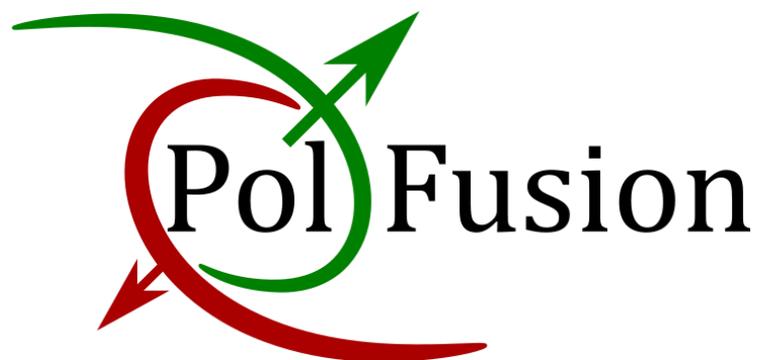
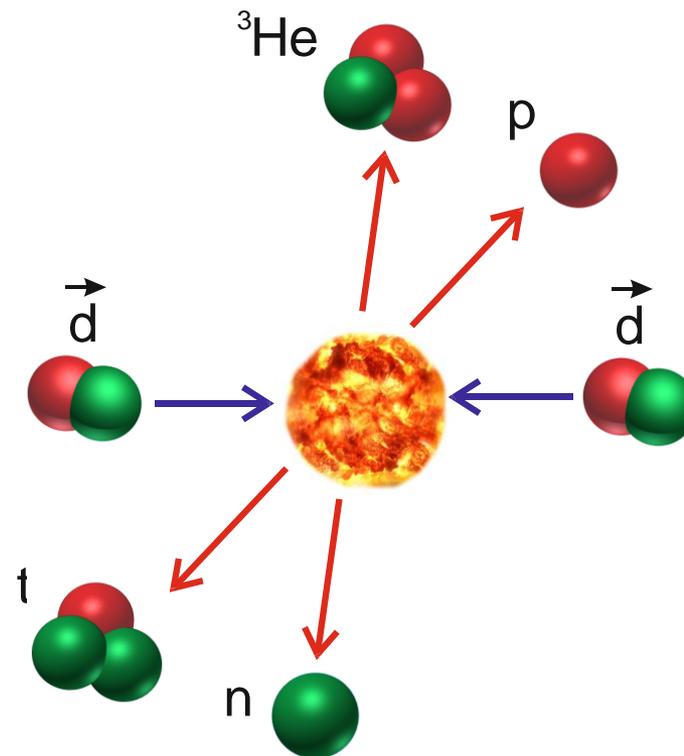
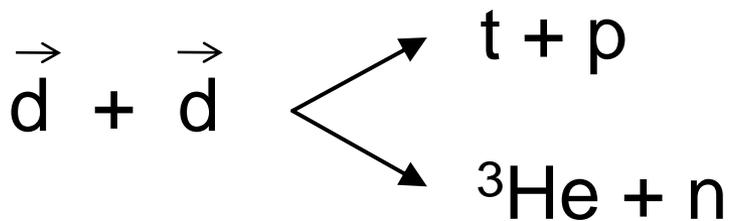


Эксперимент POLFUSION

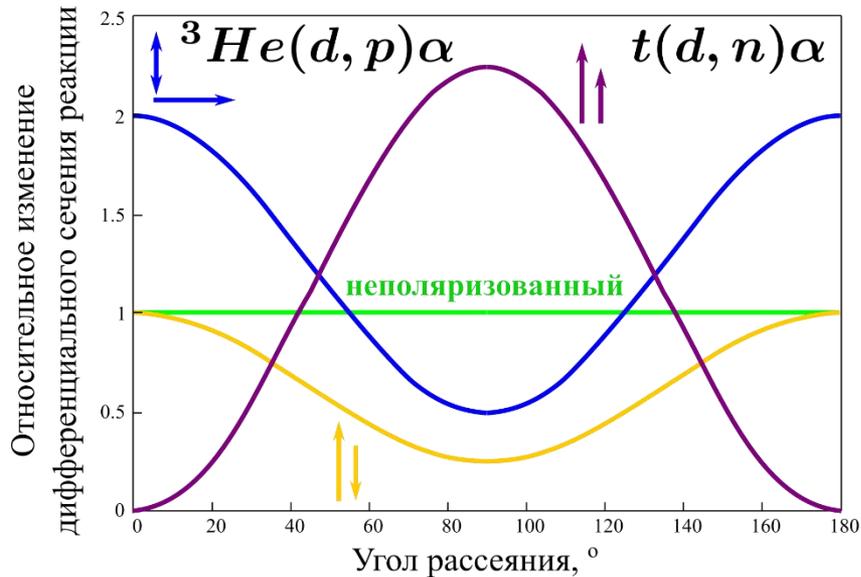


П. Кравцов
коллаборация PolFusion

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



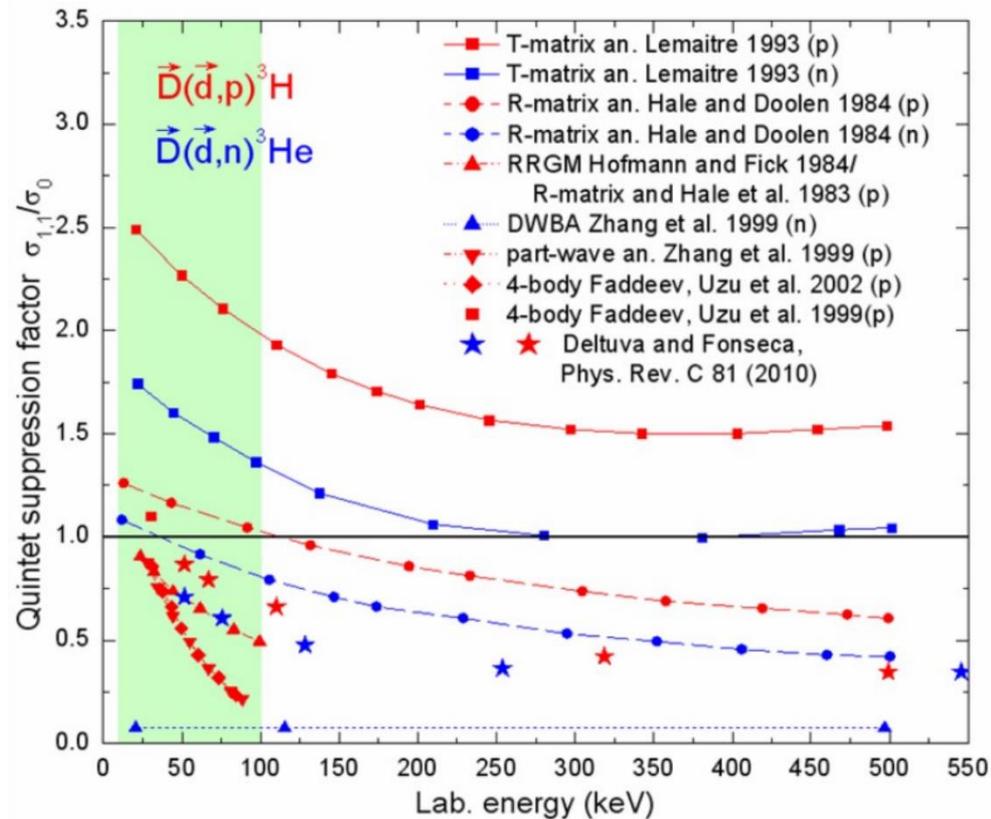
- Увеличение сечения реакции
- Контроль над направлением разлёта продуктов реакции
- Подавление нейтронного канала



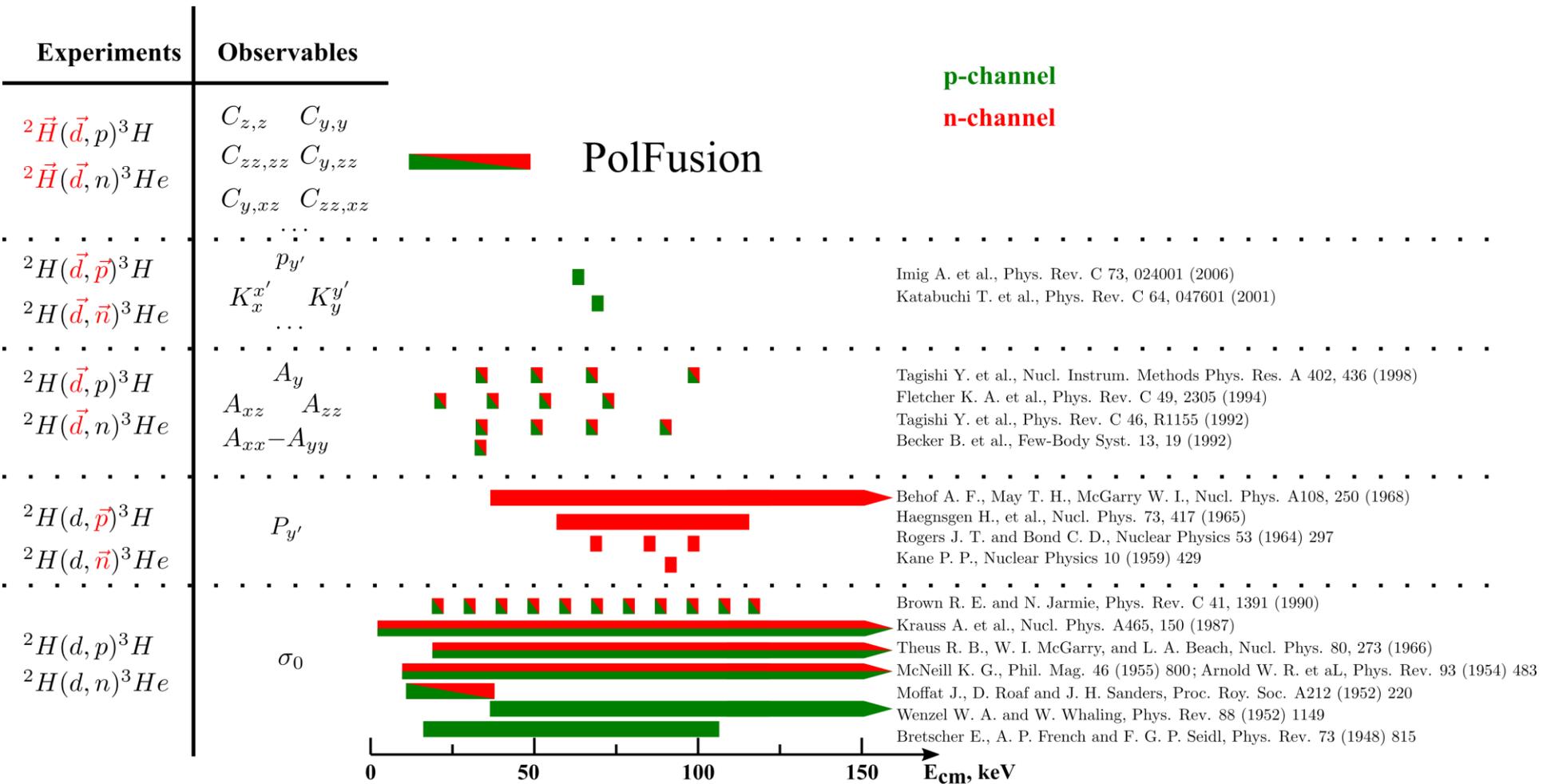
Ch. Leemann et al., *Helv. Phys. Acta* **44**, 141 (1971)

R. Engels et al., *PoS SPIN 2018*, 176 (2019)

$$QSF = \frac{\sigma_{1,1}}{\sigma_0} \quad \sigma_0 = \frac{1}{9} \left(\underbrace{2\sigma_{1,1}}_{\text{Quintet}} + \underbrace{4\sigma_{1,0}}_{\text{Triplet}} + \underbrace{\sigma_{0,0} + 2\sigma_{1,-1}}_{\text{Singlet}} \right)$$



H. Paetz gen. Schieck *Nuclear physics with polarized particles* (Springer Verlag, Berlin, 2012);
Eur. Phys. J. A **44**, (2010) 321; *Few-Body Syst.* **54** (2013) 2159



$$\sigma(\theta, \phi) = \sigma_0(\theta) \left(1 + \sum_1^9 p_j^b A_j^b(\theta) + \sum_1^9 p_j^t A_j^t(\theta) + \sum_1^9 \sum_1^9 p_j^b p_k^t C_{j,k}(\theta) \right)$$

$$p_{l'} \sigma(\theta, \phi) = \sigma_0(\theta) \left(P_{l'}(\theta) + \sum_1^9 p_j K_j^{l'}(\theta) \right)$$



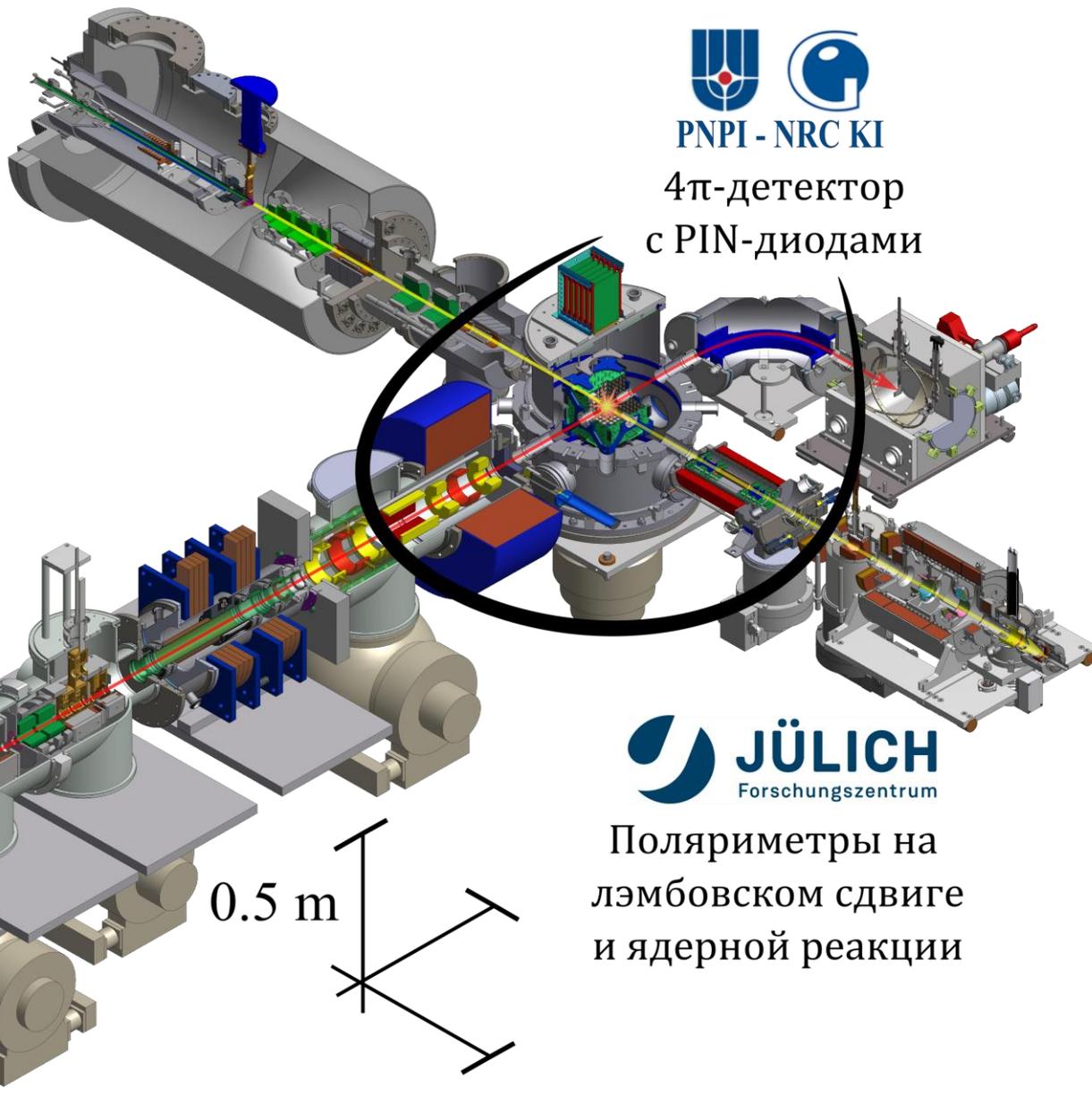
UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI FERRARA
- EX LABORE FRUCTUS -

ABS,
атомный пучок
 \bar{D} , 0.01 эВ
 $4 \cdot 10^{16}$ атомов/с



university of
groningen

POLIS,
ионный пучок
 \bar{d} , 10-80 кэВ
 $1.2 \cdot 10^{16}$ атомов/с
>15 мкА

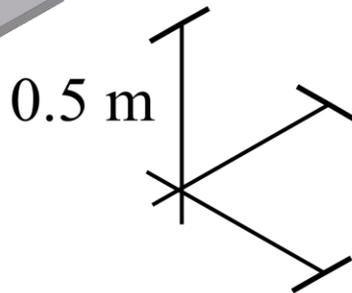


PNPI - NRC KI

4π-детектор
с PIN-диодами



Поляриметры на
лэмбовском сдвиге
и ядерной реакции

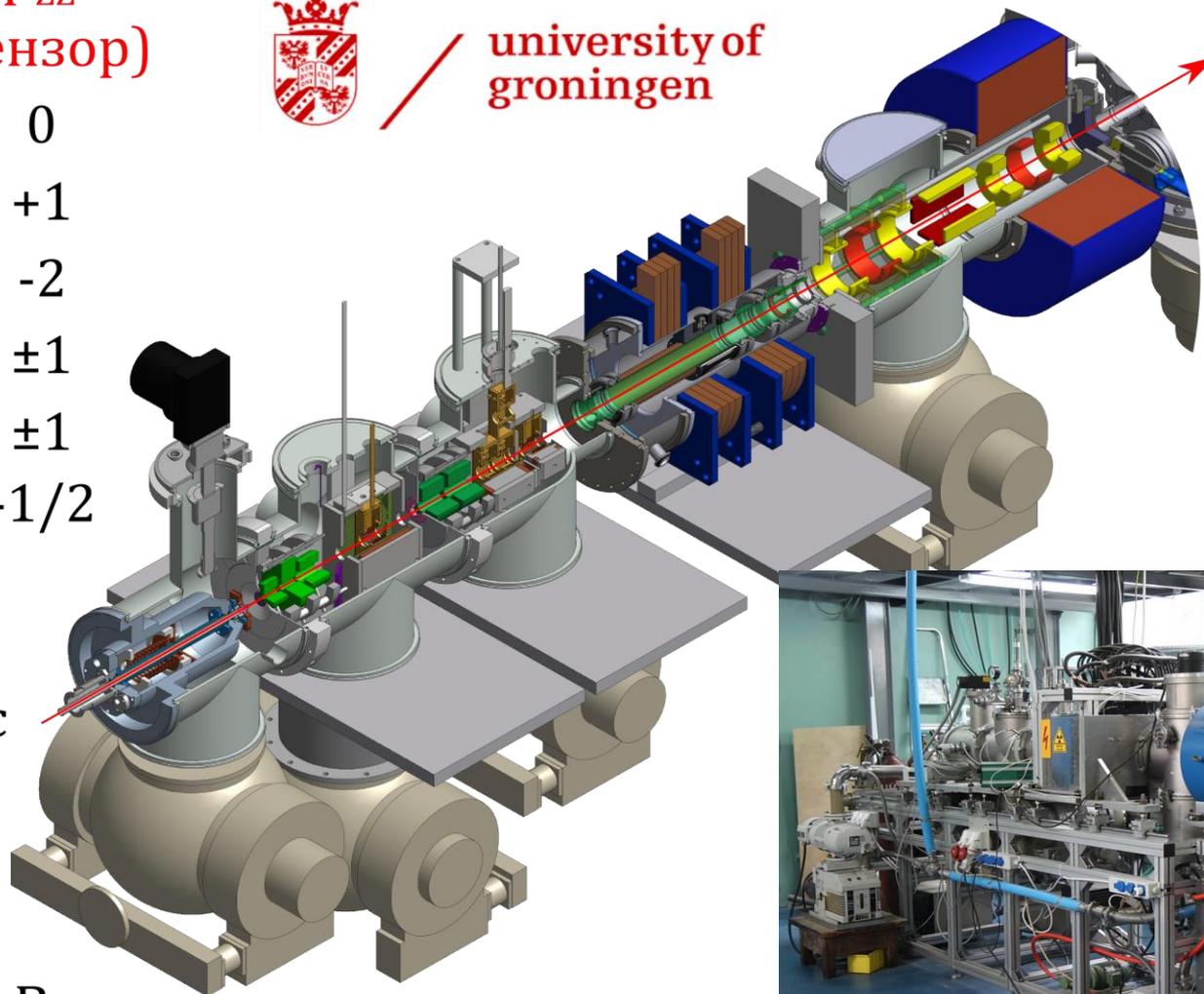


ρ_z (вектор) ρ_{zz} (тензор)

$\pm 2/3$	0
0	+1
0	-2
-1/3	± 1
+1/3	± 1
$\pm 1/3$	-1/2



university of
 groningen

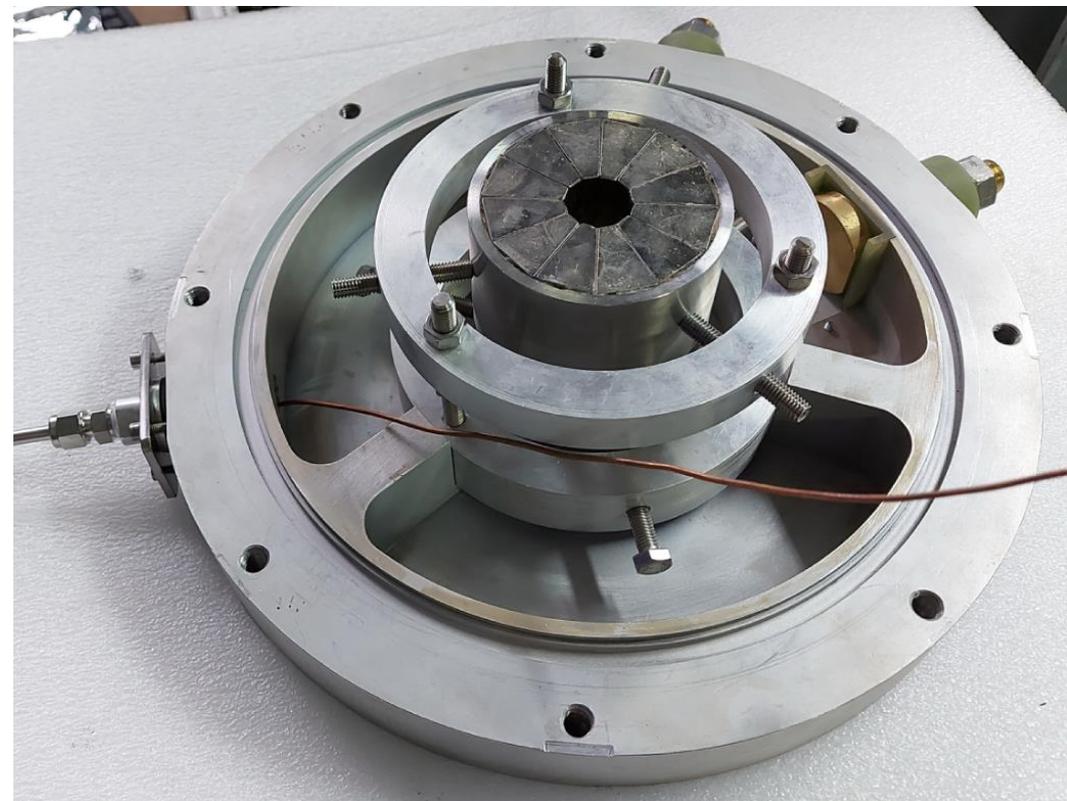
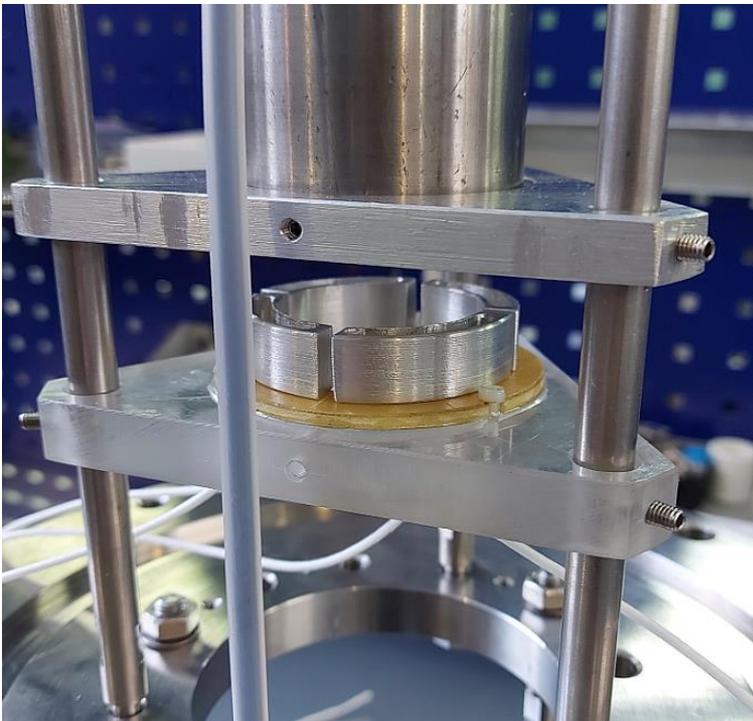


ионный пучок
 \vec{d} , 10-80 кэВ
 $1.2 \cdot 10^{16}$ атомов/с
 > 15 мкА

$d_{\text{nozzle}} = 1.3$ мм
 $T_{\text{nozzle}} = 65$ К
 $RF_{\text{power}} = 200-250$ Вт

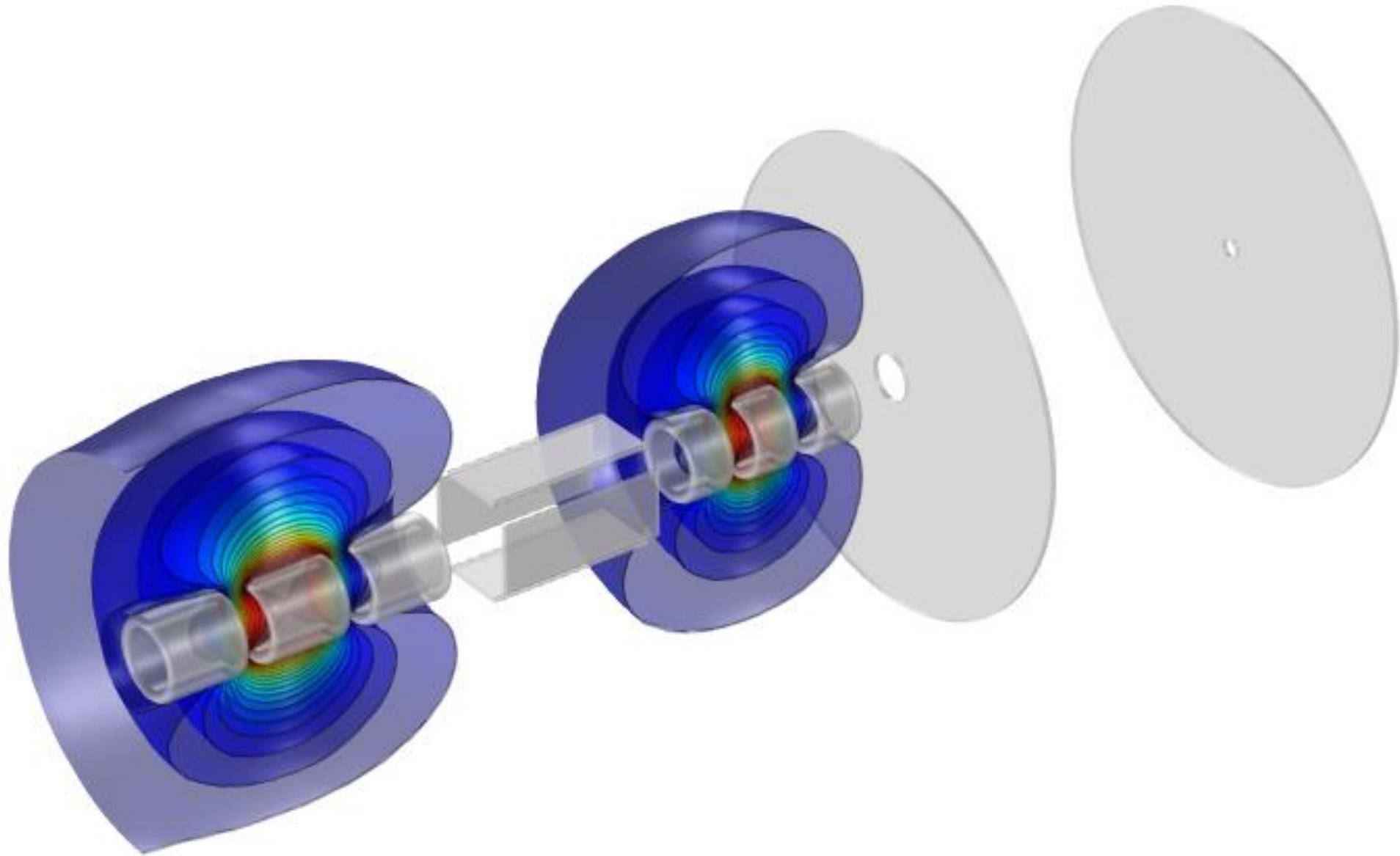
Поляризатор:

Sextupoles + WFT + Sextupoles + WFT + SFT1 (460 MHz) + SFT2 (350 MHz)

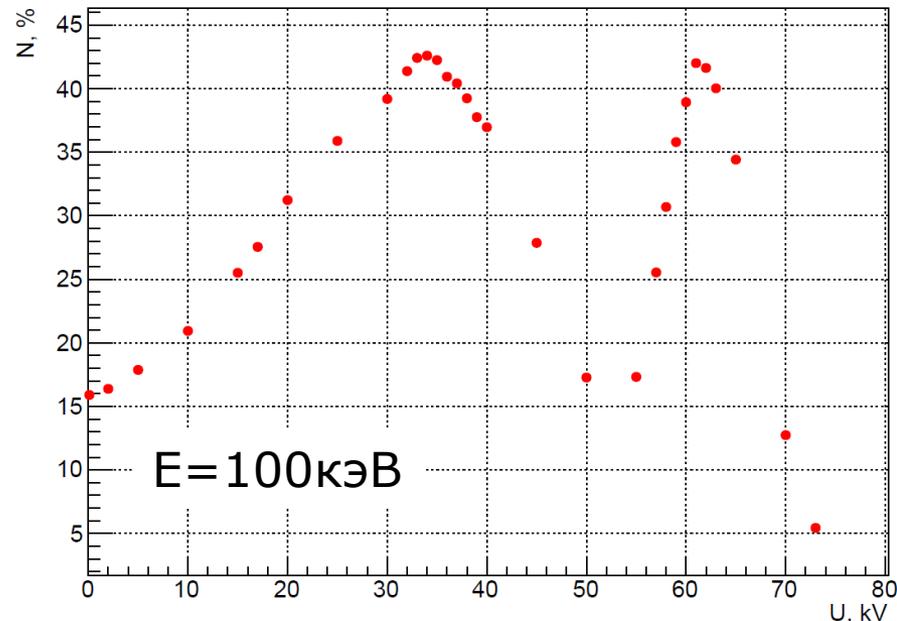
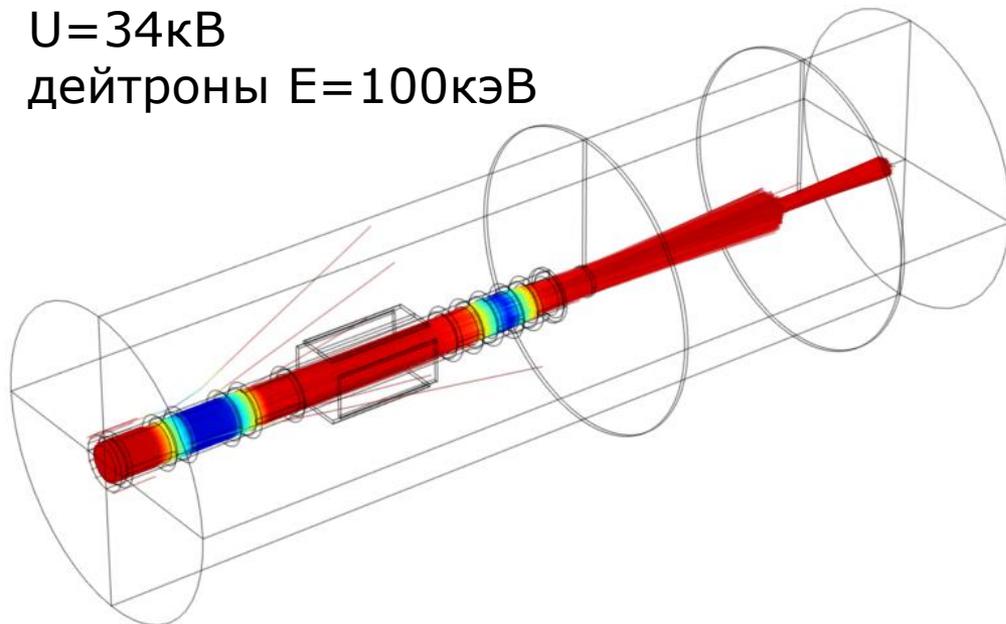


POLIS [2020-2021]

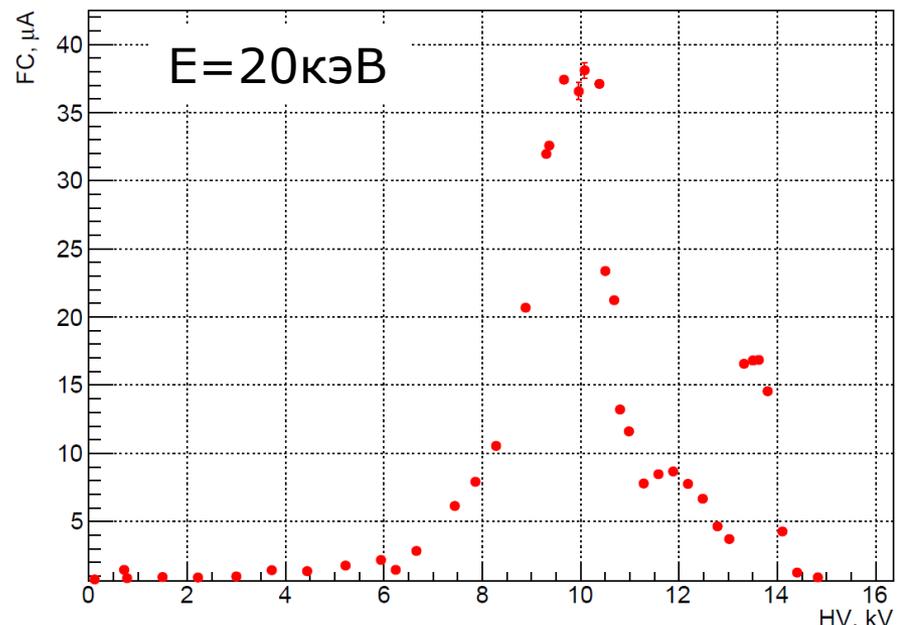
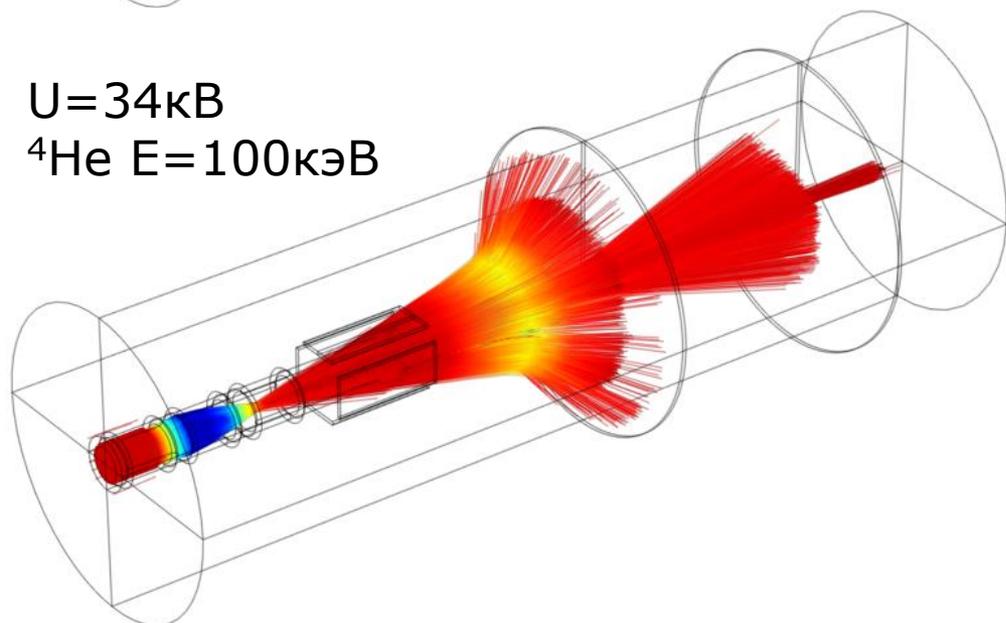
- ✓ Оптимизация диссоциатора
- ✓ Замена магнитной системы
- ✓ Оптимизация ABS
- ✓ Переборка и настройка ВЧ ячеек
- ✓ Доработка ионизатора
- ✓ Фокусировка ионного пучка
- ✓ Контроль положения пучка

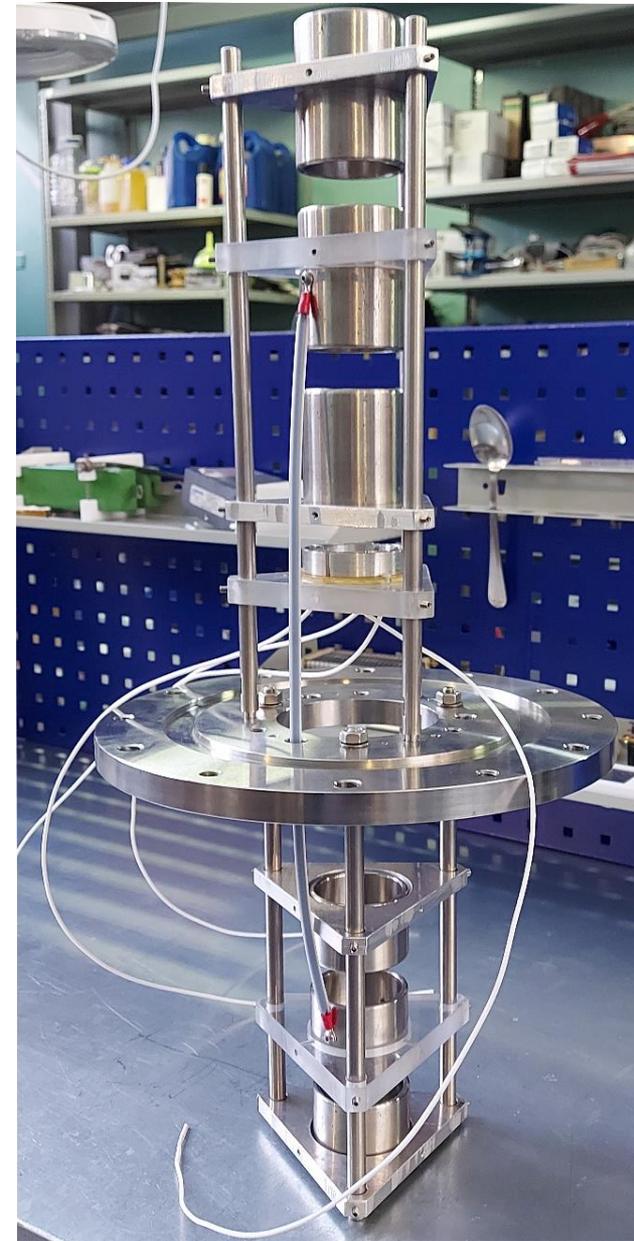
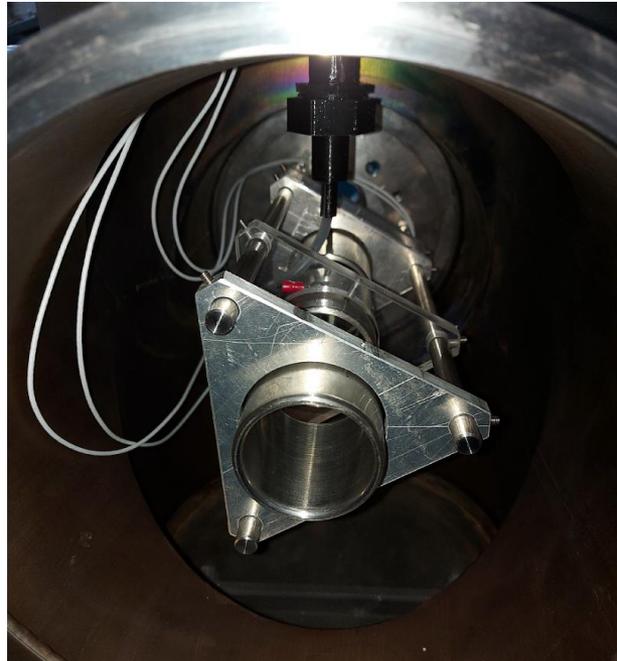


$U = 34 \text{ кВ}$
дейтроны $E = 100 \text{ кэВ}$



$U = 34 \text{ кВ}$
 ^4He $E = 100 \text{ кэВ}$





ρ_z (вектор)	ρ_{zz} (тензор)
-2/3	0
0	+1
-1/3	+1
-1	+1
$\pm 1/2$	-1/2



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI FERRARA
- EX LABORE FRUCTUS -

атомарный пучок

\vec{D} , 0.01 эВ

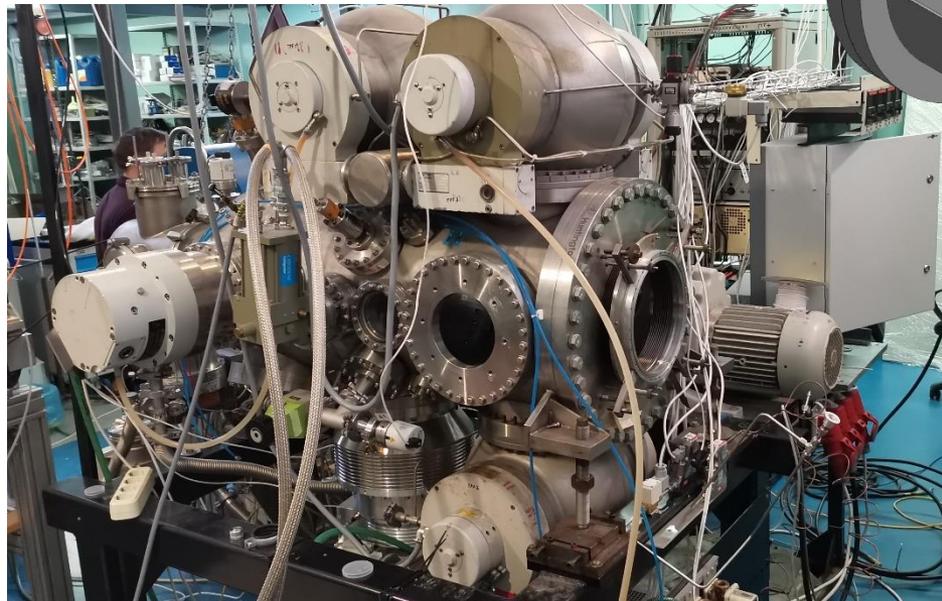
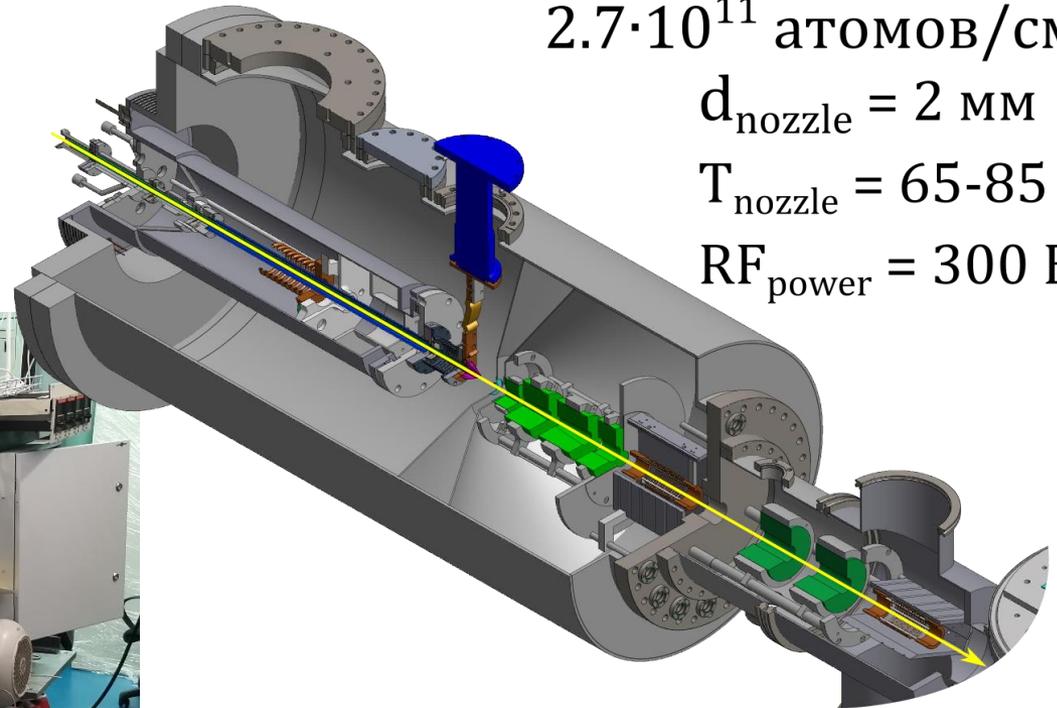
$4 \cdot 10^{16}$ атомов/с

$2.7 \cdot 10^{11}$ атомов/см²

$d_{\text{nozzle}} = 2$ мм

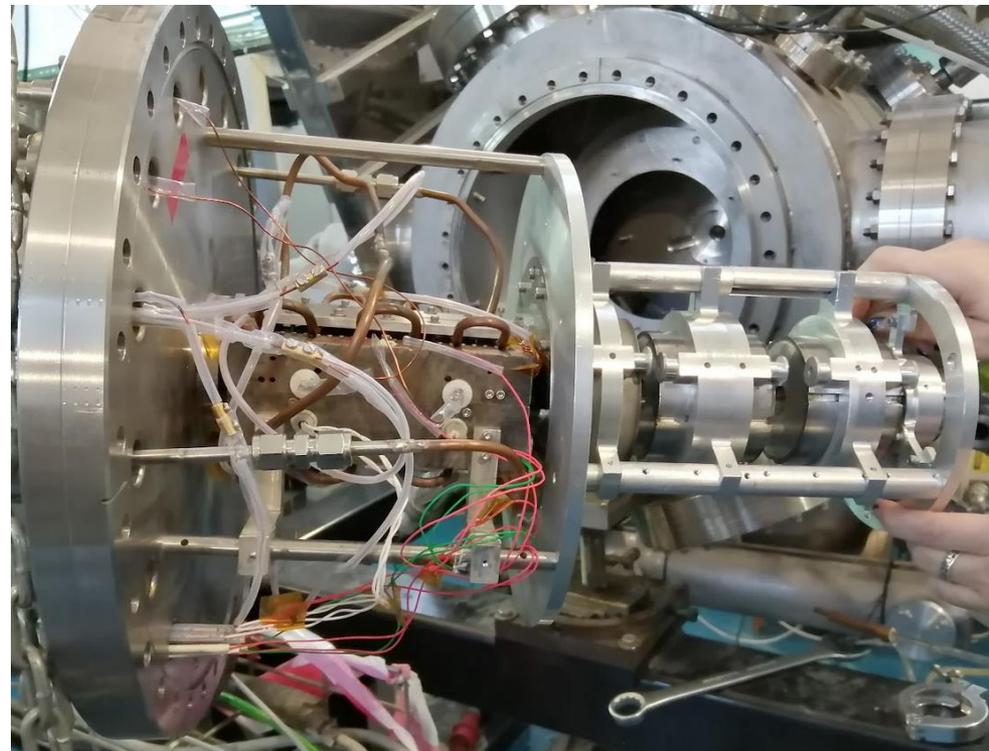
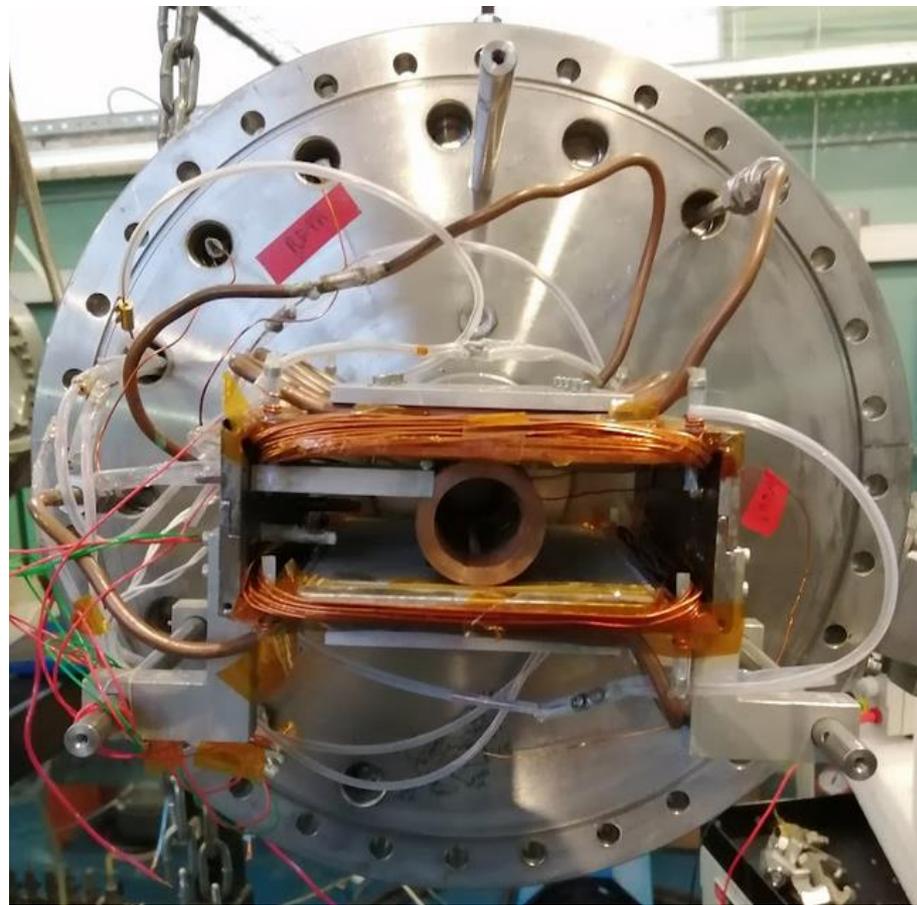
$T_{\text{nozzle}} = 65-85$ К

$RF_{\text{power}} = 300$ Вт



Поляризатор:

Sextupoles + MFT + Sextupoles + MFT



Ferrara ABS

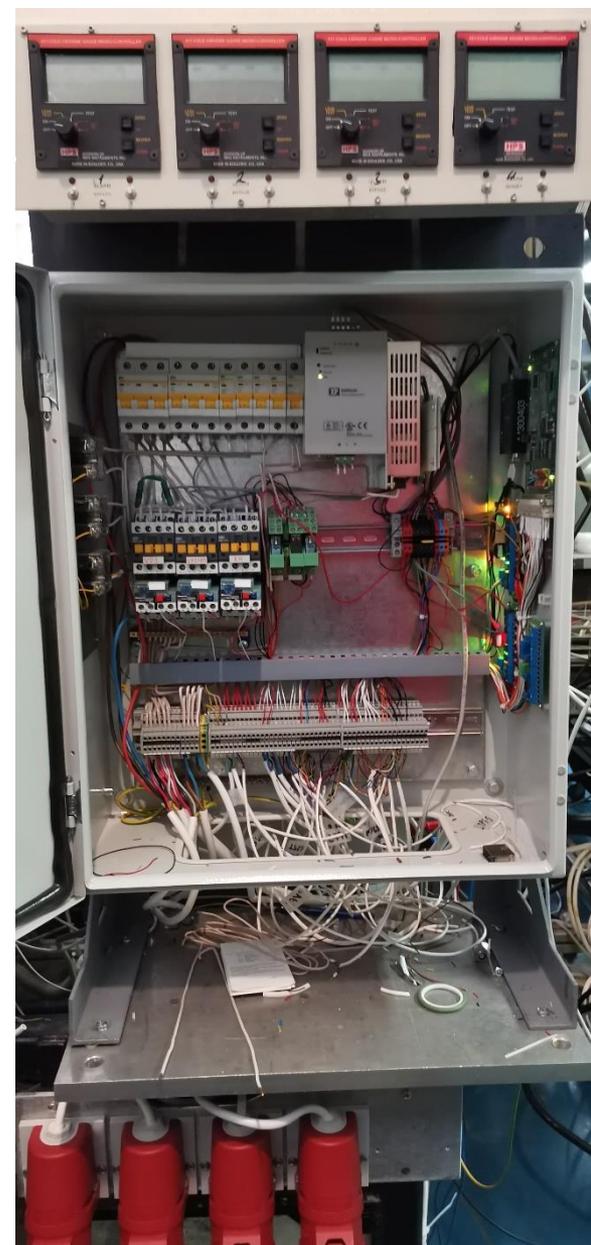
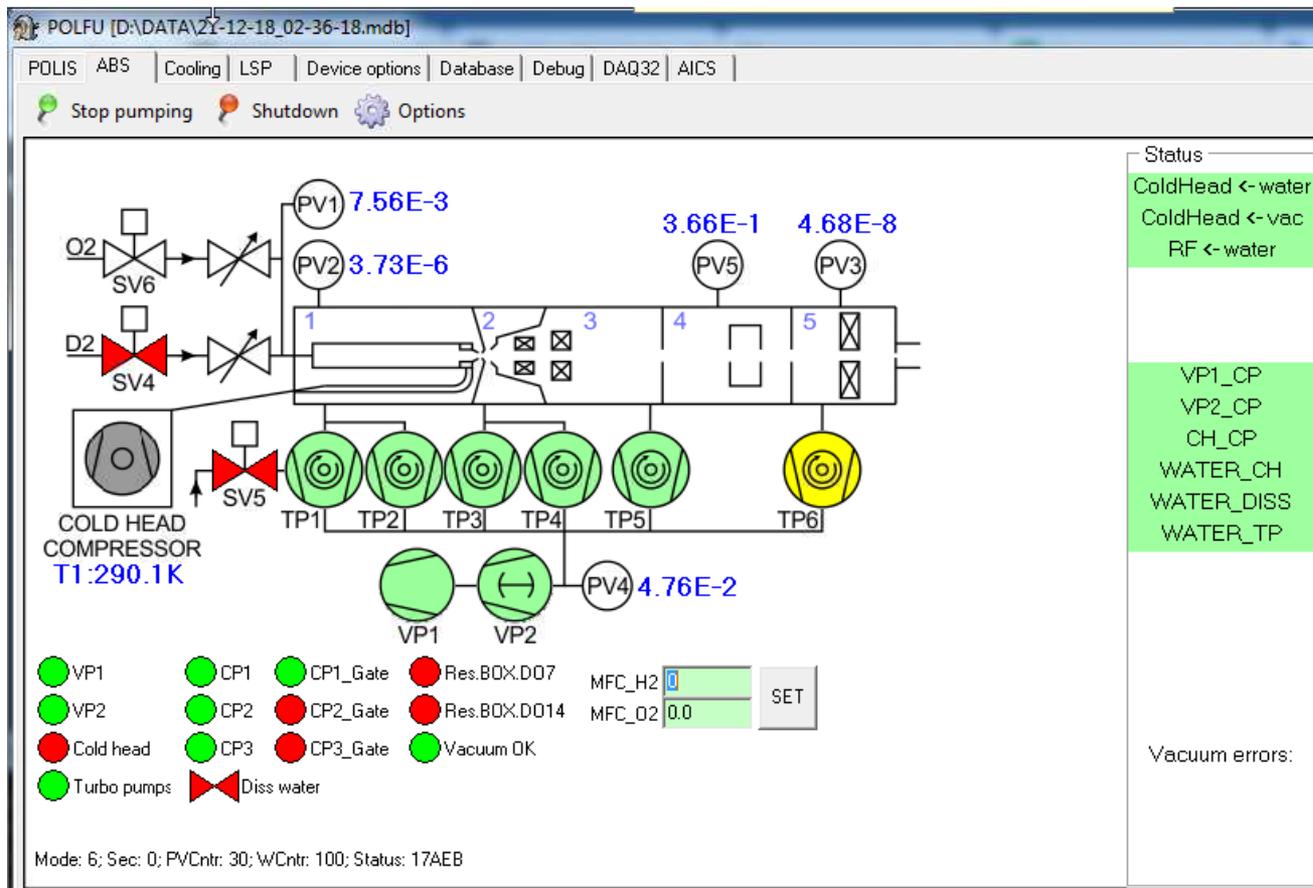
- ✓ Вакуумная система
- ✓ Переборка ВЧ-ячеек
- ✓ Демонтаж инфраструктуры
- ✓ Доработка диссоциатора
- ✓ Система управления

- ✓ Замена сопла
- ✓ Настройка ВЧ-контура
- ◆ Проводка и измерение атомарного пучка компрессионной трубкой



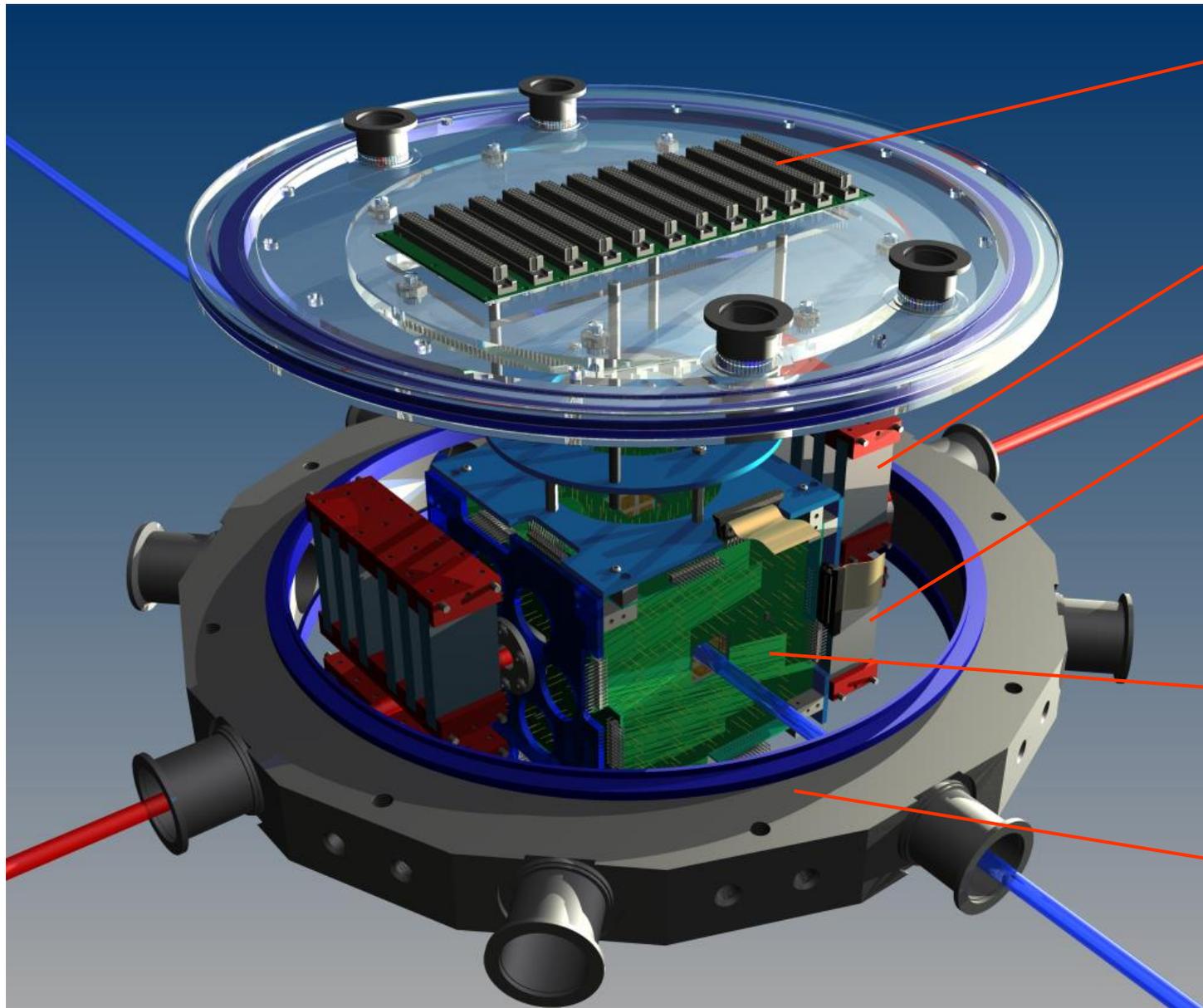
Ferrara ABS

- ✓ Вакуумная система
- ✓ Переборка ВЧ-ячеек
- ✓ Демонтаж инфраструктуры
- ✓ Доработка диссоциатора
- ✓ Система управления



Ferrara ABS

- ✓ Вакуумная система
- ✓ Переборка ВЧ-ячеек
- ✓ Демонтаж инфраструктуры
- ✓ Доработка диссоциатора
- ✓ Система управления



Разъемы для подключения электроники

Кольца Гельмгольца

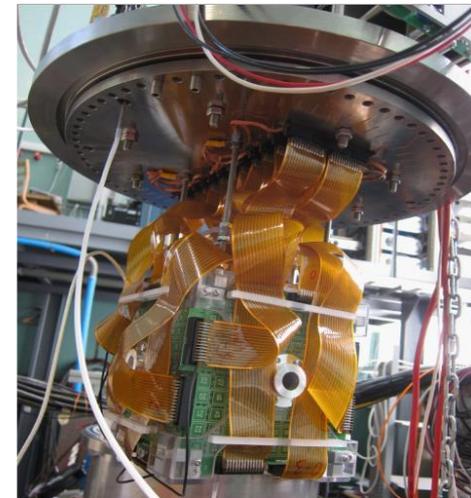
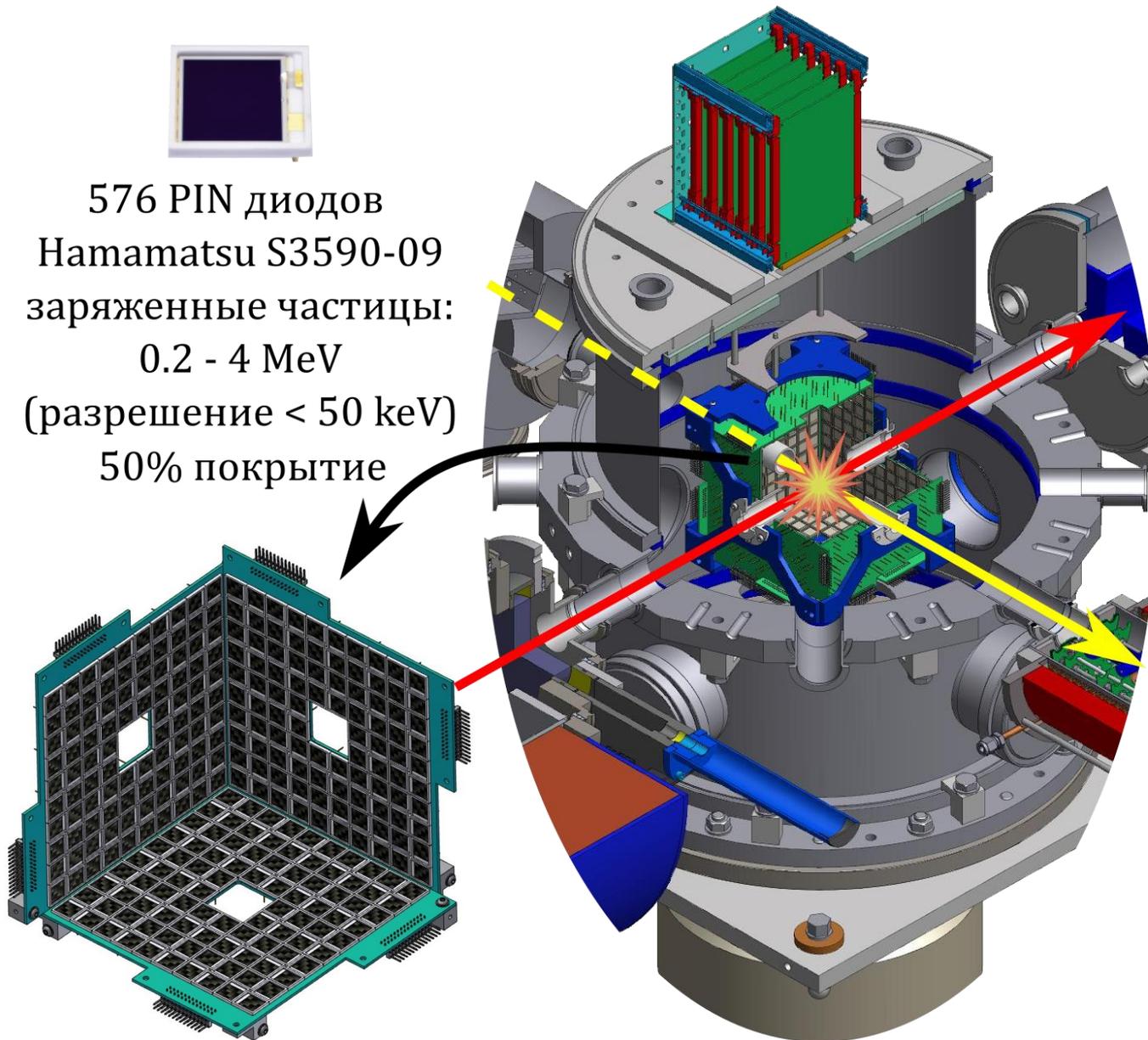
Постоянные NdFeB магниты

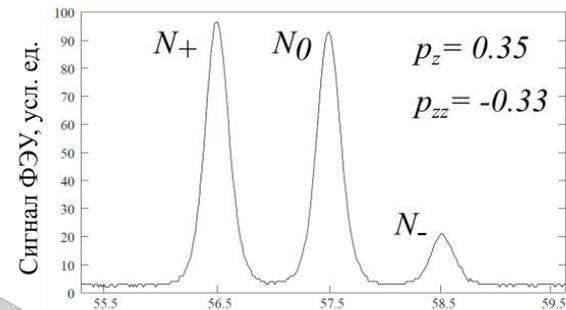
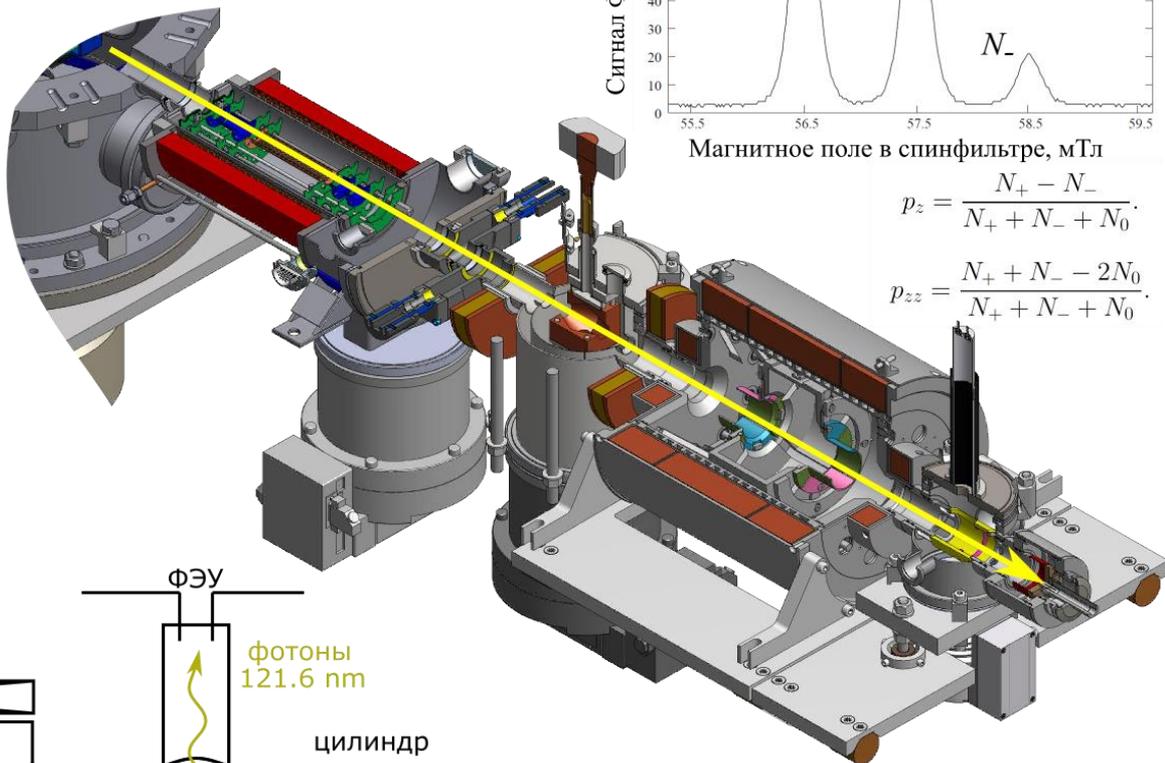
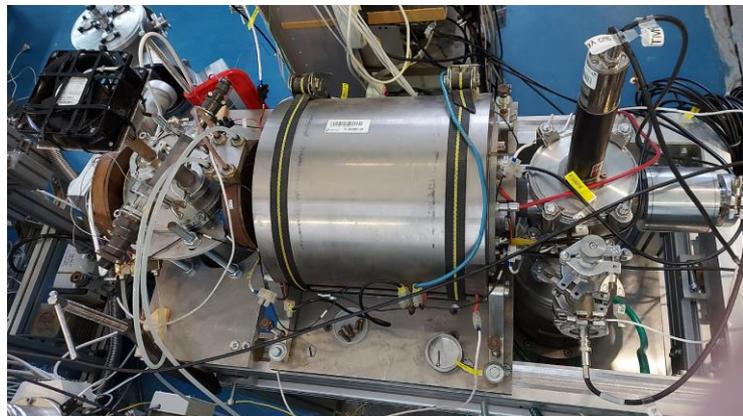
Детекторная система

Детекторная камера



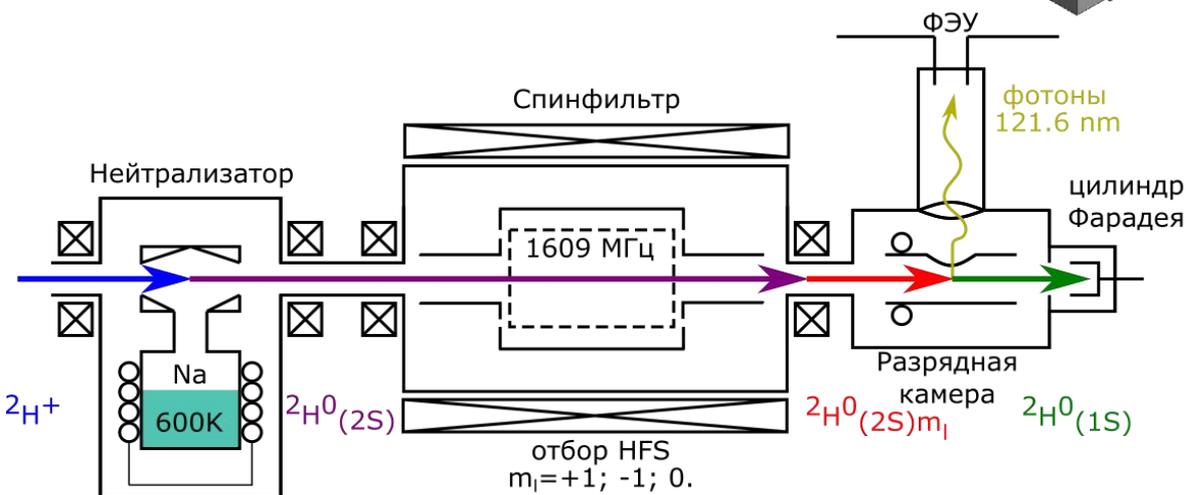
576 PIN диодов
 Hamamatsu S3590-09
 заряженные частицы:
 0.2 - 4 MeV
 (разрешение < 50 keV)
 50% покрытие



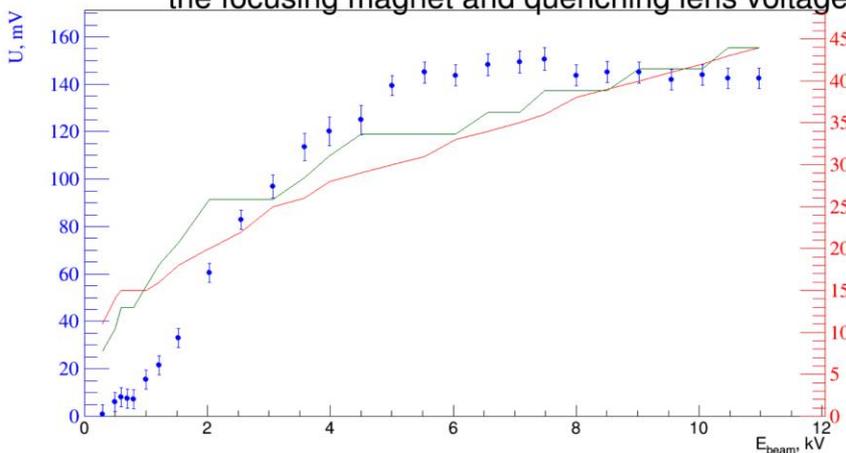


$$p_z = \frac{N_+ - N_-}{N_+ + N_- + N_0}$$

$$p_{zz} = \frac{N_+ + N_- - 2N_0}{N_+ + N_- + N_0}$$



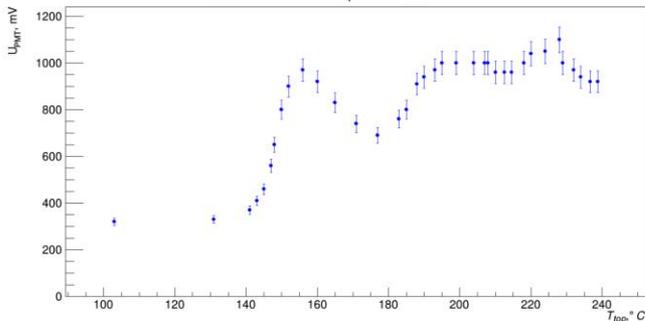
PMT signal versus beam energy with tuning the focusing magnet and quenching lens voltage



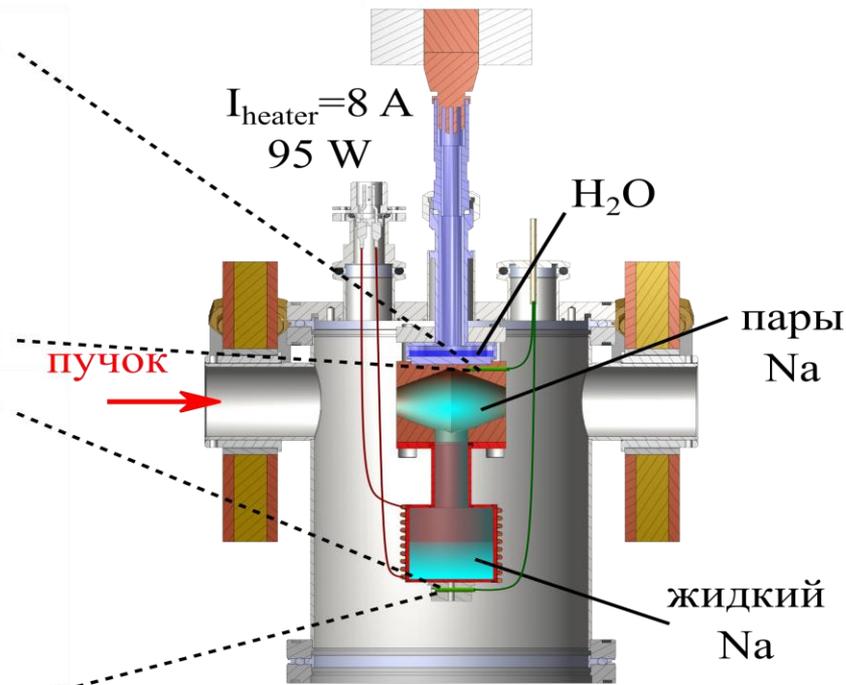
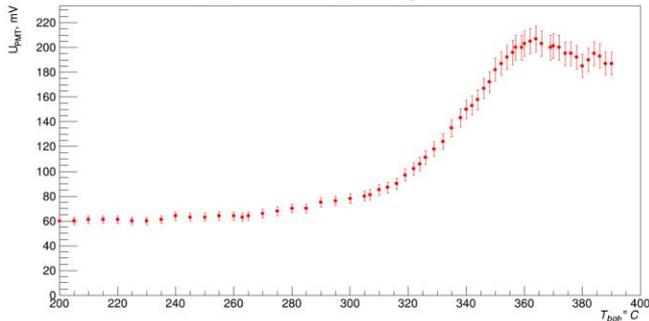
Рабочие параметры

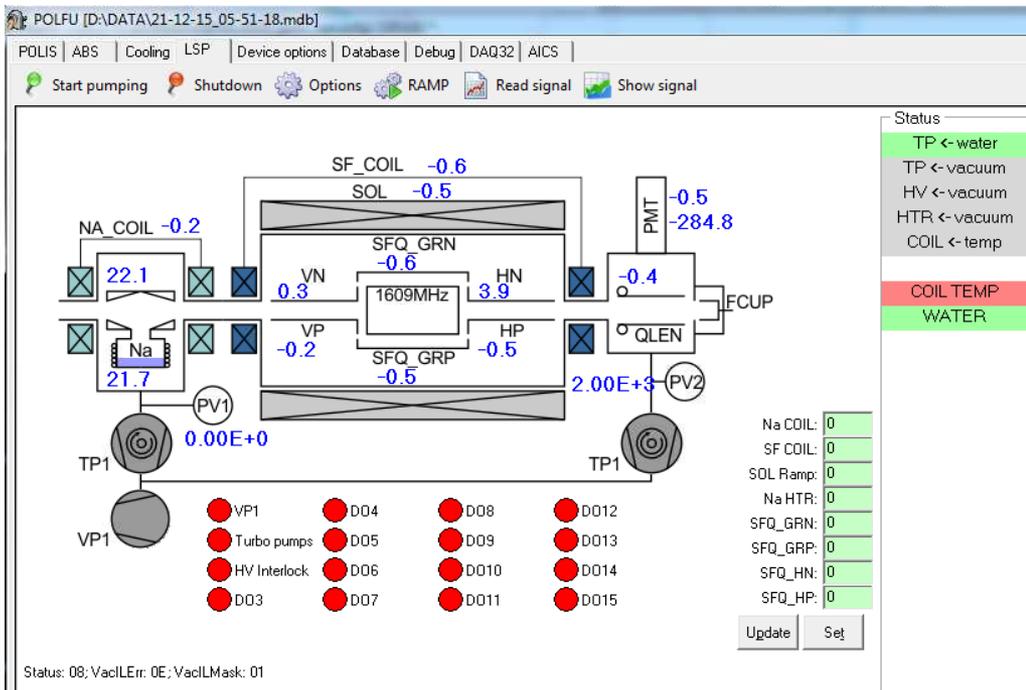
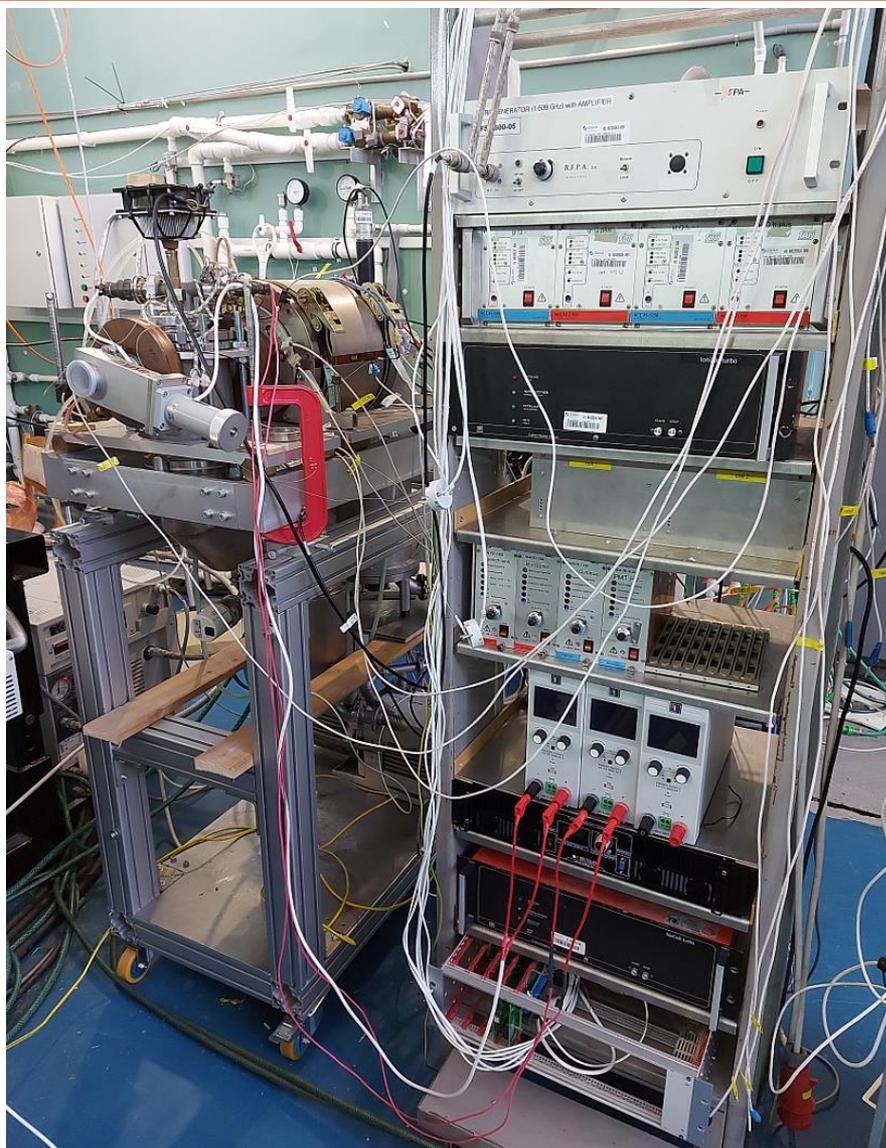
$E_{\text{beam}} = 4 \text{ kV}$
 $T_{\text{top}} = 190 \text{ }^\circ\text{C}$
 $T_{\text{bot}} = 360 \text{ }^\circ\text{C}$
 $I_{\text{solen}} = 20 \text{ A}$
 $U_{\text{lens}} = 450 \text{ V}$

U_{PMT} versus T_{top} at $T_{\text{bot}} = 380 \text{ }^\circ\text{C}$



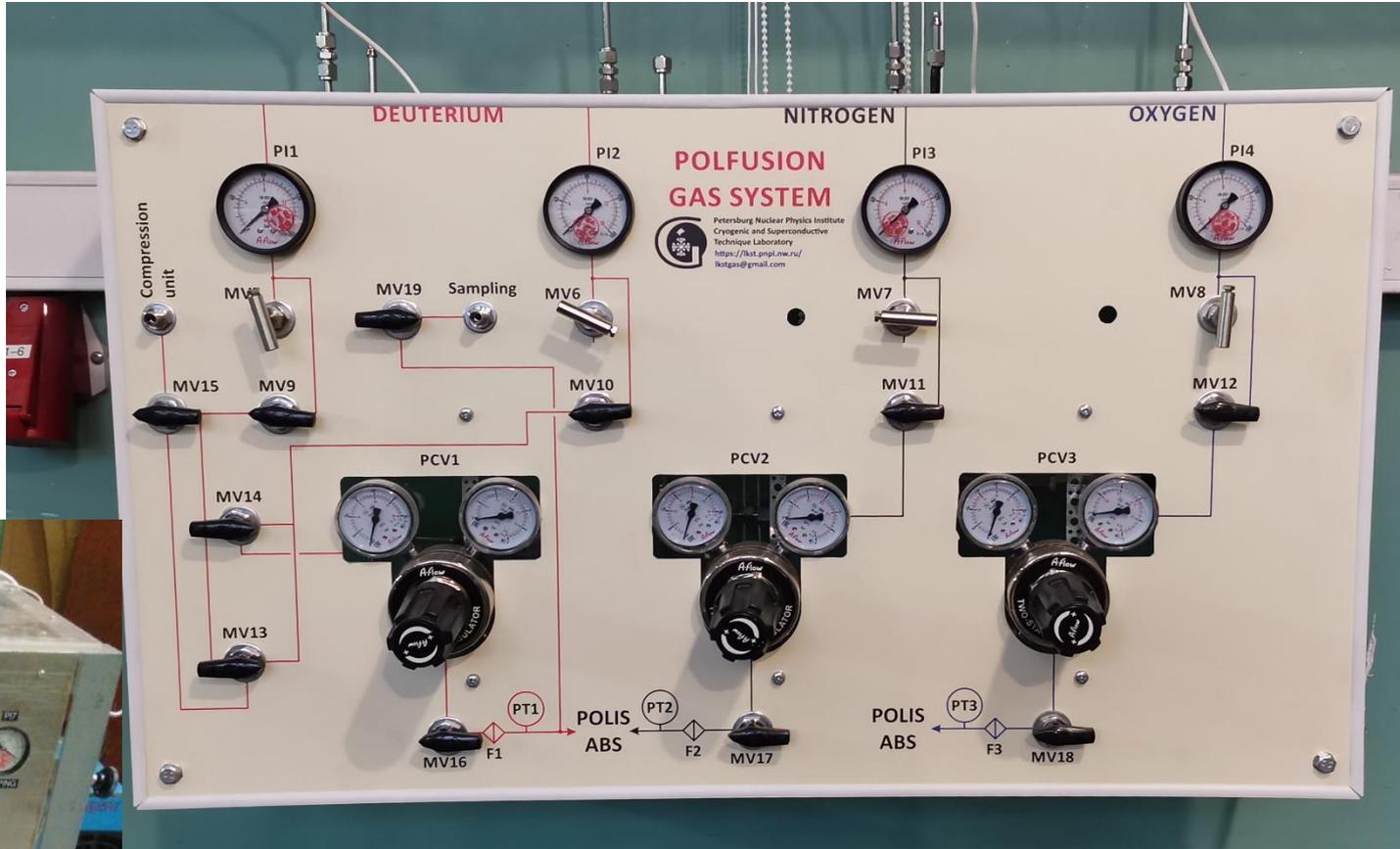
U_{PMT} versus T_{bot} at $T_{\text{top}} = 150 \text{ }^\circ\text{C}$

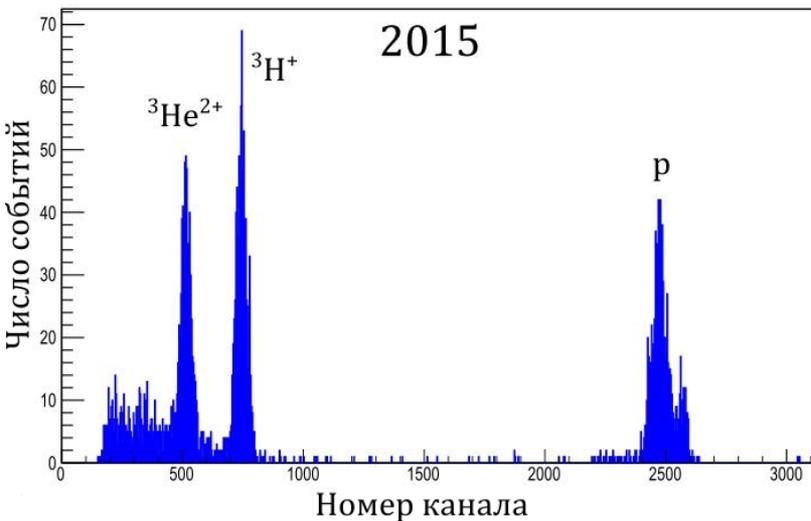




LSP

- ✓ Натриевая ячейка
- ✓ Новые источники питания
- ✓ Отладка на пучке POLIS
- ✓ Система управления





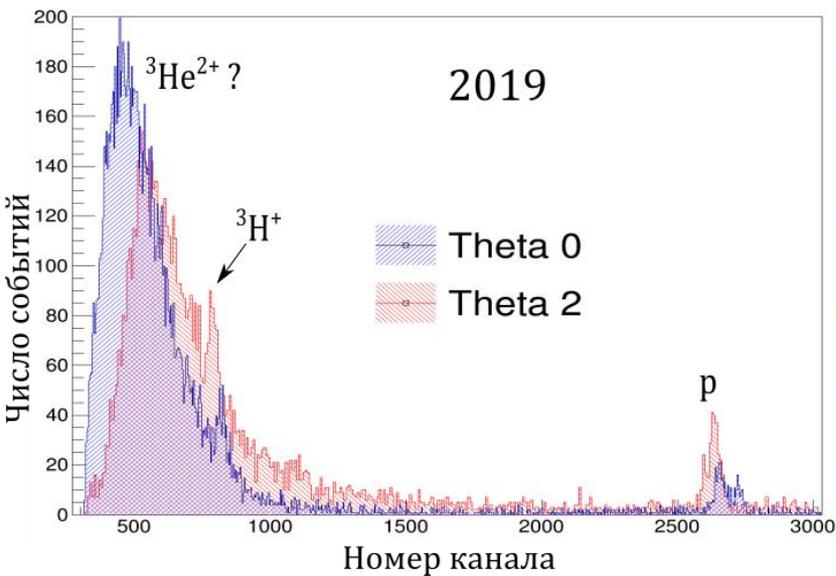
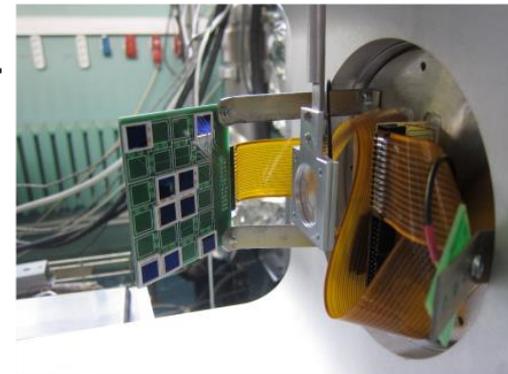
Мишень: дейтерированный полиметилметакрилат

Плотность: $\sim 10^{17}$ атомов/см²

Пучок: 15 кэВ \sim 5мкА

Длительность: \sim 3 ч

Цель: оценка качества сигнала регистрации dd-синтеза



Мишень: тяжёлая вода

Плотность: $\sim 10^{12}$ атомов/см²

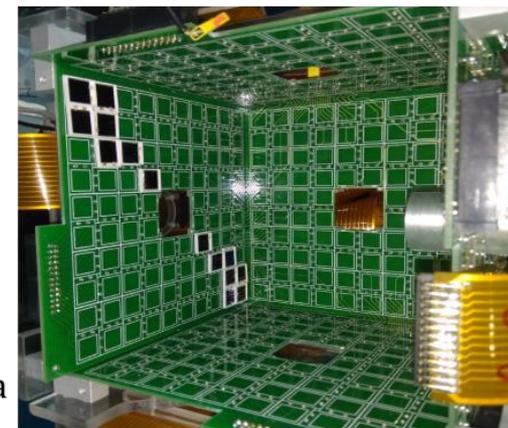
Пучок: 10 кэВ \sim 10мкА

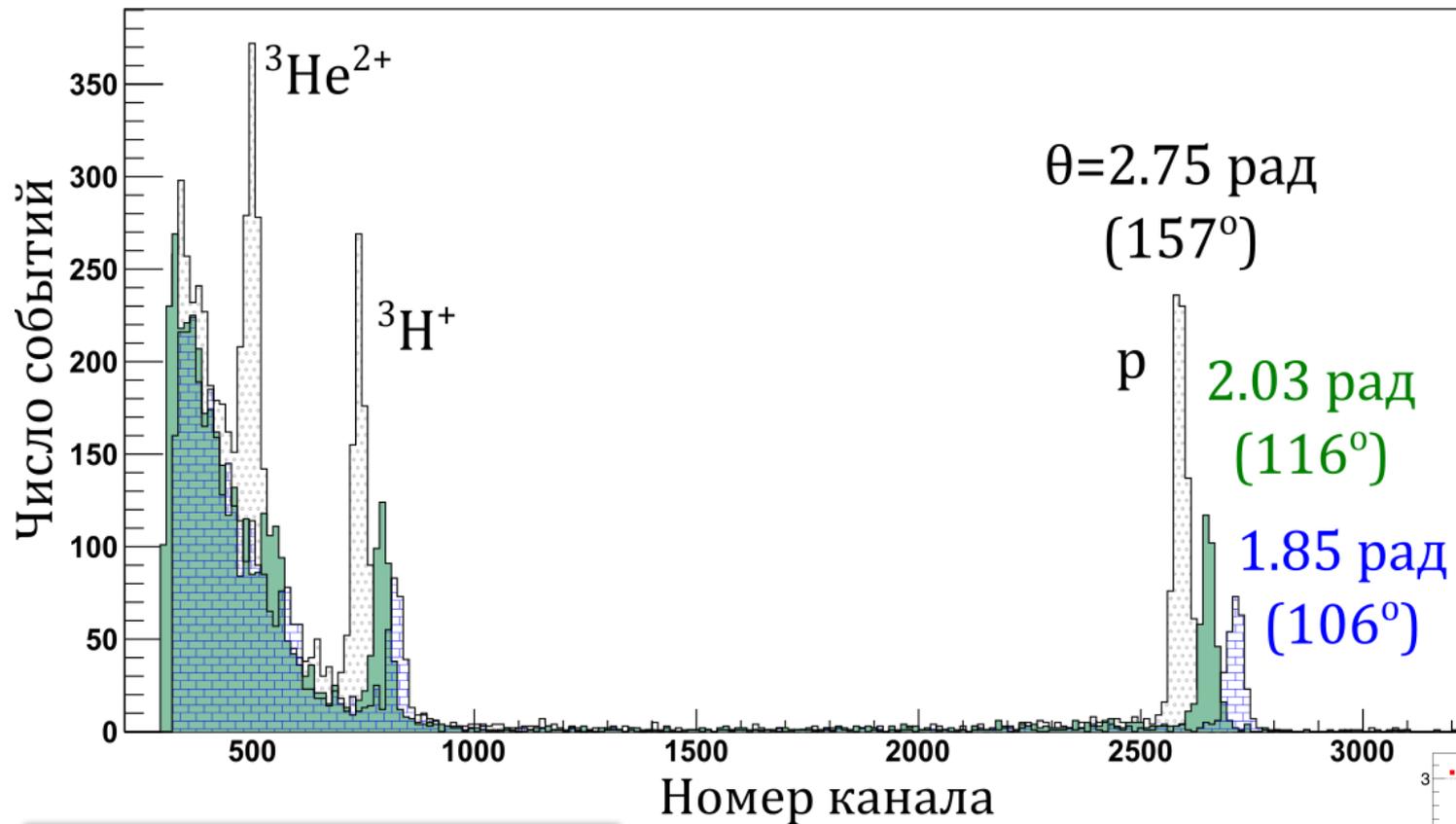
Длительность: \sim 300 ч

Цель: симуляция пучка ABS
оценка космического фона

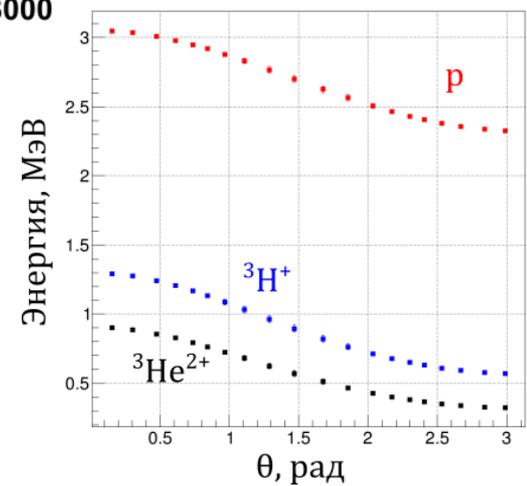
Плотность мишени ABS:

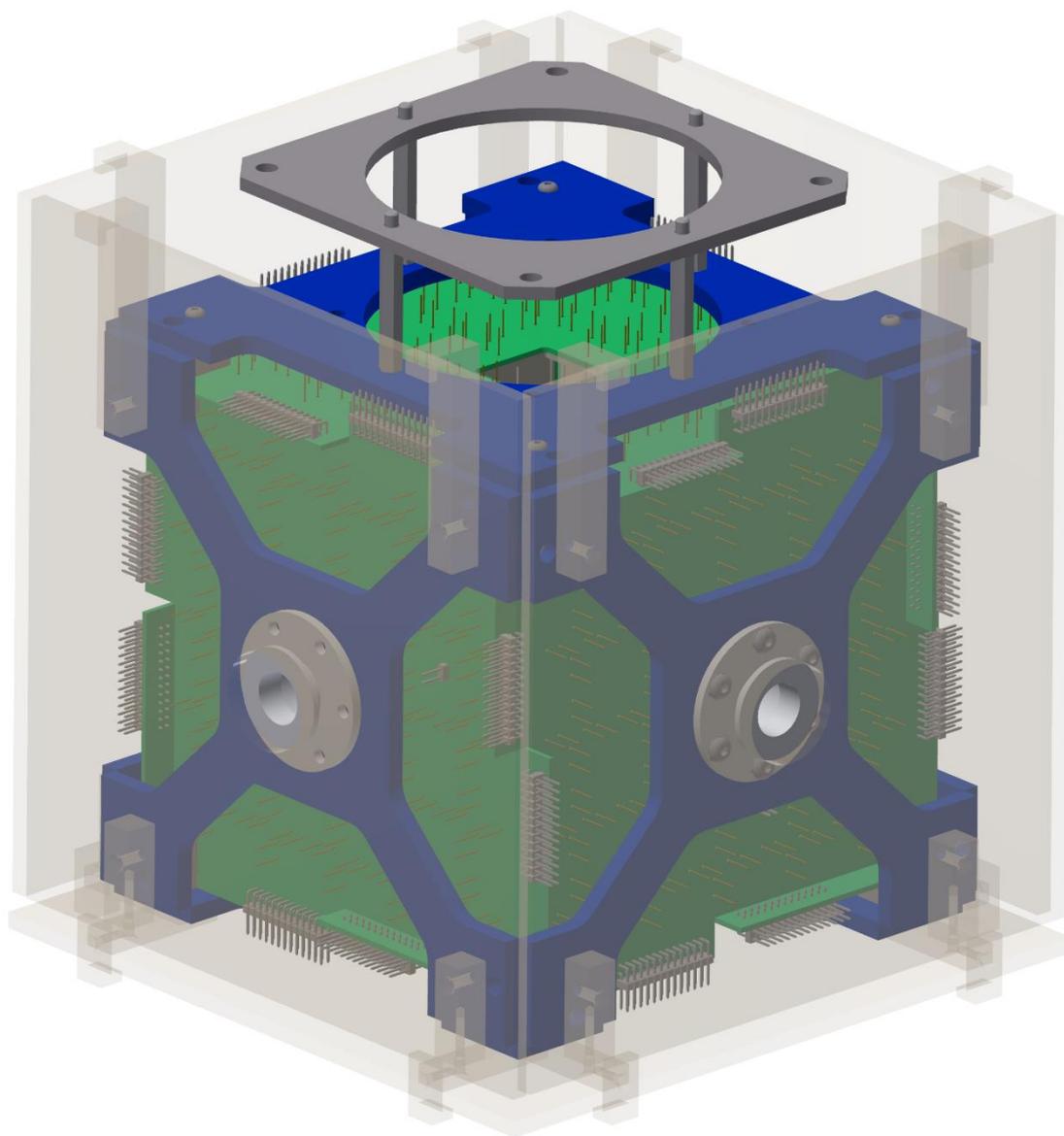
$2.7 \cdot 10^{11}$ атомов/см² при $4 \cdot 10^{16}$ атомов/с





Энергия: 25 кэВ, 15 кэВ
 Длительность: 500 часов
 ✓ Стабильный пучок
 ✓ Подавление наводок





Пластиковый сцинтиллятор
 Saint Gobain BS-408
 (5mm, 2.1ns)
 SiPM MicroFJ 30035 (3x3mm)

Результаты тестовых сеансов

- ✓ Стабильный ионный пучок ($E=25\text{кэВ}$ $I>10\text{мкА}$).
- ✓ ~ 500 часов набора данных.
- ✓ $\sim d\sigma(\Theta_2) / d\sigma(\Theta_0) = 2$
- ✓ Подавление шумов и наводок в детекторе
- ◇ Космика

POLIS

- ✓ Оптимизация диссоциатора
- ✓ Замена магнитной системы
- ✓ Доработка ионизатора
- ✓ Получен **стабильный** ионный пучок
- ✓ Оптимизация диссоциатора
- ✓ Замена магнитной системы
- ✓ Оптимизация ABS
- ✓ Переборка и настройка ВЧ ячеек
- ✓ Доработка ионизатора
- ✓ Фокусировка ионного пучка
- ✓ Контроль положения пучка

Программное обеспечение

- ✓ Сбор данных
- ✓ Обработка сигналов
- ✓ Калибровка электроники
- ✓ Анализ данных
 - ✓ Предварительный анализ сигналов
 - ✓ Математическая модель
 - ✓ Получение физических результатов
- ✓ Моделирование детектора
 - ✓ Описание детектора
 - ✓ Описание пучков
 - ✓ Розыгрыш точки взаимодействия
 - ✓ Unfolding и анализ погрешностей
 - ✓ Функция акцептанса
 - ✓ Кинематика рассеяния

Ferrara ABS

- ✓ Охлаждение сопла
- ✓ Вакуумная система
- ✓ Доработка диссоциатора
- ✓ Система управления
- ✓ Переборка ВЧ-ячеек
- ✓ Демонтаж инфраструктуры
- ◇ Юстировка положения

Поляриметрия

- ✓ Сборка поляриметра
 - ✓ Натриевая ячейка
 - ✓ Отладка на пучке POLIS
 - ✓ Система управления

Спасибо за внимание!