


ГРУППА МЕЗОЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ

- Вед.н.с. к.н. - Семенчук Г.Г.
 - Ст.н.с. к.н. - Маев Е.М.
 - Ст.н.с. - Петров Г.Е.
 - Н.с. к.н. - Воропаев Н.И.
 - Н.с. - Балин Д.В.
 - Н.с. - Смиренин Ю.В.
 - Н.с. - Садецкий СМ.
 - Н.с. - Маев О.Е.
 - Инж. пр. - Фотиева Е.В.
 - Инж.оп.пр. - Дубограй В.С.
 - Инж. - Семенчук А.Г.
 - Монт. р/а - Еремеев А.Д.
-



Группа занимается исследованиями реакций, происходящих в среде изотопов водорода и гелия под действием m - мезонов. К ним относятся реакции мюонного катализа dd , pd и dt - синтеза, реакции перезарядки мезоатомов и реакции m -захвата как на гелии, так и на изотопах водорода.

Основной методикой при исследовании данных реакций является использование работающих на водороде (или гелии) ионизационных камер высокого давления (до ~ 160 атм), совмещающих в себе свойство "живой" мишени по регистрации остановившихся мюонов и детектора заряженных продуктов реакций. Данный метод был предложен и развит в ОФВЭ ПИЯФ более 25 лет назад и до сих пор остается уникальным в своей области.

В последние 5 лет совместно с Отделом трековых детекторов разрабатывается водородная время - проекционная камера (TRC) для прецизионного измерения скорости реакции m - захвата на водороде.

Группа Шапкина
Протий-газ
Хим. очистка и
анализ примесей

Отдел Крившича
MWPC's, TPC



Лаборатория
Чернова
Система
рециркуляции

Лаборатория
Алексеева
(ОНИ)
Противевая вода

ФТИ им. Иоффе
Анализ
примесей D2

Precision Measurement of Muon Capture on the Proton “*μCap experiment*”



www.npl.uiuc.edu/exp/mucapture/

Petersburg Nuclear Physics Institute (PNPI), Gatchina, Russia

Paul Scherrer Institut, PSI, Villigen, Switzerland

University of California, Berkeley, UCB and LBNL, USA

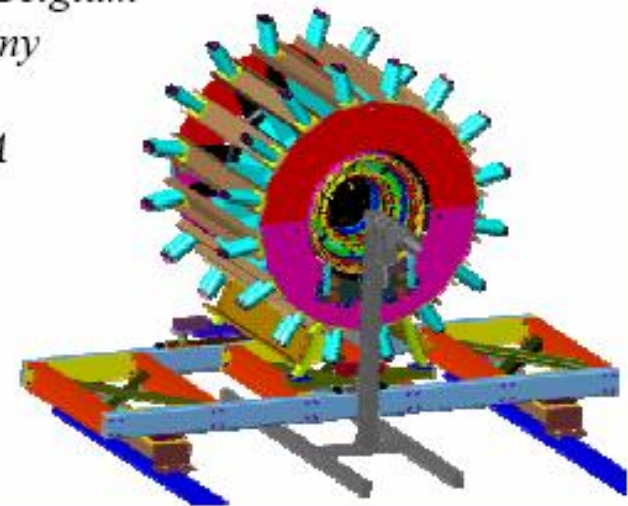
University of Illinois, Urbana-Champaign, USA

Universite Catholique de Louvain, Belgium

TU Munich, Garching, Germany

Boston University, USA

University of Kentucky, USA



pseudoscalar form factor g_P

PCAC:

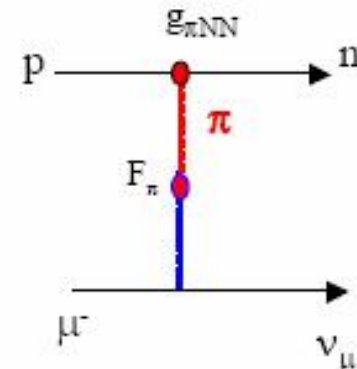
$$g_P(q^2) = \frac{2m_\mu M}{m_\pi^2 - q^2} g_A(0)$$

$g_P = 8.7$

heavy baryon chiral perturbation theory:

$$g_P(q^2) = \frac{2m_\mu g_{\pi NN} F_\pi}{m_\pi^2 - q^2} - \frac{1}{3} g_A(0) m_\mu M r_A^2$$

$g_P = (8.74 \pm 0.23) - (0.48 \pm 0.02) = 8.26 \pm 0.23$



Λ calculations $O(p^3)$ show good convergence: 100 % 25 % 3 %
 delta effect small LO NLO NNLO

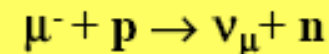
$g_{\pi NN}$
13.31(34)
13.0(1)
13.05(8)

author	year	g_P	Λ_S	Λ_T	comment
Primakoff	1959		664(20)	11.9(7)	smaller g_A
Opat	1964		634	13.3	smaller g_A
Bernard et al	1994	8.44(23)			
Fearing et al	1997	8.21(9)			
Govaerts et al	2000	8.475(76)	688.4(38)	12.01(12)	
Bernard et al	2000/1		687.4 (711*)	12.9	NNLO, small scale
Ando et al	2001		695 (722*)	11.9	NNLO

*NLO result

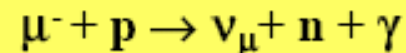
Experimental information on g_p

Ordinary Muon Capture



BR $\sim 10^{-3}$, 8 experiments 1962-82, BC, neutron, electron detection
"in principle" most direct g_p measurement

Radiative Muon Capture



BR $\sim 10^{-8}$, TRIUMF (1998), $E_\gamma > 60$ MeV, 297 ± 26 events
closer to pion pole \rightarrow *3x sensitivity of OMC*
theory more involved (min substitution, ChPT)

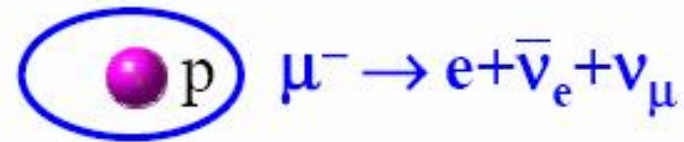
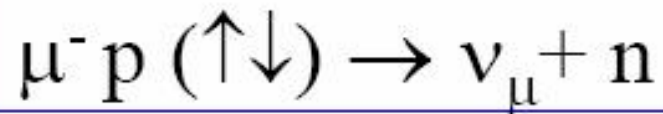
- Muon capture in nuclei

$\mu + {}^3\text{He} \rightarrow \nu + {}^3\text{H}$ $\Lambda_{\text{st}} = 1496 \pm 4 \text{ s}^{-1}$ PSI (1998)
 $g_p = g_p^{\text{th}}$ (1.08 ± 0.19) error dominated by 3-N theory
correlation measurements

- Neutrino scattering

- π electro production at threshold

experimental challenges



(Rich) physics effects

- **Interpretation:**

where does capture occur ?

Critical because of strong spin dependence of V-A interaction

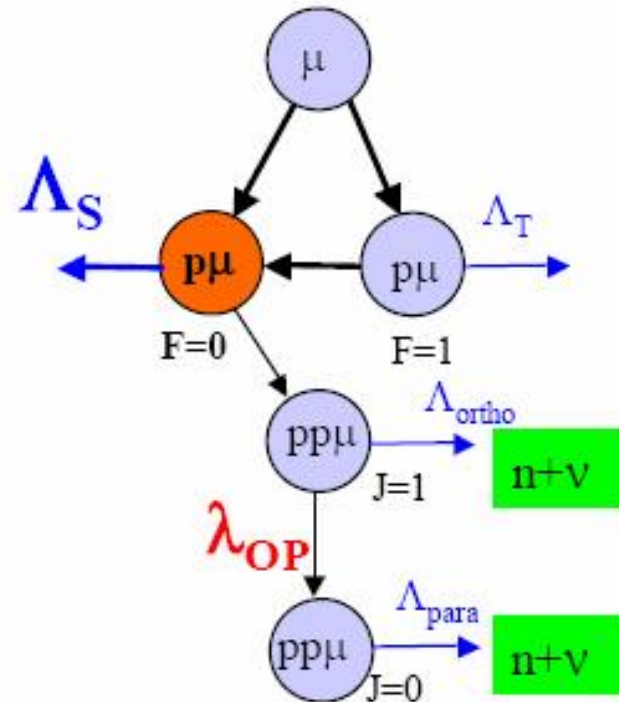
- **Background:**

Wall stops and diffusion

Transfer to impurities $\mu p + Z \rightarrow \mu Z + p$

- **Rate and statistics** (BR = 10^{-3})

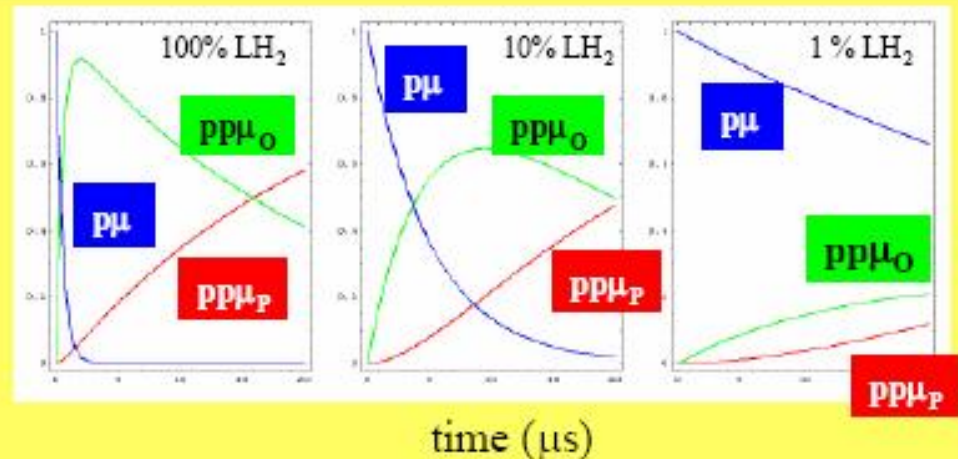
- μ SR effect for μ^+



experimental strategy

Physics

- **Unambiguous interpretation**
At low density (1% LH₂) mostly capture from $\mu\text{p}(F=0)$ atomic state.
- **Clean muon stop definition:**
Wall stops and diffusion eliminated by 3-D muon tracking
- **In situ gas impurity control** ($c_z < 10^{-8}$, $c_d < 10^{-6}$)
hydrogen chambers bakeable to 150 C, continuous purification
TPC monitors capture on impurity and transfer to deuterium
 10^{-8} sensitivity with gas chromatograph
- $\mu^+\text{SR}$: calibrated with tranverse field 70 G



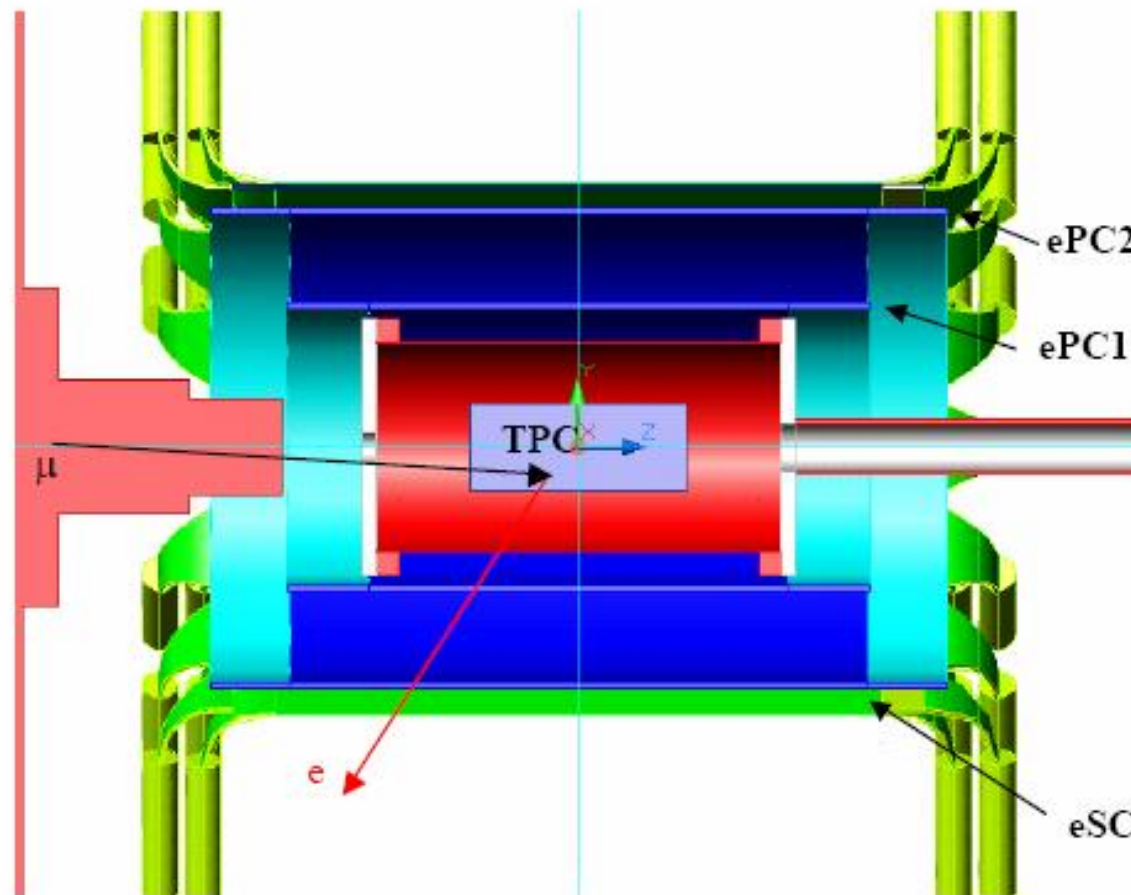
Statistics

- 10^{10} statistics: Complementary analysis methods

μ Cap experimental strategy

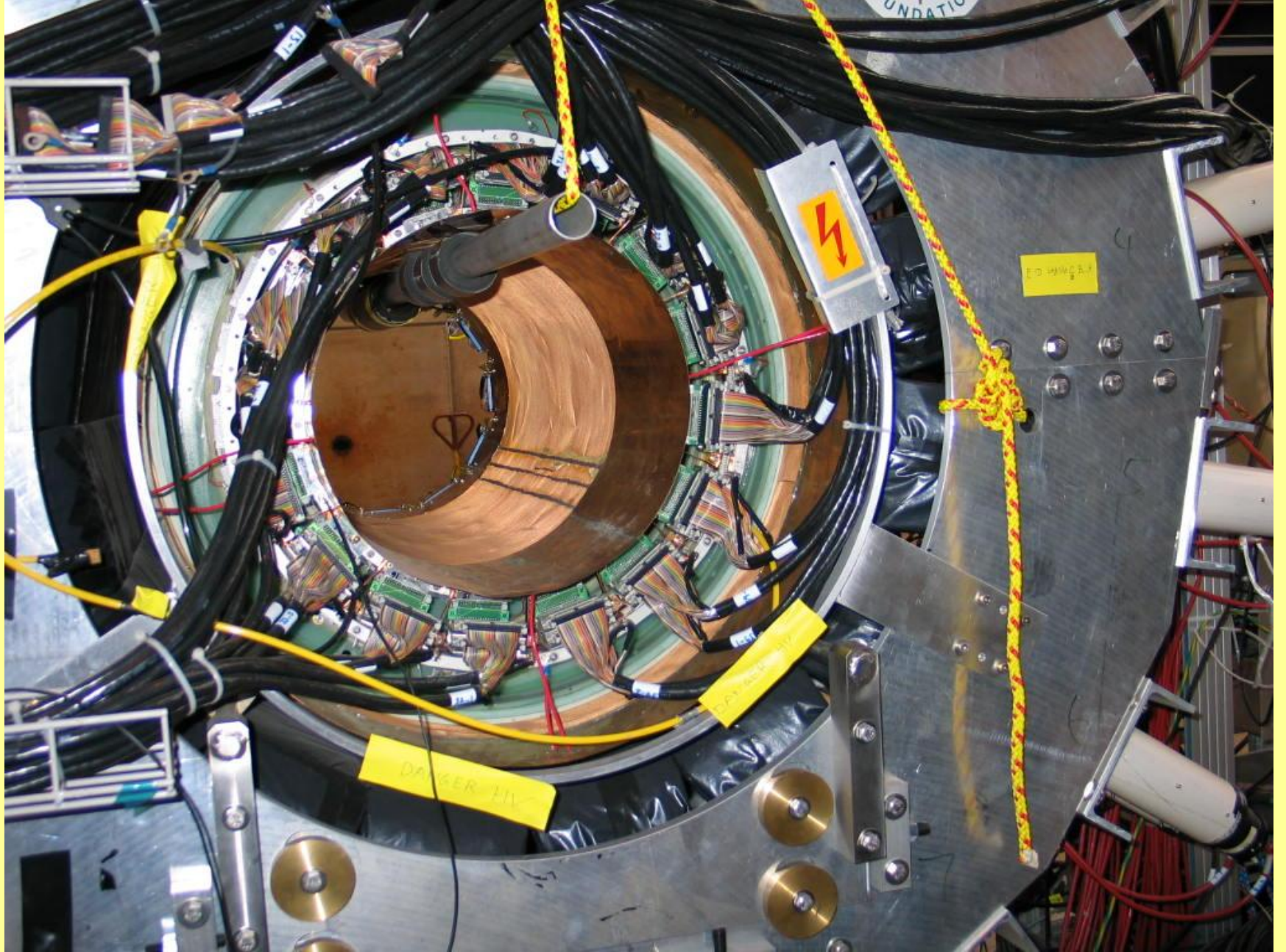
New idea: active target of ultra-pure H_2 gas 10 bar

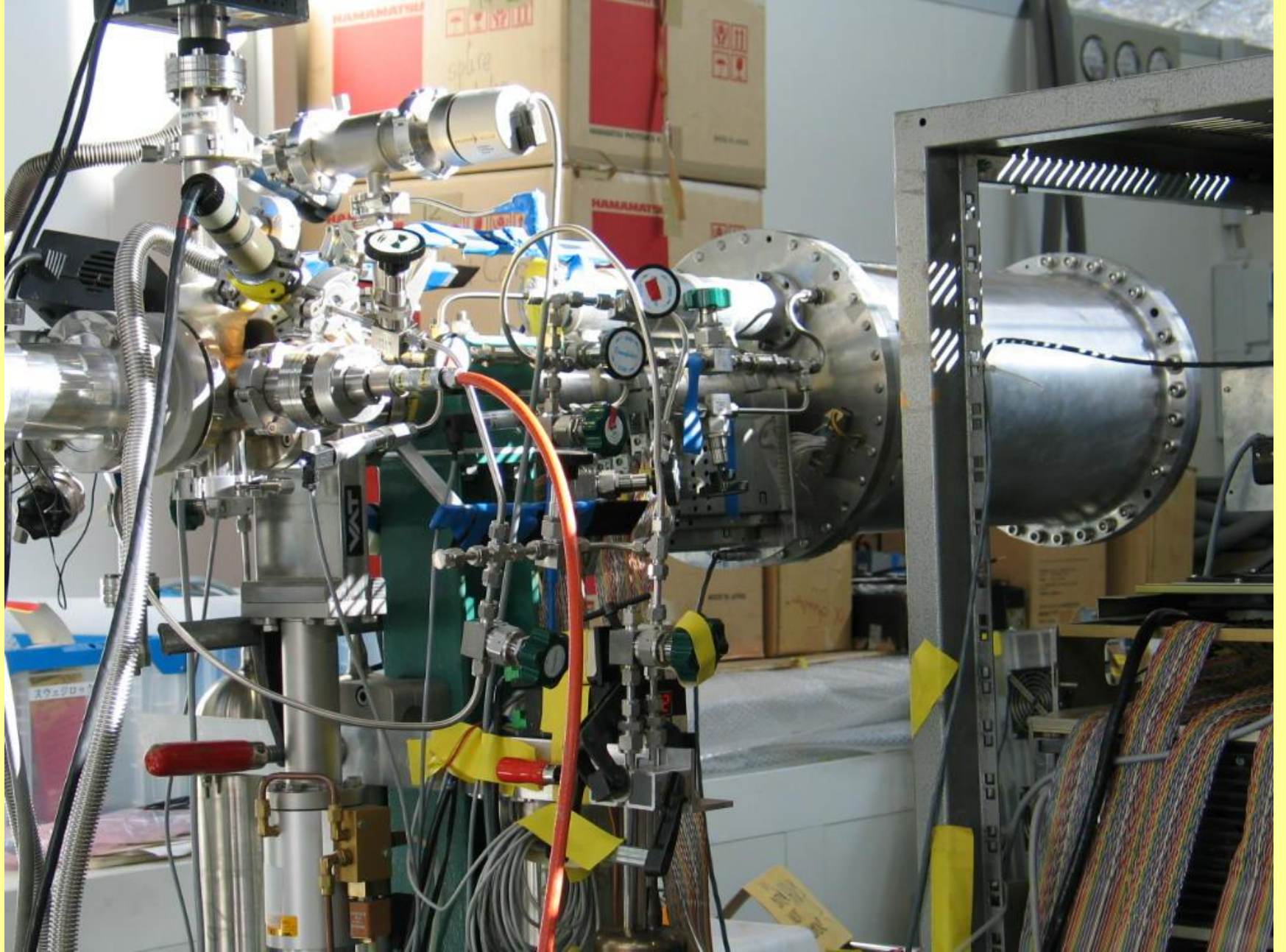
measure τ_{μ^+} and $\tau_{\mu^-} \Rightarrow \Lambda_S = 1/\tau_{\mu^-} - 1/\tau_{\mu^+}$, τ_{μ} to 10^{-5}

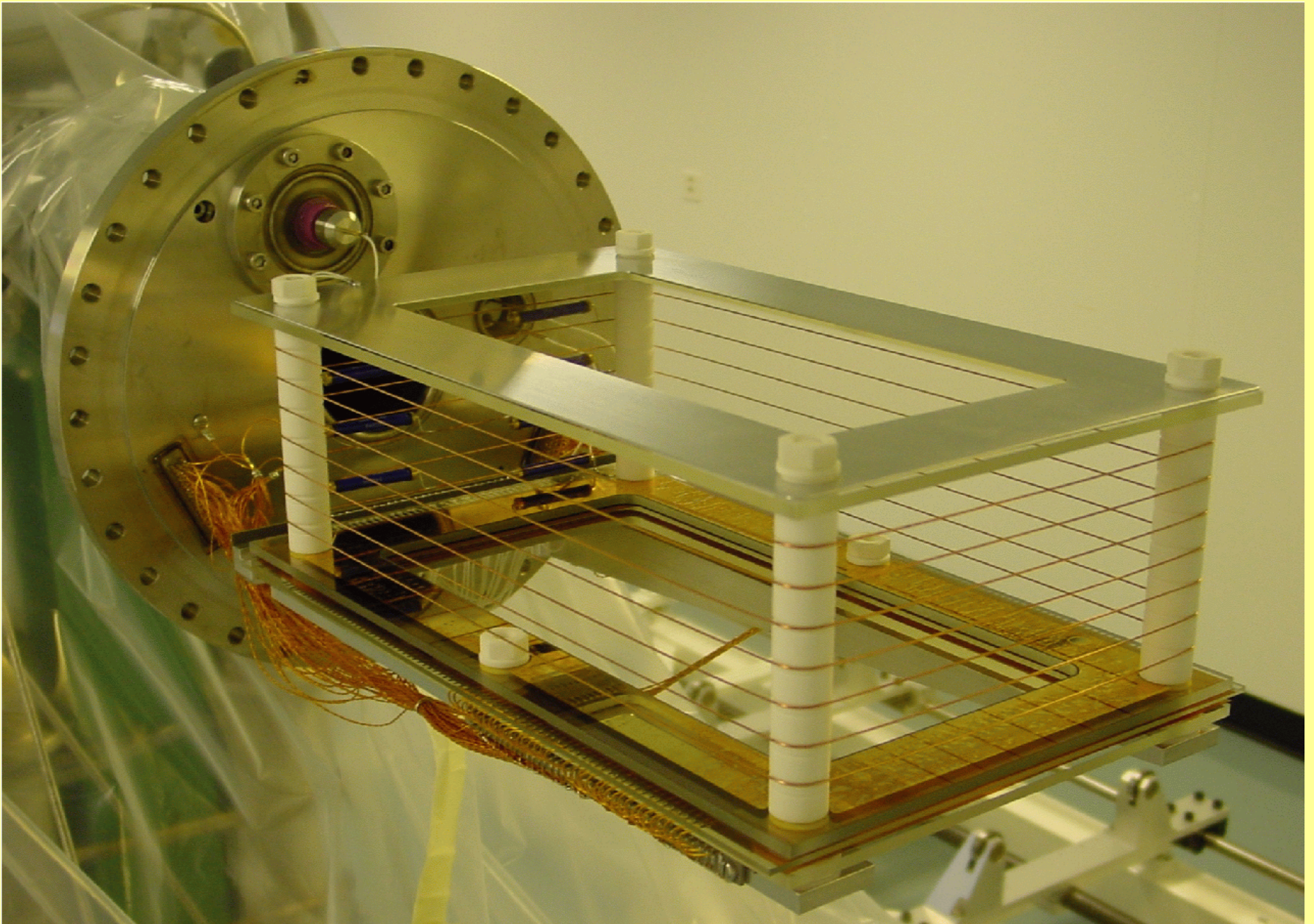


μ Cap





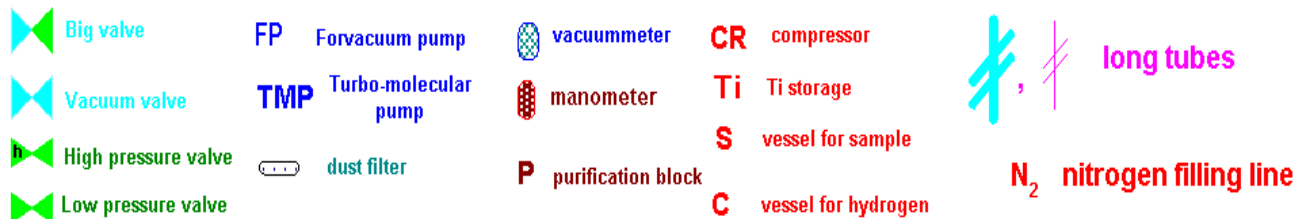
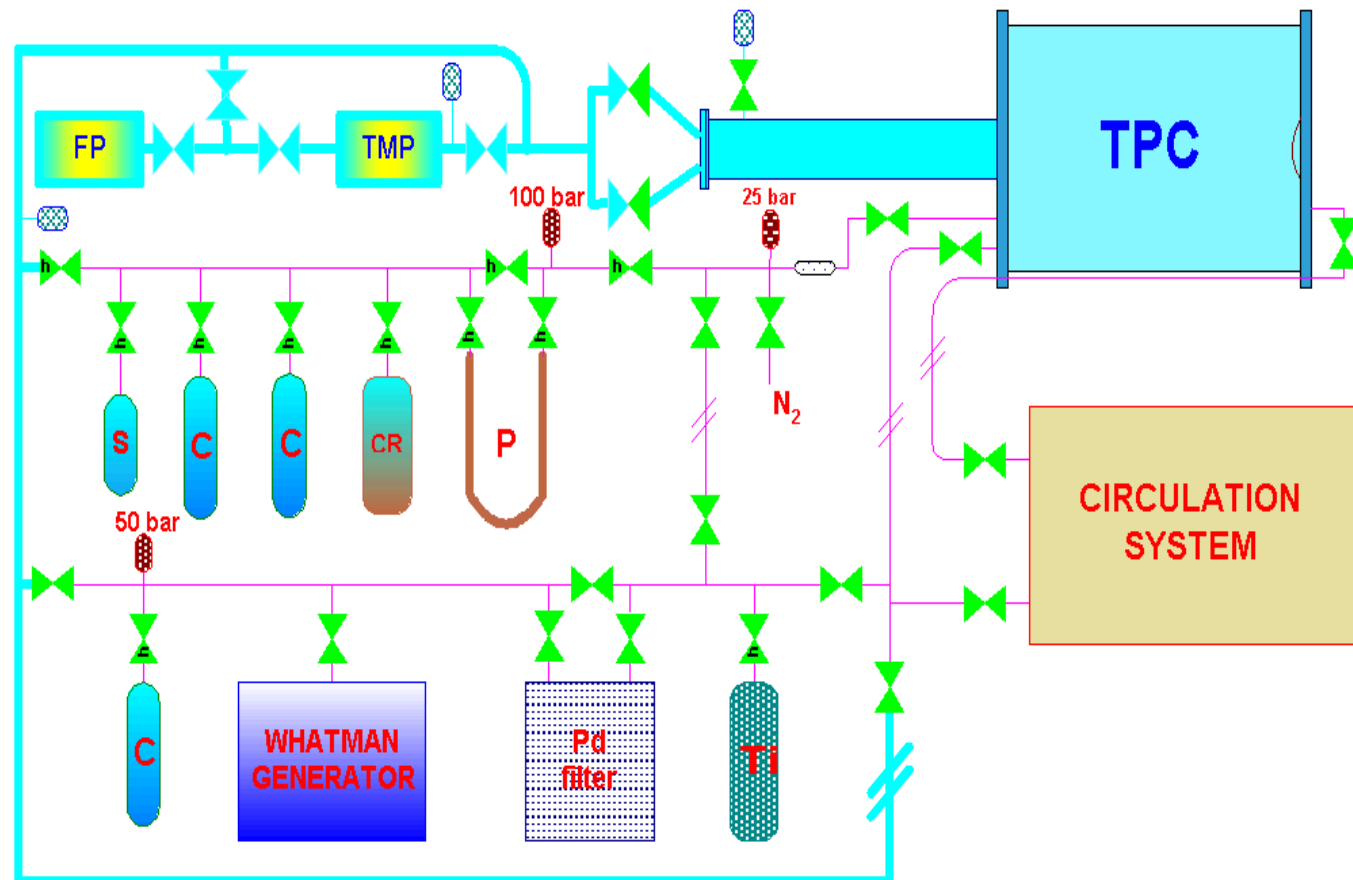




ОТВЕТСТВЕННОСТЬ ПИЯФ В КОЛЛАБОРАЦИИ muCAP

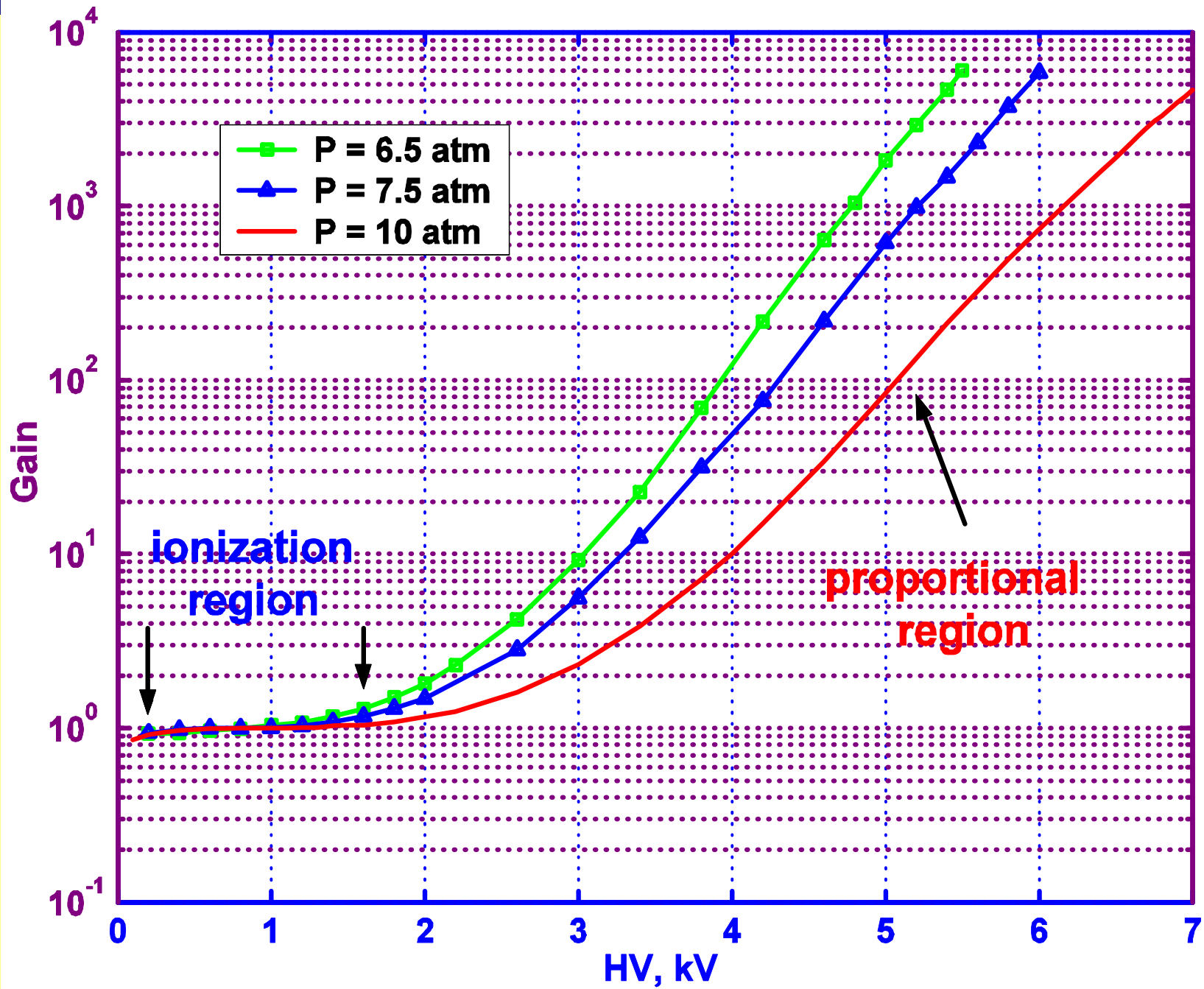
- n Разработка и изготовление MWPC's (3 набора) и TPC (3 набора) из стекла. Полный цикл тестирования и достижение рабочих параметров по напряжению (совместно с PSI)
- n Оснащение их электроникой приема сигналов
- n Помощь в восстановлении проп-камеры SINDRUM5 (в PSI)
- n Изготовление входного окна для пучка из Be
- n Обеспечение работы систем химической очистки водорода и контроля чистоты в процессе эксперимента
- n Обеспечение работы установки по производству протия
- n Разработка и изготовление установки циркуляционной очистки водорода
- n Разработка установки по производству протиевой воды с уровнем примесей дейтерия ~ 1 ppm (0.3 ppm)
- n Анализ уровня примесей дейтерия в протии

PRINCIPAL SCHEME OF THE GAS SYSTEM



Итоги 2003 года

1. Отладка и запуск установки по производству протиевой воды в ОНИ ПИЯФ
Апрель 2003 – 40 литров, ~11 ppm дейтерия;
Июль 2003 – 8 литров, расчетная чистота < 0,5 ppm дейтерия;
2. Отладка и запуск установки по наработке газообразного протия.
В феврале 2003 года установка доставлена из PSI
Май 2001 – 6 ppm
Декабрь 2001 – 2% D2 (загрязненная вода из Канады)
Ноябрь 2002 – 28 ppm
Июнь 2003 – 14 ppm, наработано более 600 литров протия
Чистота воды определяется по реакции $\text{H}_2\text{O} + \text{Na} \rightarrow \text{NaOH} + \frac{1}{2} \text{H}_2$;
3. Завершено изготовление полного набора стеклянных рамок для TPC 2 – детектора по новой технологии; сборка в “чистой” комнате
4. Работа в PSI по изготовлению новой цилиндрической пропорциональной камеры (SINDRUM5) для внешнего детектора электронов; Камера имеет размеры:
Длина – 800 мм, диаметр – 640 мм, $V_{\text{раб}} \sim 2,8$ кВ, ~ 1600 каналов
5. Участие в сменах в PSI по запуску на пучке установки mCAP.
Детектор TPC 1 работал лишь при напряжении $V_{\text{раб}} \sim 4,8$ кВ. Впервые измерен на пучке уровень чистоты газа по сигналам m-захвата.
6. Измерен уровень примеси дейтерия в газе TPC 1 – детектора. $C_d = 5,5$ ppm.
7. Изготовление в ЦЭО ПИЯФ корпуса TPC 2 – детектора с окном из Be.
8. Покупка вакуумного оборудования для сверхчистой откачки ~ 6000 EUR
9. Изготовлены основные узлы циркуляционной системы очистки водорода
Заказано оборудование на ~10000 \$ через фонд CRDF



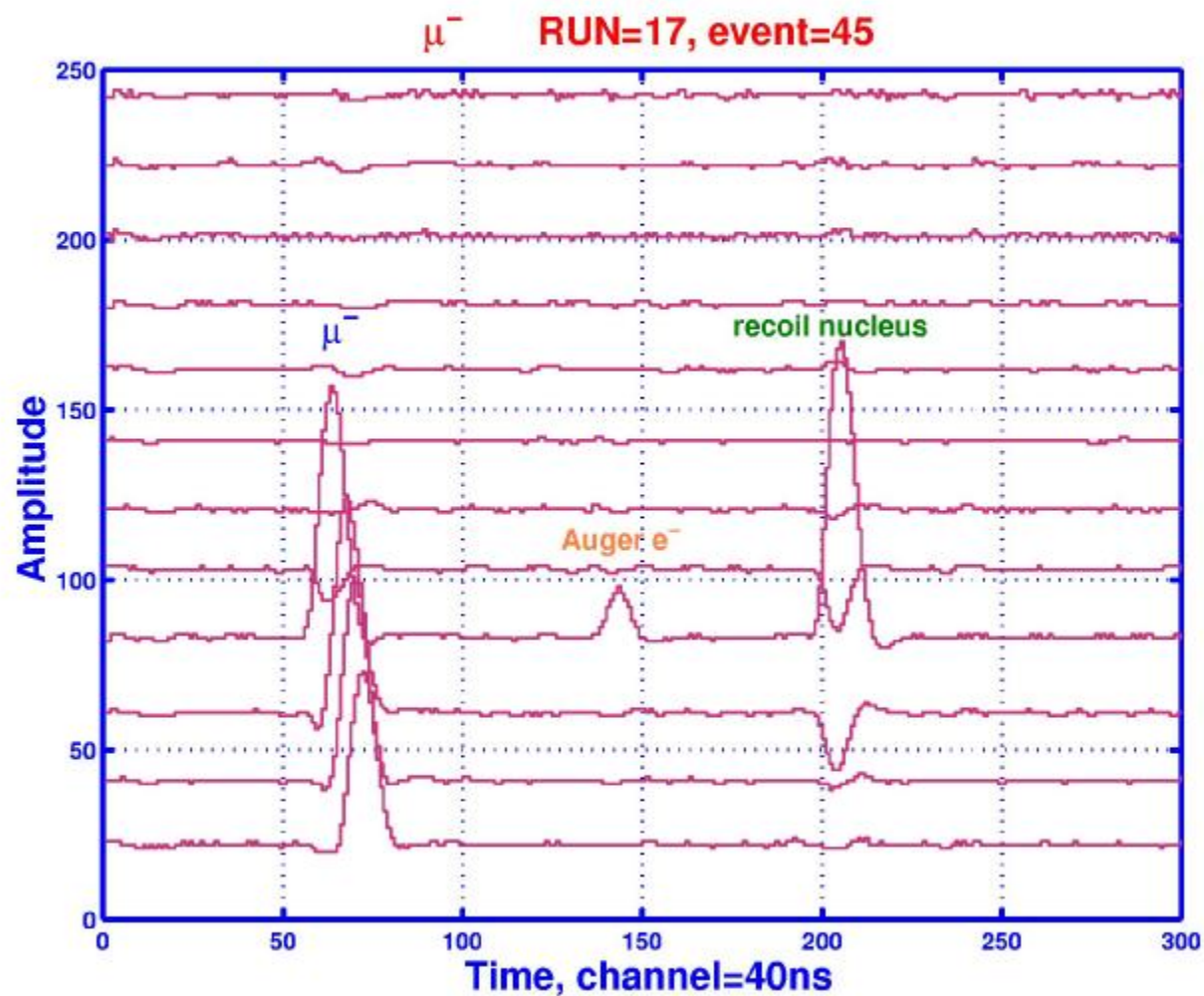
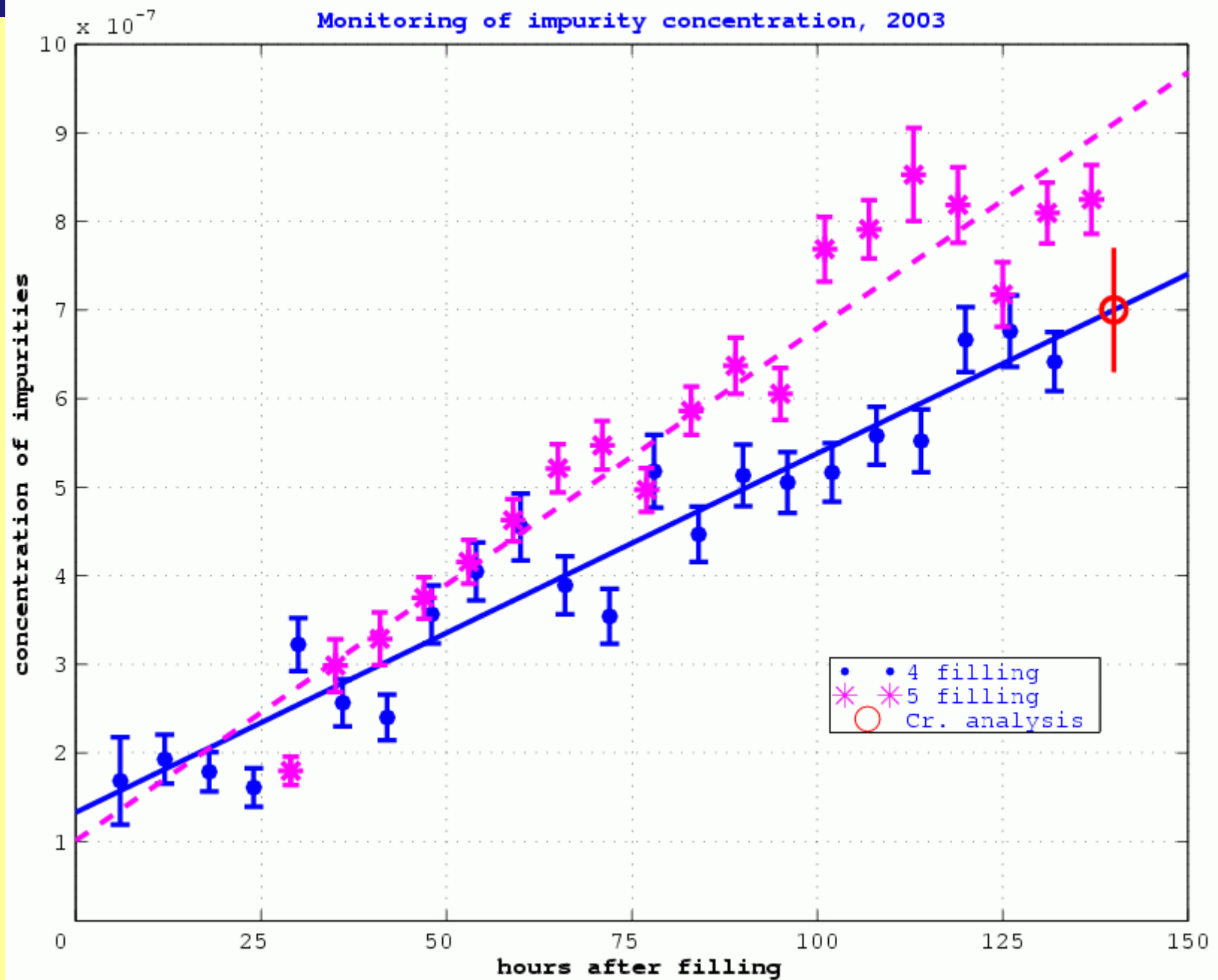


Figure 3: Display of flash ADC's showing typical event with signals from muon, Auger electron and signal from recoil nucleus.





Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment

Volume 515, Issues 1-2 , 1 December 2003, Pages 288-291

Proceedings of the International Workshop on Aging Phenomena in Gaseous Detectors

doi:10.1016/j.nima.2003.09.012

Copyright © 2003 Elsevier B.V. All rights reserved.

Study of aging properties of a wire chamber operating with high-pressure hydrogen

**E. M. Maev, V. A. Andreev, A. A. Fetisov, V. A. Ganzha, G. E. Gavrilov,
A. G. Krivchitch, E. V. Kouznetsova, O. E. Maev, G. E. Petrov, G. N. Schapkin,
G. G. Semenchuk and A. A. Vorobyov.**

High Energy Physics Division (HEPD), St. Petersburg Nuclear Physics Institute (PNPI),
Orlova Roscha, Gatchina 188350, Russia

Задачи 2004 года

1. Провести сборку «чистой» вакуумной системы откачки (январь - февраль)
2. Завершить изготовление корпуса и начать сборку ТРС – детектора в «чистой» комнате (январь - май)
3. Осуществить запуск системы циркуляционной очистки водорода (январь - май)
4. Нарботать необходимое количество протия для тестовых испытаний ($\sim 1\text{ м}^3$) (январь - февраль)
5. Запустить установку в полном объеме на пучке PSI. Добиться не менее 20 кГц остановок мюонов в объеме ТРС – детектора (август - октябрь)



Финансирование в 2003 году

Грант РФФИ: 150 Т. руб.

Миннаука «Мюон»: 190 Т. руб.

РАН: 600 Т. руб. + 800 Т. руб.

Командировки: 14 чел/мес