



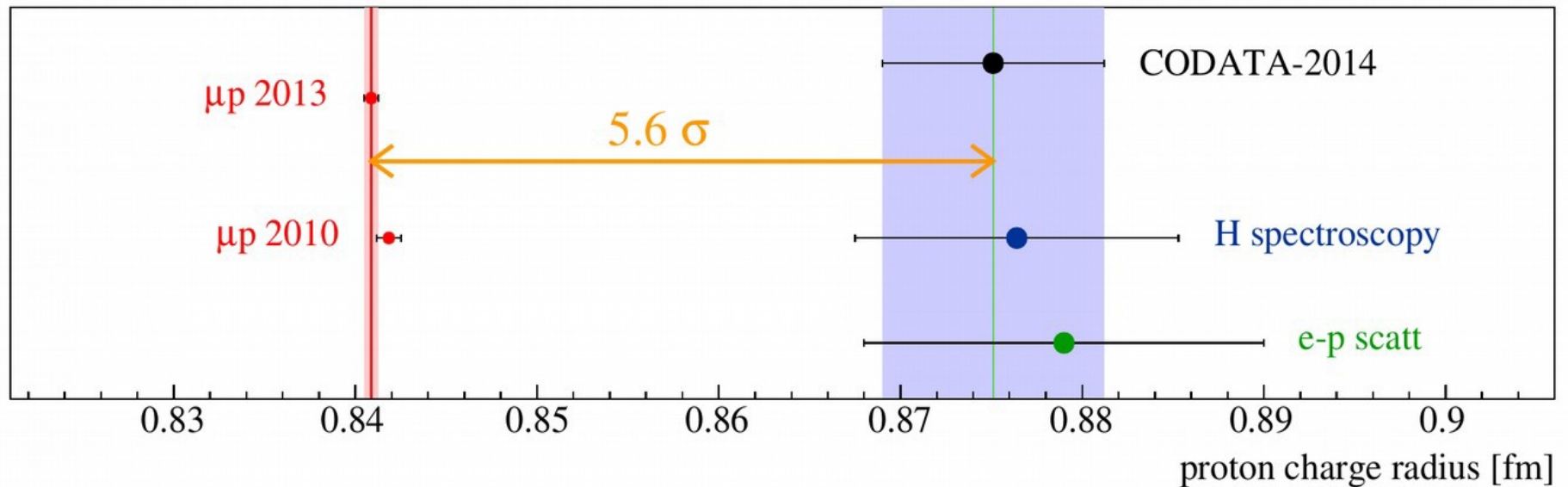
PROJECT FOR PRECISION MEASUREMENT OF THE PROTON CHARGE RADIUS IN AN ELECTRON-PROTON SCATTERING EXPERIMENT

PROTON Collaboration

***Petersburg Nuclear Physics Institute, Russia;
Institute for Nuclear Physics, University of Mainz, Germany;
GSI Helmholtzzentrum für Schwerionenforschung, Germany;
Joint Institute for Nuclear Research, Dubna, Russia;
William and Mary College, USA;
Mount Allison University, Canada;
University of Regina, Canada;
Saint Mary's University, Canada***



Motivation new measurements



Lamb shift in $p\mu$ atoms

Collaboration CREMA at PSI

$$R_p = 0.84184(87) \text{ fm}, R_p = 0.84087(39) \text{ fm}$$

Electron-proton (ep) elastic scattering

A1 collaboration at Mainz

Thomas Jefferson National Accelerator Facility

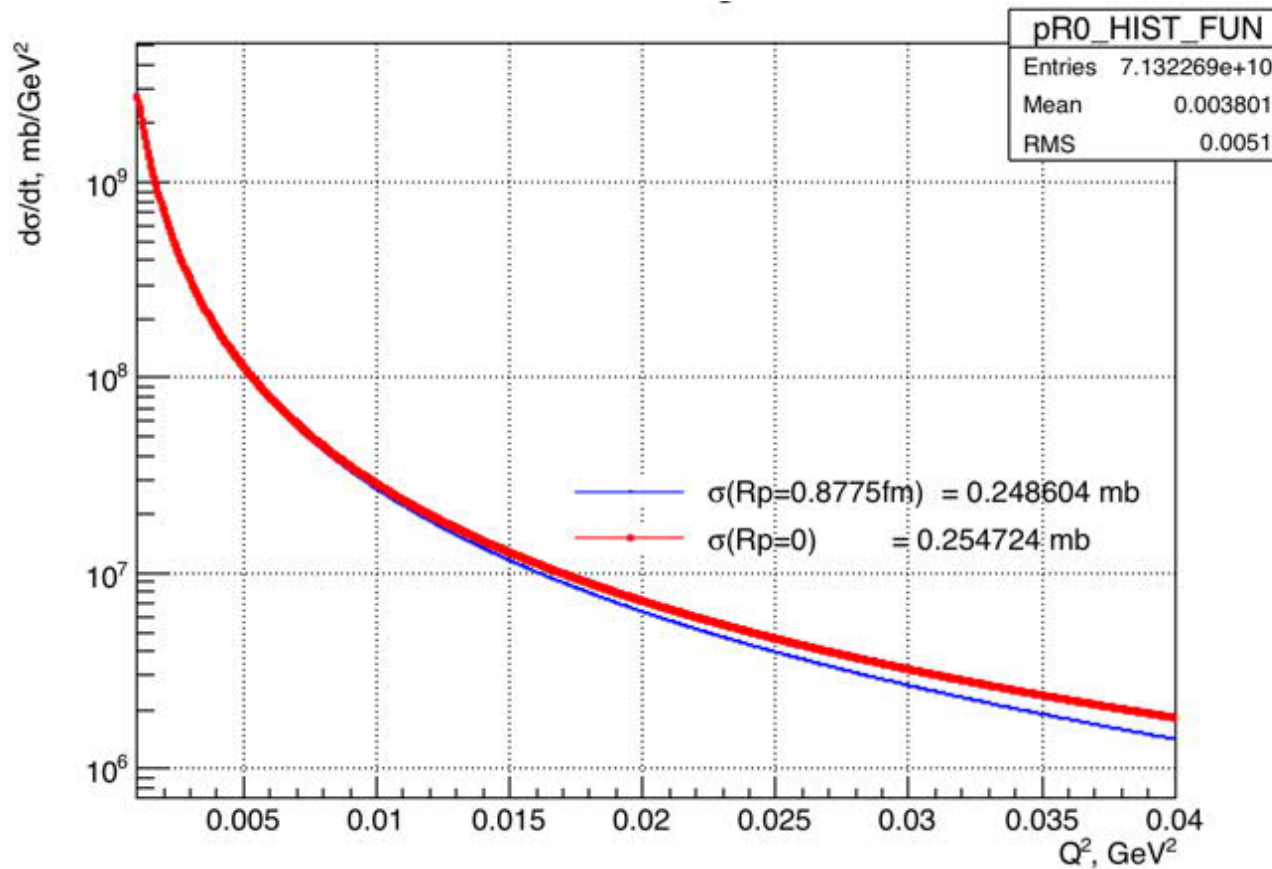
$$R_p = 0.879(5)\text{stat}(6)\text{syst} \text{ fm}$$

$$R_p = 0.875(10) \text{ fm}$$

Difference 4% or $5.6 \cdot \sigma$!



Differential cross section elastic ep scattering

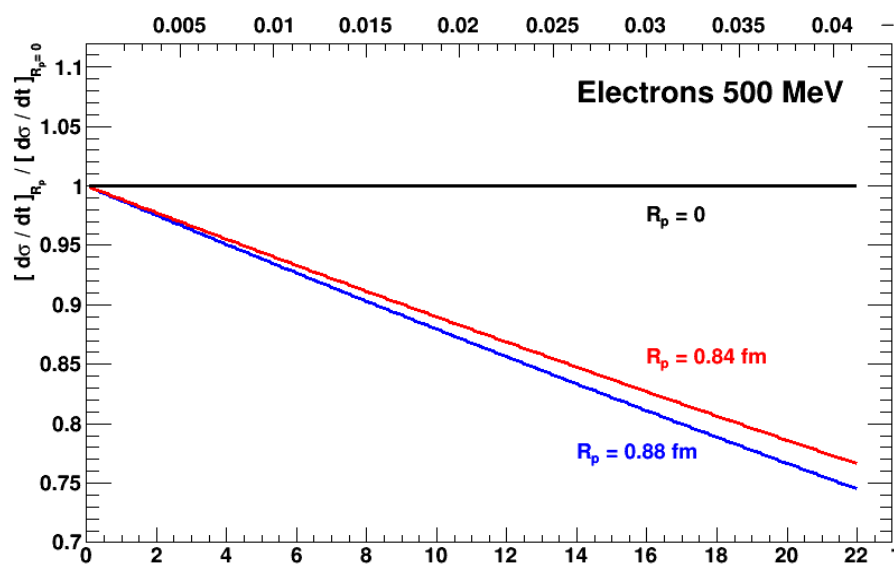


Differential cross section for ep elastic scattering at $\varepsilon_e = 720\text{ MeV}$ calculated for $R_p = 0$ and for $R_p = 0.8775\text{ fm}$ following from a modified Dipole Form Factor

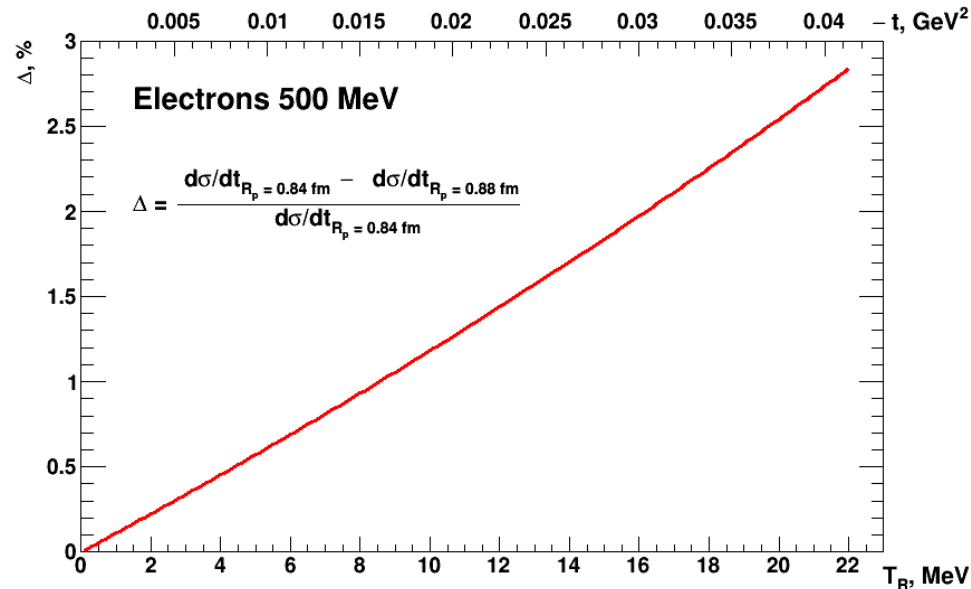


Cross section sensitivity to R_p

The differential cross sections will be measured for $\varepsilon_e = 720$ MeV in the Q^2 range from 0.001 GeV^2 to 0.04 GeV^2



Ratio of $d\sigma/dt$ calculated for two different values of R_p to that calculated for the point-like proton.



Difference between the ep differential cross sections corresponding to $R_p = 0.84 \text{ fm}$ and $R_p = 0.88 \text{ fm}$

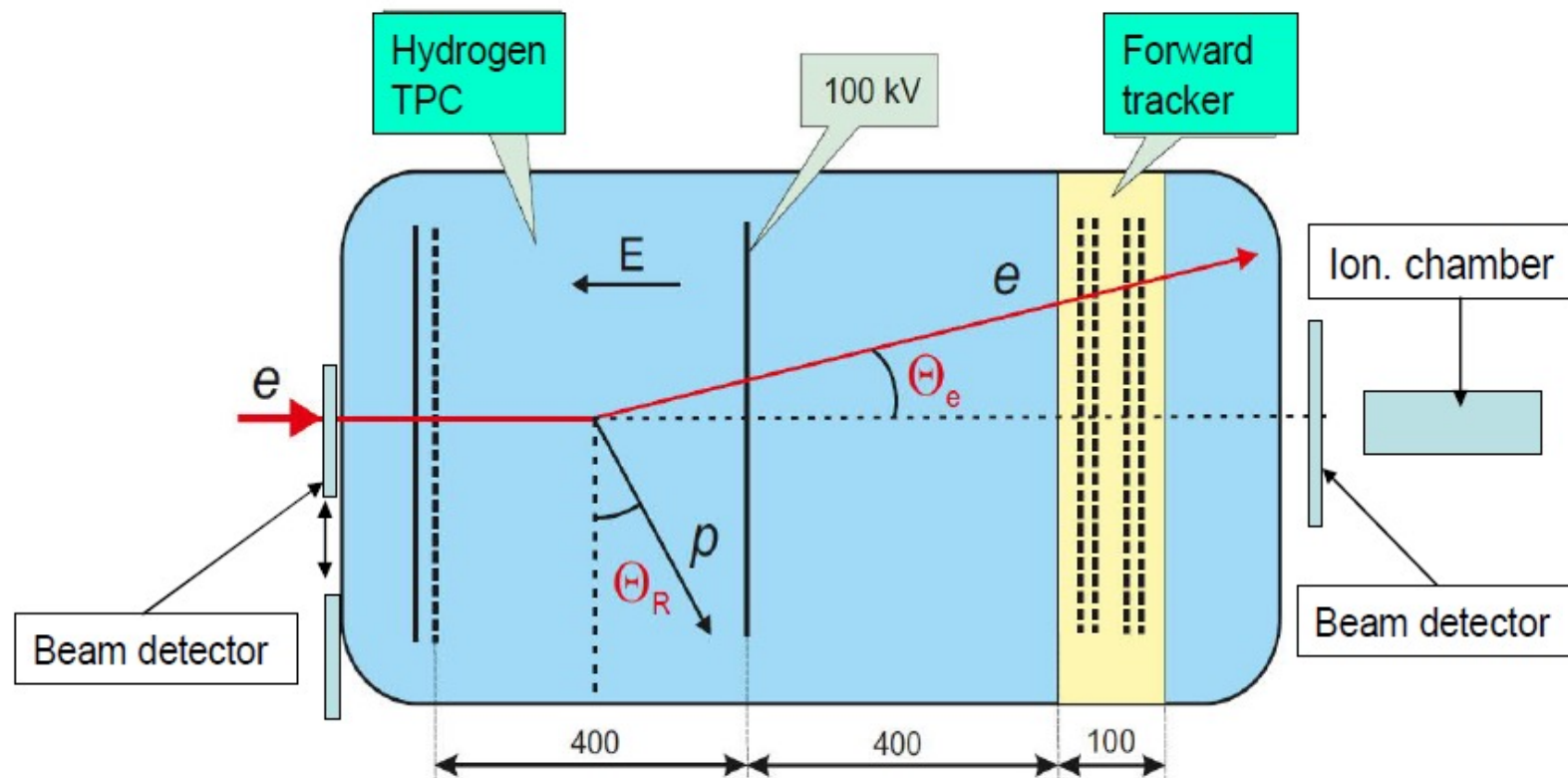
The cross sections corresponding to $R_p = 0.88 \text{ fm}$ and $R_p = 0.84 \text{ fm}$ differ only by 1.3% at $Q^2 = 0.02 \text{ GeV}^2$. That means that at least 0.2% precision in measurements of $d\sigma/dt$ is needed to distinguish reliably between these two options.

The differential cross sections will be measured with 0.1% relative and 0.2% absolute precision.



Experimental method

Time Projection Chamber (TPC) detecting recoil protons will be used in combination with a high precision Forward Tracker (FT) detecting the scattered electrons



Measured quantities:

Recoil energy T_R

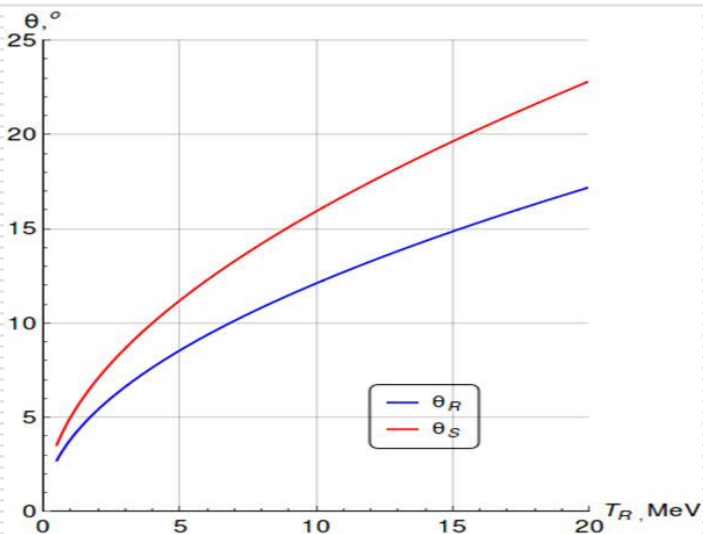
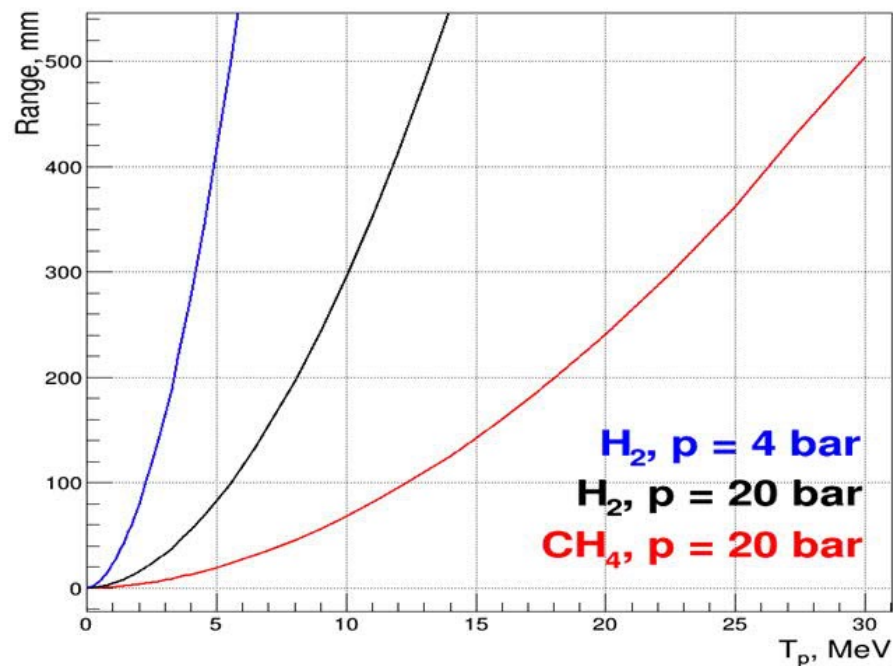
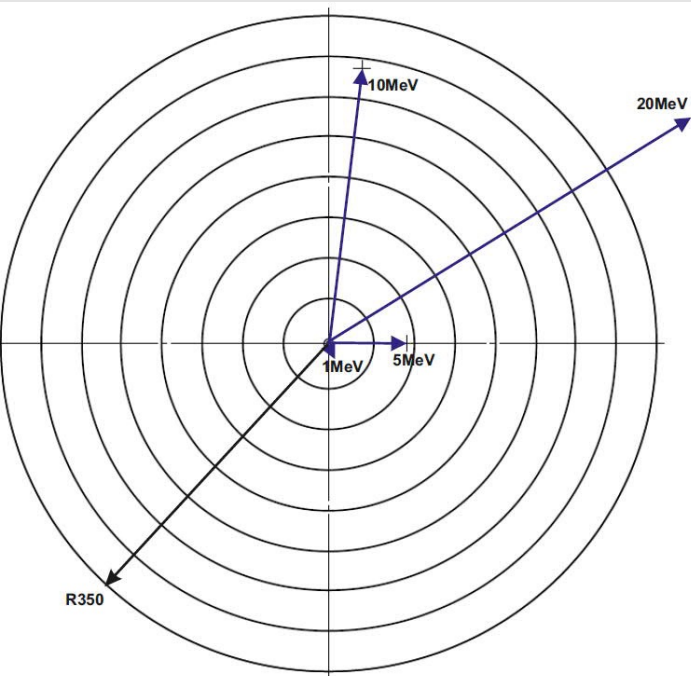
Recoil angle Θ_R

Vertex **Z** coordinate

E scattering angle Θ_e



Time projection chamber. Active target.



TPC anode structure: a 10 mm in diameter circle surrounded by 8 rings (left panel).

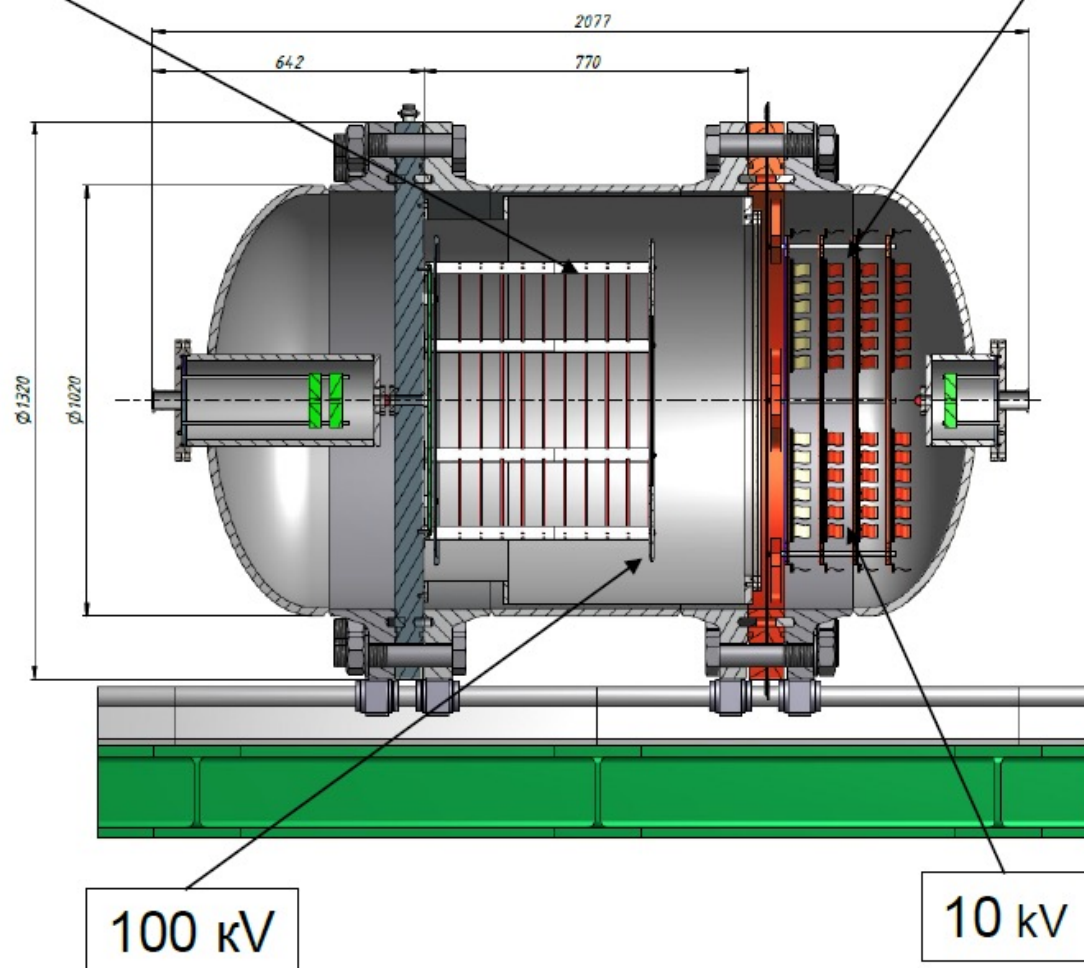
Proton range-energy plots for H_2 gas (20 bar and 4 bar) and for CH_4 (20 bar) (right panel).

Scattering electron and recoil proton angles θ_e and θ_R in function of the recoil proton energy for 500 MeV electrons



20 bar H_2 TPC
Gas purity 10^{-8}

Ar + CH₄ 20 атм



100 kV

10 kV



Forward tracker. Proportional chambers at 20 bar.

The FT consists of 3 pairs of Cathode Strip Chambers (CSC).

Each chamber is a symmetric MWPC with a 3.0 mm gap between the cathode and the anode planes.

The size of the chamber is $600 \times 600 \text{ mm}^2$ (Octagon).

The readout is from both cathode planes.

The anode wire plane contains $30 \text{ }\mu\text{m}$ wires spaced by 3 mm.

Both cathode planes are made of $50 \text{ }\mu\text{m}$ wires with 0.5 mm step.

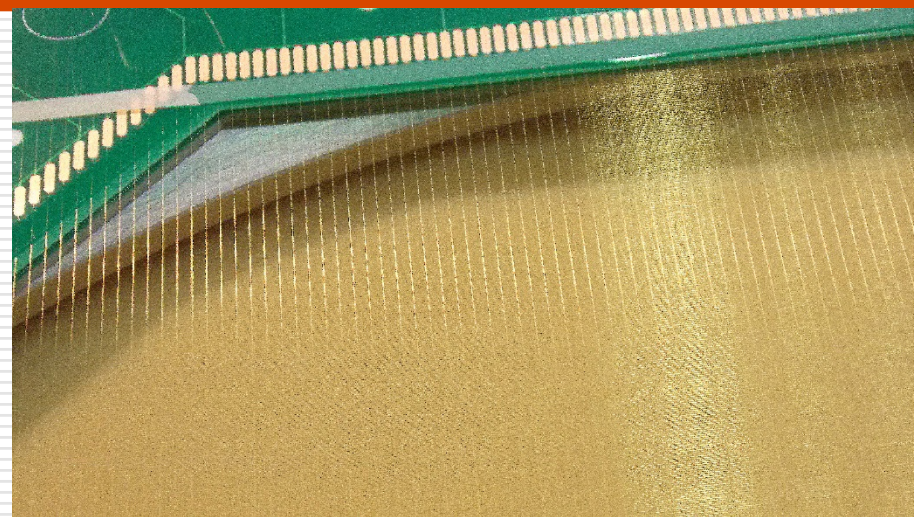
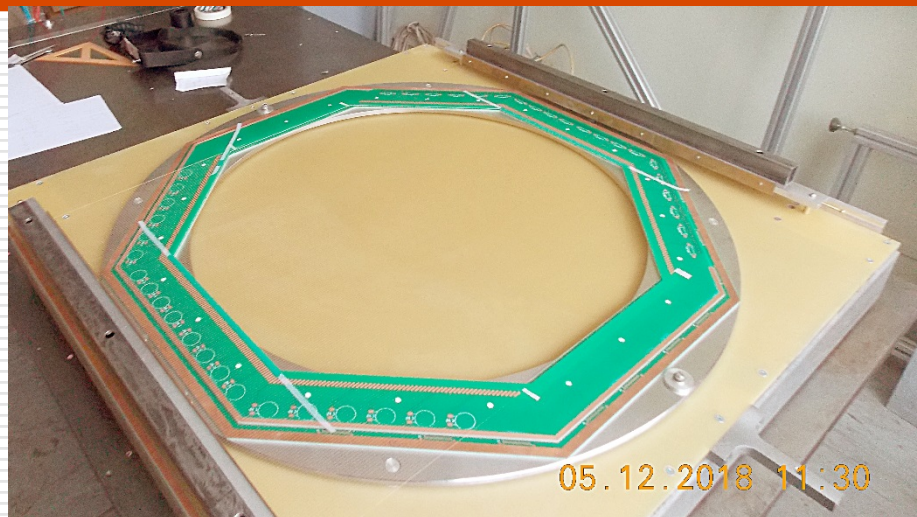
In cathode plane 2.5 mm strips are formed by joining together 5 wires.

Using the center of-gravity method, the coordinate of each detected track is determined with $\sim 30 \text{ }\mu\text{m}$ resolution.

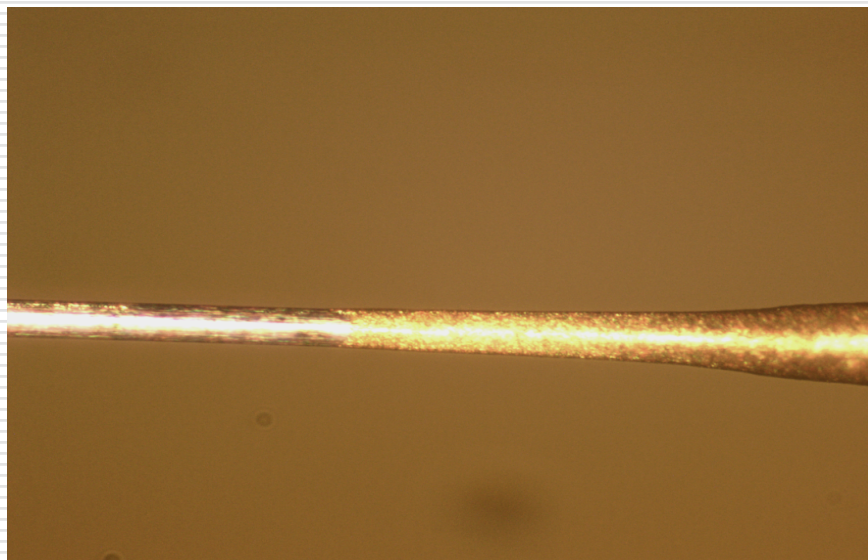
The CSC strip plane is fabricated in such a way that it provides the absolute linear scale with $\sim 0.02\%$ precision.



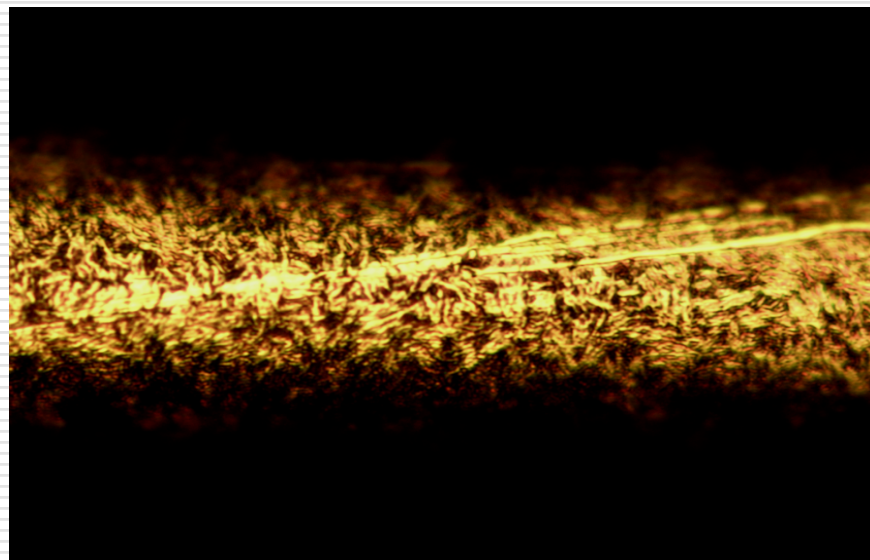
Anode plane of the FD



Anode plane. Open space is 600 mm. W/Re 30 μm wire, step



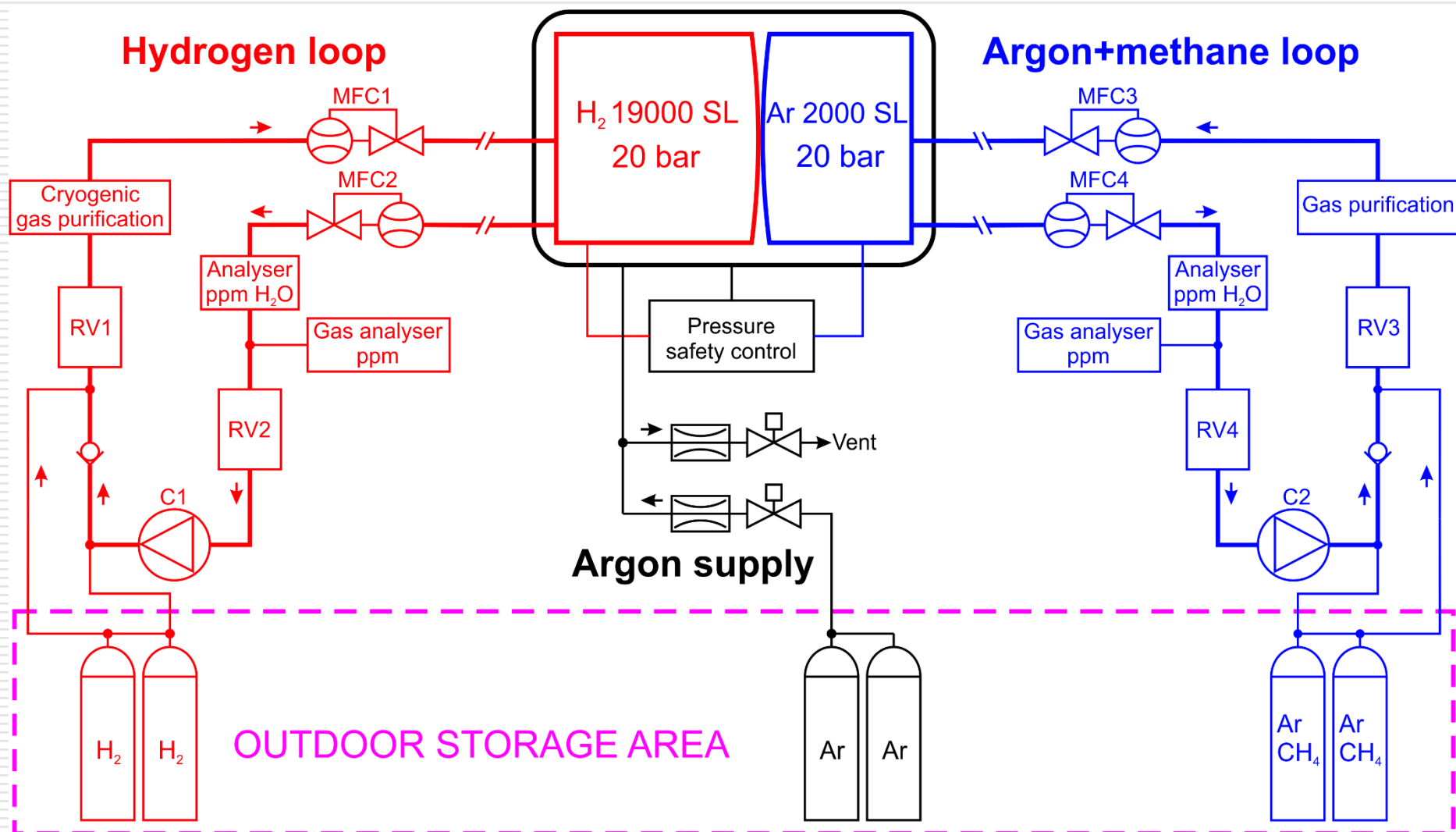
Cathode wire W/Re 50 μm . Additional gold at central part 50 $\mu\text{m} \rightarrow 80 \mu\text{m}$. Zoom - 100



Cathode wire with additional gold 50 $\mu\text{m} \rightarrow 80 \mu\text{m}$. Zoom - 400.

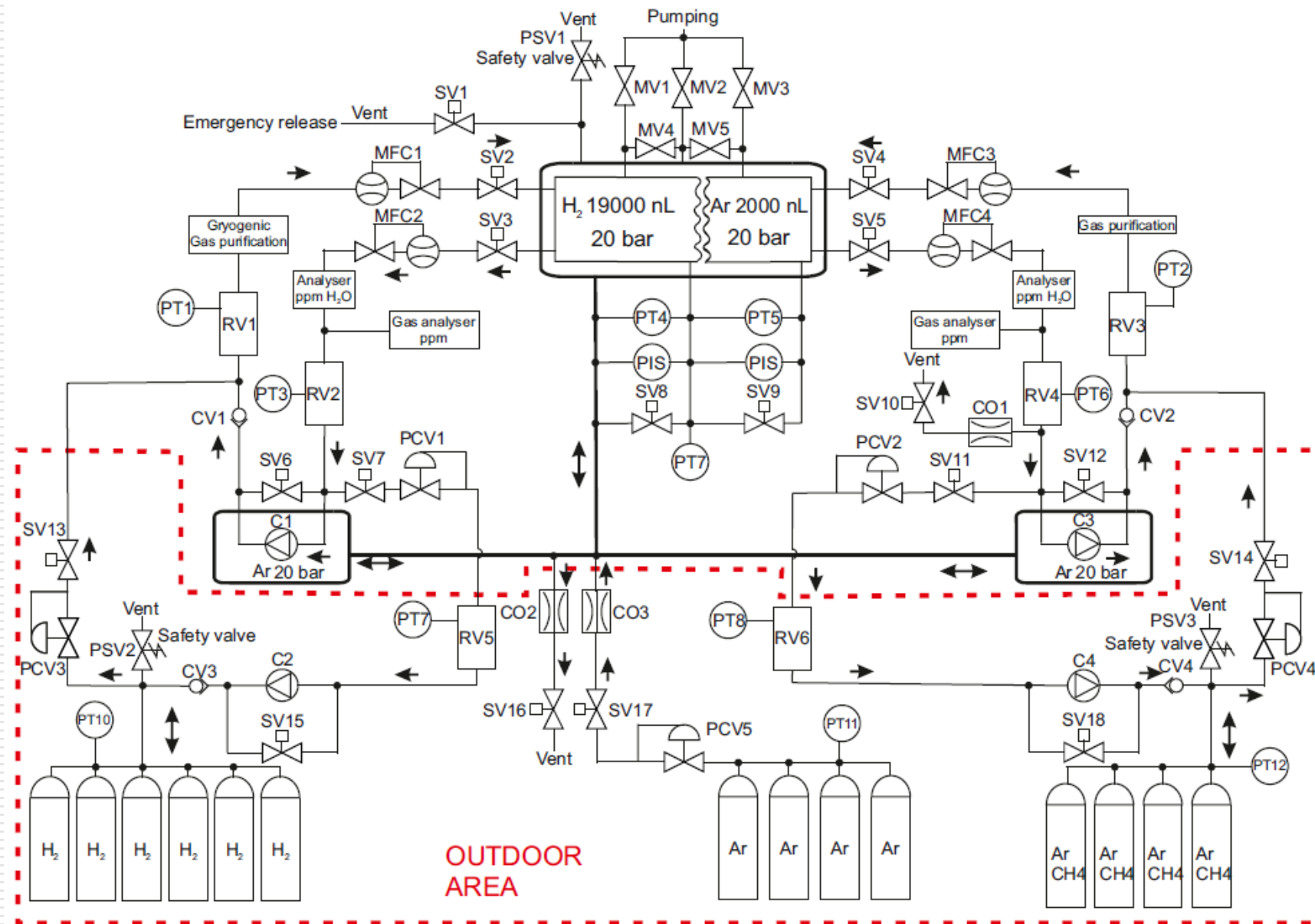


Gas system





Gas system





Parameters of the electron beam planned to use in this experiment

Beam energy	720 MeV
Beam energy resolution	$< 20 \text{ keV } (1\sigma)$
Absolute beam energy precision	$\pm 150 \text{ keV } (1\sigma)$
Beam intensity (main run)	$2 \cdot 10^6 \text{ e/s}$
Beam intensity for calibration	10^4 e/s and 10^3 e/s
Beam divergency	$\leq 0.5 \text{ mrad } (1\sigma)$
Beam size	$\leq 0.2 \text{ mm } (1\sigma)$
Duty factor	100%



Summary of systematic errors expected in the proposed experiment

		Syst. Error %	comment
1	Drift velocity, $W1$	0.01	
2	High Voltage, HV	0.01	
3	Temperature, K	0.015	
4	Pressure, P	0.01	
5	H ₂ density, ρ_p	0.025	Sum of errors 3 and 4
6	Target length, L_{tag}	0.02	
7	Number of protons in target, N_p	0.045	Sum of errors 5 and 6
8	Number of beam electrons, N_e	0.05	Beam detector counts corrected for pileups
9	Detection efficiency of ep events	0.05	
10	Electron beam energy, ε_e	0.02	
11	Electron scattering angle, θ_e	0.02	
12	t -scale calibration, T_R relative	0.04	Follows from error 11
13	t -scale calibration, T_R absolute	0.08	Follows from the sum of errors 11 and 10
	$d\sigma/dt$, relative	0.1	0.08% from error 12
	$d\sigma/dt$, absolute	0.2	0.16% from error 13 plus errors 7, 8, 9



Conclusion - plans

2019 – production of the main elements of the detector at PNPI

2020 – Assembling of the detector at Mainz

2021 – 1st test run

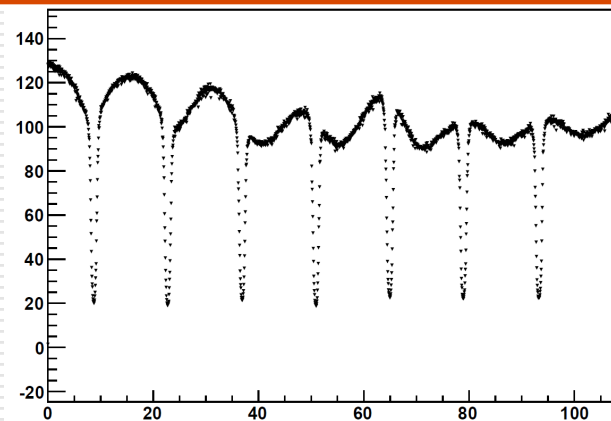


Linear scale of the cathode wires



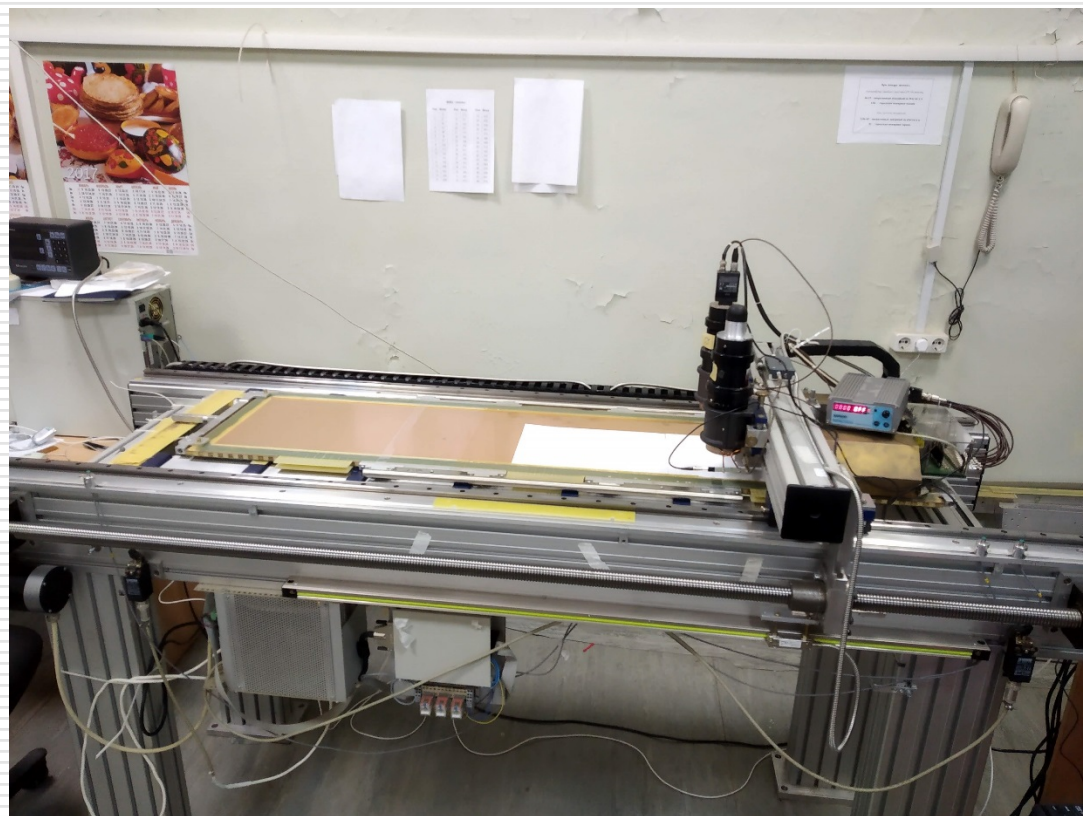
Фотография катодных
50 μm W/Re проволок.
Шаг 0.5 мм.

Оцифрованное
изображение проволок



Установка для измерения положения проволок
Бочин Б.В., Микиртычьянц С.М.

Требуется обеспечение абсолютной линейной
шкалы на базе 600 мм с погрешностью не более
0.02% (0.12 mm погрешности на всей шкале)

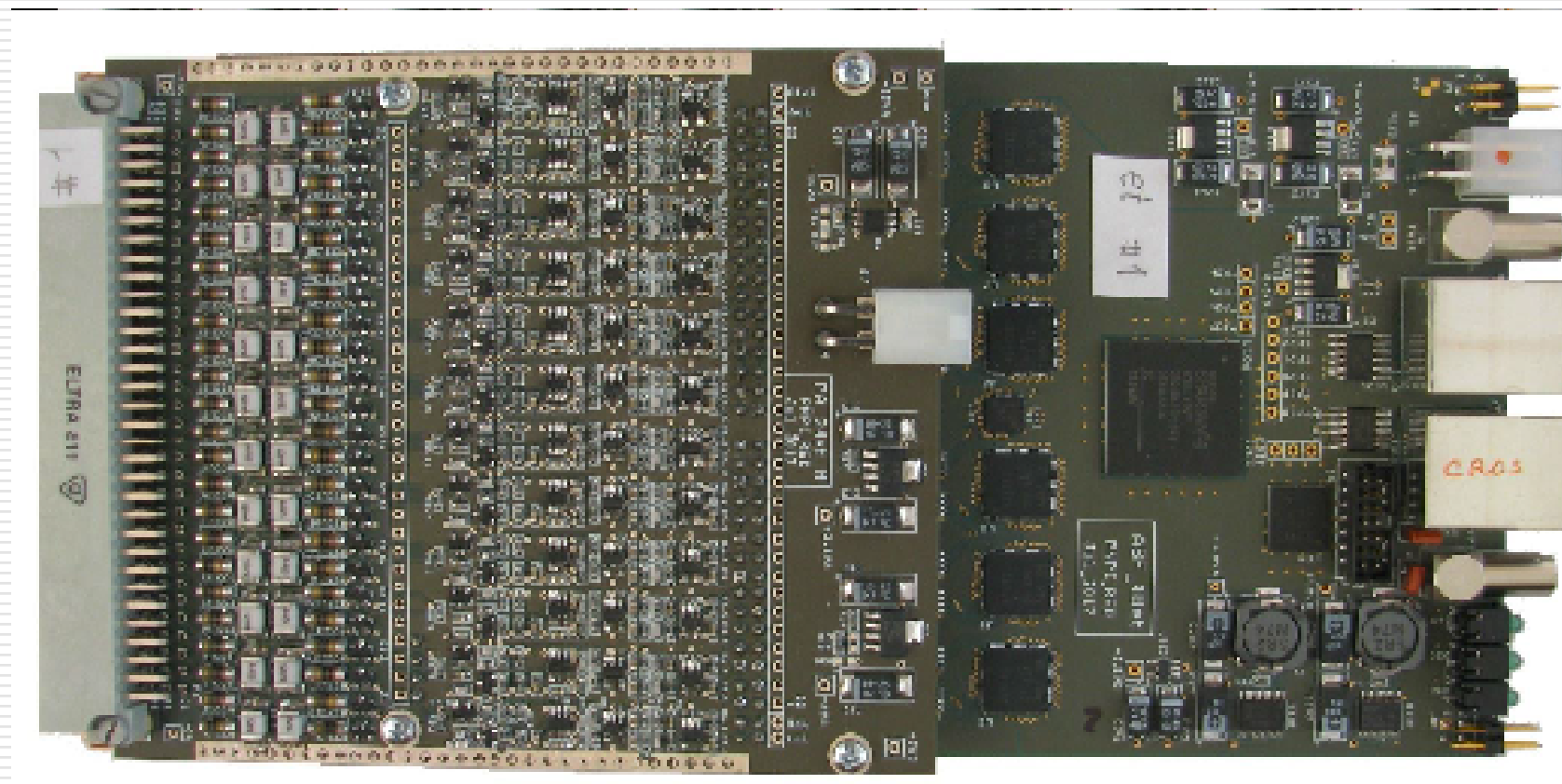




Карта чтения FD - ASF48et

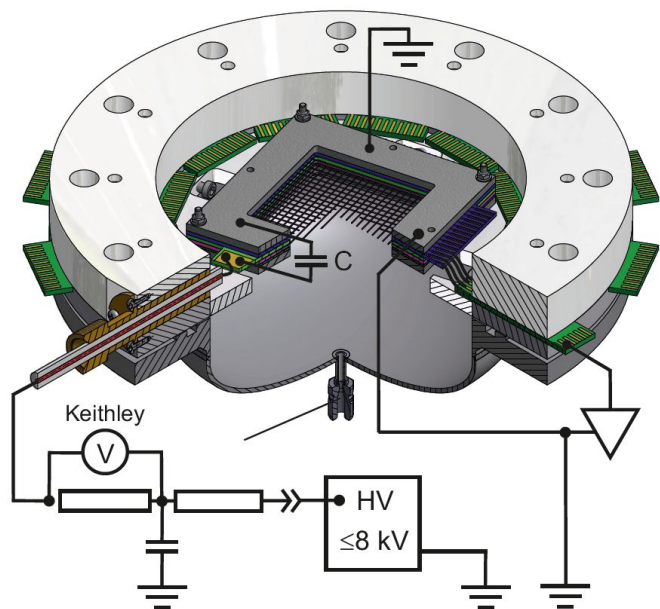
48-КАНАЛЬНАЯ КАРТА СБОРА АНАЛОГОВОЙ ИНФОРМАЦИИ, ВЫПОЛНЕННАЯ НА ОСНОВЕ МНОГОКАНАЛЬНЫХ Flash-ADC И ПРОГРАММИРУЕМОЙ ЛОГИКИ

***В.Л. Головцов, Н.В. Грузинский, П.А.Кравцов, А.В. Надточий,
П.В.Неустроев, Э.М. Спириденков, Л.Н.Уваров, С.Л. Уваров,
В.И. Яцюра***

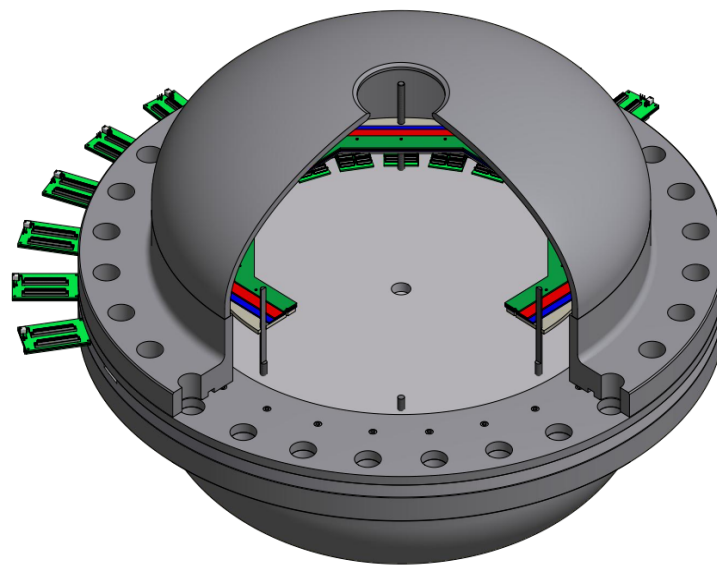




Тестирование прототипов



200 мм камера для теста прототипа



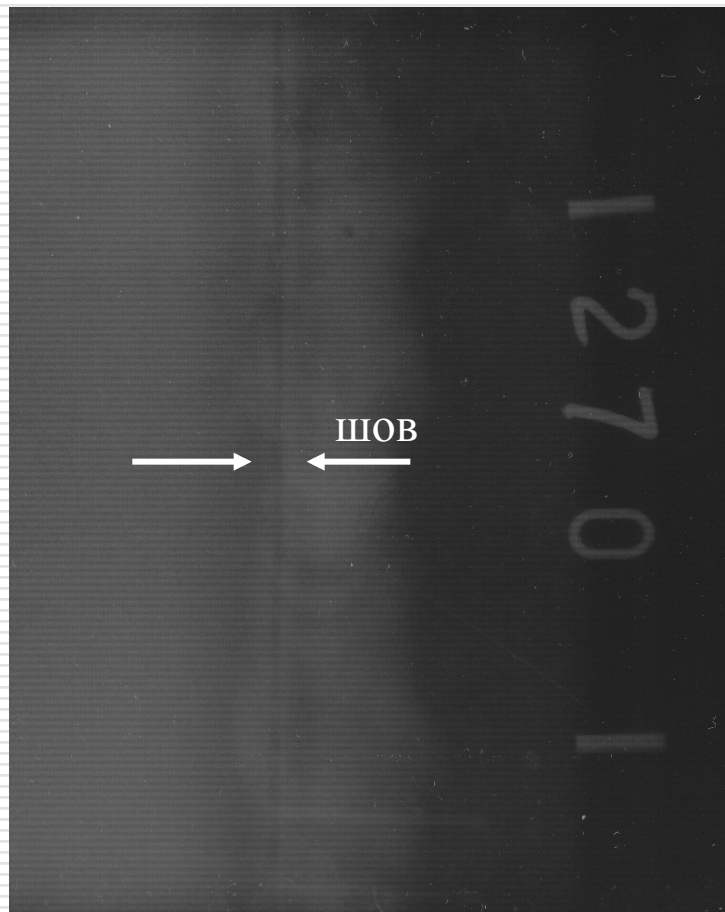
1000 мм камера для тестов на протонном пучке в ПИЯФ при 20 bar



1000 мм камера для тестов на Ar/CH₄ смеси при атмосферном давлении



Подготовка доньшка для рентгеноскопии сварного шва



Фотография сварного шва.
Шов полностью забракован.

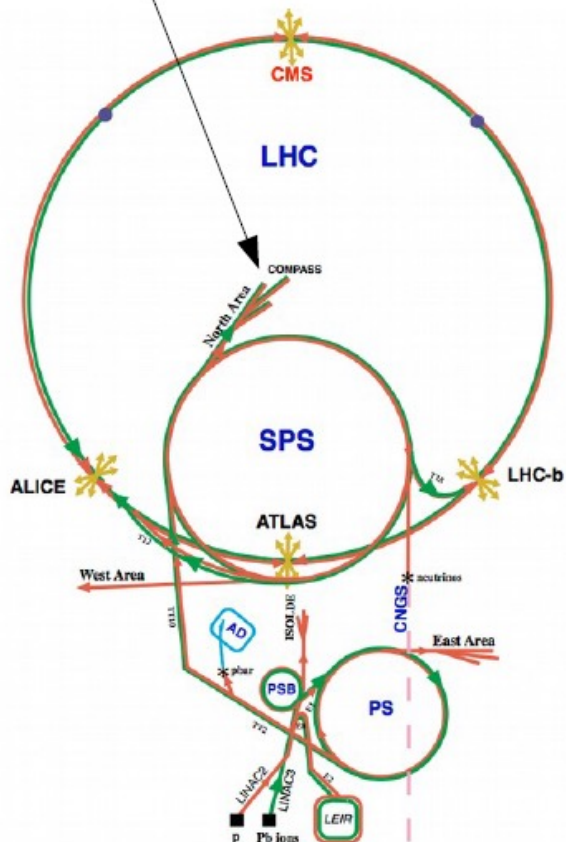


Тестовый эксперимент по μ p-рассеянию в ЦЕРНе

Руководитель эксперимента Маев Е.М.

А. Инглесси 18.12.2018 Семинар ОФВЭ ПИЯФ НИЦ КИ

SPS North Area
Превессен
зд. 888

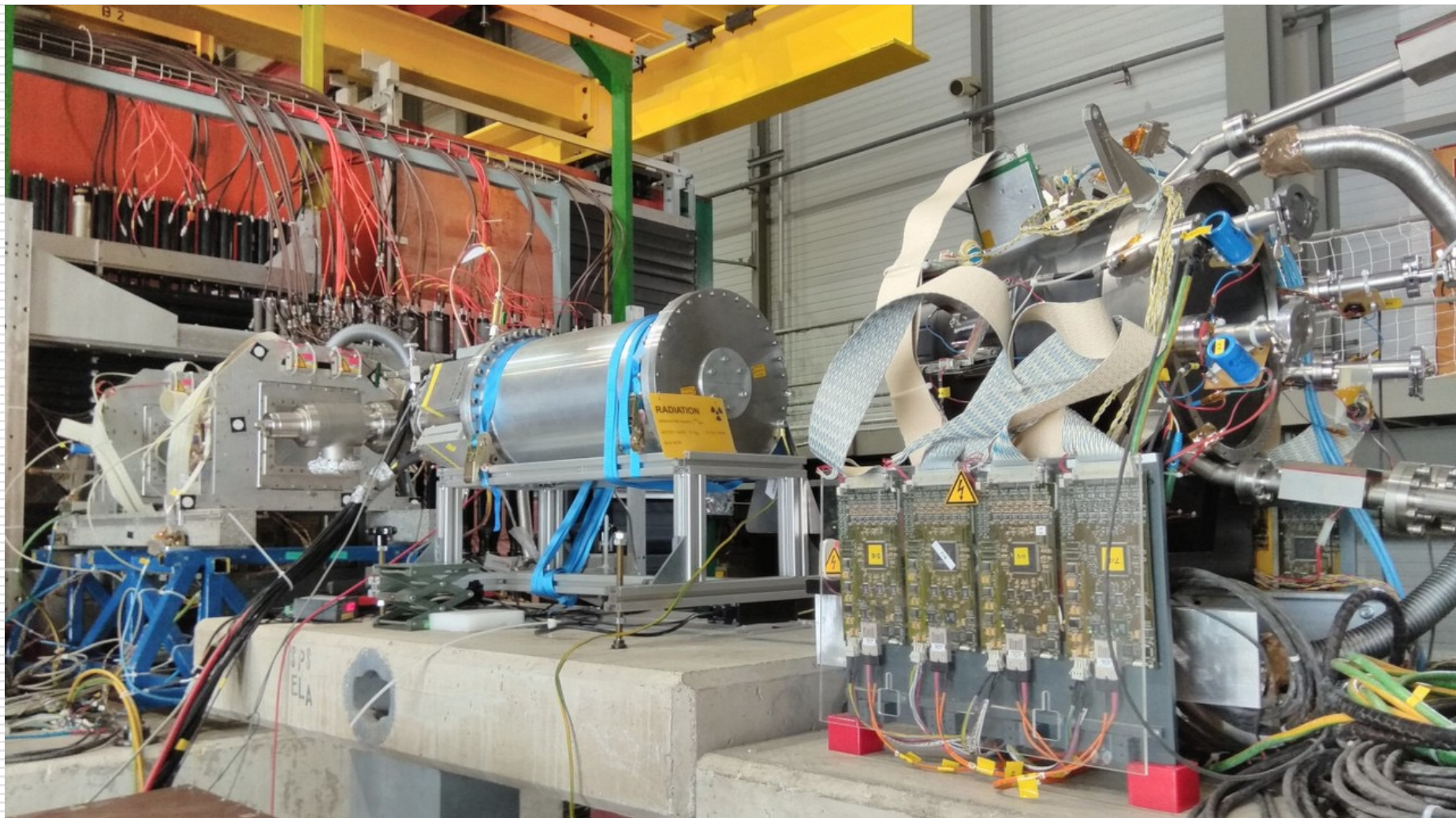


Работа на пучке: 9 апреля – 15 мая



Руководитель эксперимента Маев Е.М.

А. Инглесси 18.12.2018 Семинар ОФВЭ ПИЯФ НИЦ КИ





- Проведен эксперимент по рассеянию мюонов на водородной активной мишени
- Коллаборация COMPASS внесла предложение о проведении эксперимента по измерению радиуса протона в μp упругом рассеянии с использованием активной мишени

Непосредственно для eP эксперимента

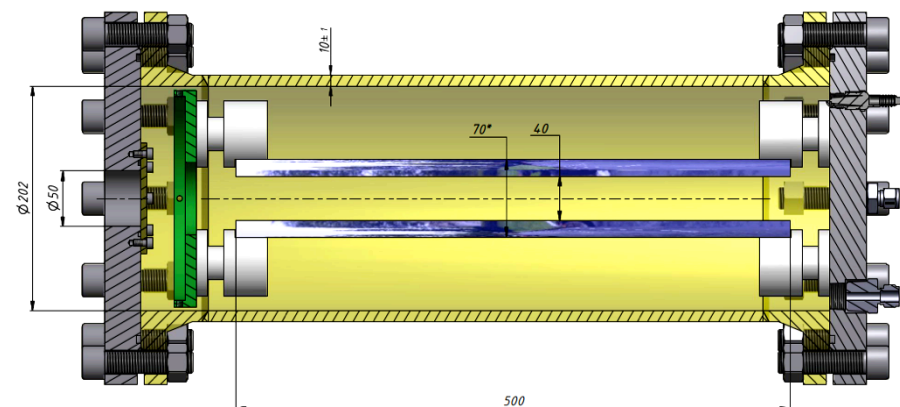
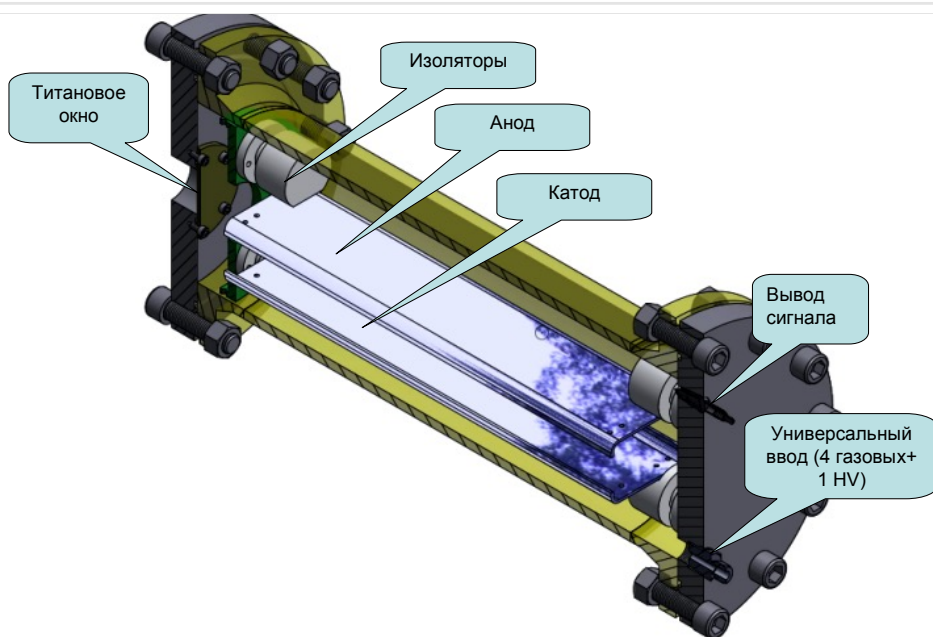
- Измерено энергетическое разрешение ТРС на пучке, получены первые энергетические распределения
- Успешно протестировано совмещение событий с помощью временной метки
- Опыт работы...



Для определения полного сечения упругого ер рассеяния необходимо измерение полного числа электронов пучка с точностью 0.1%

При средней частоте электронов 2×10^6 Hz и разрешении сцинтилляционных счетчиков 5 ns просчет будет составлять 1%

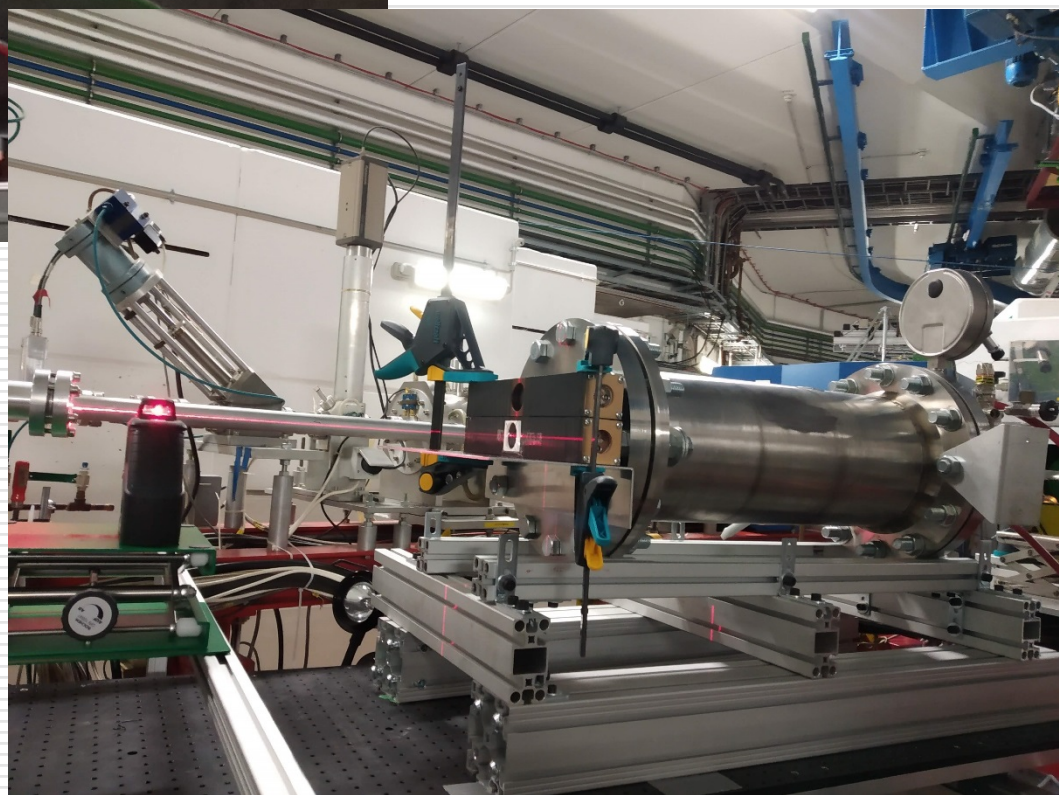
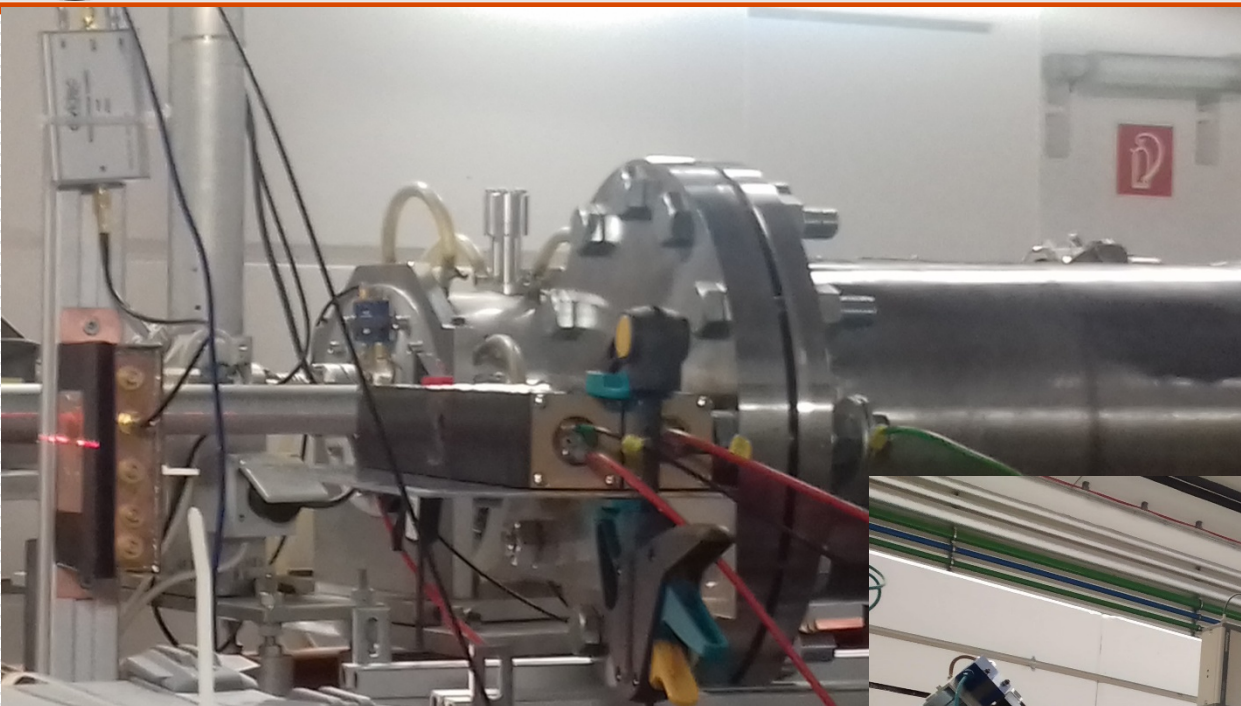
Для измерений разработана и изготовлена ионизационная камера



При 20 bar Ar и пучке 2×10^6 Hz ток ионизационной камеры составляет 40 nA
Требуется получить абсолютную точность измерения тока 4 pA



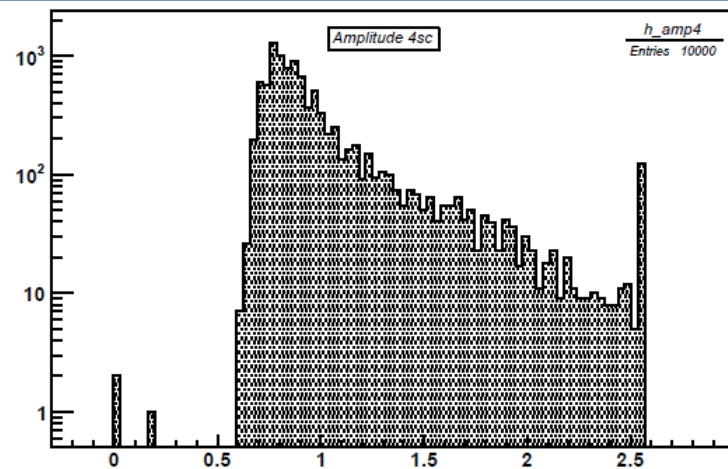
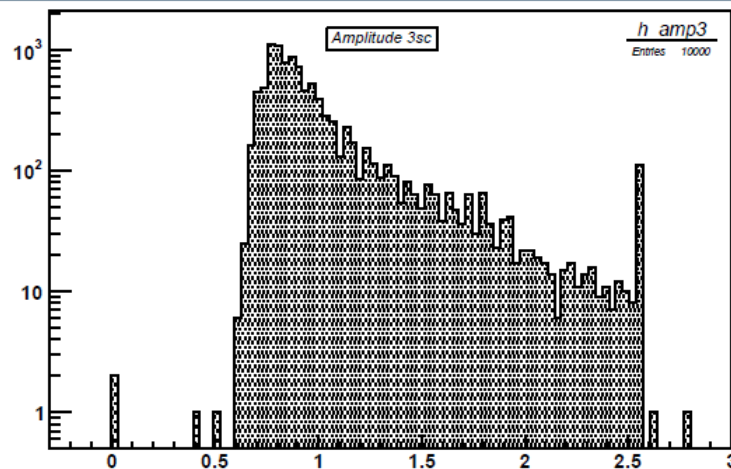
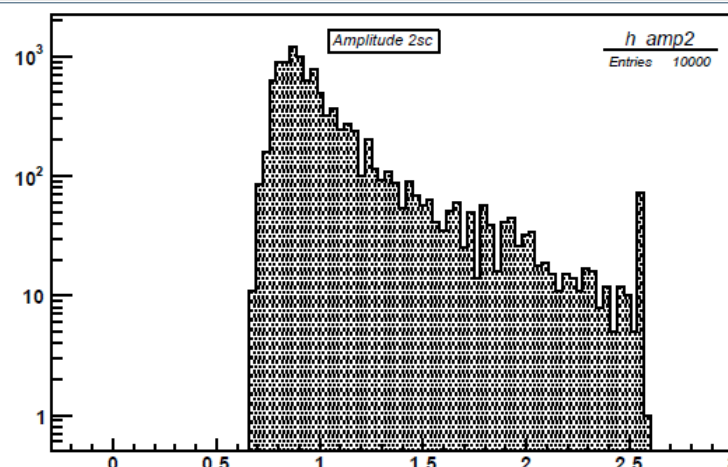
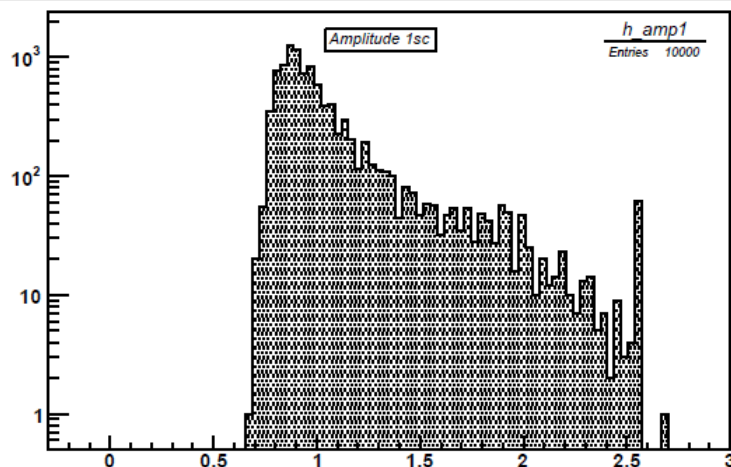
Экспериментальная установка





Эффективность сцинтилляционных счетчиков

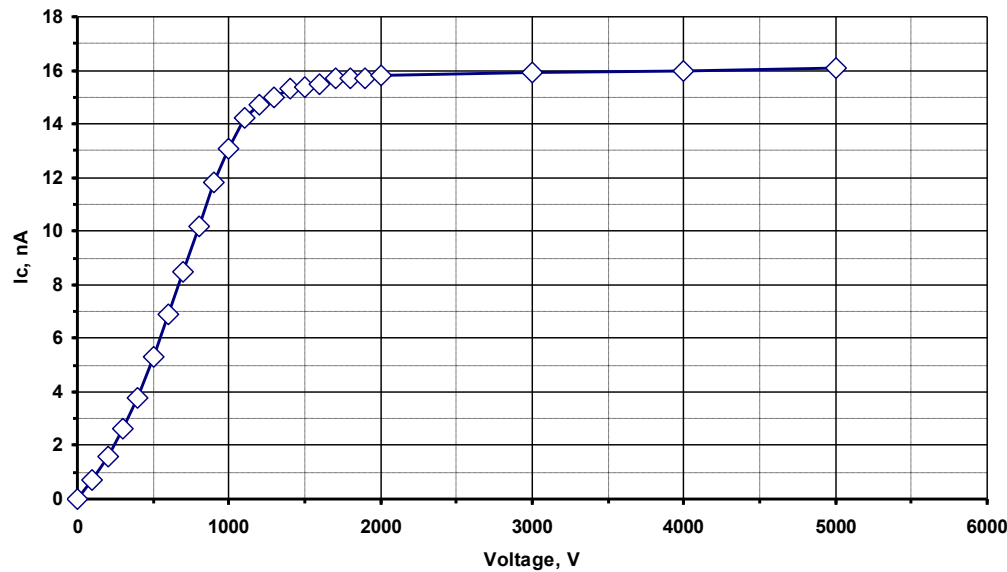
супер-быстрые пластиковые сцинтилляторы BC-420 размером $40 \times 40 \times 20$ мм³, которые просматриваются с двух сторон фотоумножителями R4998 производства Hamamatsu Photonics Ltd



Триггер по первому счетчику. Порог 250 mV. Общая статистика 20 000 электронов.



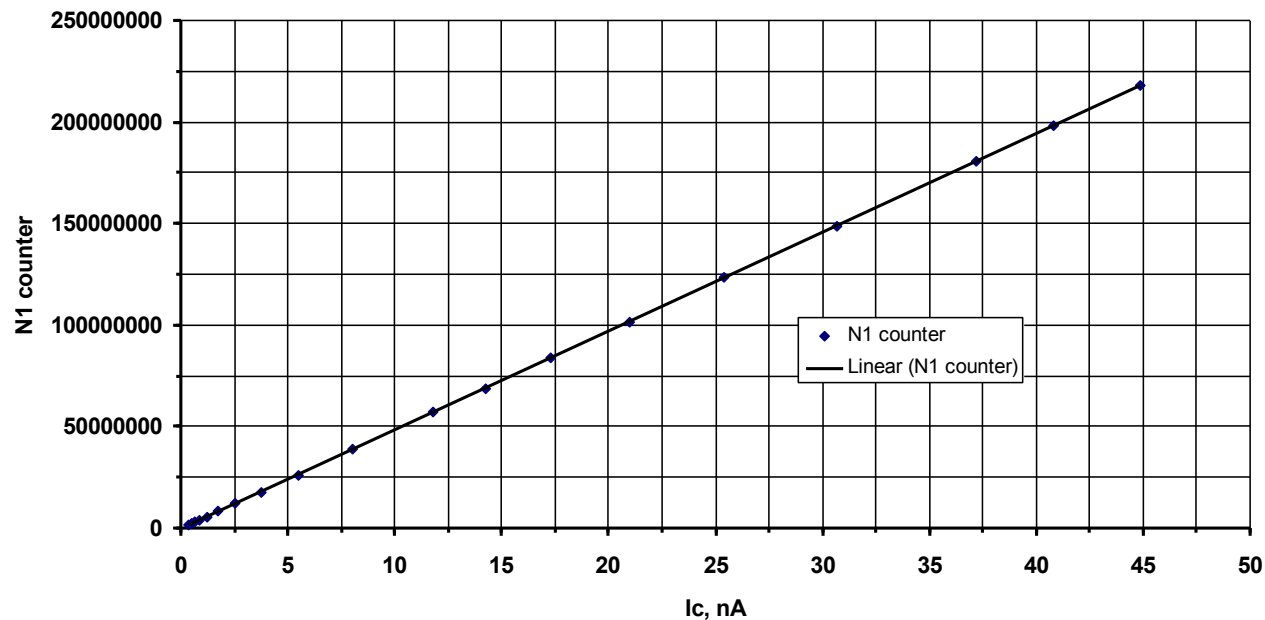
Ионизационная камера



Ток ионизационной камеры при 0.8 MHz электронном пучке от HV. Ar 99.99%, 20 bar

N1 счетчик от тока ионизационной камеры

Цель – измерение полного числа электронов с точностью 0.1% пока не достигнута!
В планах 2019 продолжение работ с токовым монитором и оптимизация характеристик пучка в месте расположения основного детектора.
Сеанс в марте 2019 года





2019

- Изготовление корпуса основного детектора и всех механических элементов
- Изготовление всех элементов ионизационной камеры
- Изготовление первой станции (одна координата) FD
- Тестирование одной станции FD при атмосферном давлении
- Тестирование одной станции FD при давлении 20 bar на космике и (?) на протонном пучке в ПИЯФ
- Сборка элементов газовой системы детектора. Испытания.
- Изготовление и сборка элементов FD.
- Изготовление элементов электроники.

Конец 2019 или начало 2020. Транспортировка в Майнц готовых элементов детектора

2020

- Сборка и испытание (включая TUV) основного корпуса детектора (Майнц)
- Сборка и испытания 3-х контурной газовой системы (Майнц)
- Изготовление FD, транспортировка в Майнц
- Изготовление электроники, транспортировка в Майнц

Конец 2020 или начало 2021. Полная сборка детектора.

2021

Первый тестовый сеанс на электронном пучке в Манце.