



Эксперименты по измерению зарядового радиуса протона и поляризуемости нуклонов с помощью активных мишеней на ИКИ НИИЯФ

О. Л. Федин

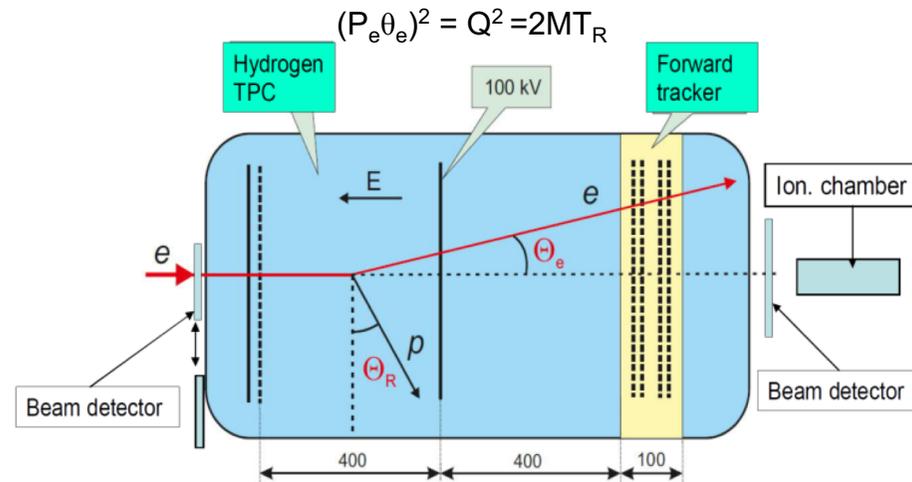
Отделение физики высоких энергий
НИЦ КИ - ПИЯФ



Эксперимент PRES (Протон)



- 2016 (LoI, А.А. Воробьев) - эксперимент по измерению зарядового радиуса протона методом упругого рассеяния электронов на активной водородной мишени - TPC
- Цель: измерить $d\sigma/dt$ в диапазоне $10^{-3} < t < 4 \cdot 10^{-2} \text{ GeV}^2$ с точностью $\sim 0.2\%$, чтобы определить зарядовый радиус протона с точностью $< 1\%$
- Планировалось выполнить эксперимент на микротроне MAMI@Mainz
- Статистика $\sim 7 \cdot 10^7$ ер рассеяний ~ 45 дней

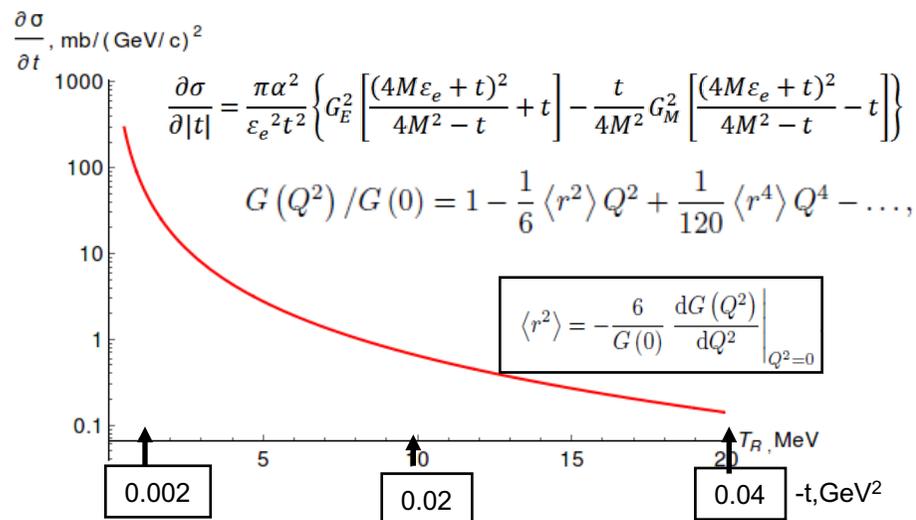


Точность измеряемых переменных:

- энергия отдачи протона $T_R \sim 0.2\%$
- угол вылета протона отдачи $\vartheta_R \sim 0.04\%$
- угол рассеяния электрона $\vartheta_e \sim 0.04\%$

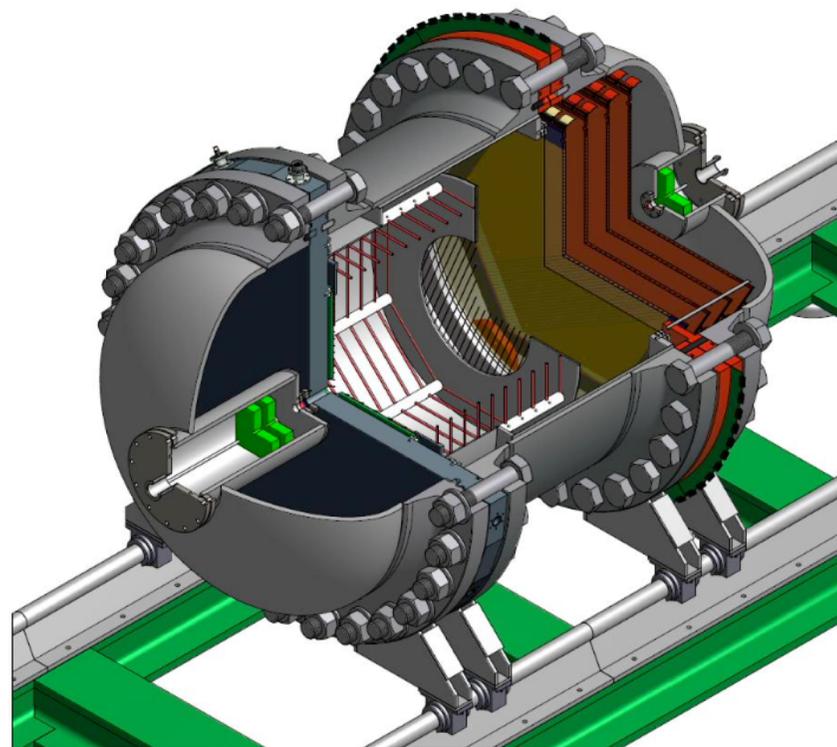
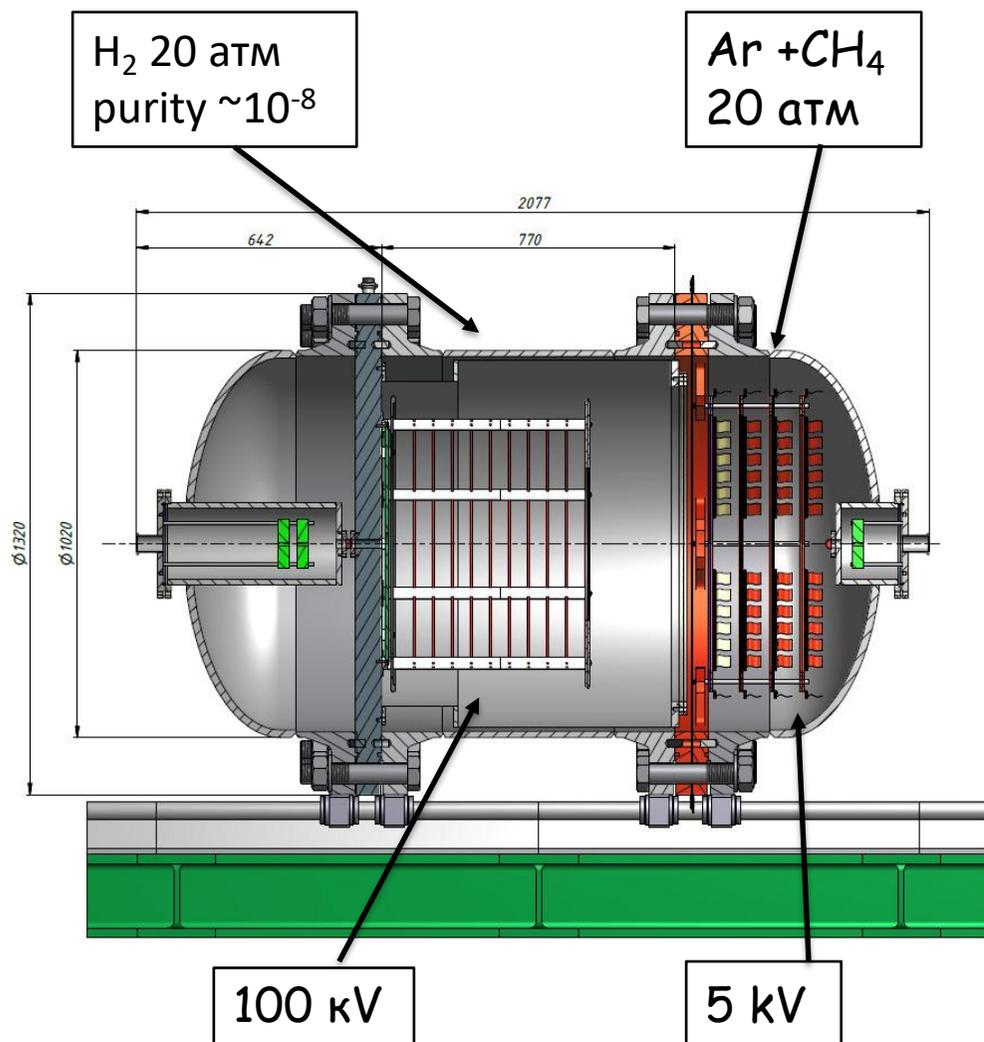
Параметры электронного пучка микротрона MAMI

Beam energy	720 MeV
Beam energy resolution	$< 20 \text{ keV} (1\sigma)$
Absolute beam energy precision	$\pm 150 \text{ keV} (1\sigma) \sim 0.02\%$
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 divergence	$\leq 0.5 \text{ mrad} (1\sigma)$
Beam size	$\leq 0.2 \text{ mm} (1\sigma)$
Duty factor	100%



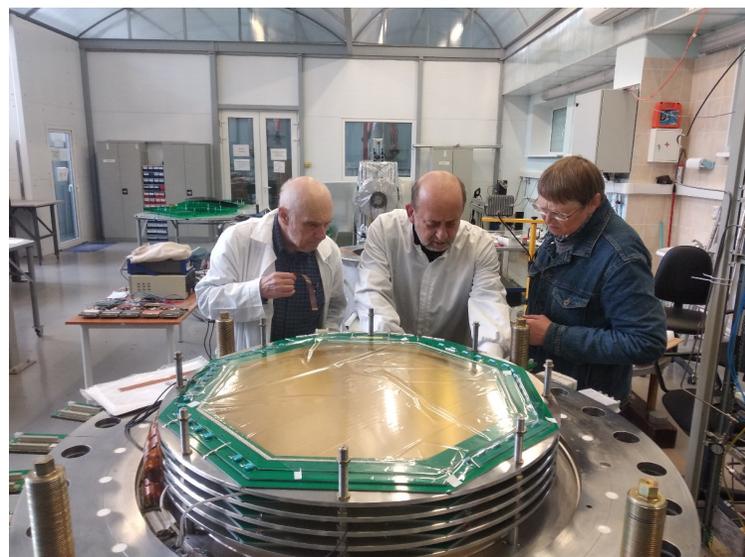


Активная мишень установки PRES





Установка PRES





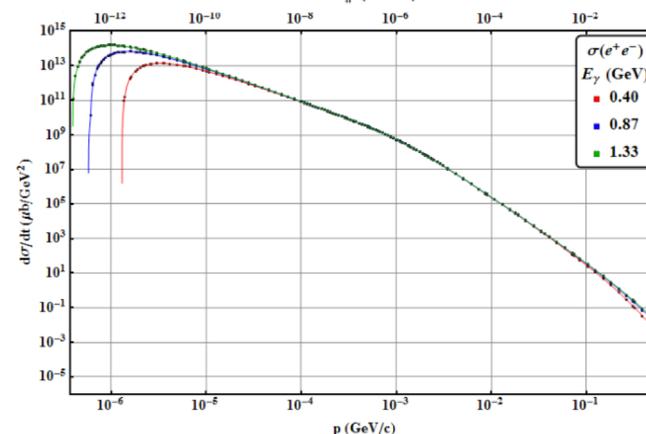
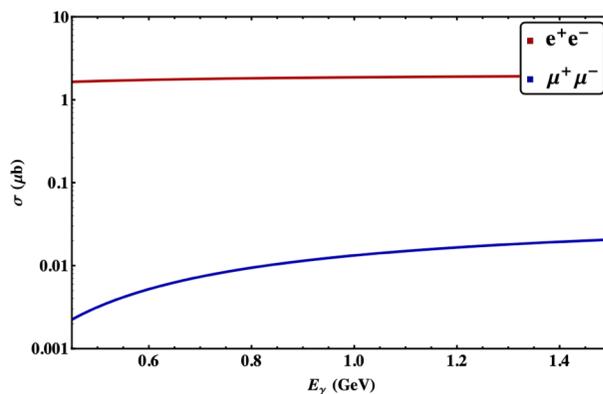
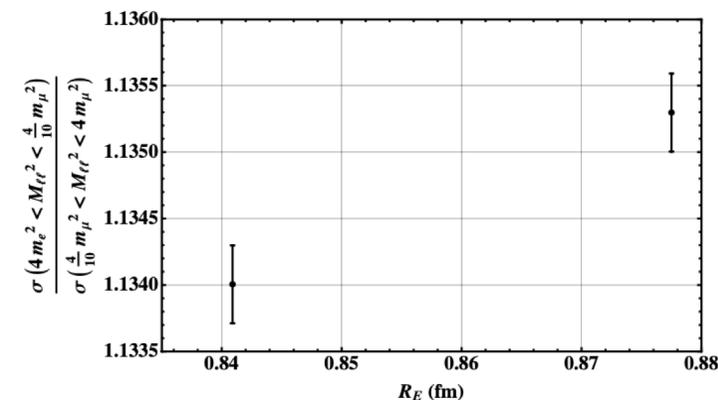
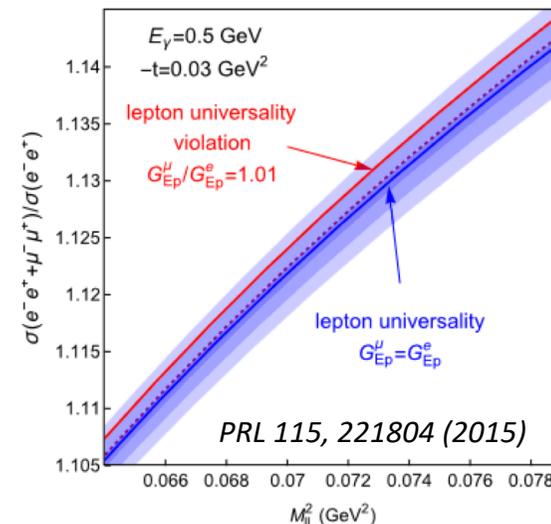
Исследование процесса Бете-Гайтлера



Исследование процесса Бете-Гайтлера: $\gamma p \rightarrow p \ell^+ \ell^-$ (LoI for A2 collaboration, S. Belostotki), с помощью активной мишени:

- измерение формфактора протона
- проверка лептонной универсальности

$$\frac{d\sigma^{BH}}{dt dM_{\ell\ell}^2} = \frac{\alpha^3}{(s - M_p^2)^2} \cdot \frac{4\beta}{t^2(M_{\ell\ell}^2 - t)^4} \cdot \frac{1}{1 + \tau} \times [C_E G_{E_p}^2 + C_M \tau G_{M_p}^2],$$



$E_\gamma = 0.5 \text{ ГэВ}$

$\Phi \gamma = 3.8 \times 10^8 \text{ Гц}$	$M_{\ell\ell}^2 \leq 4m_\mu^2$	$e^+e^-, 4m_\mu^2 < M_{\ell\ell}^2 < 4m_{\pi^0}^2$	$\mu^+\mu^-, 4m_\mu^2 < M_{\ell\ell}^2 < 4m_{\pi^0}^2$
$\approx \text{Event Rate (Hz)}$	21	1.05	0.07
$\approx \text{Events (30 Days)}$	6.09×10^7	2.60×10^6	1.40×10^5



Измерение поляризуемости нуклонов



- В 2016 г. был предложен эксперимент для прецизионного измерения дифференциального сечения комптоновского рассеяния γp с использованием пучка немеченых тормозных фотонов ($E_\gamma < 100$ МэВ) на ускорителе MESA (Mainz) и активной мишени (рабочий газ H_2 , 2D , 3He , 4He).
- Цель: прецизионное измерения поляризуемости протонов и нейтронов.

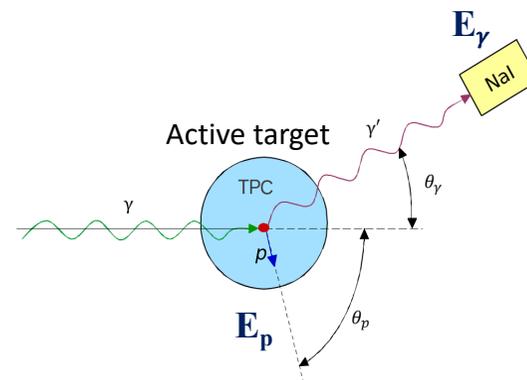
2021: A2 collaboration
arXiv:2110.1569

$$\alpha_{E1} = 10.99 \pm 0.16 \pm 0.47 \pm 0.17 \pm 0.34 \cdot 10^{-4} \text{ fm}^3$$

$$\beta_{M1} = 3.14 \pm 0.21 \pm 0.24 \pm 0.20 \pm 0.35 \cdot 10^{-4} \text{ fm}^3$$

Counting rate estimation at MESA

- electron beam $E_e = 120 \text{ MeV}, I_e = 50 \mu\text{A}$
- bremsstrahlung target convertor $0.3 \text{ mm Au } (\approx 0.1 \text{ rad. length})$
- bremsstrahlung photon beam $E_\gamma = 20-100 \text{ MeV}, I_\gamma = 2 \times 10^{11} \text{ s}^{-1}$
 $E_\gamma = 60 \text{ MeV}, I_\gamma \sim 2 \times 10^9 \text{ MeV}^{-1} \text{ s}^{-1}$
- γ - beam spot at active target (TPC) $1 \times 2 \text{ cm}^{-2}$
- H_2 active target density (20 cm, 75 bar) $8 \times 10^{22} \text{ cm}^{-2}$
- γ -spectrometer $E_\gamma \sim 20-100 \text{ MeV},$
 $\theta_\gamma = 90 \text{ and } 130 \text{ deg.}$
 $\Delta\Omega = 0.025 \text{ sr. } \delta E_\gamma / E_\gamma = 4\%$
- recoil proton detection $E_p \sim 0.5-10 \text{ MeV}$
 $\theta_p = 44 \text{ and } 22 \text{ deg.}$
 $\delta(E_p) = 30-40 \text{ KeV}$

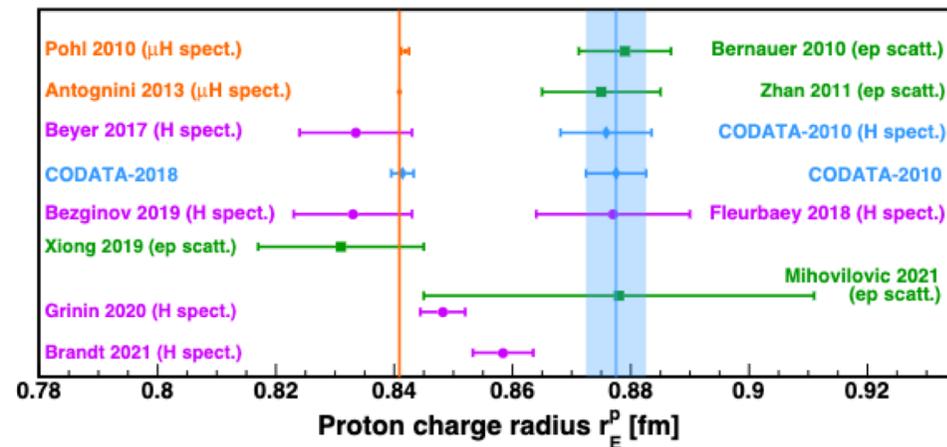
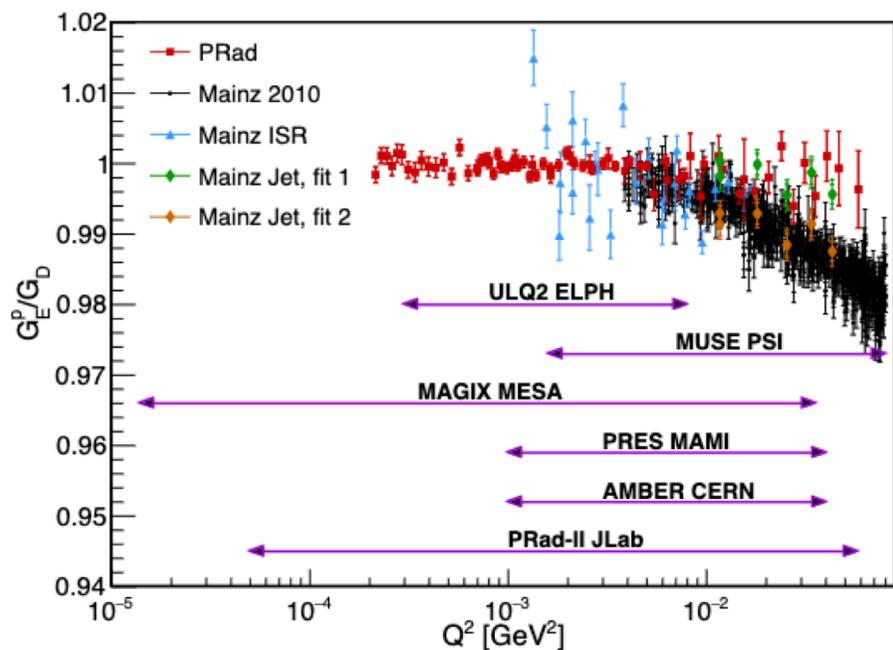


Expected count rate 5 s^{-1}

500 hours of data taking corresponds to 8 000 000 γp events



BACK UP SLIDES



PRAD Nature 575, no.7781, 147-150 (2019)

$$r_p = 0.831 \pm 0.007_{stat} \pm 0.012_{syst} \text{ fm.}$$

0.8% stat 1.4% syst