



## Эксперимент $\mu$ Sun

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

PSI Experiment R-08-01,

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

MuSun Collaboration

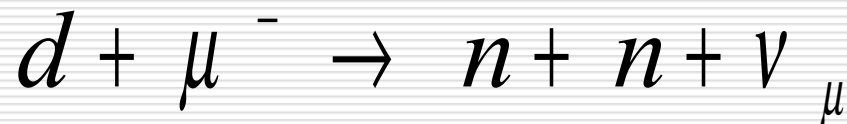
Petersburg Nuclear Physics Institute, University of Washington Seattle  
Paul Scherrer Institut, University of Kentucky, Boston University  
Regis University, University of South Carolina  
Universit e Catholique de Louvain

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

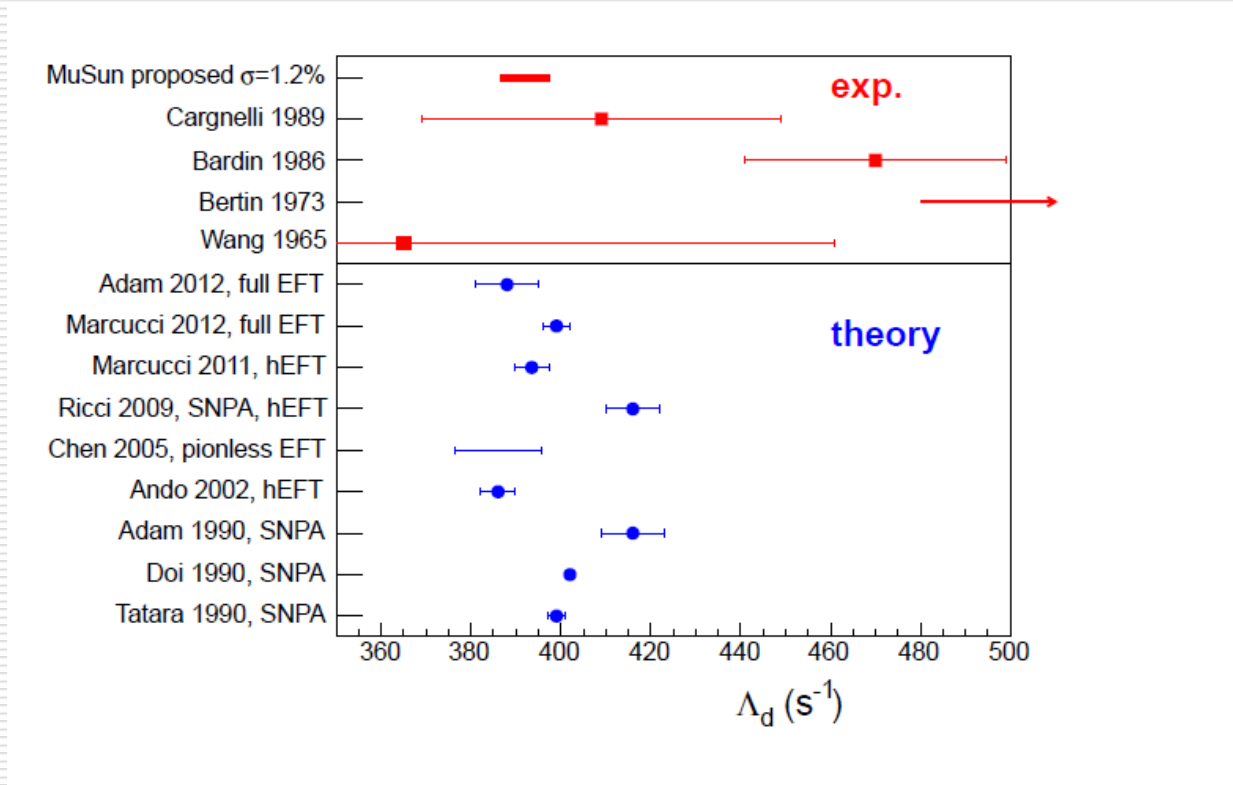
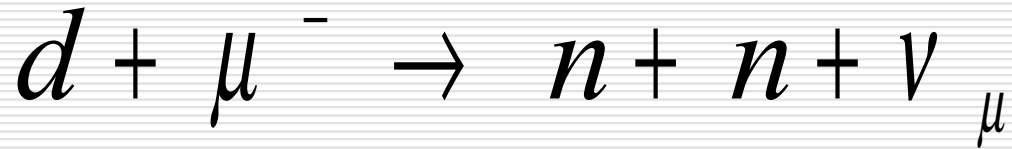


Эксперимент MuCAP. Впервые получено значение константы  $g_p$ , которое оказалось в точном соответствии с величиной, теоретически предсказанной из киральной теории возмущений тяжелых барионов (HBChPT). Этот результат позволил дополнить картину электрослабых ядерных взаимодействий.

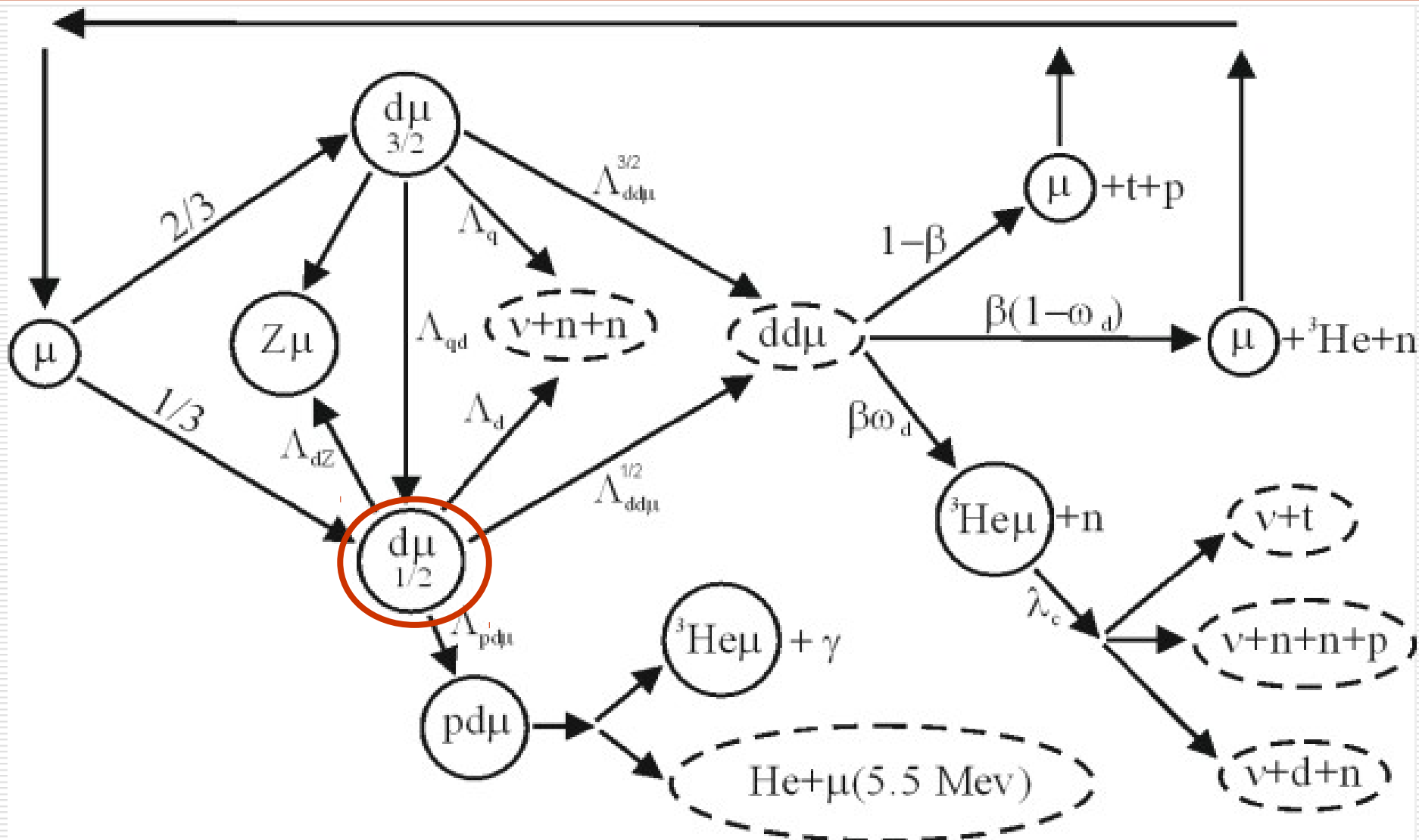
V.A.Andreev et al. MuCap collaboration,  
Phys.Rev.Lett.110,022504 (2013).

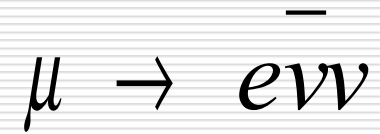
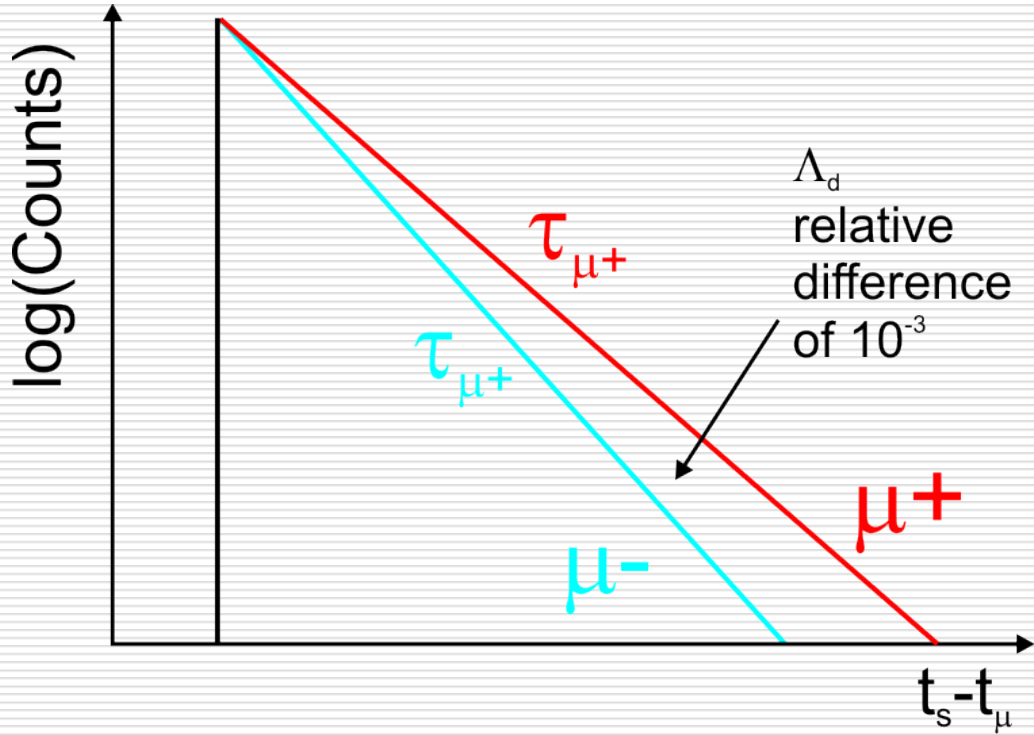


Работы по эксперименту MuSun были начаты в 2008 году и в настоящий момент находятся в стадии набора физических данных.



EFT - Effective Field Theory  
SNPA -potential model calculation



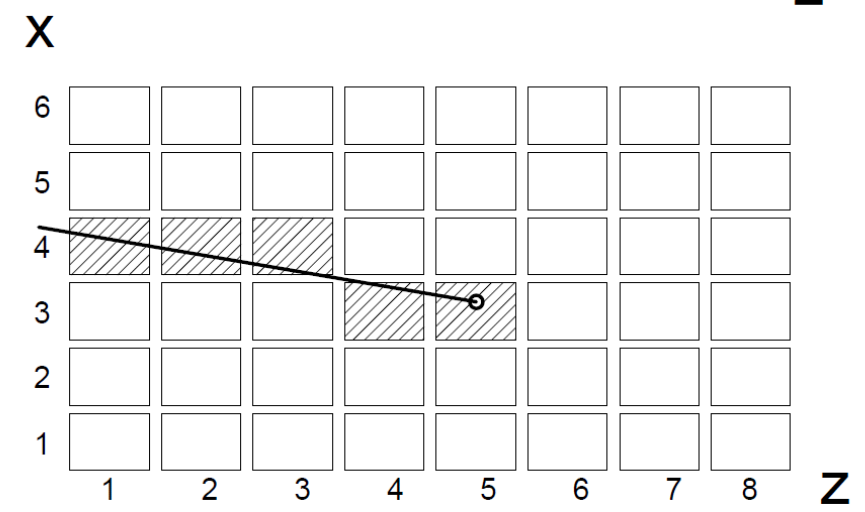
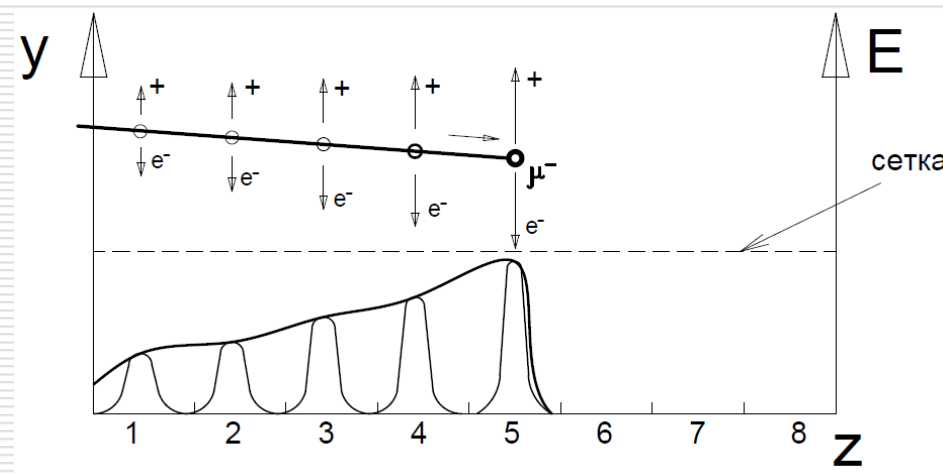
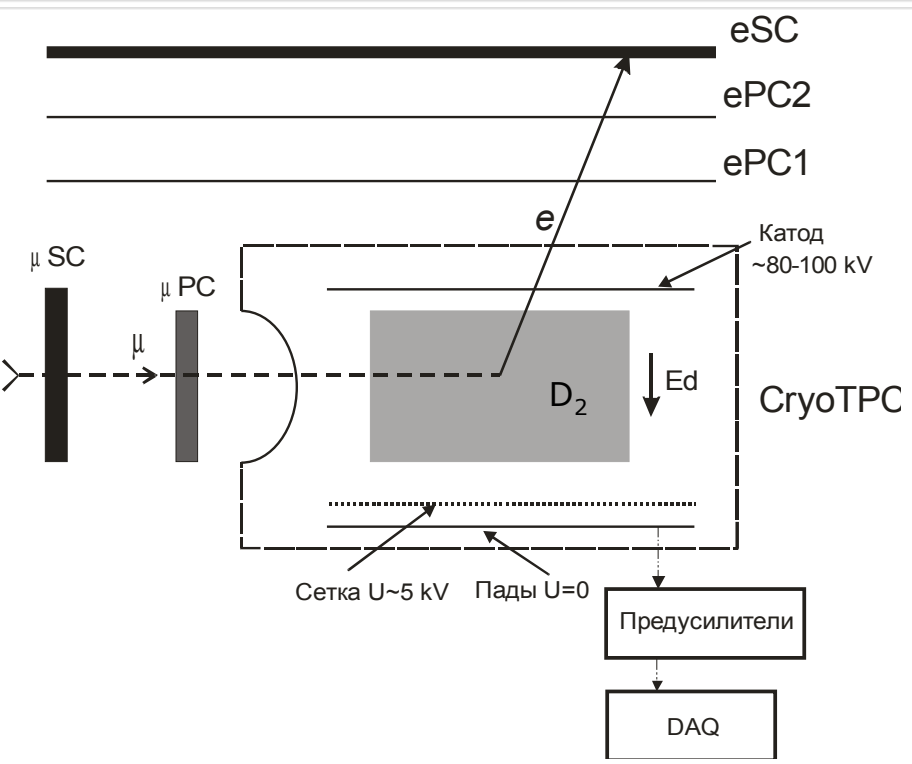


$\mu^-$        $\mu^+$

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

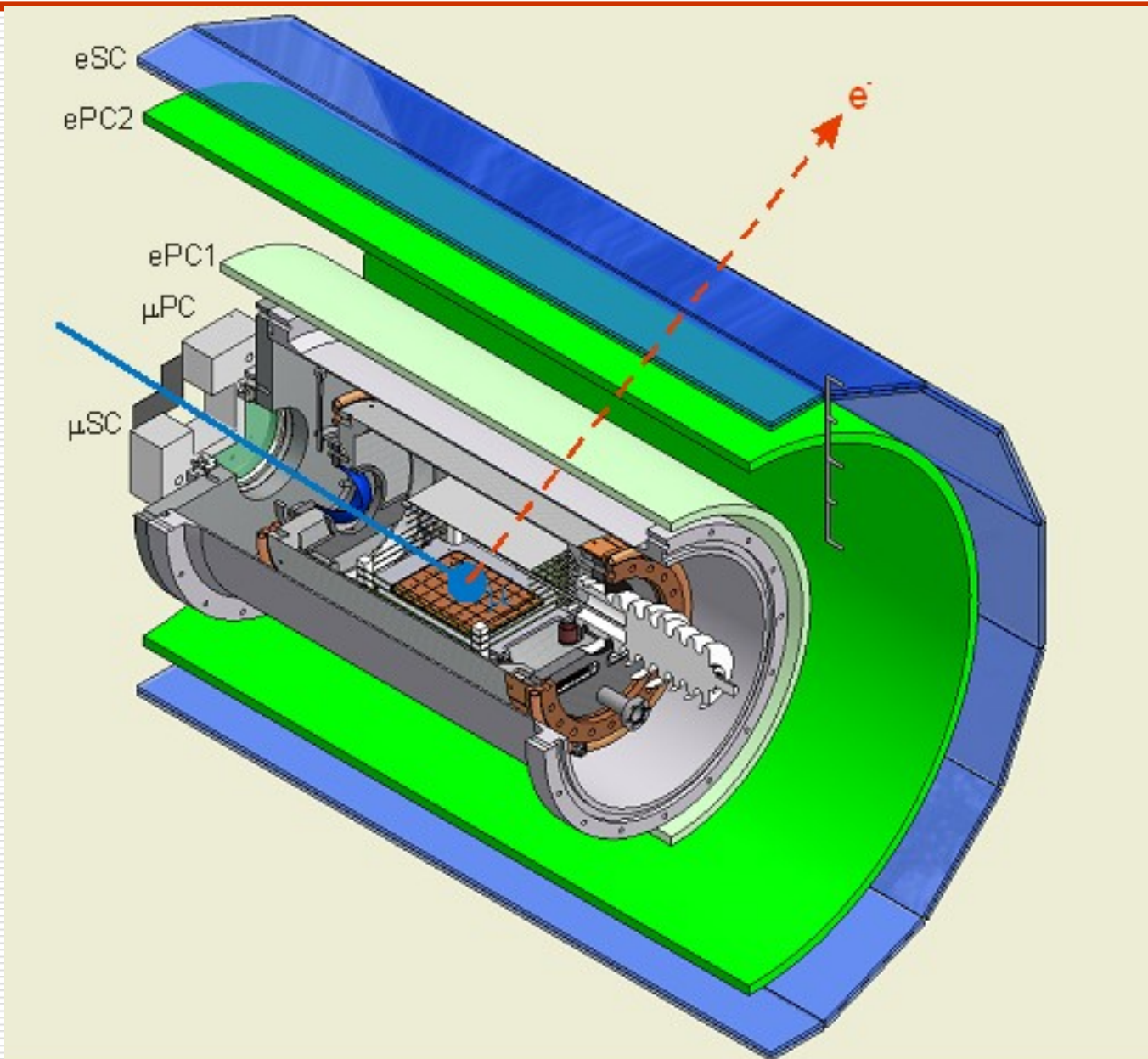


# Принцип работы время-проекционной камеры



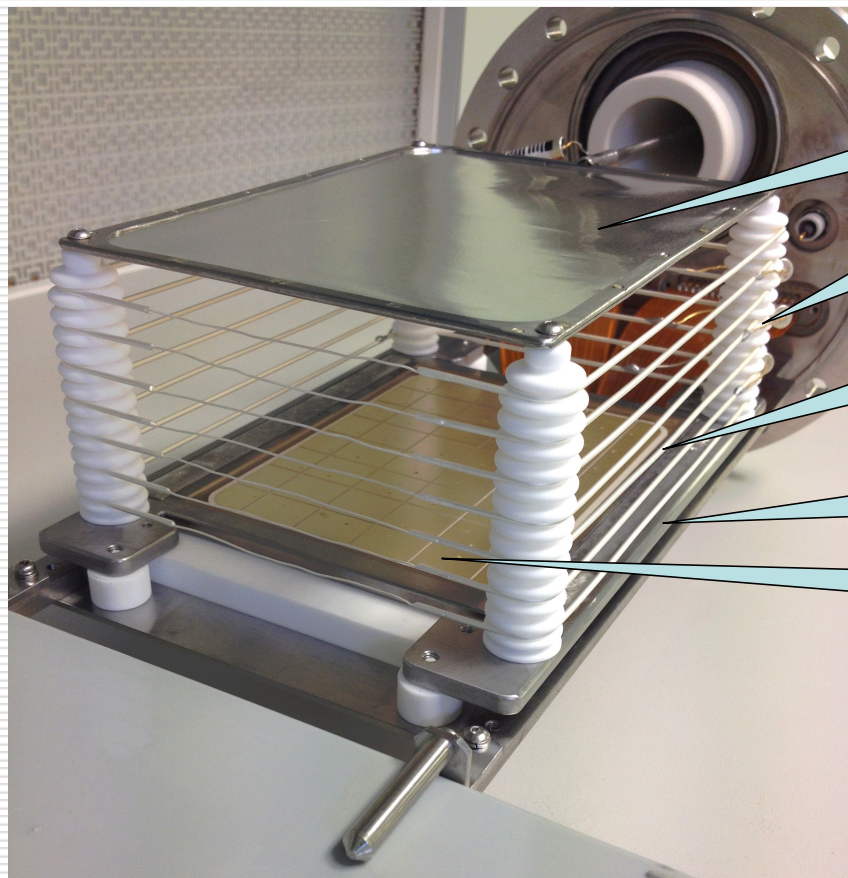


# С cryo\_TPC как активная мишень





# Time Projection Chamber (TPC)



Катод

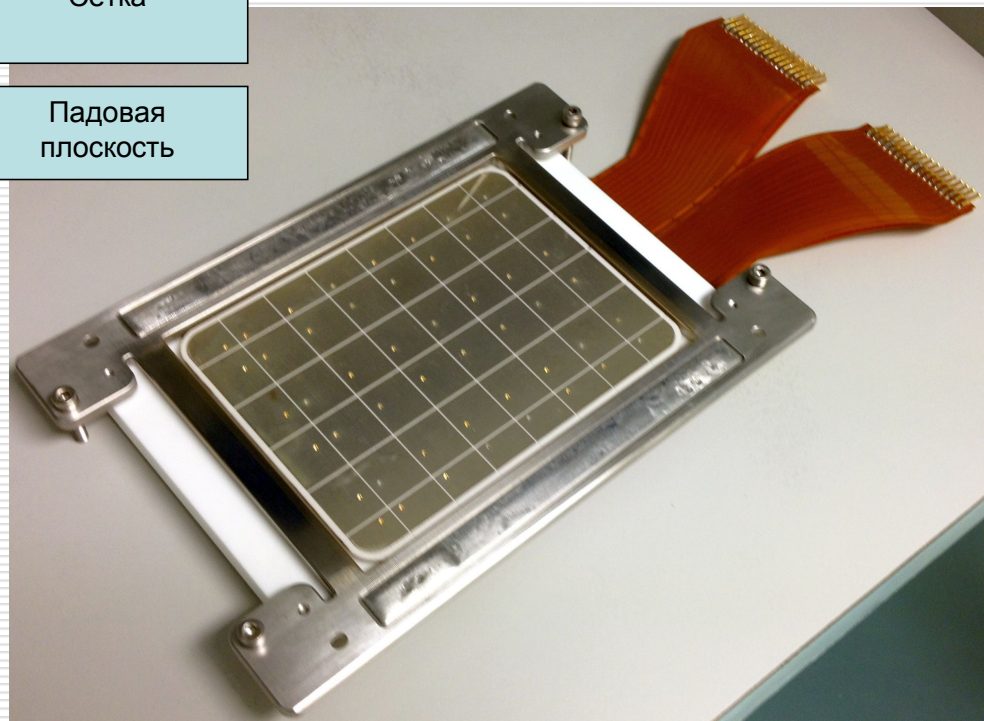
Стойка

Выравнивающая  
проволока

Сетка

Падовая  
плоскость

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

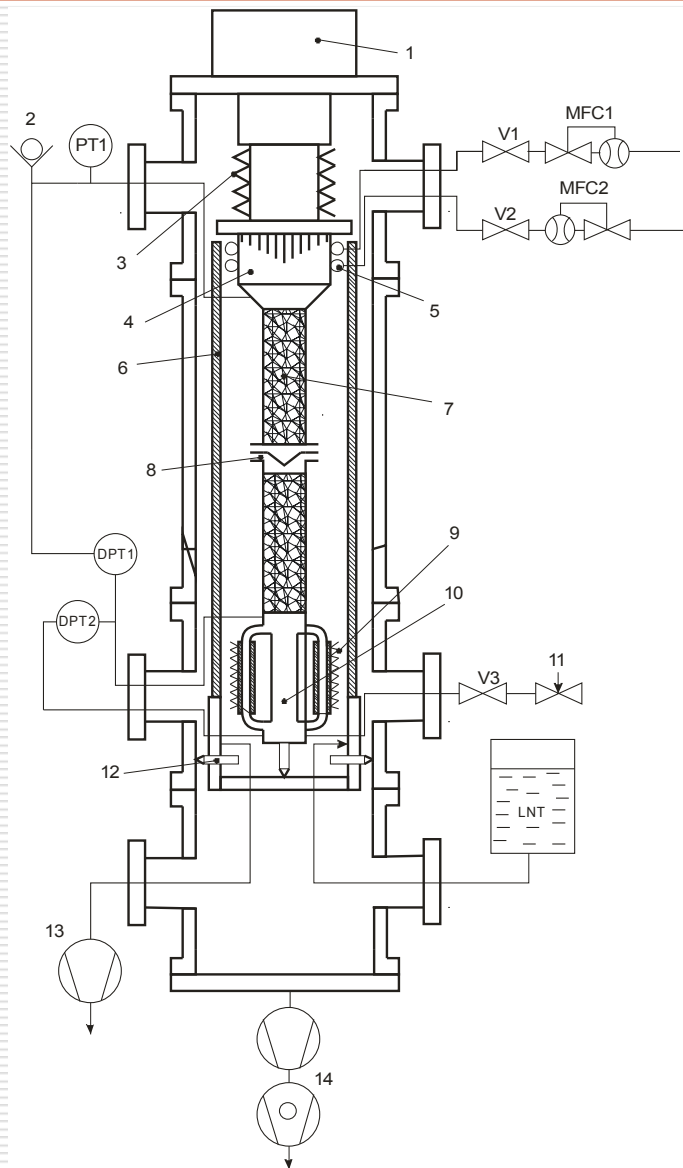
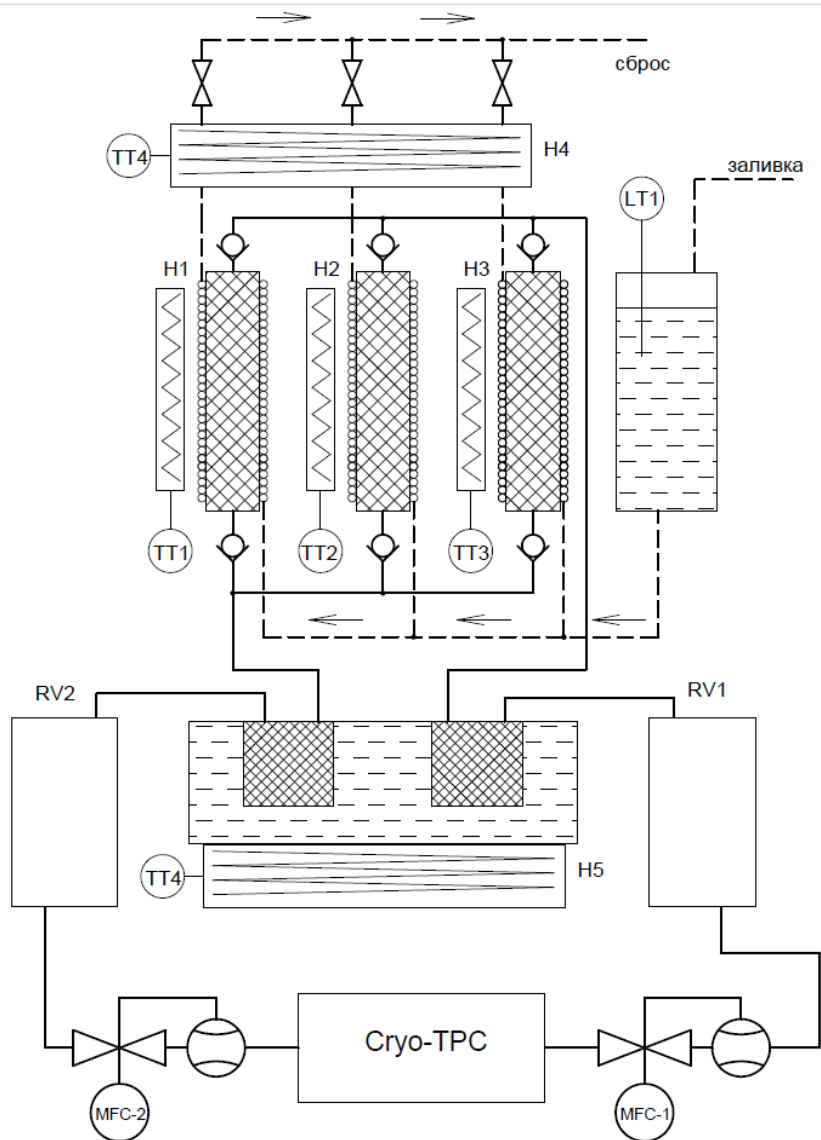






# Изотопная и химическая очистка дейтерия в системе

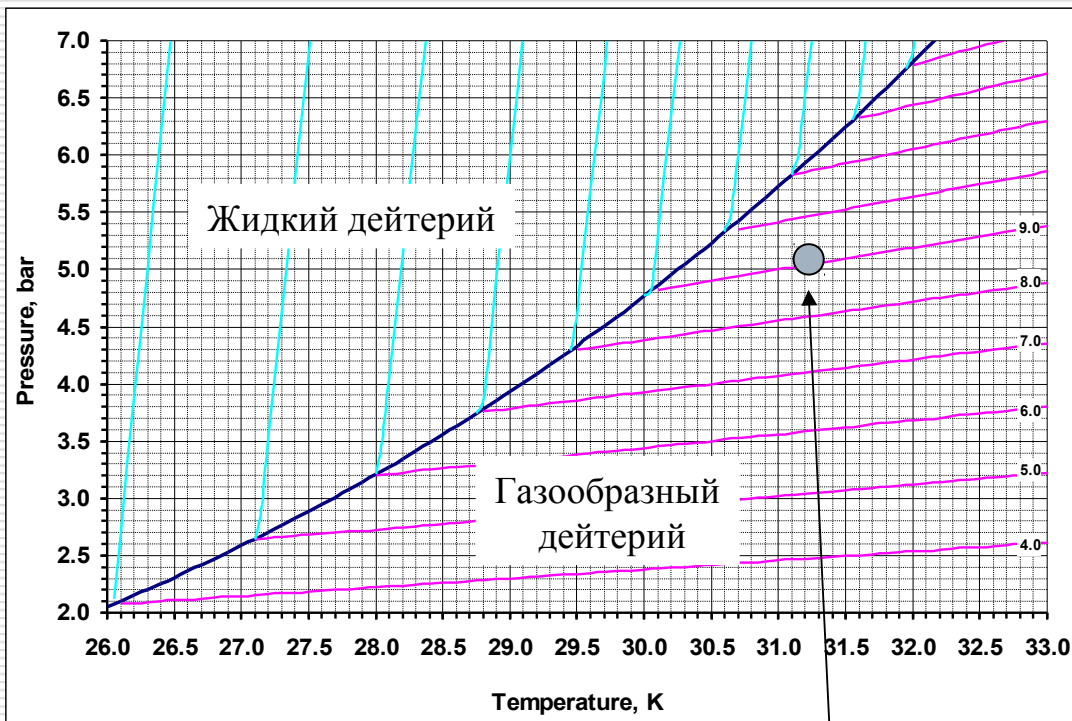
Начало работы CHUPS в PSI - 2004 год



Начало работы в PSI - 2006 год



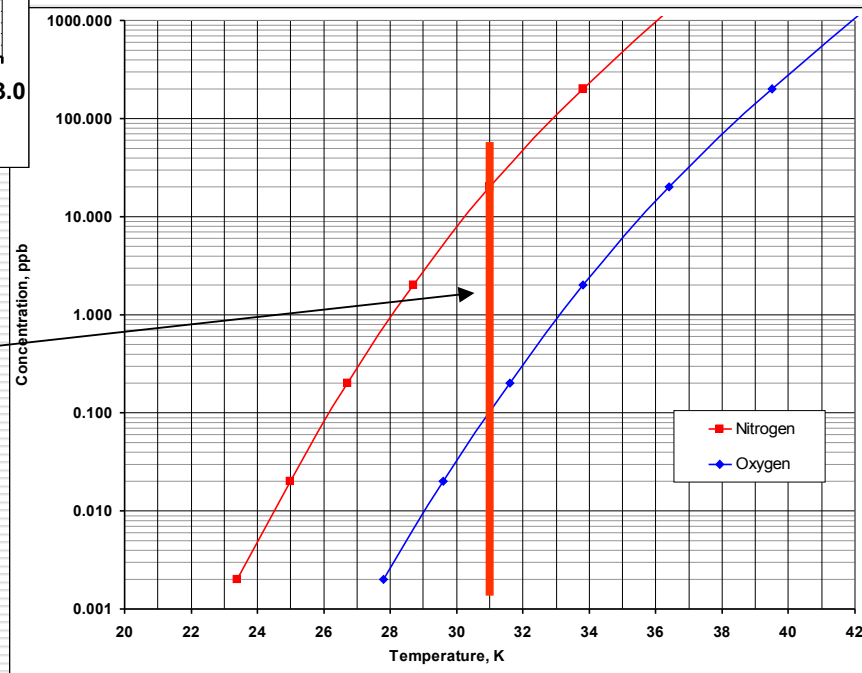
# Концентрация примесей

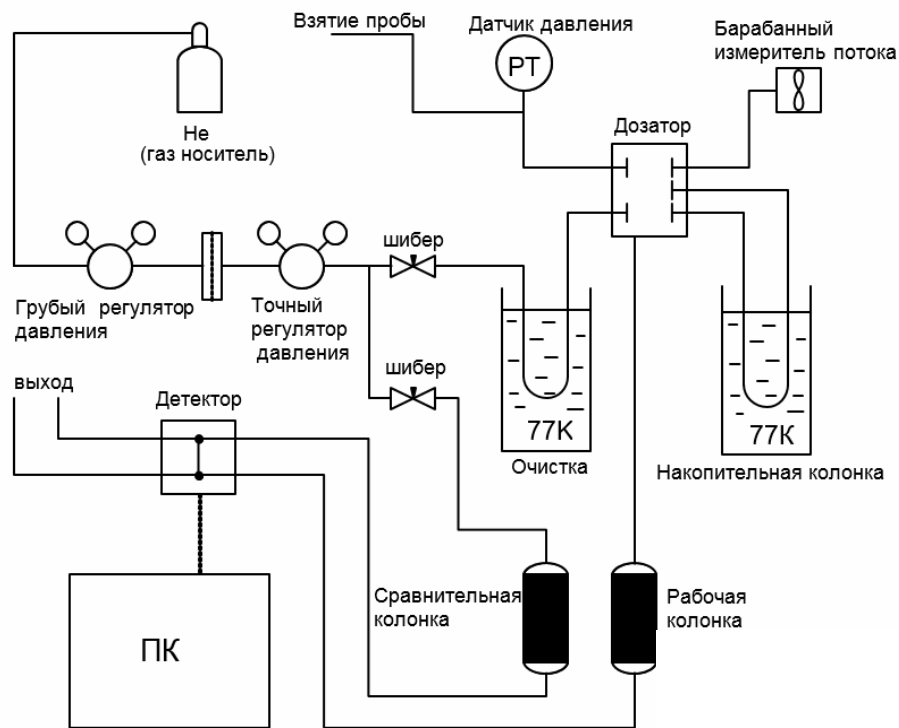


P-T диаграмма дейтерия (NIST)

Рабочая точка

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



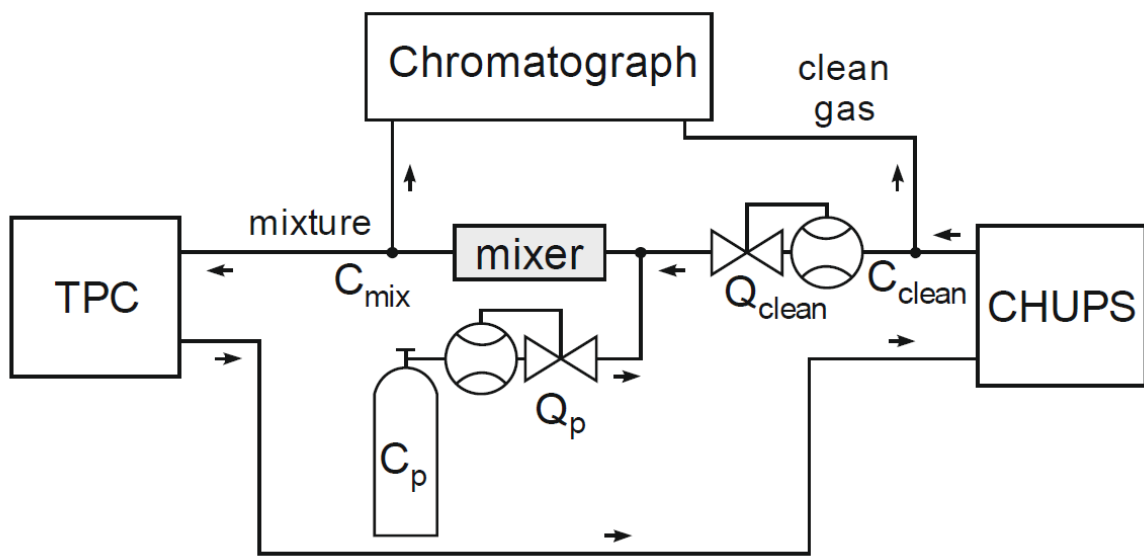


Метод накопления примесей перед хроматографическим анализом

Устойчивый предел чувствительности хроматографического метода при 10 l проб

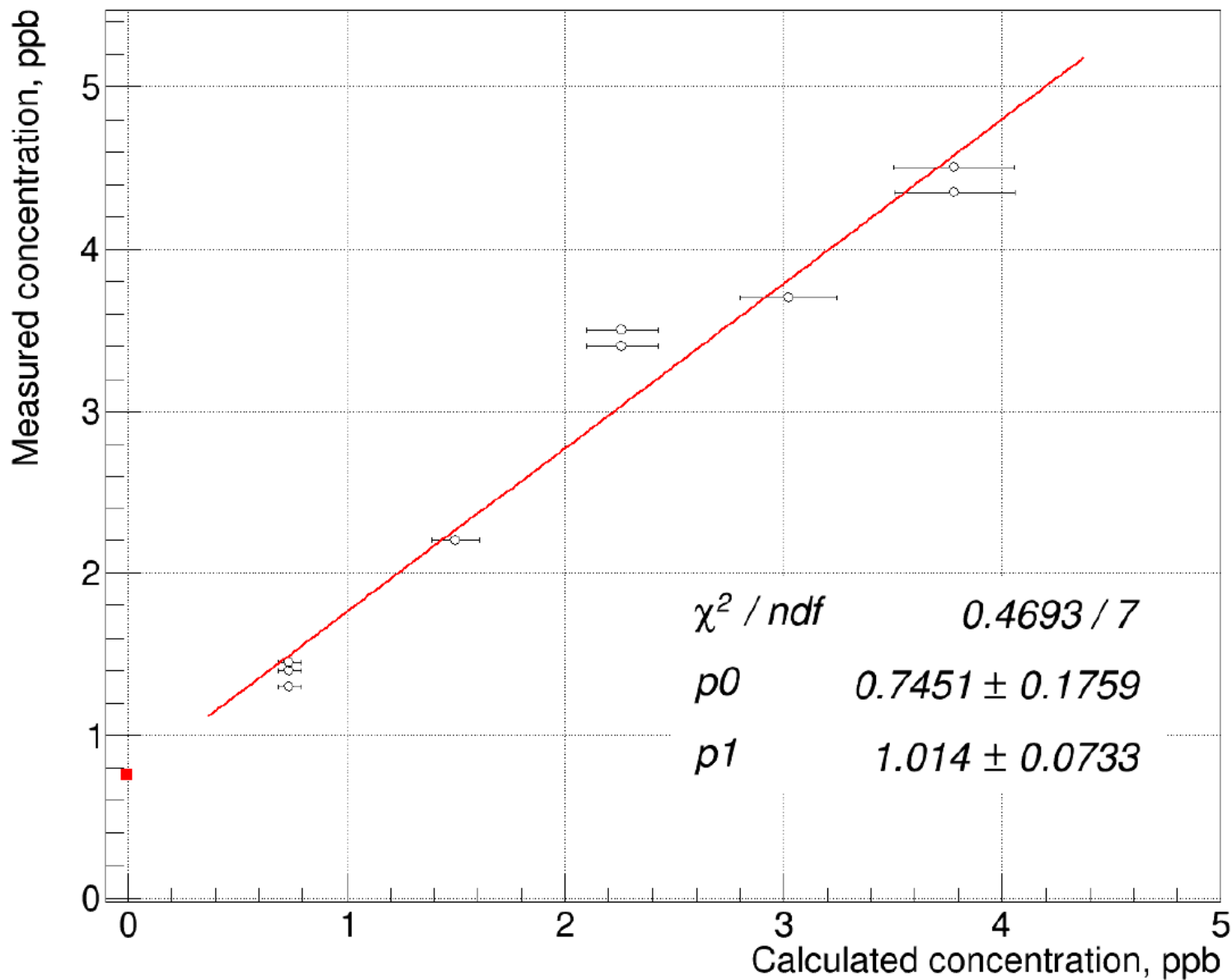
**< 1 ppb**

## Методика калибровки хроматографического метода





# Создание смеси газа с ИЗВЕСТНОЙ концентрацией азота





**Усредненные значения примеси азота за весь сеанс (3 месяца и 10 проб)**

**Концентрация азота на выходе системы охлаждения (CHUPS)  $0.92 \pm 0.08$  ppb**

**Концентрация азота на выходе детектора (TPC)  $1.31 \pm 0.09$  ppb**

**За весь сеанс (3 месяца) через систему очистки пропущено  $595 \text{ m}^3$  дейтерия.**

**В системе очистки ДОЛЖНО остаться**

$$595 \cdot 10^6 \cdot (1.31 \cdot 10^{-9} - 0.92 \cdot 10^{-9}) \text{ cm}^3 = 0.23 \text{ cm}^3 \text{ азота}$$

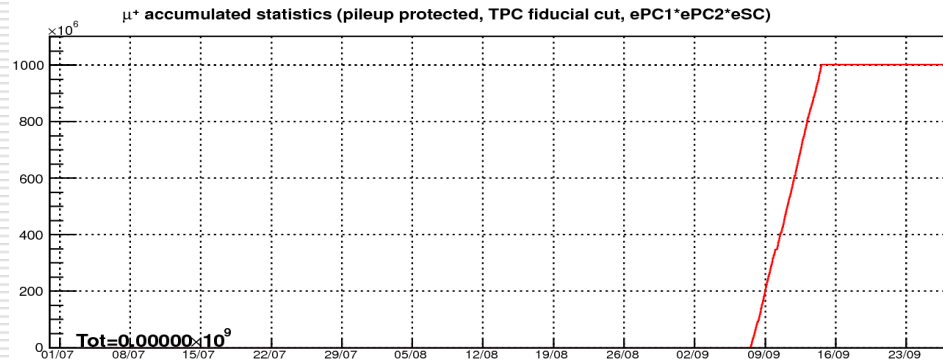
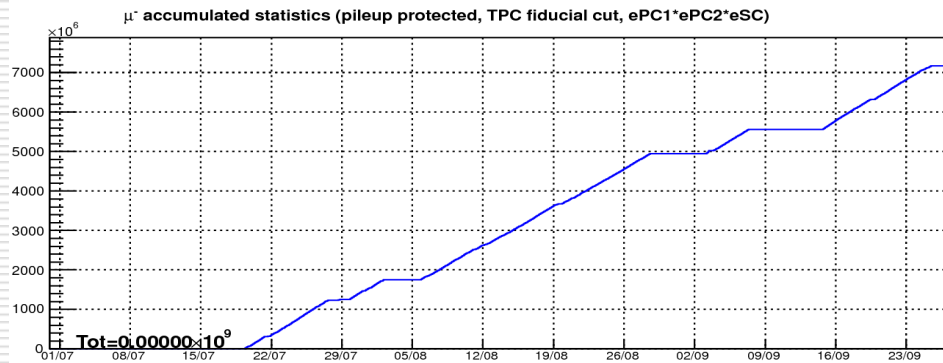
**После окончания сеанса ВЕСЬ собранный азот был выделен в  $50 \text{ l}$  дейтерия.**

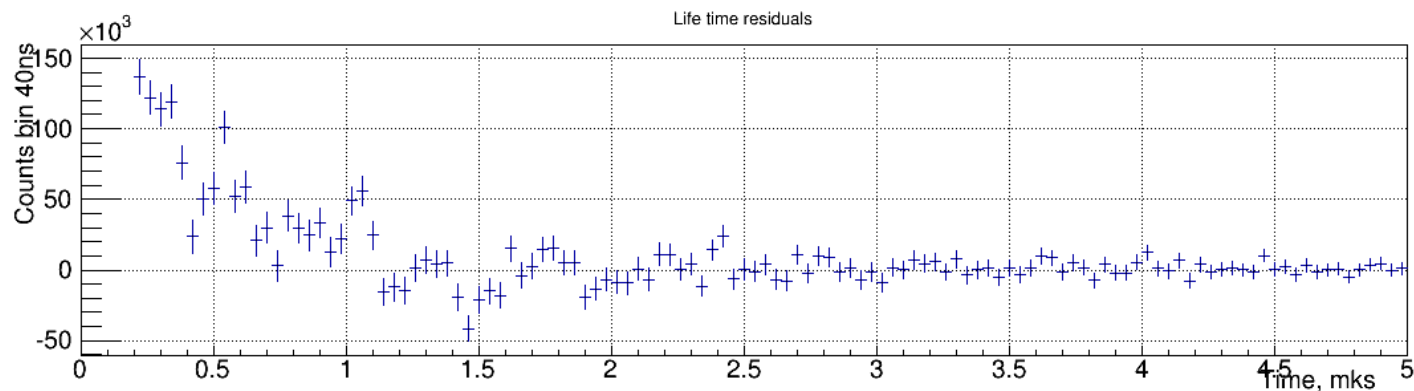
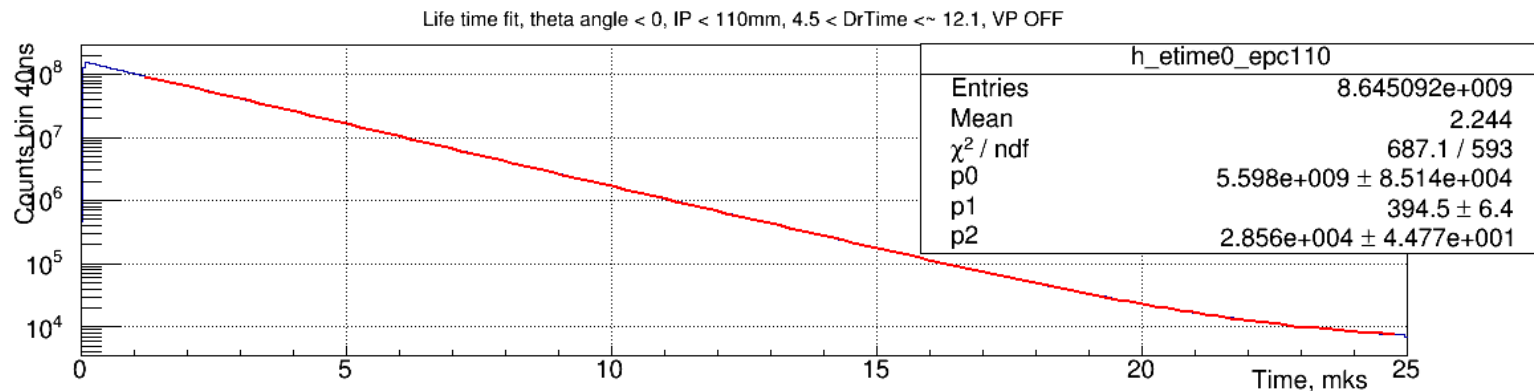
**Измеренная концентрация –  $6 \text{ ppm}$ , что соответствует**

$$50 \cdot 10^3 \cdot 6 \cdot 10^{-6} = 0.30 \text{ cm}^3 \text{ азота}$$



# Динамика набора данных во время сеанса 2015 года







обработка данных

обработка данных





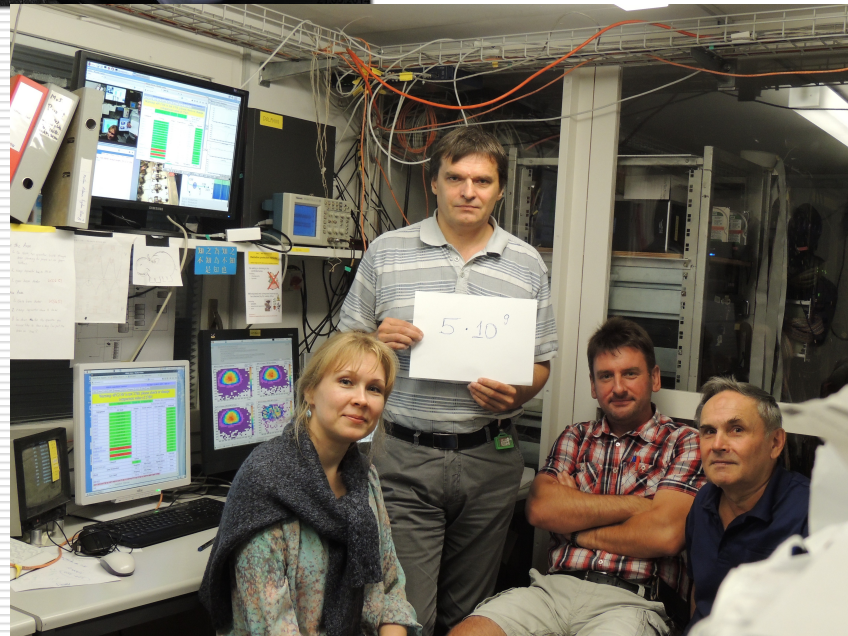
# История набора данных в картинках

2014 год  
Первая половина  
статистики



2013 год  
Обсуждение  
неудачного сеанса  
(воспитательная работа)

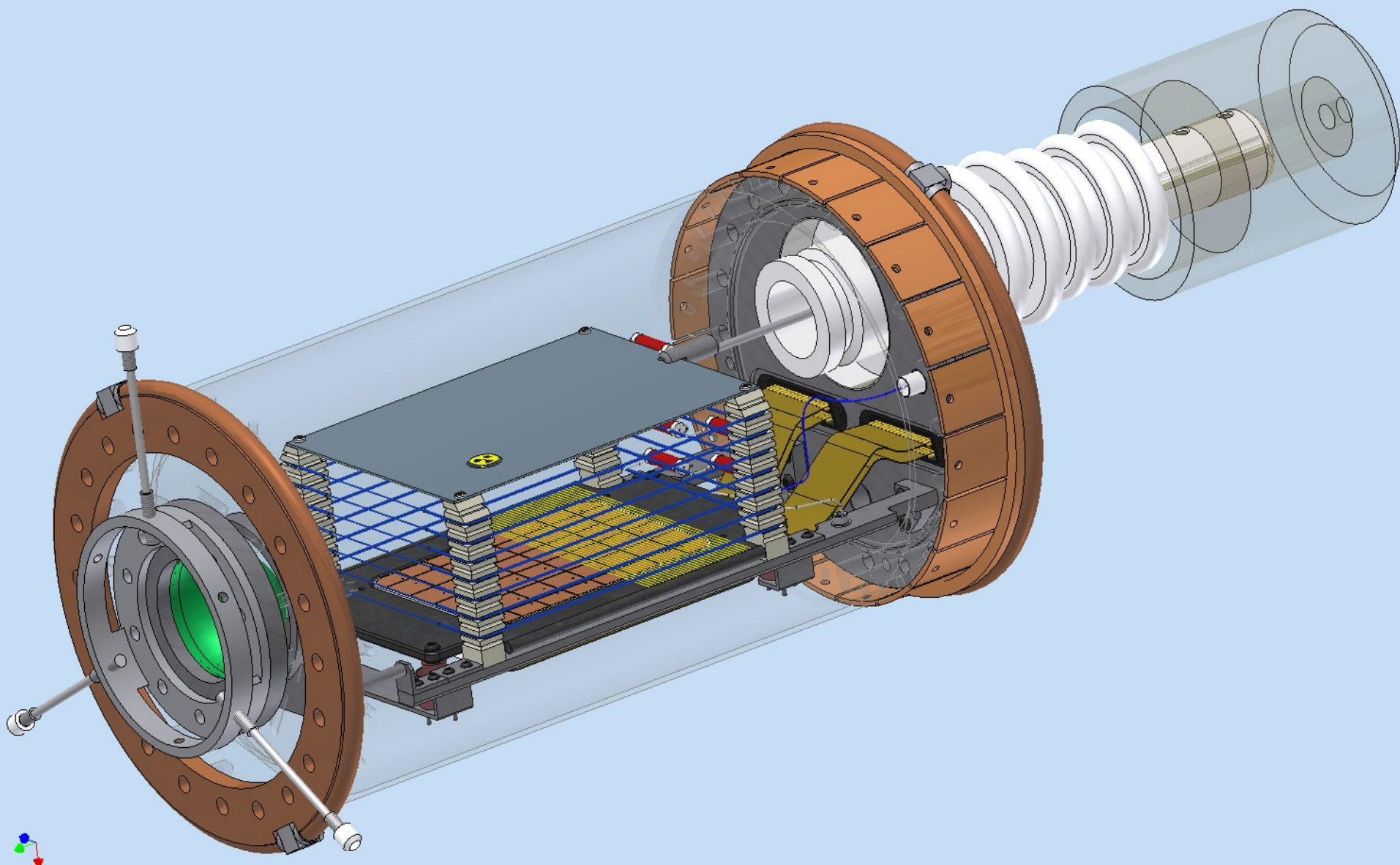
2015 год  
Вторая половина  
статистики

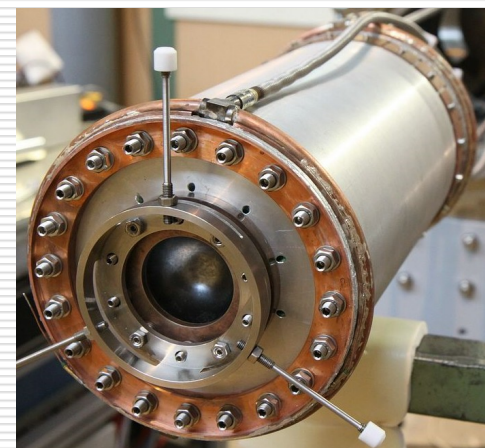
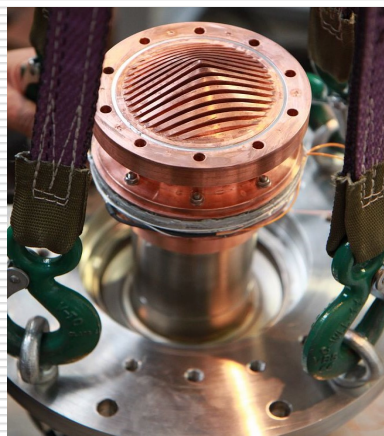
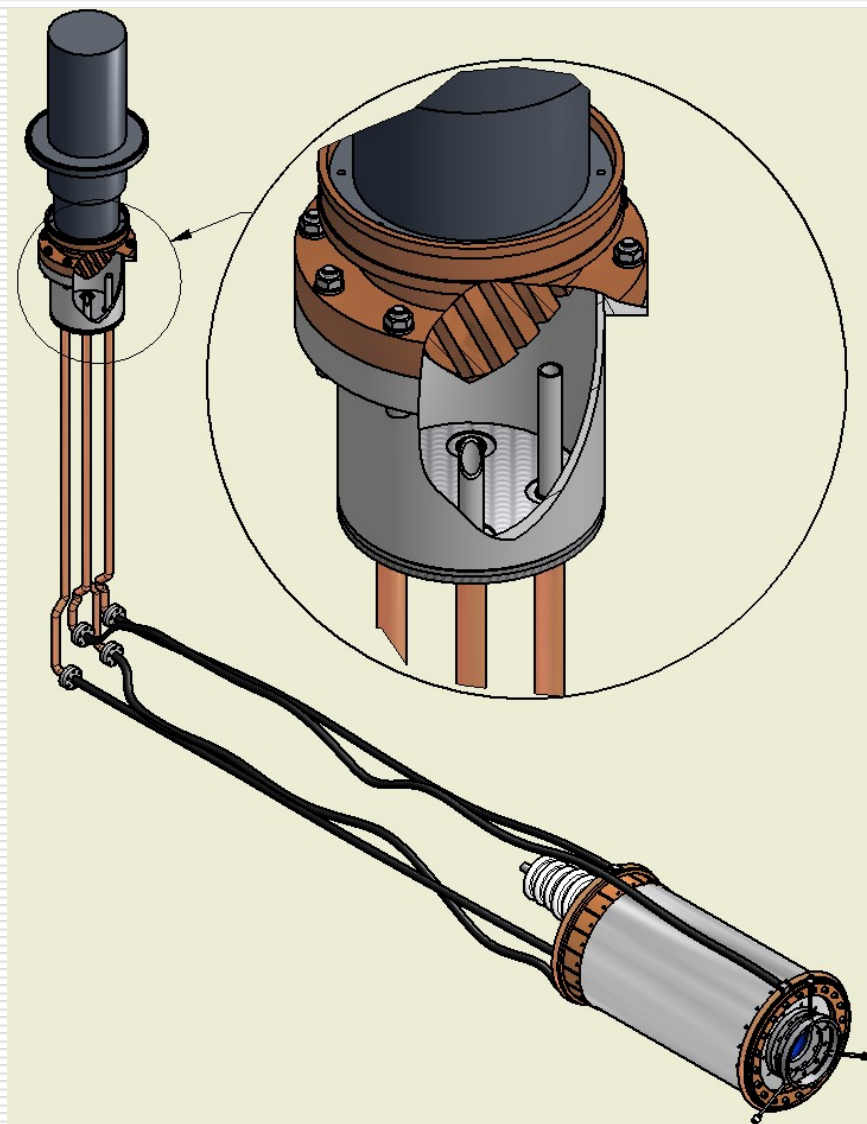


23.12.15

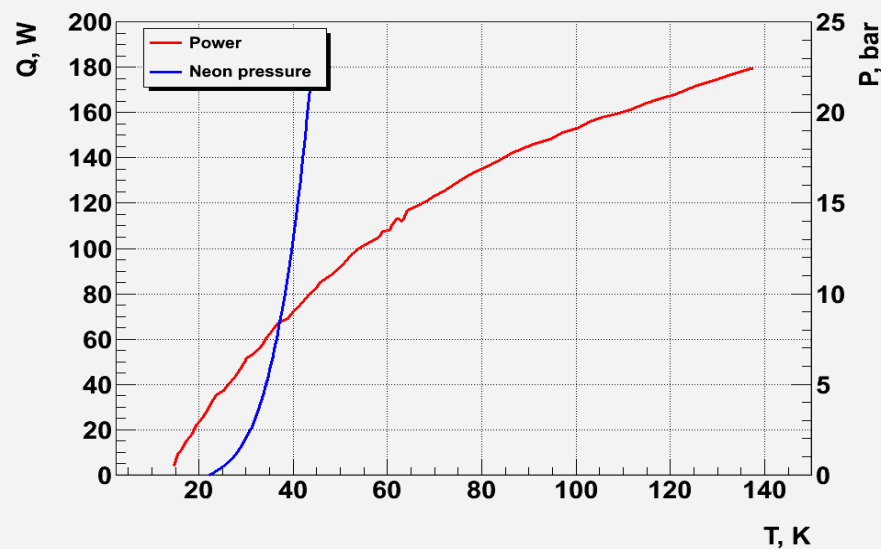
А. Васильев

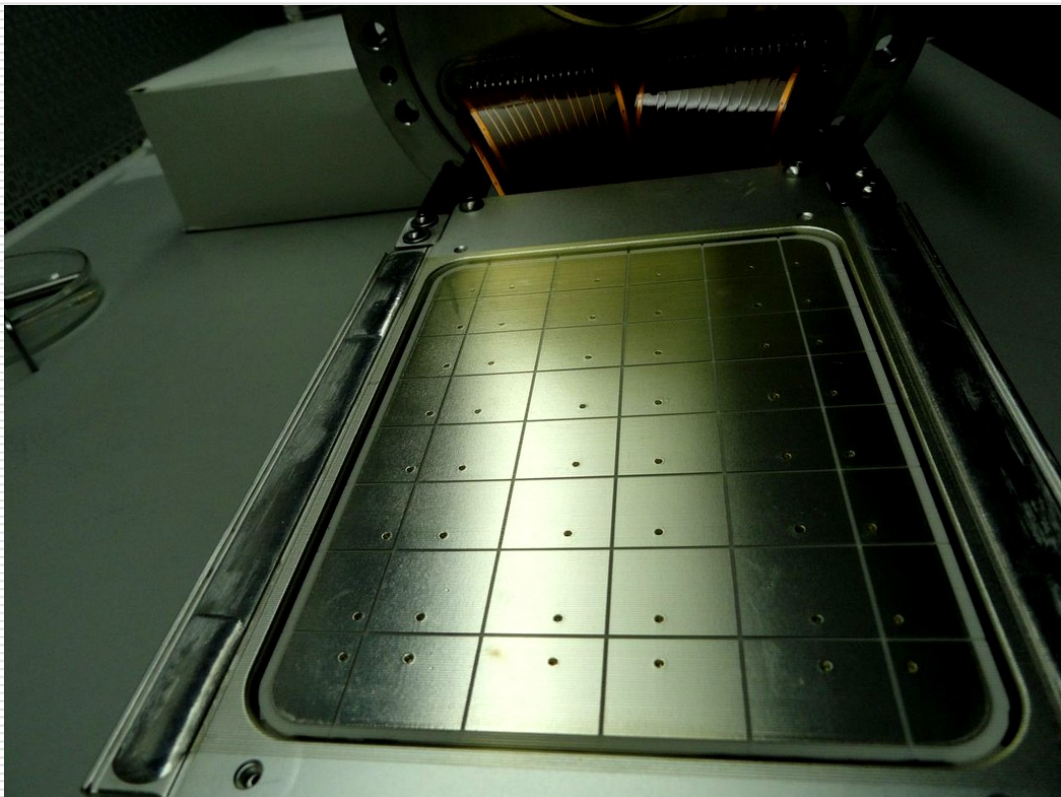
17



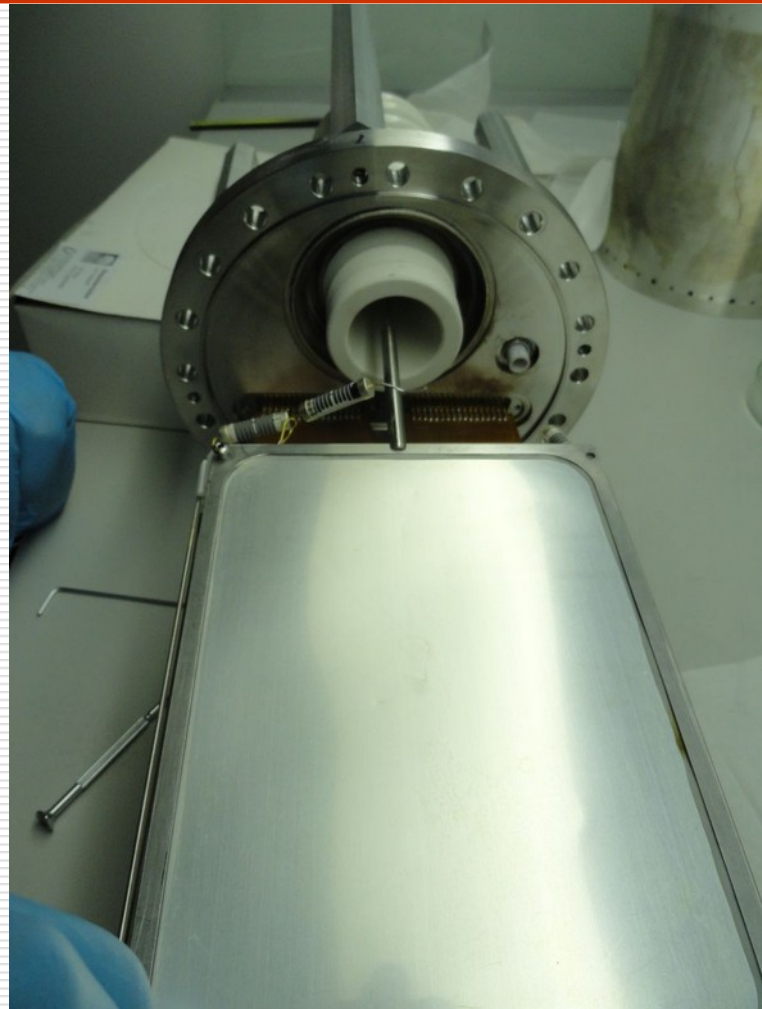


Cold head power and neon pressure





**Падовая плоскость с серебряными падами**



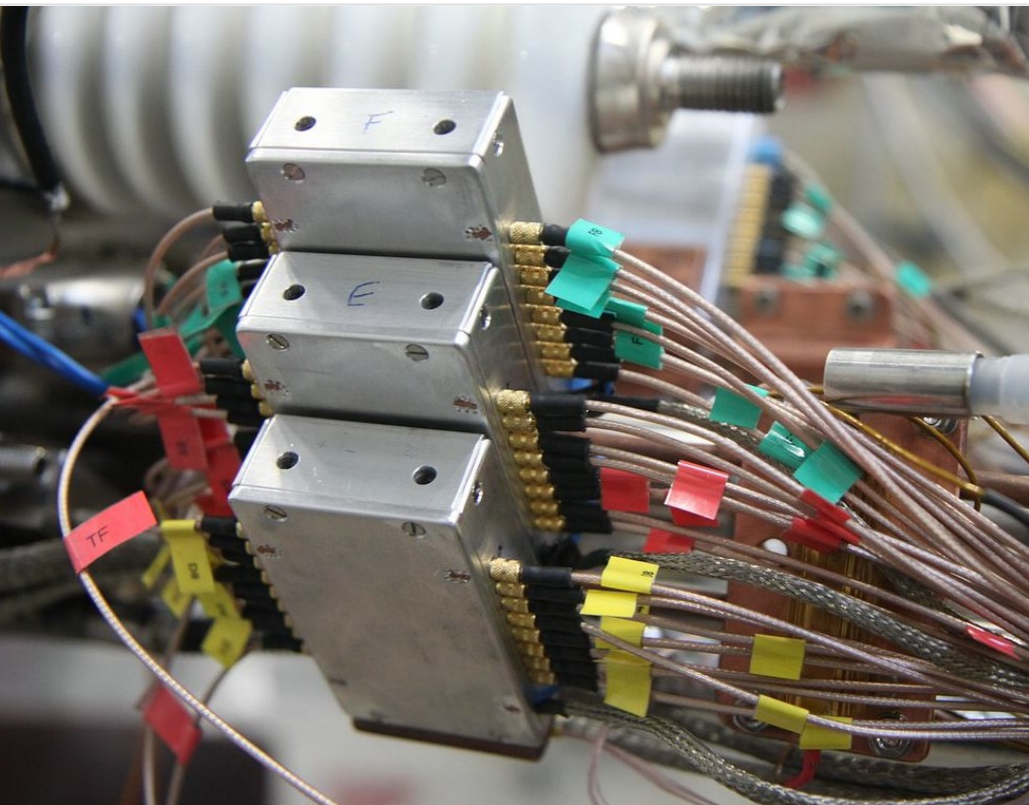
**Катодная плоскость из серебряной фольги**



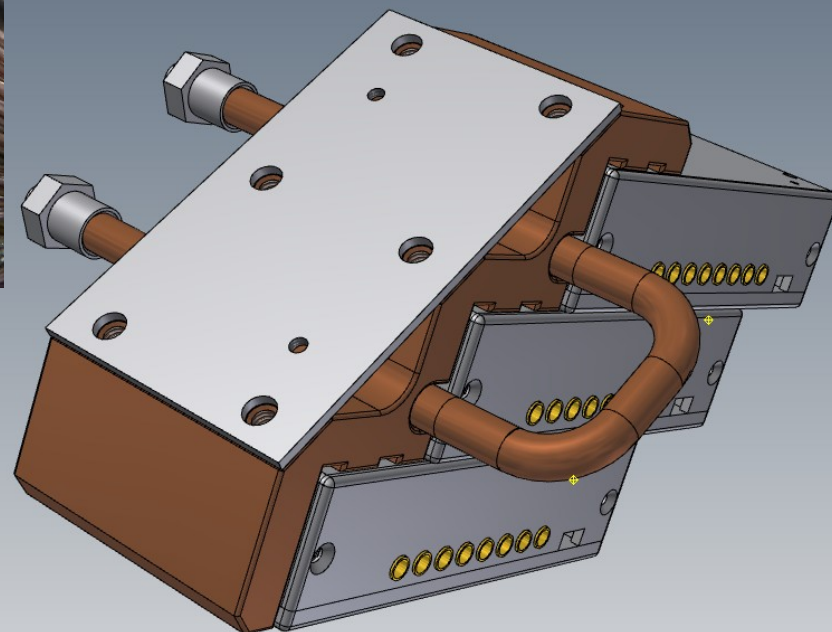
**Линия автоматической подачи азота в CHUPS и криогенные преусилители**



**Нолвый блок системы неоновой тепловой трубы**

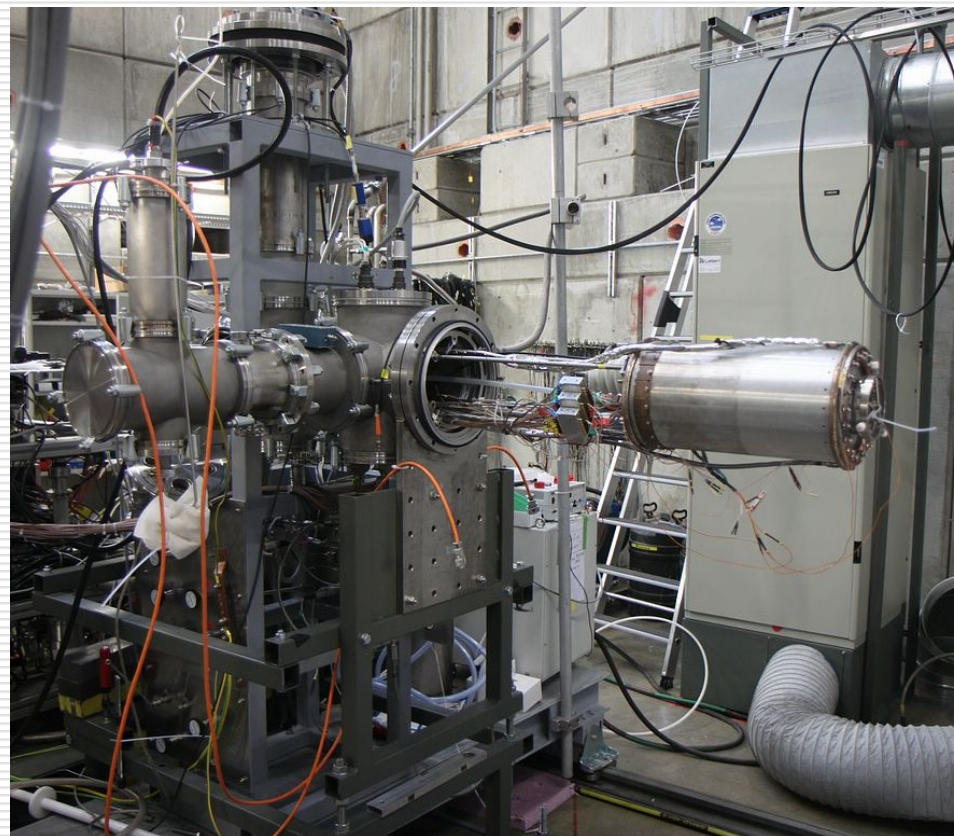
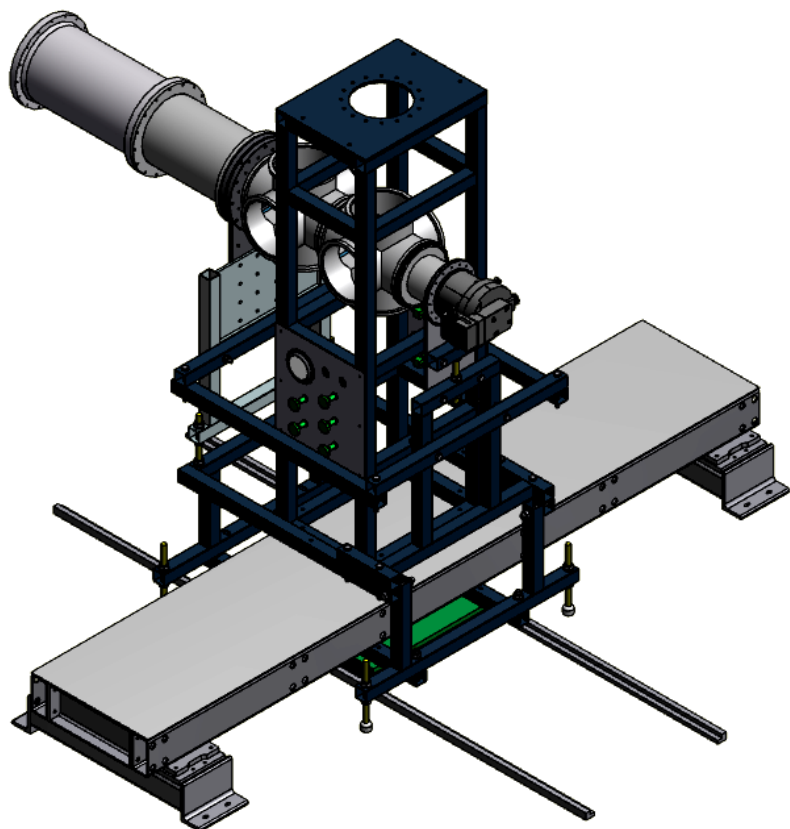


**Энергетическое разрешение 25 kV (против 40 kV в предыдущем эксперименте)**



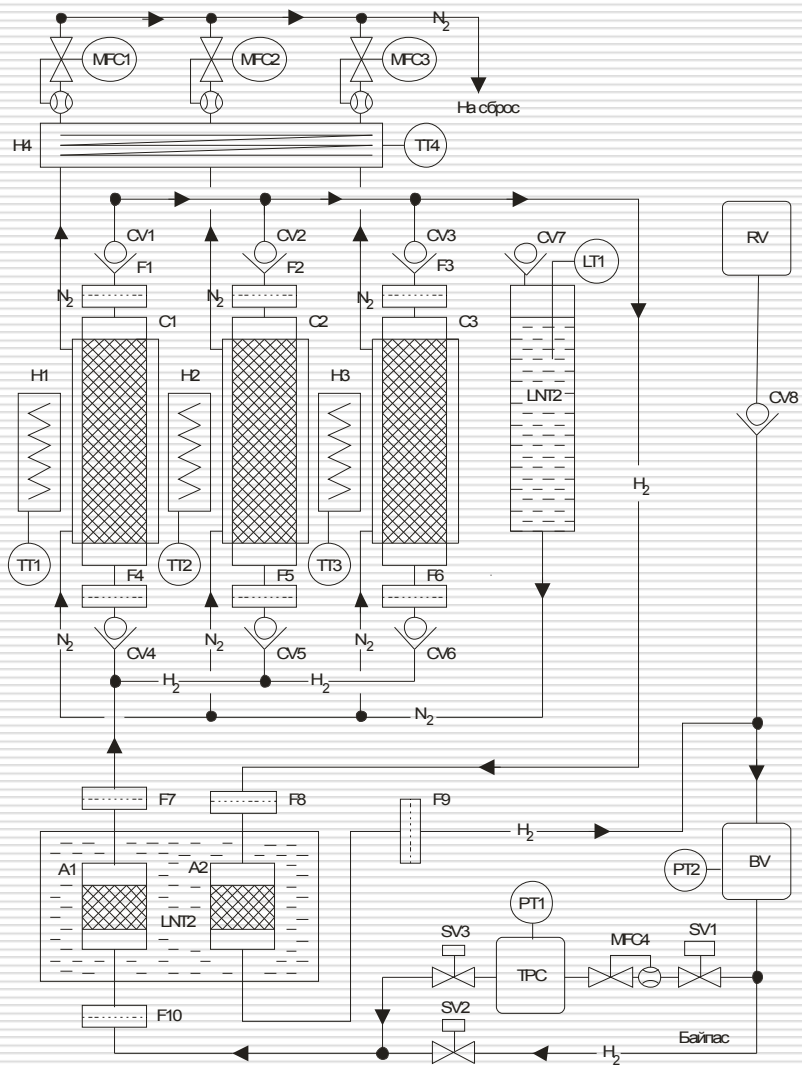


# Новая система поддержки камеры

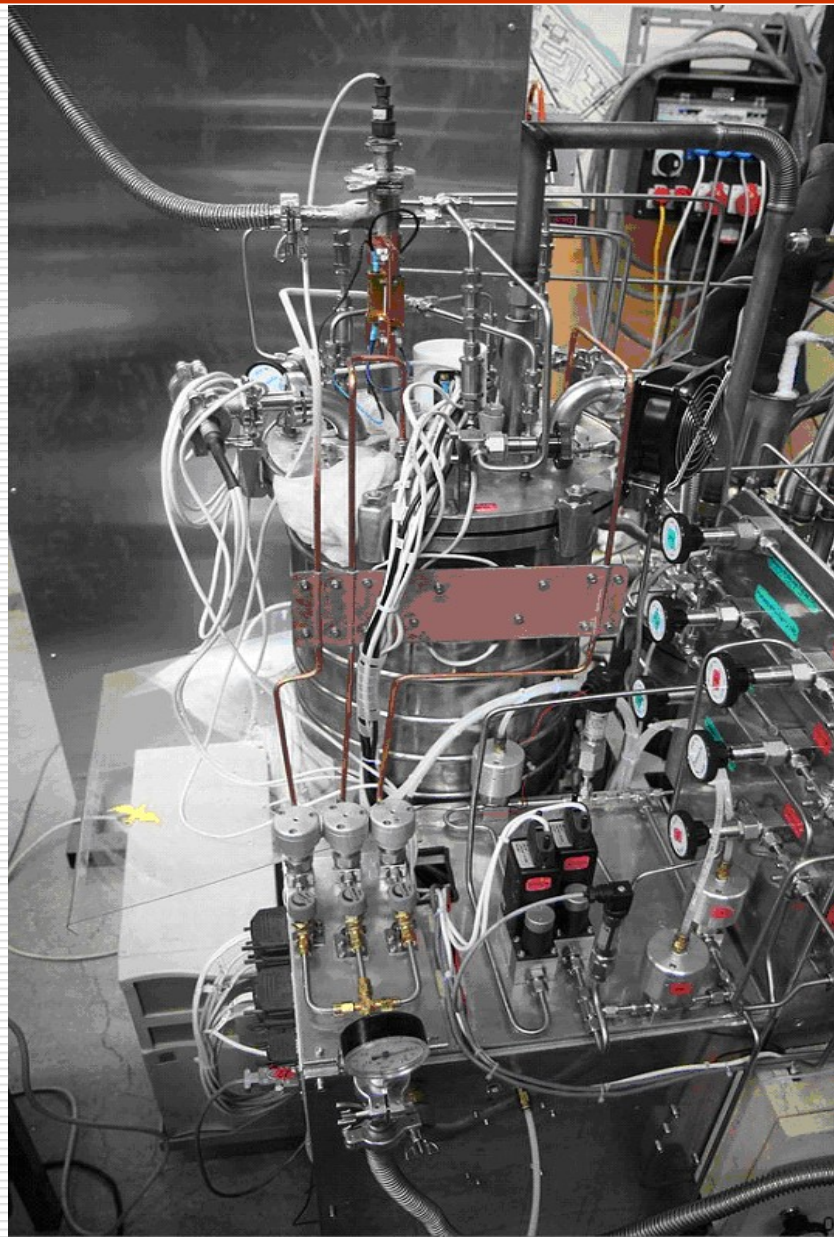




# Компрессоры CHUPS

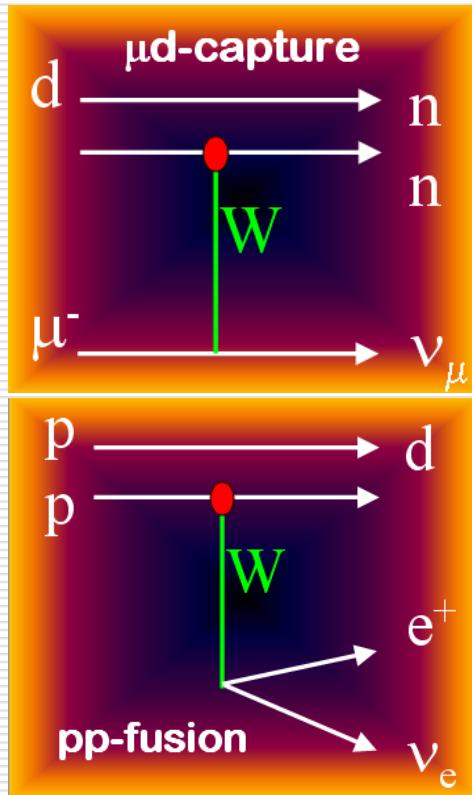








# Цель и мотивация эксперимента



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



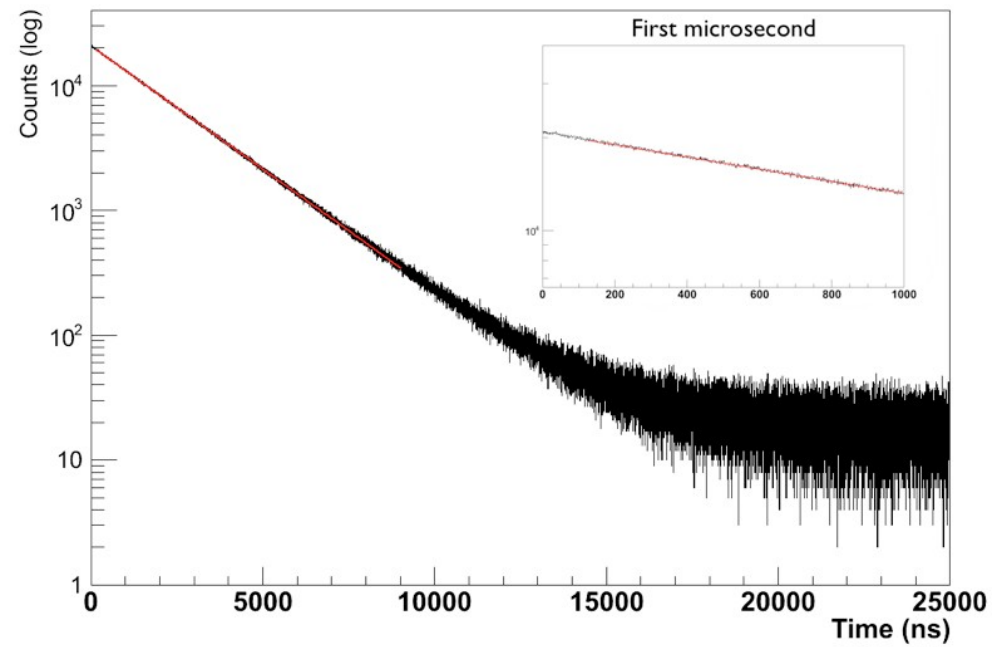
Ядерная реакция синтеза двух протонов идёт на Солнце и является основным источником солнечной энергии и электронных нейтрино.

Реакции используются для регистрации потоков нейтрино в нейтринных экспериментах.

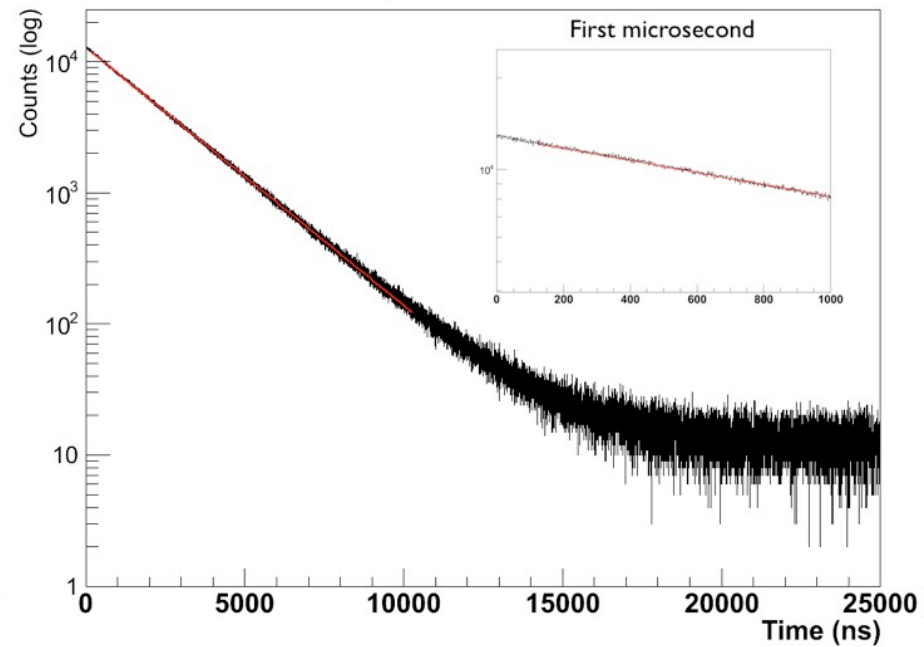


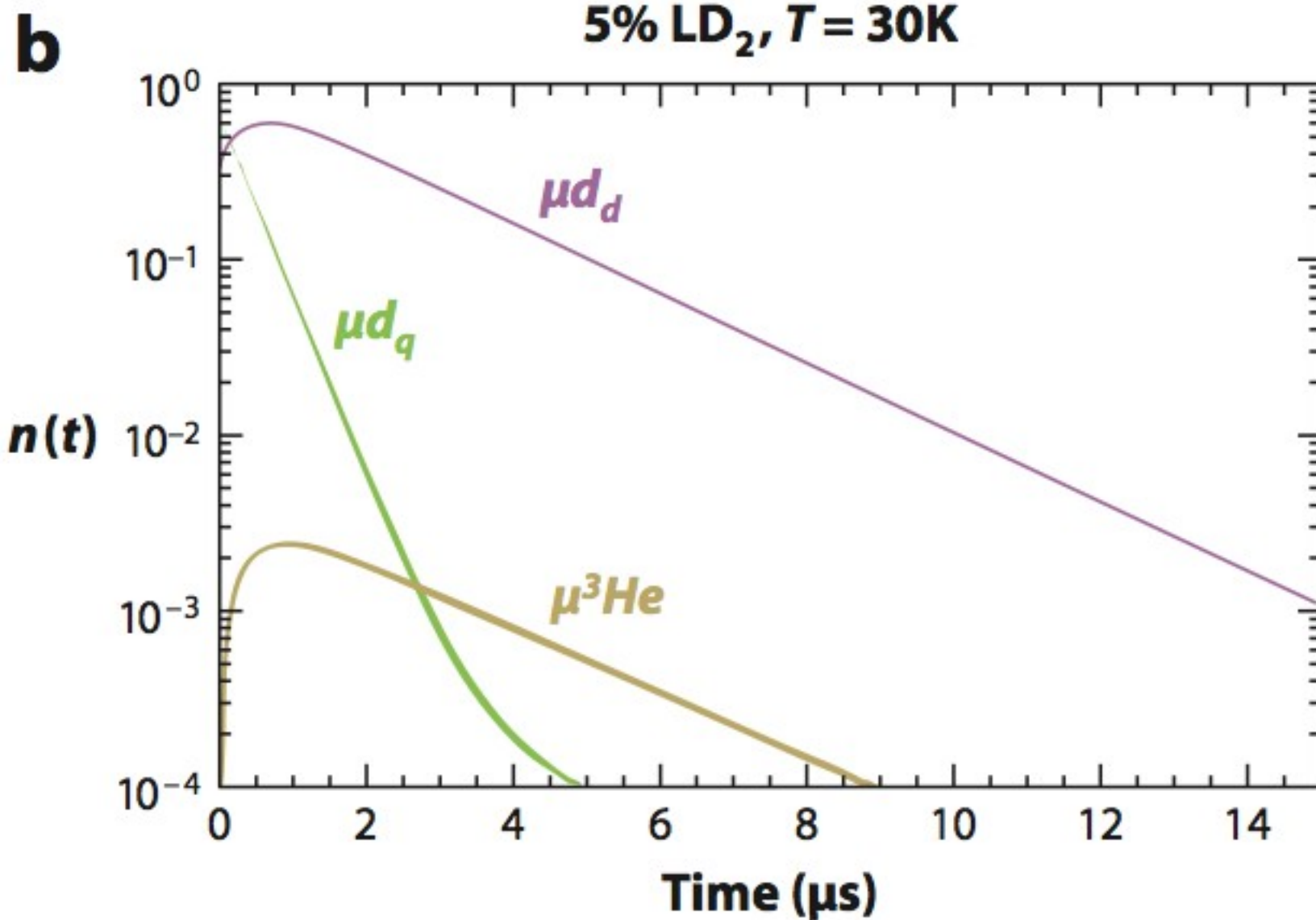


$\mu^-$  Lifetime



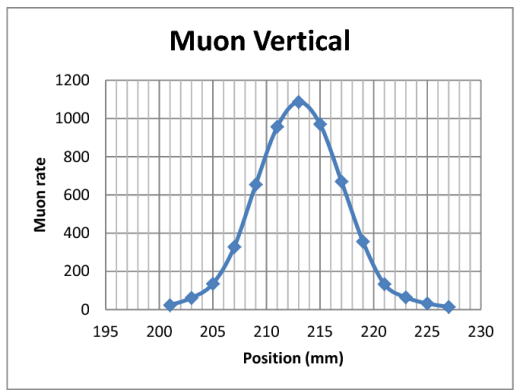
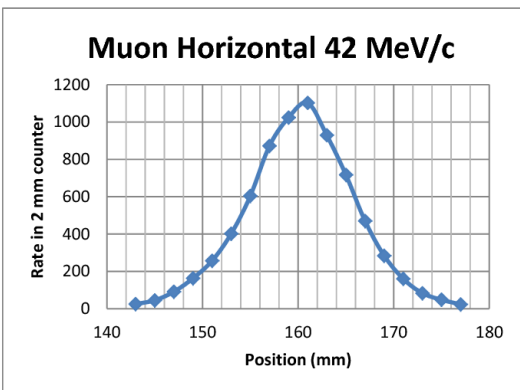
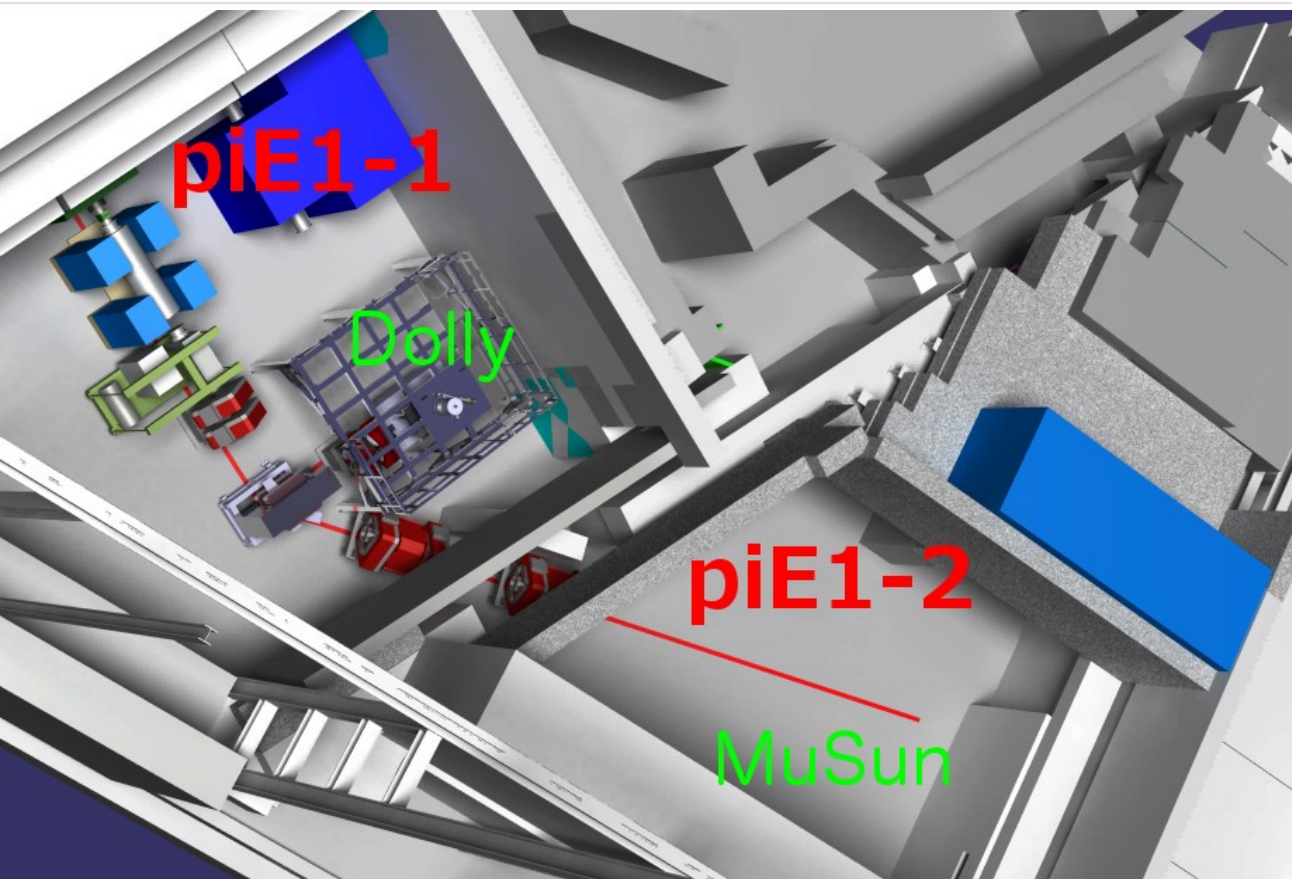
$\mu^+$  Lifetime



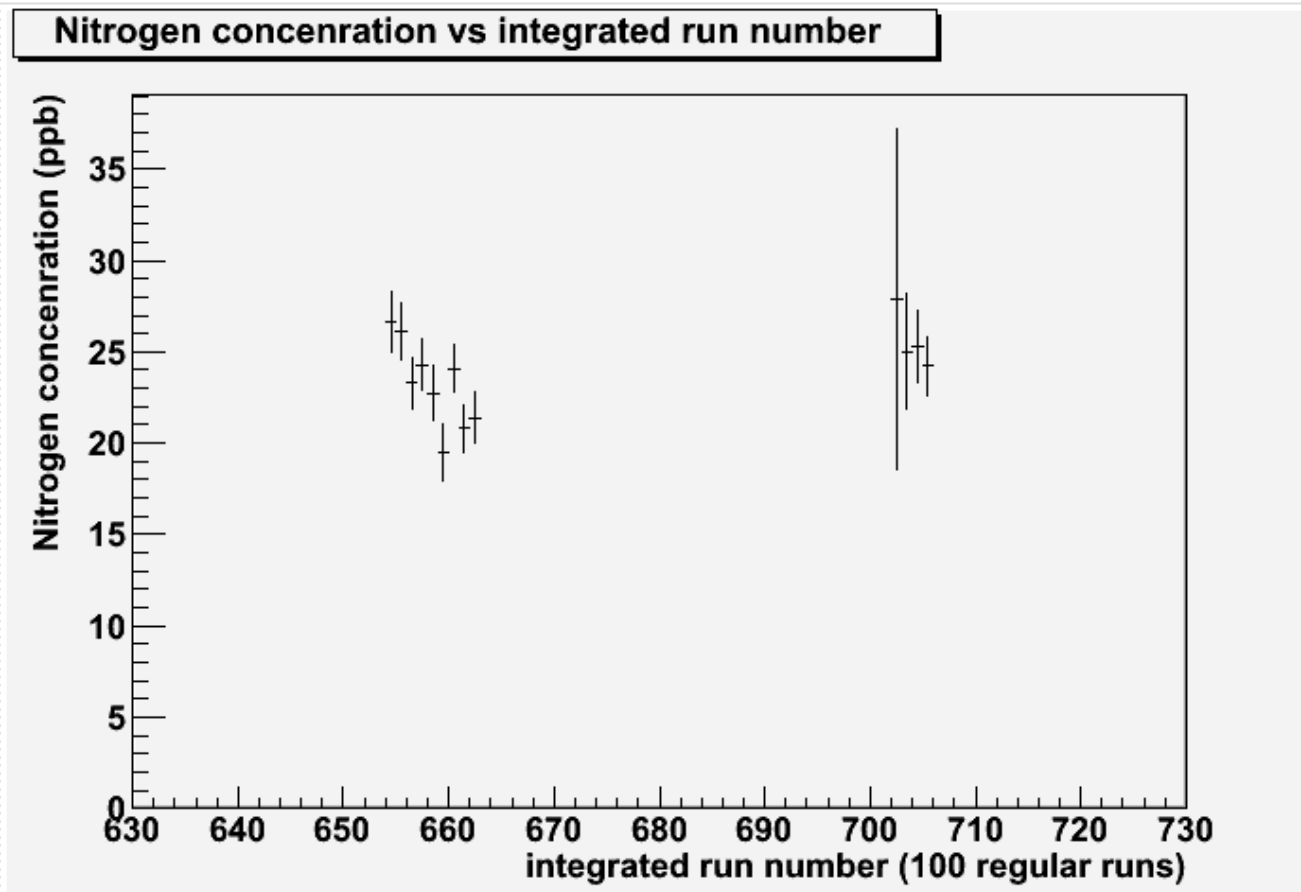




# Проводка пучка к экспериментальной установке



$\mu$ SC muon rate with kicker (kHz)	$\mu$ 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  $20 \pm 4$  ppb

Давление насыщенных паров азота (определяется температурой) =  $22 \pm 10$  ppb

