



Эксперимент μ Sun 2008-2014 гг.

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

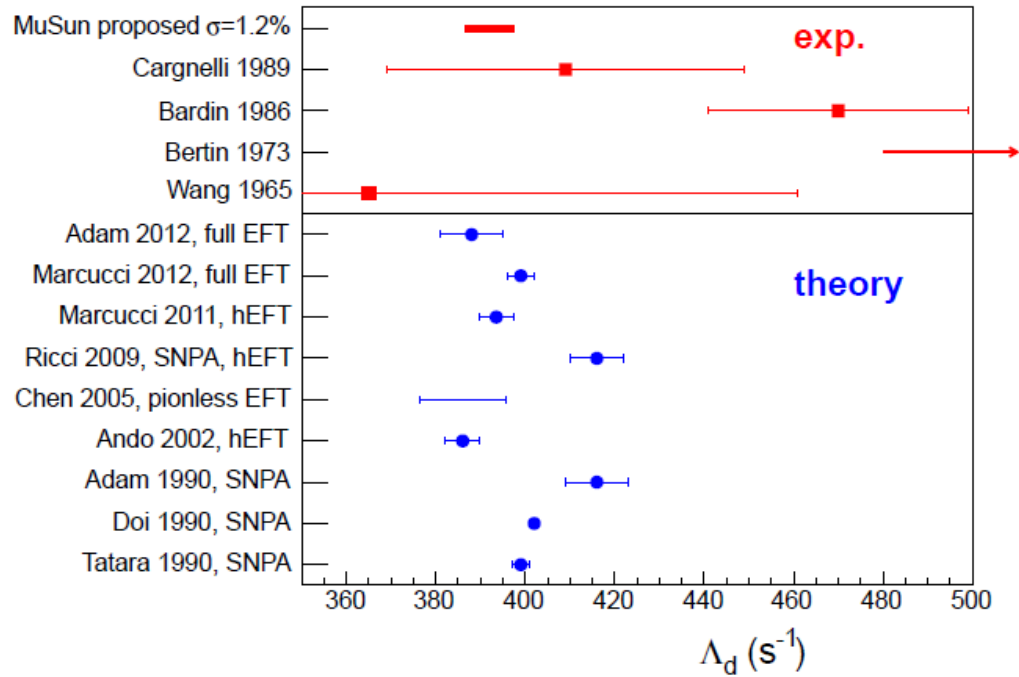
Regis University, University of South Carolina

Universit e Catholique de Louvain

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



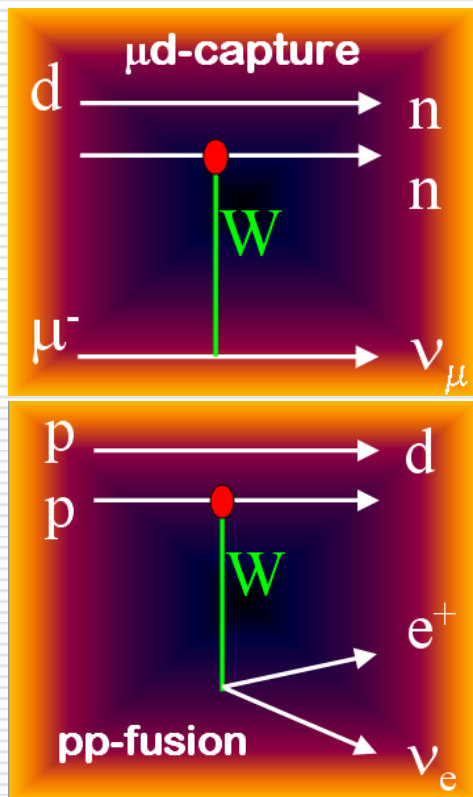
Measure rate Λ_d in $\mu d(\uparrow\downarrow)$ atom to $< 1.5\%$



EFT - Effective Field Theory
SNPA -potential model calculation



Цель и мотивация эксперимента



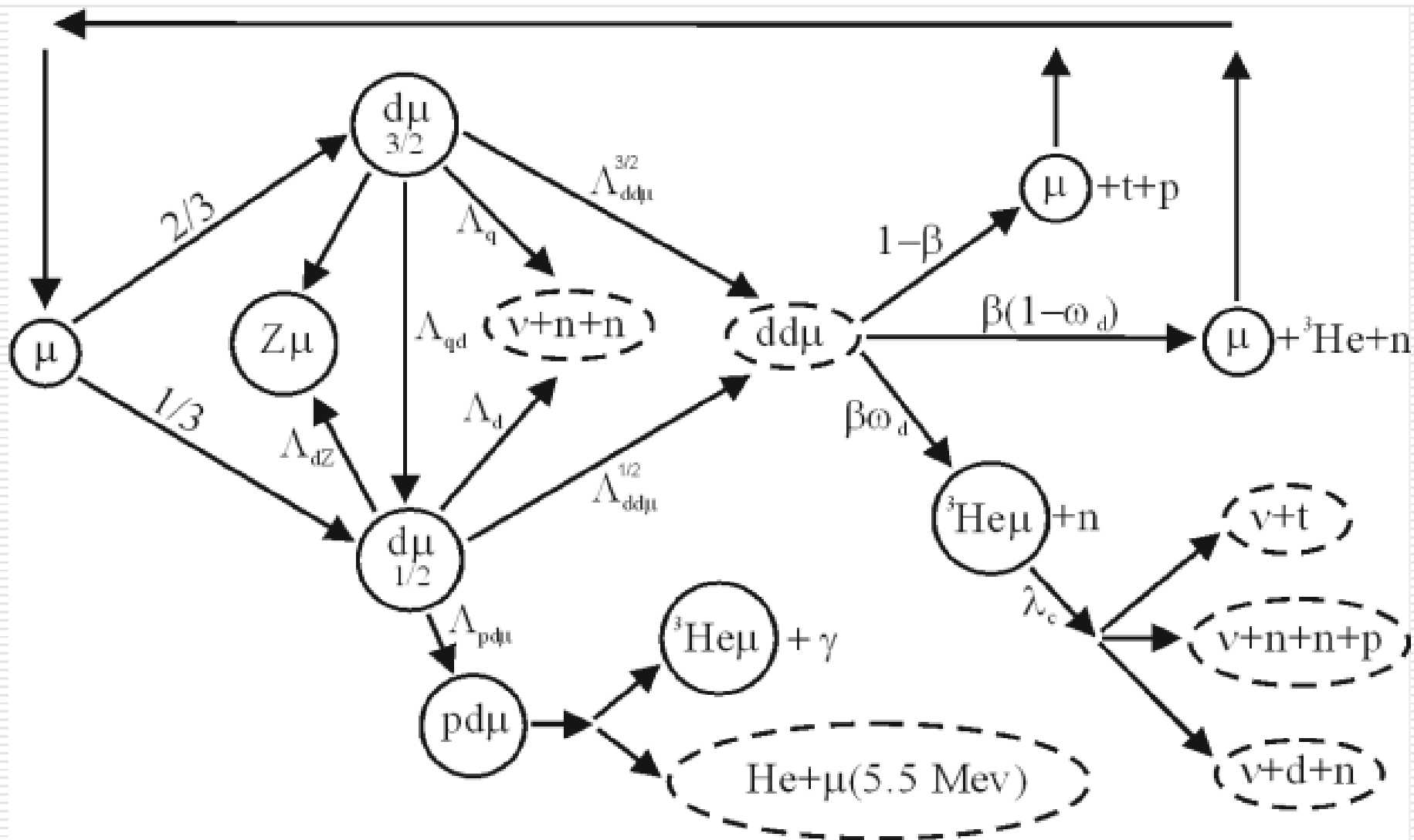
Сопоставив измеренную скорость μ -захвата с вычисленной в рамках EFT, можно будет определить параметры теории, что в свою очередь позволит вычислить с высокой точностью сечения фундаментальных астрофизических реакций:

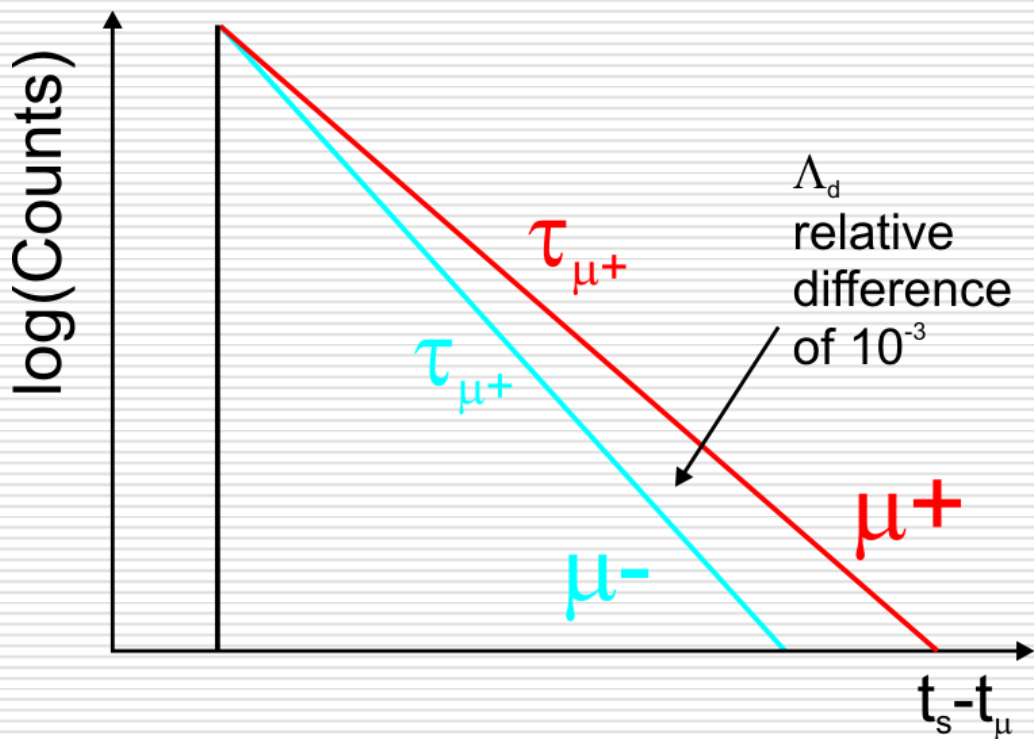


Ядерная реакция синтеза двух протонов идёт на Солнце и является основным источником солнечной энергии и электронных нейтрино.

Реакции используются для регистрации потоков нейтрино в нейтринных экспериментах.





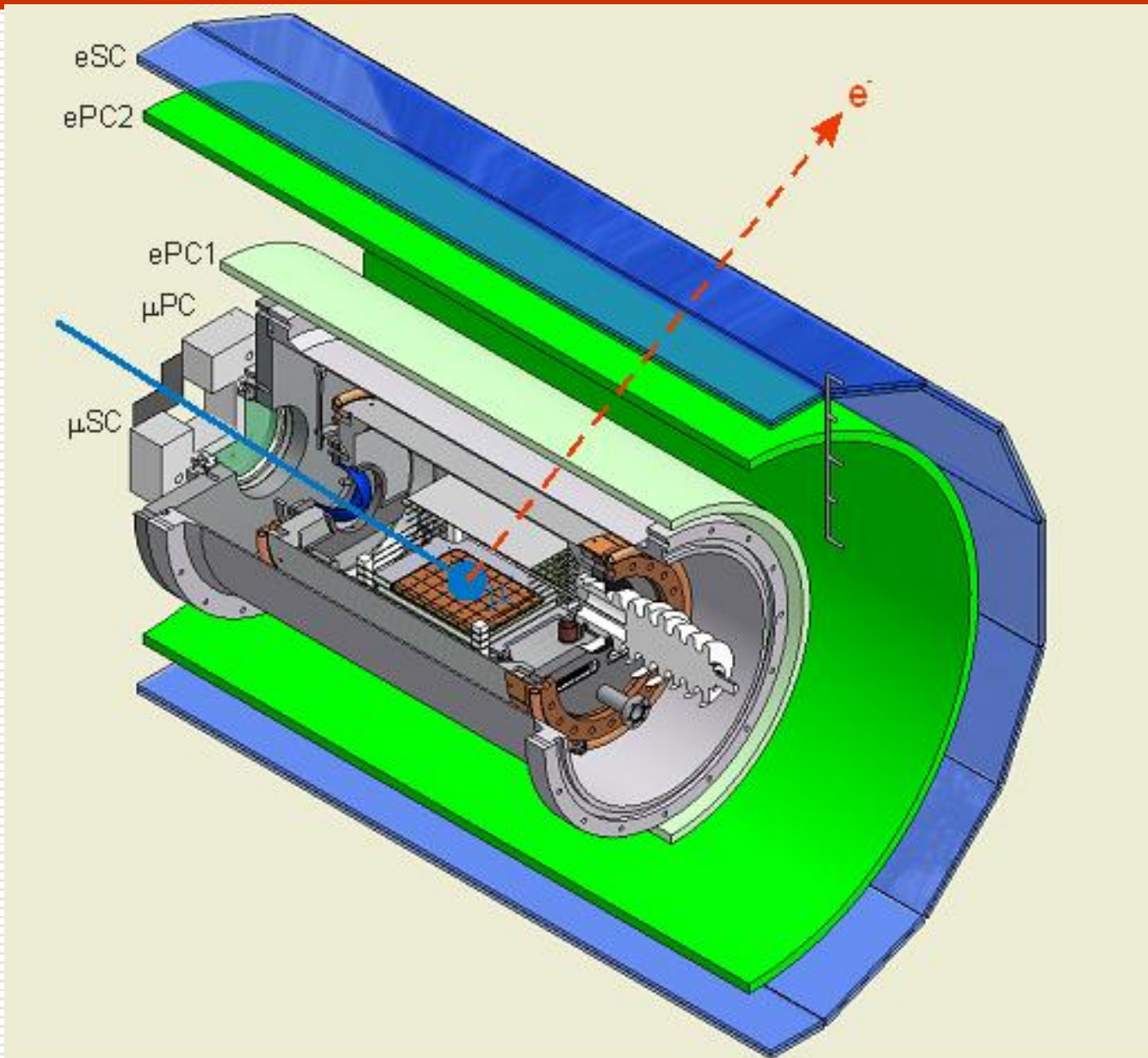


Для измерения времени жизни необходимо 10^{10} событий $\mu \rightarrow e \bar{\nu} \nu$
для μ^- и μ^+

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

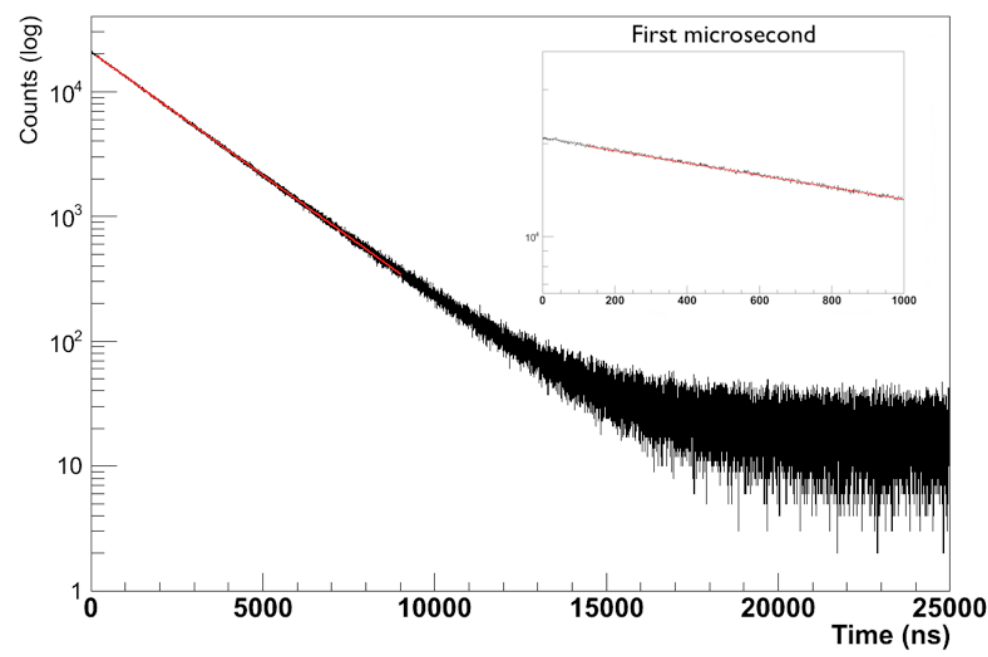


С cryo_TPC как активная мишень

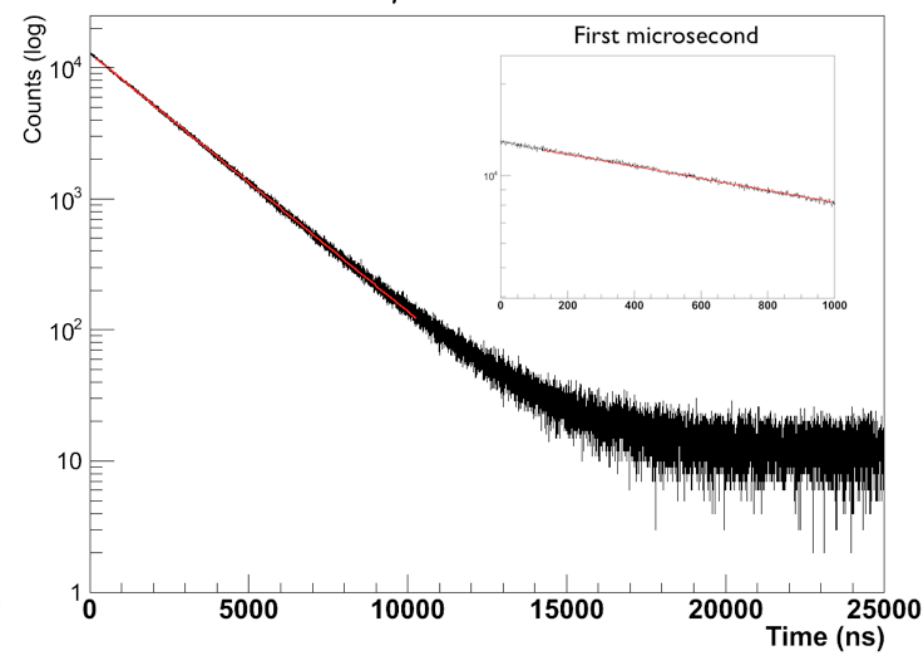


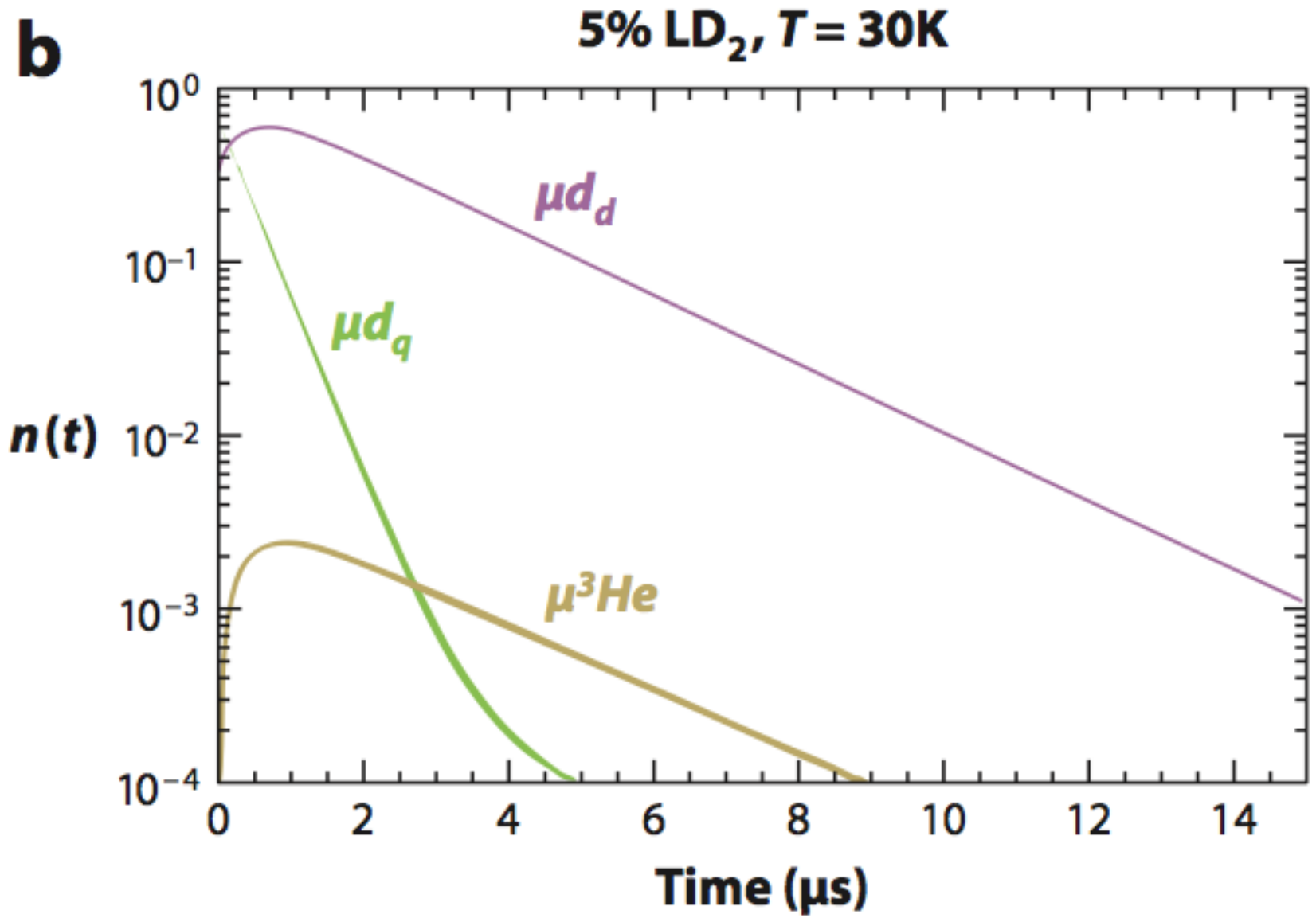


μ^- Lifetime



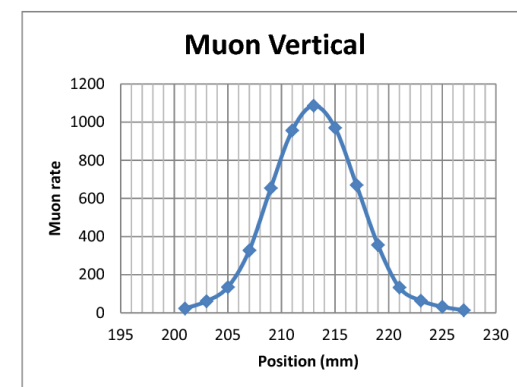
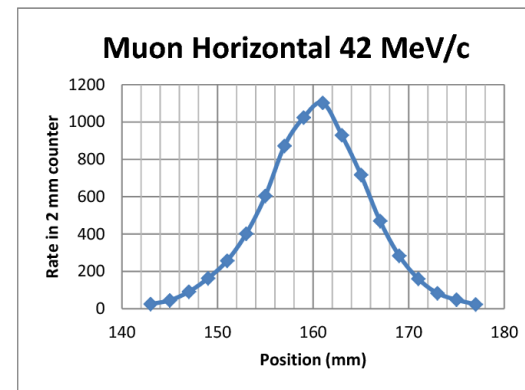
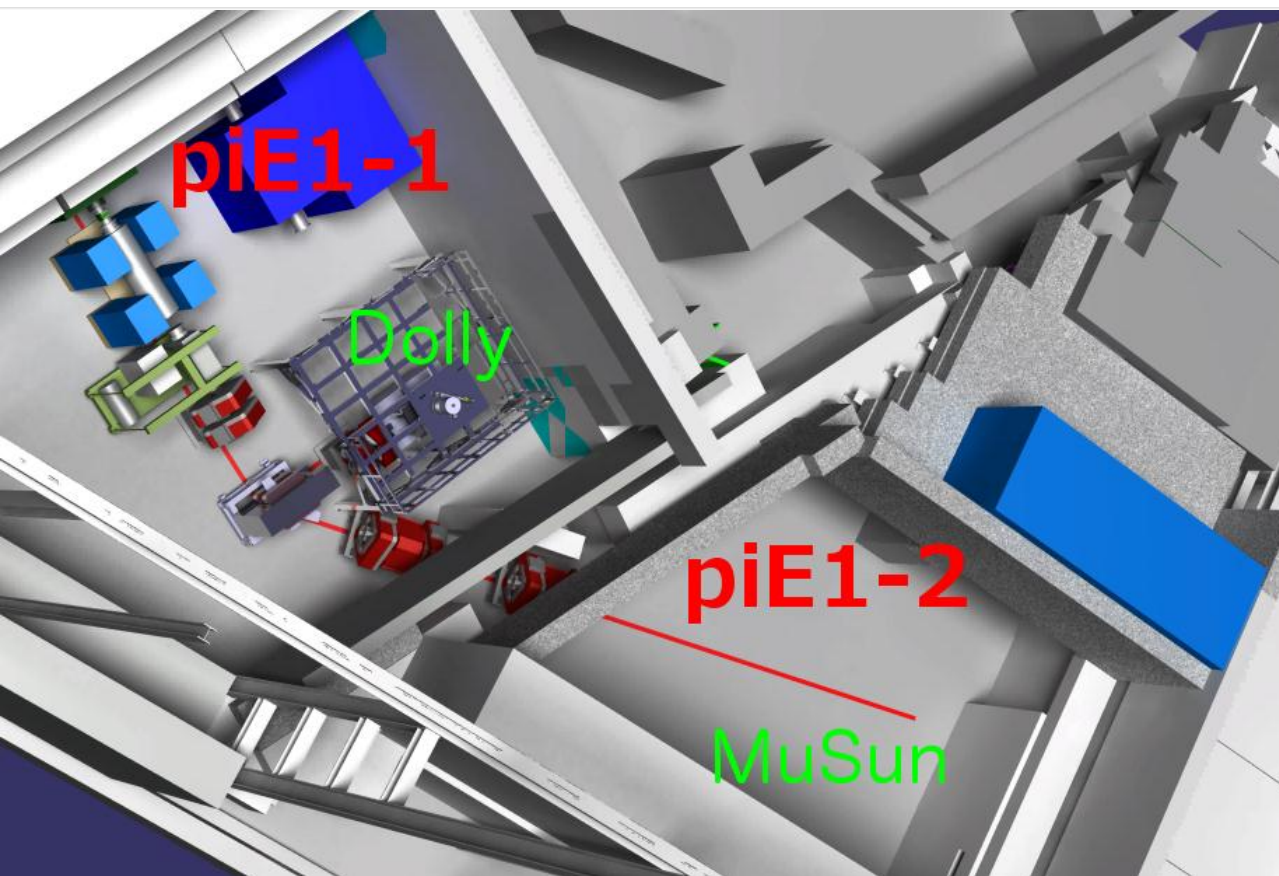
μ^+ Lifetime







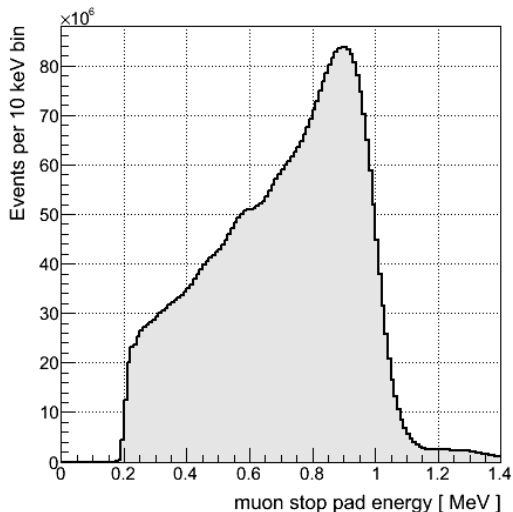
Проводка пучка к экспериментальной установке



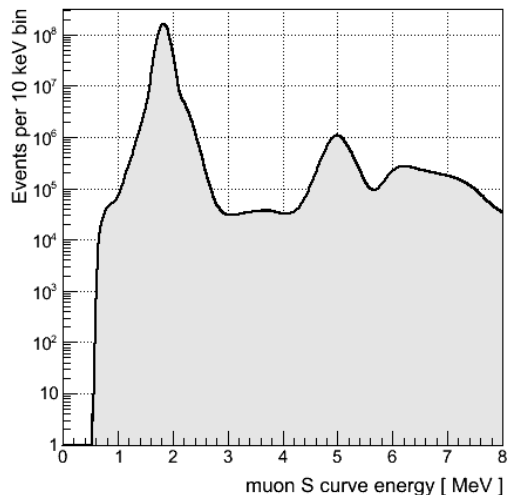
μ SC muon rate with kicker (kHz)	μ SC electron rate (kHz)	Stopping fraction in the TPC
23.3	3.5	48.0 %



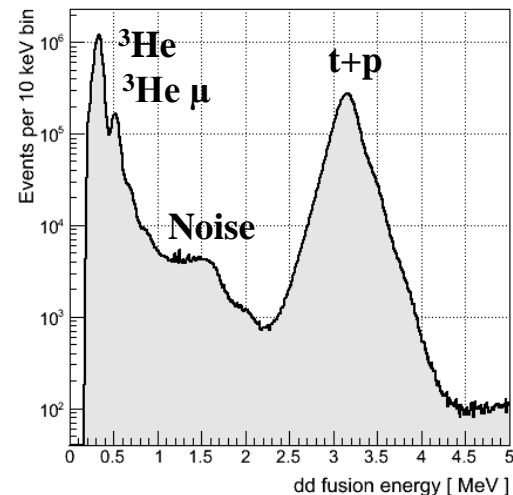
Энергетические распределения сигналов в CryoTPC



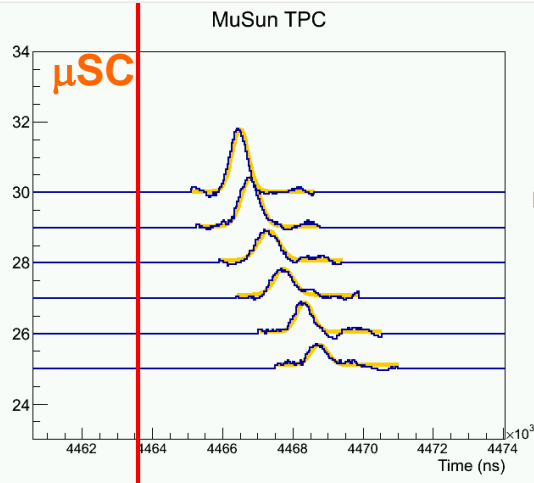
Энергия мюонного сигнала на паде остановки мюона



комбинация $S = E_i + 2 \cdot E_{i-1}$ мюонных энергий на паде остановки и предыдущем паде



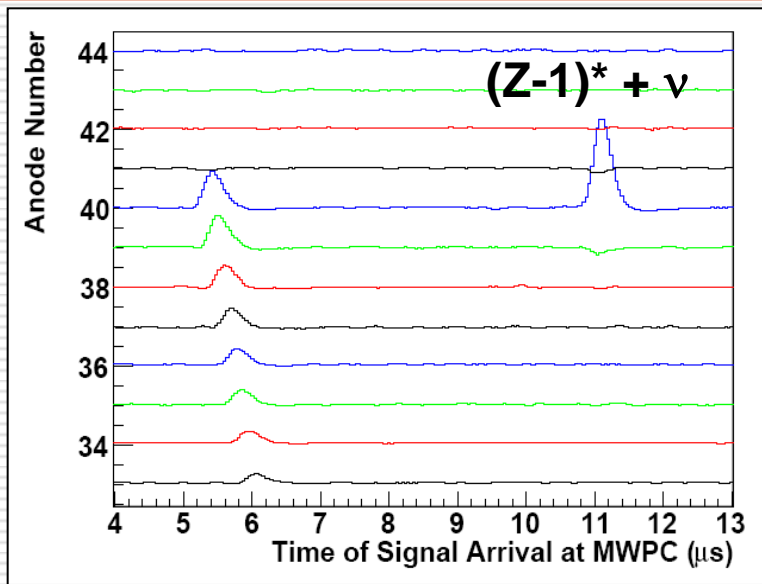
Энергия вторых сигналов на паде остановки



41	42	43	44	45	46	47	48
33	34	35	36	37	38	39	40
25	26	27	28	29	30	31	32
A: 11.4	A: 16.6	A: 14.6	A: 16.6	A: 27.3	A: 35.3		
E: 166.7	E: 231.2	E: 243.9	E: 304.0	E: 438.2	E: 491.1		
t 5157	t 4740	t 4151	t 3716	t 3204	t 2901		
17	18	19	20	21	22	23	24
9	10	11	12	13	14	15	16
1	2	3	4	5	6	7	8



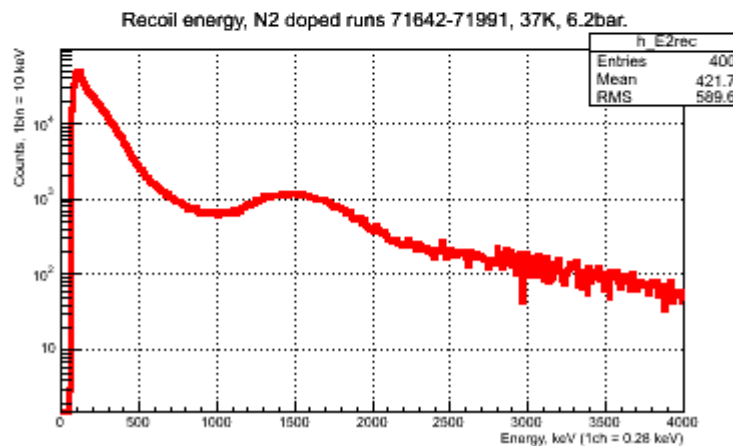
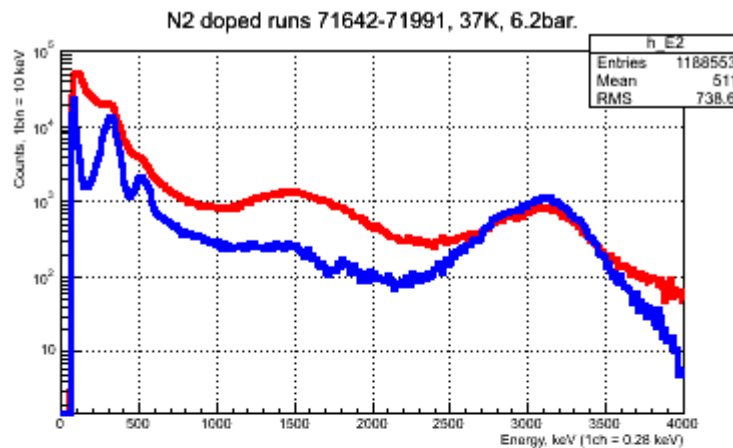
Регистрация примесей, калибровка на 2 ppm азота



Красный спектр – без электрона (рекоил+синтез):

- Произошел захват тяжелой примесью
- Электрон не попал в детектор (30%)

Синий спектр – был электрон (синтез)



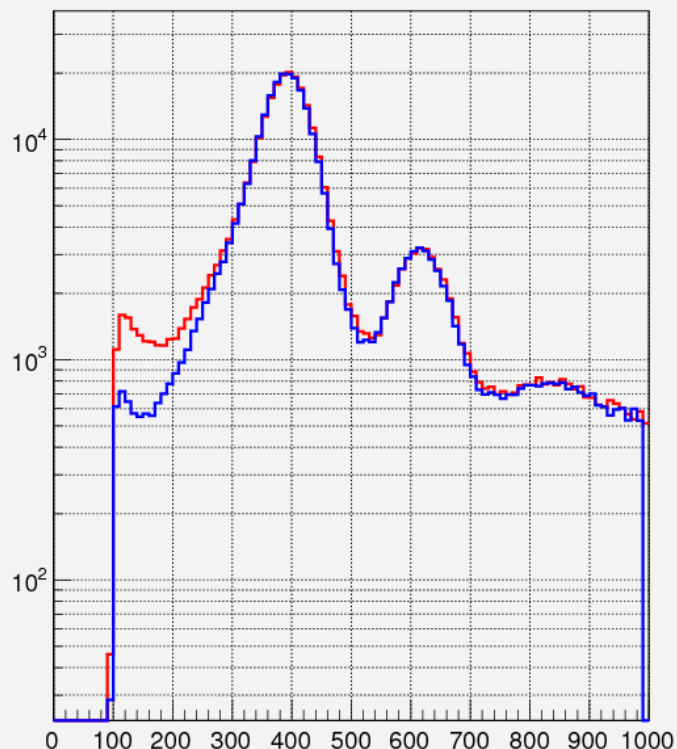
Нормированная разность.

Первый пик – отдача ядра углерода при вылете нейтрино

Второй пик (?) распад углерода на три альфа



He3 energy (area), no electron



Около 20 ppb азота

Красный спектр – без электрона (рекоил+синтез):

- Произошел захват тяжелой примесью
- Электрон не попал в детектор (30%)

Синий спектр – был электрон (синтез)

Спектры нормированы на пик ^3He

Первый пик - ^3He (синтез),

Второй пик - захват мюона ^3He

Чувствительность метода

Общая статистика 10^{10} остановок мюонов

Всех регистрируемых ядер отдачи - 5000 ppm на один мюон при 2 ppm азота

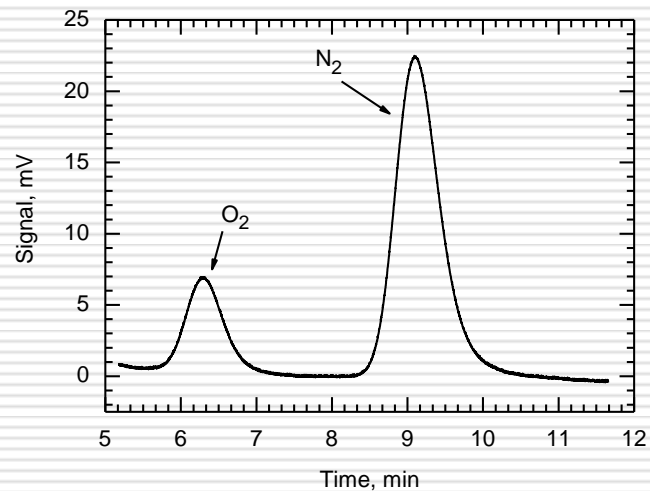
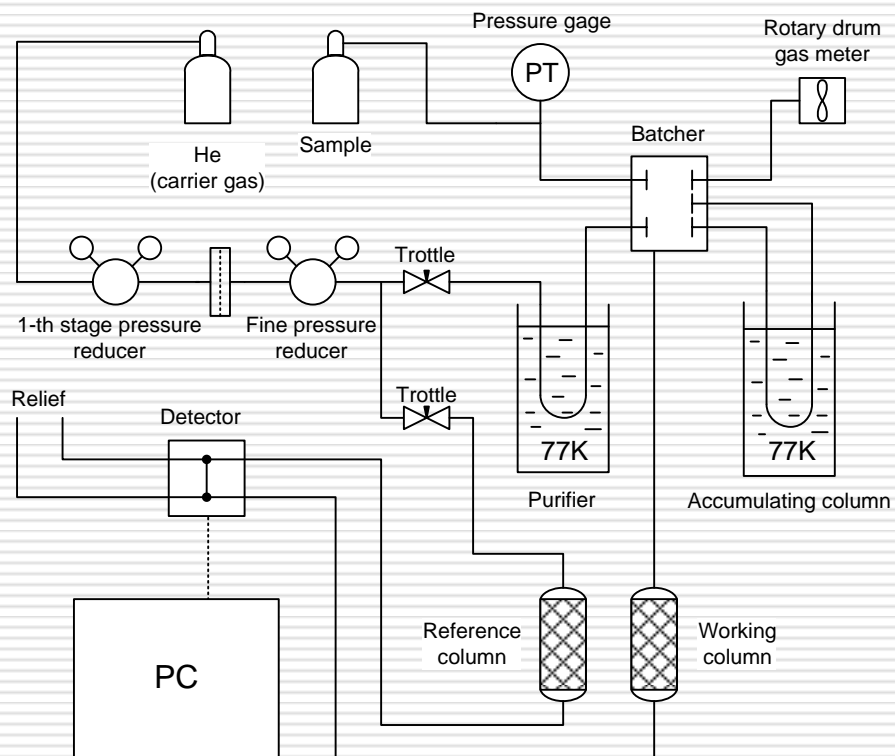
2.5 ppm регистрируемых ядер отдачи на один мюон при 1 ppm азота

В нашем окне (100-200 keV) примерно в 4 раз меньше (25%).

Наш выход регистрируемых ядер отдачи в окне 100-200 keV

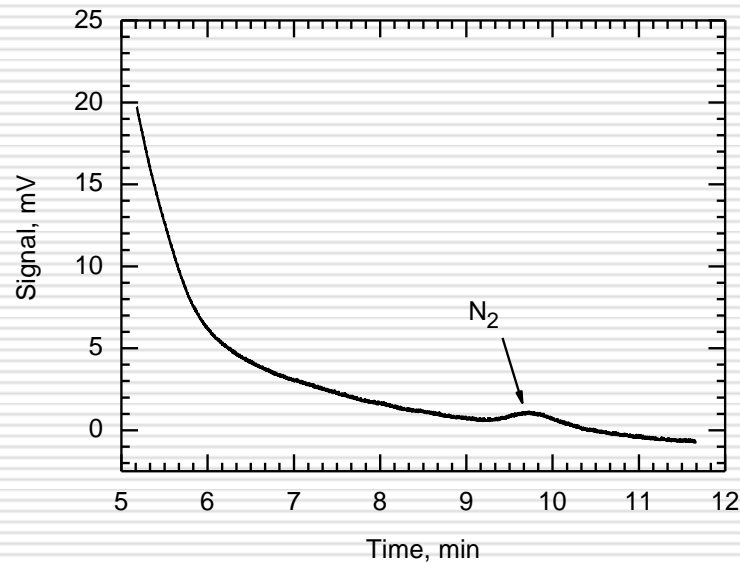
600 ppb на один мюон

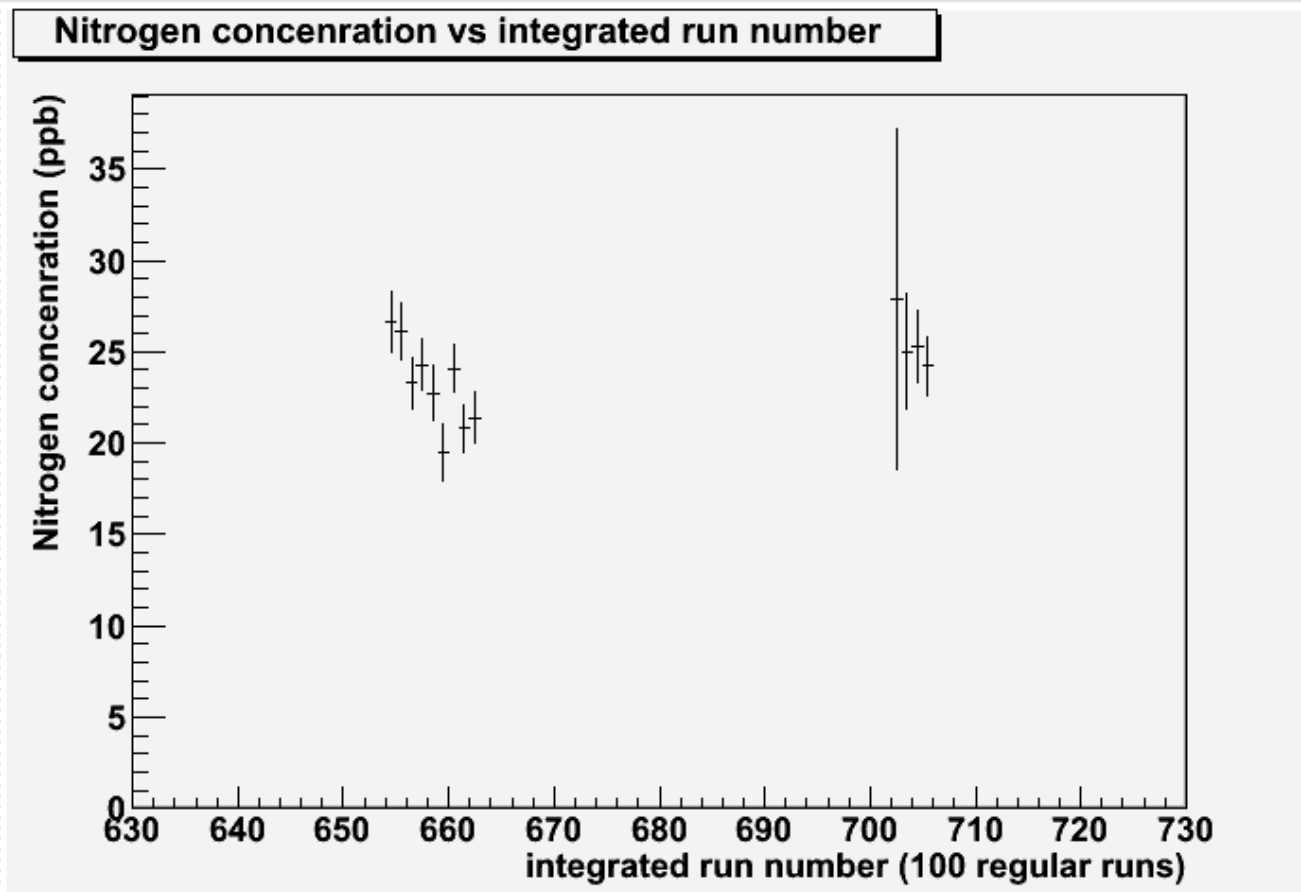
При нашей статистике – 6000 ядер отдачи.



Устойчивый предел чувствительности
хроматографического метода при 10 l пробе

< 1 ppb

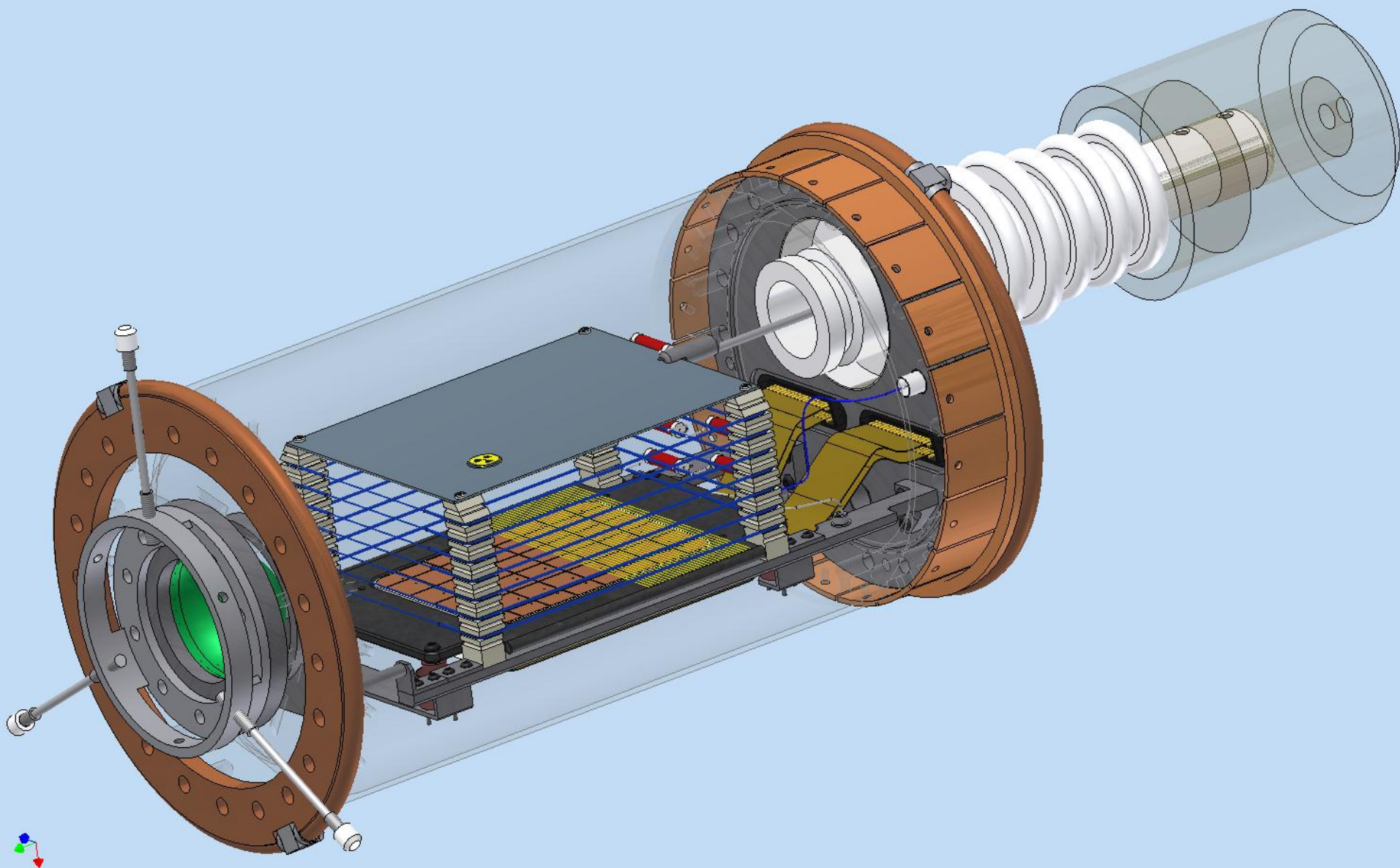




Шаг шкалы - 10 соответствует 3-м дням

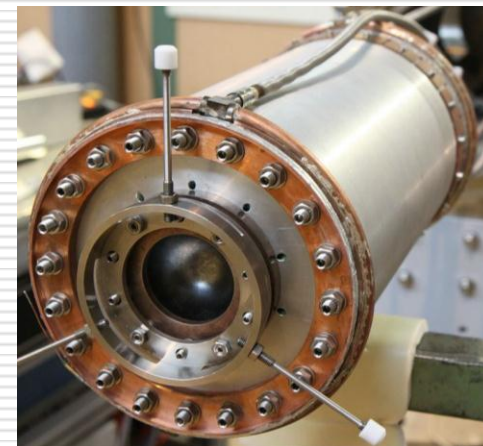
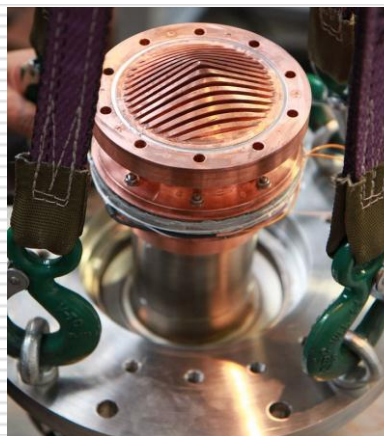
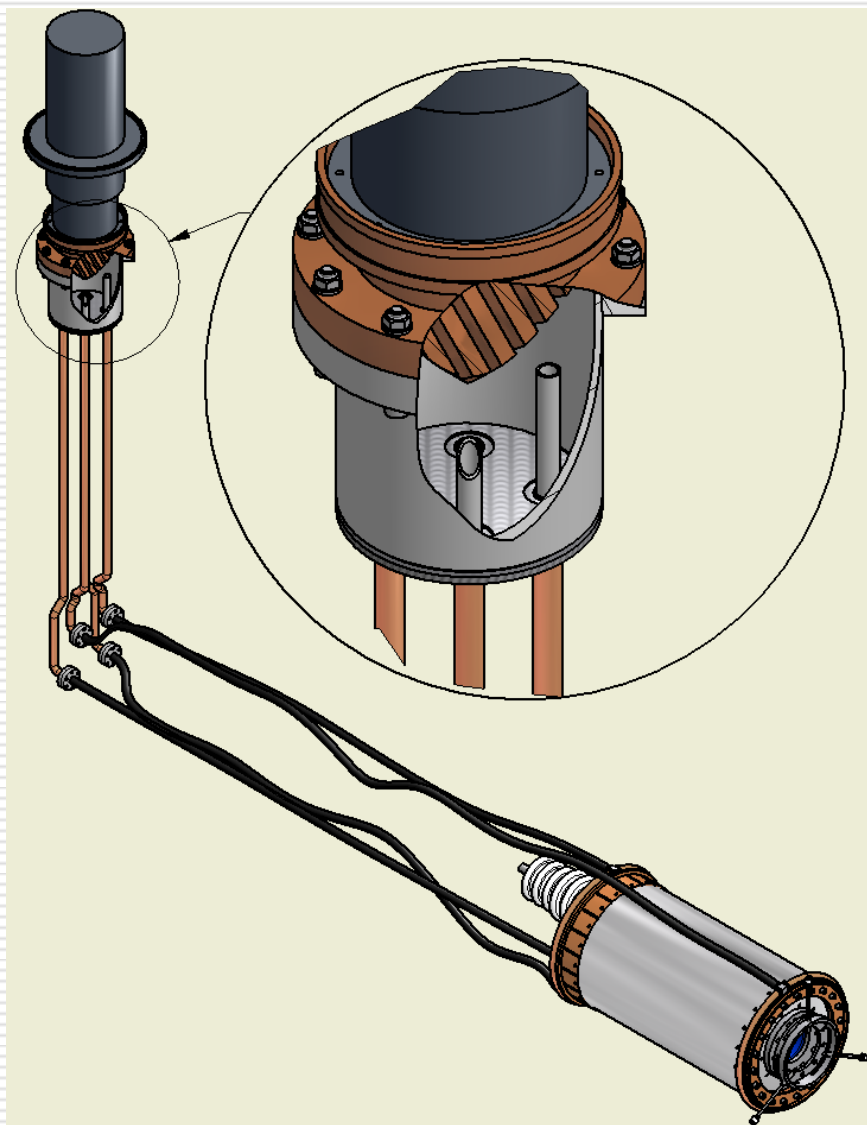
Хроматографические измерения на этом же временном промежутке дали 20 ± 4 ppb

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

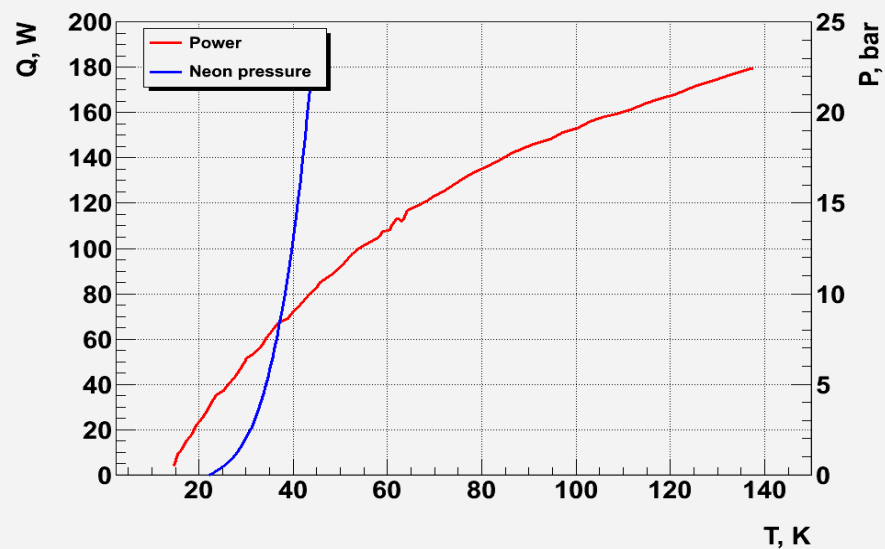


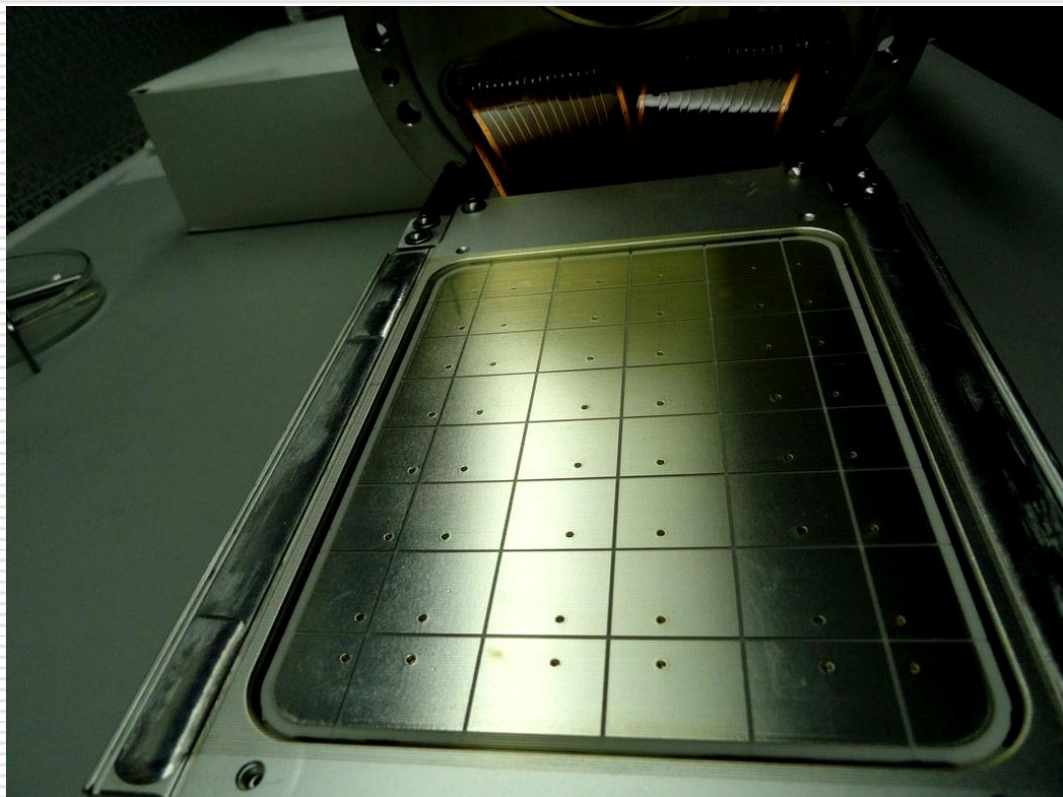


Система охлаждения

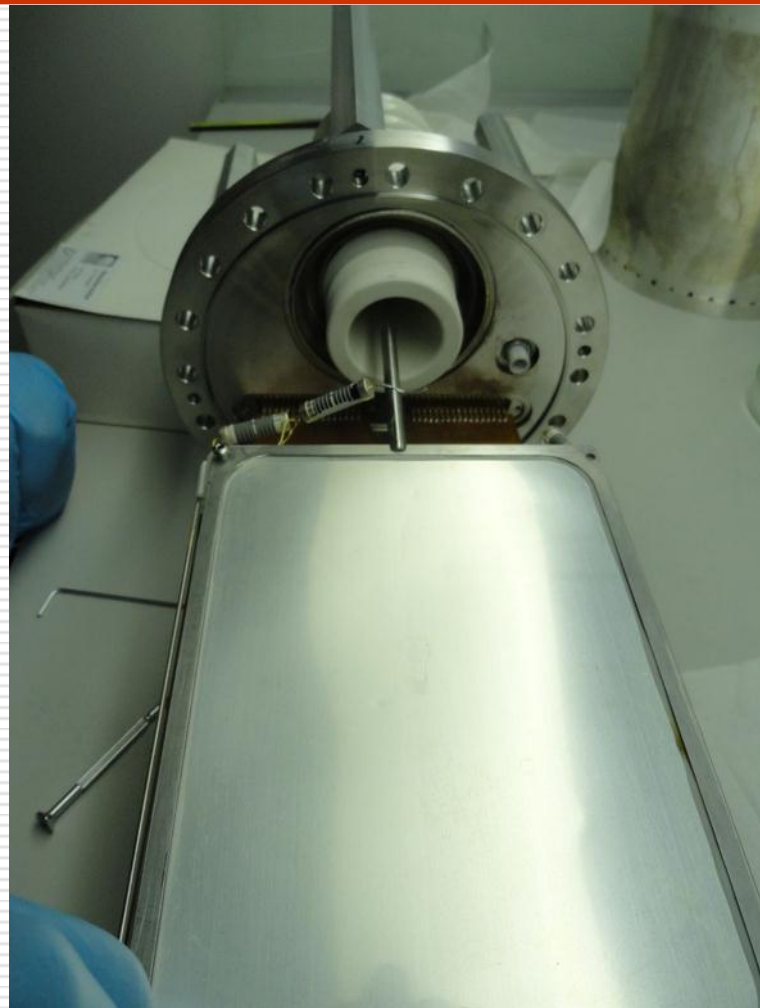


Cold head power and neon pressure





Падовая плоскость с серебряными падами



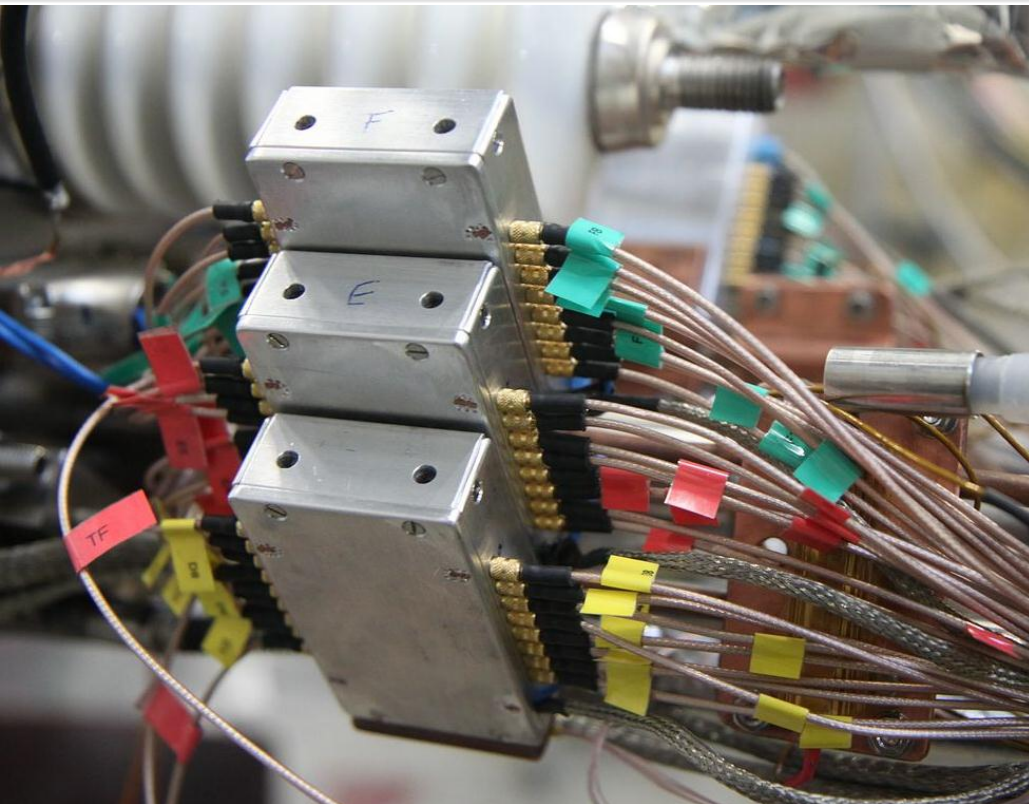
Катодная плоскость из серебряной фольги



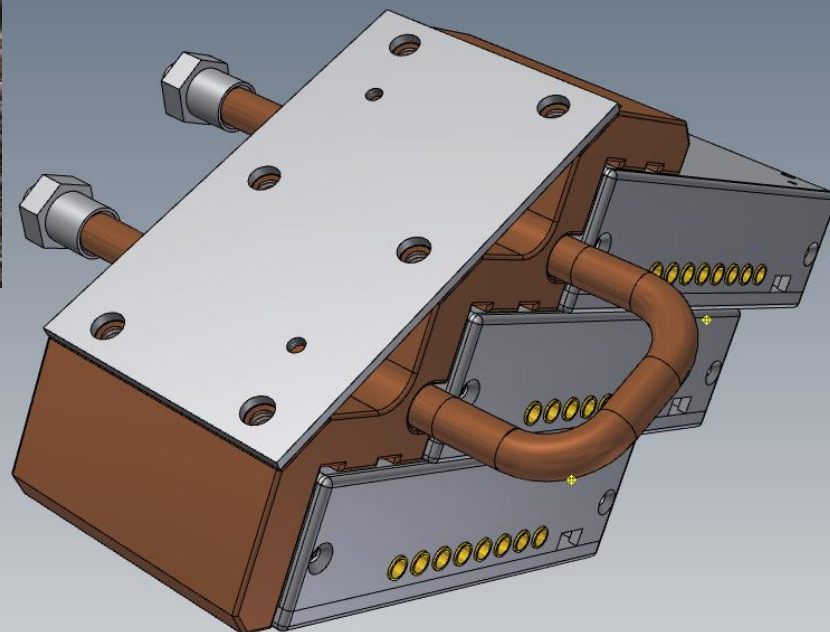
**Линия автоматической подачи азота
в CHUPS и криогенные
предусилители**



**Нолвый блок системы неоновой
тепловой трубы**

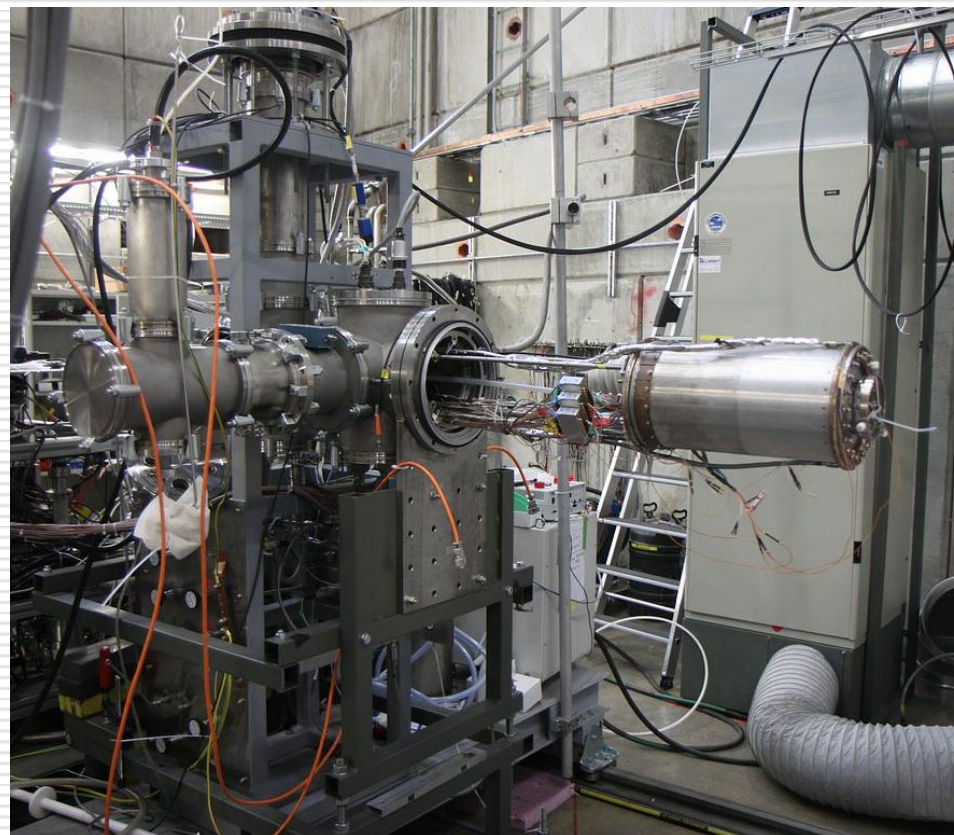
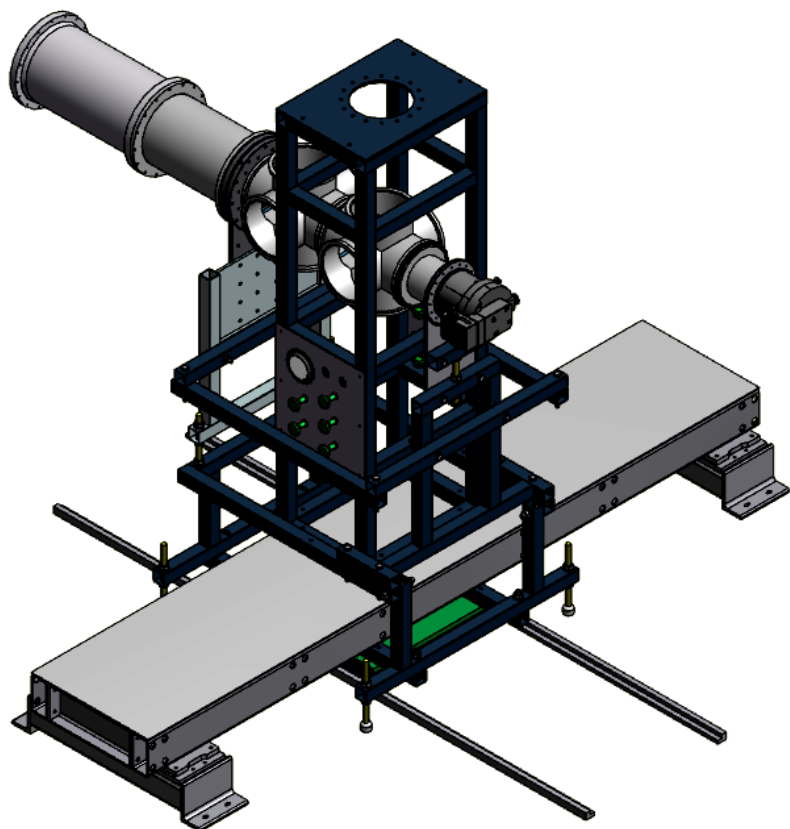


Энергетическое разрешение 25 kV (против 40 kV в предыдущем эксперименте)



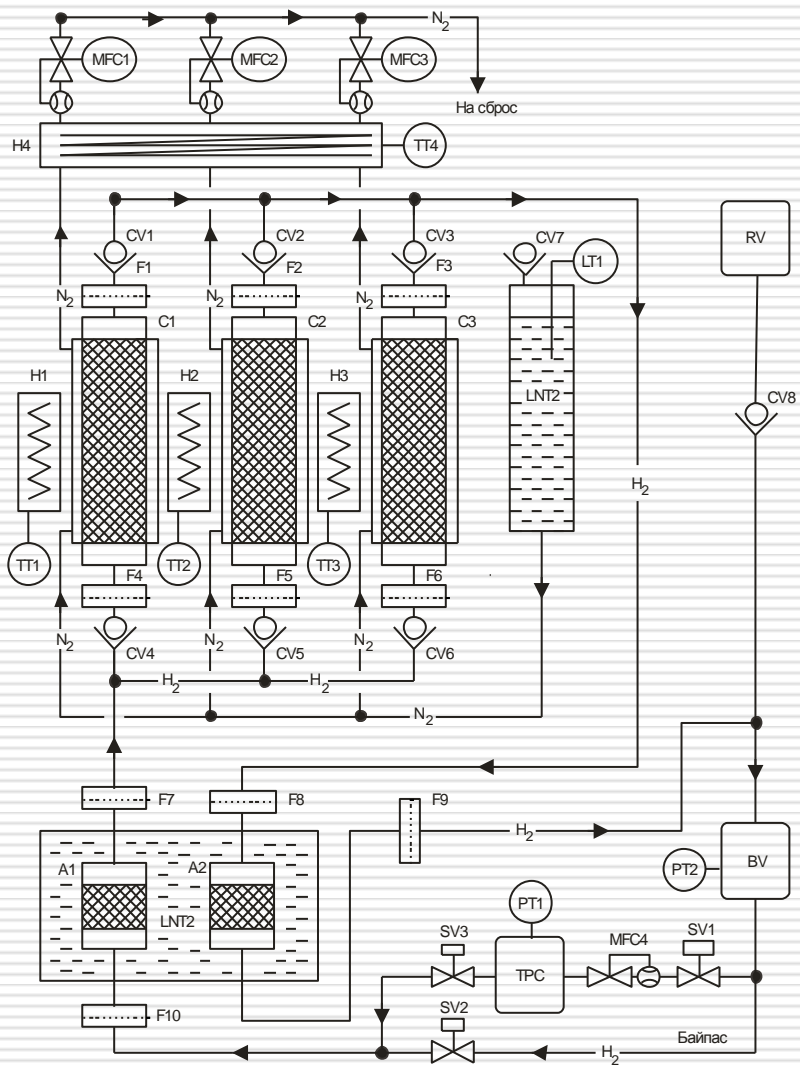


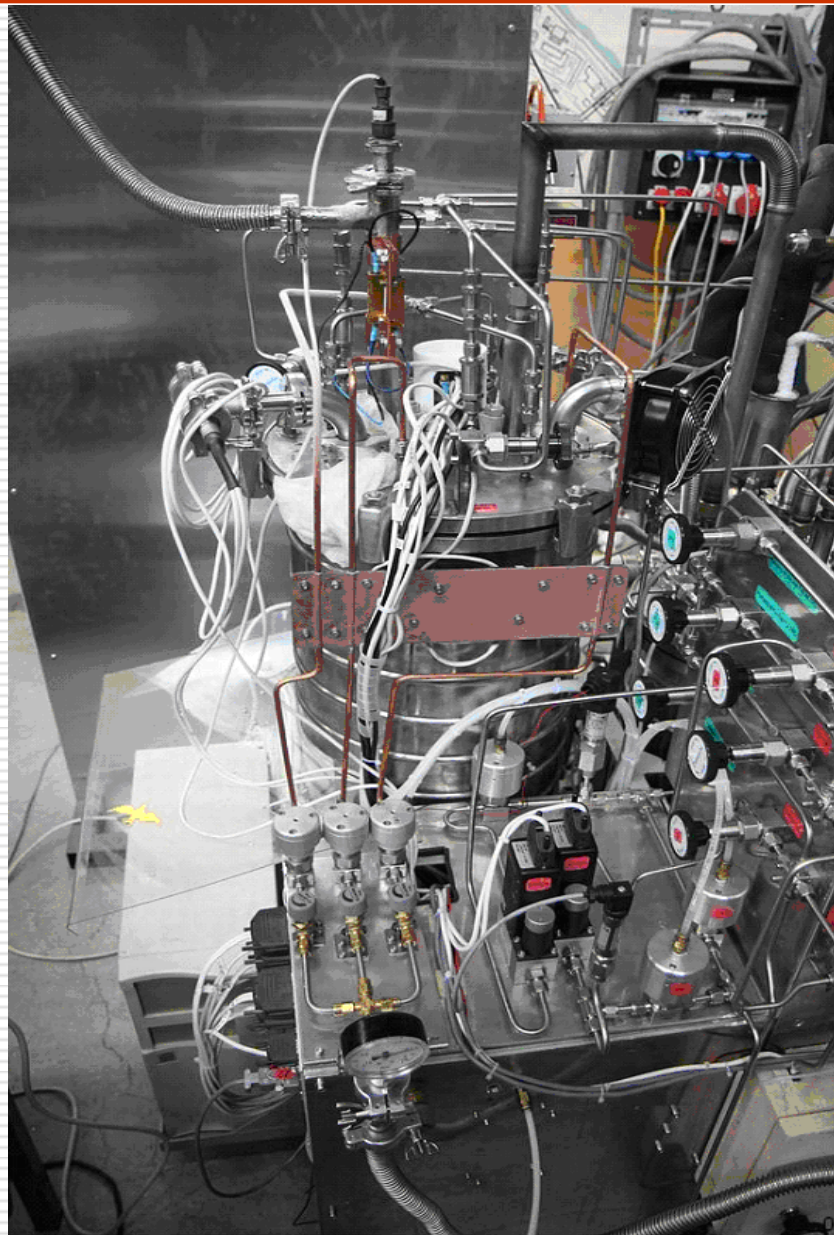
Новая система поддержки камеры





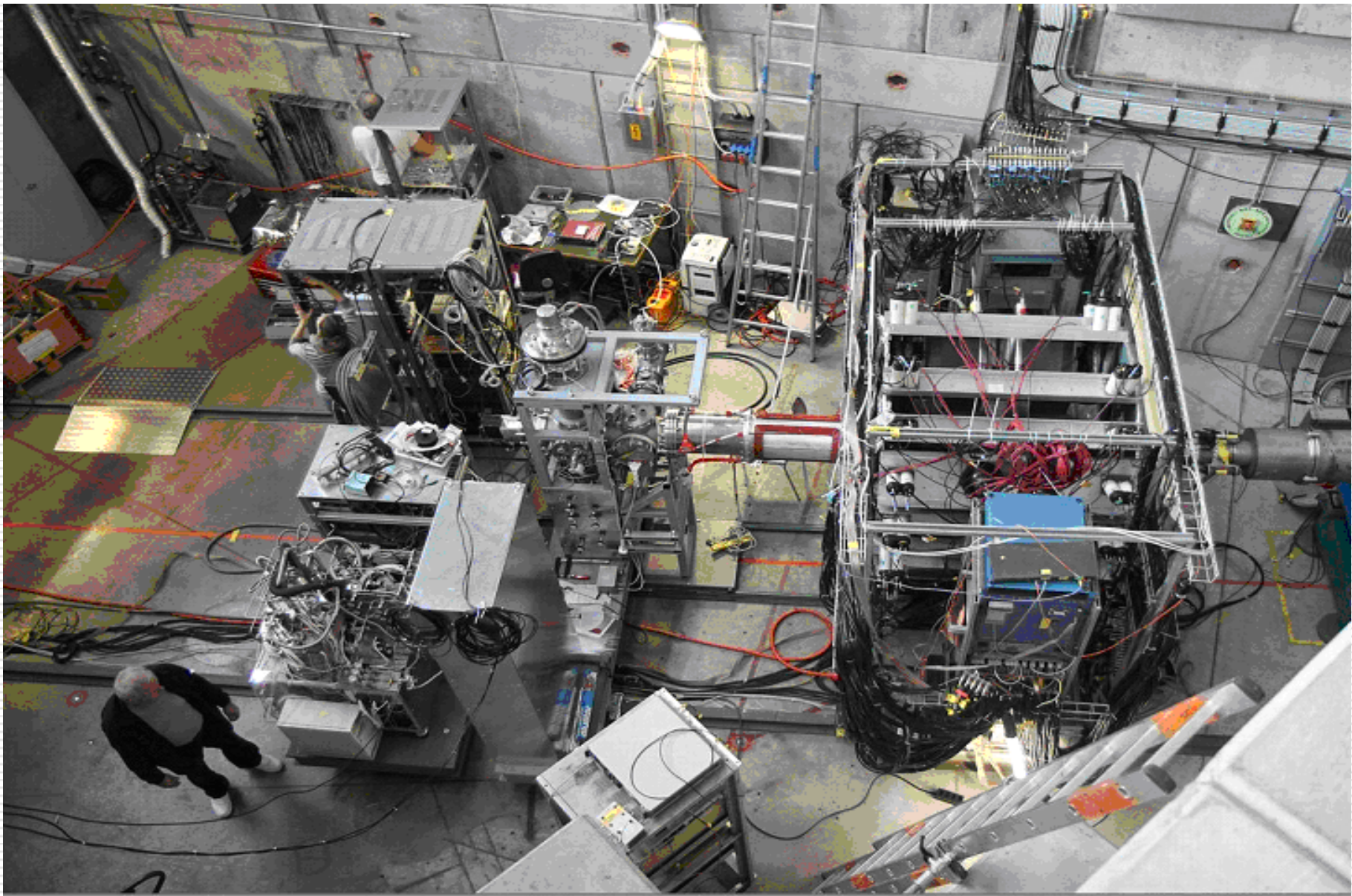
Компрессоры CHUPS







Установка на пучке $\pi E1$





P.Kammel et al. Muon capture: status and prospects. 3rd Workshop on the Physics of Fundamental Symmetries and Interactions (PSI2013), Sept. 9-12, 2013, Paul Scherrer Institute, Switzerland.

M.Murray et al. Muon capture on the deuteron: The MuSun experiment. 3rd Workshop on the Physics of Fundamental Symmetries and Interactions (PSI2013), Sept. 9-12, 2013, Paul Scherrer Institute, Switzerland.

Measurements of Muon Capture on the Proton to 1% Precision and determination of Pseudoscalar Coupling g_p .
Phy. Rev. Lett. 110, 012504 (2013).



Планы 2013-го в ПИЯФ

Создание системы калибровки хроматографа на уровне примесей
< 1 ppb

Создание системы автоматической подачи жидкого азота в элементы системы
Создание крио предусилителей
Создание криогенного экрана для TPC

Планы 2013 в PSI

Изотопная очистка дейтерия
Подключение к системе блока накопления примесей для последующего анализа
Сборка всей системы
Проведение сеанса на пучке мюонов
Сентябрь-Декабрь 2013

Планы 2014-го

Подготовка и проведение рабочего сеанса по набору статистики 10^{10} остановок



В 2013-м году

-Набрано $0.4 \cdot 10^{10}$ событий

- Отработана хроматографическая методика измерения атмосферных примесей на уровне < 1 ppb
- Разработана методика измерения примесей тяжелых ядер по ядрам отдачи на уровне < 1 ppb
 - Установлены криогенные предусилители, повышено разрешение до 25 keV
- Полностью подавлены акустические шумы (новая система поддержки и криопредуселители)
 - Установлена автоматическая система подачи азота