



Эксперимент μ Sun

Muon Capture on the Deuteron ***The MuSun Experiment***

PSI Experiment R-08-01,

spokespersons P. Kammel, C. Petitjean, A. Vasilyev

MuSun Collaboration

Petersburg Nuclear Physics Institute, University of Washington Seattle

Paul Scherrer Institut, University of Kentucky, Boston University

Regis University, University of South Carolina

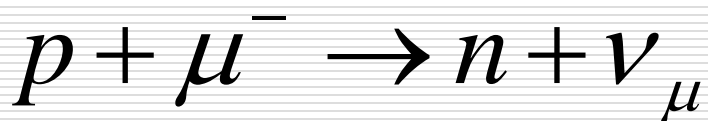
Universit e Catholique de Louvain

<http://muon.npl.washington.edu/exp/MuSun>



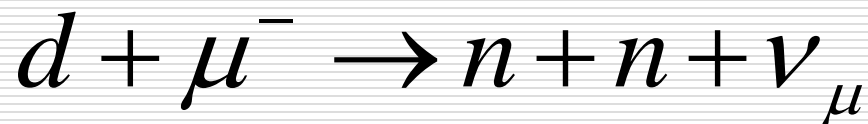
Прецизионное измерение скорости захвата мюона ядром гелия-3 (λ_t) с точностью 0.3% на порядок лучше мирового значения, позволило надежно определить значение псевдоскалярного форм-фактора слабого заряженного тока F_P для изотопического дублета ${}^3\text{He}$ – ${}^3\text{H}$: $F_P = 20.8 \pm 2.8$.

P. Ackerbauer et al., Phys. Lett. B 417, 224 (1998).

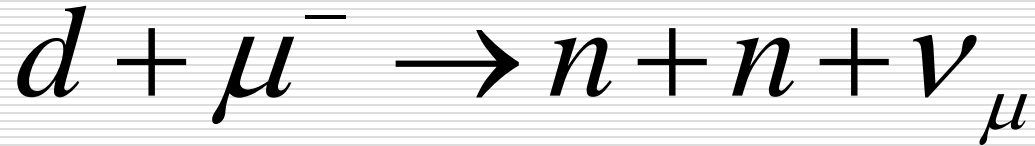


Эксперимент MuCAP. Впервые получено значение константы g_p , которое оказалось в точном соответствии с величиной, теоретически предсказанной из киральной теории возмущений тяжелых барионов (НВChPT). Этот результат позволил дополнить картину электрослабых ядерных взаимодействий.

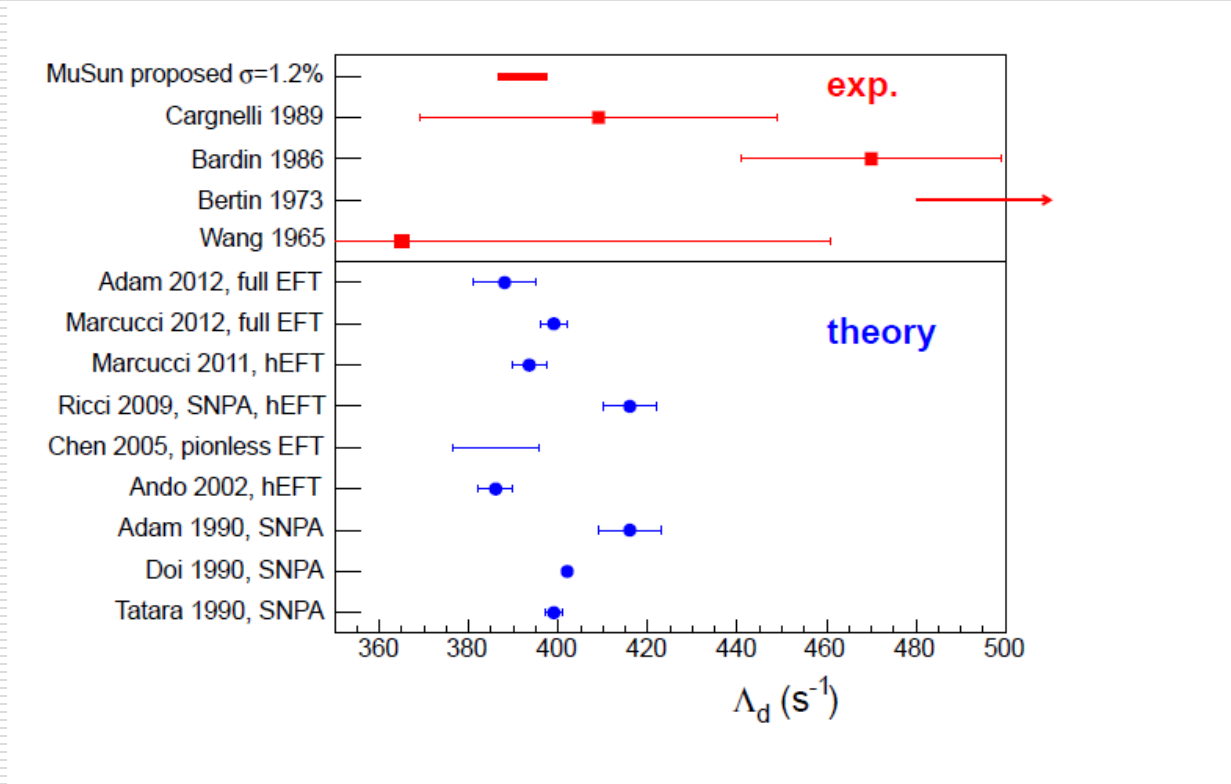
V.A.Andreev et al. MuCap collaboration, Phys.Rev.Lett.110,022504 (2013).



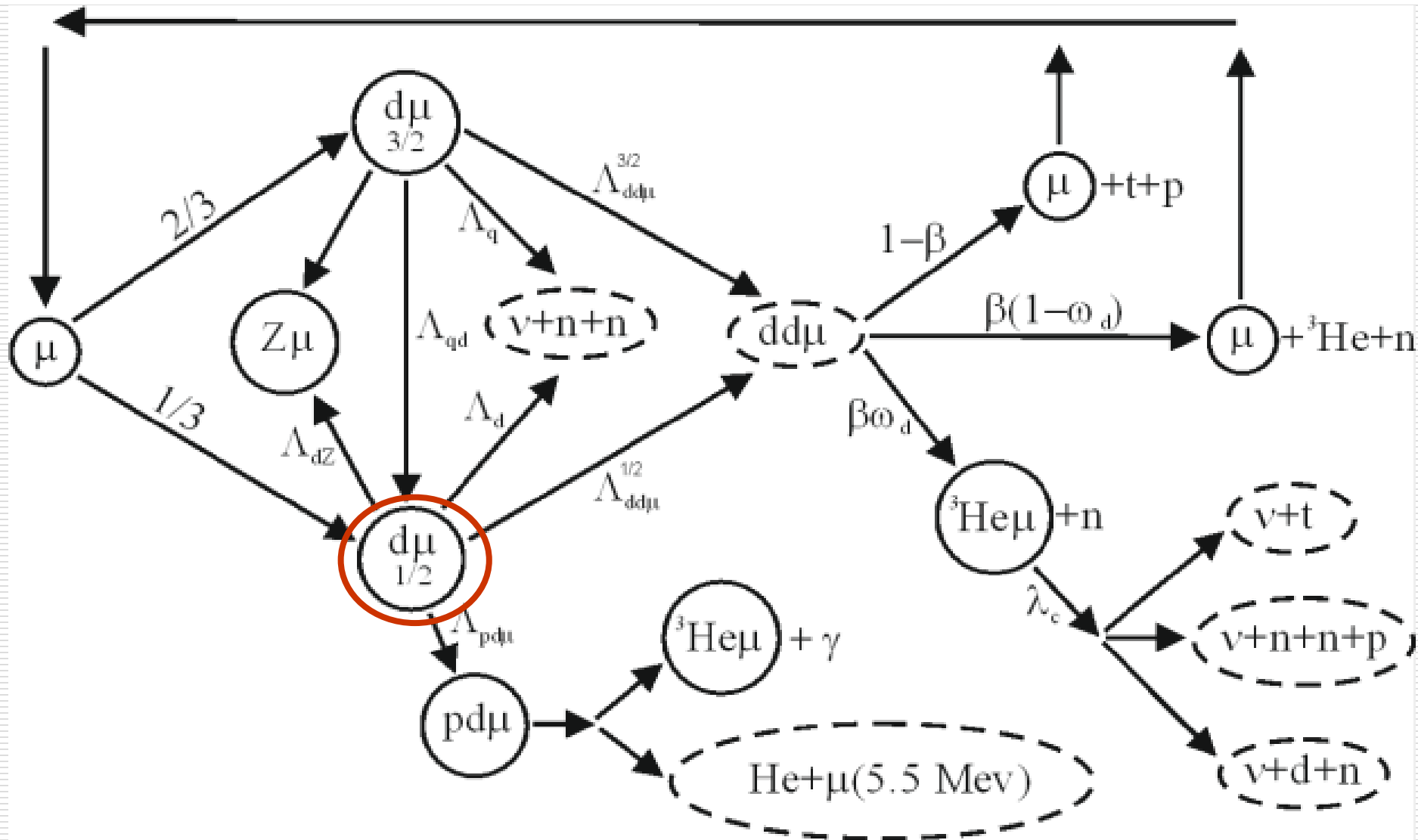
Работы по эксперименту MuSun были начаты в 2008 году и в настоящий момент находятся в стадии набора физических данных.

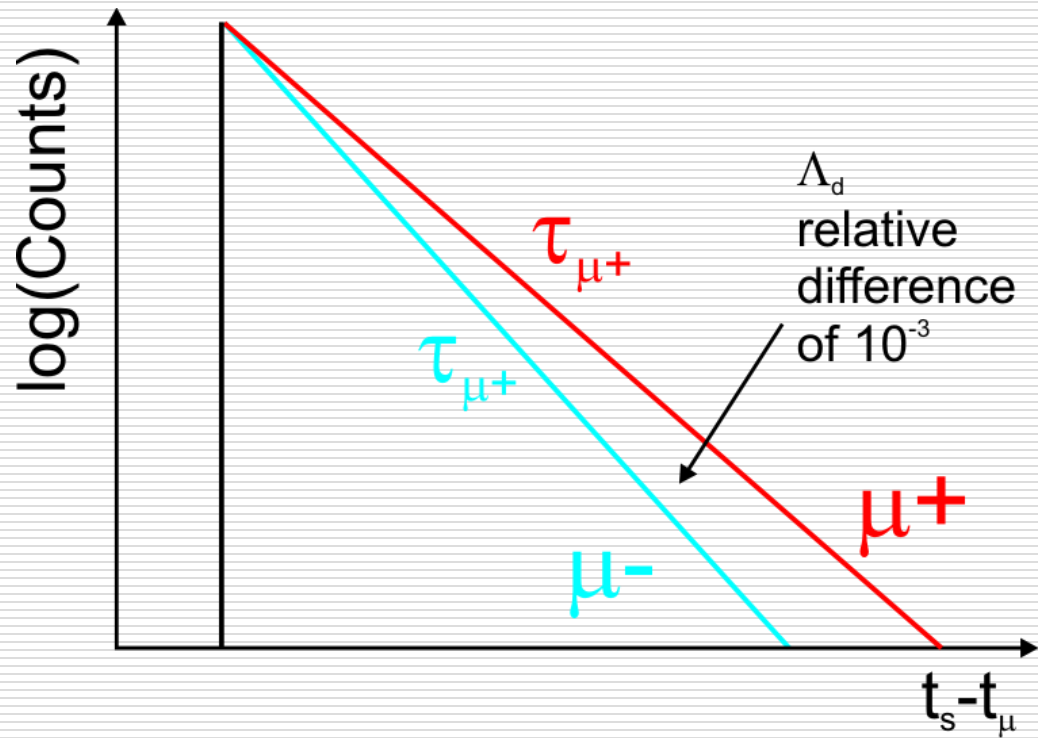


Измерение скорости захвата Λ_d в $nd(\uparrow\downarrow)$ атоме с точностью $< 1.5\%$



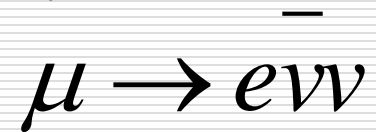
EFT - Effective Field Theory
SNPA - potential model calculation





Для измерения времени жизни необходимо 10^{10} событий

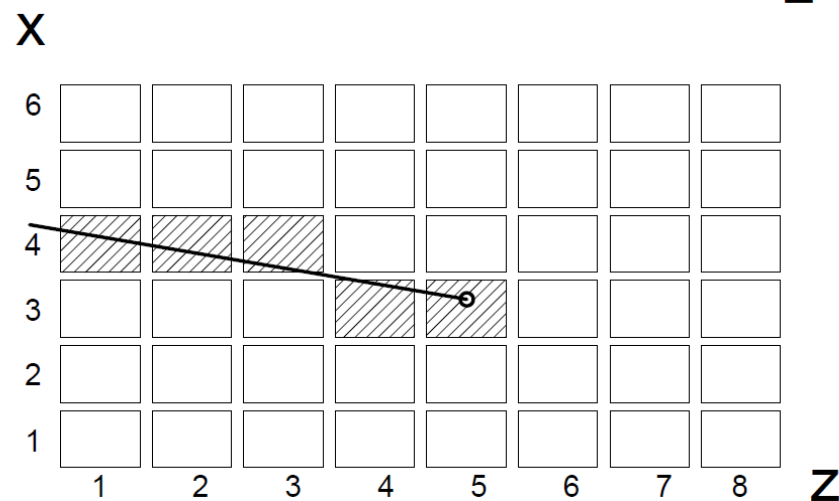
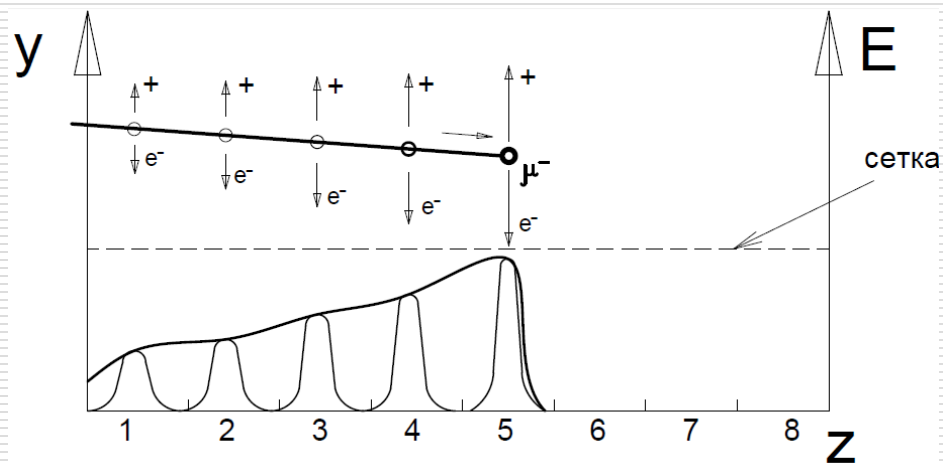
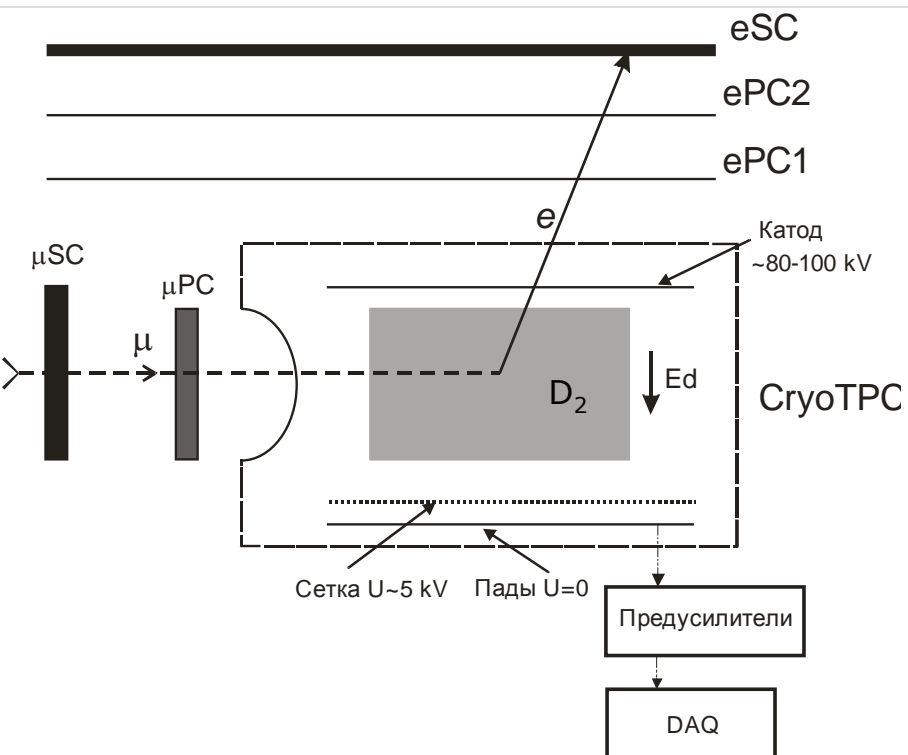
для μ^- и μ^+



$$\Lambda_d = \frac{1}{\tau_{\mu^-}} - \frac{1}{\tau_{\mu^+}}$$

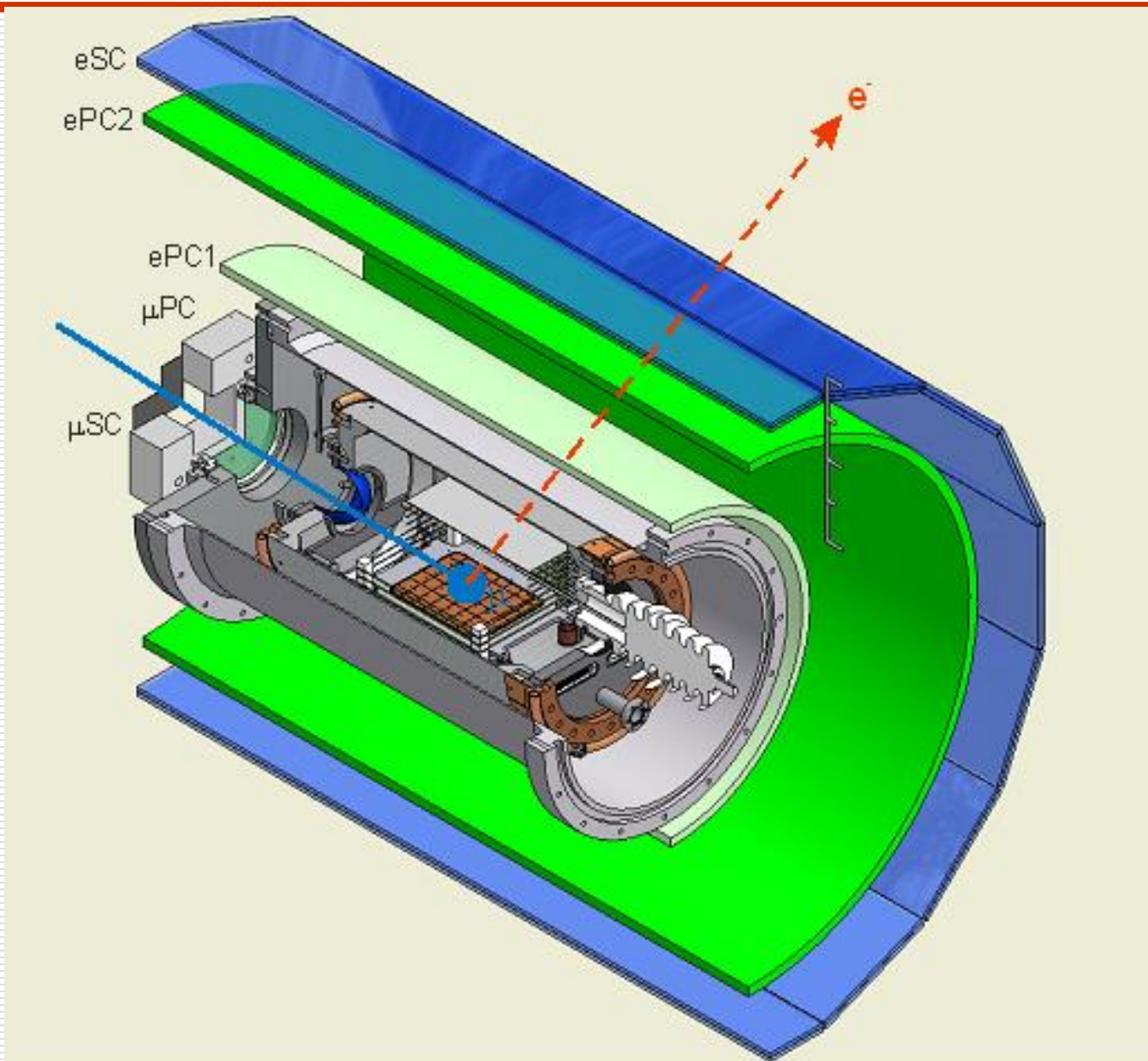


Принцип работы время-проекционной камеры



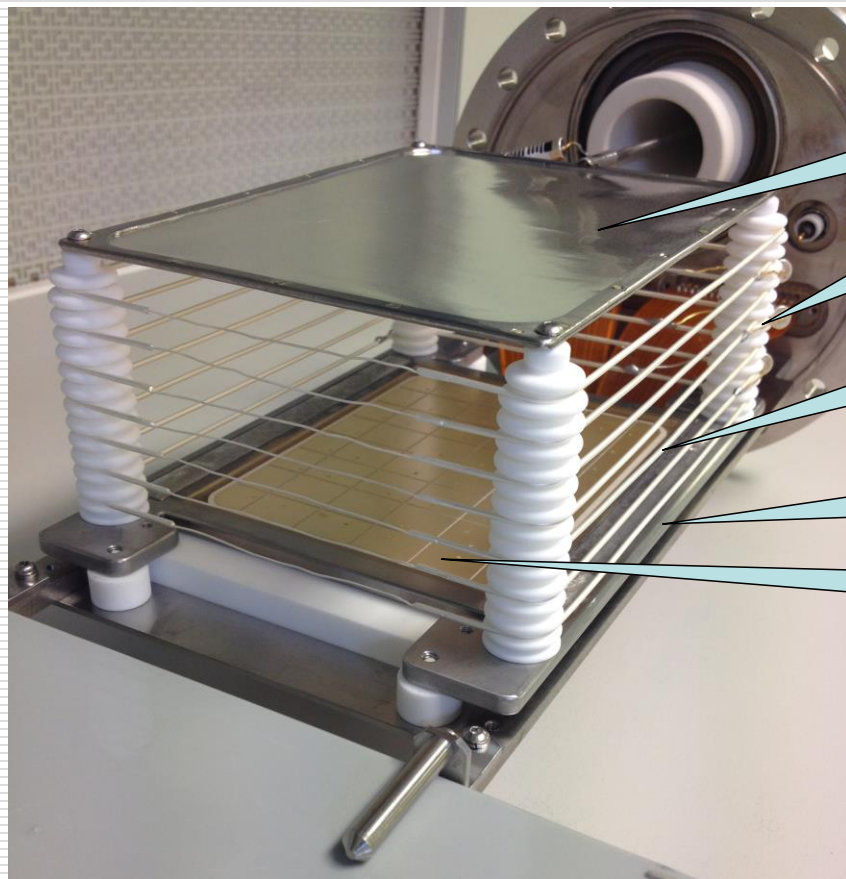


С cryo_TPC как активная мишень





Time Projection Chamber (TPC)



Катод

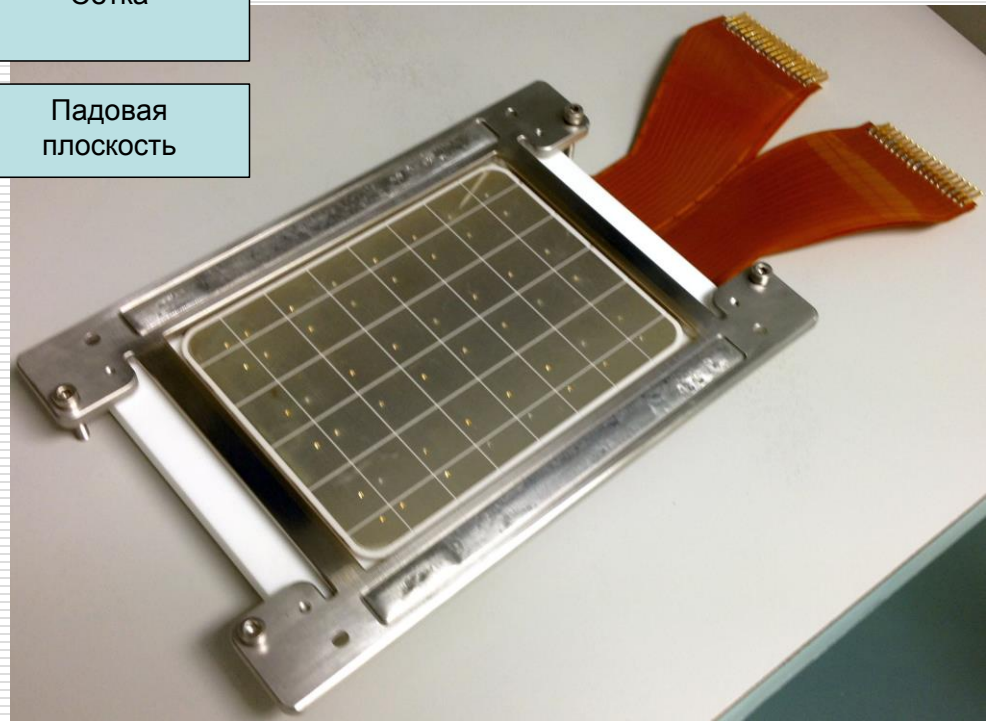
Стойка

Выравнивающая
проволока

Сетка

Падовая
плоскость

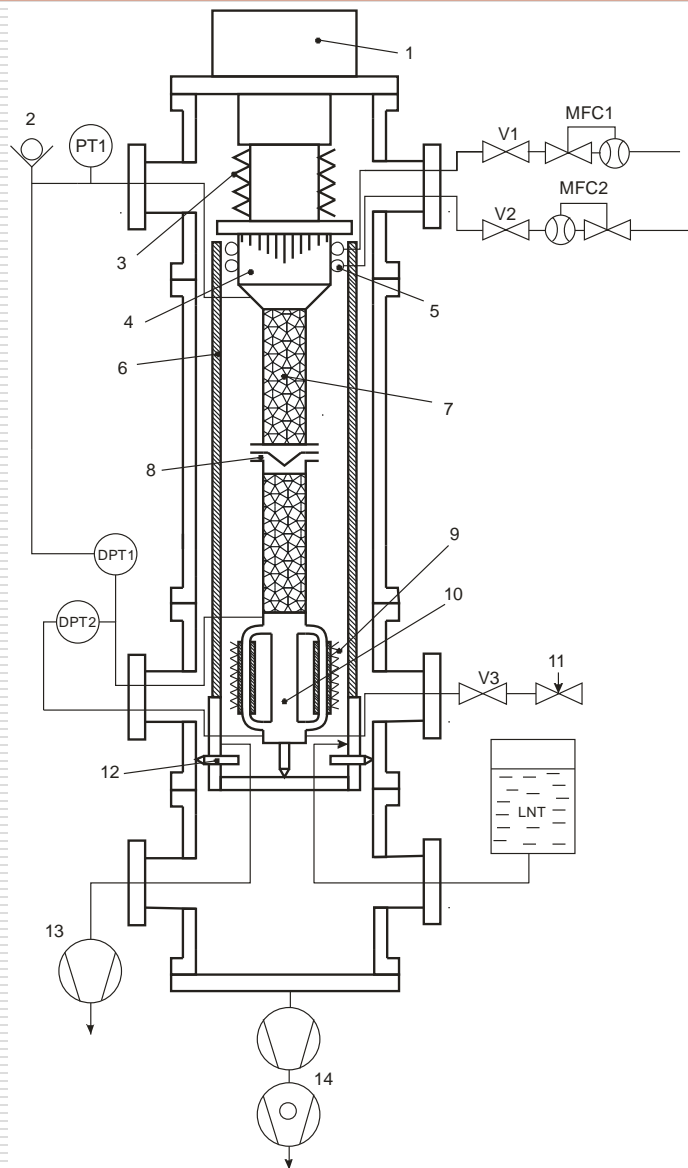
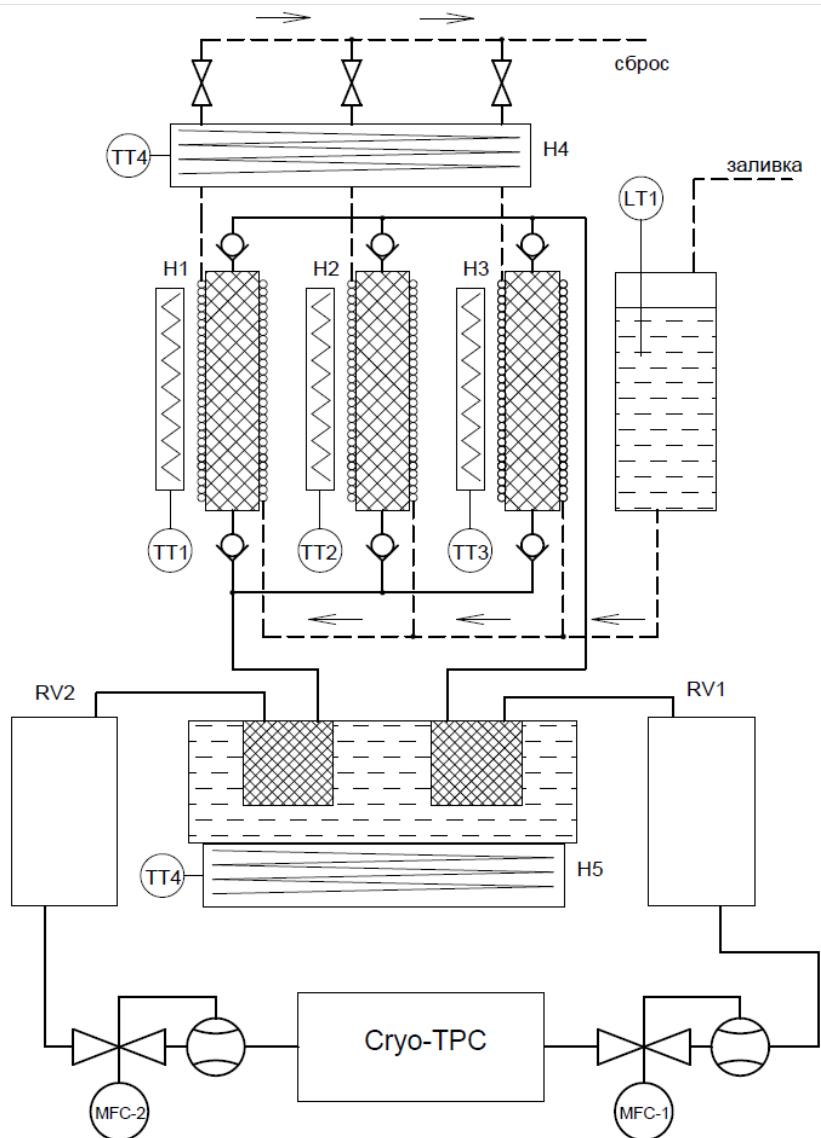
Диапазон рабочих температур
 $T = 25\text{K} - 350\text{K}$





Изотопная и химическая очистка дейтерия в системе

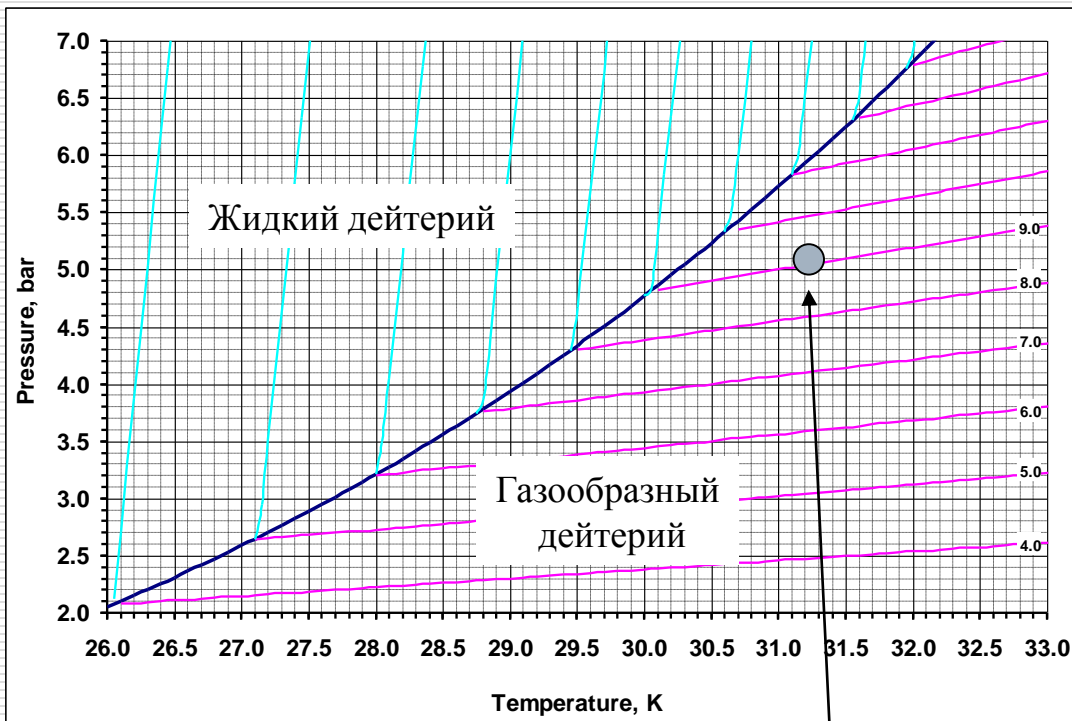
Начало работы CHUPS в PSI - 2004 год



Начало работы в PSI - 2006 год



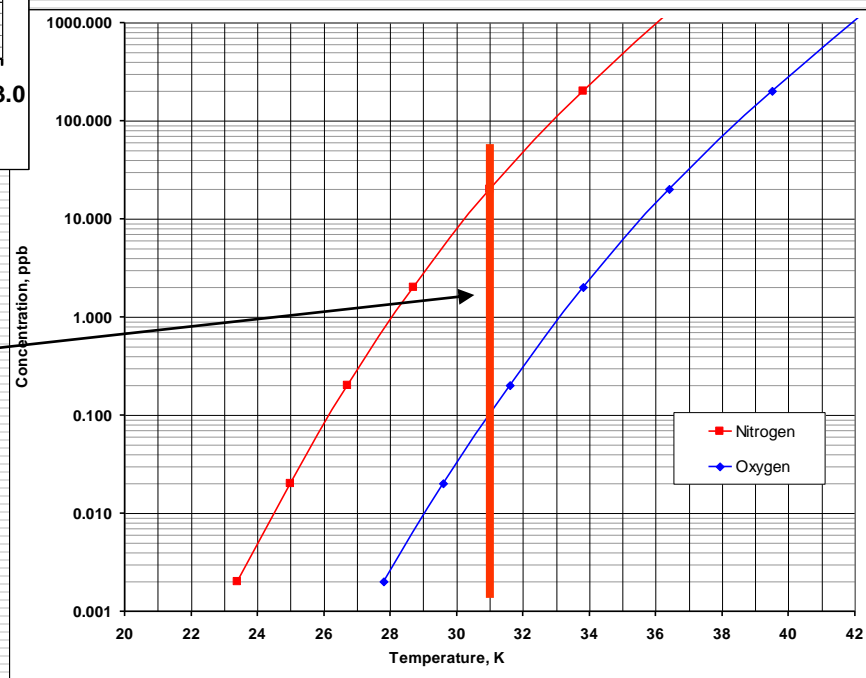
Концентрация примесей и термодинамика



P-T диаграмма дейтерия (NIST)

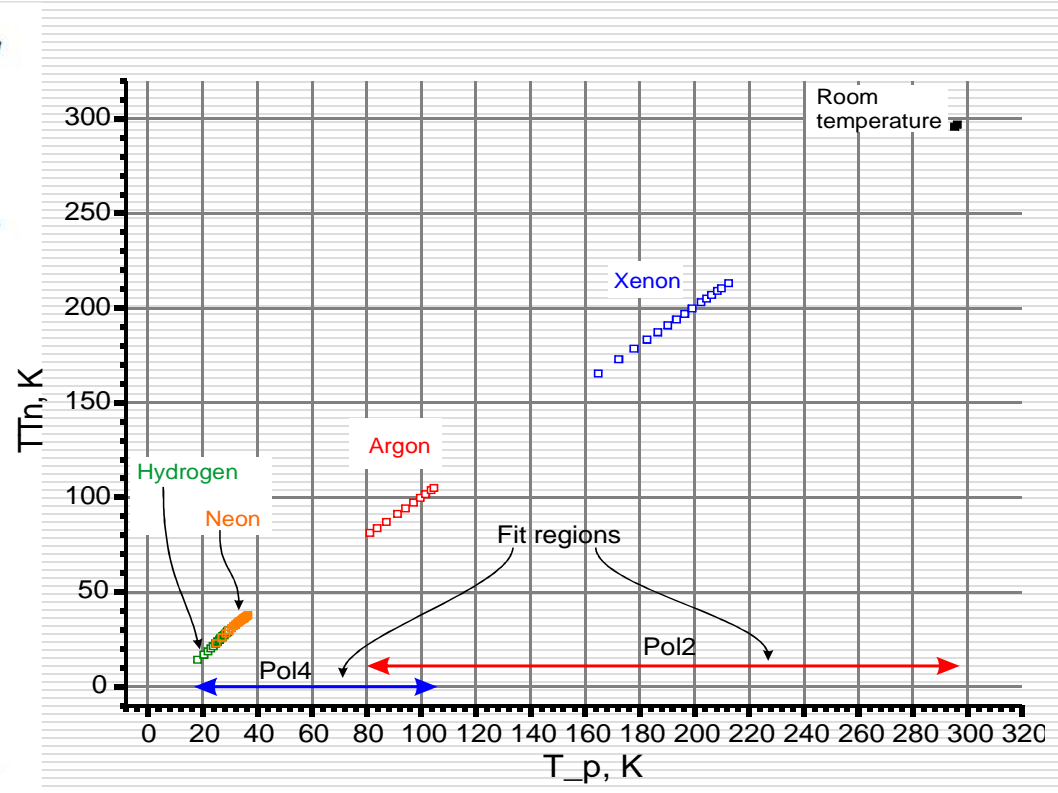
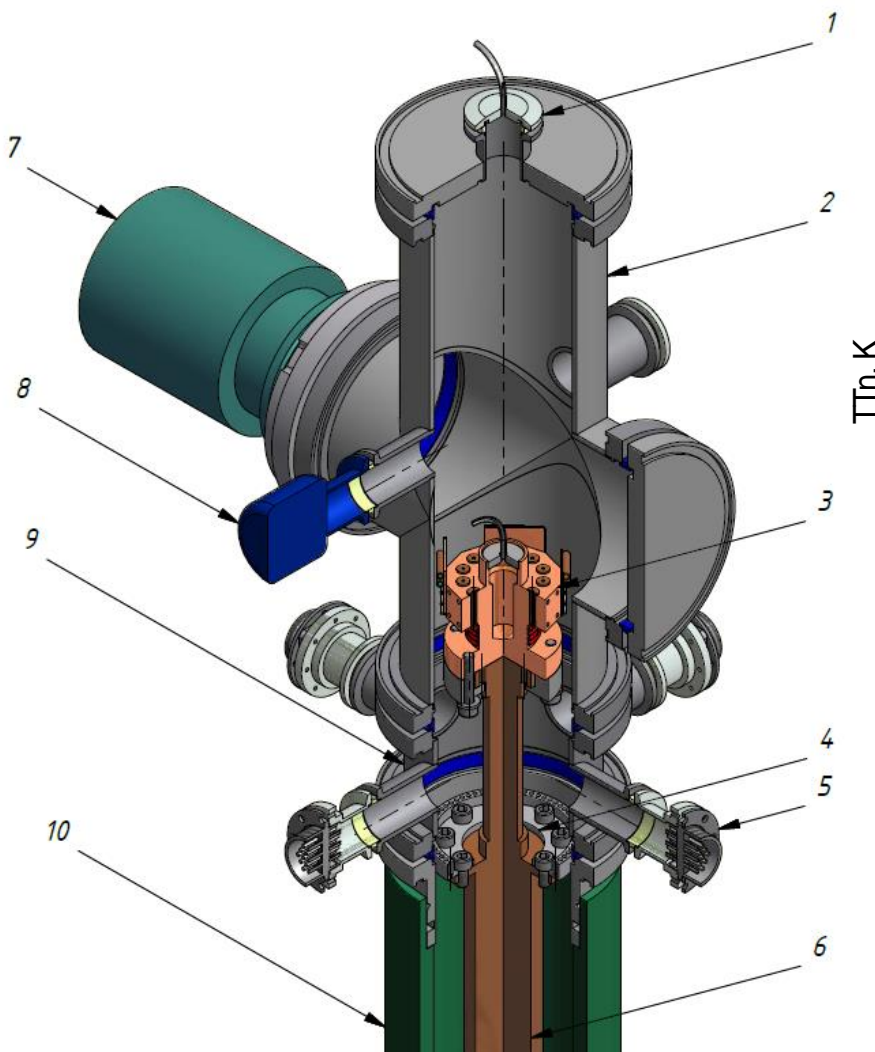
Рабочая точка

Концентрация насыщенных паров азота и кислорода в дейтерии (5.1 bar) (NIST)

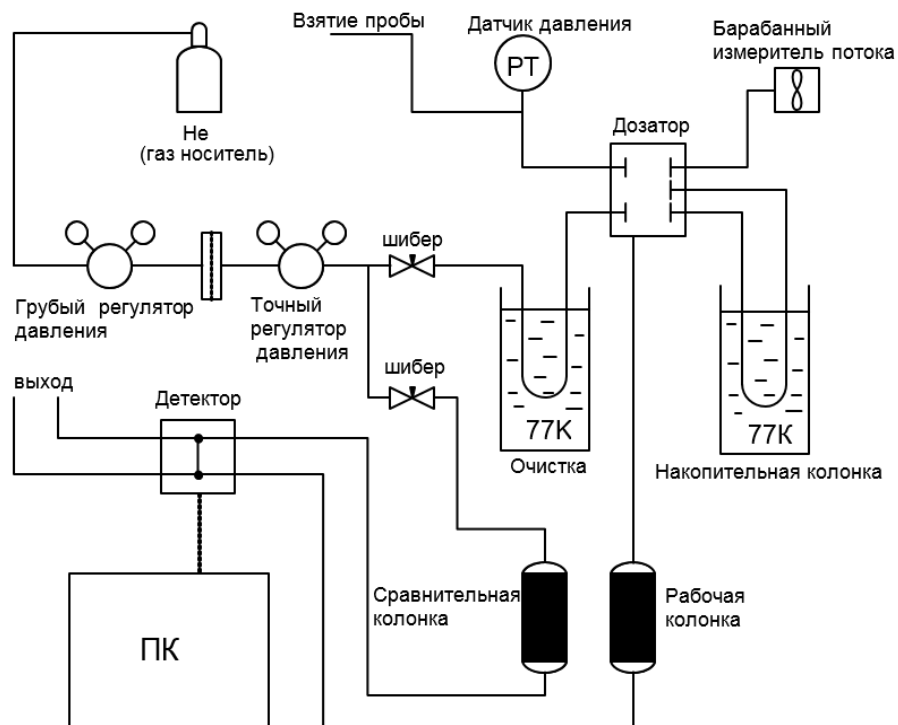




Калибровка датчиков температуры



Точность калибровки и «совмещение» датчиков температуры (PT100) $\pm 0.05\text{K}$

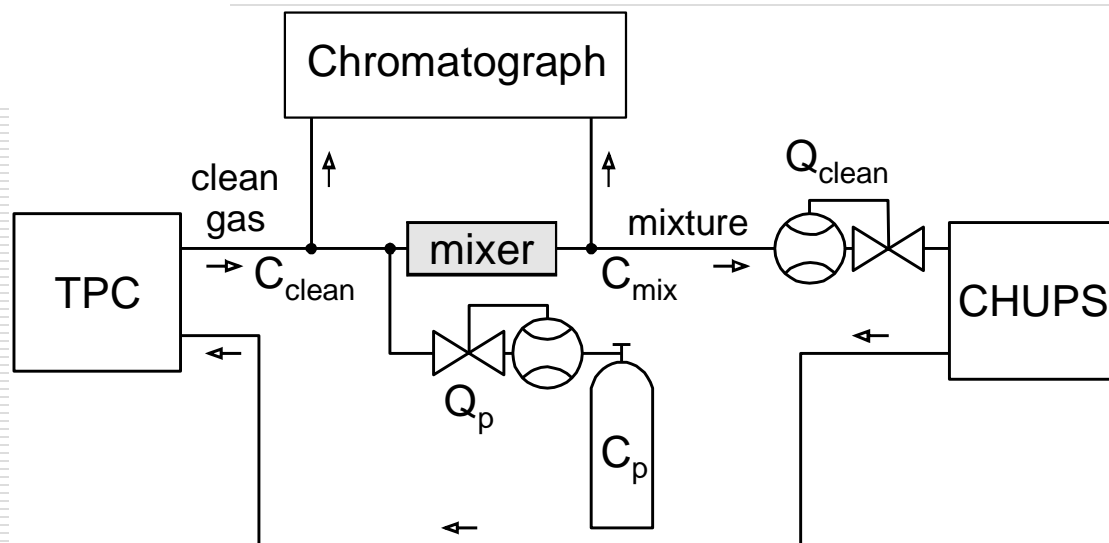


Метод накопления примесей перед хроматографическим анализом

Устойчивый предел чувствительности хроматографического метода при 10¹ пробе

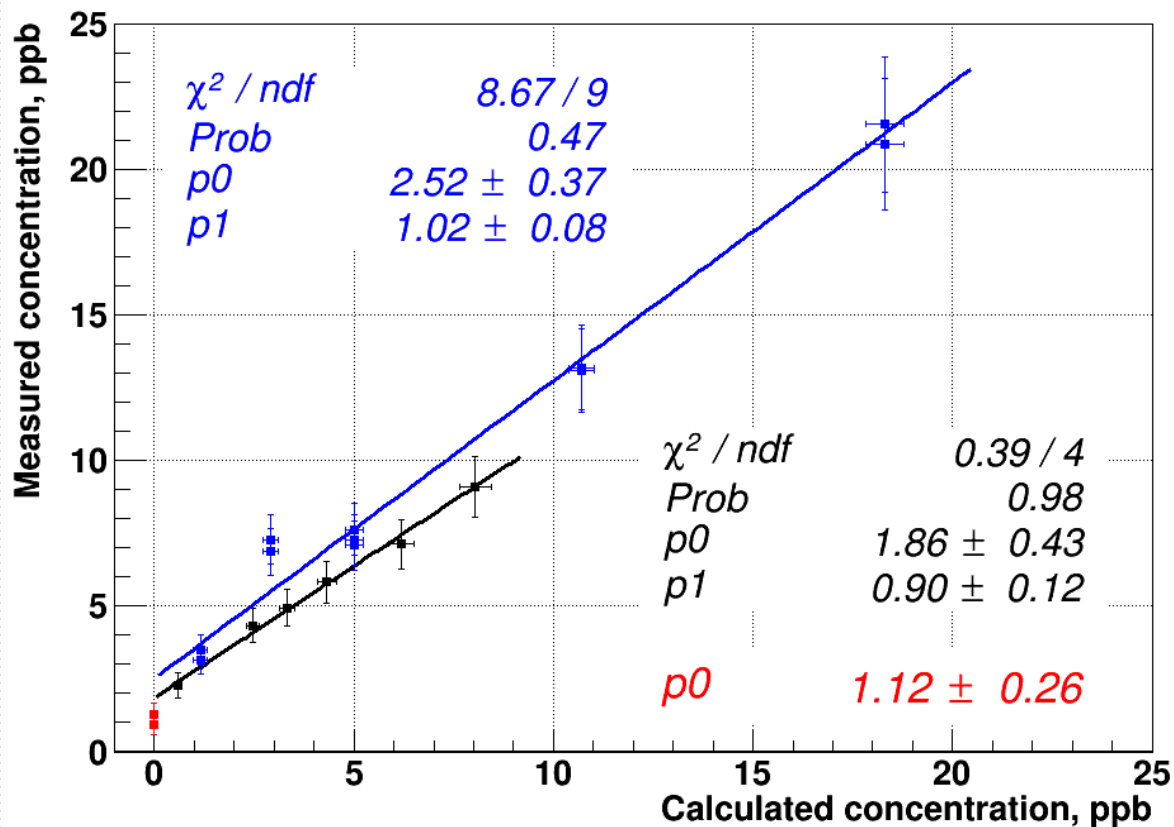
< 1 ppb

Методика калибровки хроматографического метода





Создание смеси газа с ИЗВЕСТНОЙ концентрацией азота



Синяя линия: 20 ± 1 ppm азота в «грязном» газе

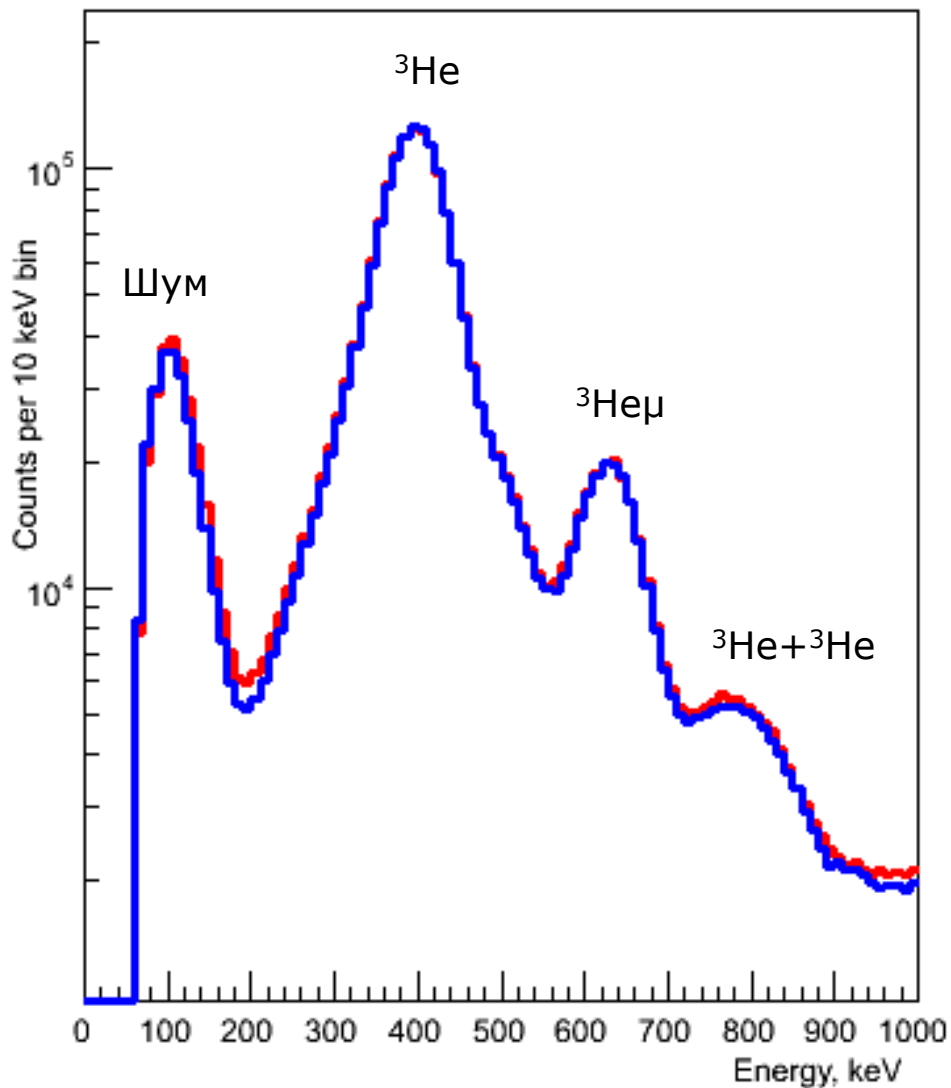
Черная линия: 10 ± 1 ppm азота в «грязном» газе

Красные точки: нет потока «грязного» газа



Измерение концентрации ВСЕХ примесей по вторым сигналам в TPC

second pulse energies (2-8mks), with e(blue), no e(red)

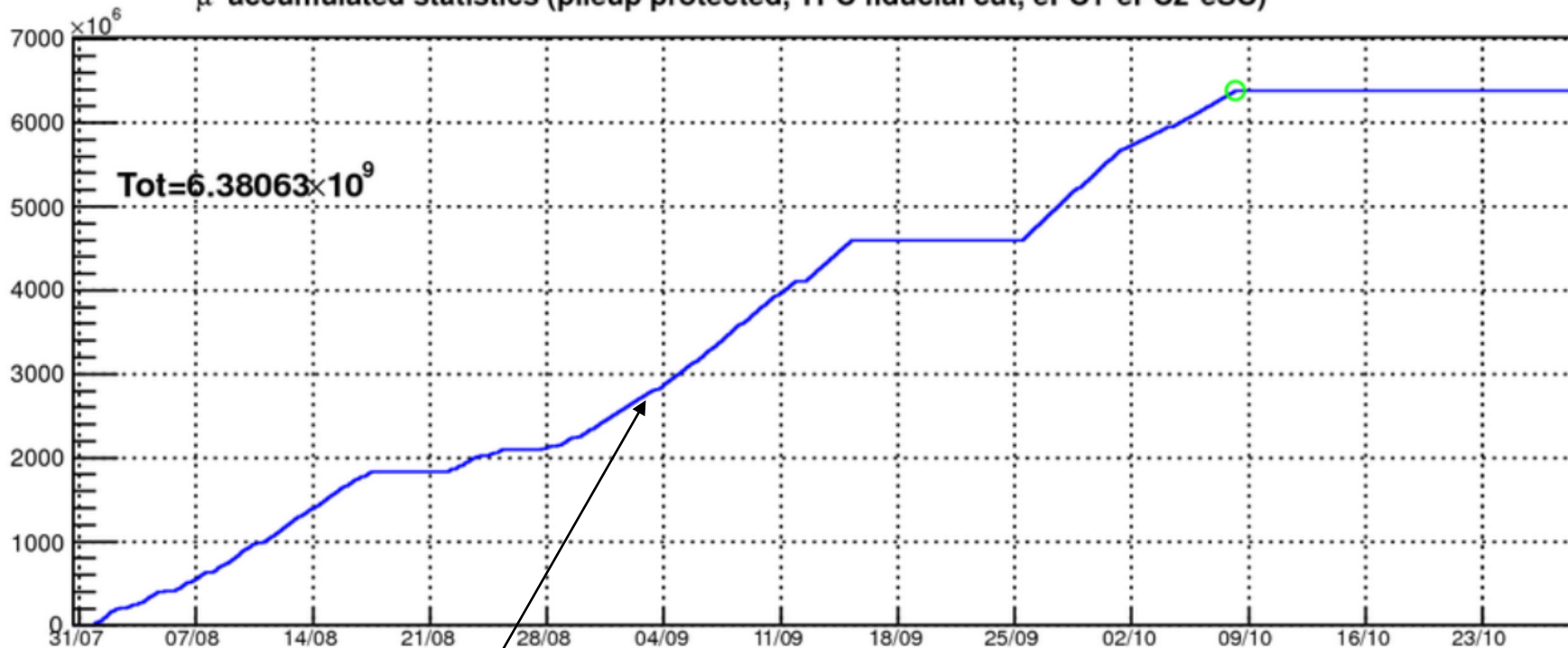


При обработке 10^9 событий
была получена концентрации
 $C_N < 1$ ppb,
что совпадает с результатом
хроматографии.



Динамика набора данных во время сеанса 2014 года

μ^+ accumulated statistics (pileup protected, TPC fiducial cut, ePC1*ePC2*eSC)



Установка нового коллиматор

- Получен симметричный профиль пучка, что привело к увеличению интенсивности.
- Уменьшена примесь фоновых электронов, которые давали постоянный ложный вклад в общее число событий распада.
- В 3 - 4 раза увеличению коэффициента подавления событий с двойными мюонами.





- **2015** – набор статистики до 10^{10} остановок мюонов
- **2016** – систематические исследования на пучке (?) и обработка данных
- **2016(2017)** – публикация окончательного результата

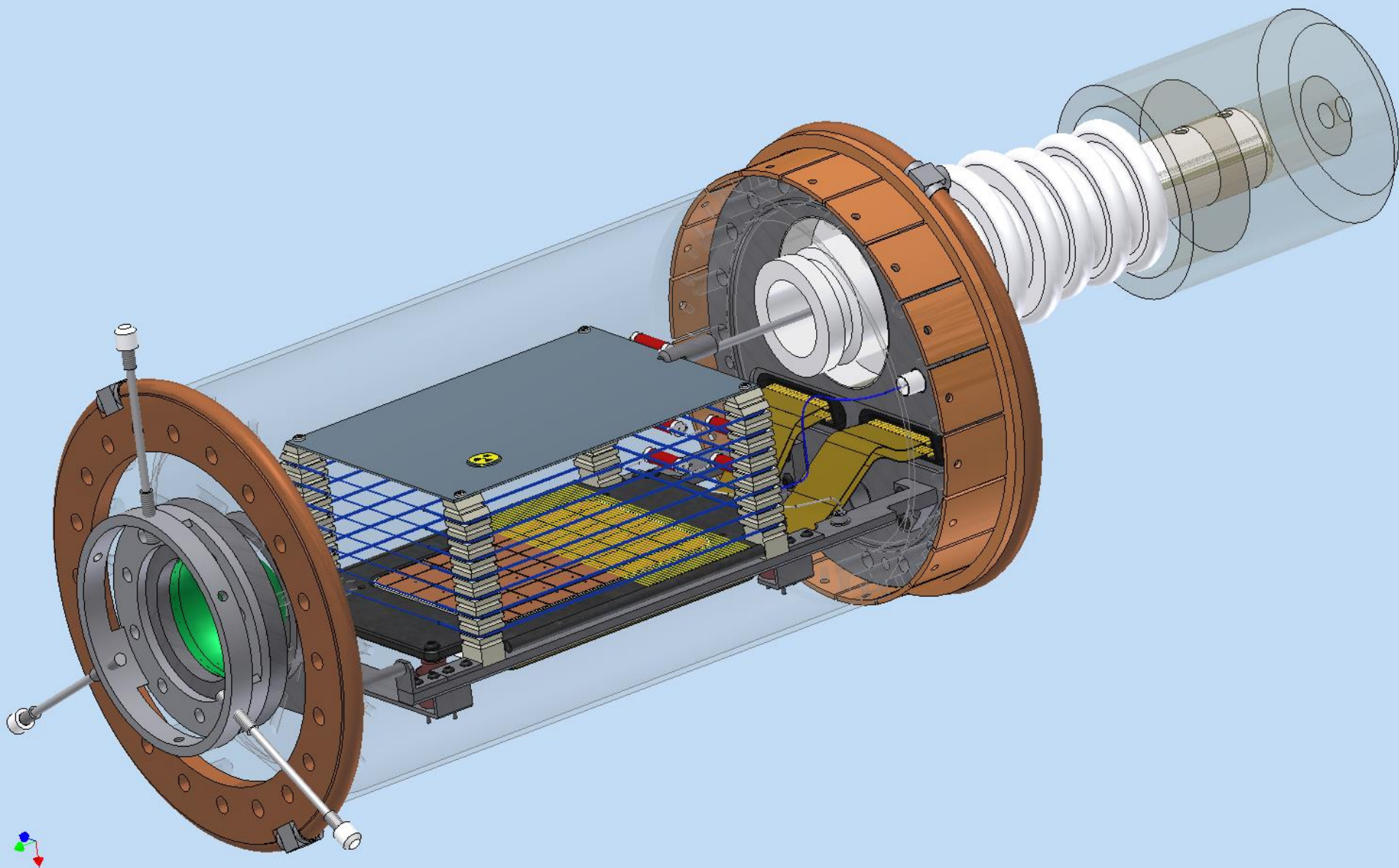
Конференции 2014 года

1. Determination of μ chemistry kinetic parameters for the MuSun Experiment 4th Joint Meeting of the APS Division of Nuclear Physics and the Physical Society of Japan Volume 59, Number 10 (2014).
2. Криогенная время-проекционная камера для исследования мюонного захвата на дейтроне в эксперименте MuSun 64 международная конференция «ЯДРО-2014», 1-4 июля 2014, Book of abstracts, p. 218
3. Ядерно-физический метод контроля чистоты газа в эксперименте MUSUN. 64 международная конференция «ЯДРО-2014», 1-4 июля 2014, Book of abstracts, p. 217.

Публикации 2014 года

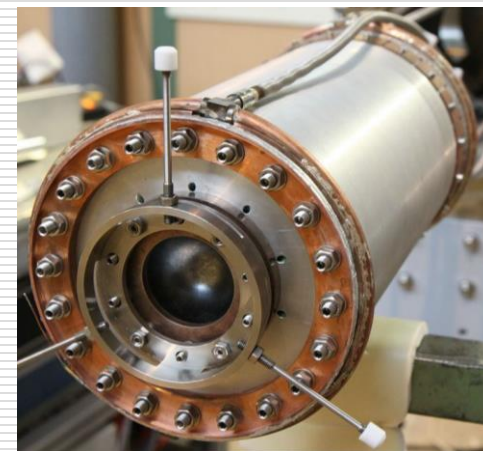
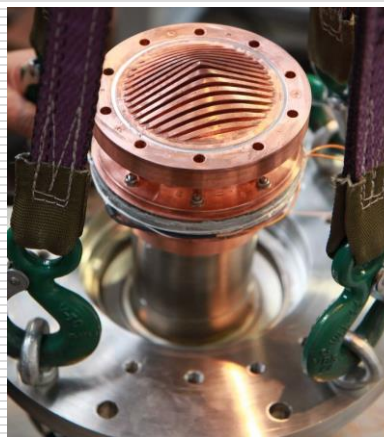
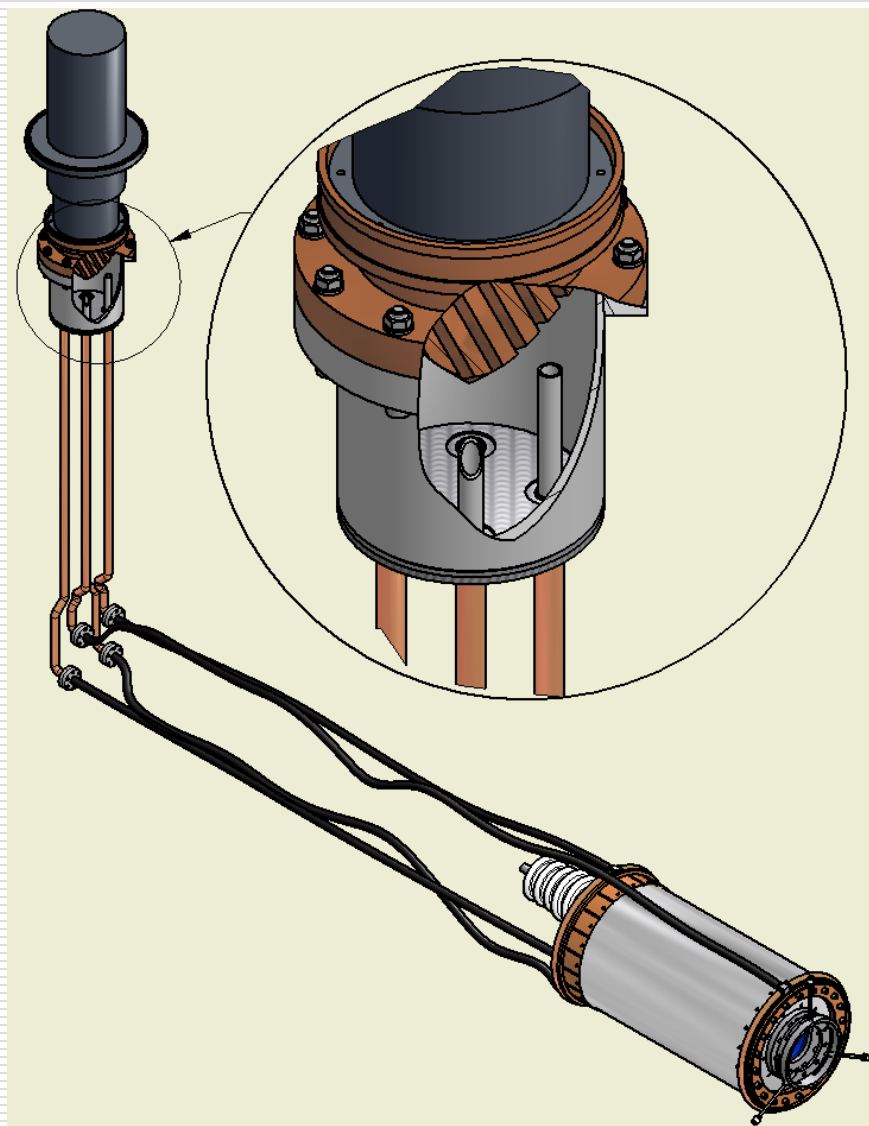
1. A high-pressure hydrogen time projection chamber for the MuCap experiment
Eur. Phys. J. A (2014) 50: 163
2. Design and operation of a cryogenic charge-integrating preamplifier for the MuSun experiment
Journal of Instrumentation 9 N7 07029 (2014)



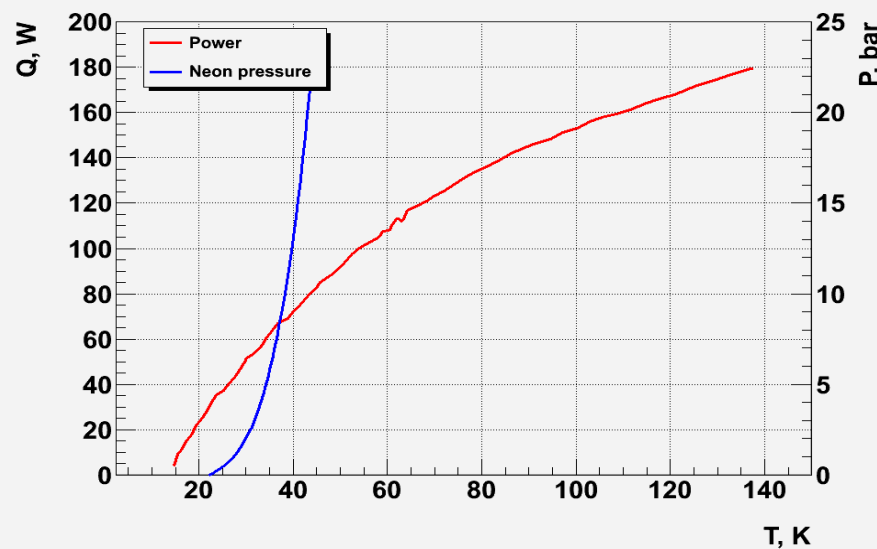


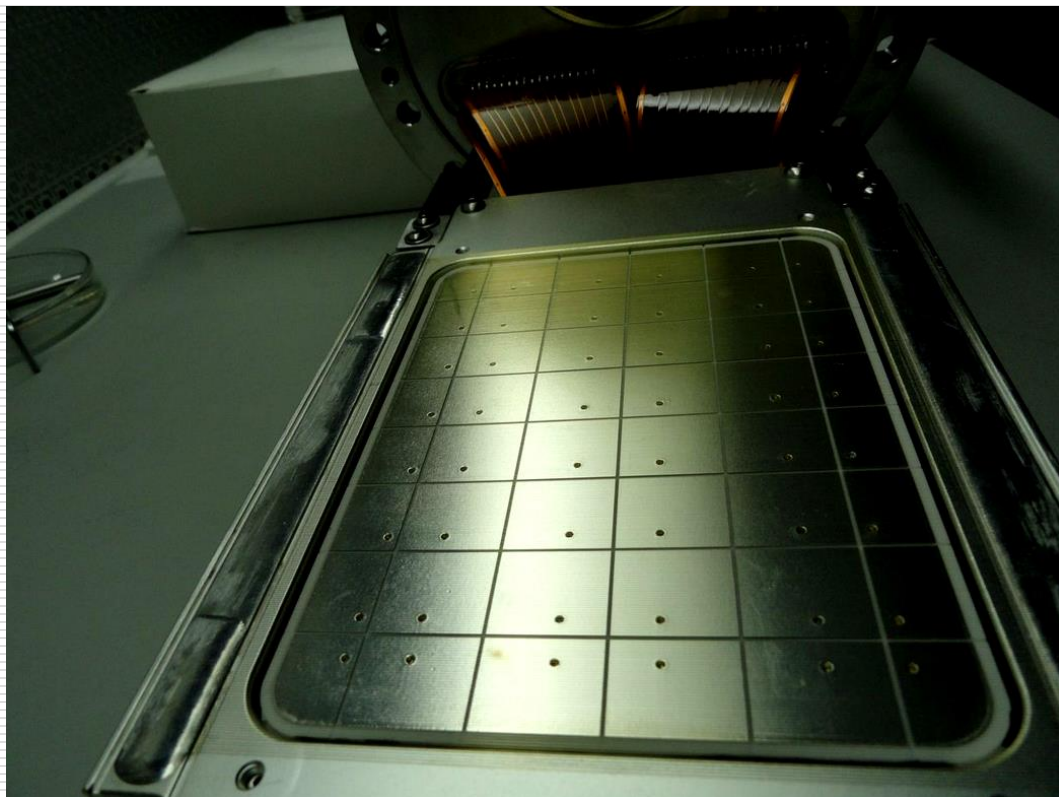


Система охлаждения

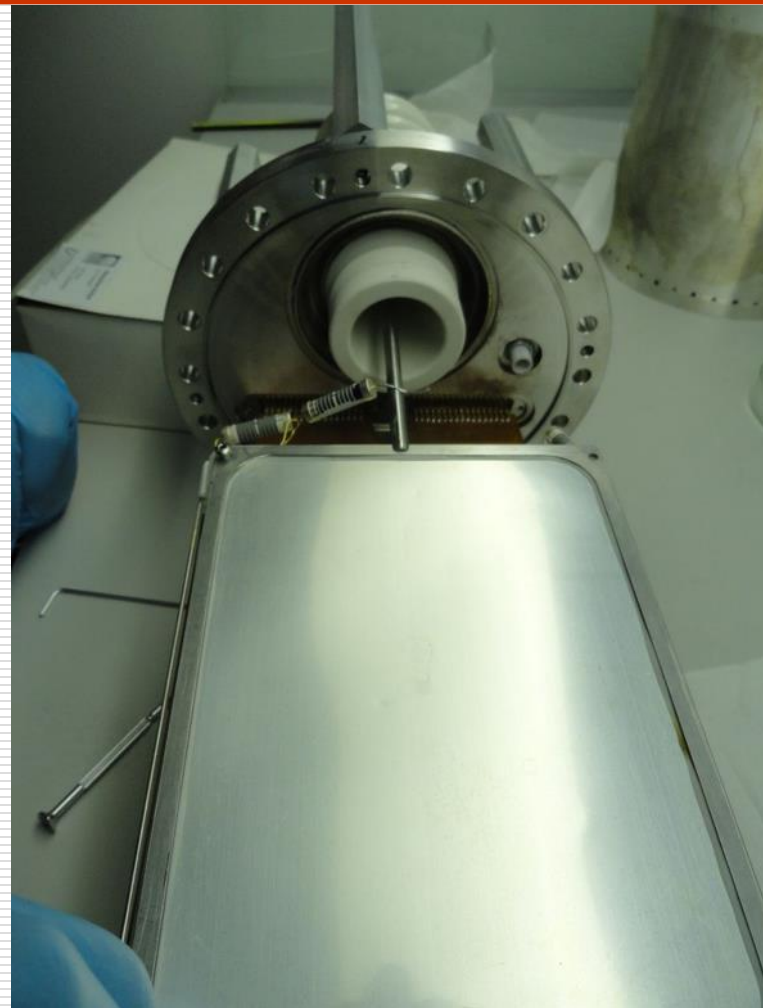


Cold head power and neon pressure





Падовая плоскость с серебряными падами



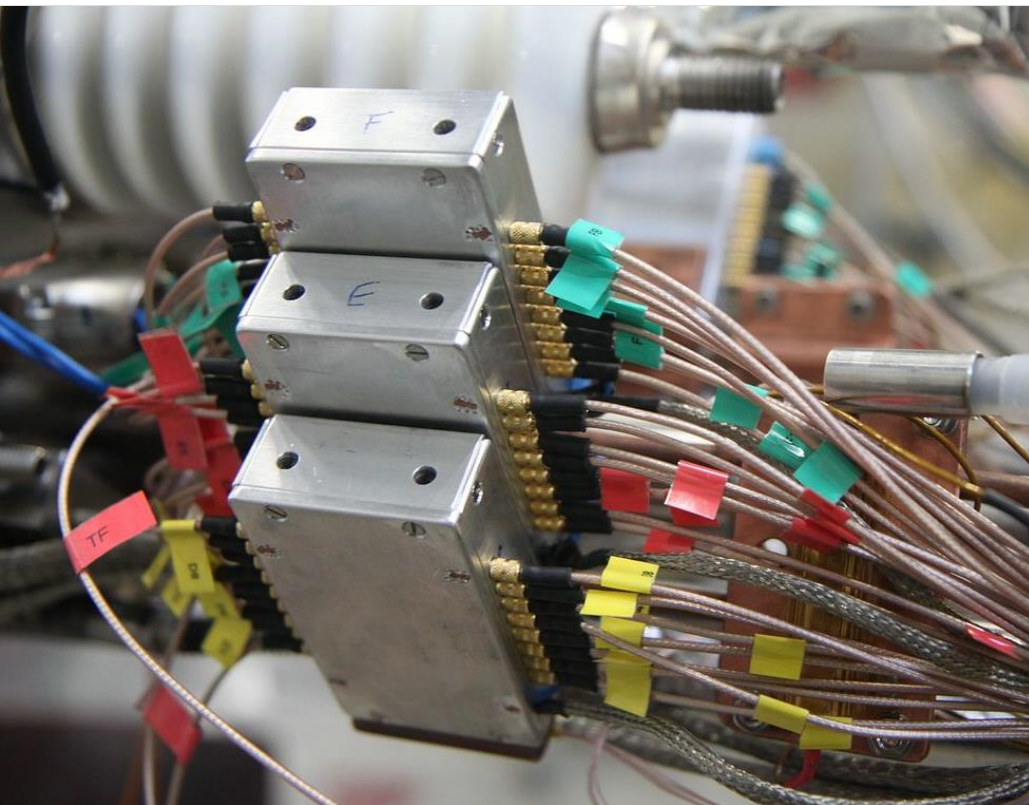
Катодная плоскость из серебряной фольги



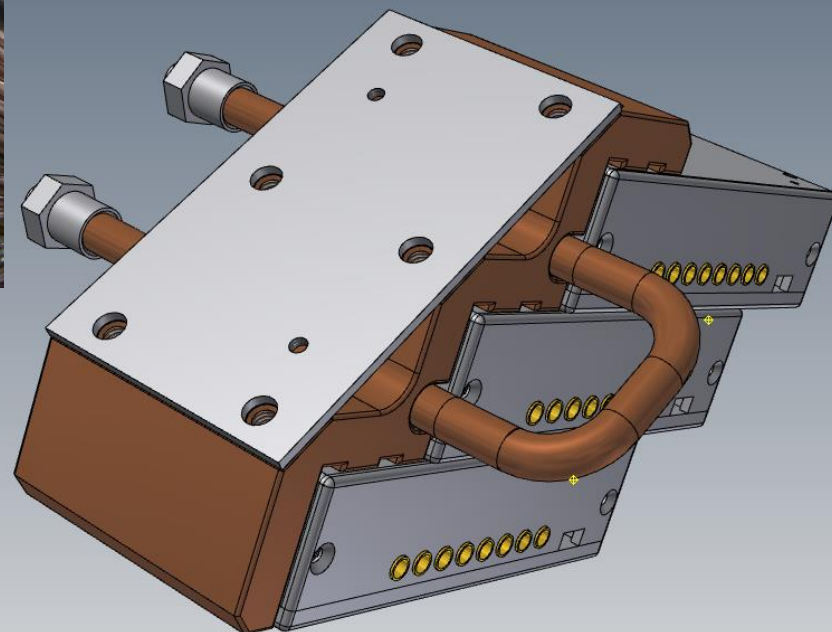
**Линия автоматической подачи азота
в CHUPS и криогенные
предусилители**



**Нолвый блок системы неоновой
тепловой трубы**

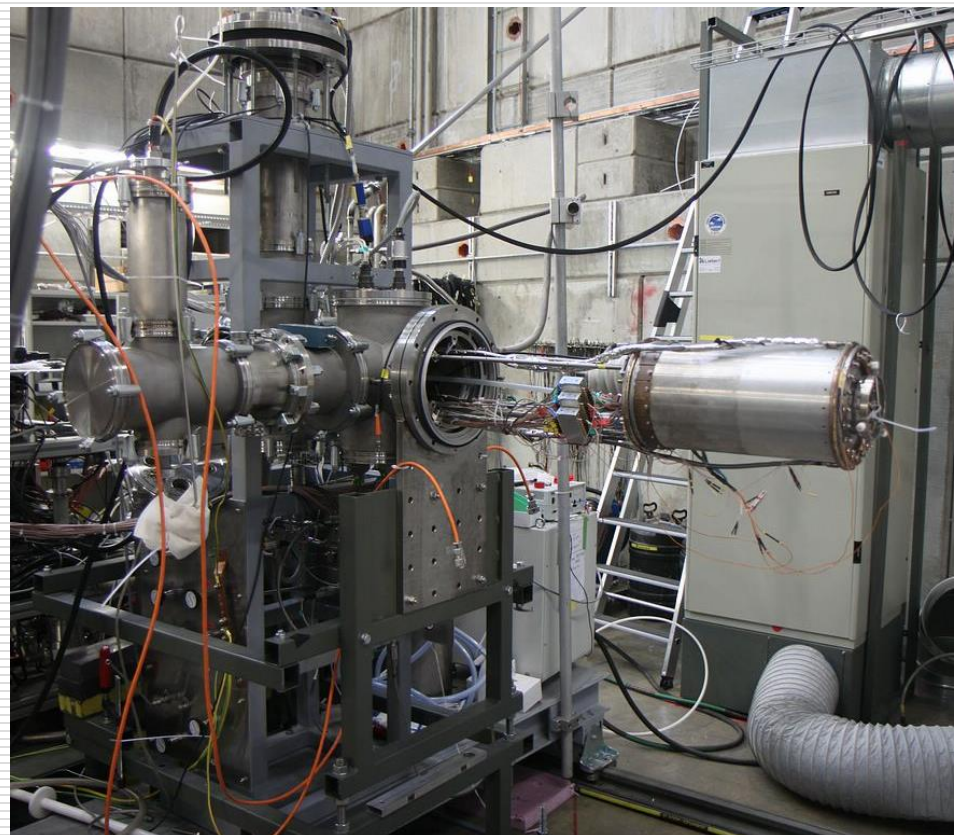
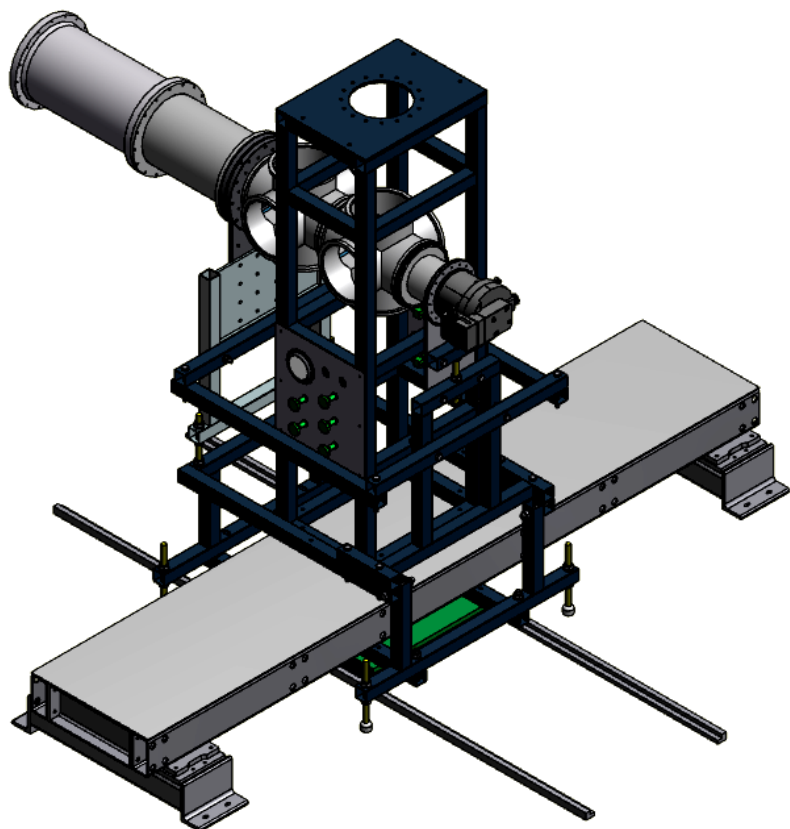


**Энергетическое разрешение 25 kV (против 40 kV
в предыдущем эксперименте)**



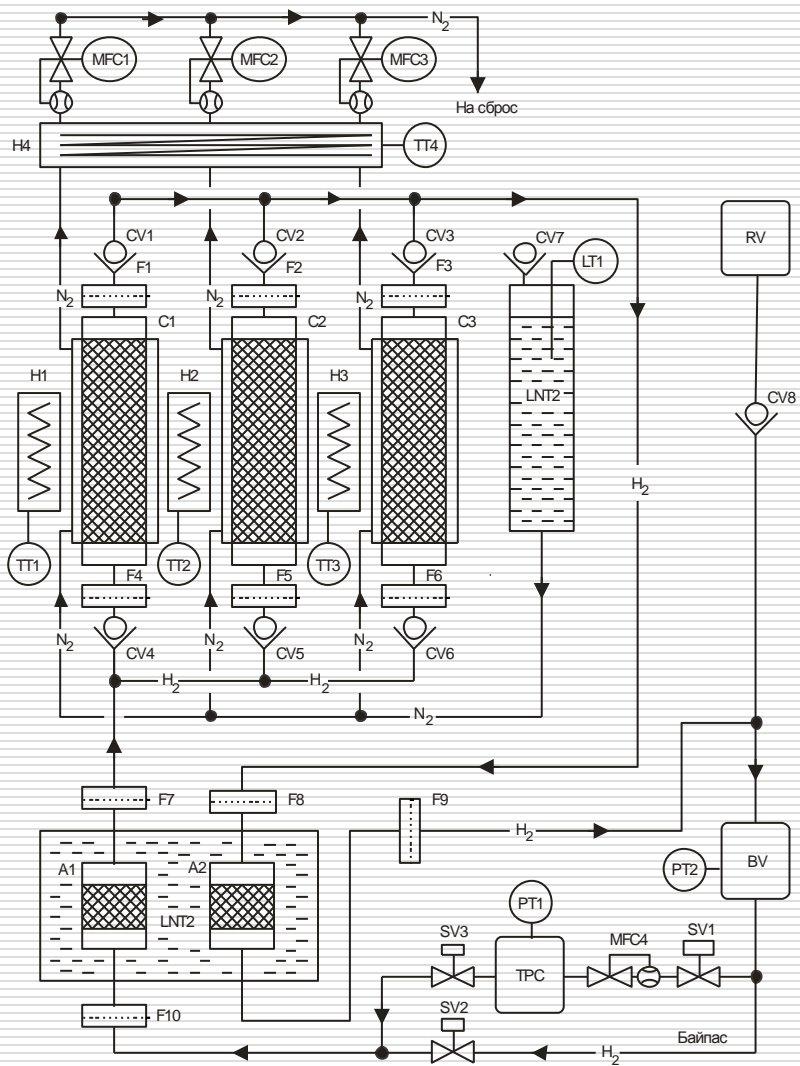


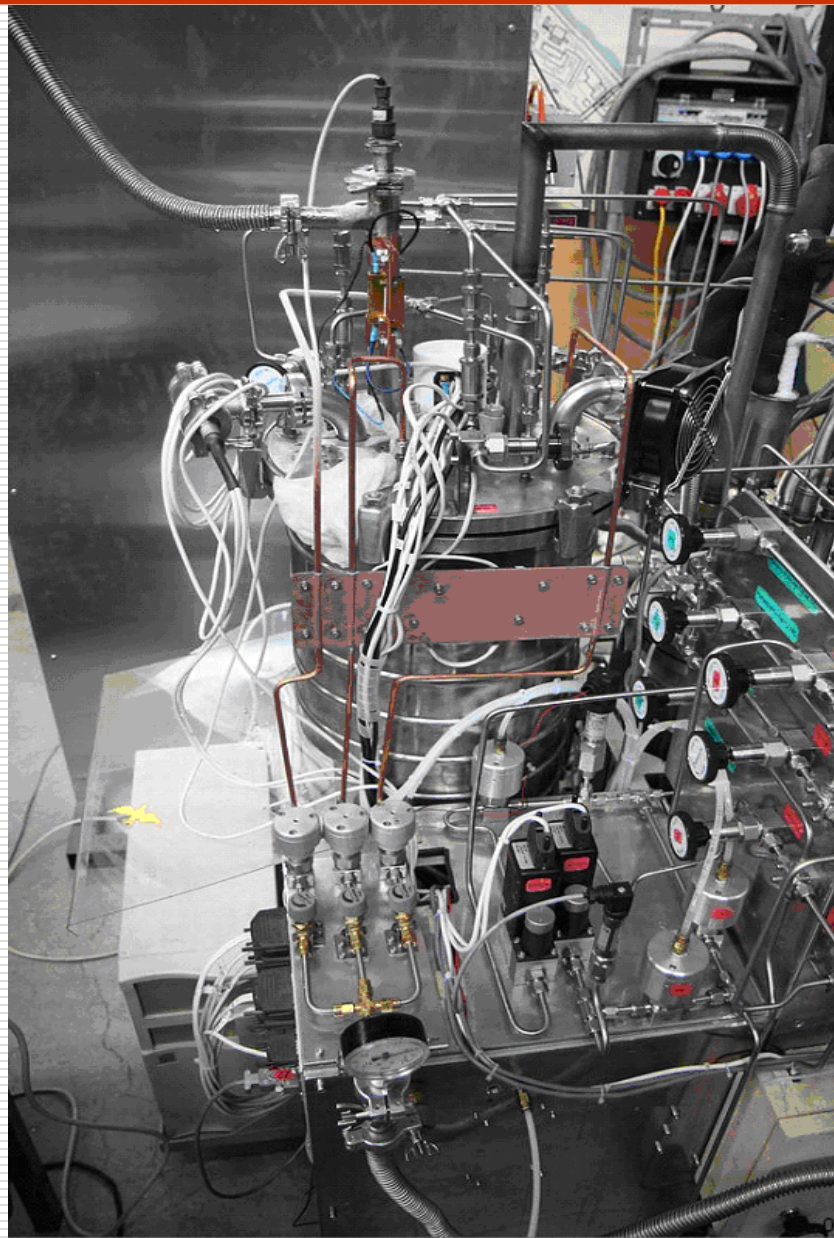
Новая система поддержки камеры





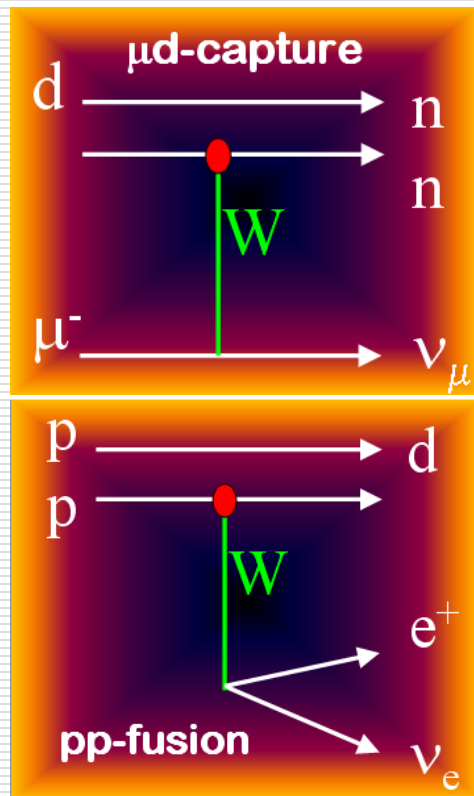
Компрессоры CHUPS







Цель и мотивация эксперимента

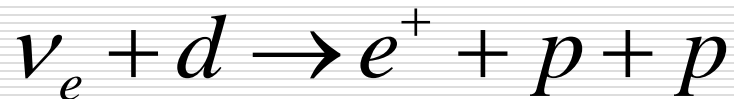
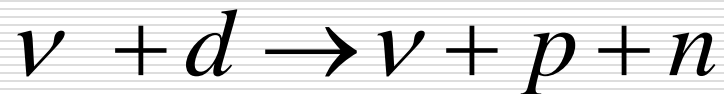


Сопоставив измеренную скорость μ -захвата с вычисленной рамках EFT, можно будет определить параметры теории, что в свою очередь позволит вычислить с высокой точностью сечения фундаментальных астрофизических реакций:



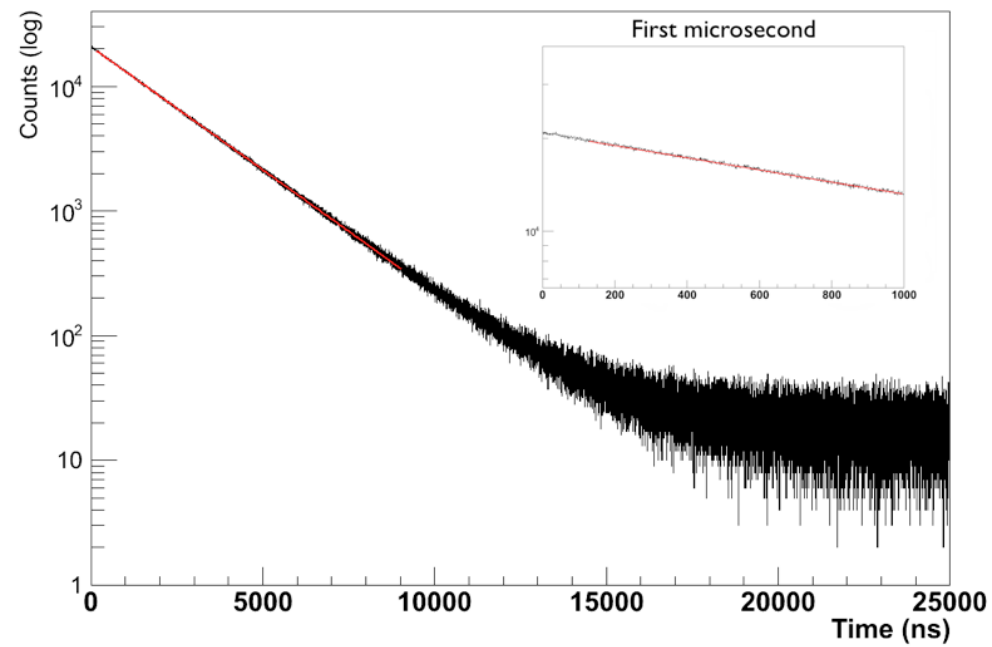
Ядерная реакция синтеза двух протонов идёт на Солнце и является основным источником солнечной энергии и электронных нейтрино.

Реакции используются для регистрации потоков нейтрино в нейтринных экспериментах.

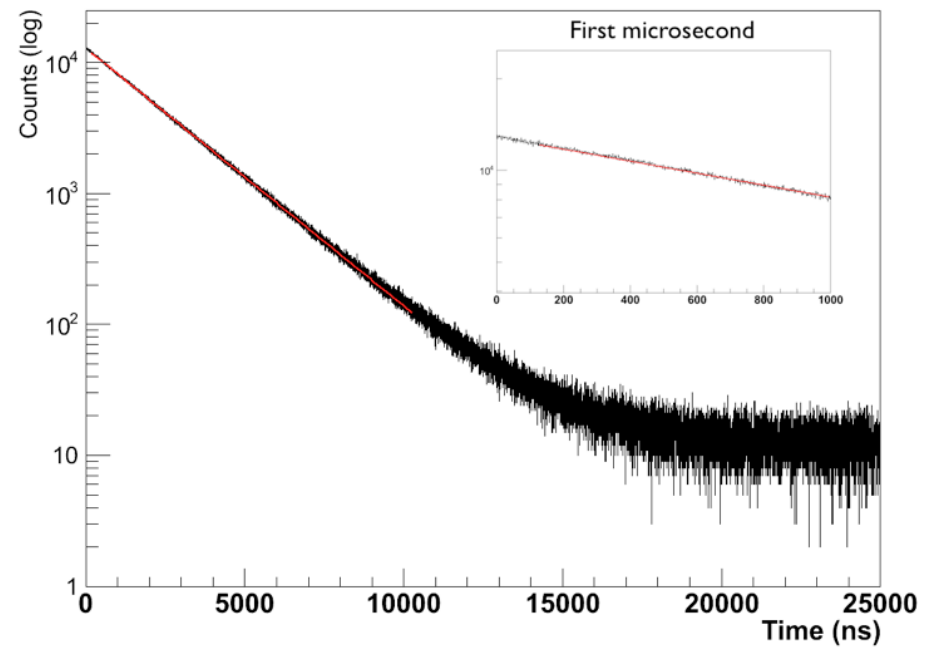


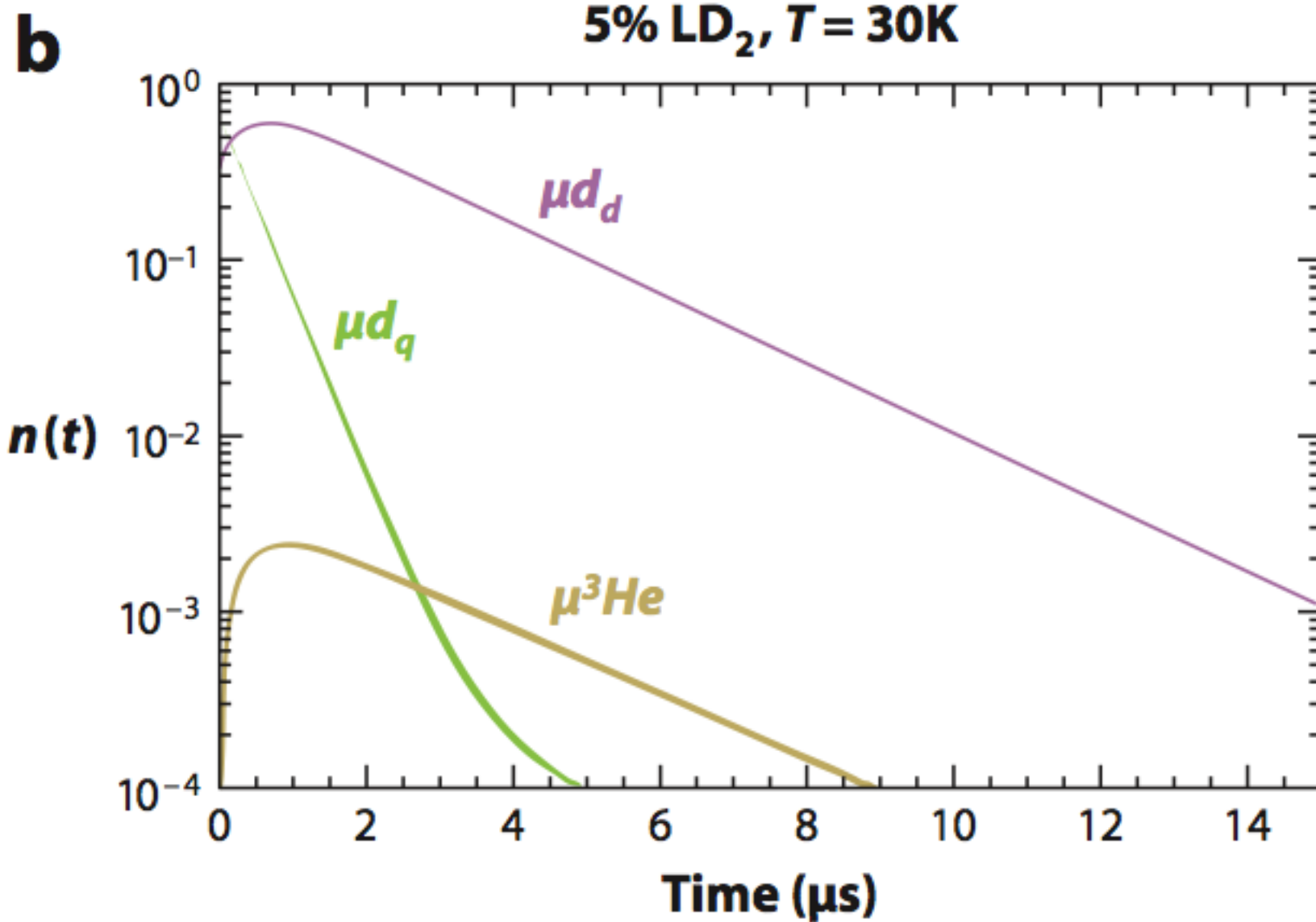


μ^- Lifetime



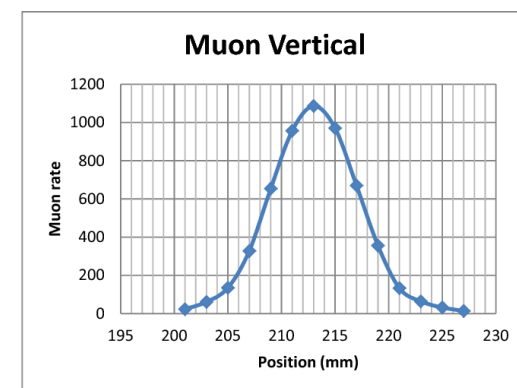
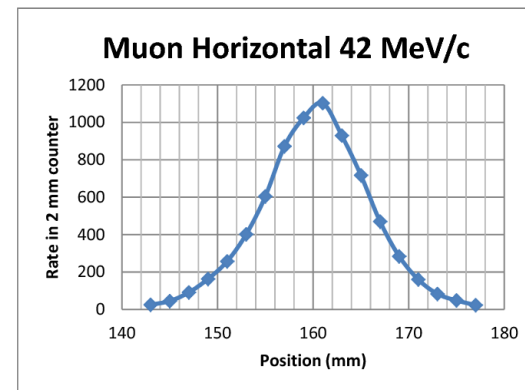
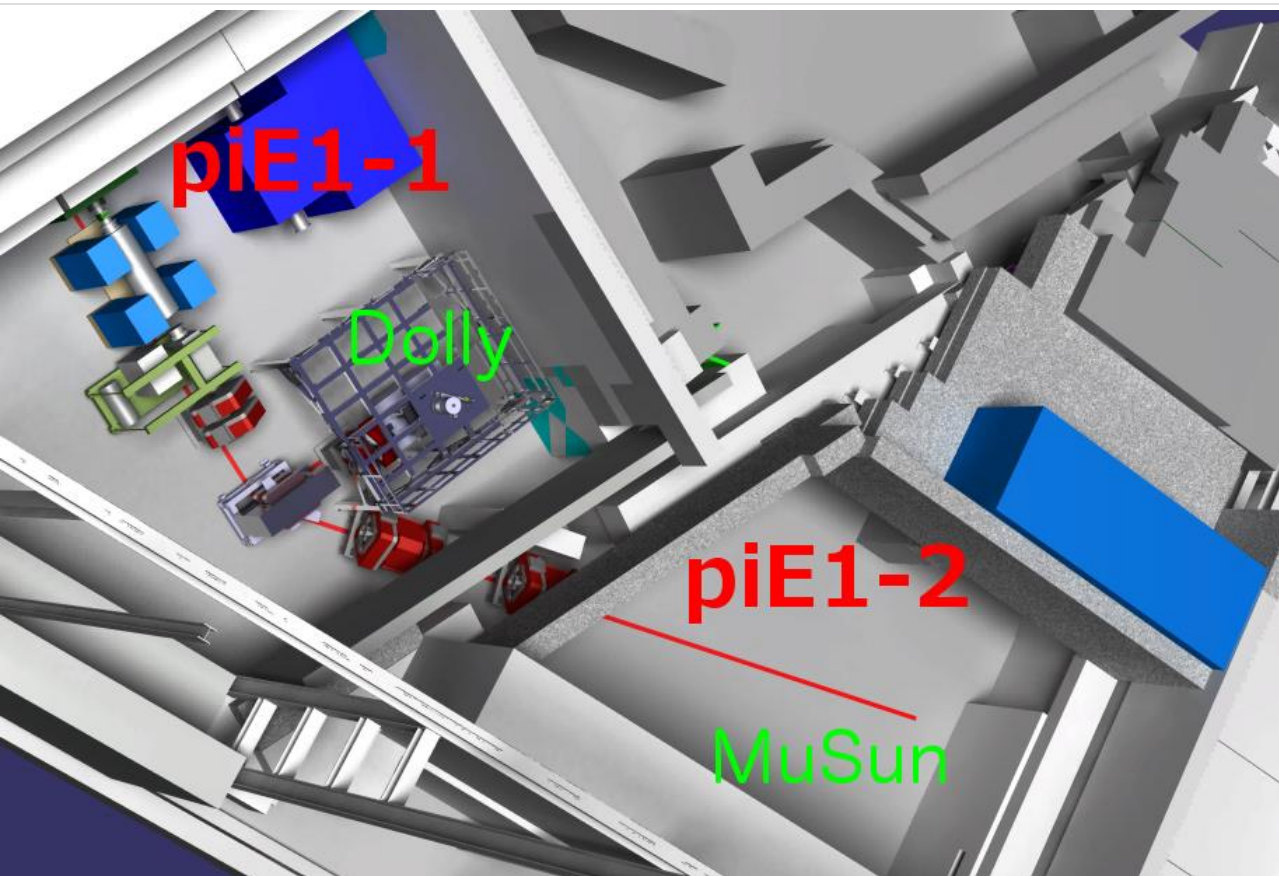
μ^+ Lifetime



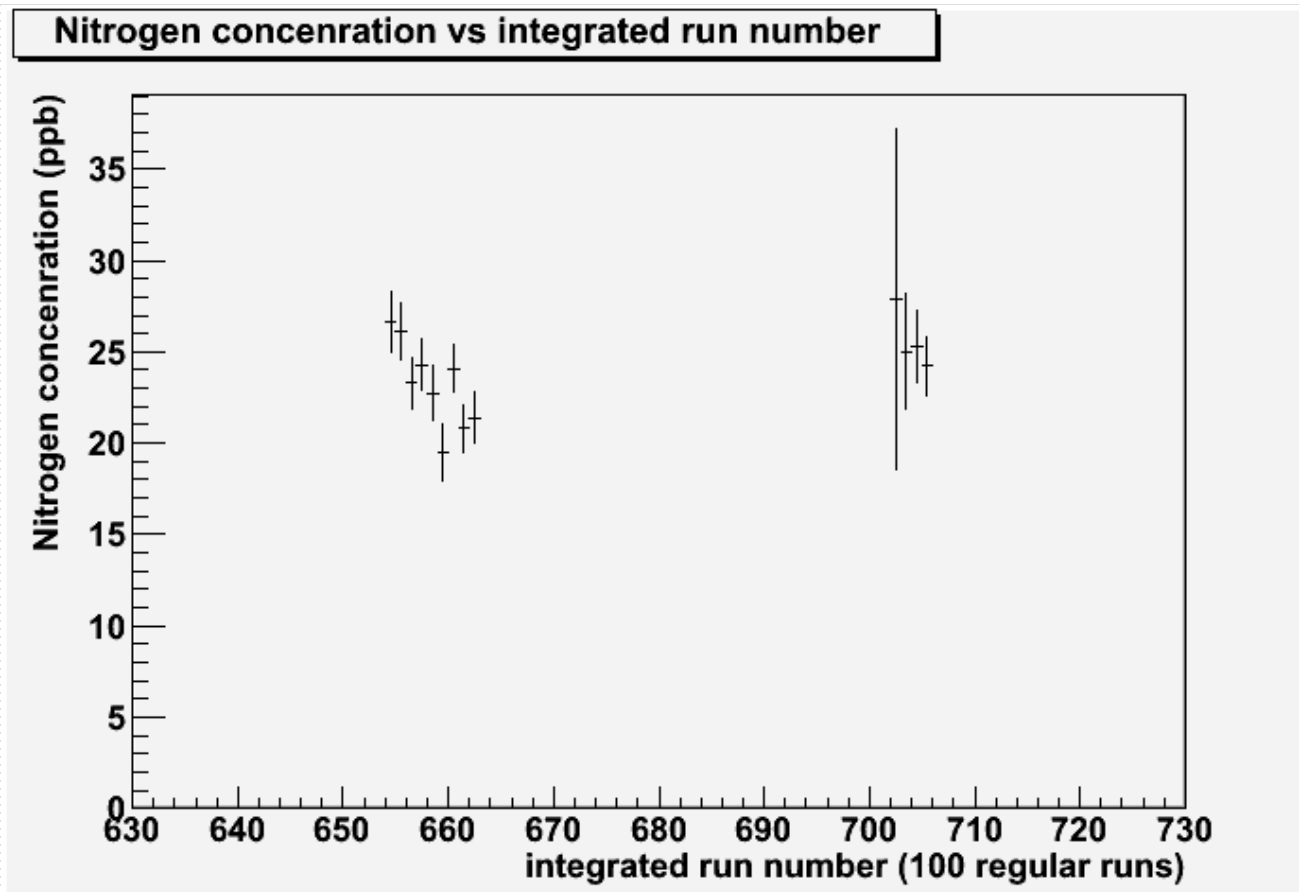




Проводка пучка к экспериментальной установке



μ SC muon rate with kicker (kHz)	μ SC electron rate (kHz)	Stopping fraction in the TPC
23.3	3.5	48.0 %



Шаг шкалы - 10 соответствует 3-м дням

Хроматографические измерения на этом же временном промежутке дали 20 ± 4 ppb

Давление насыщенных паров азота (определяется температурой) = 22 ± 10 ppb

