



# Эксперимент POLFUSION

П. Кравцов

коллаборация PolFusion

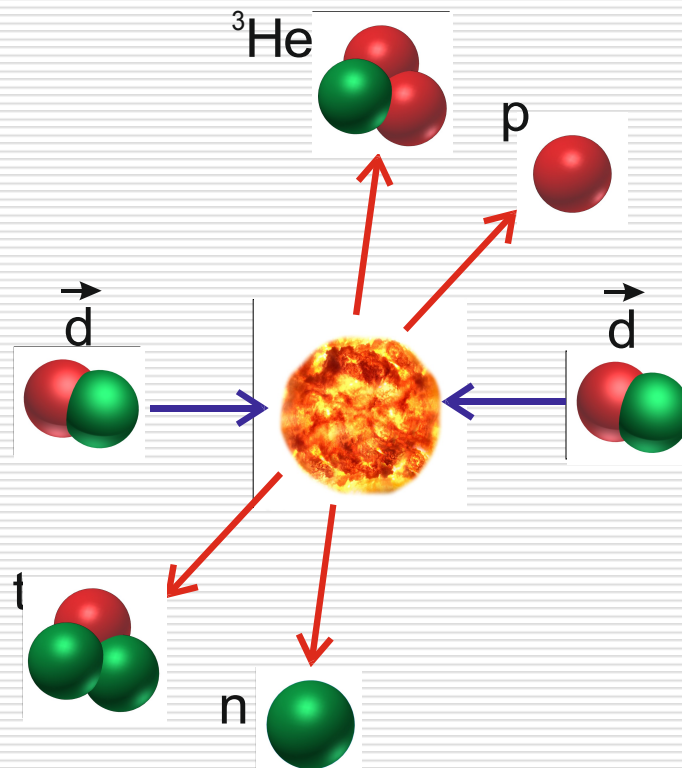
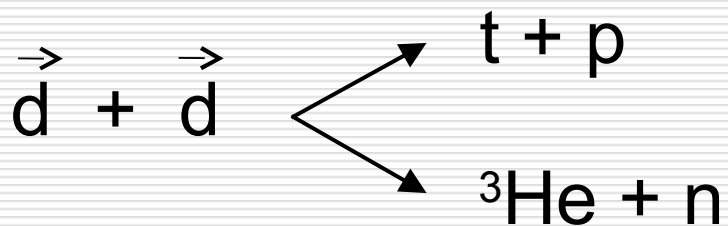


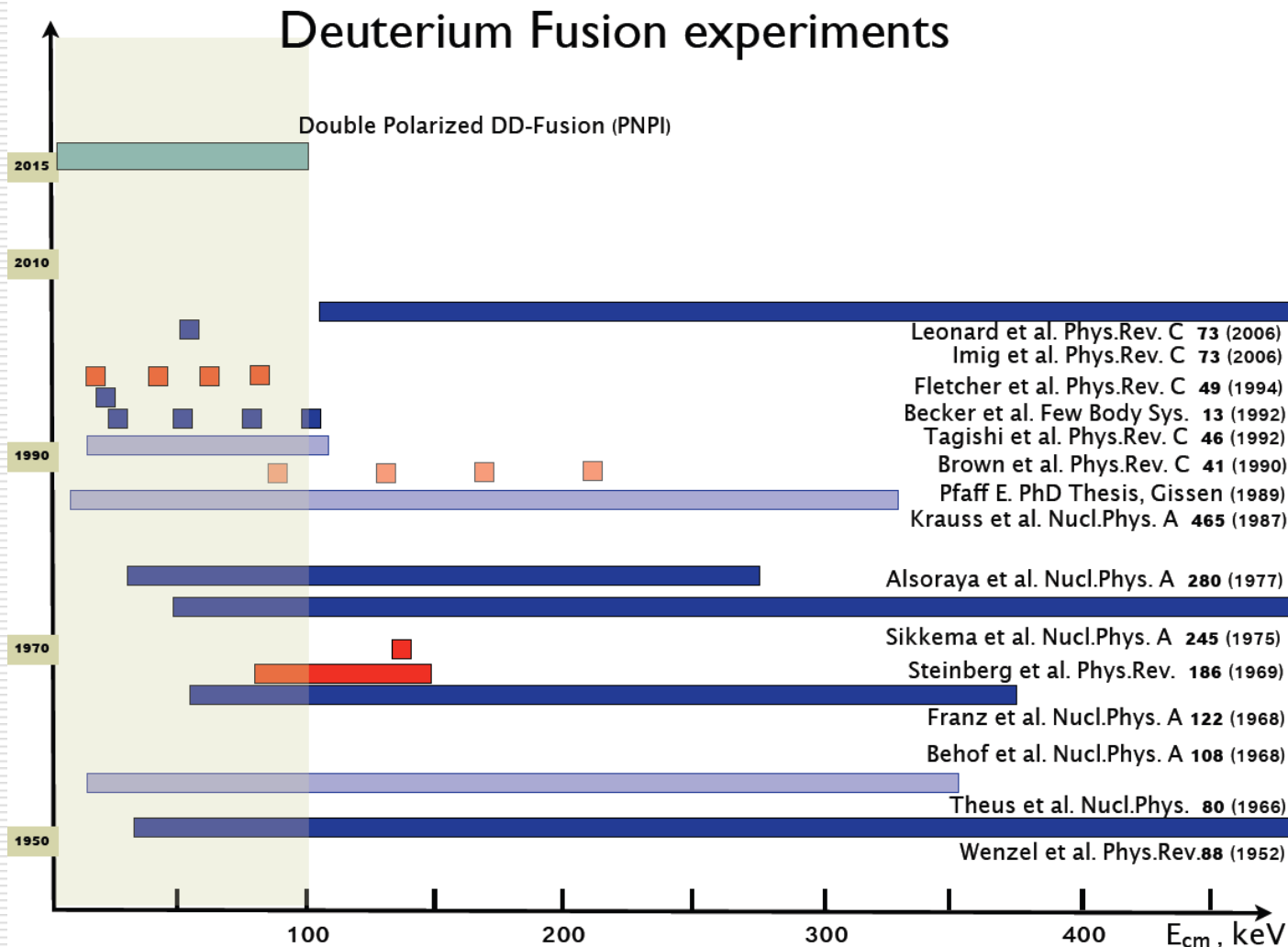
KVI, Gronningen, Netherlands

Финансовая поддержка:  
РНФ

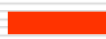


Исследование основной 4-нуклонной реакции с поляризацией **обеих** исходных частиц при энергиях до 10-100кэВ.

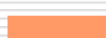




Неполяризованная реакция с газовой мишенью



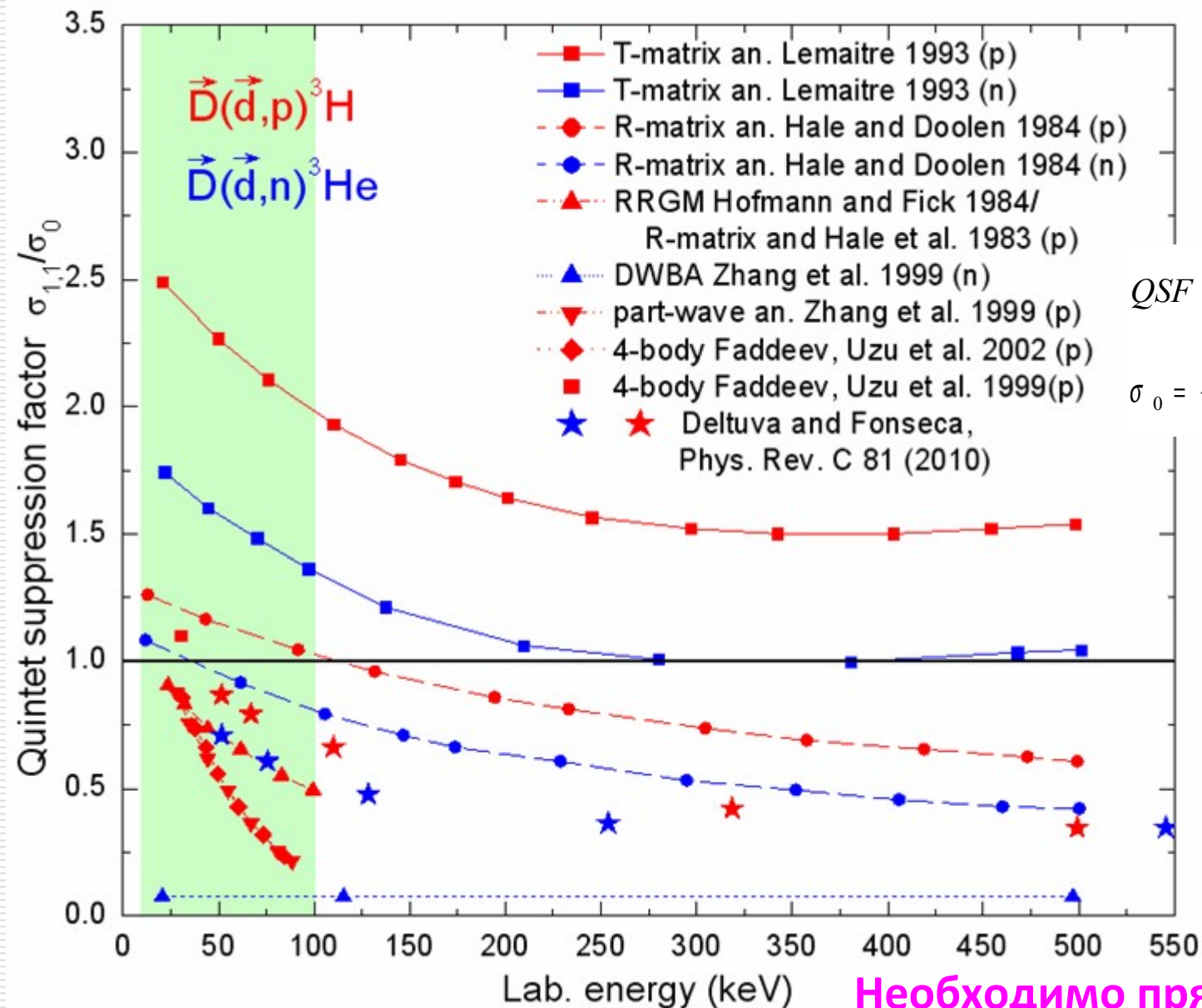
Поляризованный пучок и неполяризованная твердотельная мишень



Поляризованный пучок и неполяризованная газовая мишень

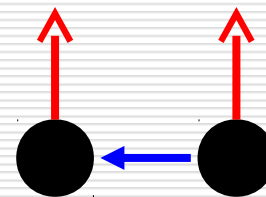


# The Quintet suppression factor



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

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



Необходимо прямое измерение!



# Схема эксперимента

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

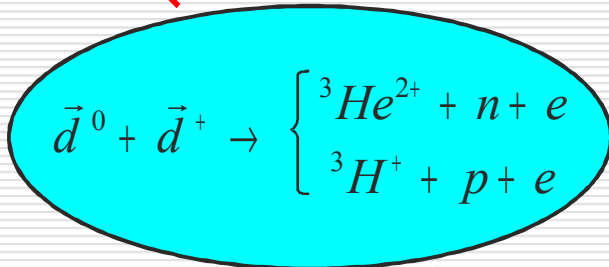
ABS

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

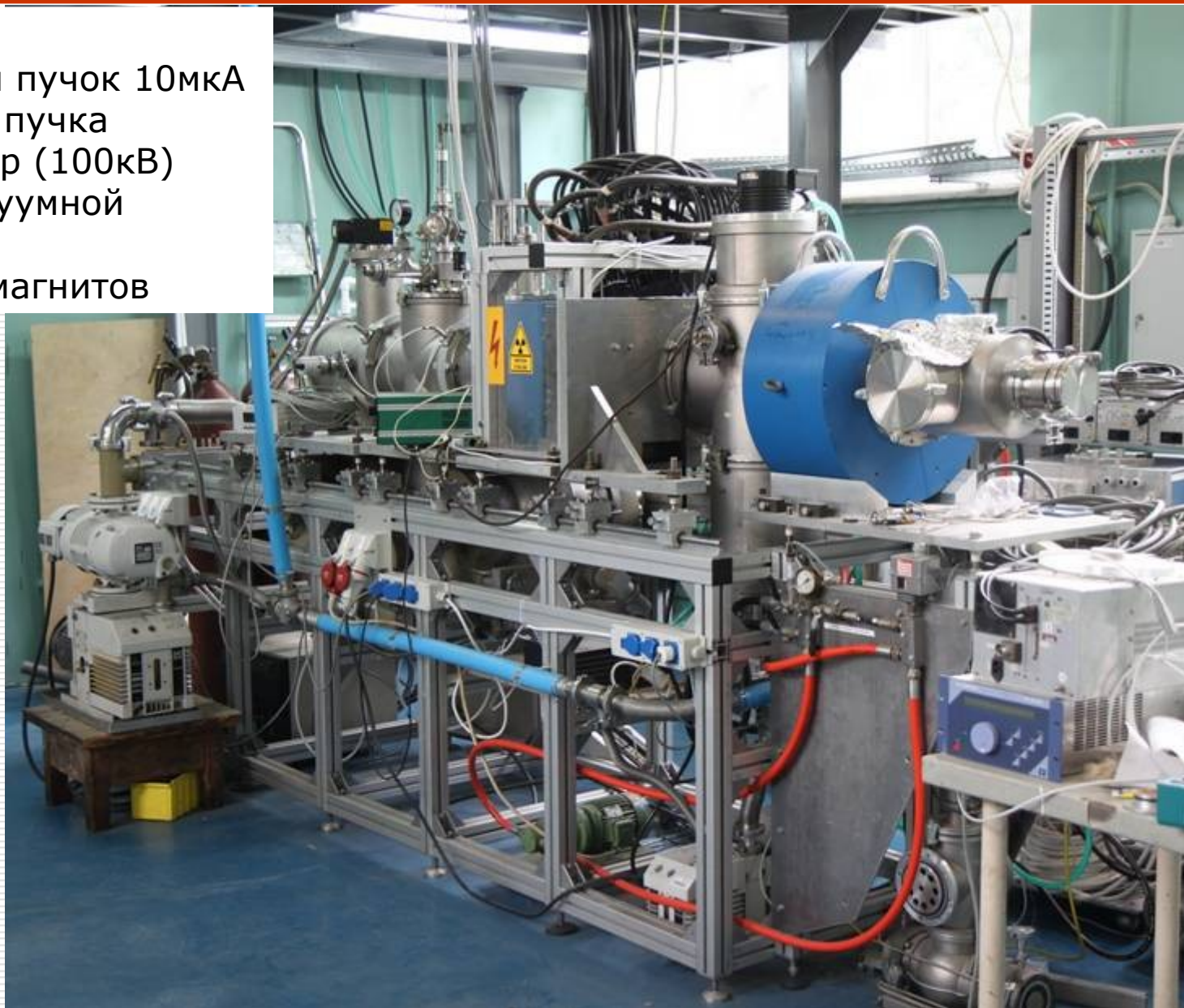
(

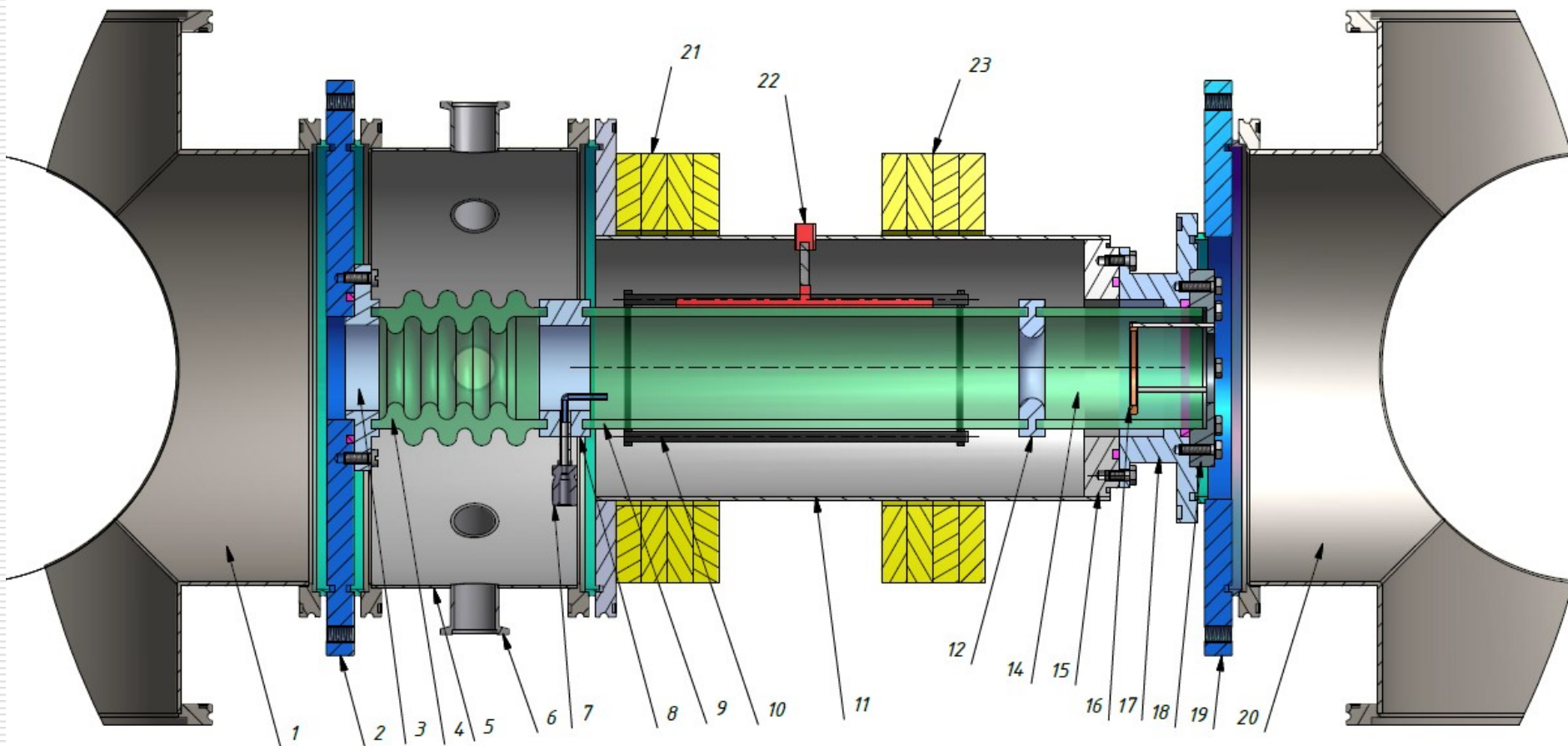


# Поляризованный ионный источник (POLIS)

## POLIS

- ✓ Получен ионный пучок 10мкА
- ❑ Нестабильность пучка
- ❑ Новый ионизатор (100кВ)
- ❑ Проблемы с вакуумной системой
- ❑ Блоки питания магнитов



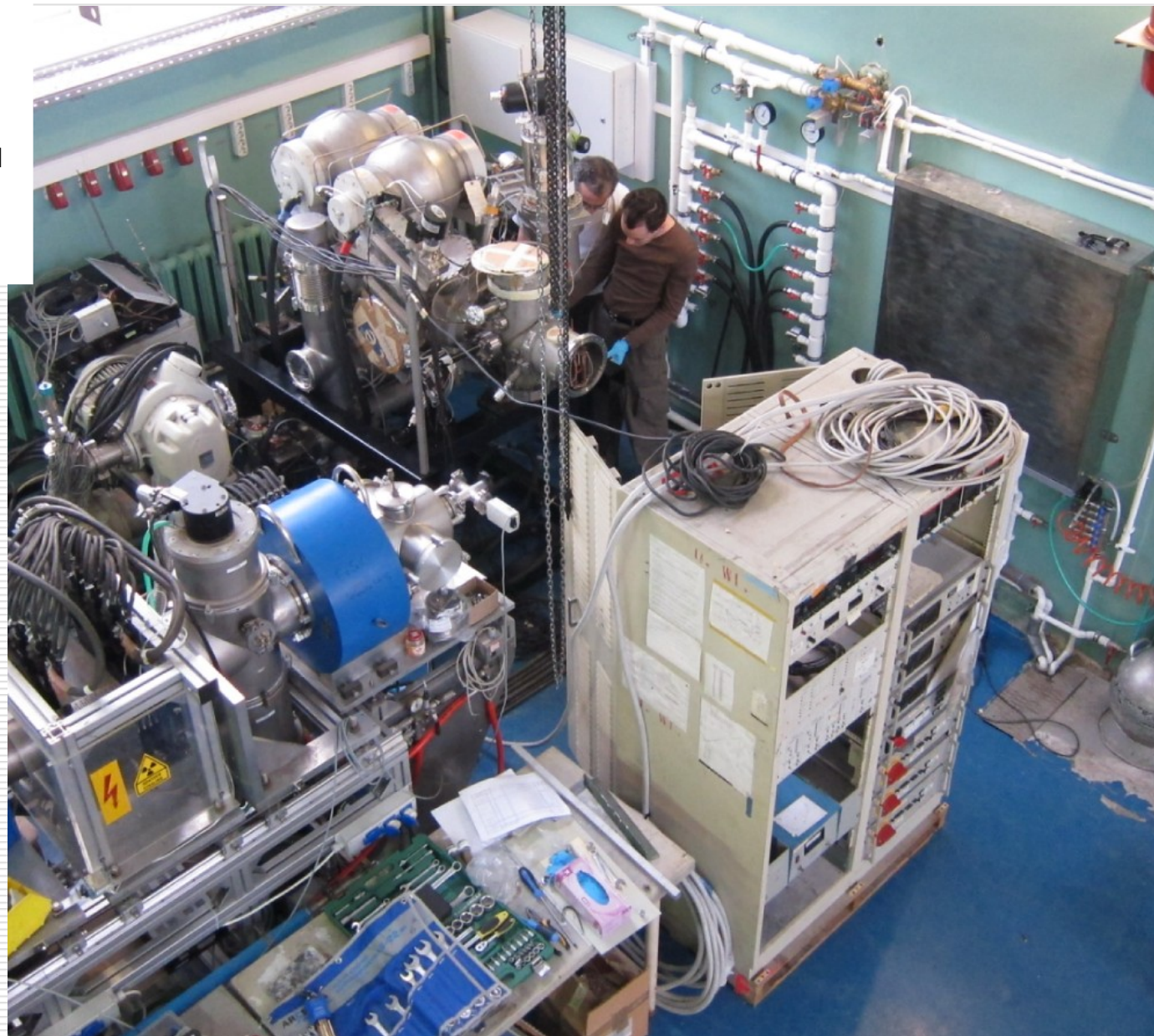


- Высокое напряжение (100кВ)
- СВЧ 2.45ГГц ~200Вт
- Однородное магнитное поле (875Гс)
- Градиентное магнитное поле
- Подвод гелия для поджига плазмы



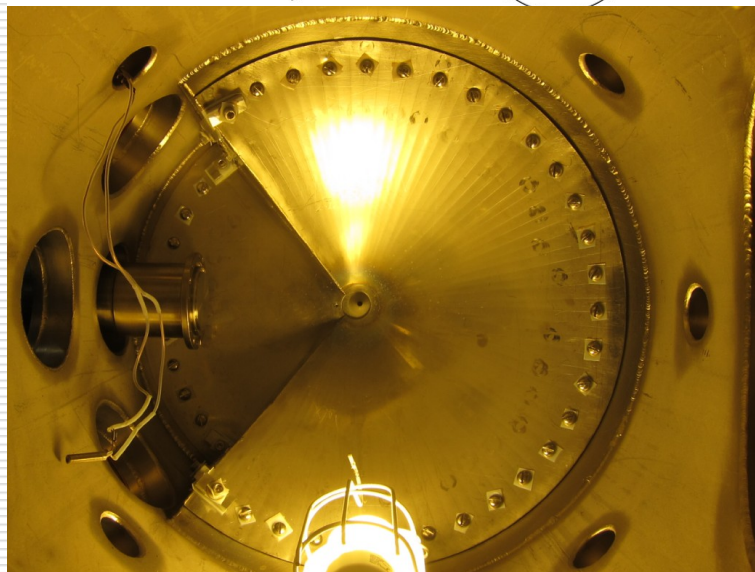
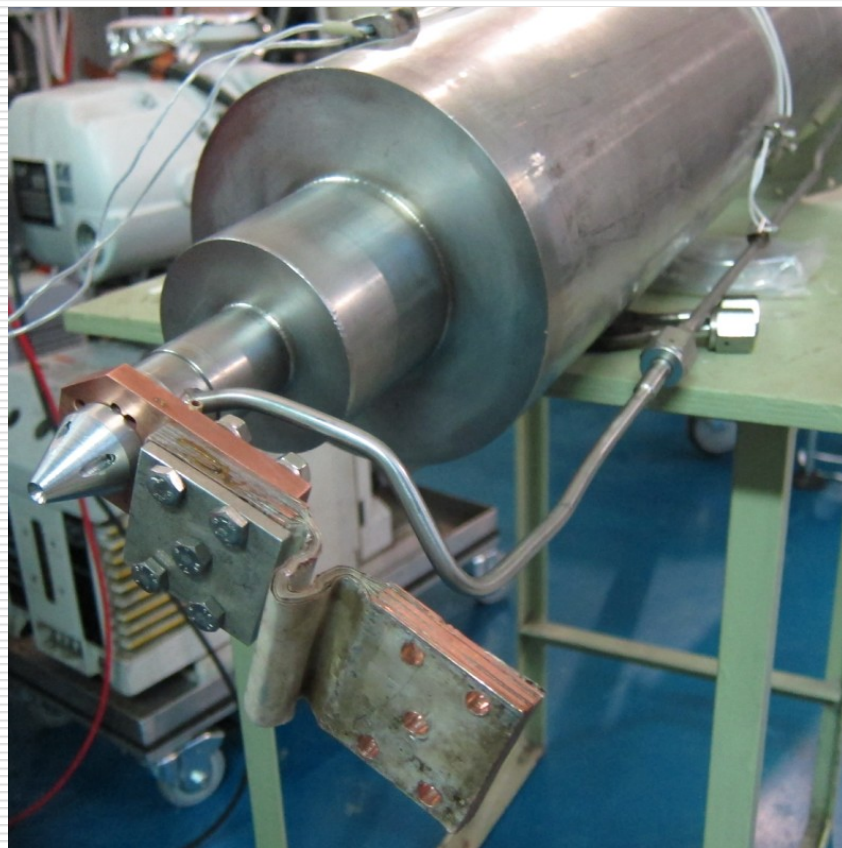
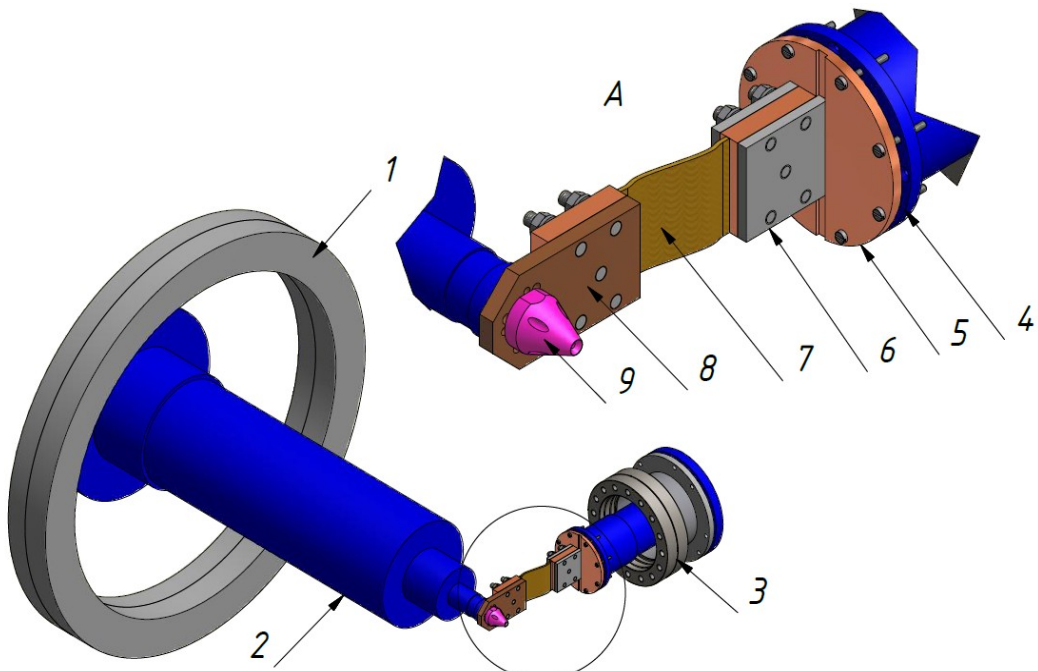
### Ferrara ABS

- ✓ Диссоциатор
- ✓ Охлаждение сопла
- ✓ Система управления
- ВЧ блоки переходов
- Вакуумная система



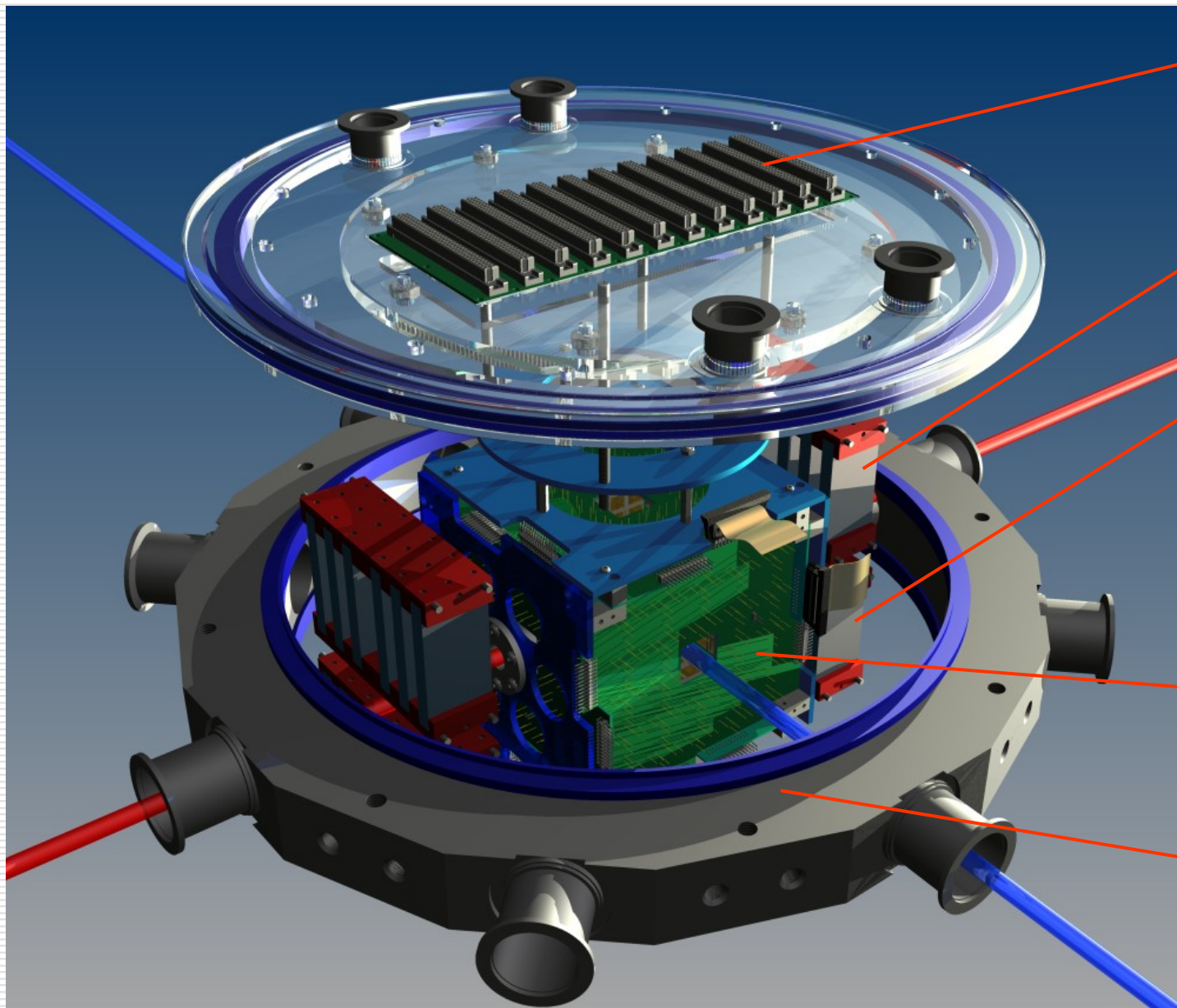


# Охлаждение сопла диссоциатора





# Детекторная система



Разъемы для подключения электроники

Кольца Гельмгольца

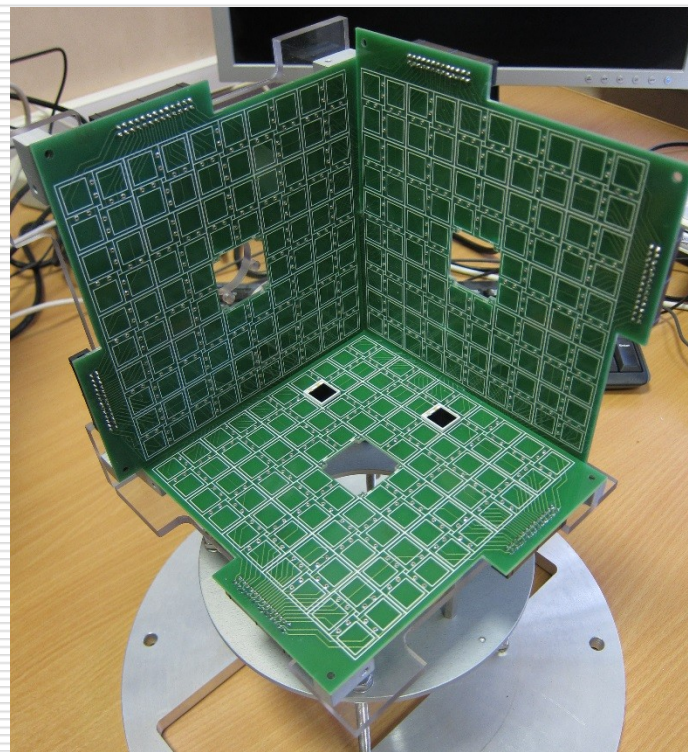
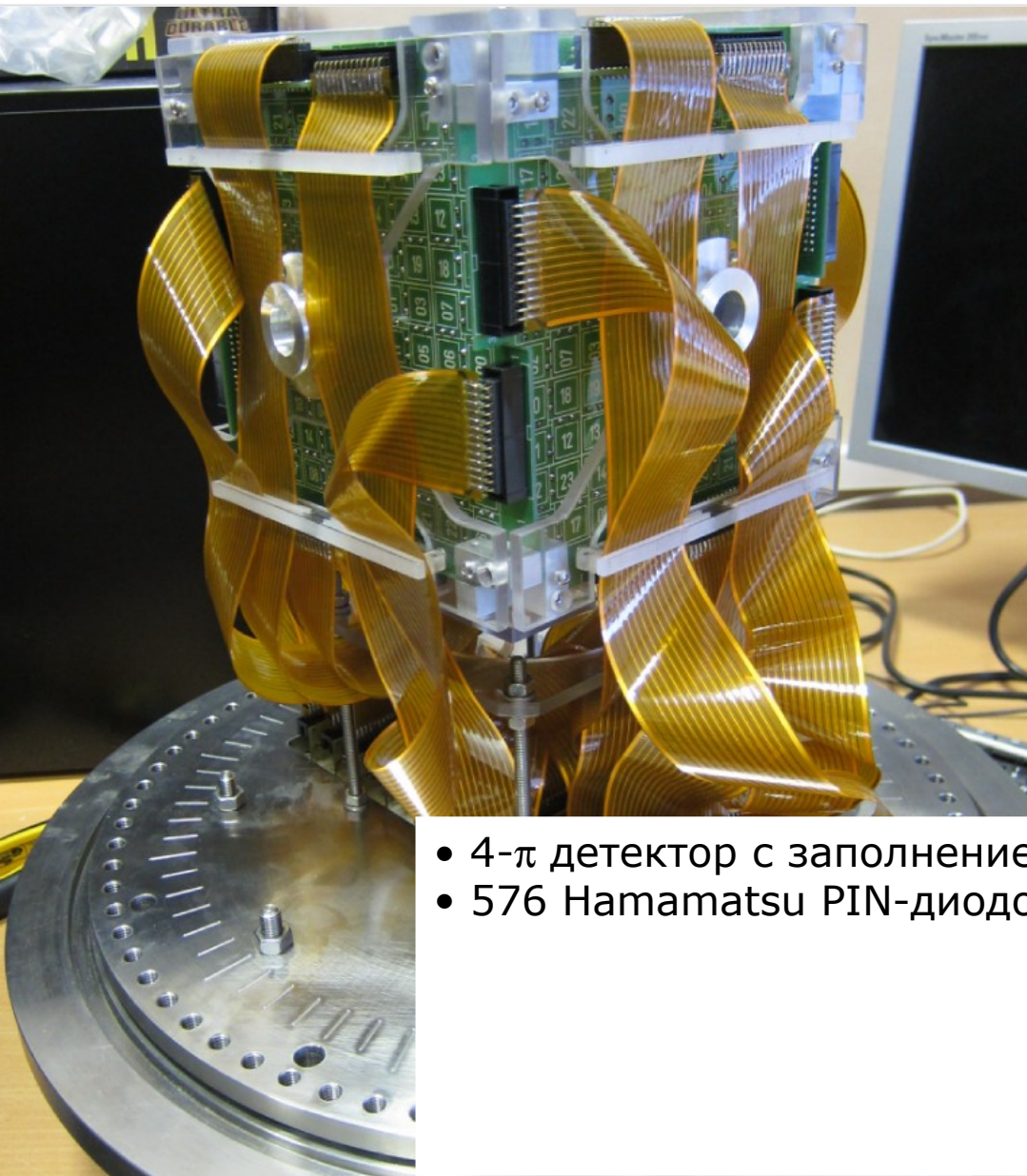
Постоянные NdFeB магниты

Детекторная система

Детекторная камера



# Детекторная система в сборе

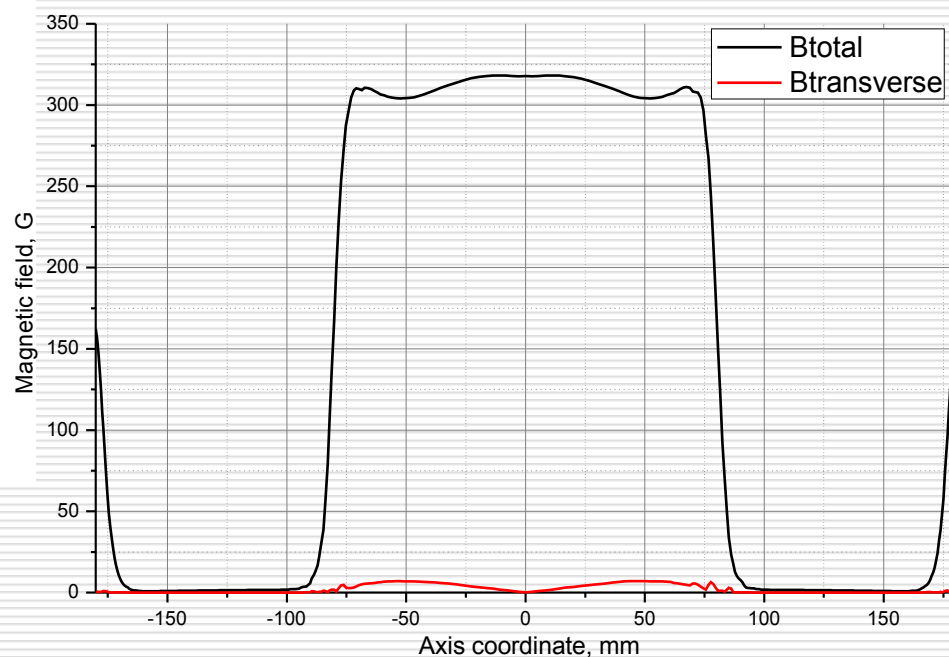
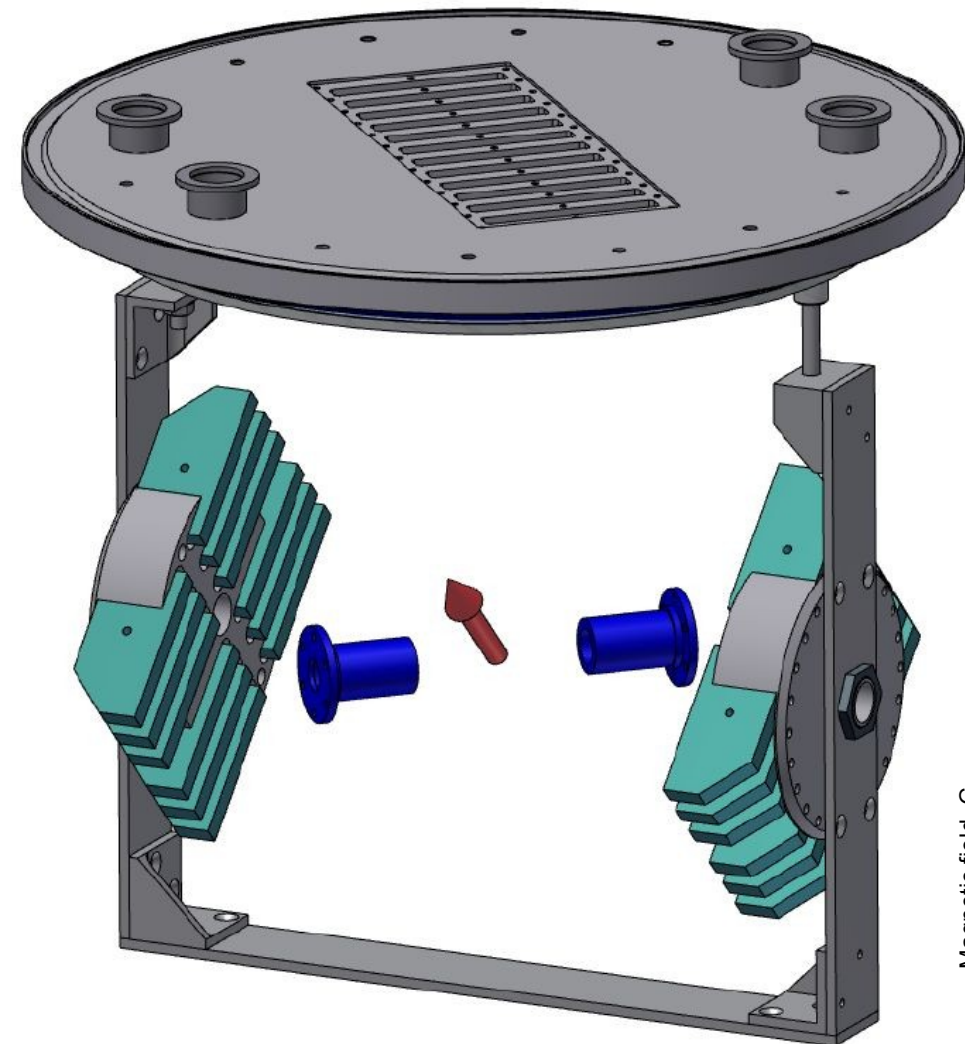


- 4-π детектор с заполнением 51%
- 576 Hamamatsu PIN-диодов



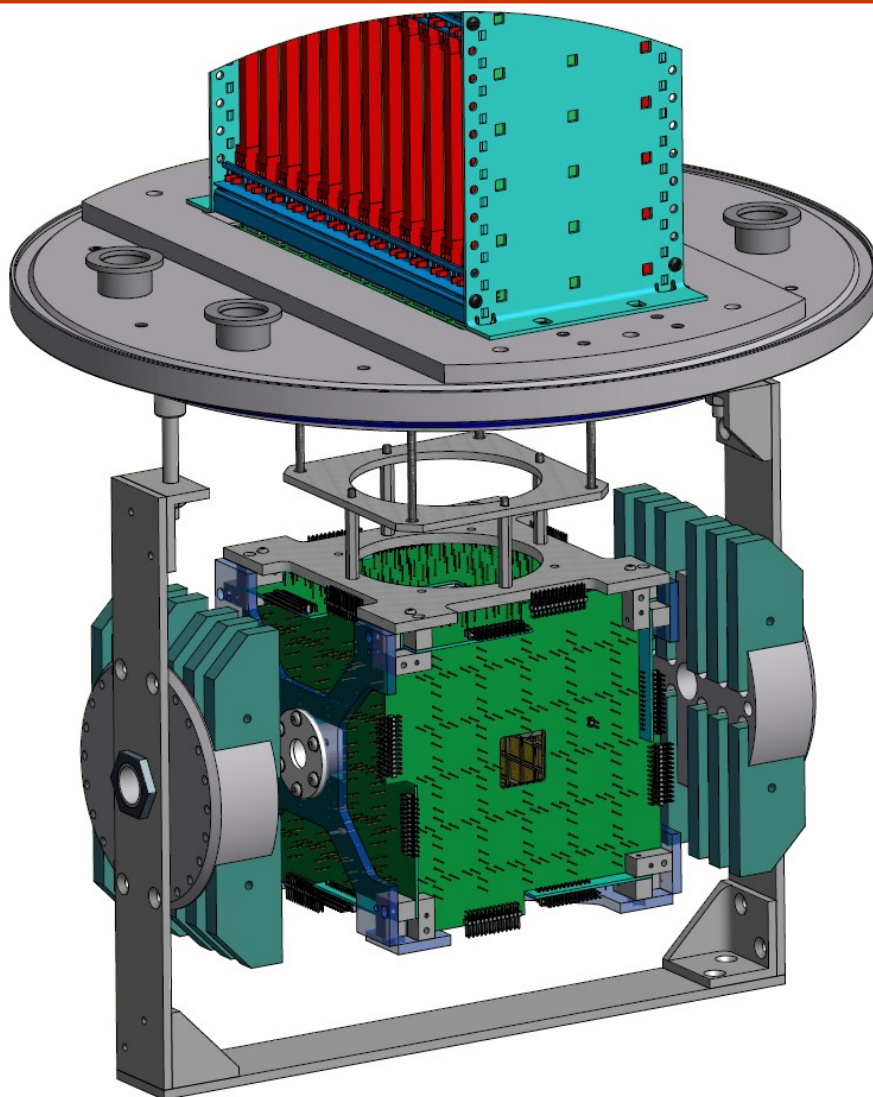
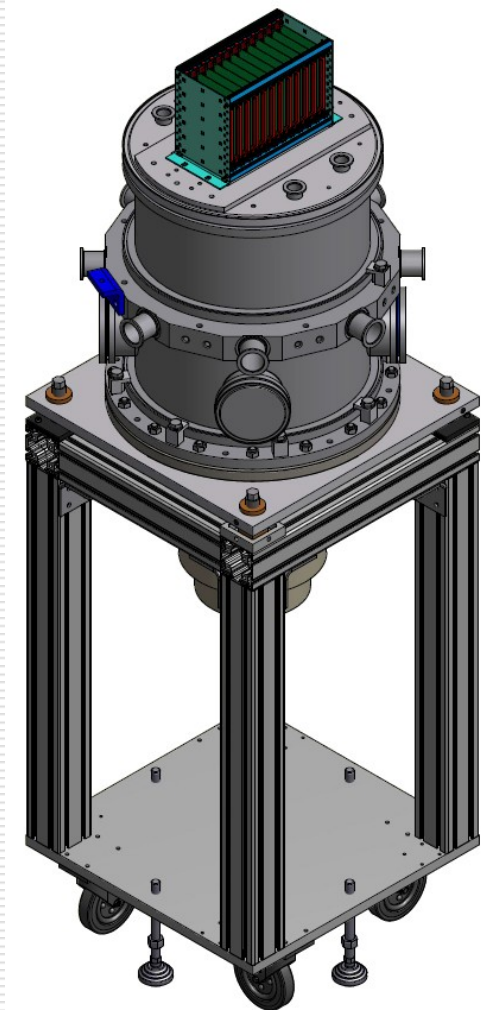
$$B = 300 \text{ G} = 2.5 \text{ Вс}$$

Магнитное поле сконструировано из 24-х постоянных магнитов  $80 \times 40 \times 10 \text{ мм}^3$  с магнитным полем на поверхности  $1.25 \text{ Т}$  (N40) -NdFeB





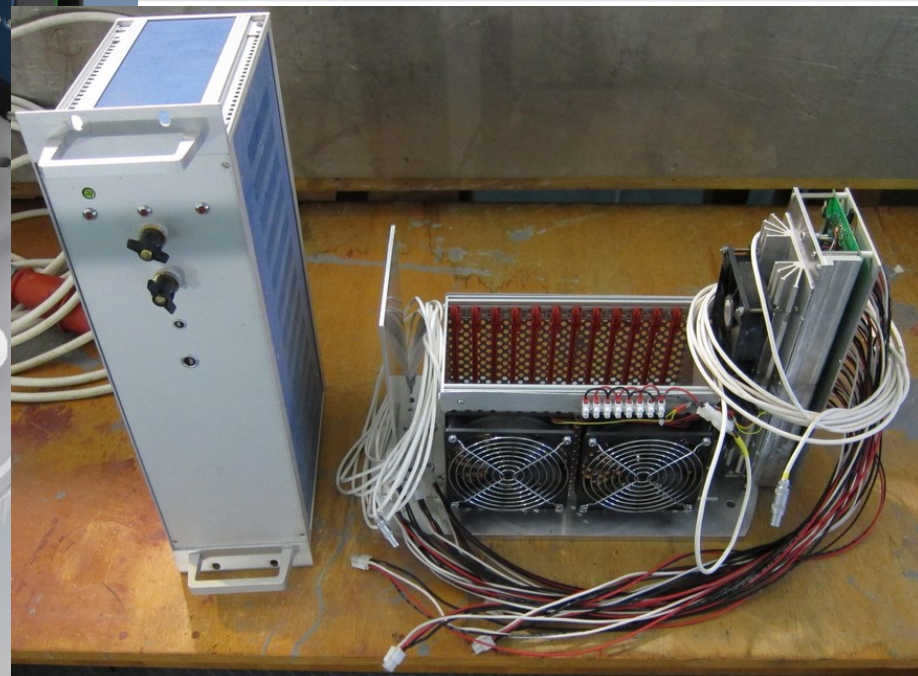
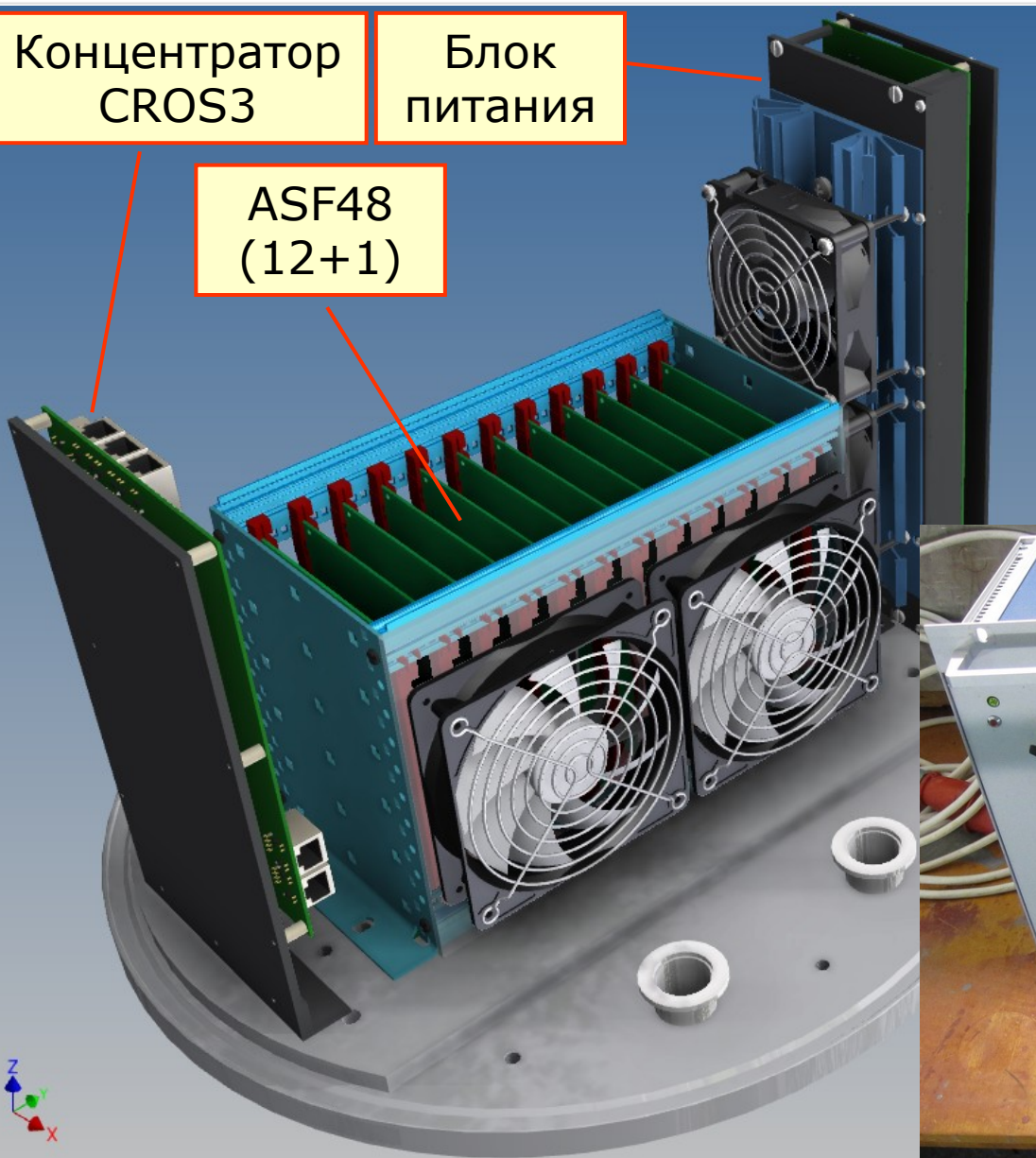
# Детекторная камера



Концентратор  
CROS3

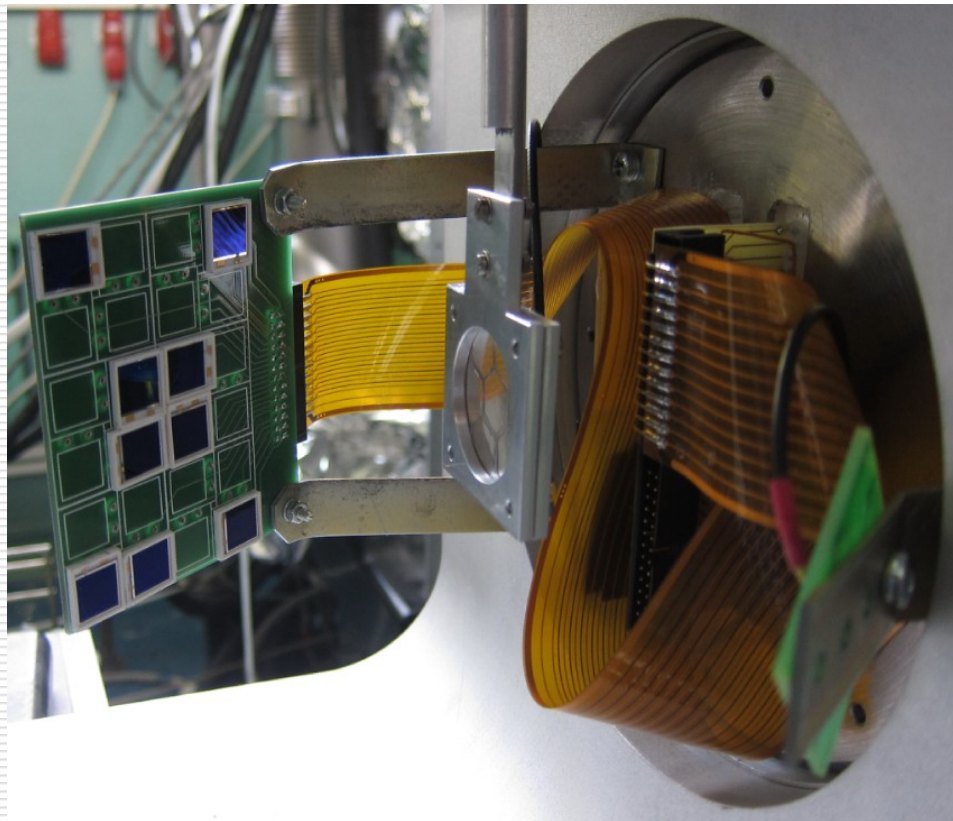
Блок  
питания

ASF48  
(12+1)

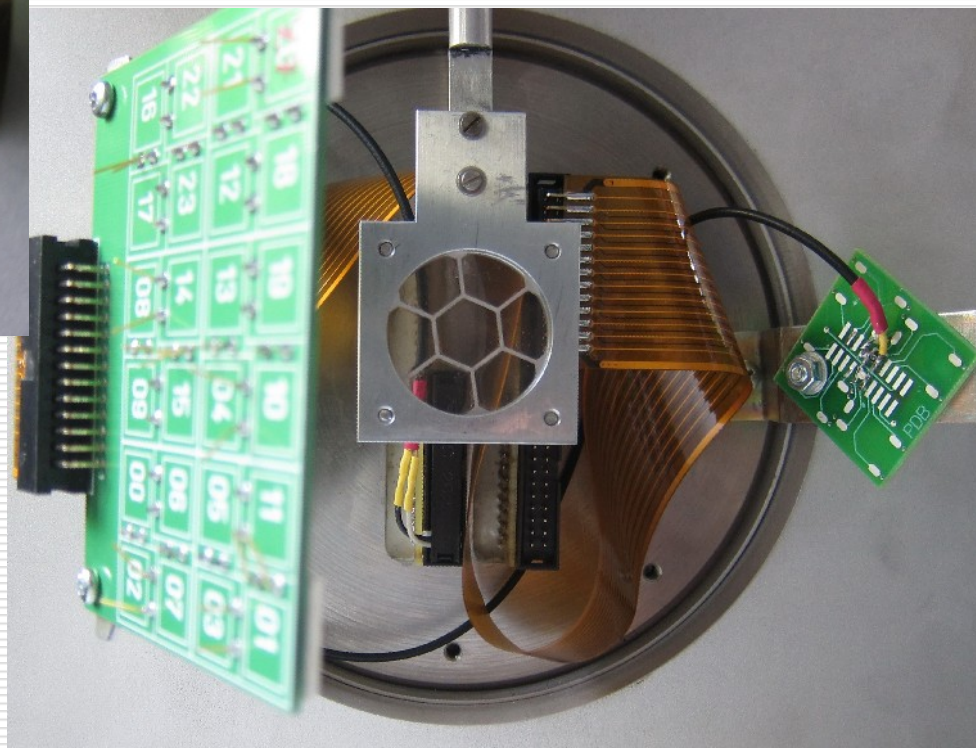




# Измерения с твердотельной мишенью



Мишень: дейтерированное оргстекло  
Дейтронный пучок 15кэВ  $\sim$ 5мкА

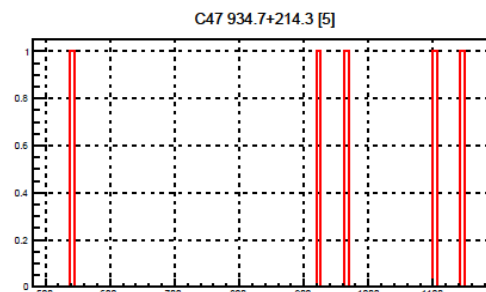
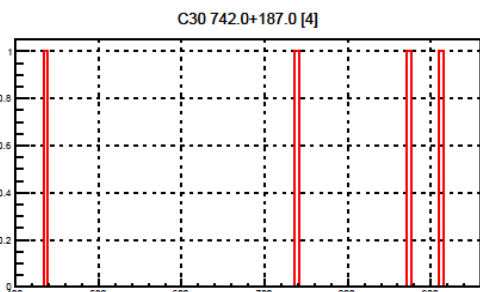
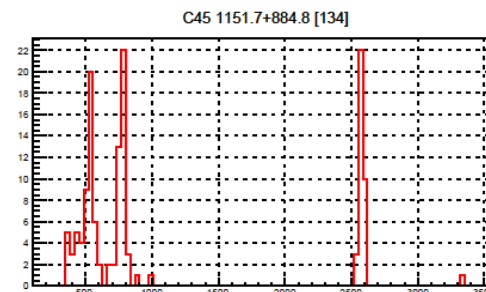
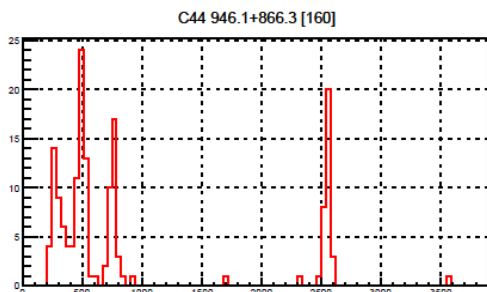
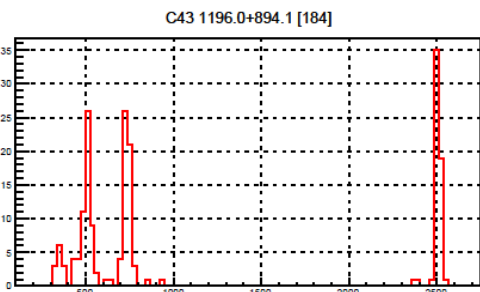
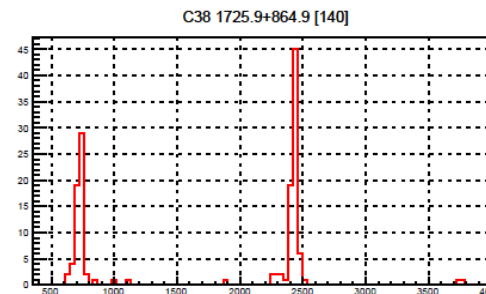
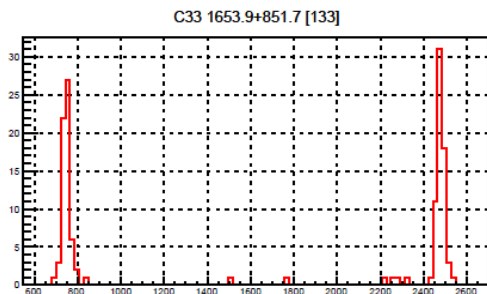
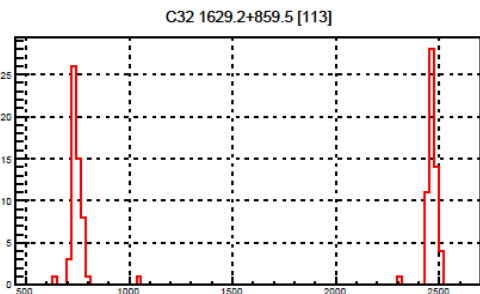
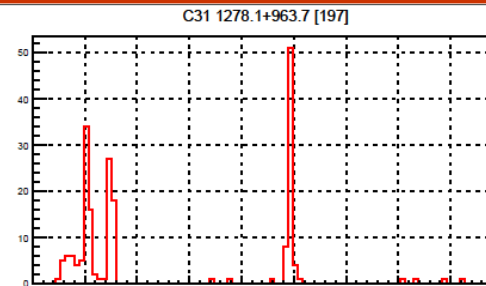
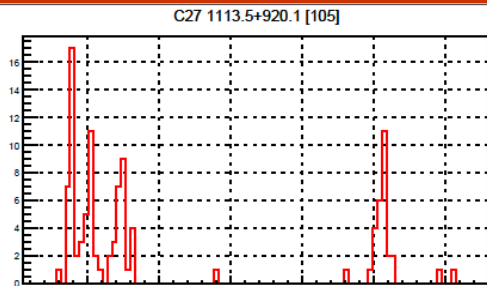






# Измерения с твердотельной мишенью

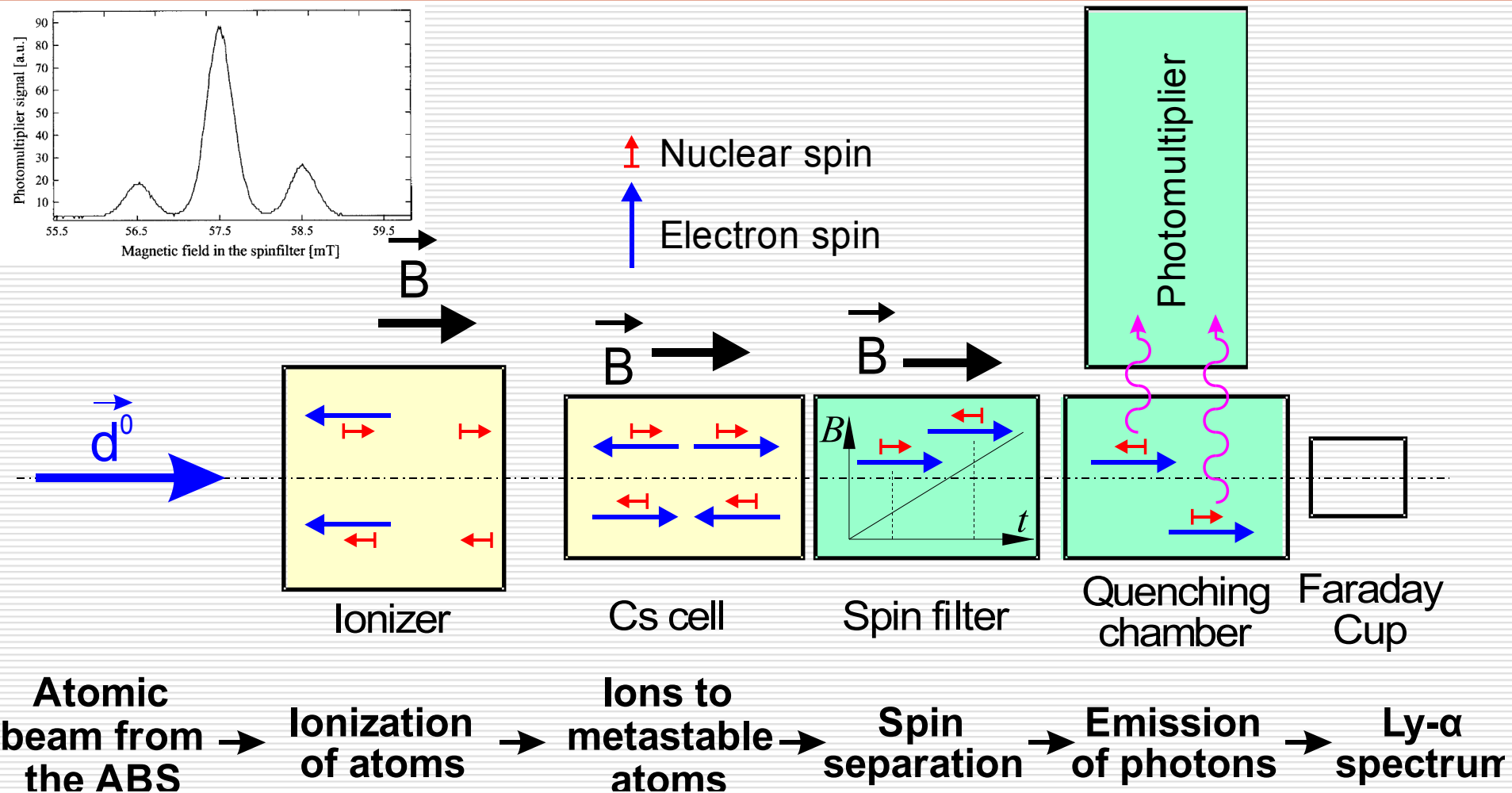
./readout\_data/test/b15\_1\_ParAmpDif



${}^3\text{He}$  t p



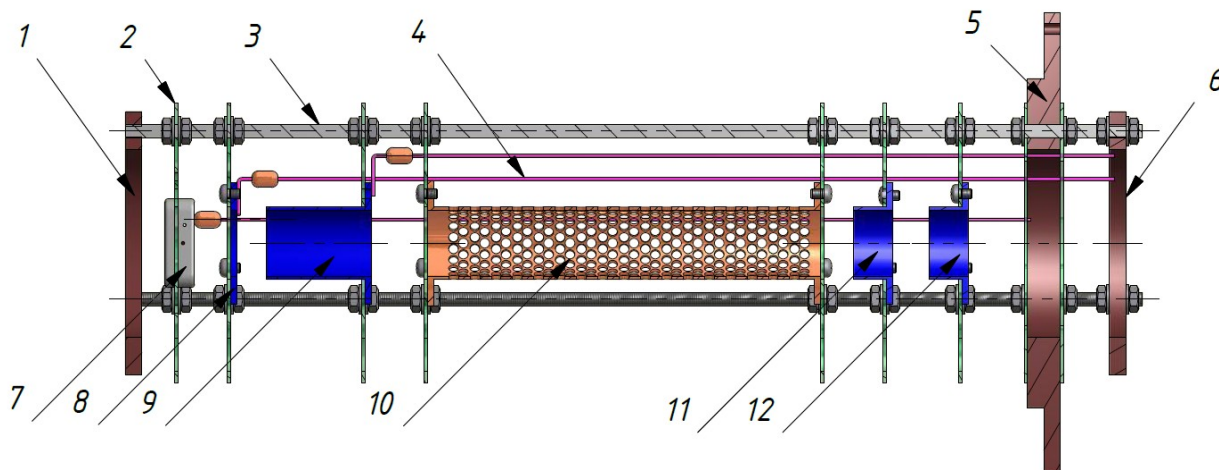
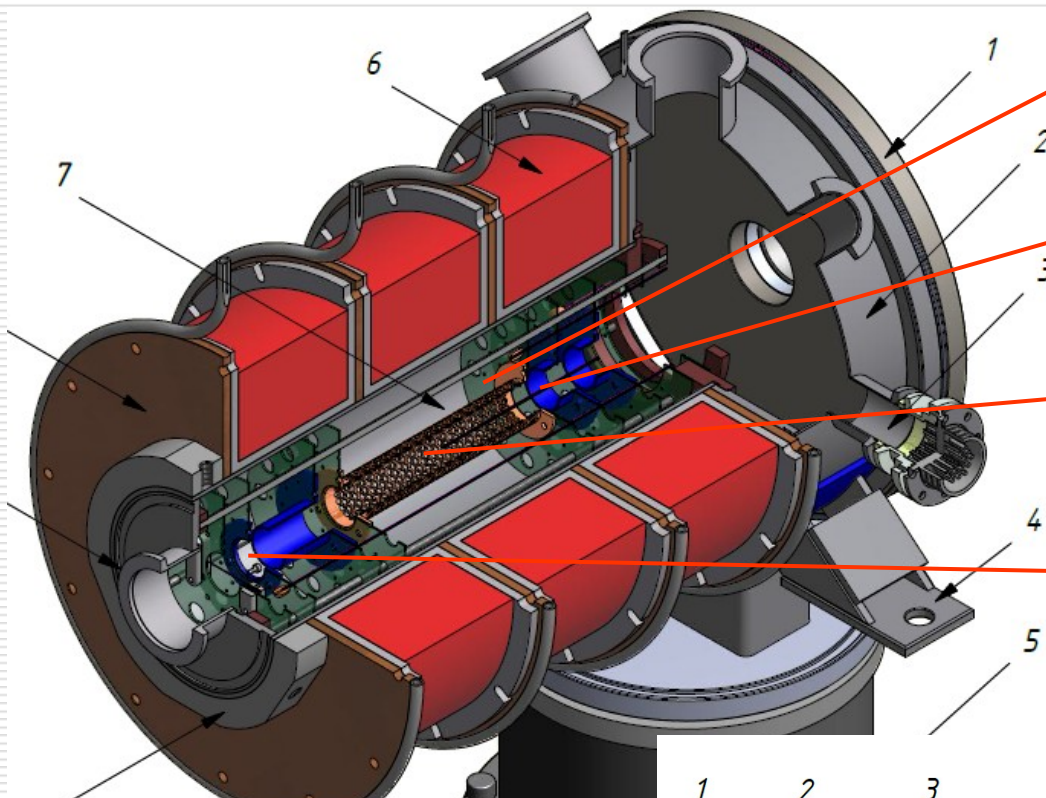
# Поляриметр на Лэмбовском сдвиге



R.Engels et al.  
 Precision Lamb-shift polarimeter for polarized atomic and ion beams  
 Rev. Sci. Instrum., Vol. 74, No. 11, 4607 (2003)



# Ионизатор для поляриметра





- ❑ A. Vasilyev. The double-polarized DD-fusion experiment at PNPi. **Ferrara PolFusion workshop** (2015).
- ❑ А.А.Васильев. Эксперимент по исследованию ядерной реакции поляризованных дейтронов в области энергий 10-100 keV. Проект PolFusion. Семинар ОФВЭ 10.11.15.
- ❑ Е.Н. Комаров. Парциально-волновое разложение амплитуды реакции поляризованных частиц со спином «1». Семинар ОФВЭ 24.11.15.
- ❑ С.Г. Шерман. Вычисление наблюдаемых величин в эксперименте PolFusion. Семинар ОФВЭ 24.11.15.



1. Ионный источник. Получен неполяризованный пучок 10  $\mu\text{A}$  с энергией до 30 keV. Требуется поляризованный пучок 20  $\mu\text{A}$  до 100 keV.
2. Разработан новый ионизатор для ионного источника на 100кВ.
3. Запущены основные элементы источника поляризованных атомов. Создана новая система охлаждения сопла. Требуется получить поляризованный пучок  $10^{16}$  атомов/s.
4. Детекторная камера и магнитные элементы детектора прошли все вакуумные тесты. Камера готова. Детекторная система собрана, начаты тестовые измерения.
5. Программное обеспечение для сбора данных - в процессе разработки.
6. Системы поляриметрии. Часть элементов в наличии, остальные разработаны. Начата сборка поляриметра.

Плановая цель 2016 года:

При полной конфигурации системы зарегистрировать реакции dd синтеза при столкновении пучков неполяризованных (поляризованных?) дейтронов.



Спасибо за внимание!



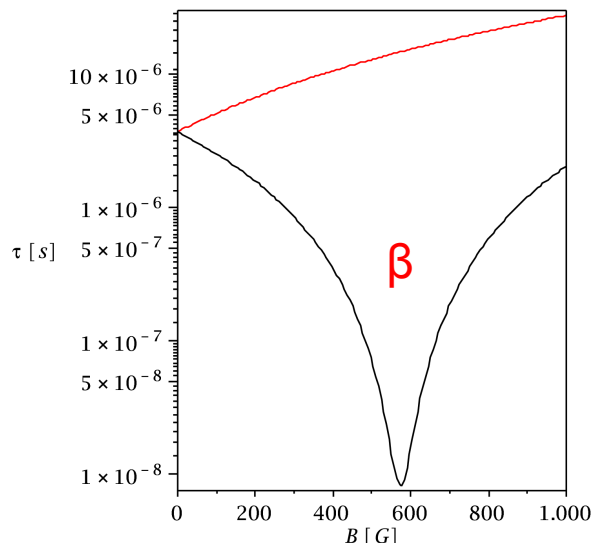


# BACKUP

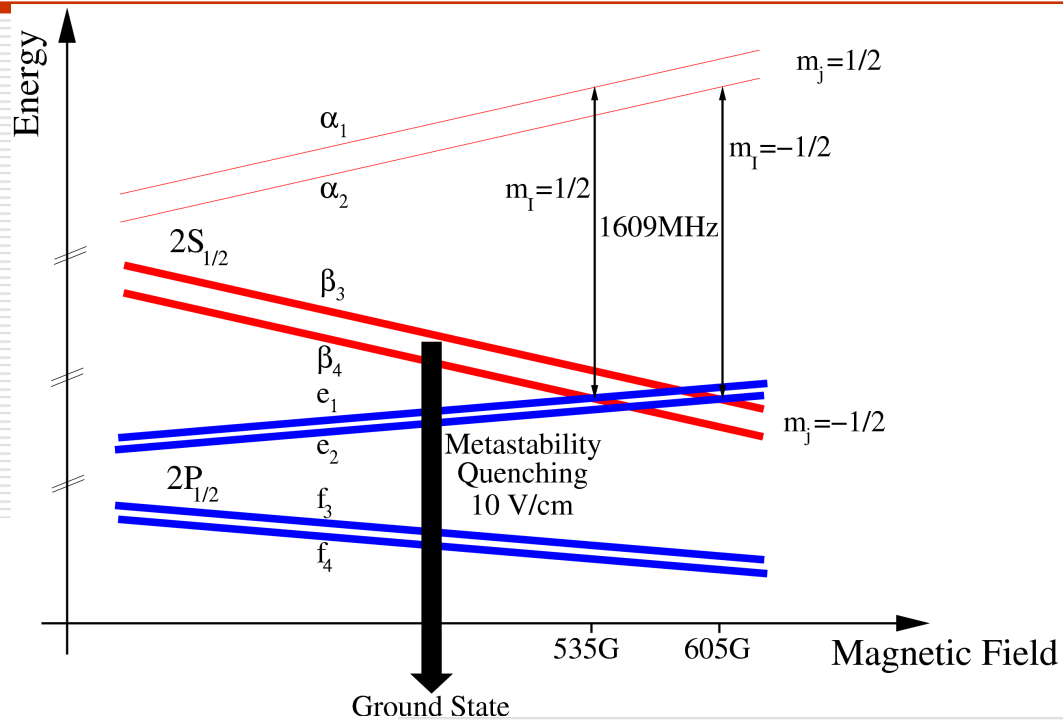




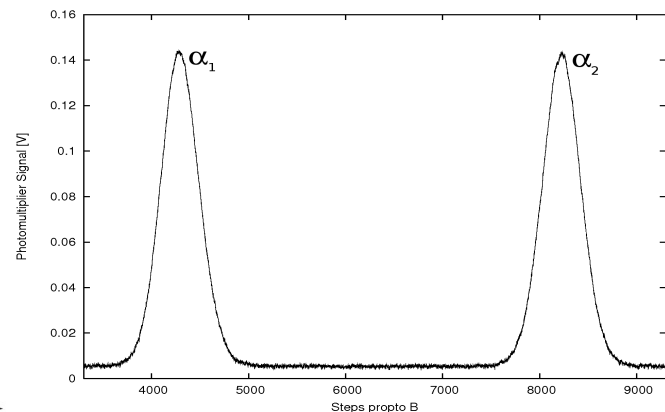
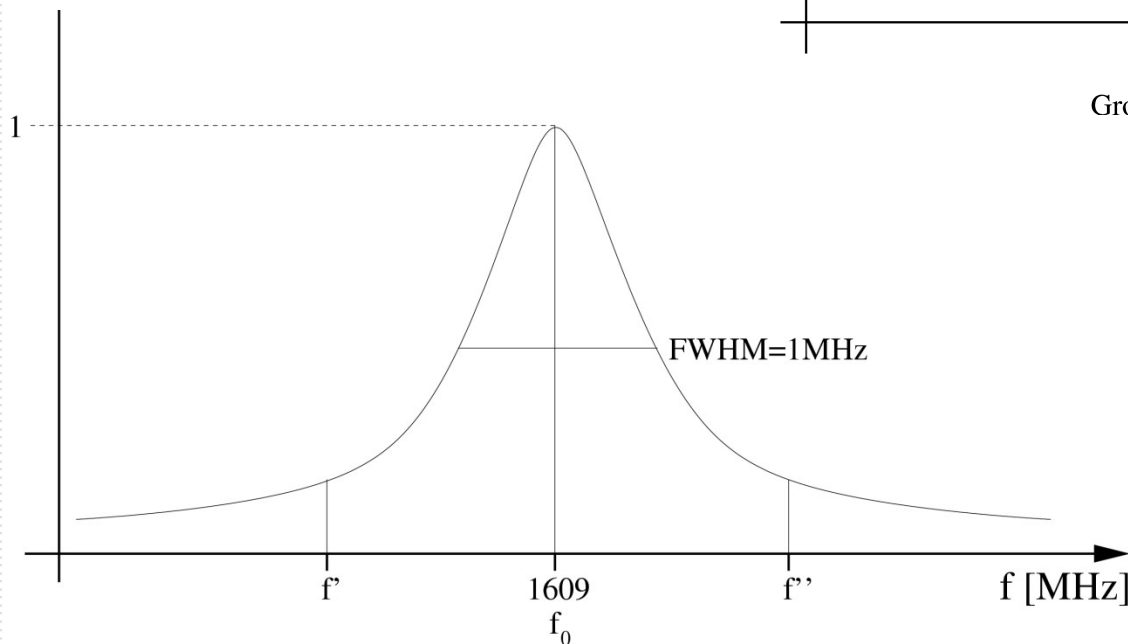
# Spinfilter



— Lifetime  $\alpha_{1,2}$  — Lifetime  $\beta_{3,4}$



$P_{rel}$





# Магнитное поле в области взаимодействия

$$F = I + S$$

$$I = 1 \quad S = \frac{1}{2} \quad F = \frac{1}{2}, \frac{3}{2}$$

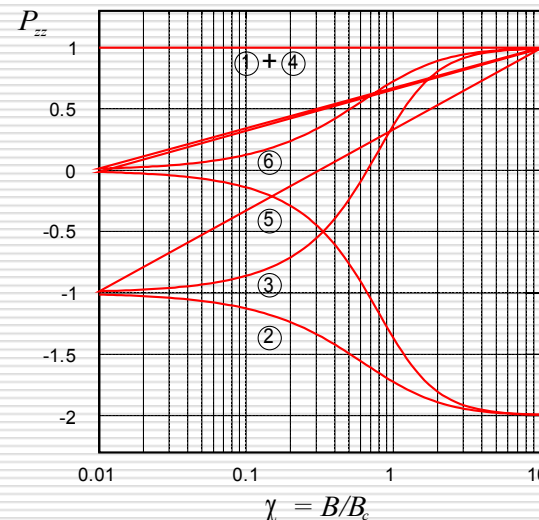
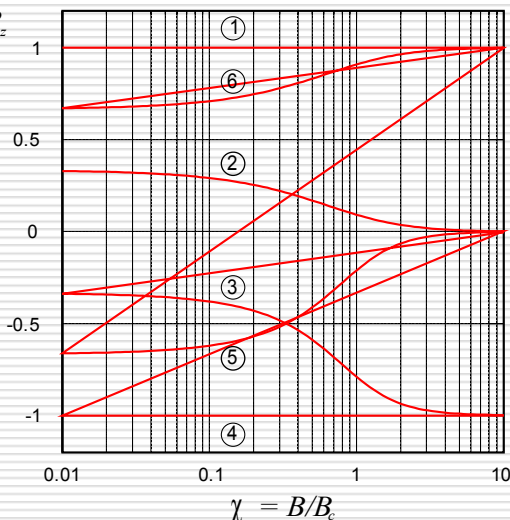
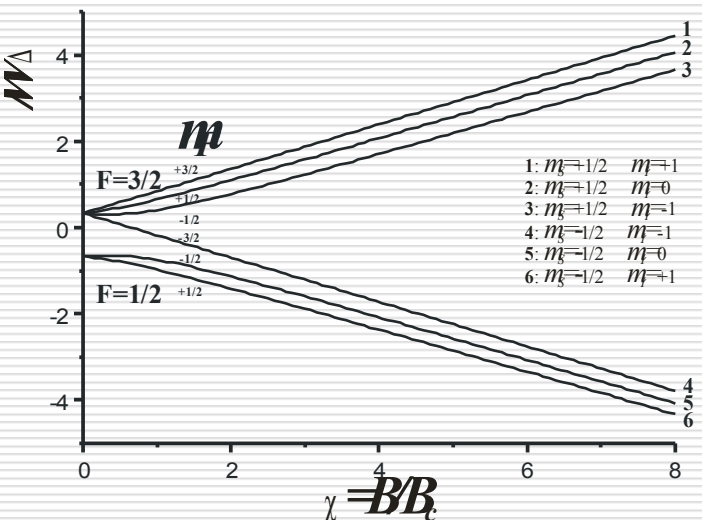
$$m_I = 0, \pm 1 \quad m_S = \pm \frac{1}{2} \quad m_F = \pm \frac{1}{2} \text{ or } \pm \frac{1}{2}, \pm \frac{3}{2}$$

## Vector polarization

$$P_z = \frac{N_{\uparrow} - N_{\downarrow}}{N_{\uparrow} + N_{\rightarrow} + N_{\downarrow}}$$

## Tensor polarization

$$P_{zz} = \frac{N_{\uparrow} - 2N_{\rightarrow} + N_{\downarrow}}{N_{\uparrow} + N_{\rightarrow} + N_{\downarrow}}$$



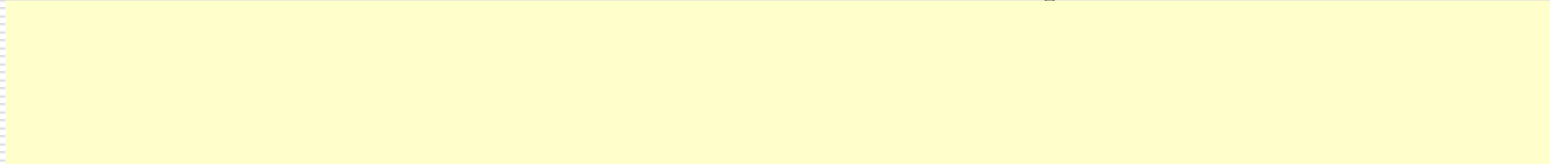
$B_c = 117 \text{ G}$   
 $\Delta W = 1.4 \cdot 10^{-6} \text{ eV}$

- Магнитное поле должно обеспечивать поляризацию атомов в области взаимодействия
- Магнитное поле не должно отклонять ионы от области взаимодействия
- Магнитное поле не должно приводить к существенному повороту спина ионного пучка

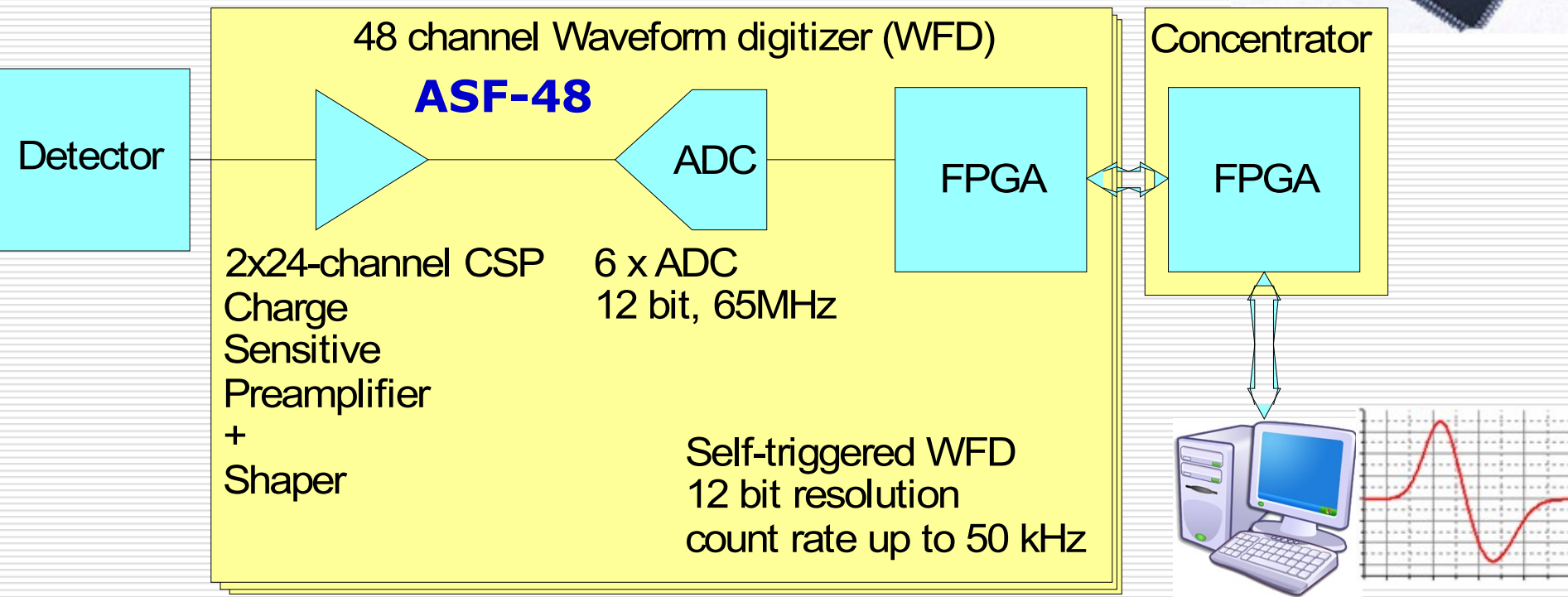
$$B = 300 \text{ G} = 2.5 B_c$$

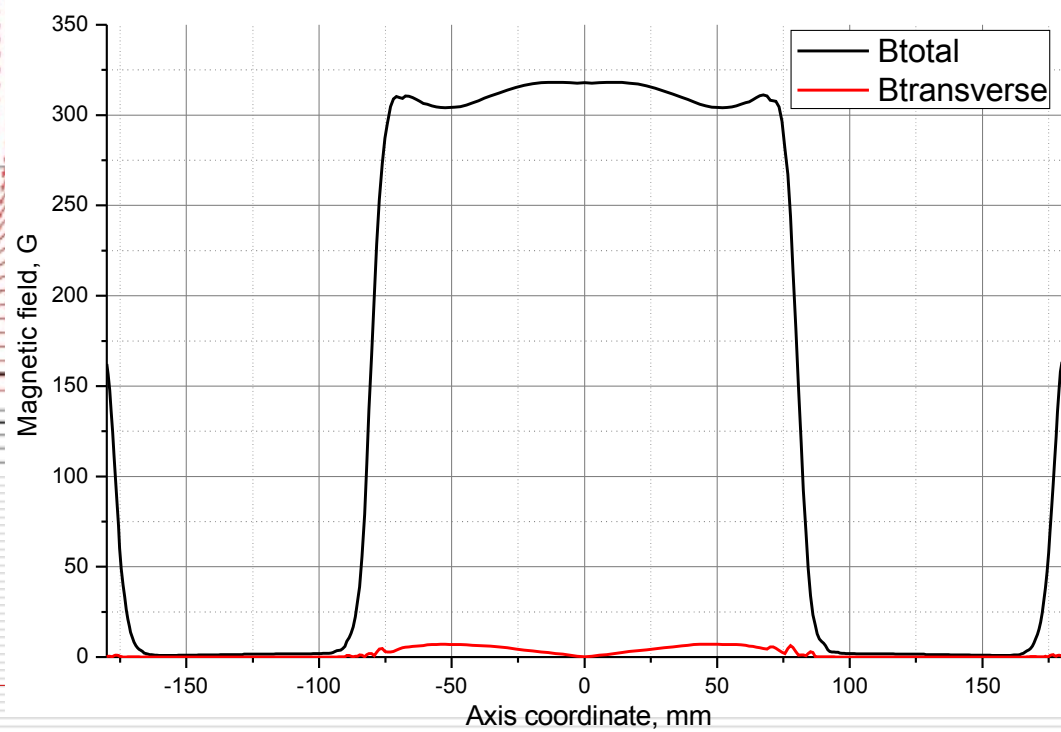
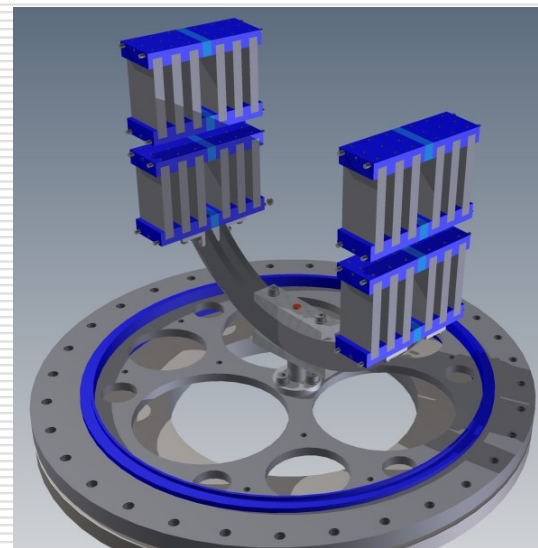
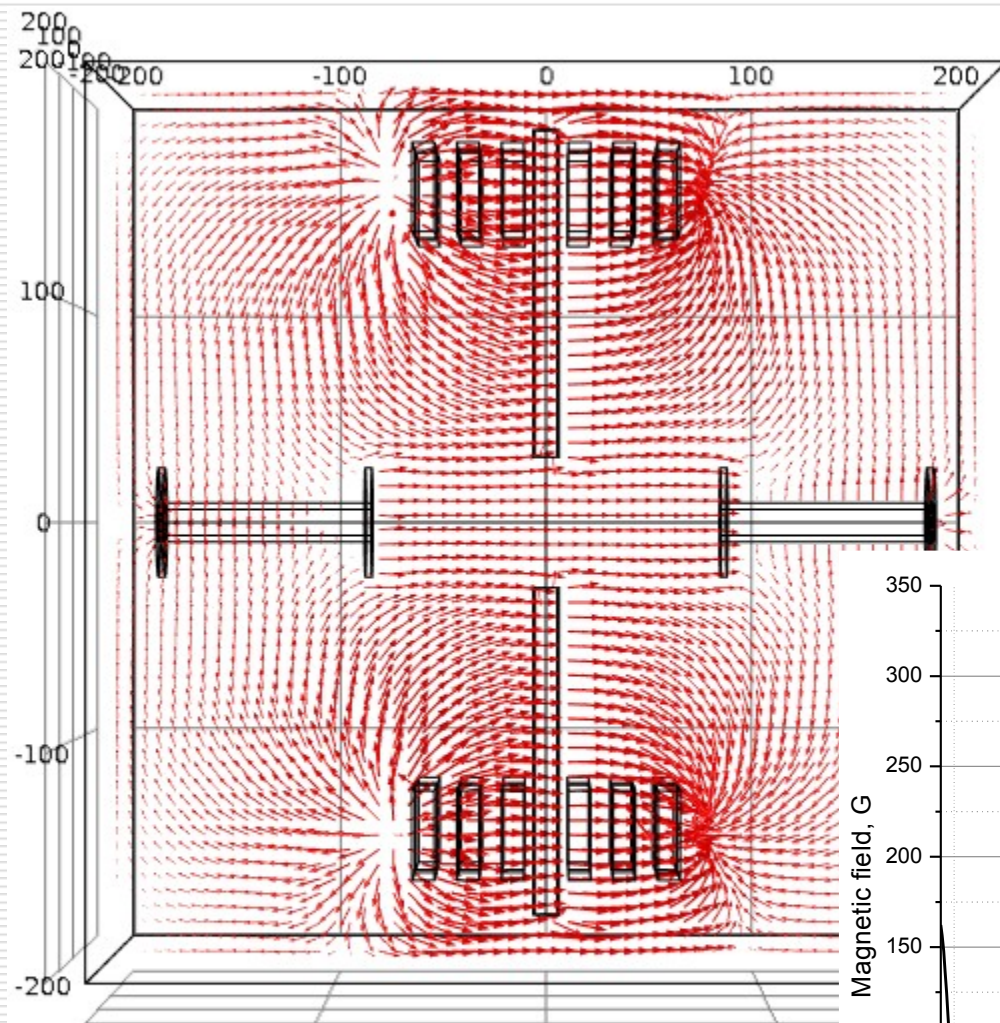
Область магнитного поля вдоль ионного пучка должна быть

минимизирована  
 П. Кравцов



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



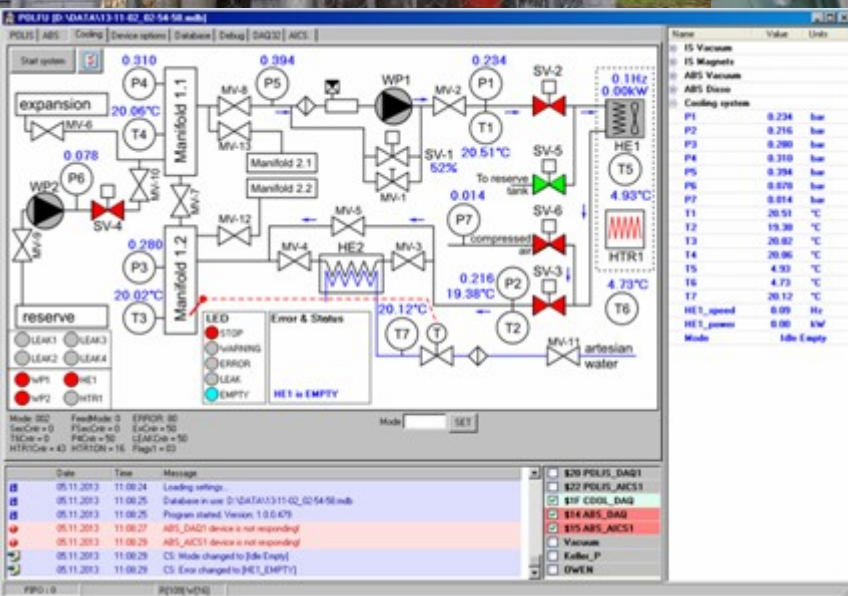




# Система водяного охлаждения

Параметры системы:

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





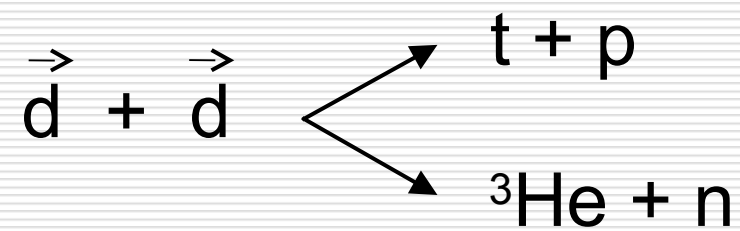
- ☹ Измерение толщины мертвого слоя ( $D \leq 1 \mu\text{m}$ )  
П.Монич. Бакалаврская диссертация (2011). Университет ИТМО.
- ☹ Однородность чувствительности активной области  
Лучше 0.5% по всей активной области детектора
- ☹ Стабильность детектора в атмосфере водорода/дейтерия  
Лучше 0.16% при давлении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

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



## Цели и задачи эксперимента

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



Измерения спин-корреляционных коэффициентов

для реакции поляризованного синтеза

[[Phys. Rev. Lett. 49, 1248 \(1982\)](#)]

factor ~1.5 at 430 keV

[[Annals of Phys. 66, 810 \(1971\)](#)]

измерения нейтронного канала реакции

factor

[[Phys. J. A 44, 321–354 \(2010\)](#)]

[[Phys. Rev. C 81 \(2010\)](#)]

о распределения продуктов реакции

возможности практического использования

топлива

Polarization in a Fusion Process

[[Deutsch. Few-Body Conference, Bonn \(2009\)](#)]