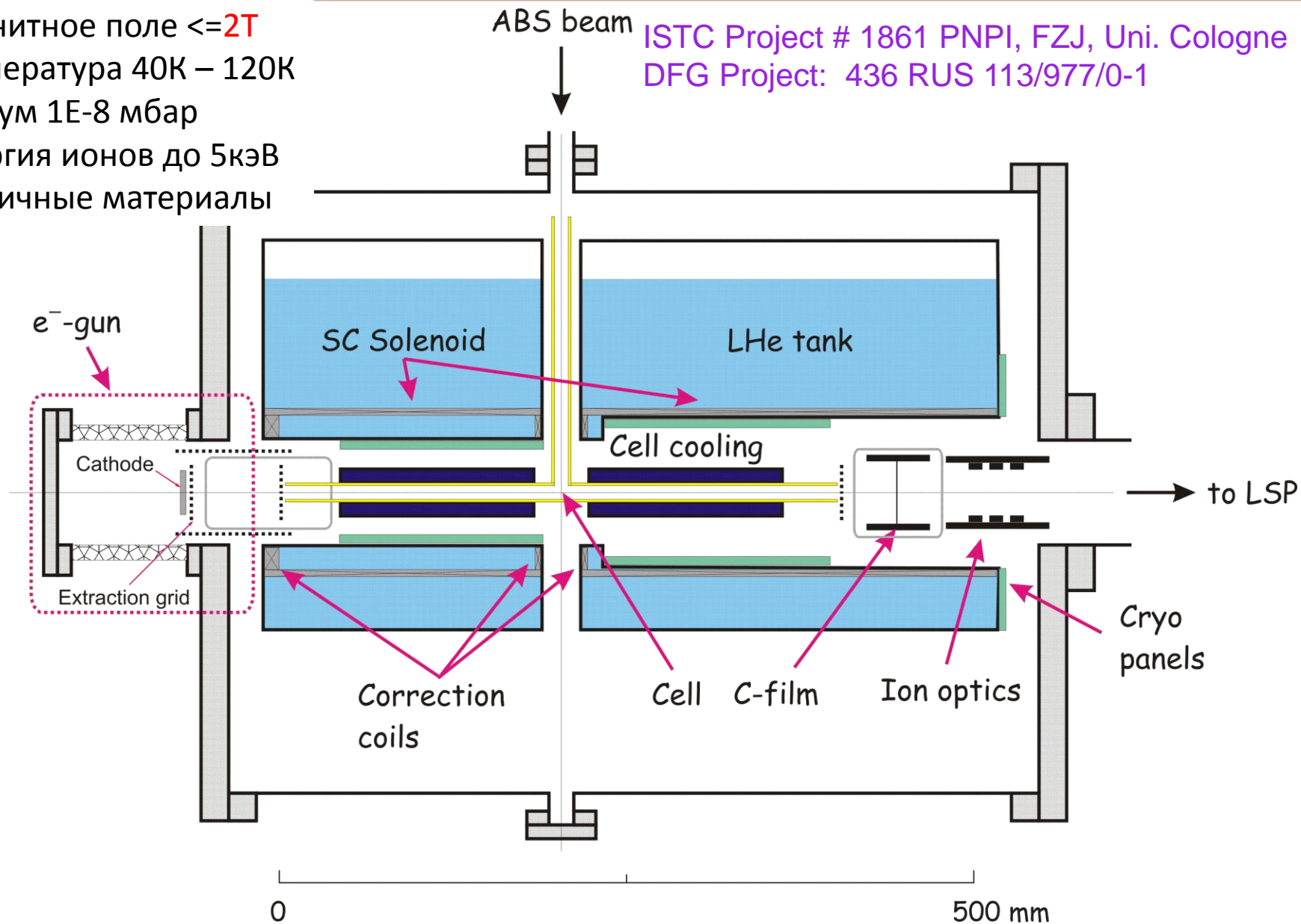




# Установка CELGAS

ISTC Project # 1861 PNPI, FZJ, Uni. Cologne  
DFG Project: 436 RUS 113/977/0-1

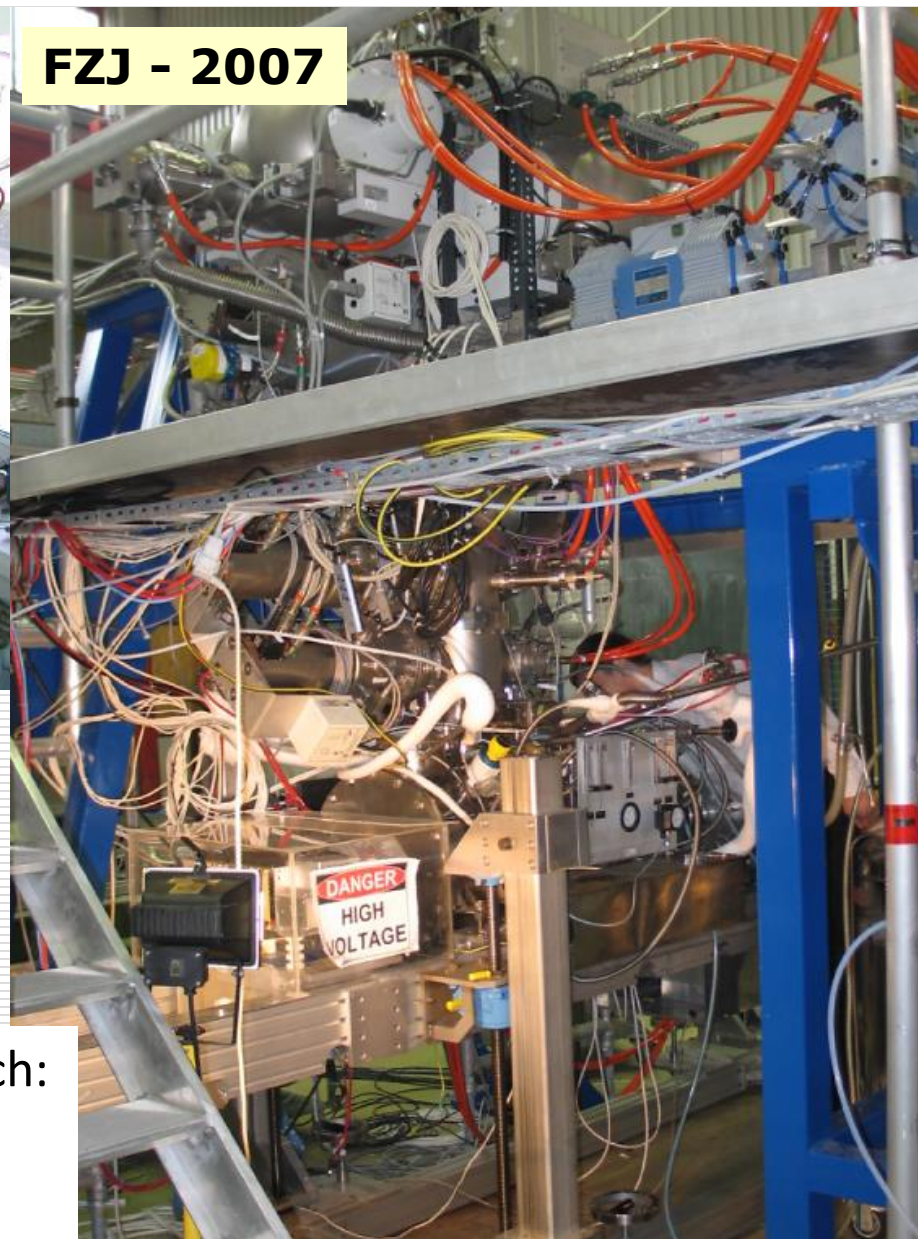
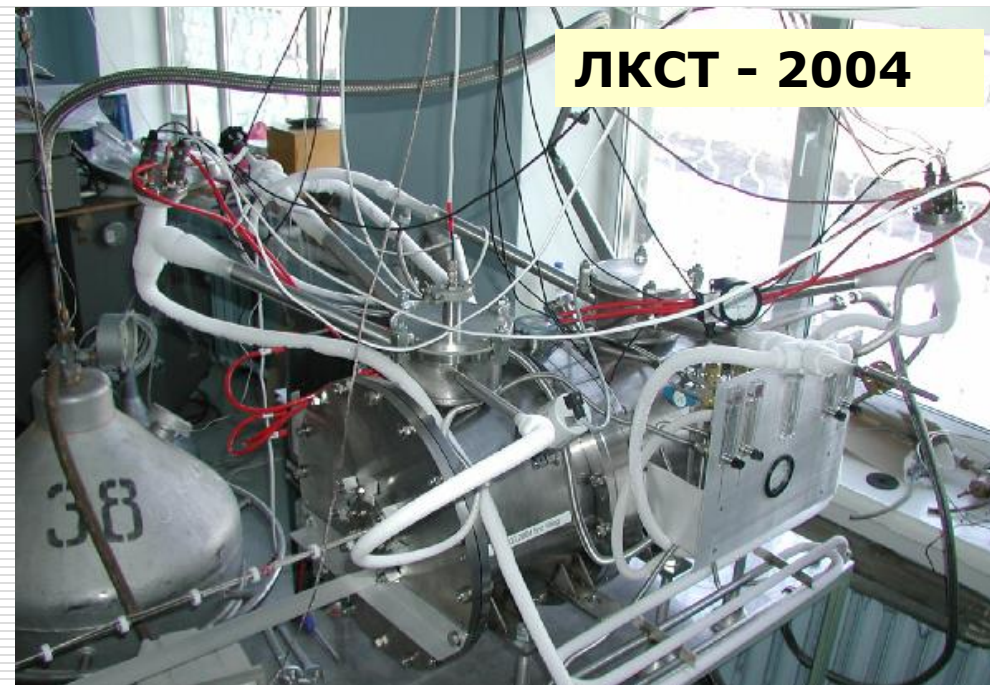
- Магнитное поле  $\leq 2T$
- Температура 40K – 120K
- Вакуум  $1E-8$  мбар
- Энергия ионов до 5кэВ
- Различные материалы





**ЛКСТ - 2004**

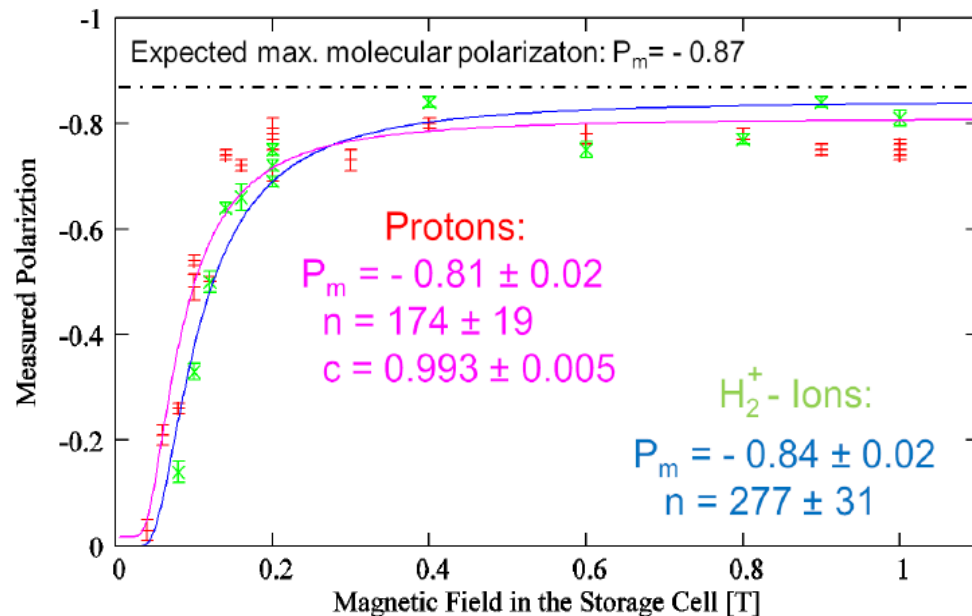
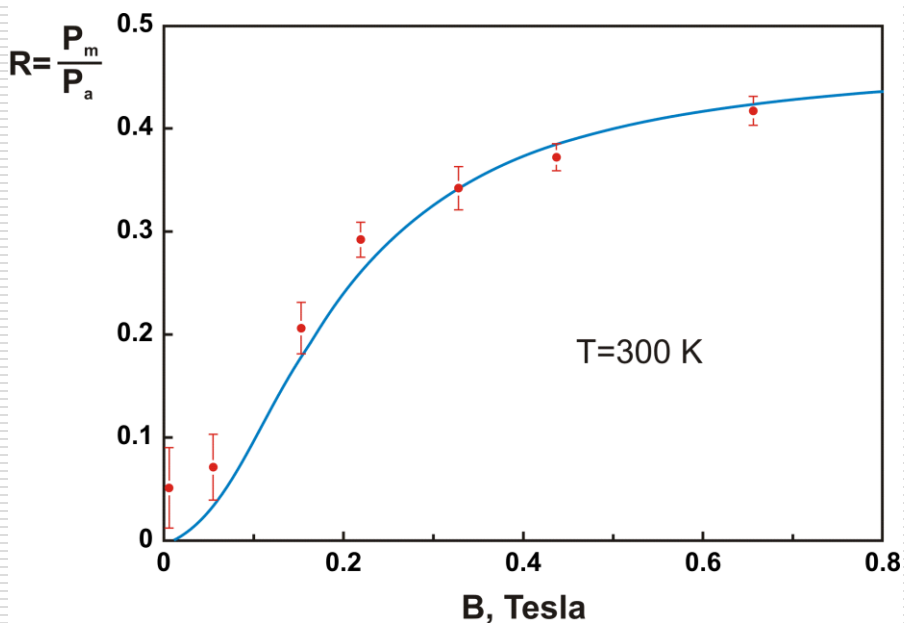
**FZJ - 2007**



Рабочие сеансы в Forschungszentrum Juelich:  
2005-2007: отладка и настройка установки  
2008-2012: измерения



# CELGAS. Зависимость поляризации от магнитного поля



$$\lim_{B \rightarrow \infty} R = 0.5$$

$$\lim_{B \rightarrow \infty} R = 0.93$$

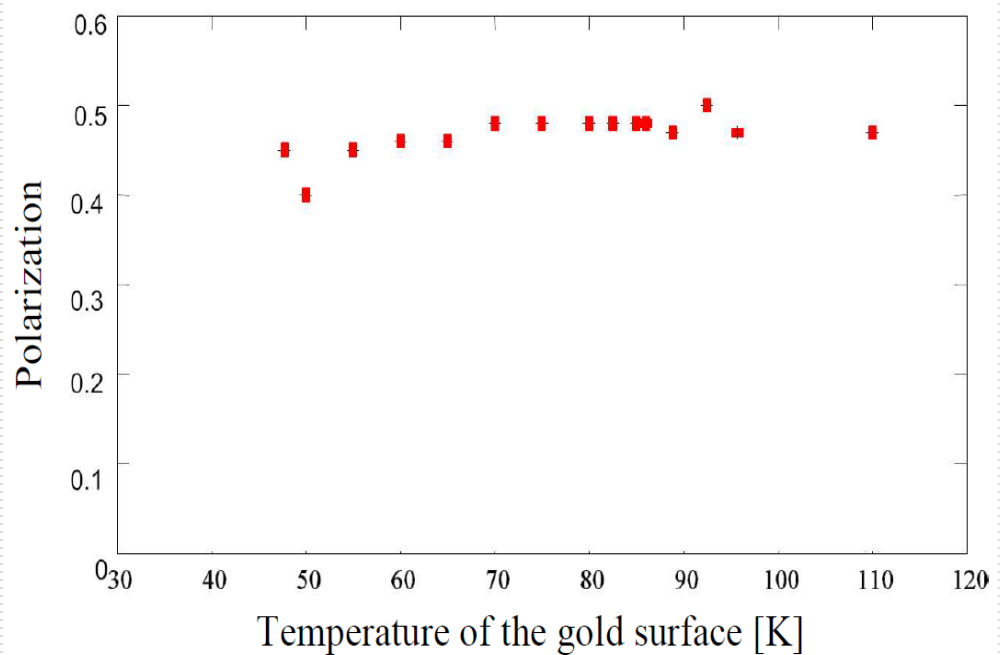
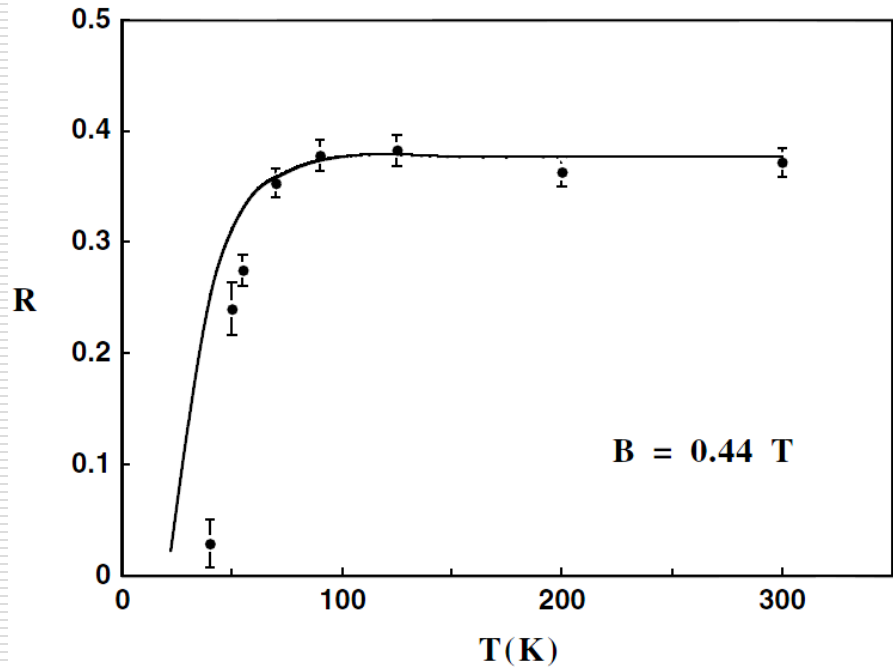
Nuclear Polarization of Hydrogen Molecules from Recombination of Polarized Atoms  
 T.Wise et al., Phys. Rev. Lett. 87, 042701 (2001).

CELGAS measurements  
 Surface: Fomblin oil, HFS 3, T = 100K





# CELGAS. Зависимость поляризации от температуры



Nuclear Polarization of Hydrogen Molecules from Recombination of Polarized Atoms  
T.Wise et al., Phys. Rev. Lett. **87**, 042701 (2001).

J. S. Price and W. Haeberli,  
Nucl. Instrum. and Methods in Physics Research  
**A 349** (1994) 321-333.

CELGAS measurements  
Surface: Gold, HFS 1,  $B = 0.28$ T,  $Q = 4$ keV



## Планы измерений:

- Рекомбинация** водорода/дейтерия на разных поверхностях в разных сверхтонких состояниях.
- Дополнительные исследования водяного слоя в накопительной ячейке.
- Поляризация** атомов и молекул в накопительной ячейке в зависимости от
  - материала поверхности
  - температуры (40 – 120К)
  - магнитного поля (0 – 2Т)



Спасибо за внимание!



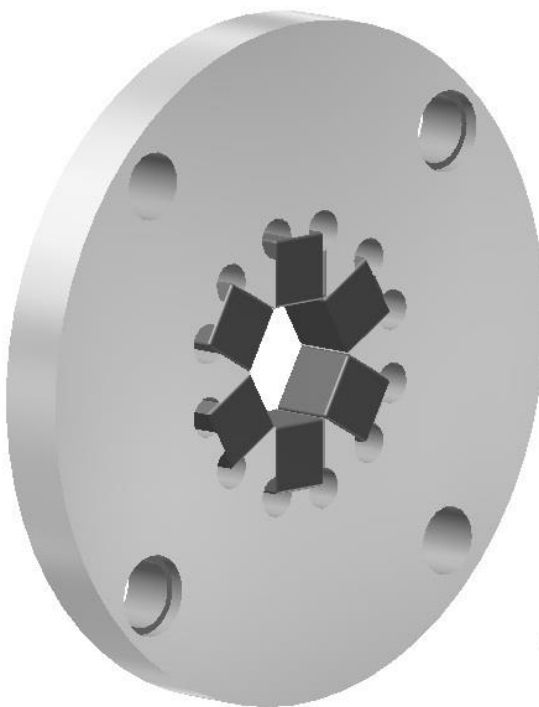




# BACKUP

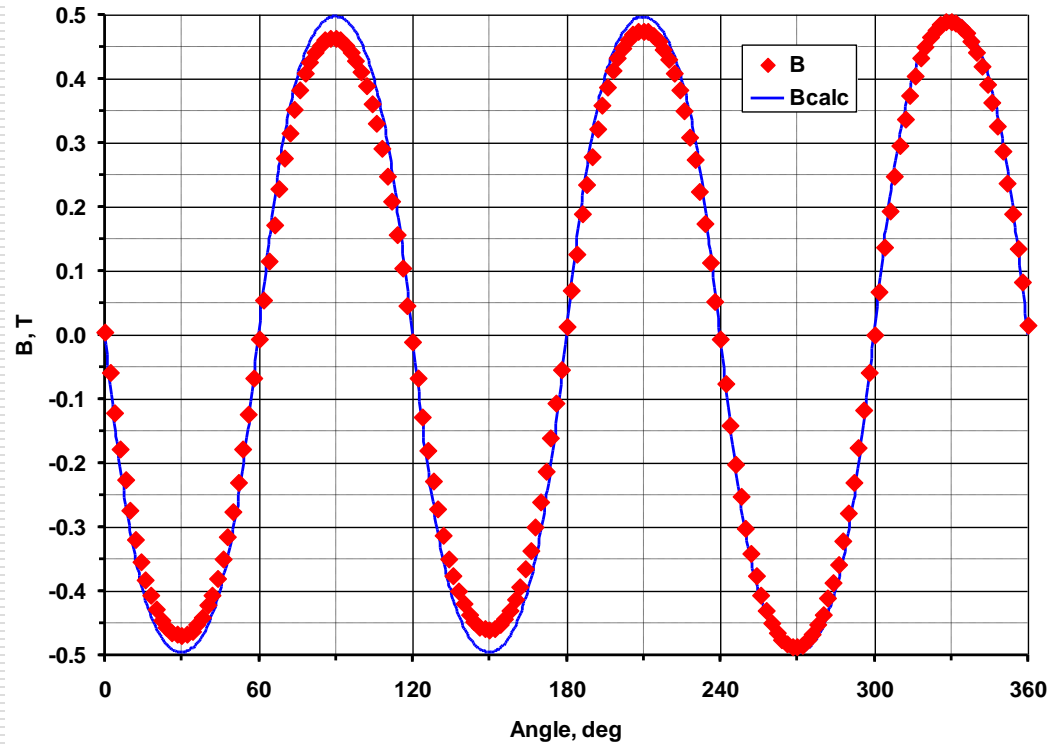
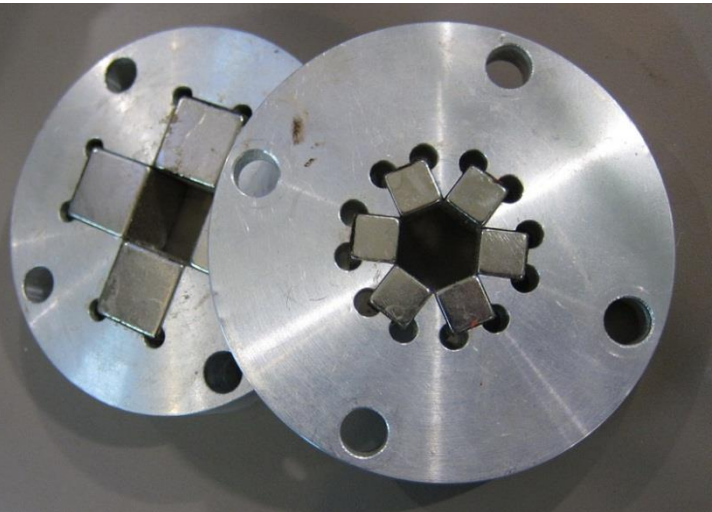
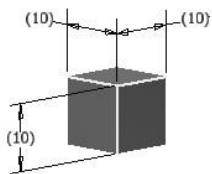
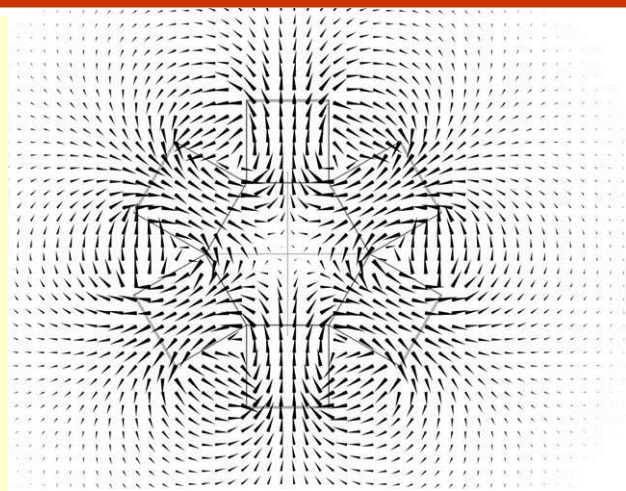


# Постоянные многополюсные магниты



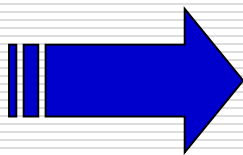
- Трехмерный расчет поля
- Бюджетные NdFeB магниты

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





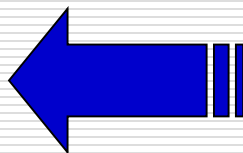
2009



2010



May 2011



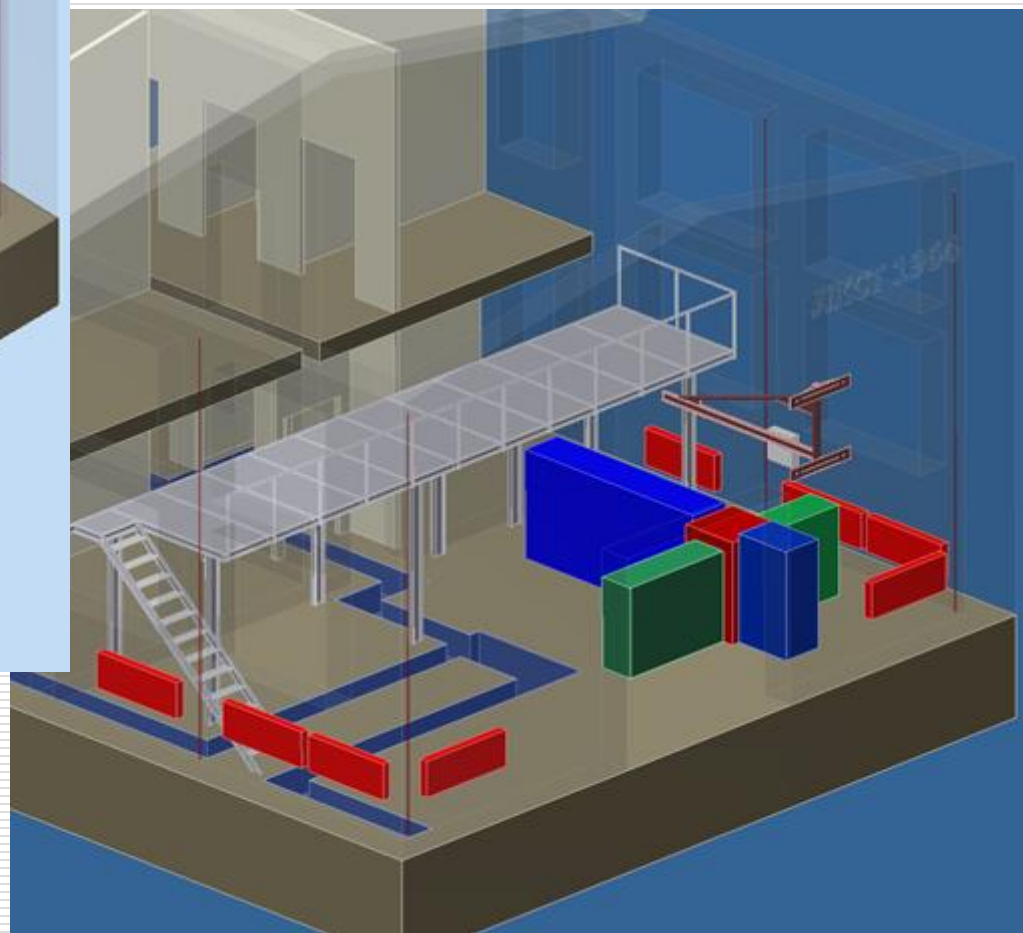
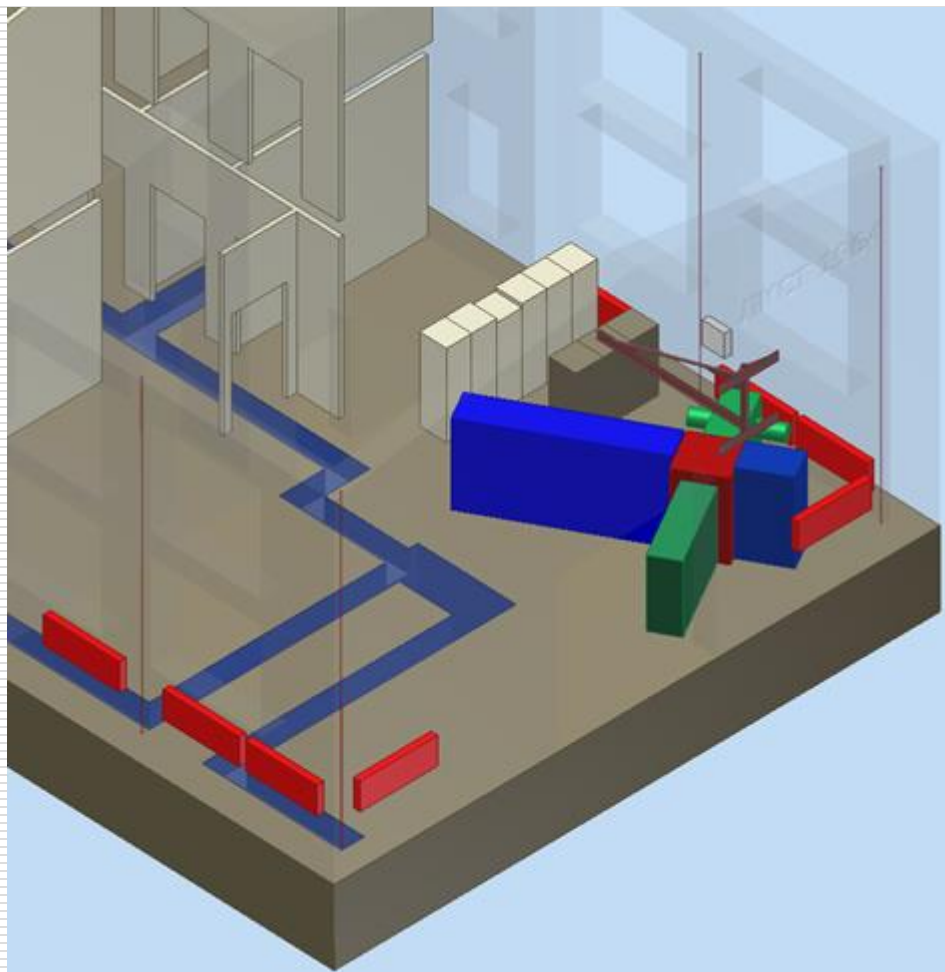
Sep 2011







# Experimental hall. Equipment layout





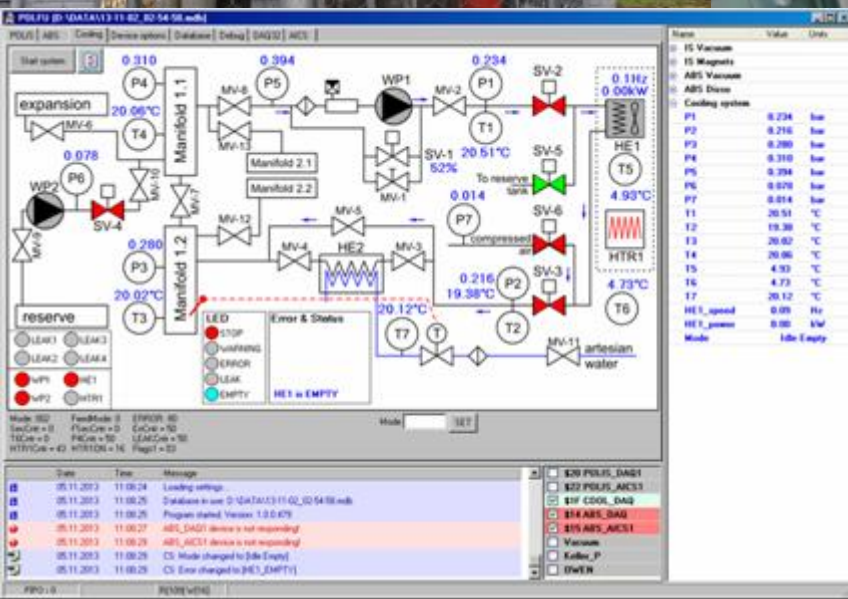




# Система водяного охлаждения

Параметры системы:

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



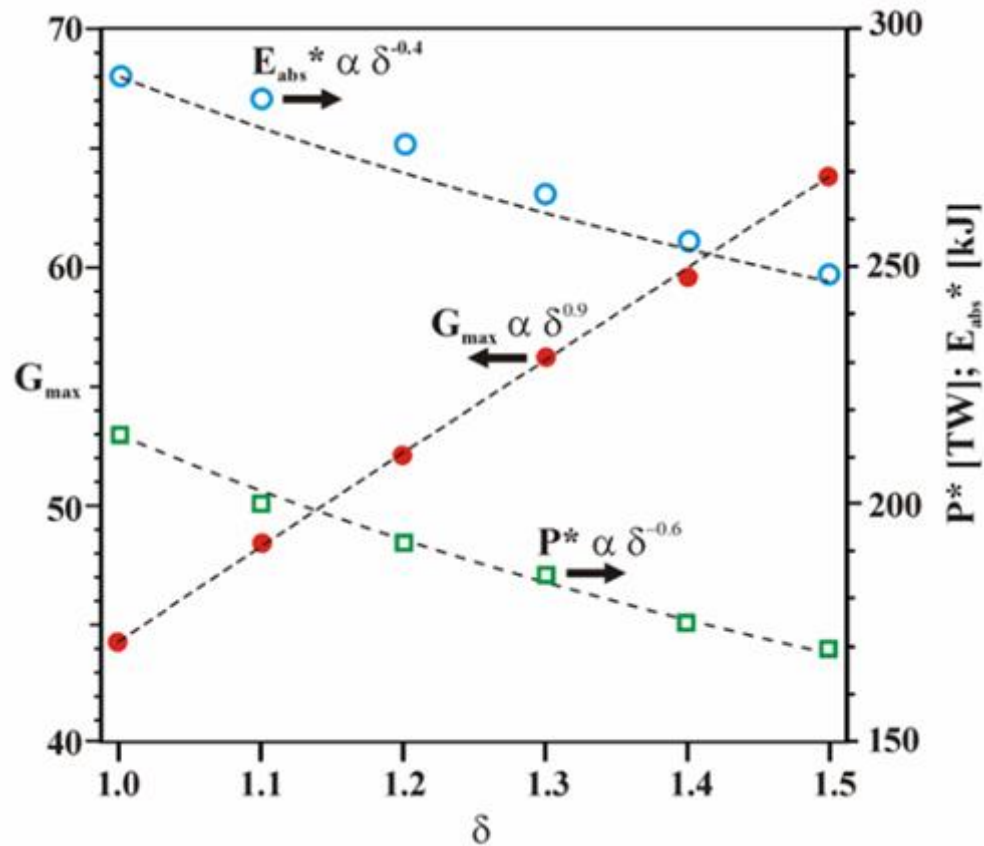
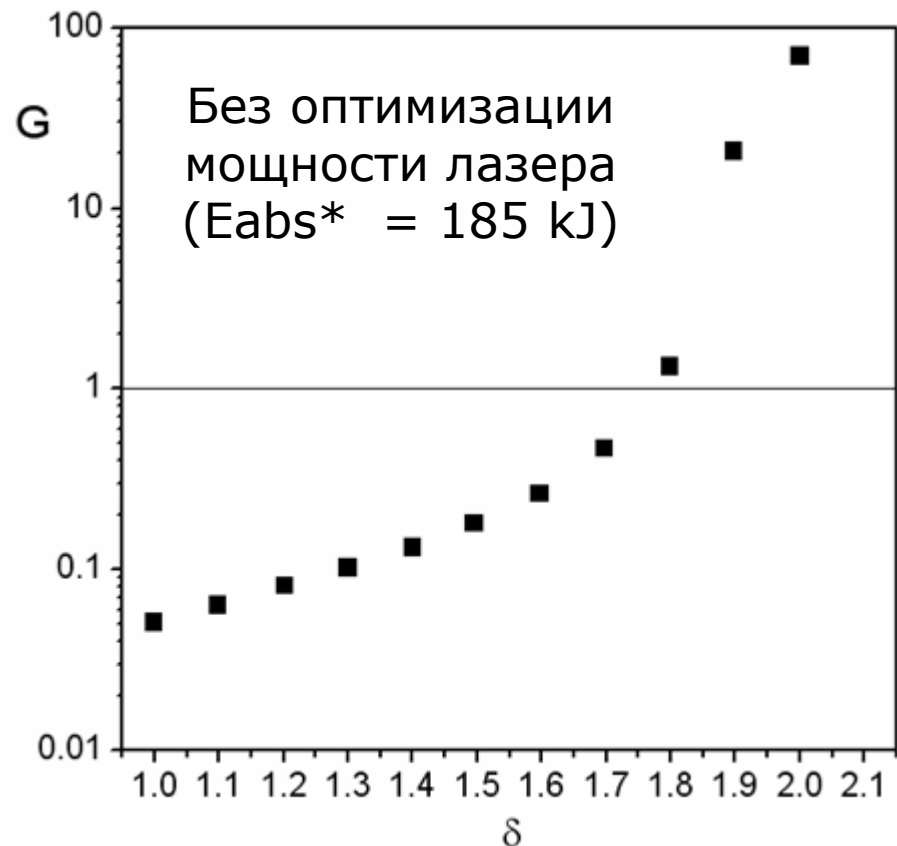


- ✓ Измерение толщины мертвого слоя ( $D \leq 1 \mu\text{m}$ )  
П.Монич. Бакалаврская диссертация (2011). Университет ИТМО.
- ✓ Однородность чувствительности активной области  
Лучше 0.5% по всей активной области детектора
- ✓ Стабильность детектора в атмосфере водорода/дейтерия  
Лучше 0.16% при давлении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

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



## Импульсный реактор с инерционным удержанием плазмы (D+T)



M. Temporal et al. Nucl. Fusion **52** (2012)





# CELGAS. Electron gun and ion optics

