



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

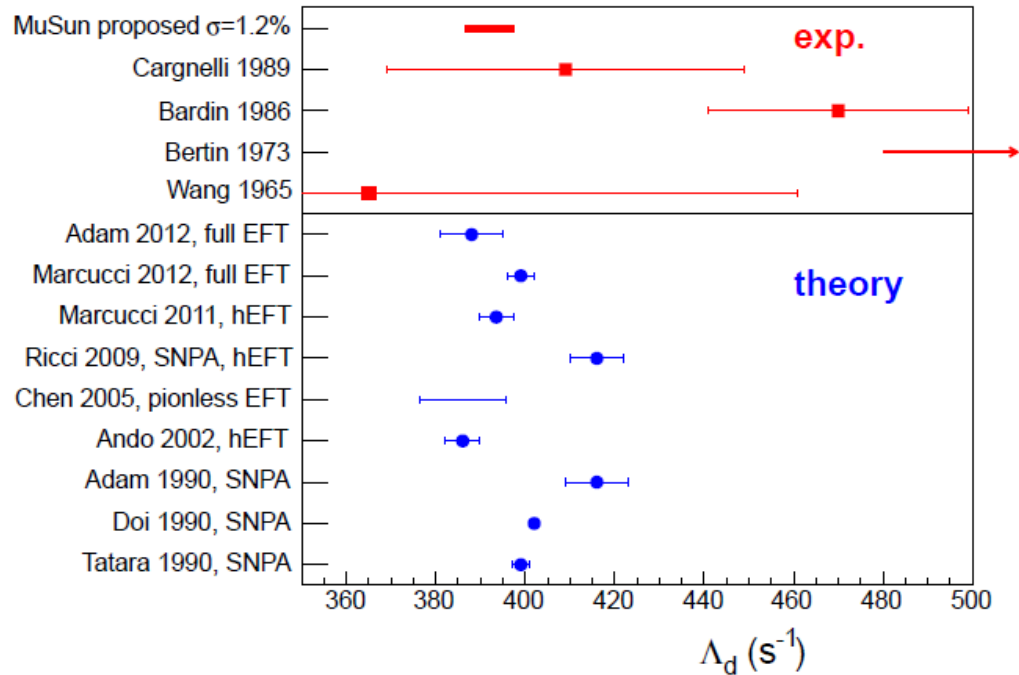
Regis University, University of South Carolina

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

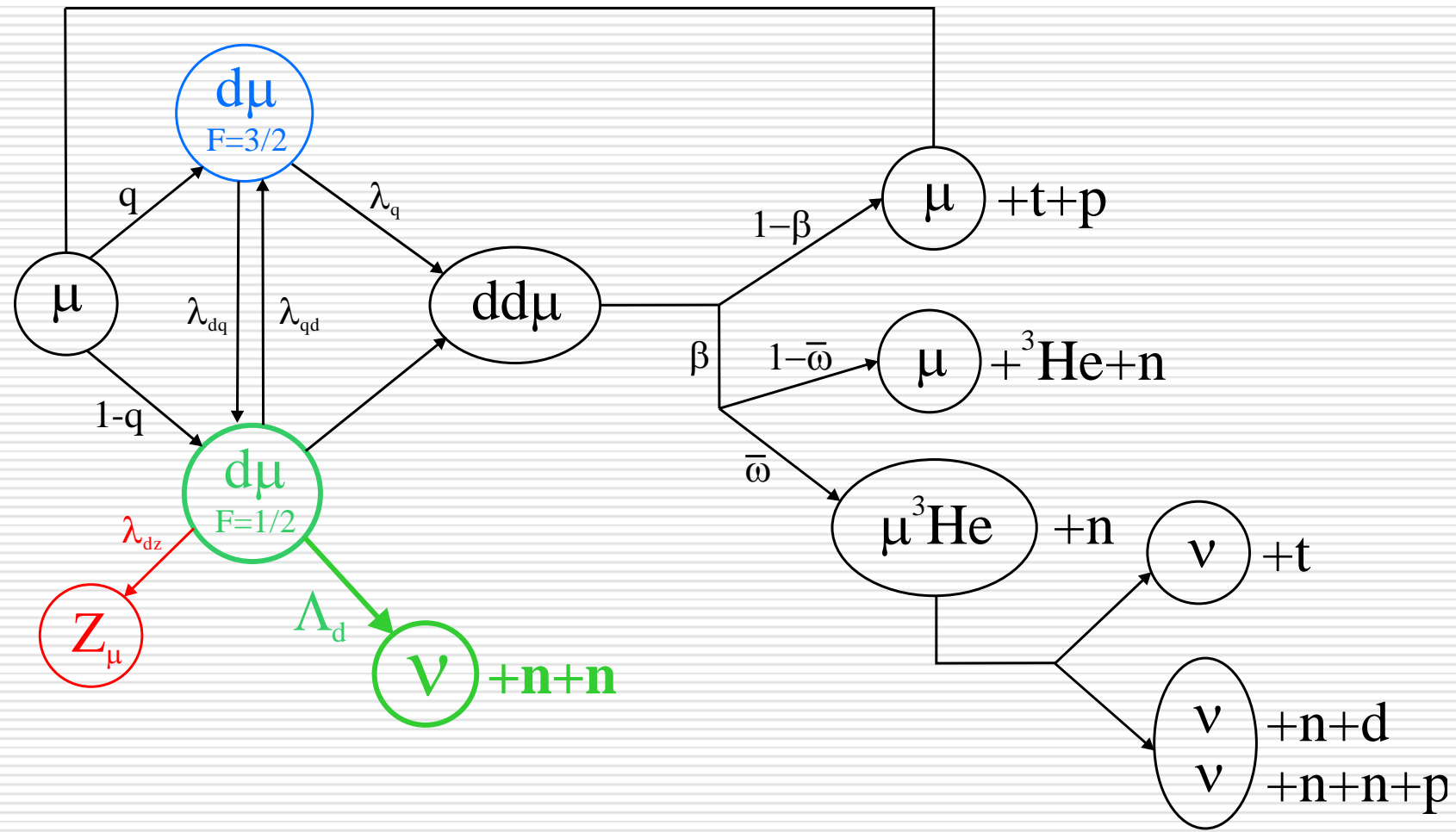
Сопоставив измеренную скорость μ -захвата с вычисленной рамках EFT, можно будет определить параметры теории, что в свою очередь позволит вычислить с высокой точностью сечения фундаментальных астрофизических реакций:



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.





Deuterium conditions

Temperature

~30 K for muon-catalysed dd-fusion suppression

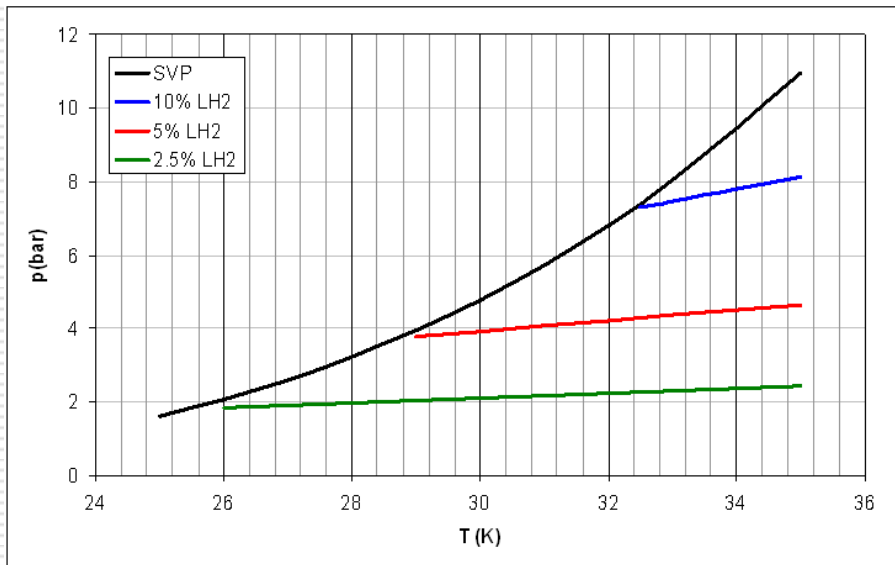
Pressure

~5 bar. Pressure and temperature regime resulted in density 5% of liquid hydrogen (~50 bar at room temperature) for larger event rate.

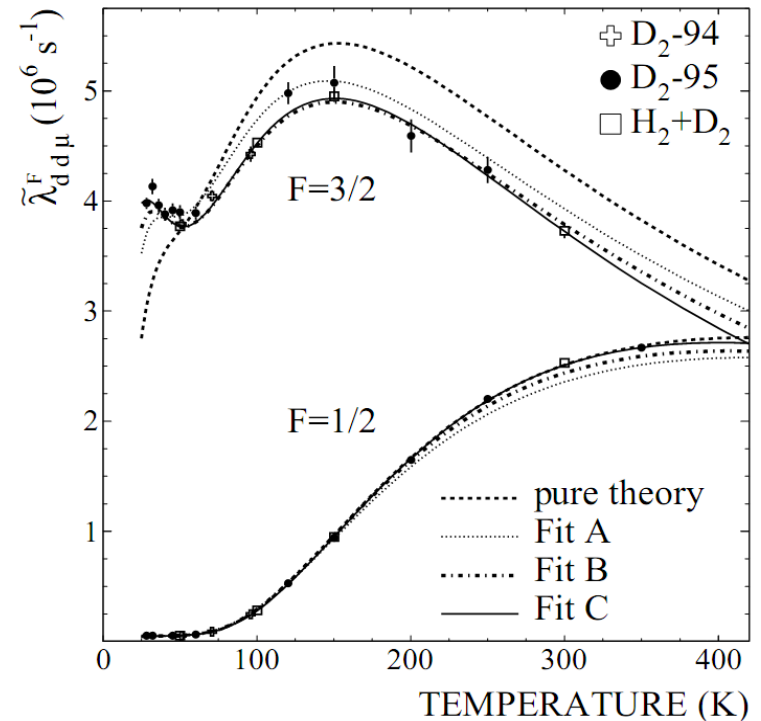
Purity

<1 ppb of chemical purity

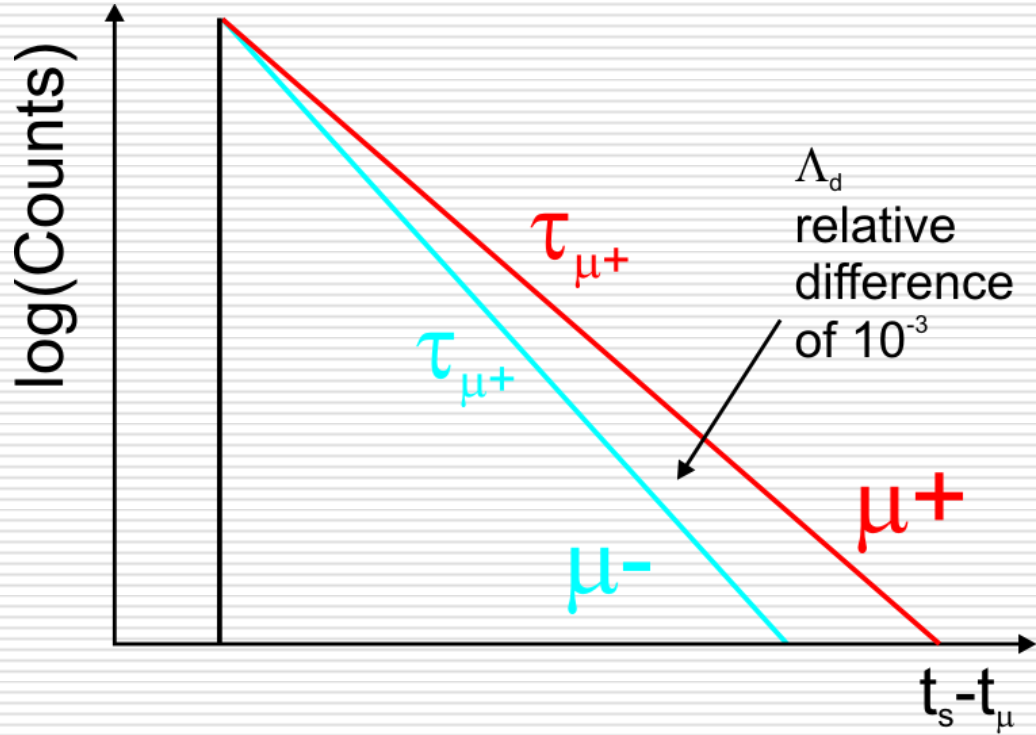
~ 10 ppm of isotopic purity



D₂ phase diagram



The effective ddμ formation rates versus temperature

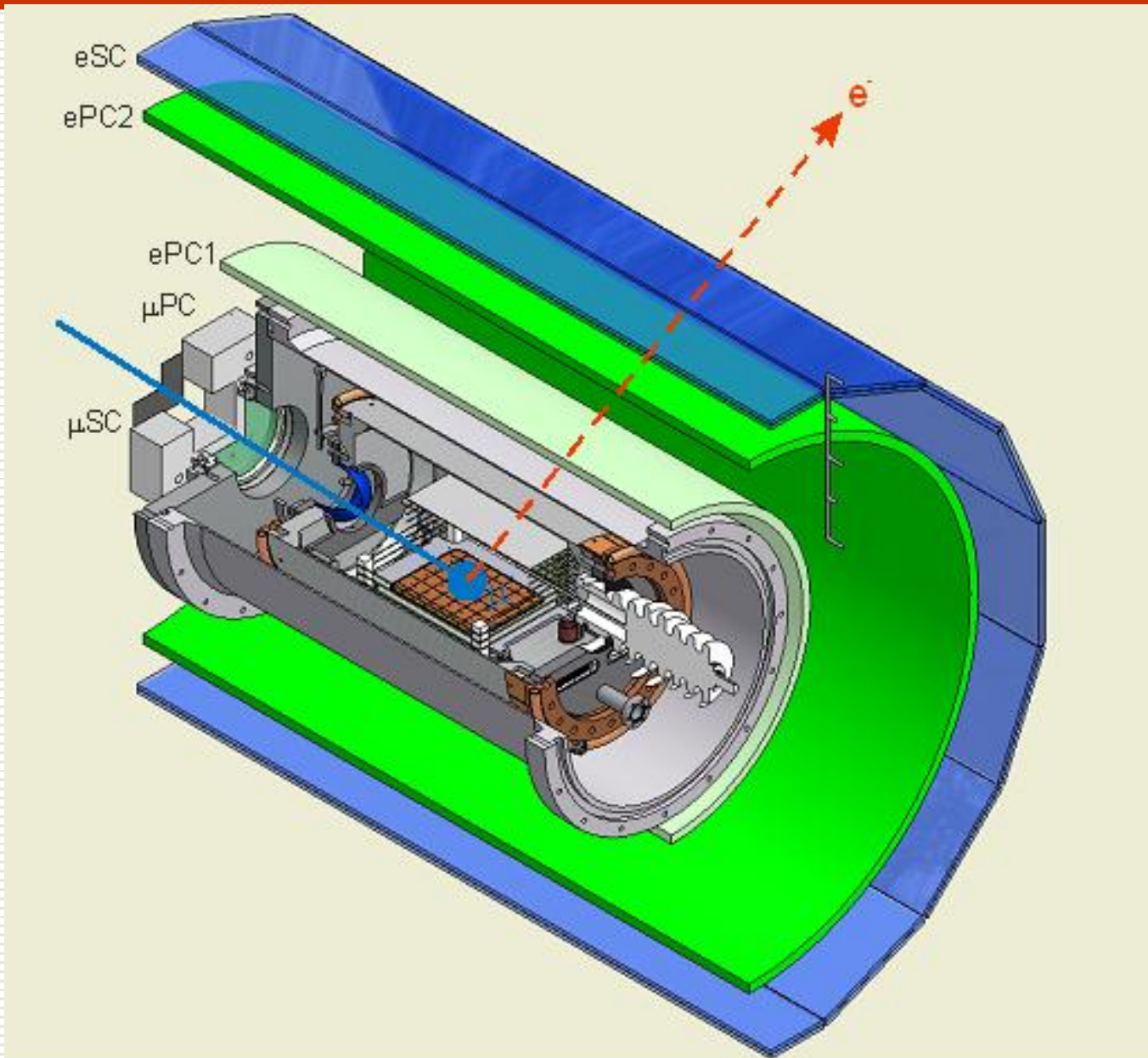


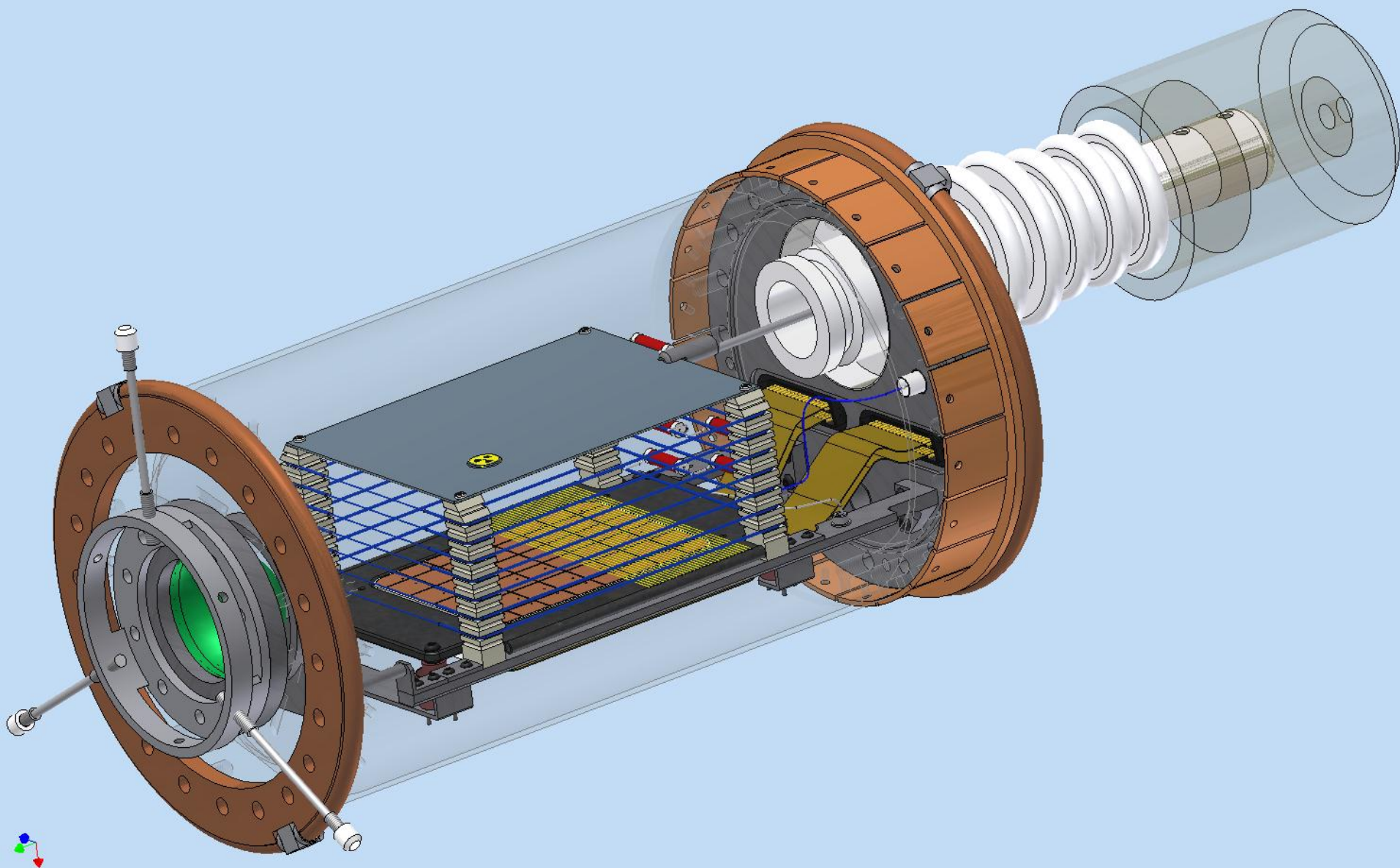
Lifetime method requires 10^{10} events $\mu \rightarrow e \bar{\nu}$ for both μ^- and μ^+

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



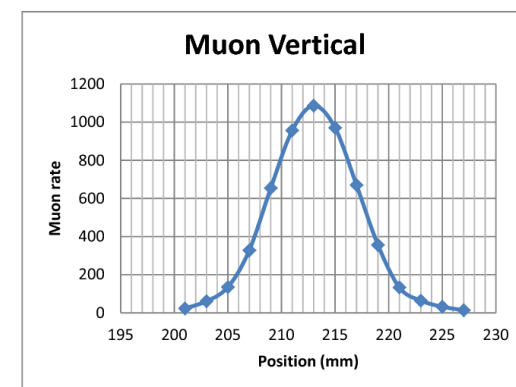
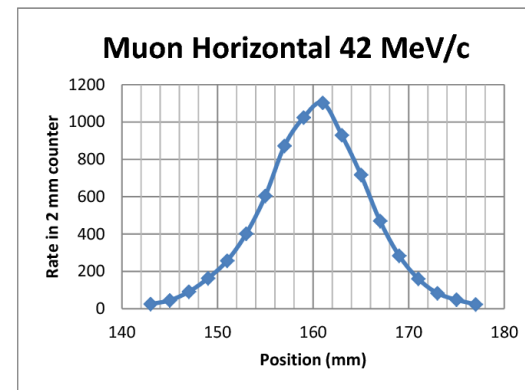
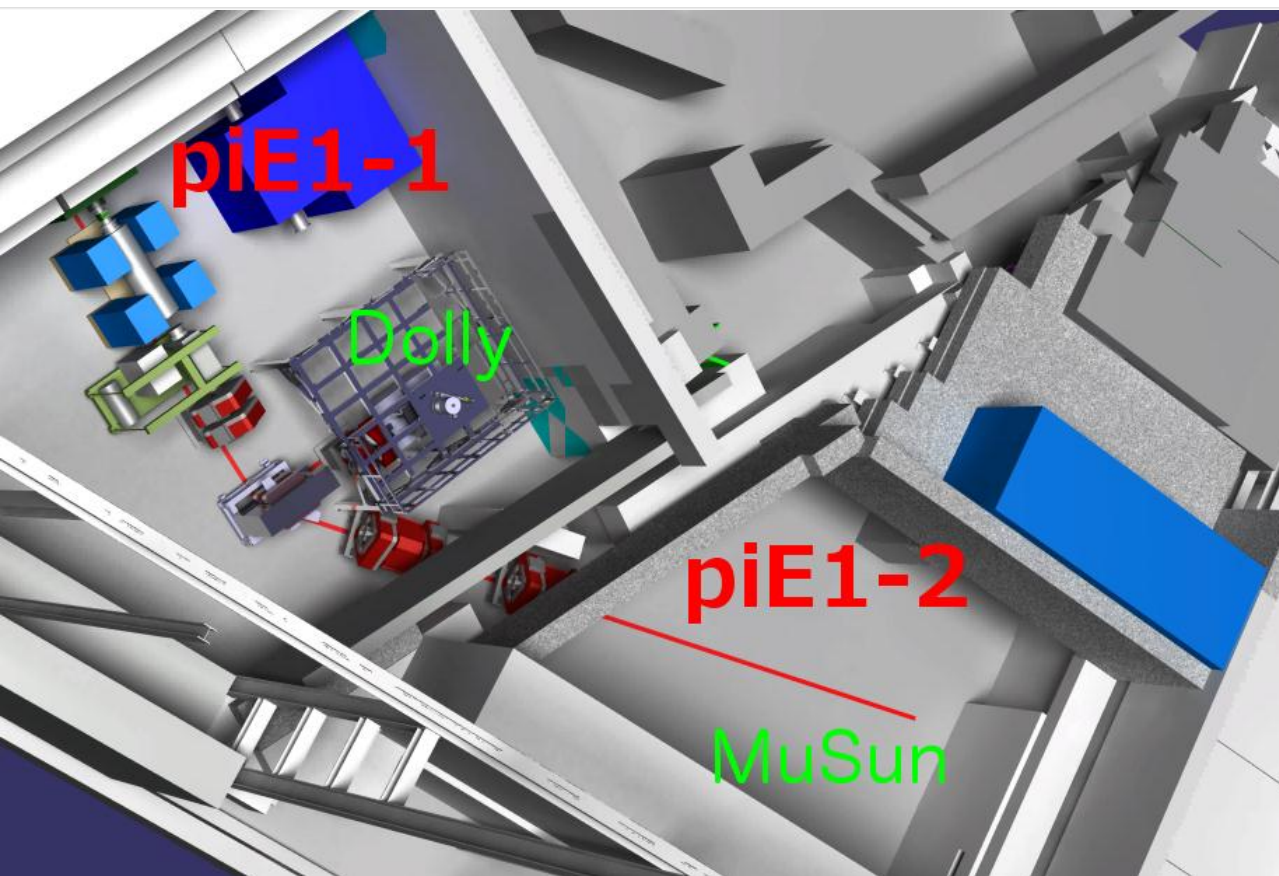
С cryo_TPC как активная мишень







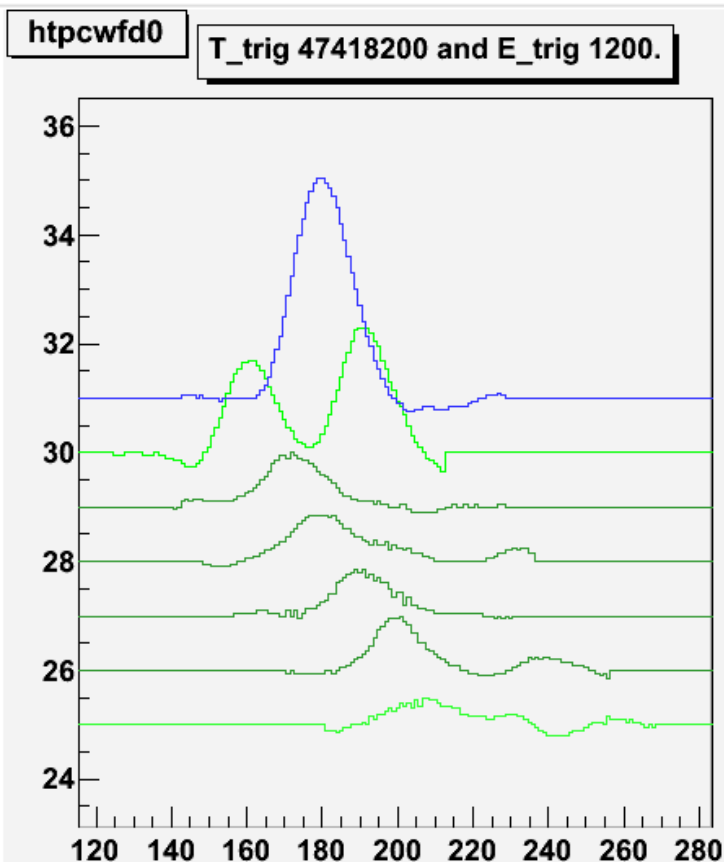
New experimental position



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



$$dd\mu \rightarrow t + p + \mu$$



41	42	43	44	45	46	47	48
33	34	35	36	37	38	39	40
25	26	27	28	29	30	31	32
17	18	19	20	21	22	23	24
9	10	11	12	13	14	15	16
1	2	3	4	5	6	7	8
41	42	43	44	45	46	47	48
33	34	35	36	37	38	39	40
25 A: 10 E: 316	26 A: 20 E: 502	27 A: 17 E: 503	28 A: 17 E: 582	29 A: 20 E: 543	30 A: 46 E: 1340	31 A: 81 E: 1537	32
17	18	19	20	21	22	23	24
9	10	11	12	13	14	15	16
1	2	3	4	5	6	7	8



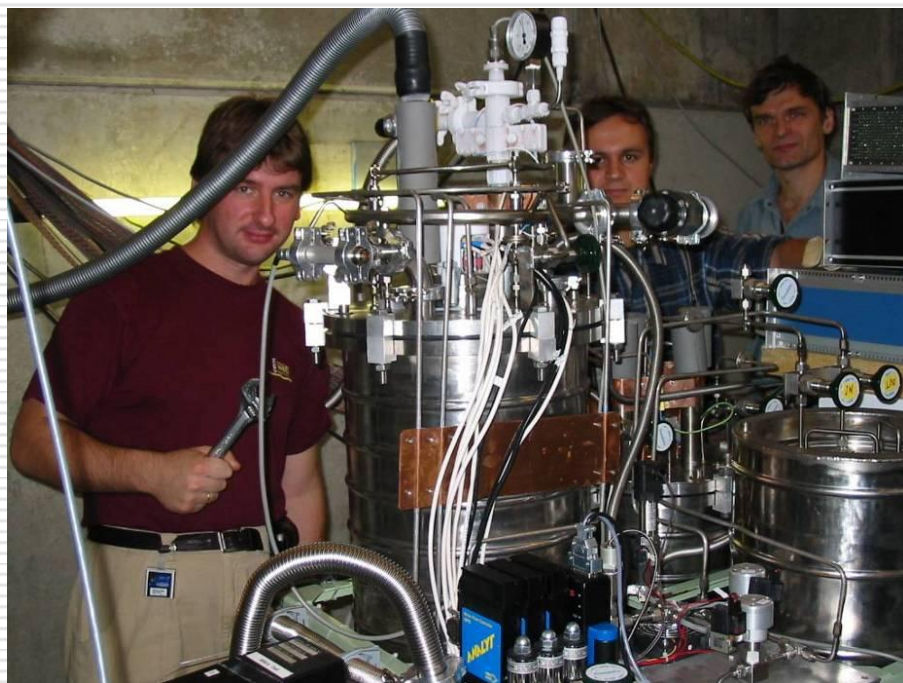
Rare impurity capture: $\mu d + Z \rightarrow d + \mu Z \rightarrow (Z-1)^* + \nu$

MuCap achieved: ~ 10 ppb purity and 0.1 ppb purity monitoring

MuSun needs: ~ 1 ppb purity or 0.5 ppb purity monitoring

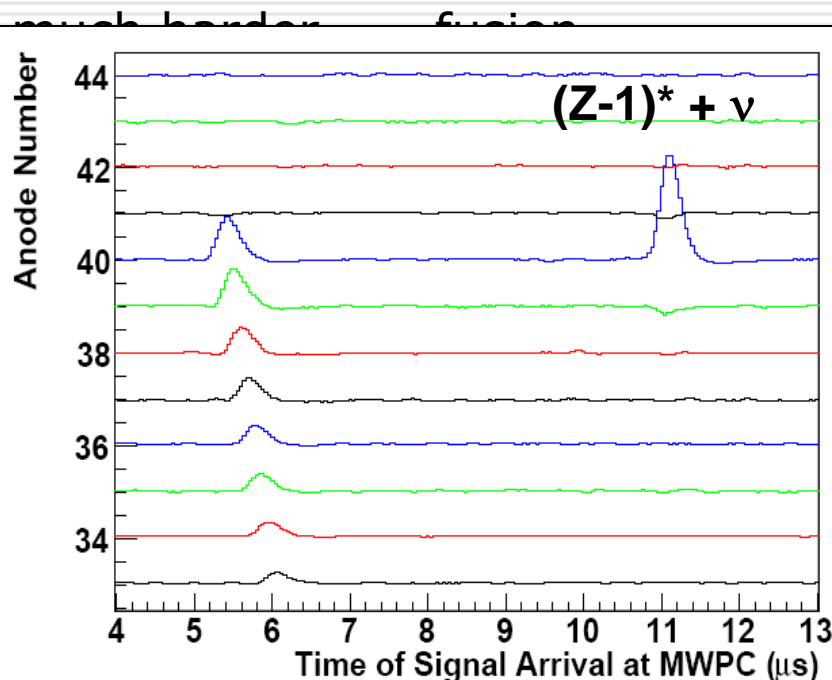
□ Circulating Hydrogen Ultrahigh Purification System (CHUPS)

US CRDF 2002, 2005



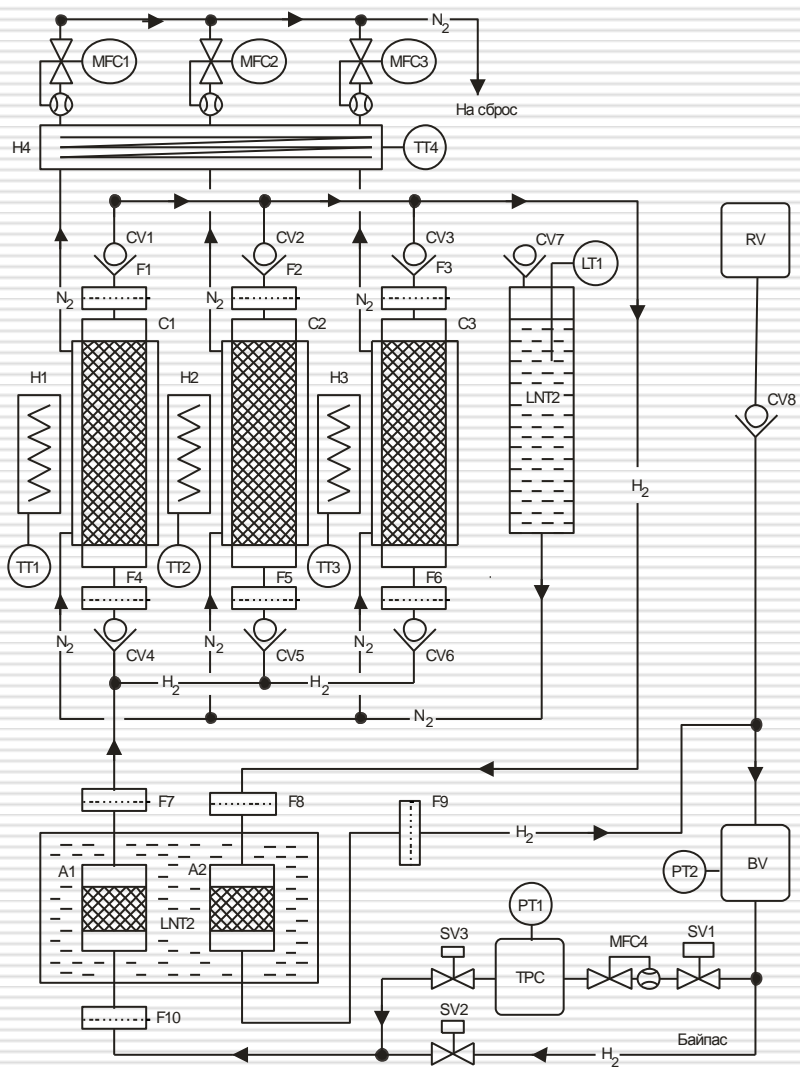
Nucl. Instrum. Meth., A578:485–497, 2007.

□ Particle detection in TPC





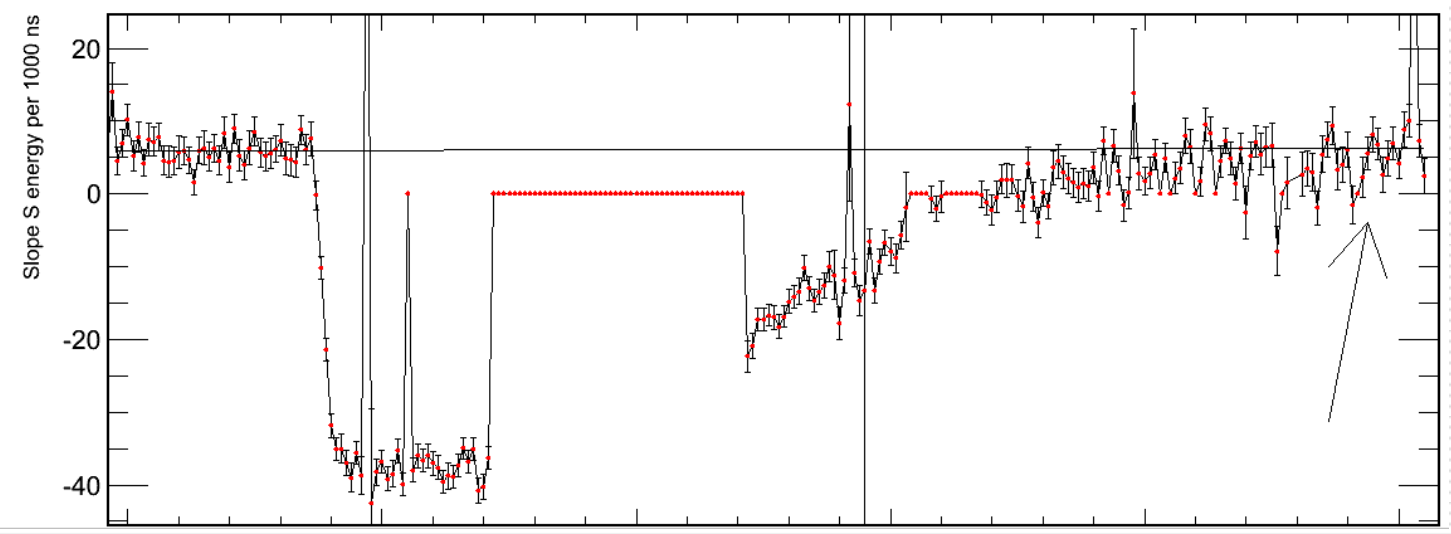
Commissioning of CHUPS





Прилипание электронов к кислороду

Slope S energy

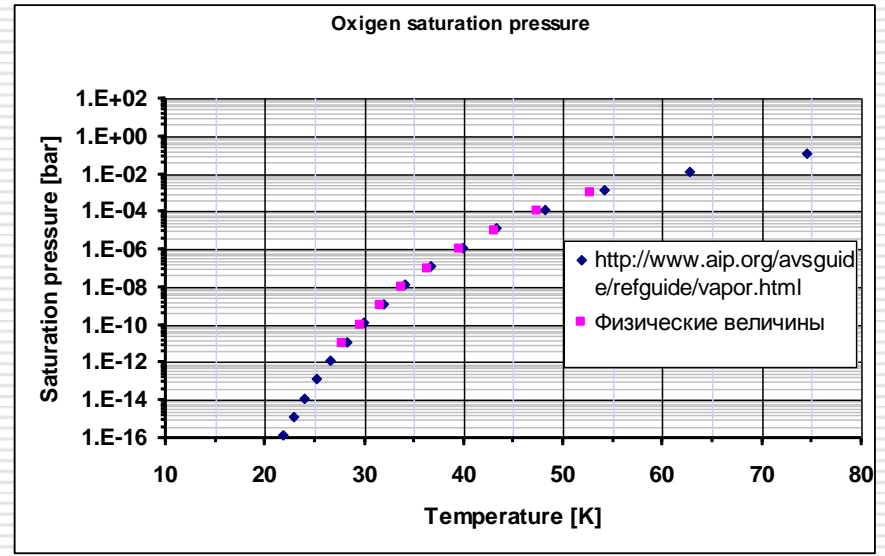


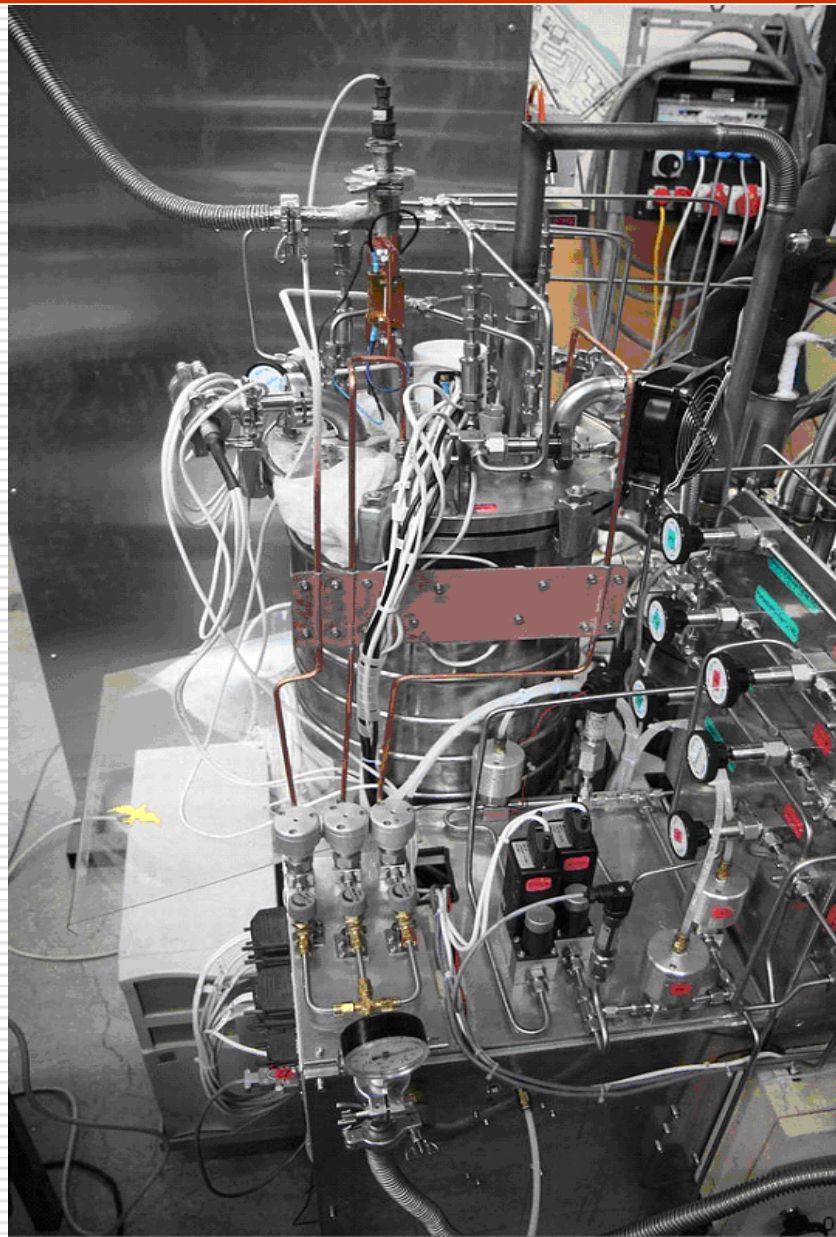
34K
2 ppb

50K

Q=3 l/min

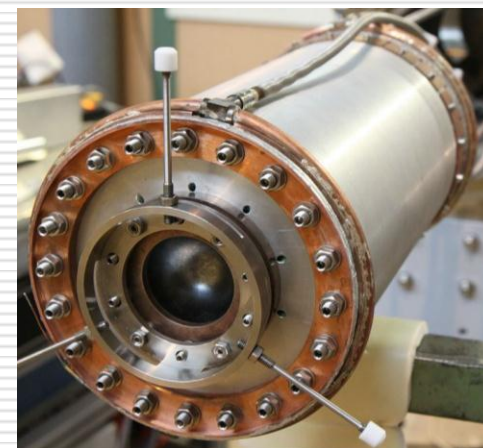
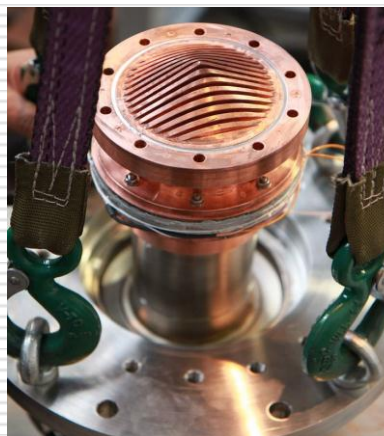
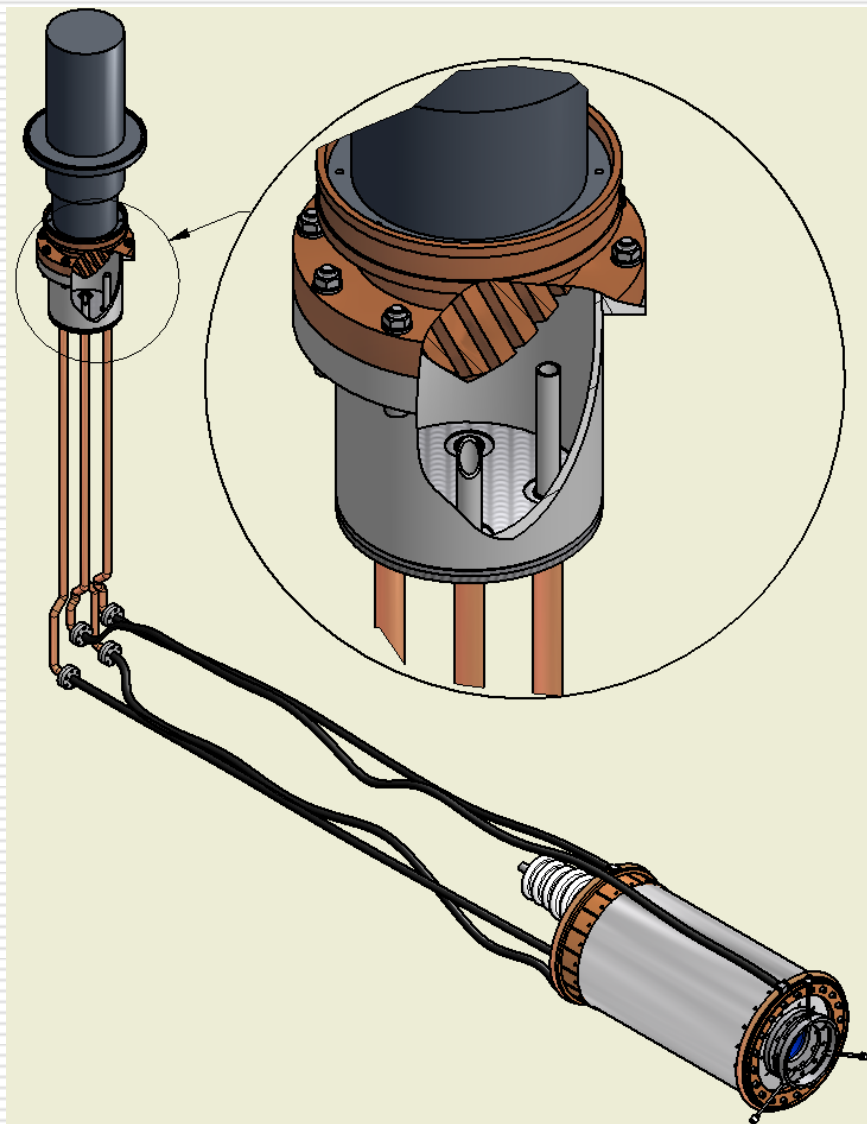
2 hours



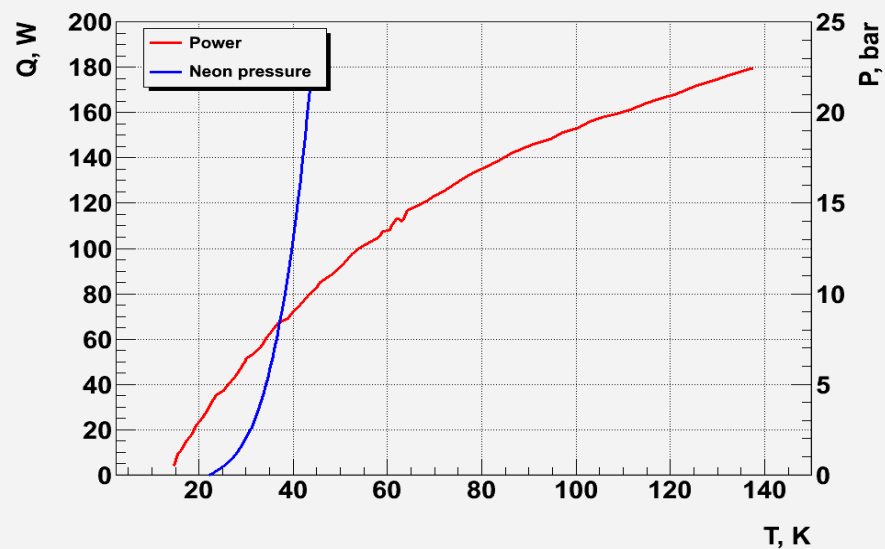


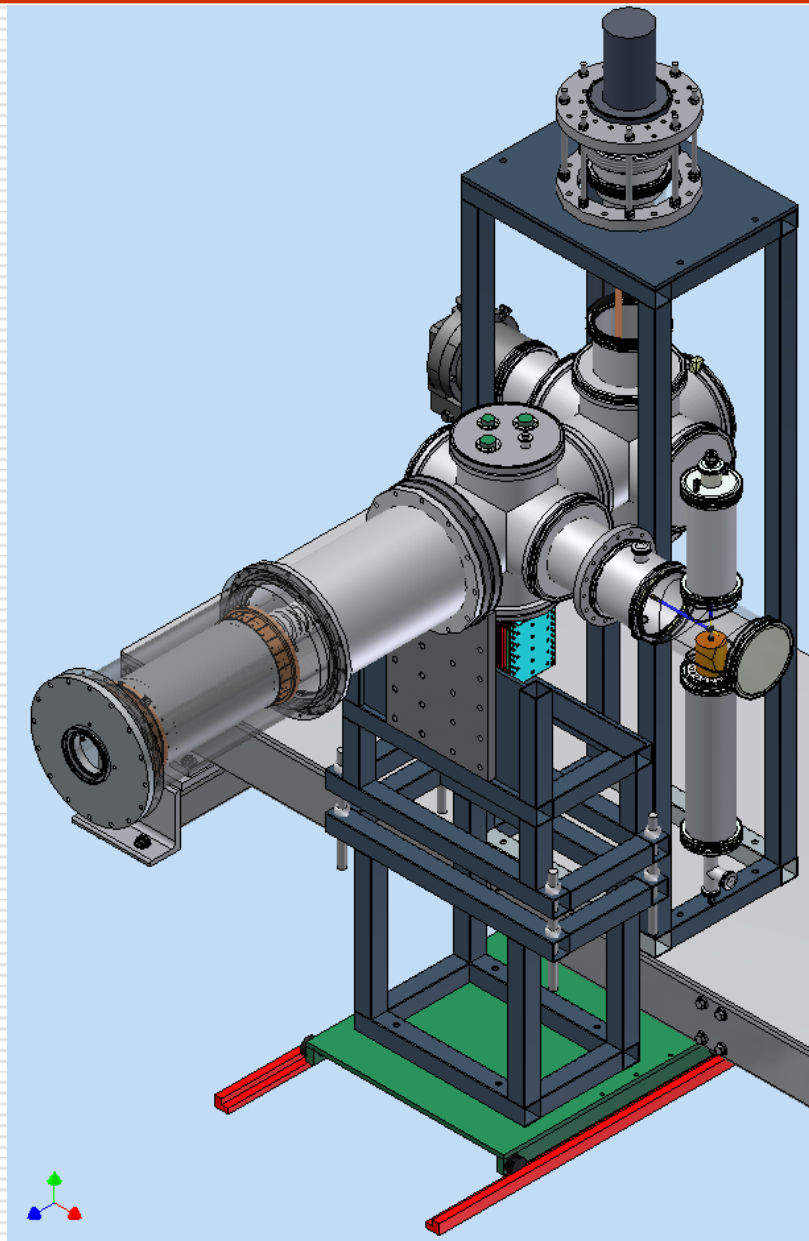


Система охлаждения



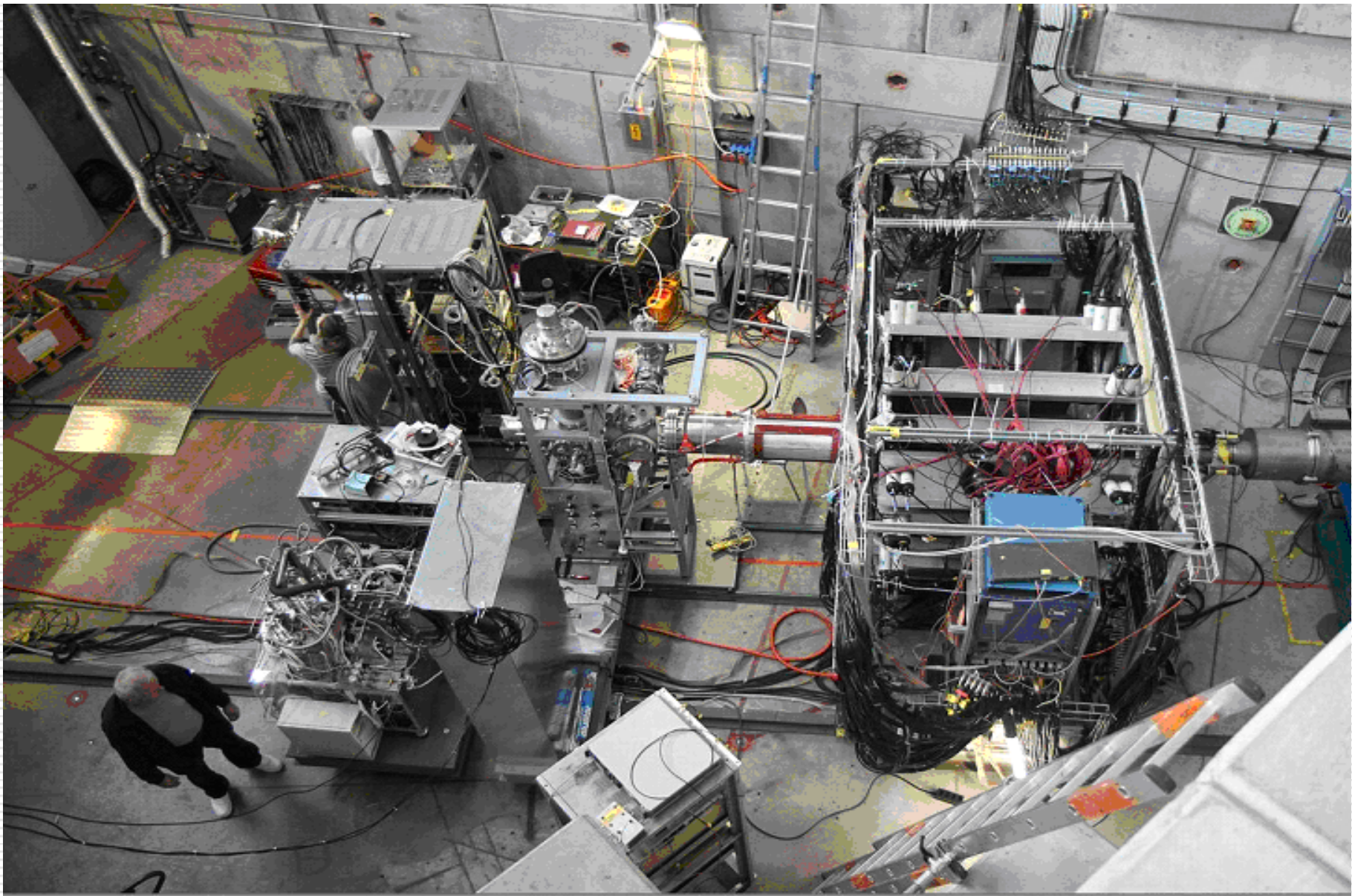
Cold head power and neon pressure







Установка на пучке $\pi E1$





1. Васильев А. А., Взнуздаев М. Е., Воробьев С. И., Геталов А. Л., Иванов И. Ю., Котов С. А., Кравцов П. А., Надточий А. В., Трофимов В. А. Измерение динамической магнитной восприимчивости сталей в криогенных условиях. Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. Выпуск 3 (79), 2012, с. 105.
2. Justin Phillips on behalf MuSun collaboration: Measuring the Rate of Muon Capture in Deuterium. Boston University seminar talk. Boston University, March 23, 2012.
3. Xiao Luo on behalf of MuSun Collaboration. MuSun: Muon capture on deuteron. Boston University, April, 27, 2012.
4. Claude Petitjean on behalf of MuSun Collaboration. Progress Report. PSI BVR, February-22, 2012.
5. Peter Kammel on behalf of MuSun collaboration. APS Atlanta April meeting 2012.



Вклад ПИЯФ

Установка "Криогенная времяпроекционная камера (CryoTPC)",
система охлаждения камеры,
система химической очистки рабочего газа,
система изотопной очистки рабочего газа,
система анализа химической и изотопной чистоты газа,
предусилители и шэйперы,
система SlowControl.

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