

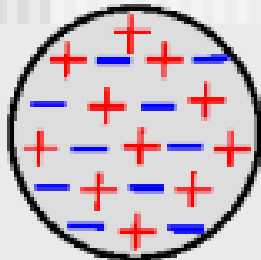
Применение активной мишени
ASTAF2 в экспериментах
по Комптоновскому рассеянию.

Е. Маев

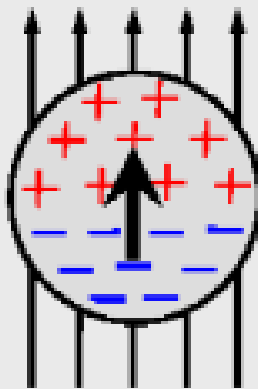
Научная сессия ОФВЭ 2023

Поляризуемость нуклона

**electric polarizability:
separation of charge**

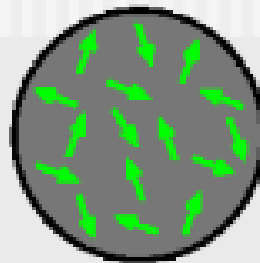


$$D = 0$$

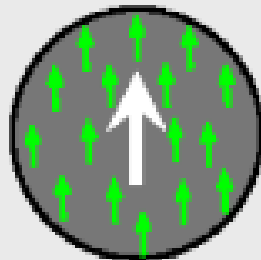


$$D = \alpha E$$

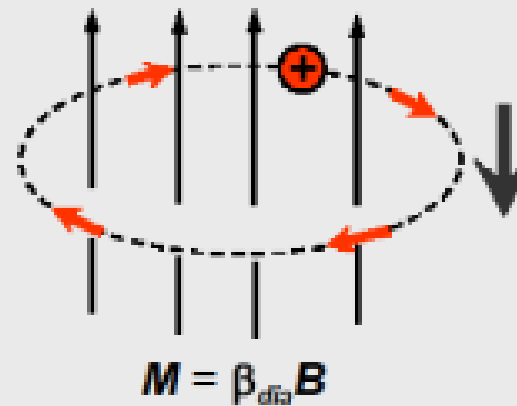
**paramagnetic polarizability:
moments align with B**



$$M = 0$$



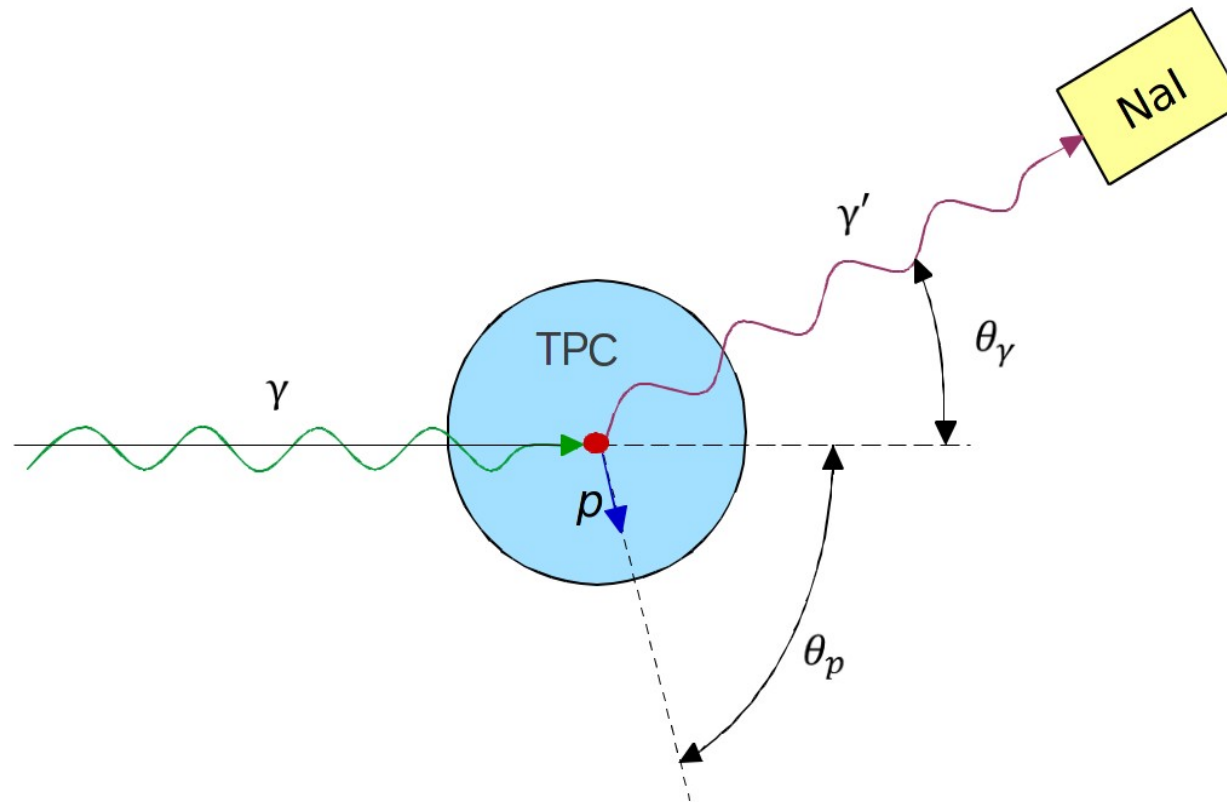
$$M = \beta_{para} B$$



$$M = \beta_{dia} B$$

**diamagnetic polarizability:
induced current opposes B**

Новый метод изучения Комптоновского рассеяния с помощью активной мишени (TPC)



Определение поляризуемости нуклона

Измерение энергетической зависимости дифференциальных сечений комптоновского рассеяния при двух углах (90 и 130).

Энергия пучка гамма квантов 20-120МэВ (тормозной спектр).

Угловой захват детектора гамма квантов ~ 10 градусов.

Энергетическое разрешение ~2-3% (в диапазоне 20-120МэВ).

Эффективность регистрации гамма квантов (20-120МэВ) ~ 100%.

Регистрация частиц отдачи с помощью активной мишени.

Энергия частиц отдачи (ядра водорода или гелия) в диапазоне 0.4-15 МэВ.

Пробег частиц отдачи при давлении газа 100 атм:

Протоны (15МэВ) – 12.8см, ядра гелия (15МэВ) – 1.25см.

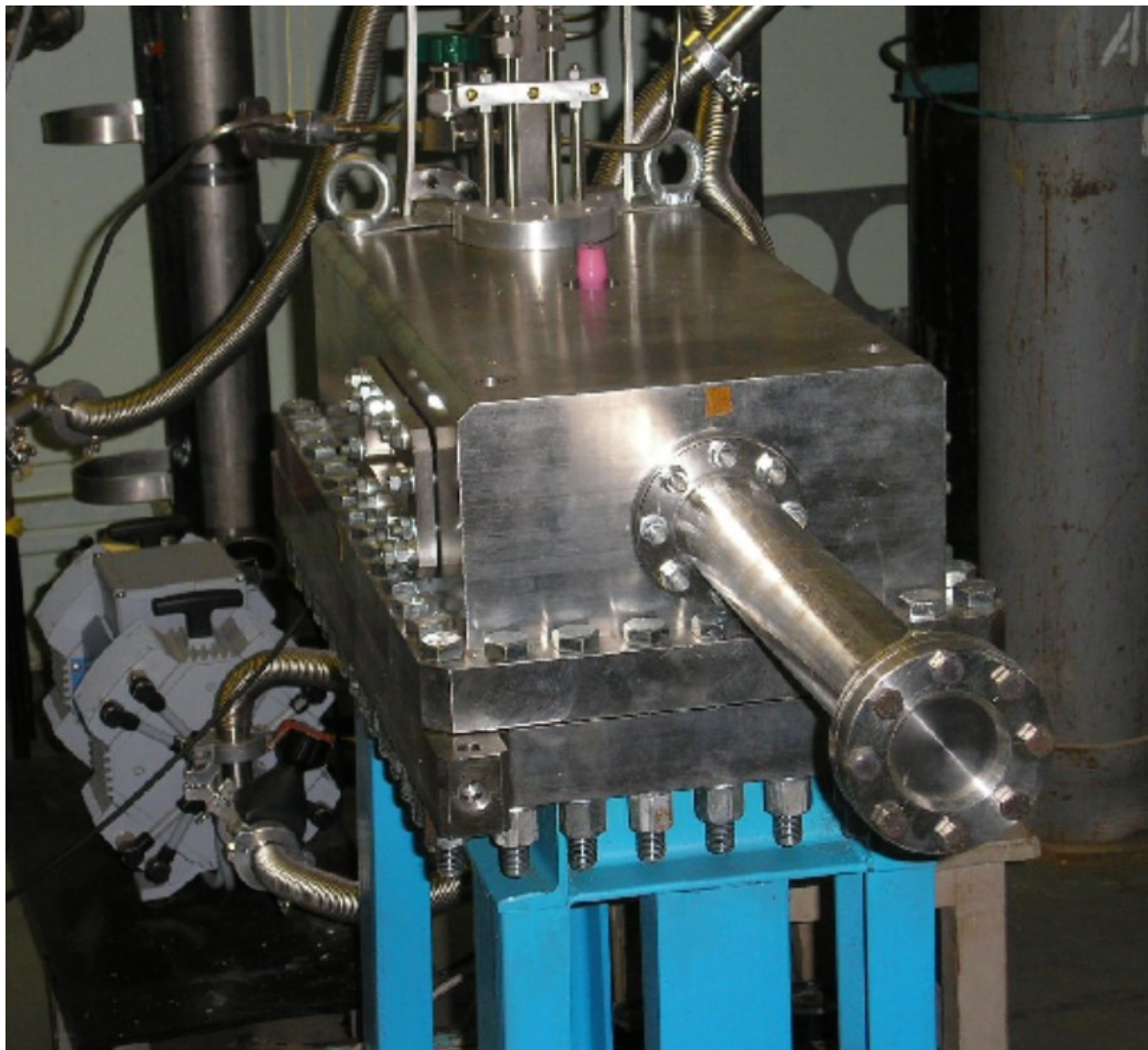
Рекомбинация частиц отдачи при давлении газа 100атм:

Протоны (10МэВ) ~ 20% , ядра гелия (10МэВ) ~ 60%.

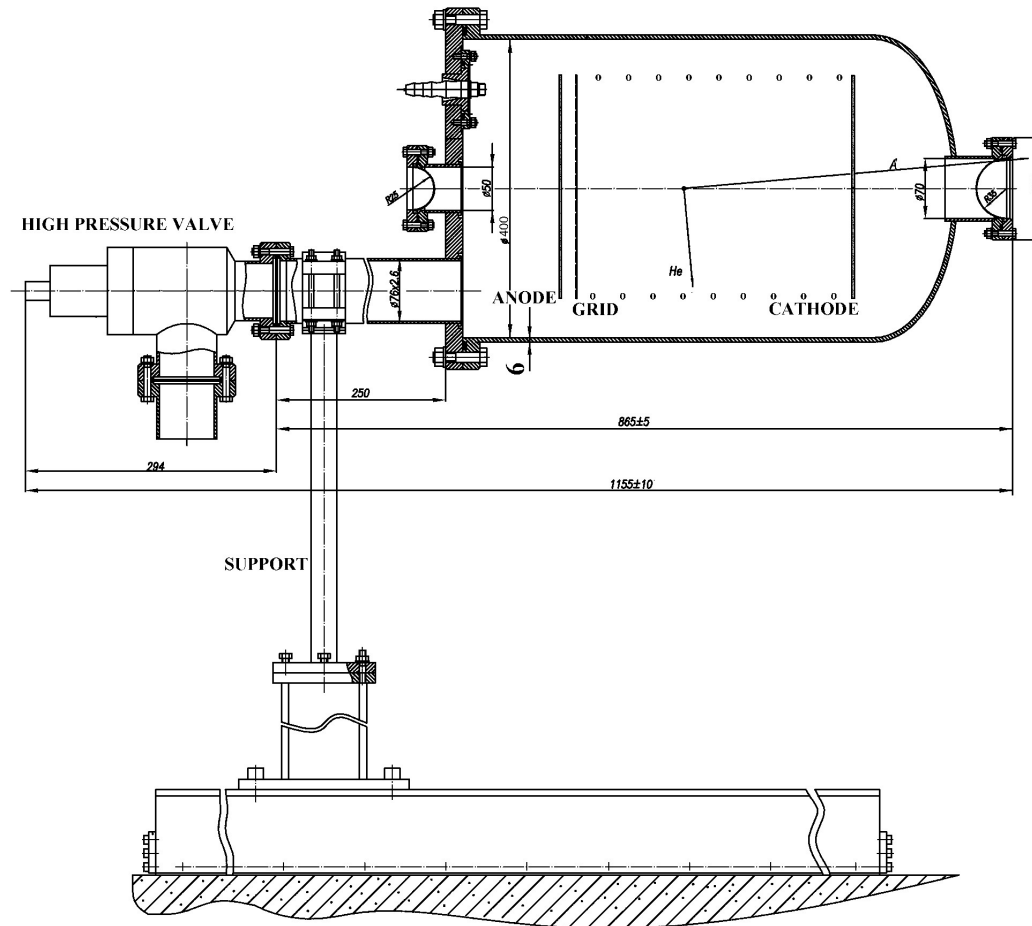
Рекомбинация частиц отдачи при давлении газа 10атм:

Протоны (10МэВ) ~ 2% , ядра гелия (10МэВ) ~ 6%.

Активная мишень(АСТАМ1) для экспериментов по Комптоновскому рассеянию на водороде и дейтерии на ускорителе MESA (Майнц)



Общий вид установки АСТАФ2(FAIR/Nustar/R3B)



Эксперименты с активной мишенью АСТАФ2

1. Неупругое рассеяние экзотических ядер на гелии в инверсной кинематике (R3B).

Изучение гигантских дипольных резонансов.

2. Комптоновское рассеяние на ядрах ^3He и ^4He (измерение поляризуемости нейтрона).

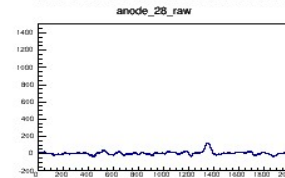
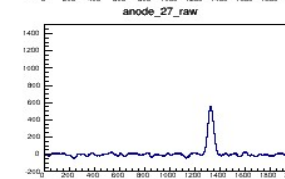
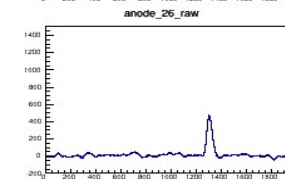
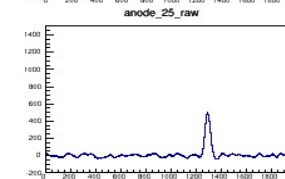
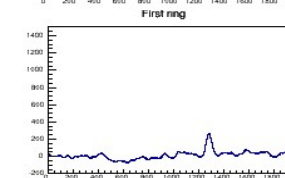
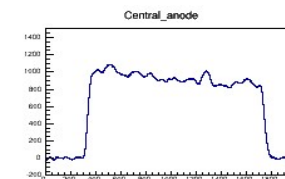
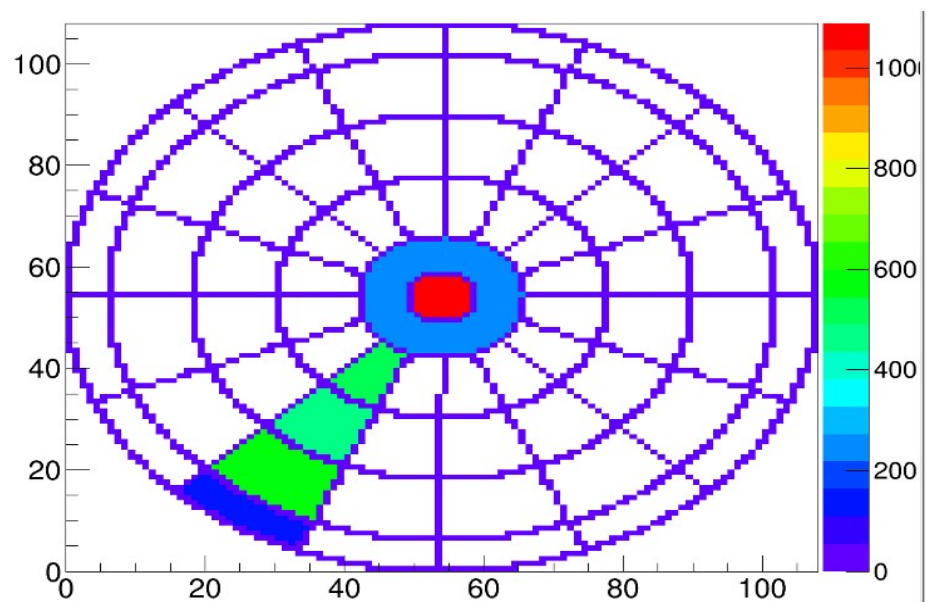
Активная мишень (АСТАФ2) для экспериментов по неупругому рассеянию экзотических ядер на гелии



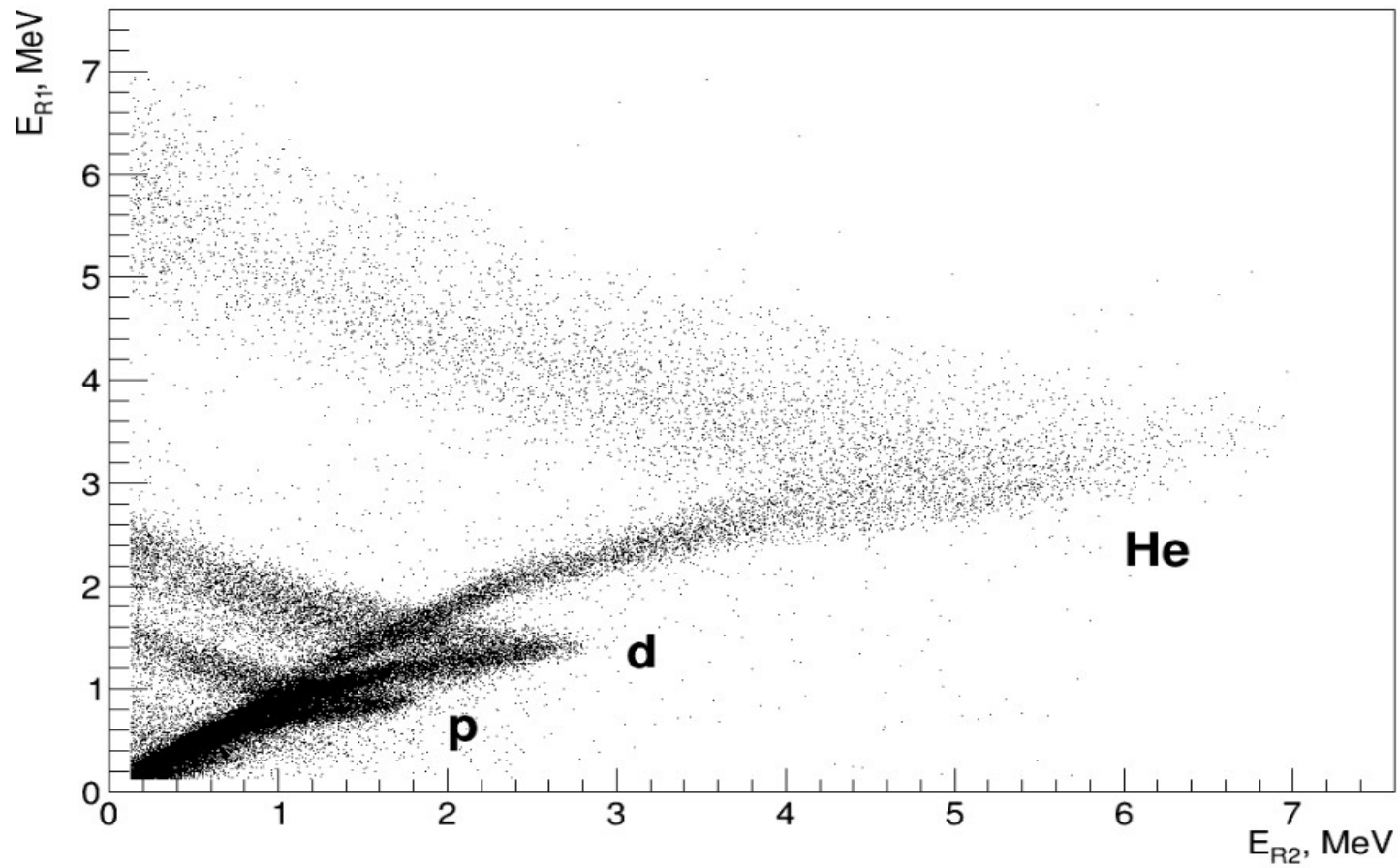
Сегментированная анодная структура АСТАФ2



Пример события рассеяния ядра Sn-124 на гелии



Корреляция между энергиями частиц отдачи на соседних анодных кольцах R1 и R2, газ (He+4%N2, 10 bar), пучок электронов -720 МэВ.



Фоновые процессы для комптоновского рассеяния на дейтерии и гелии

Background Reactions



- $\gamma + p + n$ (quasi-free)
- $p + n$ (breakup)

Min $\Delta E_B = 2.2$ MeV

- Unresolvable
- Need theory help
 - Provide Elastic plus Quasi-free
 - Already in progress for HI γ S data



- $\gamma + p + d$ (quasi-free)
- $p + d$ (breakup)
- $p + p + n$ (breakup)

Min $\Delta E_B = 4.5$ MeV

- Unresolvable
- Need active He target
 - Recoiling energy
 - Event vertex?
 - Track with TPC?



- $\gamma + n + {}^3\text{He}$ (quasi-free)
- $\gamma + p + t$ (quasi-free)
- $n + {}^3\text{He}$ (breakup)
- $p + t$ (breakup)
- $p + n + d$ (breakup)
- $p + p + n + n$ (breakup)
- $d + d$ (breakup)

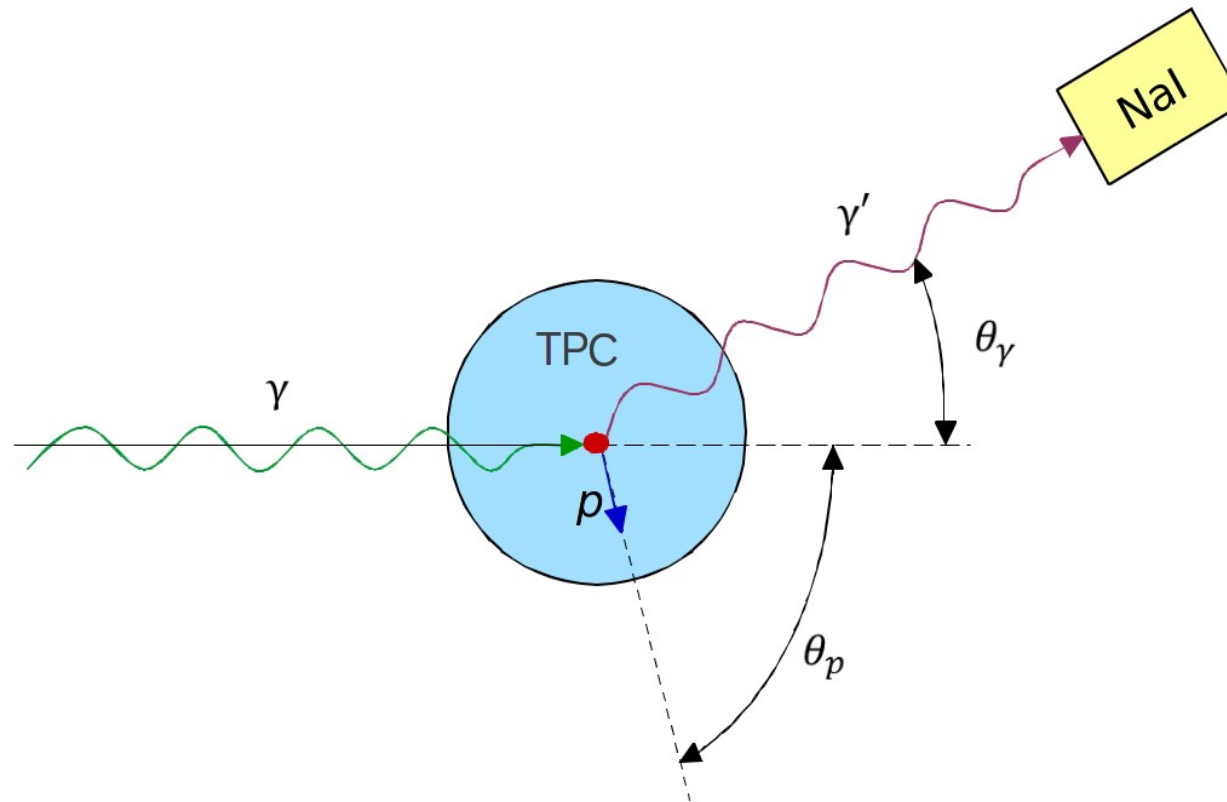
Min $\Delta E_B = 20$ MeV

- Resolvable!

Характеристики активной мишени-ионизационной камеры АСТАФ2

1. Рабочий газ- H_2 , D_2 , He^3 , He^4 , CH_4 и Ar .
Давление 0.1-10 атм.
2. Регистрация всех заряженных частиц (p, d, t, He^3, He^4) внутри активной мишени с энергией 0.3 - 20 MeV.
3. Энергетическое разрешение 20-30 keV.
4. Эффективность регистрации ($T > 0.3$ MeV) $\sim 100\%$.
5. Измерение точки взаимодействия в рабочем объёме мишени с точностью ~ 0.2 mm
6. Угловое разрешение по полярному углу ~ 0.5 град, по азимутальному углу ~ 6 град.

Новый метод изучения Комптоновского рассеяния с помощью активной мишени (TPC)



Детектор рассеянных гамма квантов

Энергия гамма квантов 20-120МэВ (тормозной спектр).

Угловой захват детектора гамма квантов ~ 10 градусов.

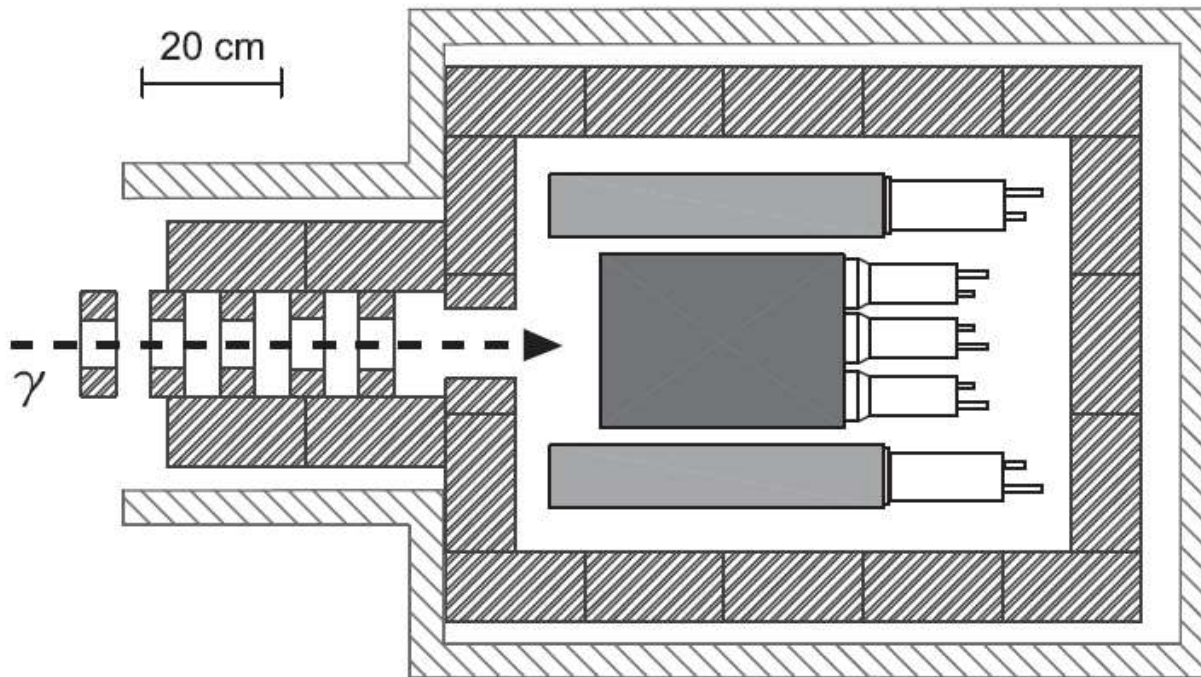
Энергетическое разрешение ~2-3%





(в диапазоне 20-120МэВ).

Эффективность регистрации гамма квантов

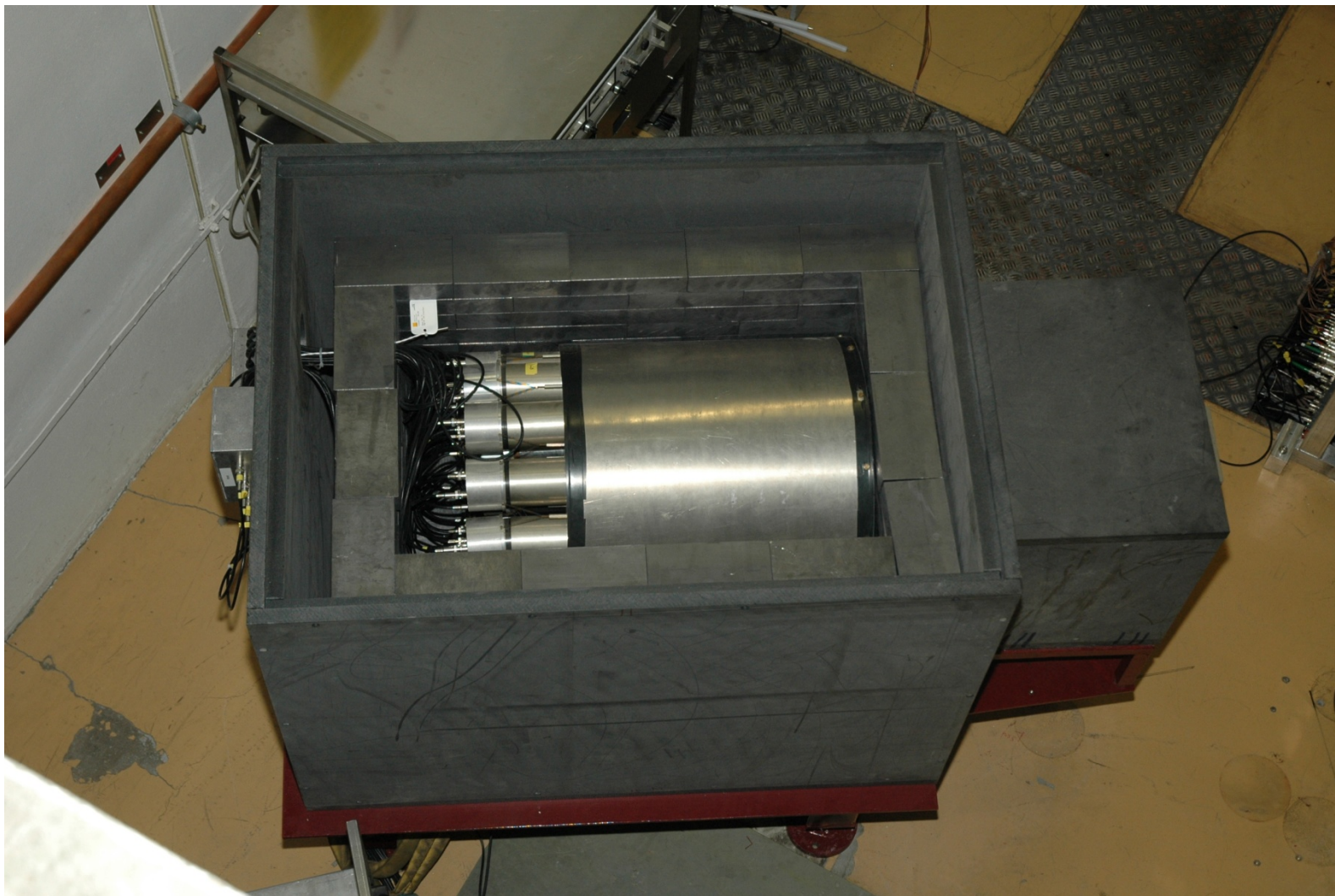
в диапазоне энергий (20-120МэВ) ~ 100%

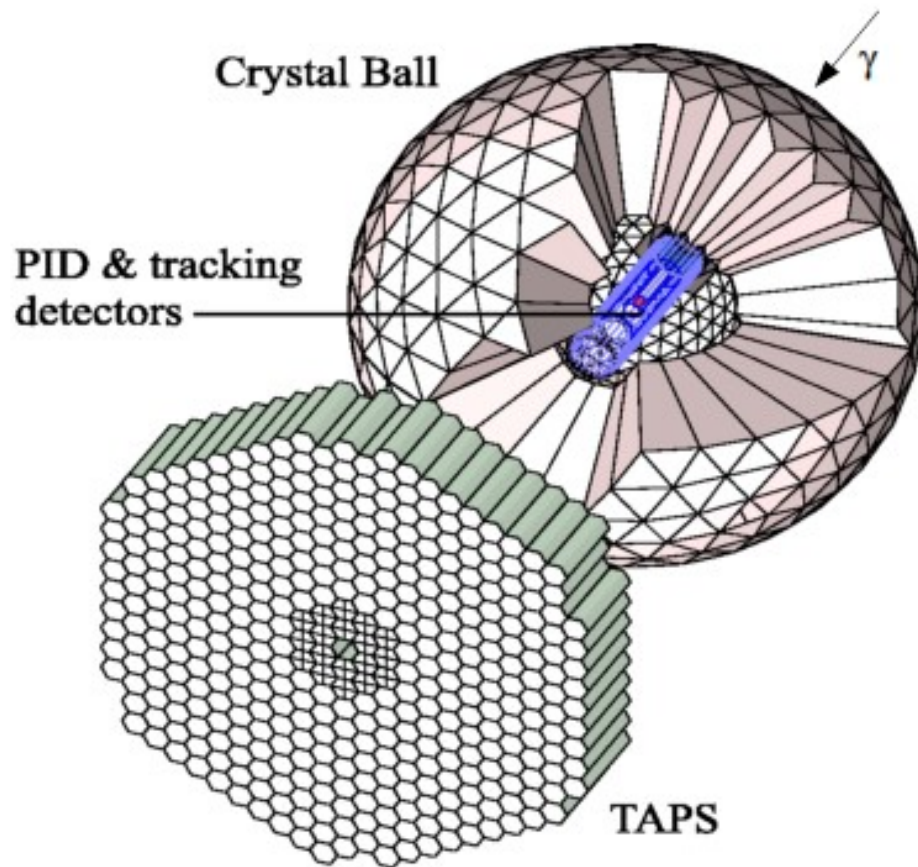
Schematic view of a 10 in x 14 in NaI(Tl) detector (Mainz, IKP)



- | | | | |
|---|----------------------|---|----------------------------|
|  | NaI(Tl) Crystal |  | Lead |
|  | Plastic Scintillator |  | Boron treated Polyethylene |

Nal(Tl) spectrometer (10in x 14in)





Crystal Ball:

672 NaI(Tl) crystals

93,3% of total solid angle

Each crystal equipped with PMT

$$\frac{\sigma}{E_\gamma} = \frac{2\%}{(E_\gamma/\text{GeV})^{0.25}} \quad \sigma(\theta) = 2^\circ \dots 3^\circ$$

$$\Delta t = 2.5 \text{ ns FWHM} \quad \sigma(\phi) = \frac{2^\circ \dots 3^\circ}{\sin(\theta)}$$

TAPS:

Up to 510 BaF₂ crystals

Polar acceptance: 4-20°

$\Delta t = 0.5 \text{ ns FWHM}$

$$\frac{\sigma}{E_\gamma} = \frac{0,79\%}{\sqrt{E_\gamma/\text{GeV}}} + 1,8\%$$

Заключение

1. В настоящее время в ОФВЭ подготовлены две активные мишени для экспериментов по комптоновскому рассеянию на водороде (АСТАМ1) и гелии (АСТАФ2).
2. Для реализации этих экспериментов необходимо проектирование и создание гамма детекторов.
3. Открытый вопрос- где в России можно выполнить такие эксперименты?

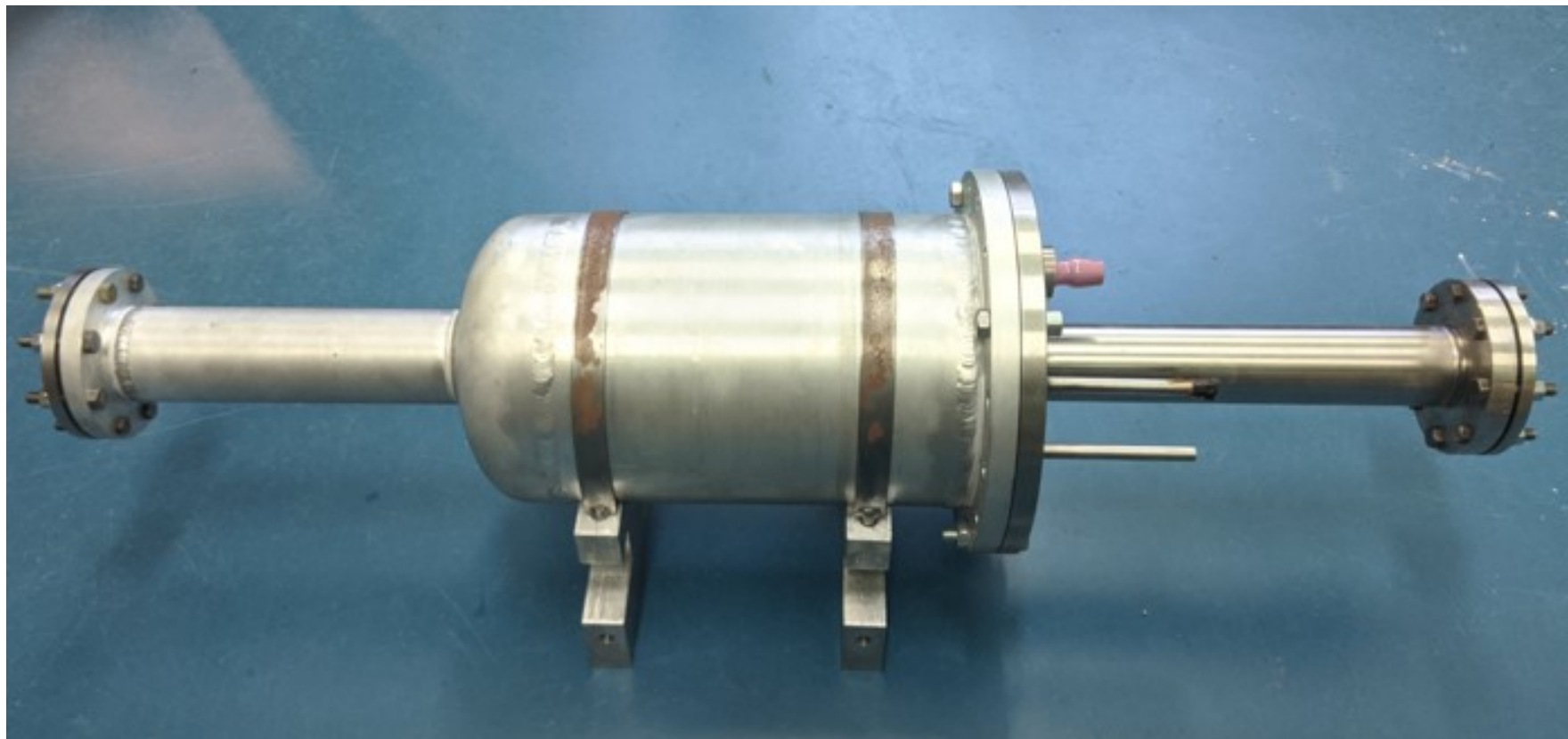
Необходим высокоинтенсивный электронный ускоритель с выведенным пучком интенсивностью ~ 50 мкА и энергией ~ 140 МэВ.

Спасибо за внимание !

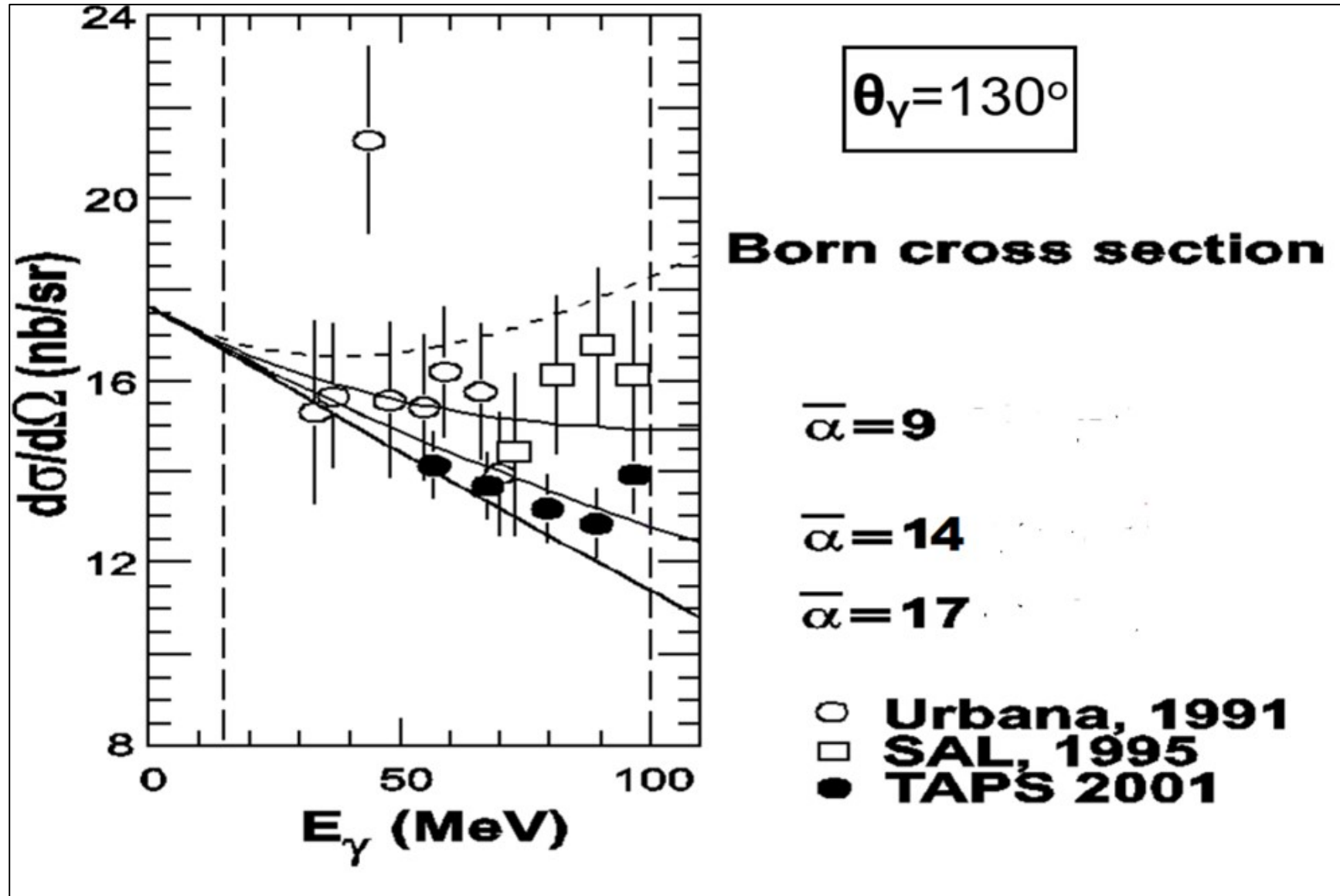
С наступающим

Новым Годом !!!

Активная мишень(АСТАМ2) для экспериментов по Комптоновскому
рассеянию на He-3 и He-4 на ускорителе МАМІ (Майнц)



Low energy ($E_\gamma < 100$ MeV) Compton scattering data



Planned precision of α_p and β_p measurements

Statistical uncertainty: $\Delta\alpha_p = 0.07$, $\Delta\beta_p = 0.12$

Systematical uncertainty: $\Delta\alpha_p = 0.11$, $\Delta\beta_p = 0.12$ Total
uncertainty (in quadrature): $\Delta\alpha_p = 0.13$, $\Delta\beta_p = 0.17$

world measurements of α_p and β_p

PDG (2010) $\alpha_p = 12.0 \pm 0.6$, $\beta_p = 1.9 \pm 0.5$

PDG (2014) $\alpha_p = 11.2 \pm 0.4$, $\beta_p = 2.5 \pm 0.4$

PDG (2020) $\alpha_p = 11.2 \pm 0.4$, $\beta_p = 2.5 \pm 0.4$

Mainz (2001) $\alpha_p = 11.9 \pm 0.5 \pm 1.3$, $\beta_p = 1.2 \pm 0.7 \pm 0.3$

**Mainz (2022) $\alpha_p = 10.99 \pm 0.16 \pm 0.47 \pm 0.17 \pm 0.34$,
 $\beta_p = 3.14 \pm 0.21 \pm 0.24 \pm 0.20 \pm 0.35$**

Planned precision of α_s and β_s measurements

Statistical uncertainty: $\Delta \alpha_s = 0.07$, $\Delta \beta_s = 0.12$

Systematical uncertainty: $\Delta \alpha_s = 0.13$, $\Delta \beta_s = 0.16$

Total uncertainty (in quadrature): **$\Delta \alpha_s = 0.15$, $\Delta \beta_s = 0.20$**

$\alpha_s = (\alpha_p + \alpha_n)/2$, $\beta_s = (\beta_p + \beta_n)/2$ (isoscalar average)

Max-lab (Lund,2014) $\alpha_s = 12.1 \pm 0.8\text{stat}$, $\beta_s = 2.4 \pm 0.8\text{stat}$

world measurements of α_n and β_n

PDG (2010) $\alpha_n = 12.5 \pm 1.7$, $\beta_n = 2.7 \pm 1.8$

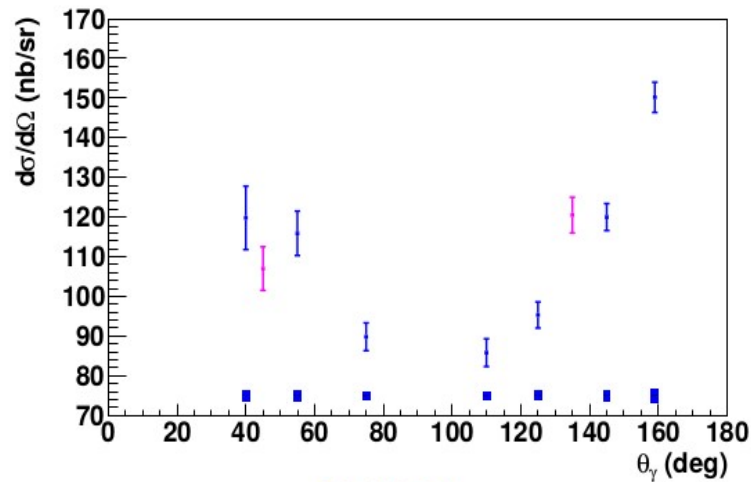
PDG (2014) $\alpha_n = 11.6 \pm 1.5$, $\beta_n = 3.7 \pm 2.0$

PDG (2020) $\alpha_n = 11.8 \pm 1.1$, $\beta_n = 3.7 \pm 1.2$

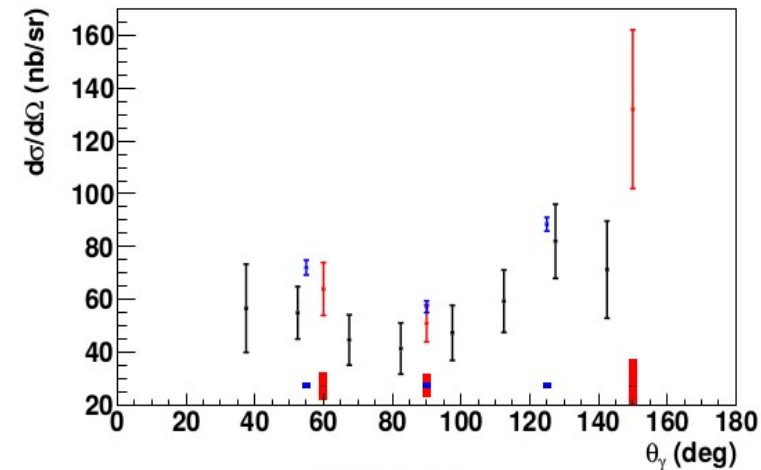
Max-lab(Lund, 2014) **$\alpha_n = 11.55 \pm 1.25\text{stat}$, $\beta_n = 3.65 \pm 1.25\text{stat}$**

Экспериментальные данные по Комptonовскому рассеянию на ^4He

Previous ^4He Data



60 MeV



80 MeV

- Magenta points from Illinois [Wells Ph.D. Thesis (1990) unpublished]
- Red points from Lund [Fuhrberg NuclPhysA.591.1 (1995)]
- Blue points from HI γ S [Sikora PhysRevC.96.055209 (2017), Li arXiv.1912.06915 (2019)]
- Black points are preliminary data (statistical) from MAMI (100 hours)

Определение поляризуемости нуклона

- **α and β are defined in units 10^{-4} fm^3**
- **LET-formula describes the γ -p scattering with high precision at $E_\gamma < 80 \text{ MeV}$.**
- • $d\sigma(E_\gamma, \theta_\gamma)/d\Omega$ (Powell) describes the γ -p scattering for point-like proton.
- • Structure term ρ describes negative contribution from polarizabilities α and β .
- • At $\theta_\gamma = 90 \text{ deg}$, $d\sigma(E_\gamma, \theta_\gamma)/d\Omega$ sensitive to α only.
- • At backward angles (e.g. $\theta_\gamma = 130 \text{ deg}$), sensitive mostly to $\alpha - \beta$.

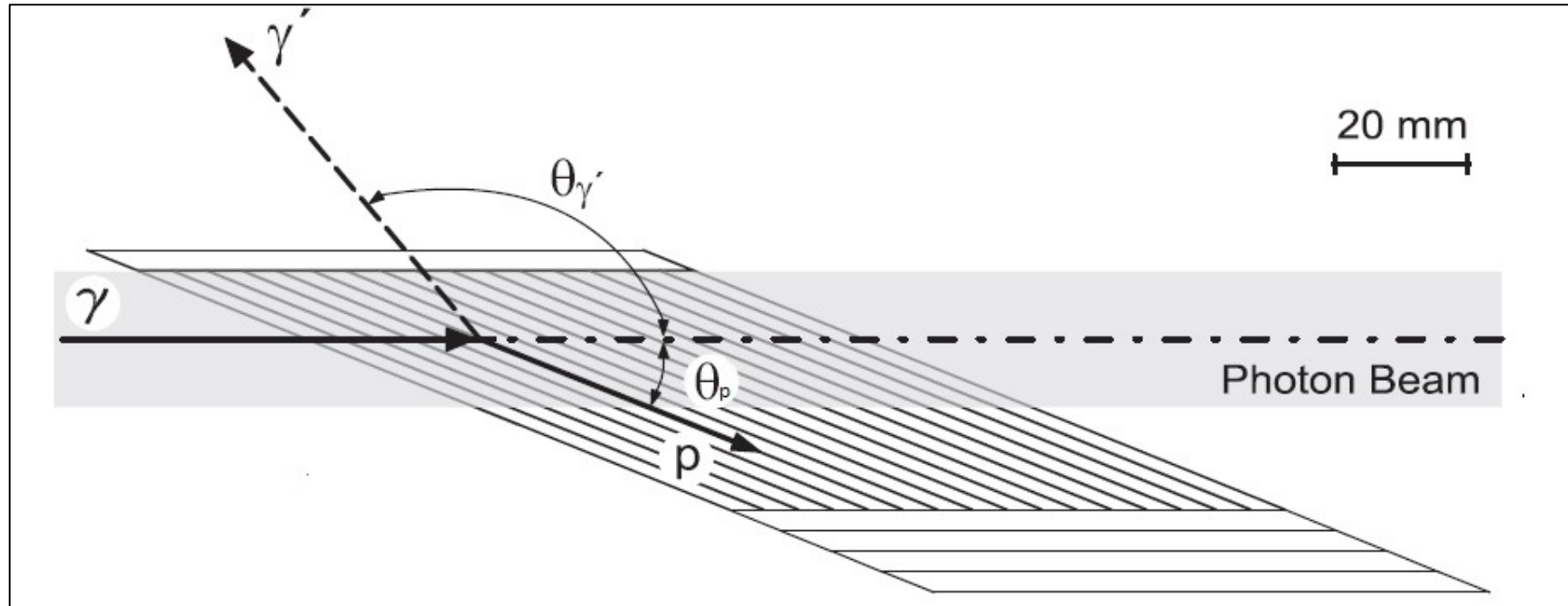
Структурный член (вклад поляризуемости) в сечение
комптоновского рассеяния

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

Структурный член(вклад поляризуемости) в сечение комптоновского
рассеяния

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

Top view on a multy-strip anode plane at $\theta_y=130^\circ$



Фоновые реакции

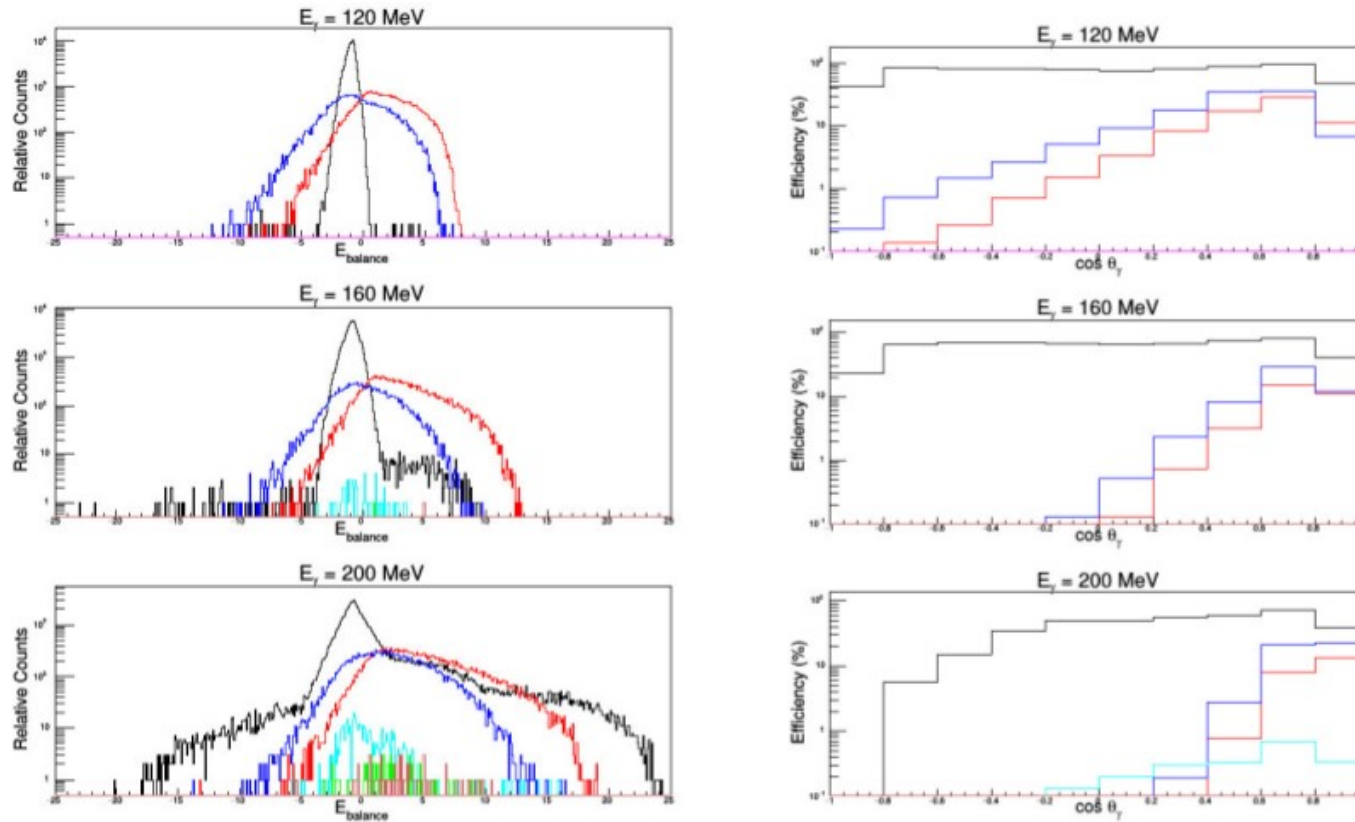


Figure 5: Left: kinetic-energy balance $E_{balance}$ (eq.3.1) for $\gamma + {}^3\text{He} \rightarrow \gamma + {}^3\text{He}$ (black line); $\gamma + {}^3\text{He} \rightarrow \gamma + p + d$ (blue line); $\gamma + {}^3\text{He} \rightarrow \gamma + n + p + p$ (red line); $\gamma + {}^3\text{He} \rightarrow \pi^0 + {}^3\text{He}$ (cyan line). Right: acceptance for same reaction channels, colour code as left plot.