

**ИЗМЕРЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ
И МАГНИТНОЙ ПОЛЯРИЗУЕМОСТЕЙ
ПРОТОНА И НЕЙТРОНА.**

**СТАТУС
СОВМЕСТНОГО (ПИЯФ-ТУД)
ЭКСПЕРИМЕНТА НА ЭЛЕКТРОННОМ
УСКОРИТЕЛЕ (S-DALINAC)
В ДАРМШТАДТЕ, ГЕРМАНИЯ.**



РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
ПЕТЕРБУРГСКИЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ
ИМ. Б.П.КОНСТАНТИНОВА

2104

NP-12-1996

**D.V. Balin, M.J. Borkowski, V.P. Chizhov,
G.A. Kolomensky, E.M. Maev, D.M.Seliverstov,
G.G. Semenchuk, Yu.V. Smirenin, A.A.Vasiliev,
A.A. Vorobyov, N.Yu. Zaitsev**

**Compton Scattering on Protons:
Project of Experimental
Determination of Electric
and Magnetic Polarizabilities
of the Proton**

ГАТЧИНА 1996

Электрическая и магнитная поляризуемости нуклона, α and β , являются фундаментальными характеристиками протонов и нейтронов. Они характеризуют способность нуклона деформироваться под воздействием внешнего электромагнитного поля.

$$\mathbf{d} = \alpha \mathbf{E} \qquad \boldsymbol{\mu} = \beta \mathbf{B}$$

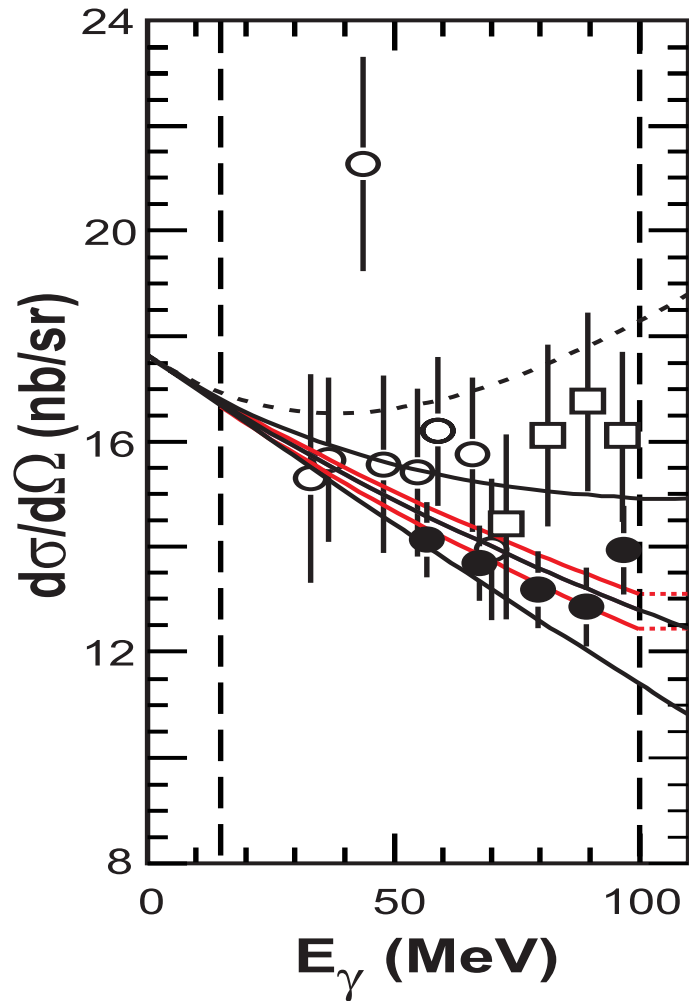
$$\bar{\alpha} = 2 \sum_{n \neq N} \frac{|\langle n | D_z | N \rangle|^2}{E_n - E_N} + \Delta\alpha \equiv \alpha_0 + \Delta\alpha,$$

$$\bar{\beta} = 2 \sum_{n \neq N} \frac{|\langle n | M_z | N \rangle|^2}{E_n - E_N} + \Delta\beta \equiv \beta_0 + \Delta\beta.$$

Дифференциальное сечение Комптоновского рассеяния

$$\left[\frac{d\sigma(E_\gamma, \theta)}{d\Omega} \right]_{\text{LET}} = \left[\frac{d\sigma(E_\gamma, \theta)}{d\Omega} \right]_{\text{Powell}} - \rho + \mathcal{O}(E_\gamma^4)$$

$$\rho = \frac{e^2}{4\pi m_p} \left(\frac{E_{\gamma'}}{E_\gamma} \right)^2 \frac{E_\gamma E_{\gamma'}}{(\hbar c)^2} \times$$
$$\times \left[\frac{\bar{\alpha} + \bar{\beta}}{2} (1 + \cos \theta)^2 + \frac{\bar{\alpha} - \bar{\beta}}{2} (1 - \cos \theta)^2 \right]$$



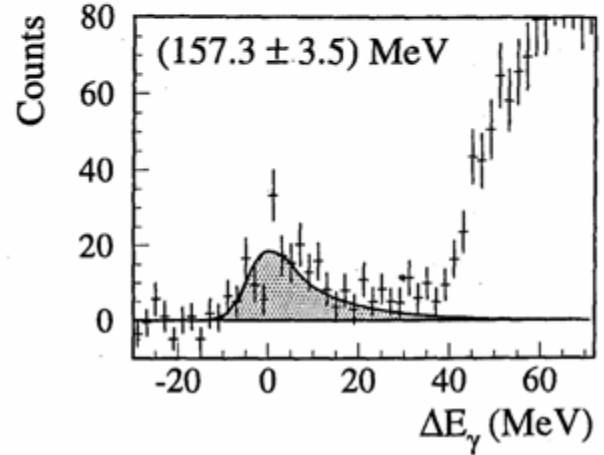
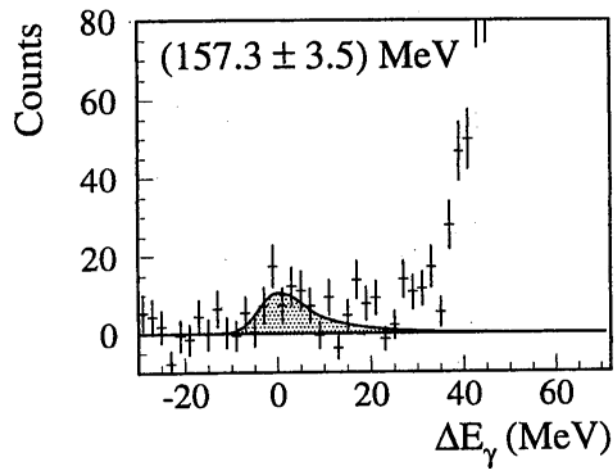
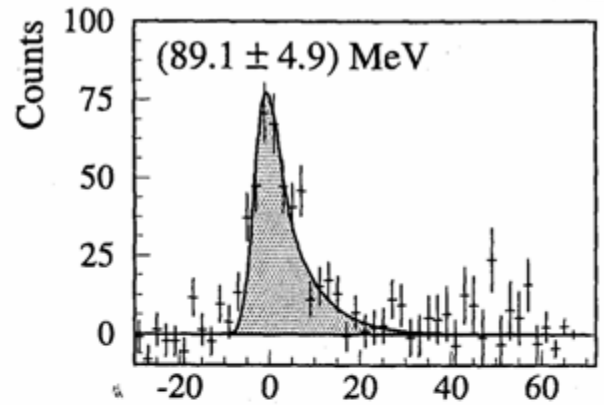
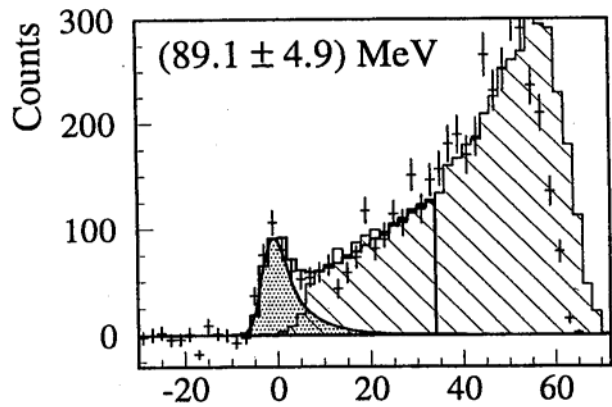
Born cross section

$$\bar{\alpha} = 9 \cdot 10^{-4} \text{ fm}^3$$

$$\Delta\bar{\alpha} = 0.3 \cdot 10^{-4} \text{ fm}^3$$

$$\bar{\alpha} = 17 \cdot 10^{-4} \text{ fm}^3$$

- Urbana, 1991
- SAL, 1995
- TAPS 2001



V. Olmos de Leon et al., Eur. Phys. J. A 10, 207 (2001).

Правило сумм:

$$\alpha_p + \beta_p = 13.8 \pm 0.4 \quad [10^{-4} \text{ fm}^3]$$

Поляризуемость протона:

$$\alpha_p = 11.9 \pm 0.5(\text{stat}) \pm 1.3(\text{syst}) \pm 0.3(\text{mod})$$

$$\beta_p = 1.2 \pm 0.7(\text{stat}) \pm 1.3(\text{syst}) \pm 0.3(\text{mod})$$

Eur.Phys.J.A10,207 (Mainz,2001)

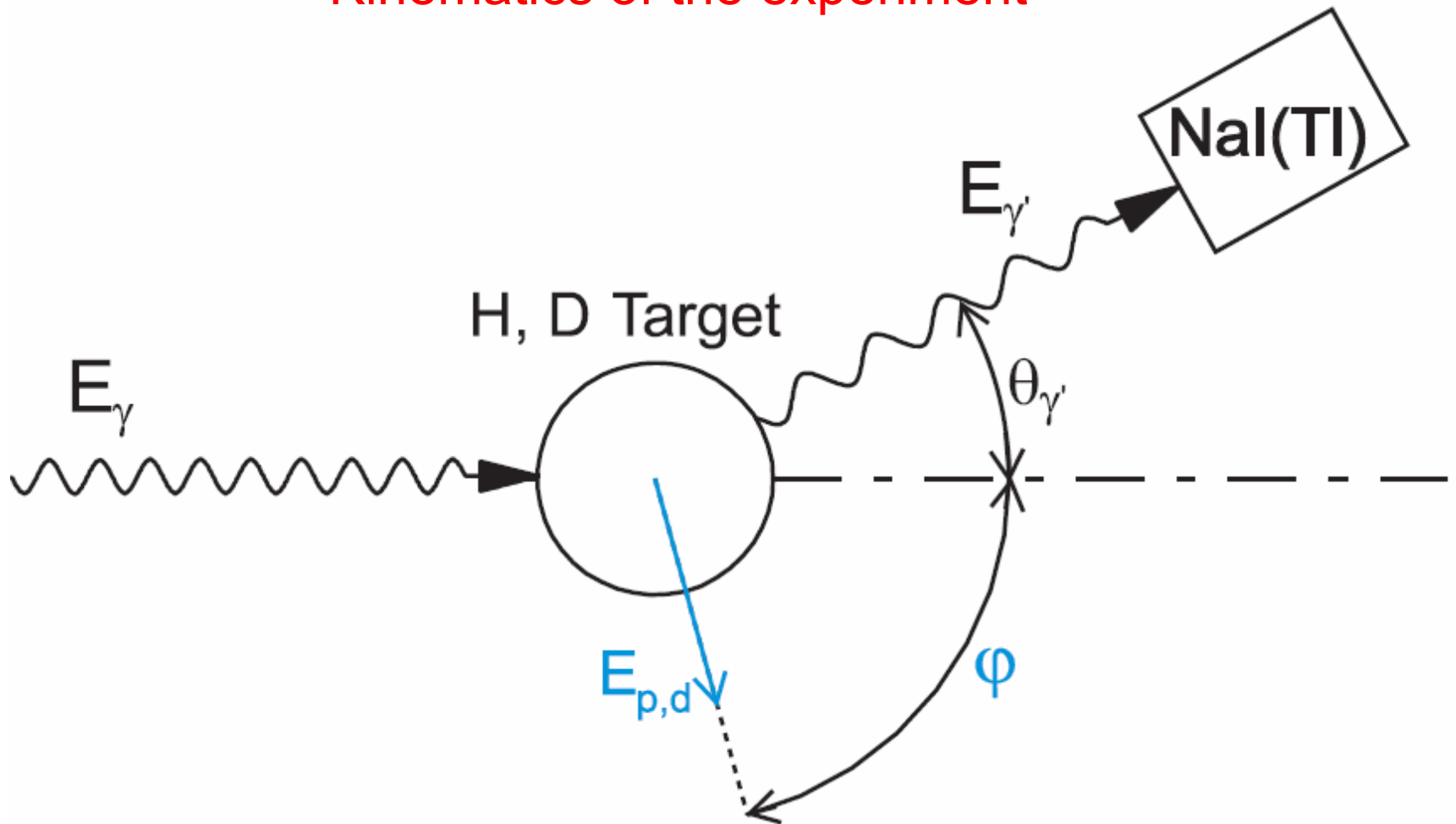
Поляризуемость нейтрона:

$$a_n = 12.5 \pm 1.8(\text{stat}) \pm 1.1(\text{syst}) \pm 1.1(\text{mod})$$

$$b_n = 2.7 \pm 1.8(\text{stat}) \pm 1.1(\text{syst}) \pm 1.1(\text{mod})$$

Phys.Rev.Lett.88,162301(Mainz,2002)

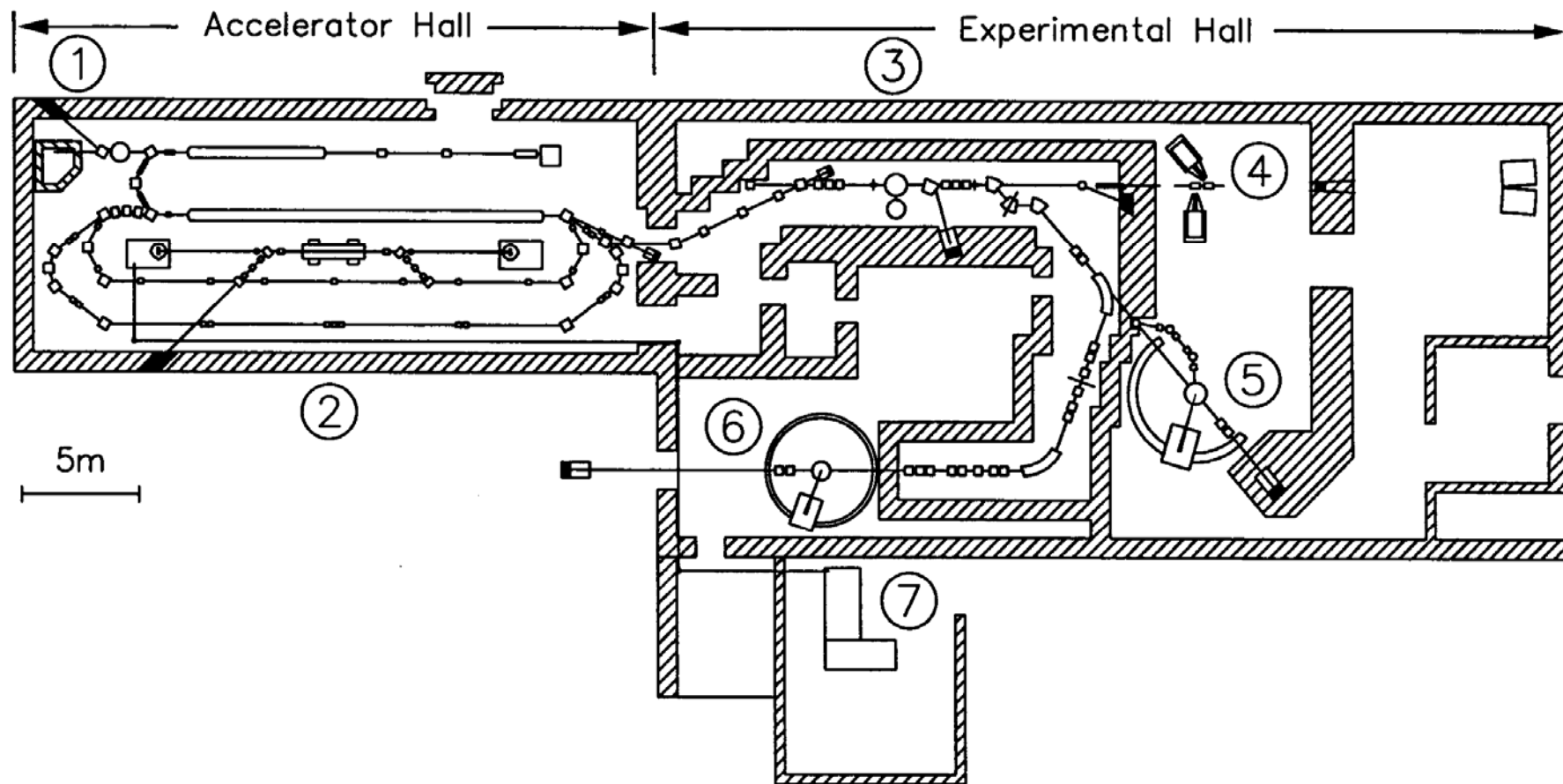
Kinematics of the experiment



$$\phi_p \approx 90^\circ - \theta_{\gamma'}/2$$

$E_{p,d}$ is measured with the help of the ionization chambers

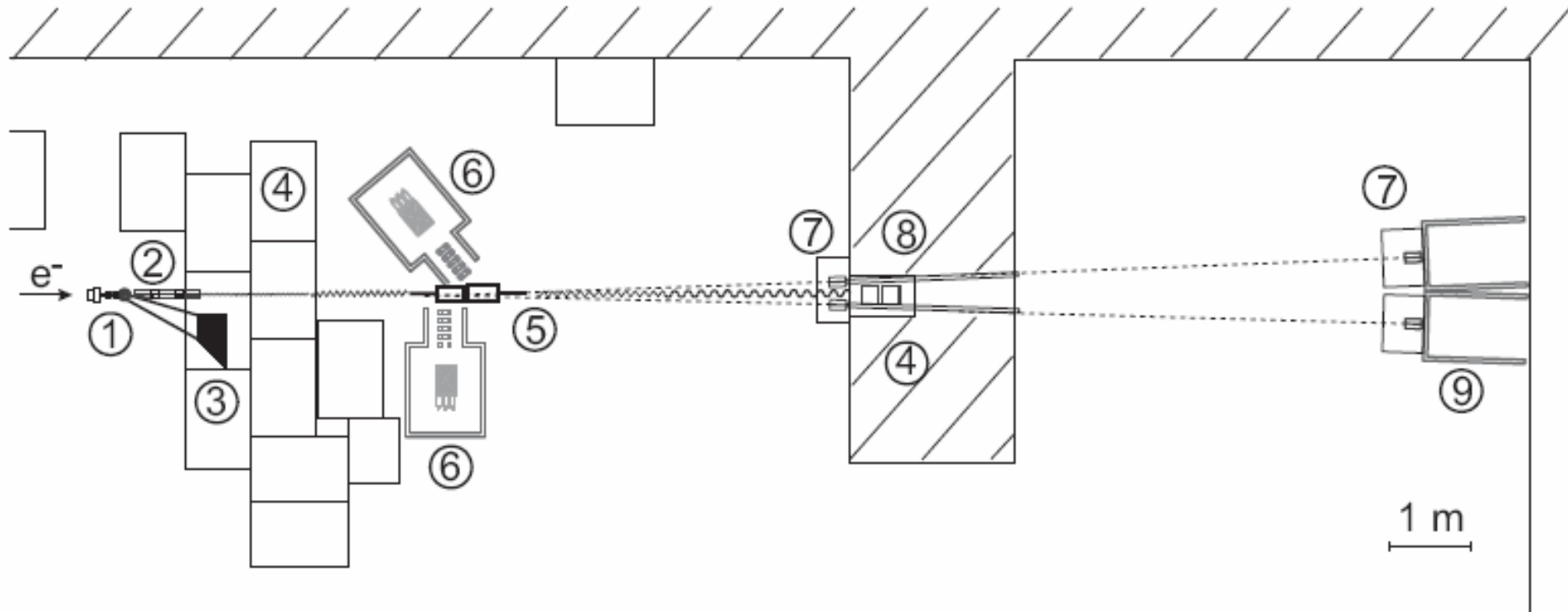
Ускоритель и экспериментальный зал ИКР TUD



Bremsstrahlung facility

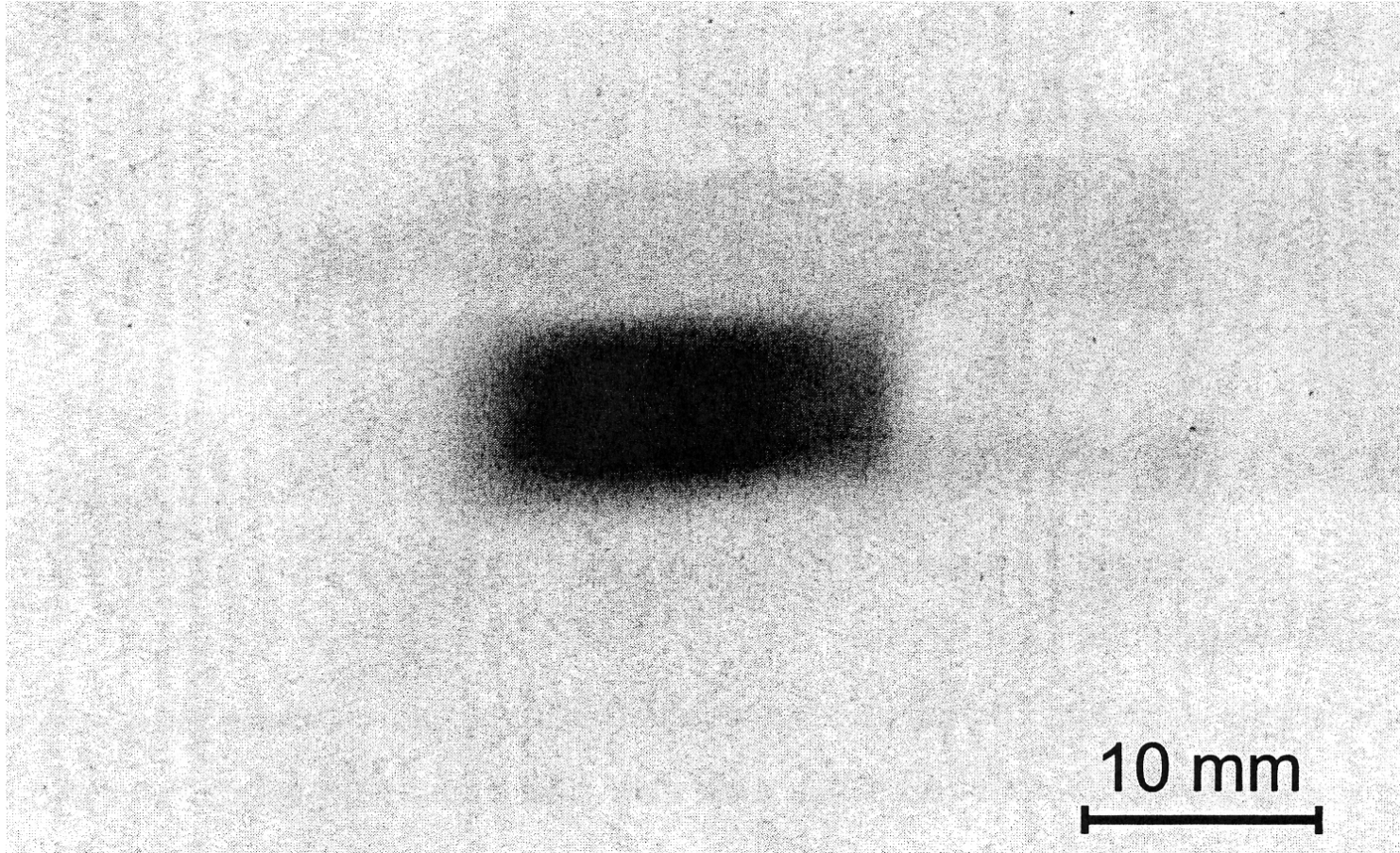


Schematic view of the experimental setup

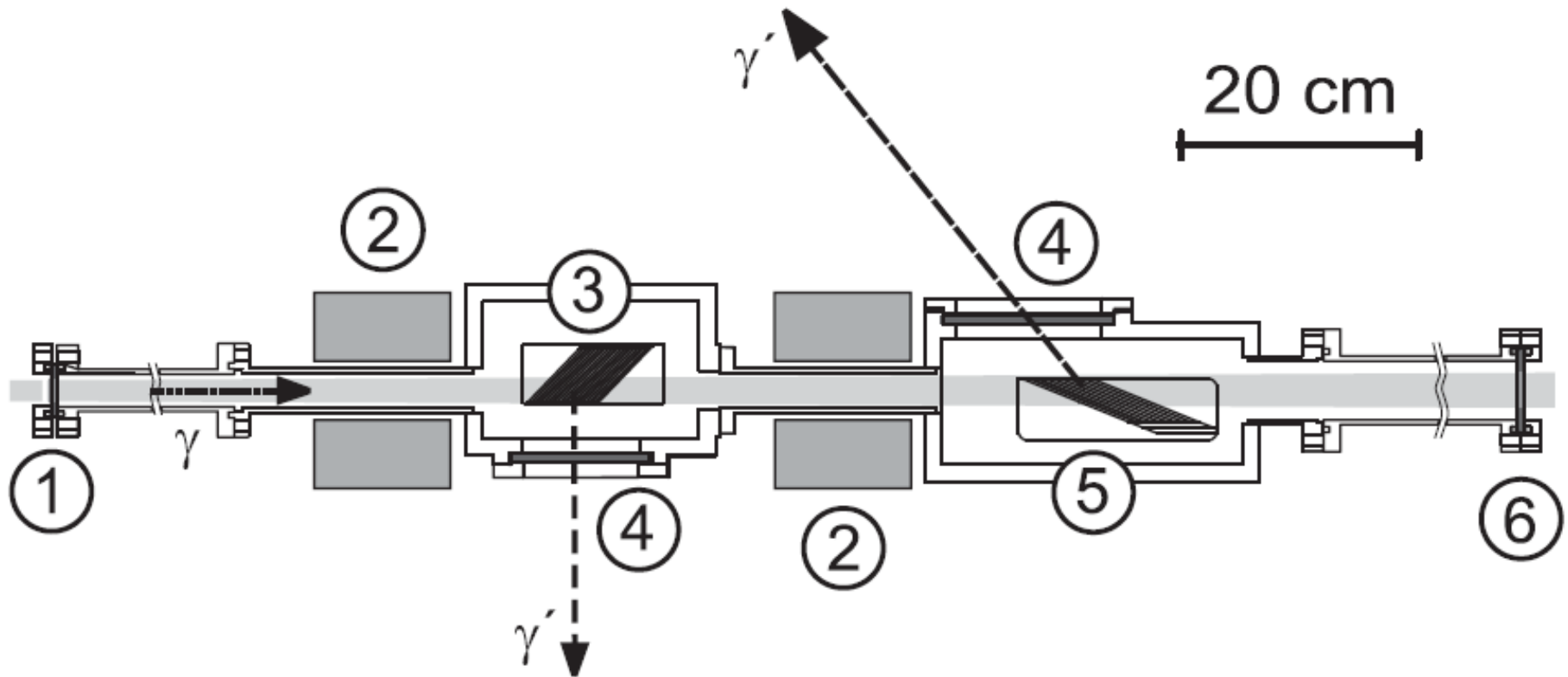


1 – bremsstrahlung converter, 2 – collimation system, 3 – electron beam dump, 4 – concrete shielding, 5 – hydrogen-filled ionization chambers, 6 – γ spectrometers, 7 – collimation system, 8 – position sensitive ionization chamber, Gaussian quantometer, γ beam dump, 9 – γ spectrometers

γ beam profile



Schematic top-view of the hydrogen-filled high-pressure ionization chambers

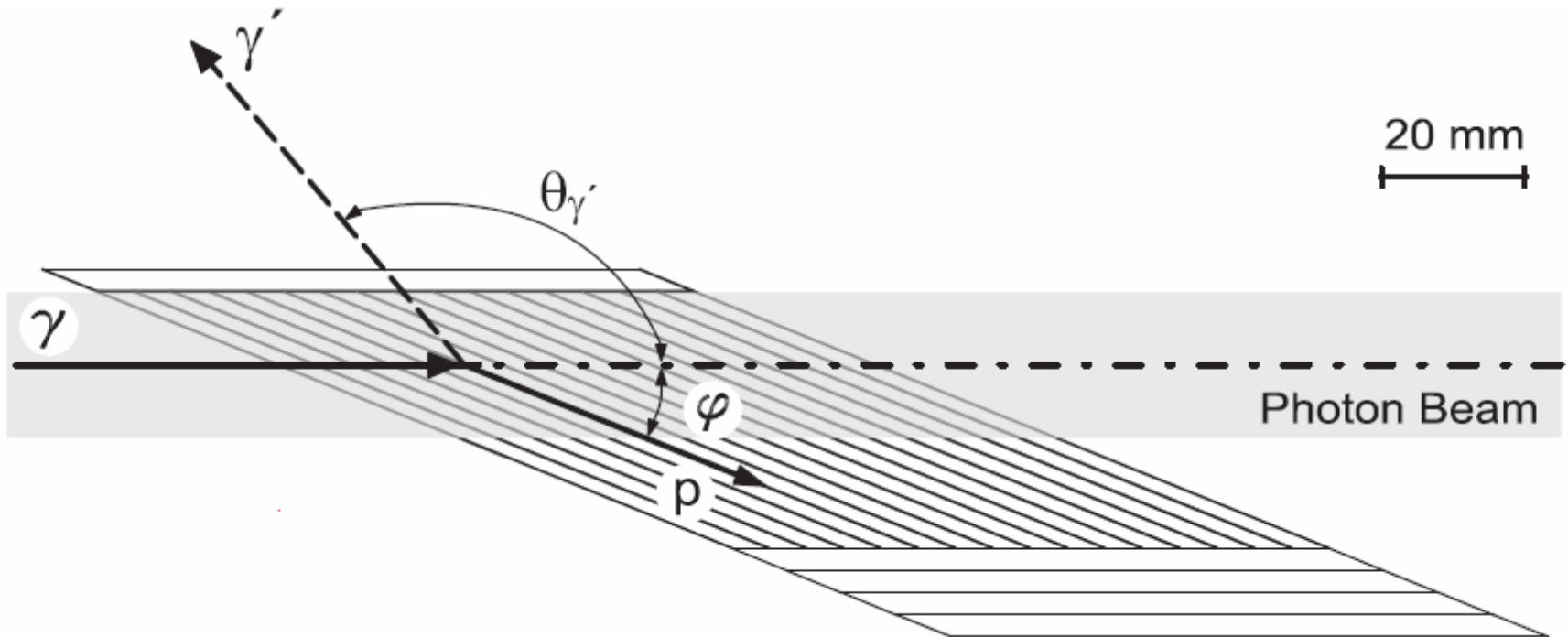


1, 6 – berillium windows, 2 – cleaning magnets, 3 – ionization chamber to measure γ - scattering on 90° , 4 – berillium windows, 5 – ionization chamber to measure γ - scattering on 130°

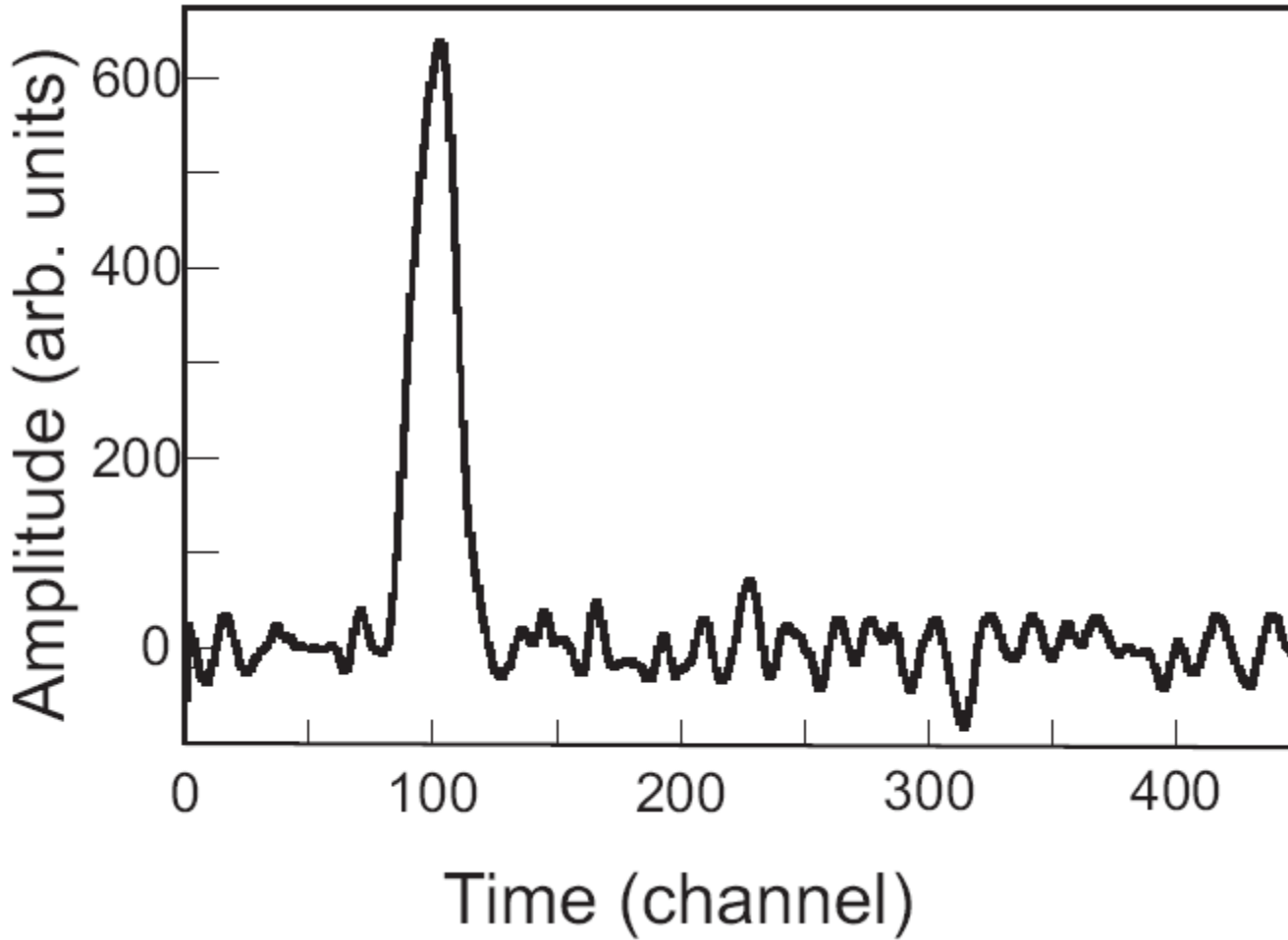
High-pressure (90 bar) hydrogen-filled ionization chambers at TUD



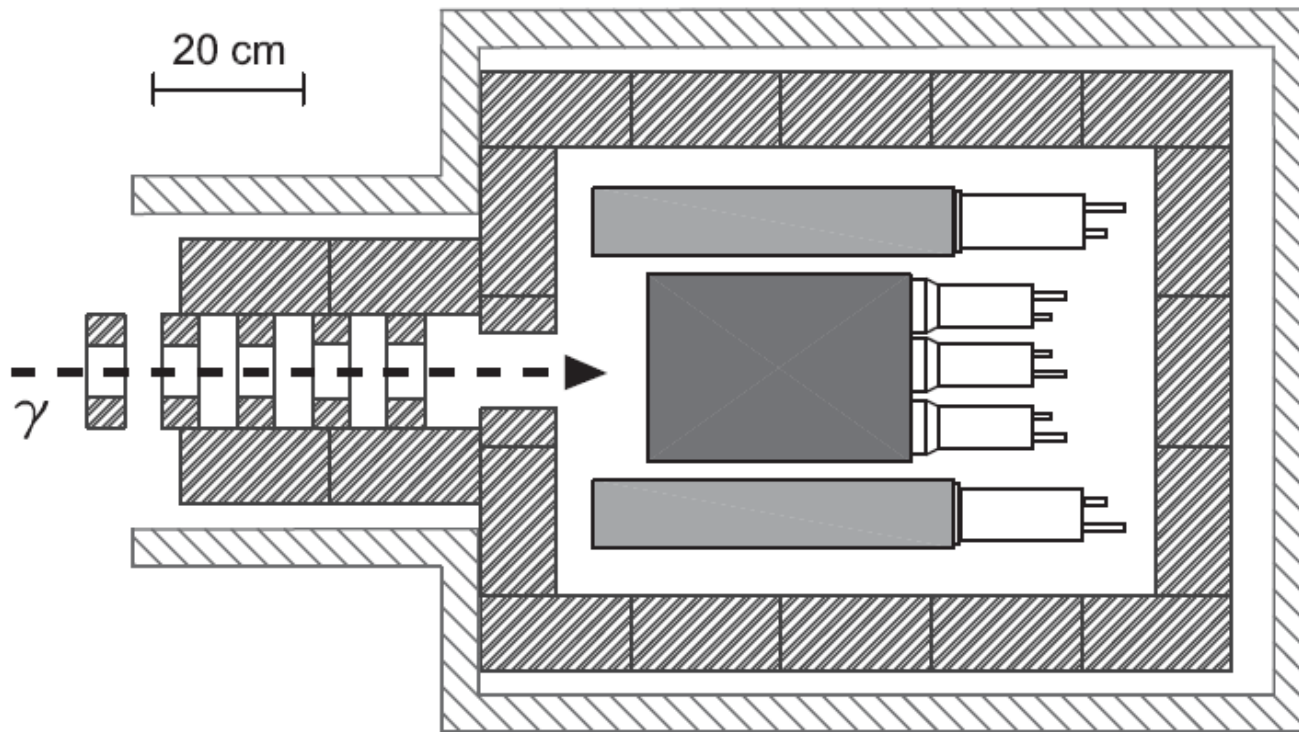
Anode-strips geometry (top view)

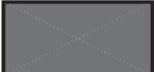



A signal on the anode of the ionization chamber from a recoil proton




Schematic view of a 10" x 14" NaI(Tl) spectrometer



 NaI(Tl) Crystal

 Lead

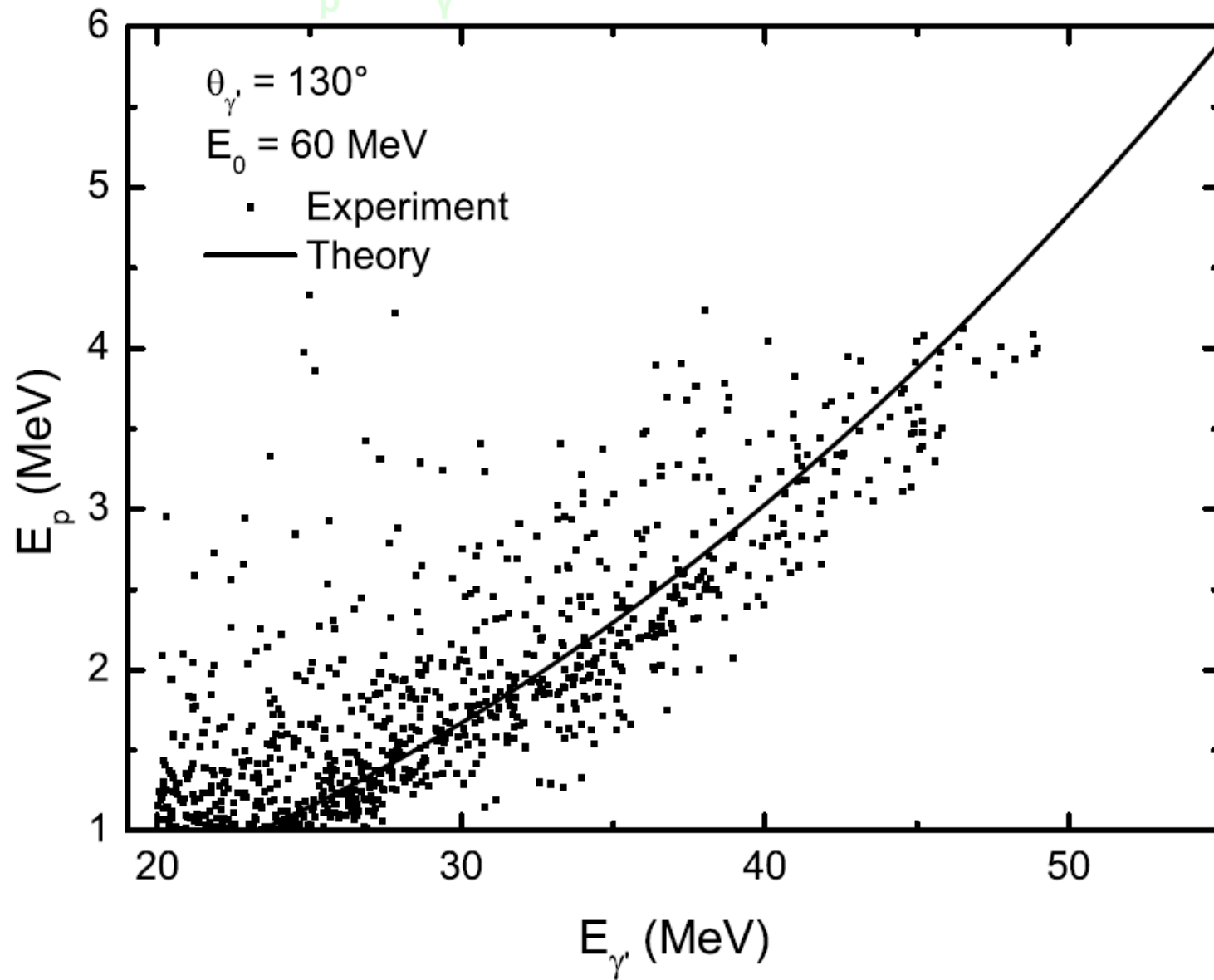
 Plastic Scintillator

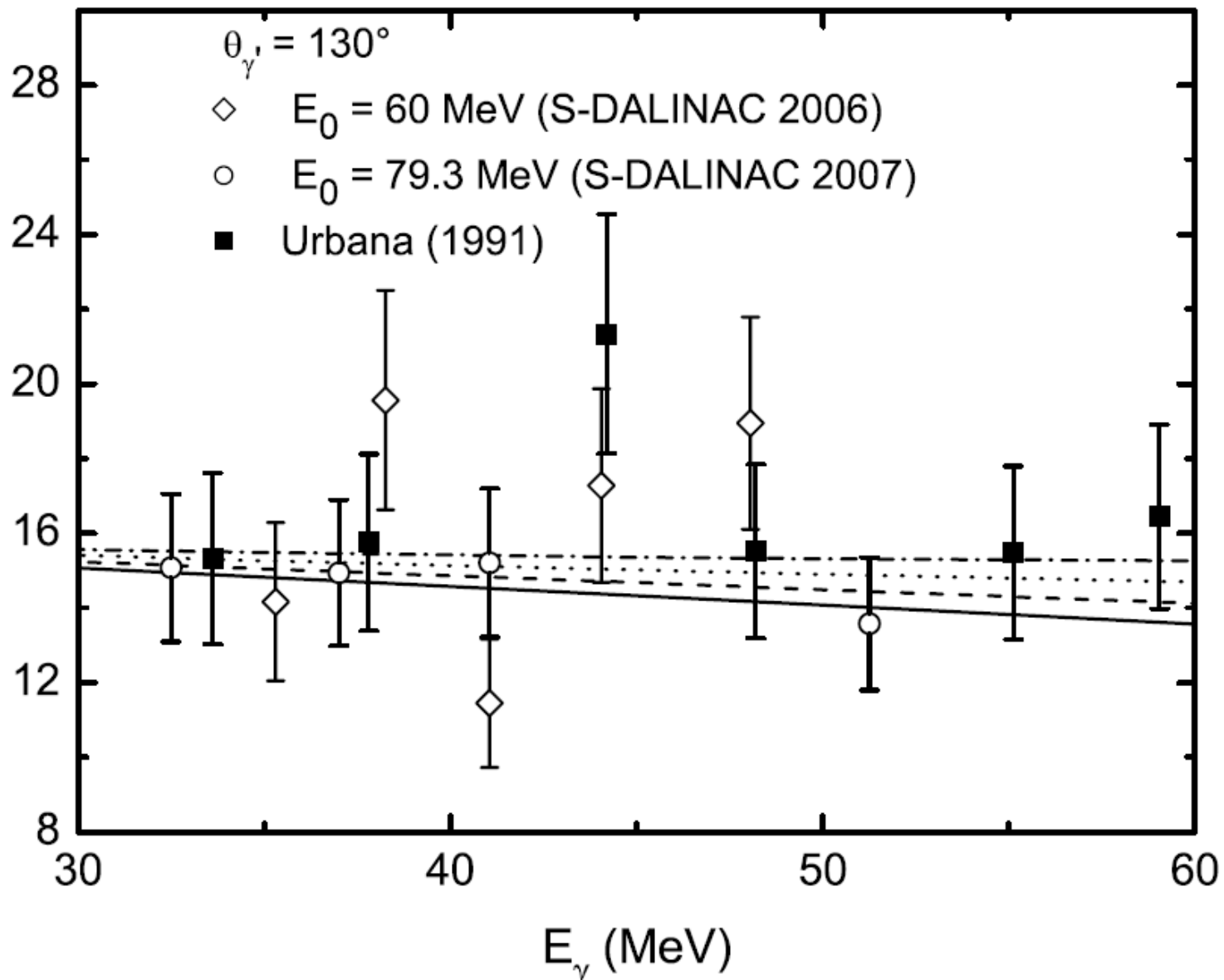
 Boron treated Polyethylene

Nal(Tl) spectrometer



$E_p - E_\gamma$ correlation

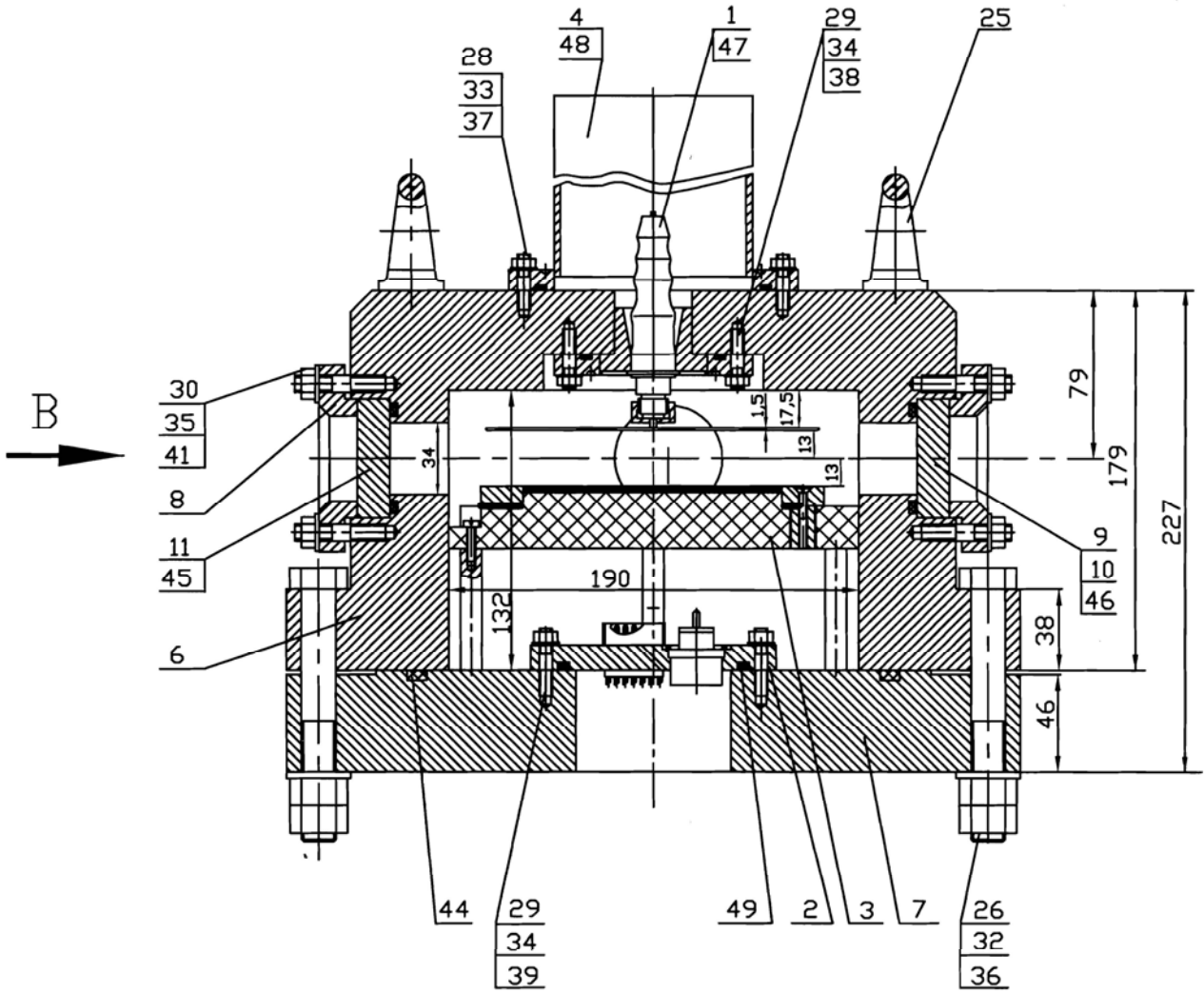


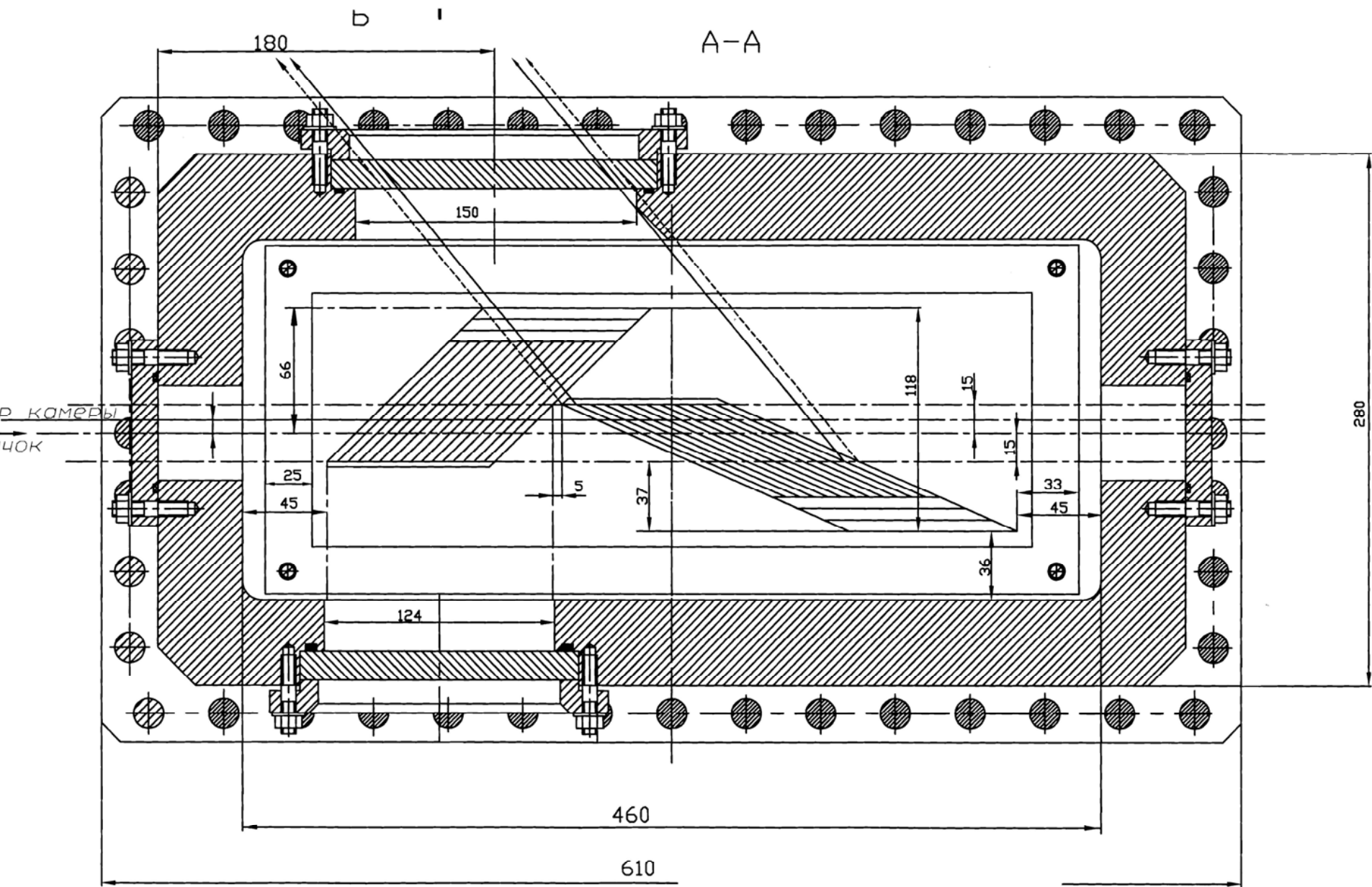


Сечения γp -рассеяния $d\sigma/d\Omega$ (nb/sr)

30 000'6808

Б-Б





COUNTING RATE INCREASE WITH THE NEW IC CHAMBER

	NEW IC	OLD IC	COUNTING RATE INCREASE
Target length	90 mm	60 mm	1.5
Target width	30 mm	20 mm	1.5
Target height	15 mm	10 mm	1.5

	NEW NaI-IC geometry	OLD NaI-IC geometry	COUNTING RATE INCREASE
IC to NaI distance	60 cm	110 cm	3.3
Horizontal Be window	15 cm	10 cm	
Vertical Be window	34 mm	20 mm	

TOTAL COUNTING RATE INCREASE ~ 10

Увеличение толщины γ -радиатора – увеличение интенсивности γ -пучка

BEAM TIME ESTIMATION

Minimum scenario:

$I_e = 3 \mu\text{A}$, $E_e = 60 \text{ MeV}$, $T = 1000 \text{ h}$ (6 weeks)

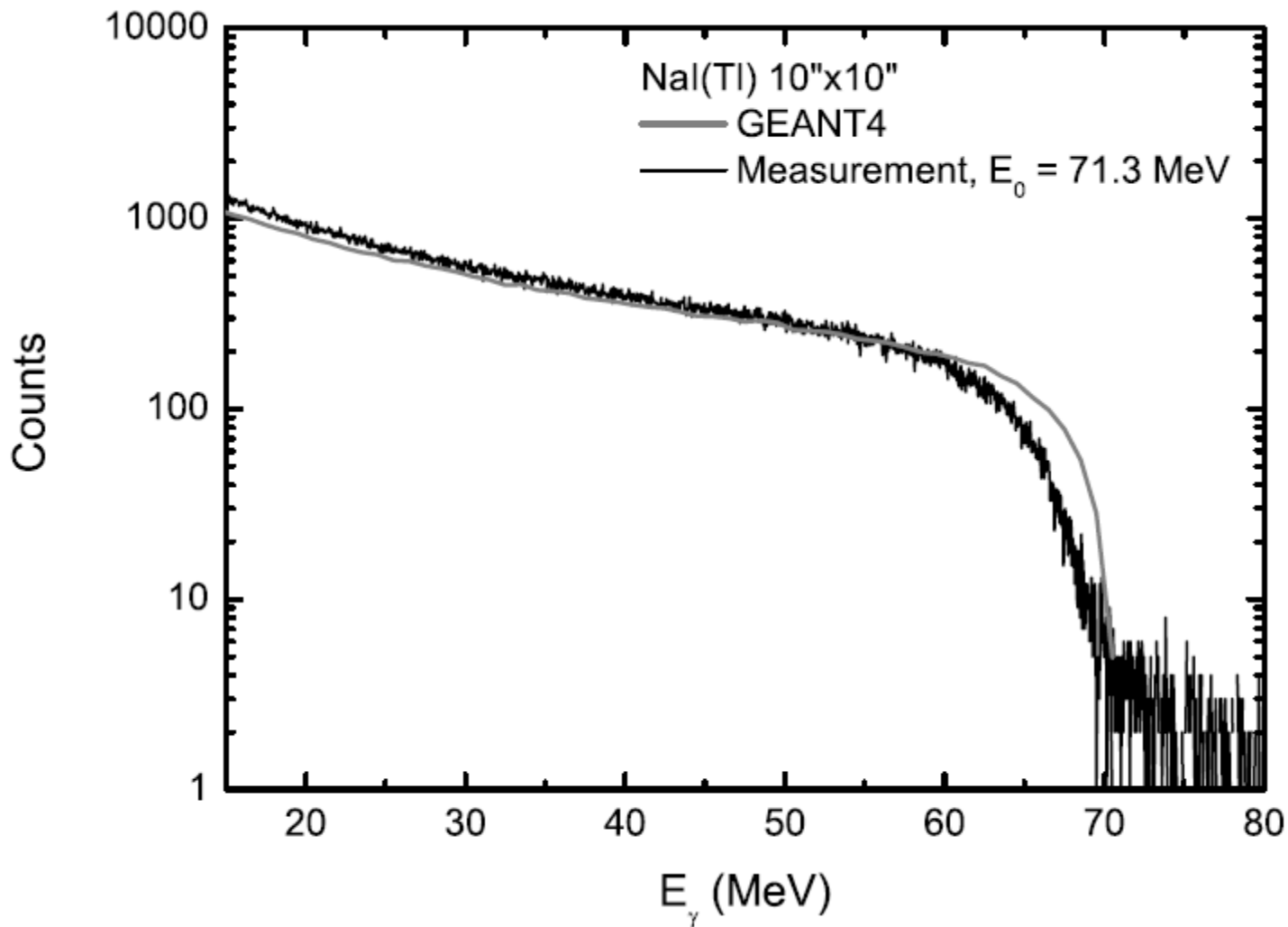
$N_{\gamma p} = 100\,000 \text{ events}$, $\Delta\alpha \sim 0.6$, $\Delta\beta \sim 0.7$ (10^{-4} fm^3)

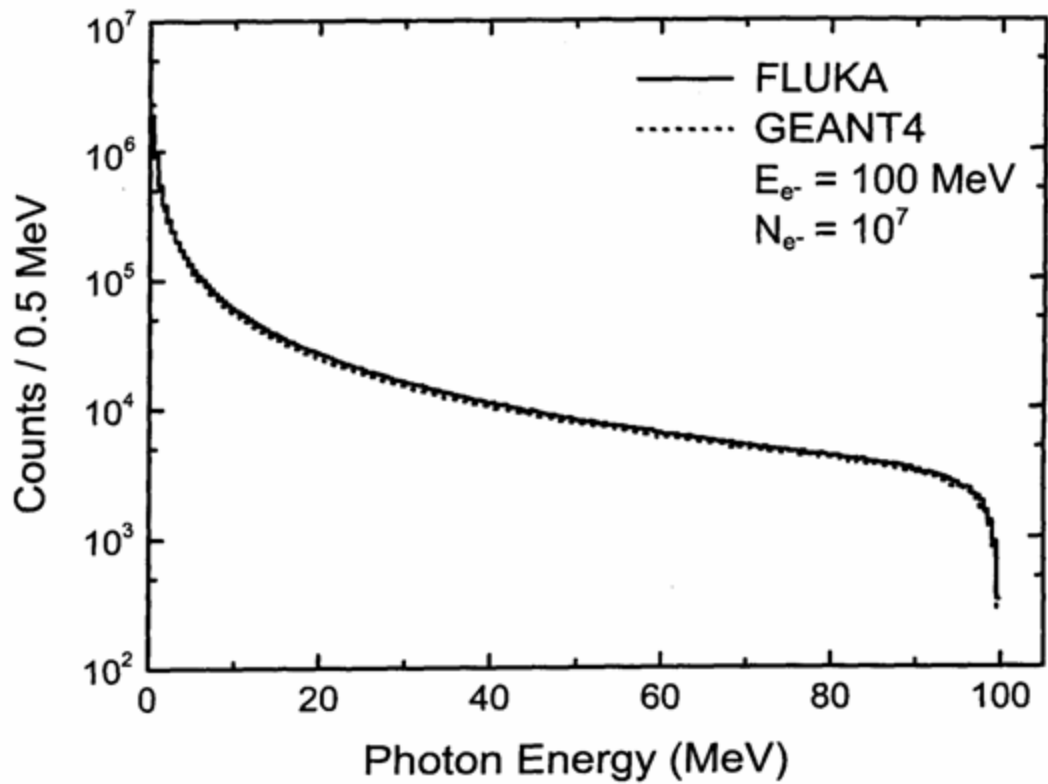
Maximum scenario:

$I_e = 10 \mu\text{A}$, $E_e = 100 \text{ MeV}$, $T = 1000 \text{ h}$ (6 weeks)

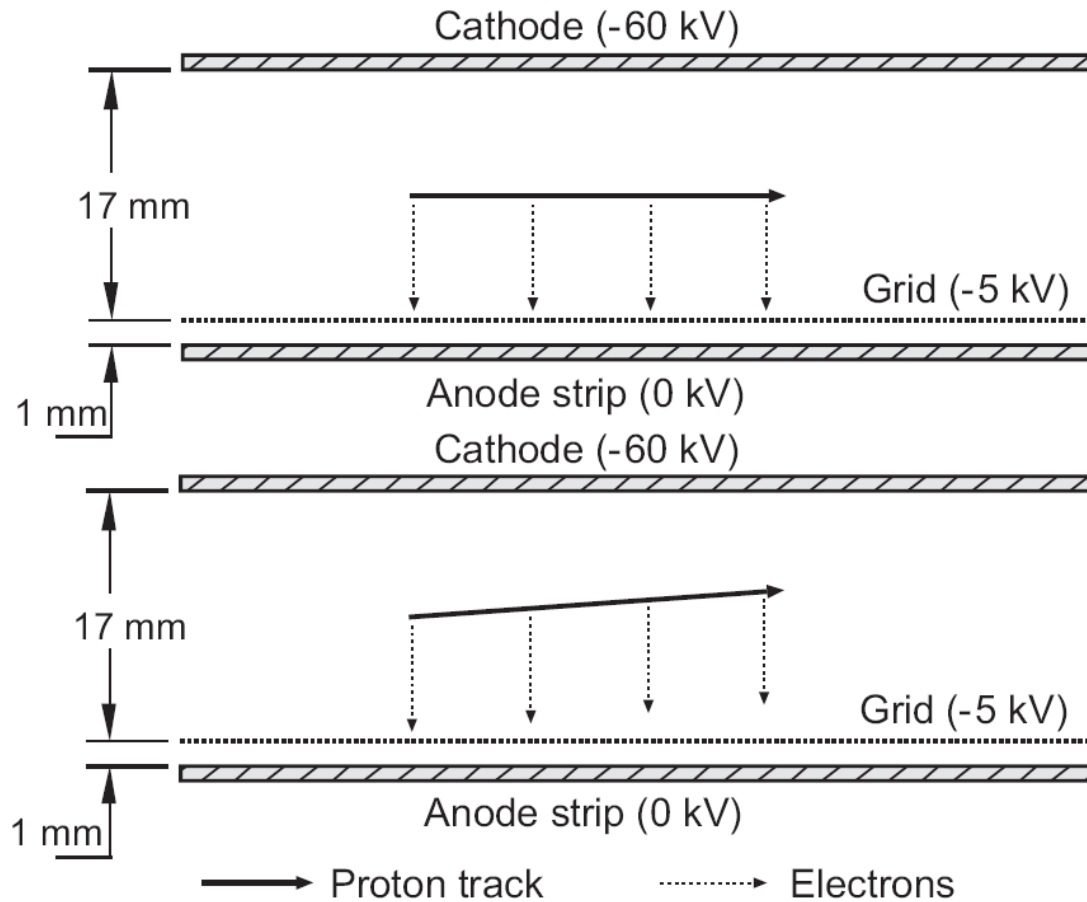
$N_{\gamma p} = 1\,000\,000 \text{ events}$, $\Delta\alpha \sim 0.2$, $\Delta\beta \sim 0.3$ (10^{-4} fm^3)

Bremsstrahlung spectrum of photons ($E_e = 71 \text{ MeV}$)



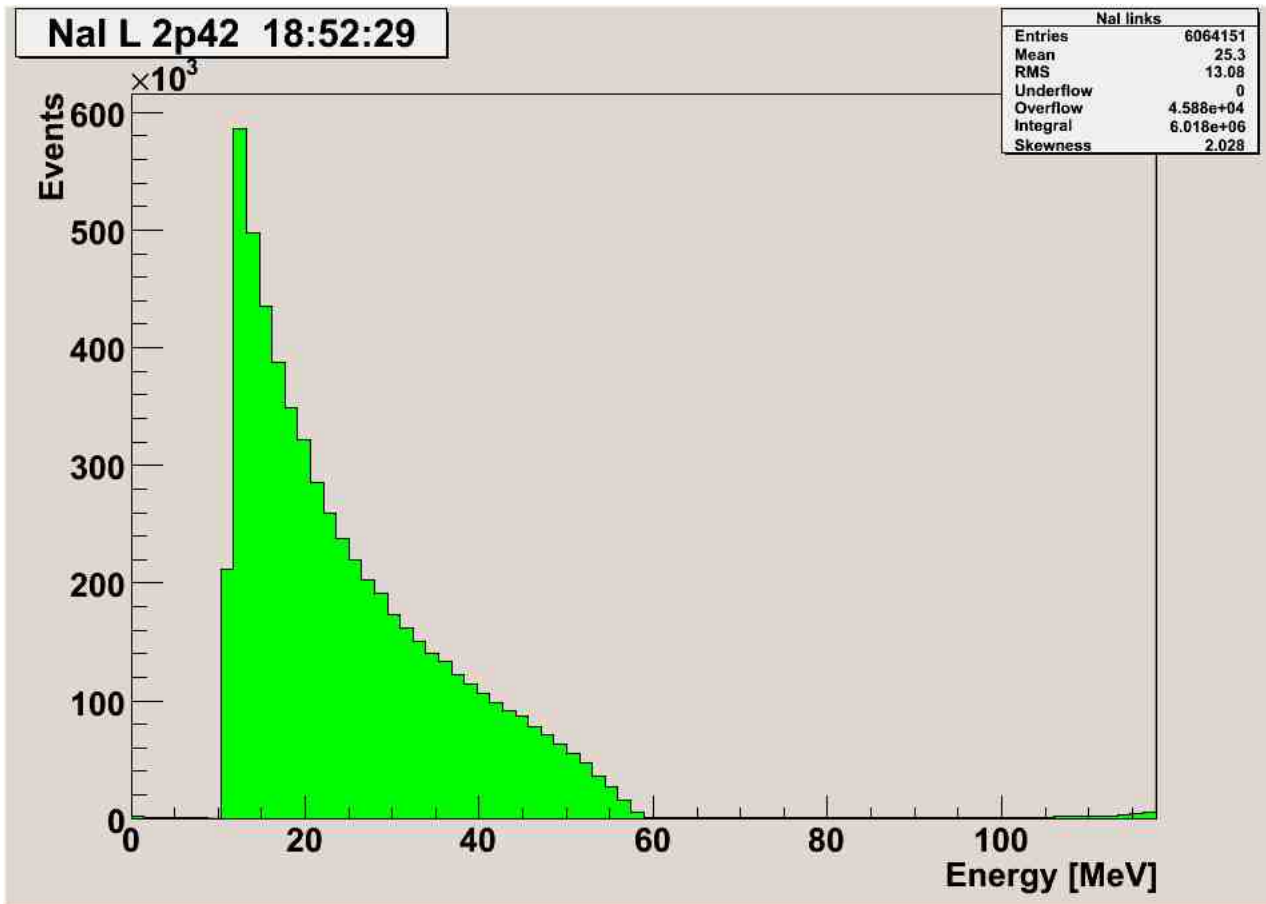


Cathode-grid-anode geometry of the chambers (side view)



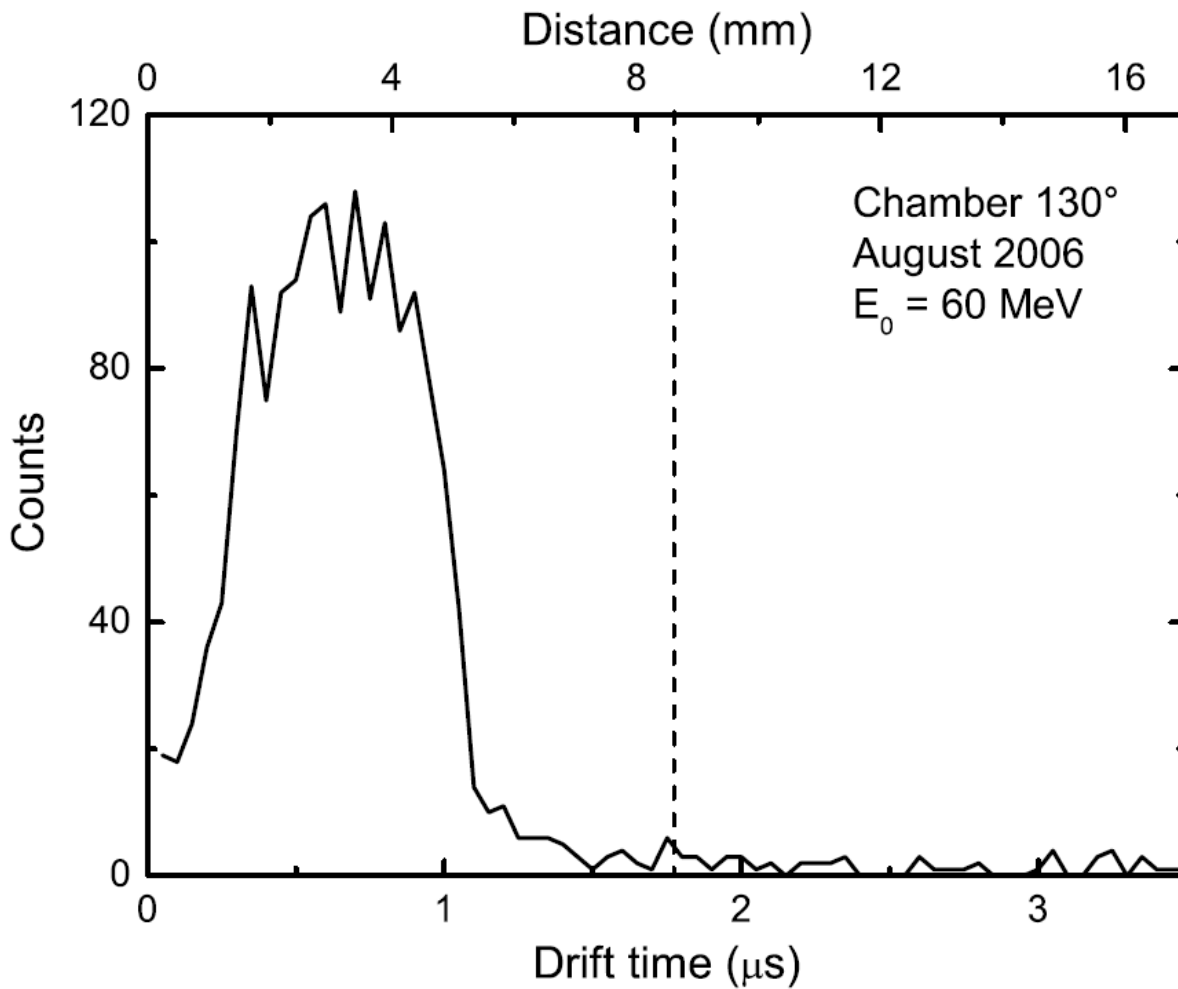
Maximum drift time is $\sim 3.5 \mu\text{s}$

Ω
(
1
3
5
°
)
≈
1
·
5
d
σ
/
d
Ω
(
9
0
°



Энергетический спектр фотонов, рассеянных на малый угол.

Drift-time distribution of signals from recoil protons



Drift velocity is $\sim 5 \text{ mm}/\mu\text{s}$

ТЕОРИЯ

Нерелятивистская кварковая модель:

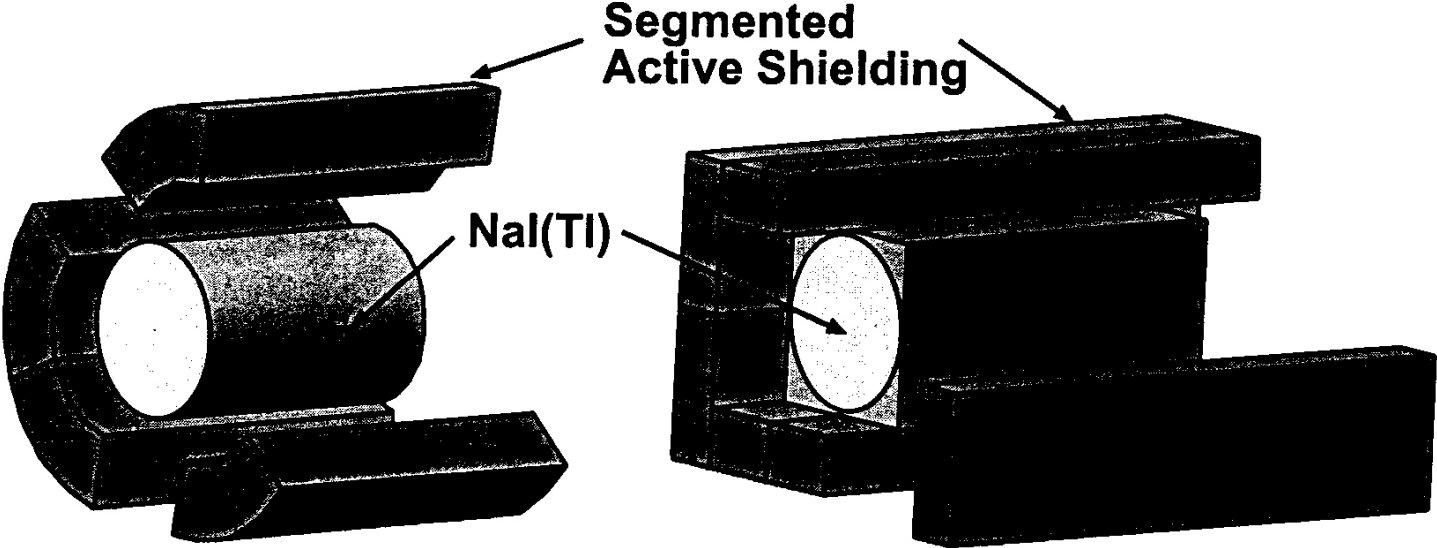
$$\alpha_p \approx 6 \cdot 10^{-4} \text{ fm}^3, \beta_p \approx 4 \cdot 10^{-4} \text{ fm}^3$$

Киральные кварковые модели:

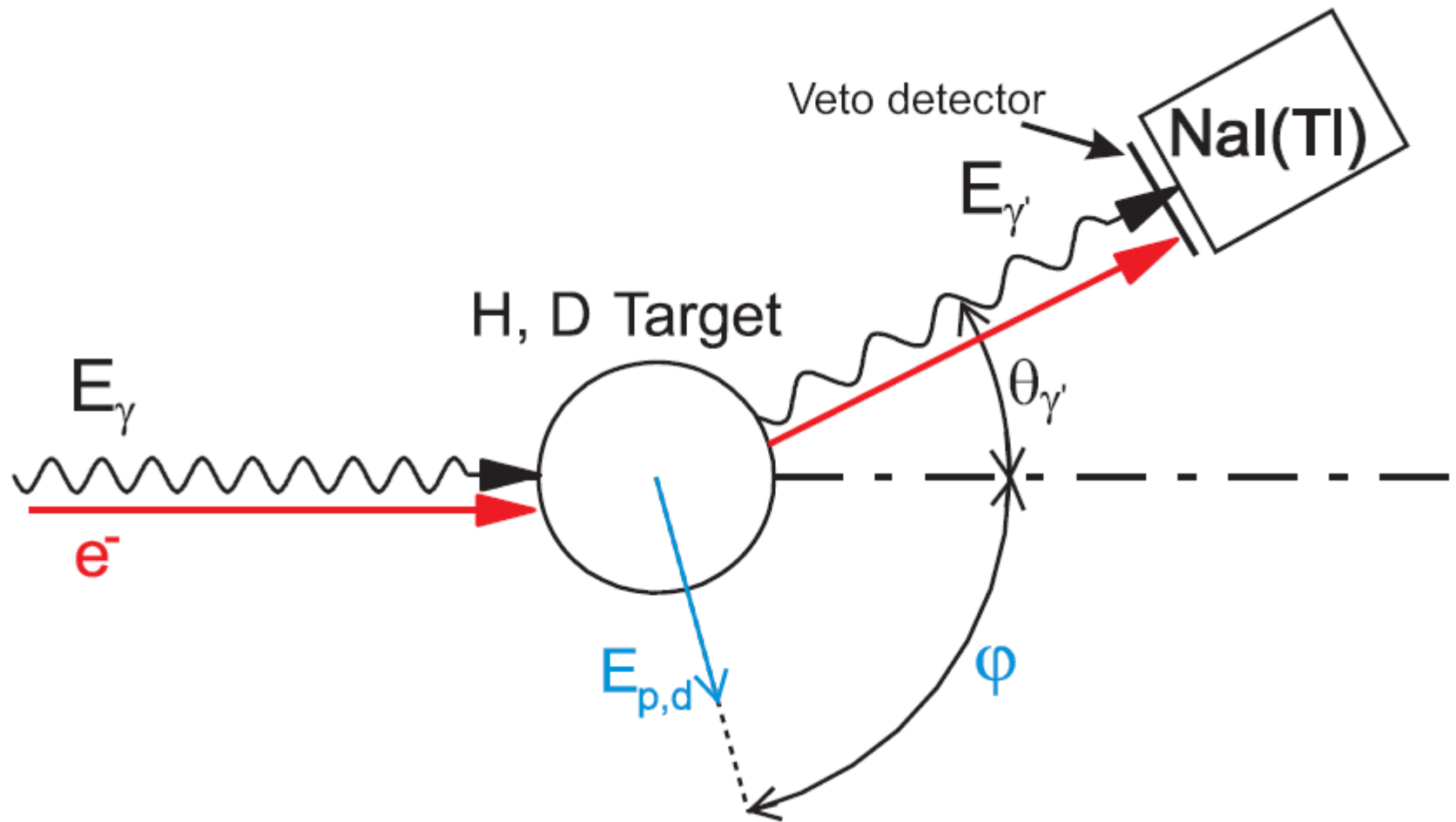
$$\alpha_p \approx 8 \cdot 10^{-4} \text{ fm}^3, \beta_p \approx 2 \cdot 10^{-4} \text{ fm}^3$$

Киральные солитонные модели:

$$\alpha_p \approx 13 \cdot 10^{-4} \text{ fm}^3, \beta_p \approx -1 \cdot 10^{-4} \text{ fm}^3$$



**Veto detector before the NaI spectrometer
to exclude background from electrons (~5%)**



- 1996 г. – предложение о проведении эксперимента в ТУД
- 1999 г. – Ti IC в ИКР TUD
- 2000 г. – проблемы с камерой
- 2001 г. – Fe IC в ИКР TUD
- 2004 г. – 1 день набора данных на пучке электронов 1μA
- 2006 г. – диссертация Steffen Watzlawik
- 2004 г. – начато изготовление камеры на 2 угла рассеяния
- 2005 г. – новая камера в ИКР TUD (с задержкой в 0.5 года)
проблемы со сваркой и электродами
- 2006 г. – набор данных в течение 1 недели на пучке 60 МэВ, 3 μA
(набрано около 1000 событий)
- 2007 г. – набор данных в течение 3 недель на пучке 70 МэВ, 1 μA
(ускоритель работал неустойчиво, набрано около 250 событий)
- 2008 г. – калибровка NaI спектрометра
- 2009 г. – диссертация О. Евецки

