

ИЗУЧЕНИЕ ФОТО-ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ НА УСТАНОВКЕ «ДЕЙТРОН» НА ВЭПП-3

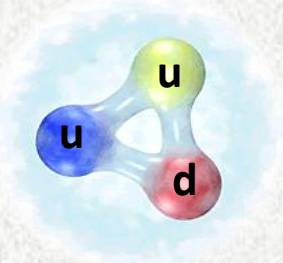
В.В. Гаузштейн

**Старший научный сотрудник
ИЯФ СО РАН им. Г.И. Будкера**

17.02.2025

Актуальность исследований

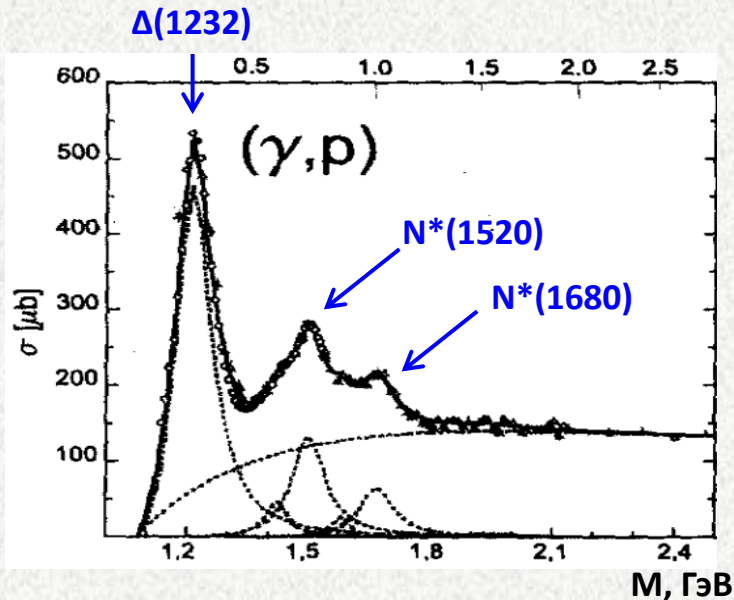
- Исследование структуры нуклона



Конституэнтная кварковая модель

$$m_u \approx m_d \approx \frac{1}{3} M_N$$

- Источник информации - нуклонный спектр



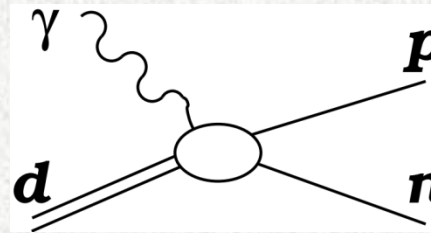
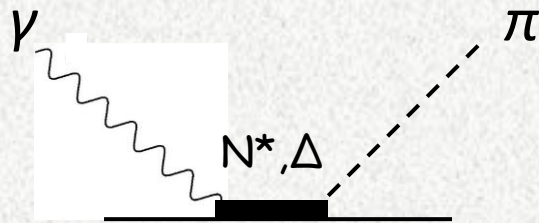
(массы, ширины и кв.числа N- и Δ -резонансов)

- **Проблема:** сильное перекрывание резонансов

⇒ Трудность выделения состояний

Актуальность исследований

- Преимущество фотопроцессов



- Э.М. поле - надежный инструмент исследования

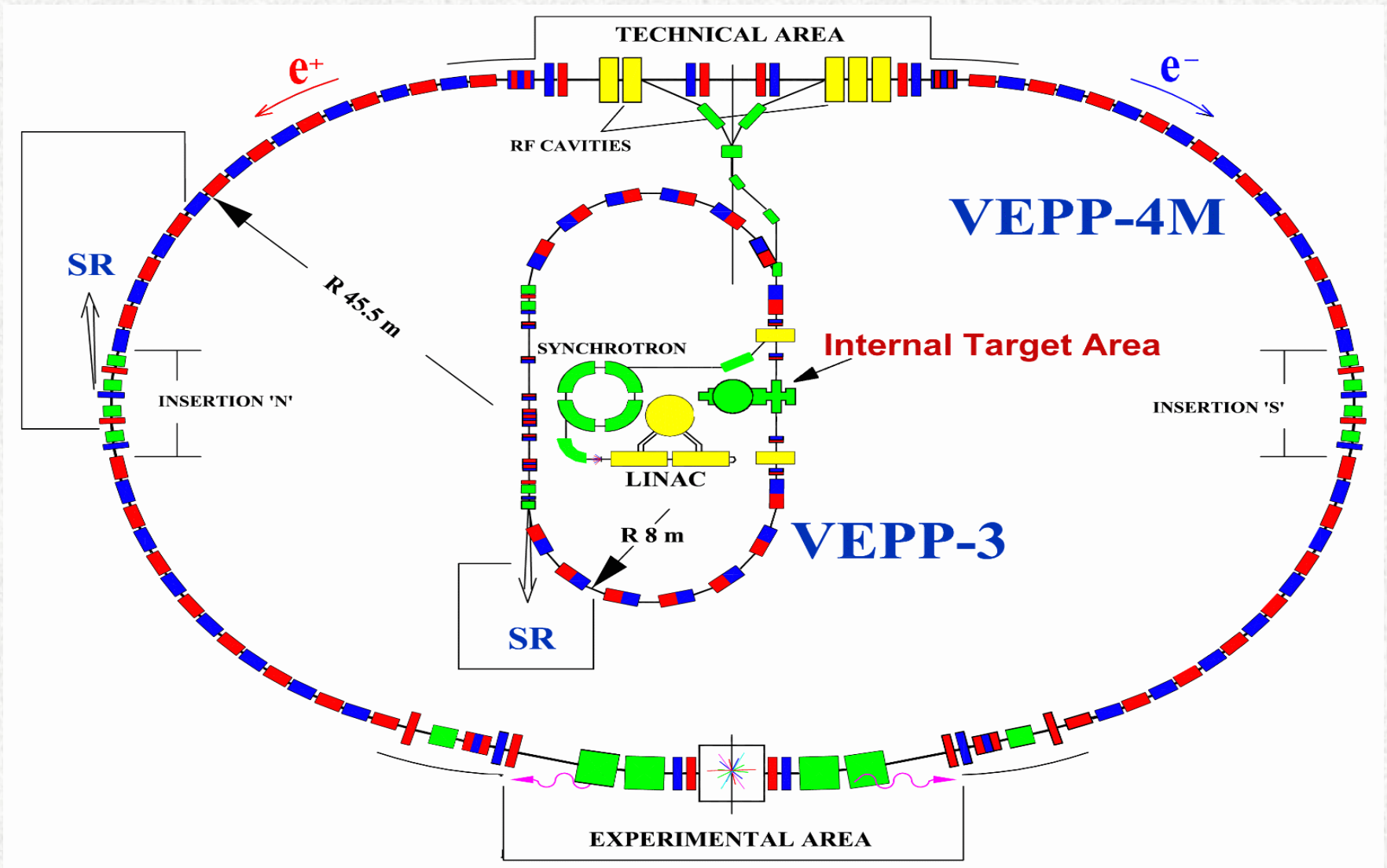
$$\alpha_{\text{эм}} \approx 1/137 \Rightarrow \langle X A' | T | A \gamma \rangle \rightarrow \langle X A' | \{ \rho, \vec{j} \} | A \rangle$$

- Более богатая информация о структуре барионов
- Высокая точность измерений. Особенно важно для поляризационных наблюдаемых.

Установки для исследования фотореакций

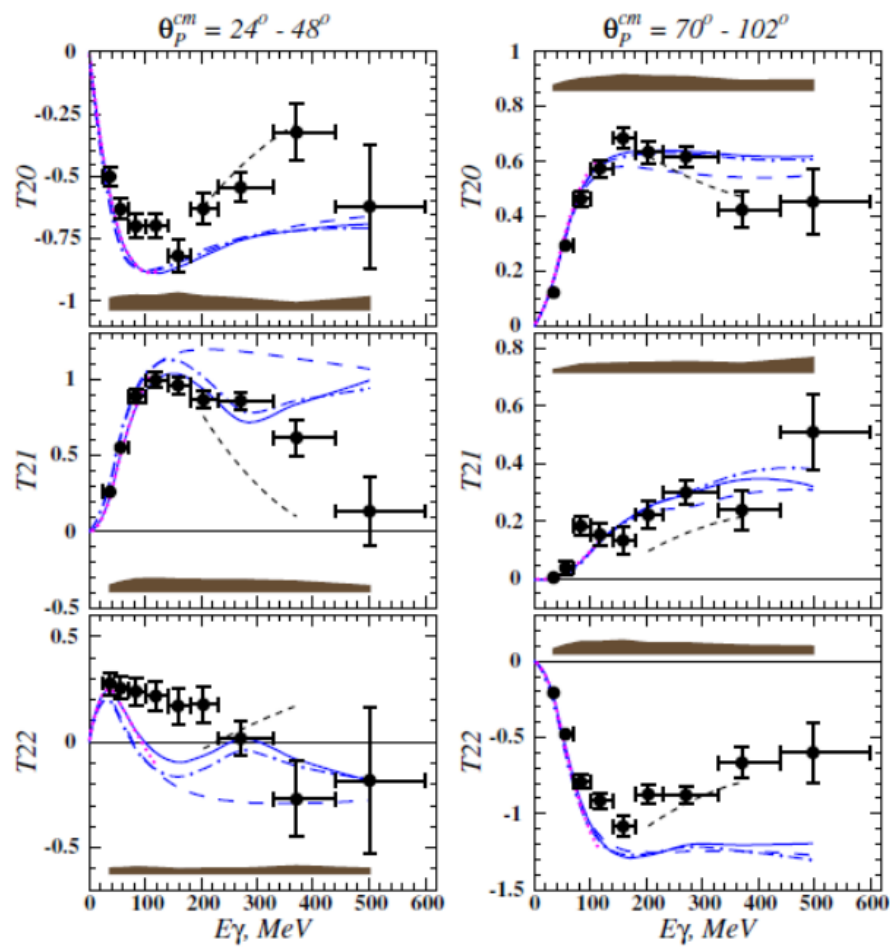
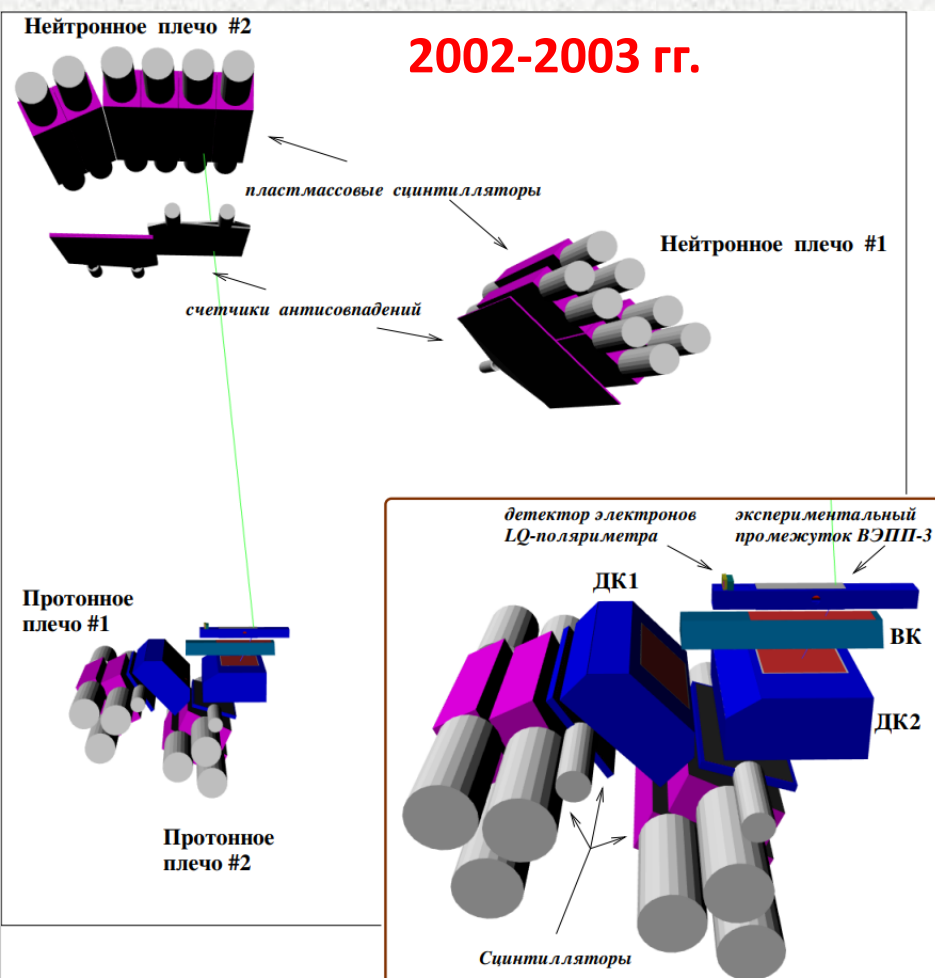
Установка	E_{\max}	I_e
CEBAF, JLAB, США	11 ГэВ	200 мкА
MAMI, Германия	1.5 ГэВ	100 мкА
ELSA, Германия	3.5 ГэВ	
LEPS, Япония	2.4 ГэВ	
ELPH, Япония	1.3 ГэВ	
ДЕЙТРОН, ВЭПП-3	2 ГэВ	100 мА

Ускорительно-накопительный комплекс ВЭПП-3



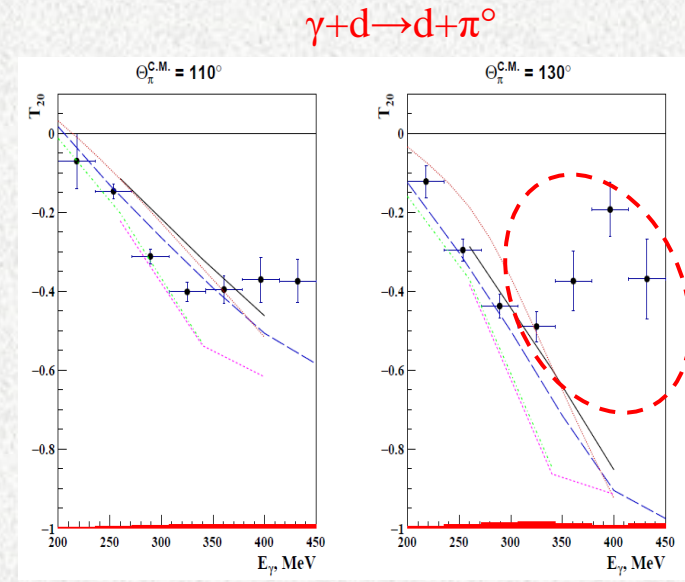
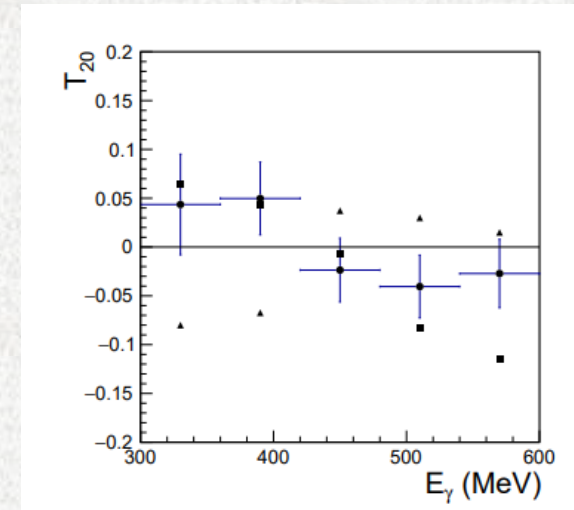
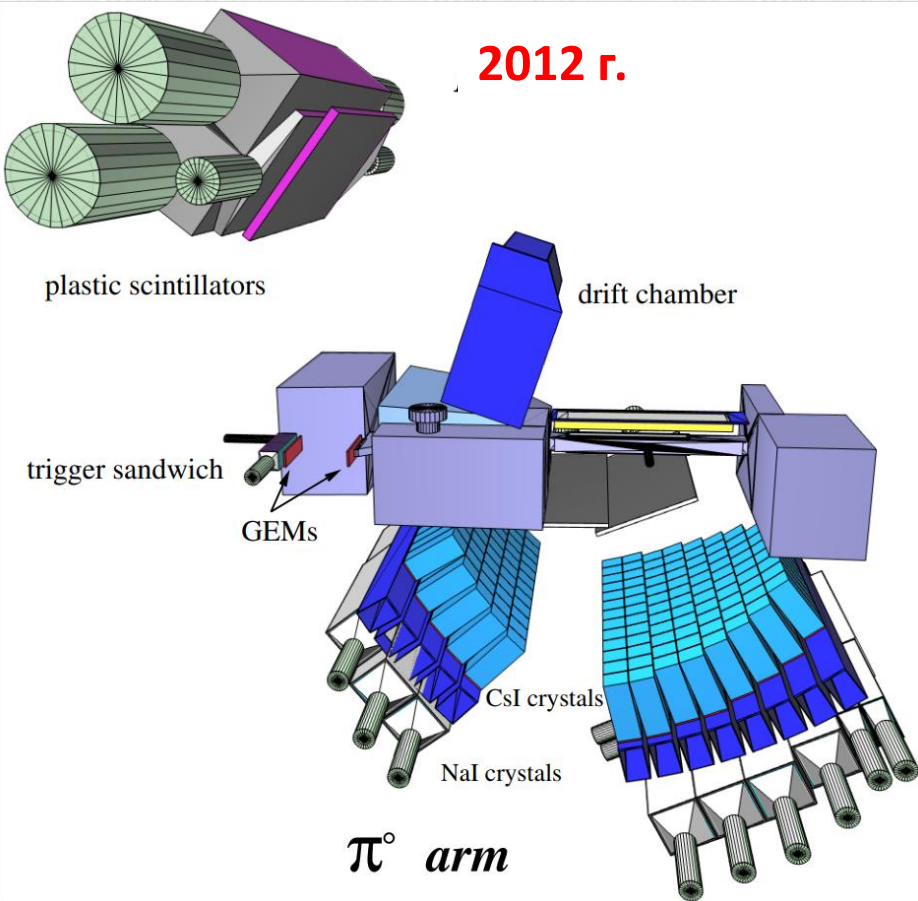
Главные результаты: двухчастичная фотодезинтеграция дейтрона

- Измерены T_{20} , T_{21} и T_{22} компоненты тензорной анализирующей способности реакции двухчастичного фоторасщепления дейтрона $\gamma+d \rightarrow p+n$
- Rachek et al. Phys. Rev. Lett. (2007) 98 182303



Главные результаты: фоторождение π^0 -мезона

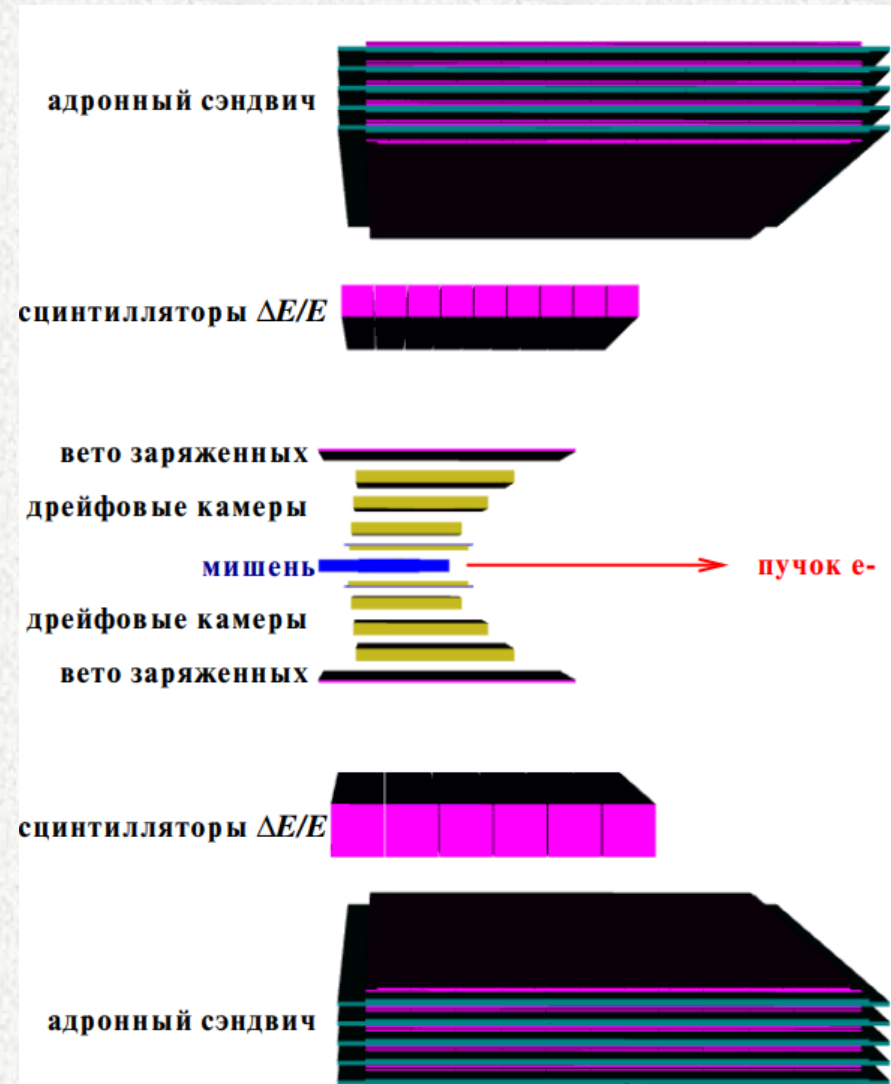
- Измерена T_{20} компоненты тензорной анализирующей способности реакций $\gamma+d \rightarrow d+\pi^0$ и $\gamma+d \rightarrow p+n+\pi^0$
- V.V. Gauzshtein et al. Eur. Phys. Jour. A (2020) 56:169
- B.I. Vasilishin et al. Phys. Rev. C (2022) 106 024003



Последний заход в 2021 и 2023 гг.

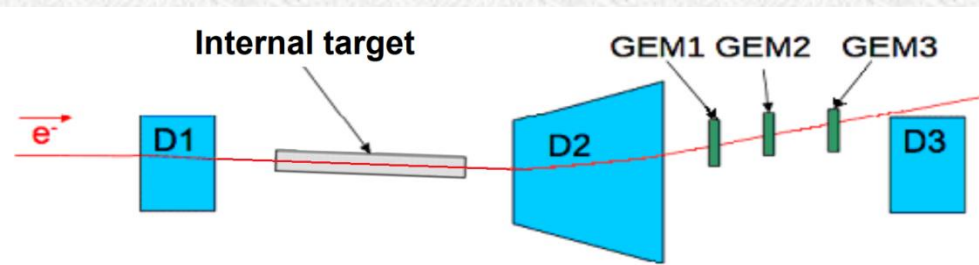
- Симметричная система из двух плеч, регистрирующих протоны и нейтроны с энергией $50 \div 400$ МэВ. Энергия электронов - 800 МэВ

- трековая система: многопроводочные пропорциональные и дрейфовые камеры;
- слои сцинтилляторов для разделения заряженных/нейтральных частиц и для $\Delta E/E$ -анализа;
- адронный калориметр-сэндвич (железо+сцинтиллятор), сегментированный по X,Z \rightarrow для эффективной регистрации нейтронов большой энергии.



Система мечения Фотонов

Упрощенная схема



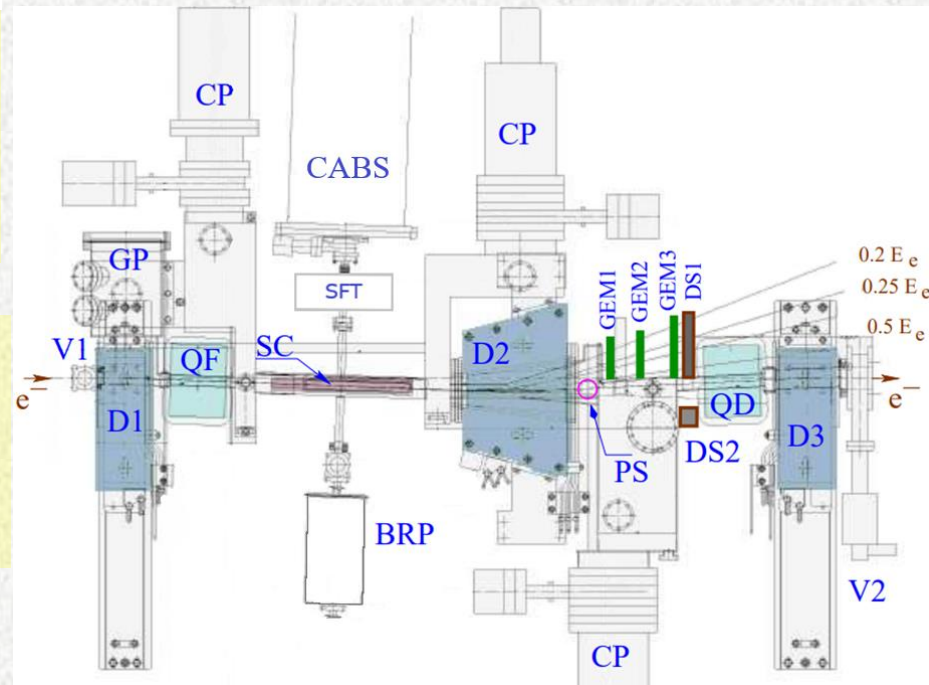
Магнит D2 и трековые GEM-детекторы образуют магнитный спектрометр электронов, потерявших от 50% до 80% энергии на излучение фотона.

Реконструируя энергию и угол рассеянного электрона можно определять **энергию** и плоскость поляризации фотона, вызвавшего ядерную реакцию.

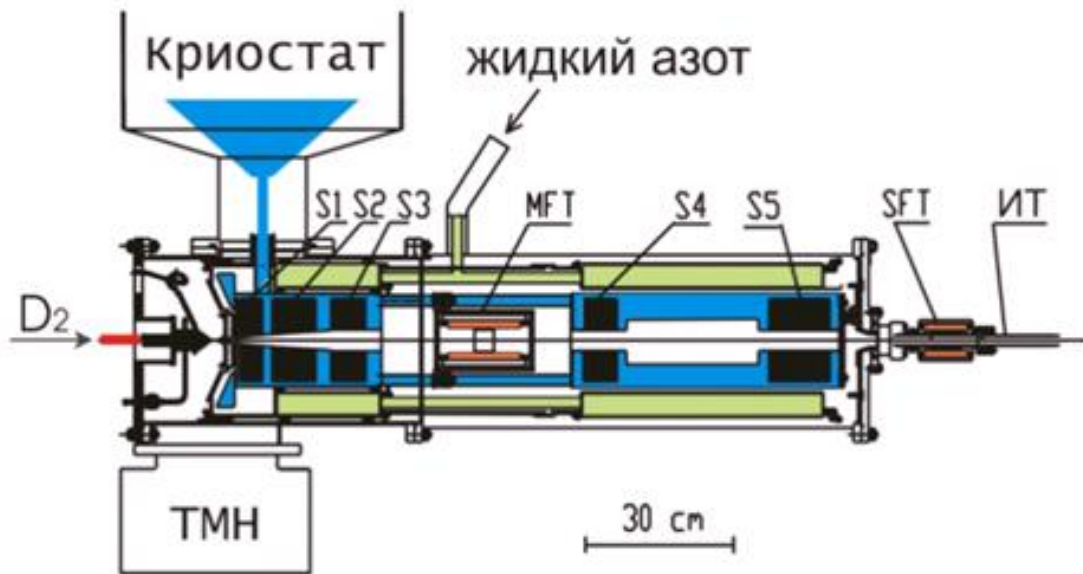
$$E_e = 800 \text{ МэВ}$$

$$E_\gamma = (400-600) \text{ МэВ}$$

Три дипольных магнита в линейном промежутке ВЭПП-3

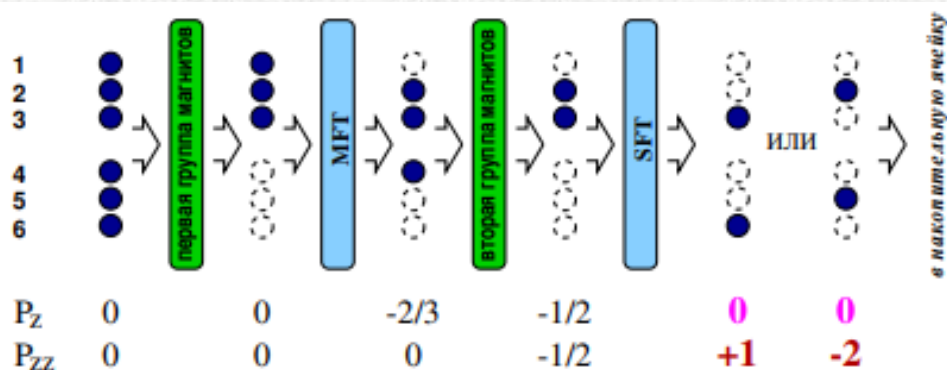


Источник поляризованных атомов



S1-S5 – шести-полюсные магниты

MFT, SFT – блоки ВЧ переходов

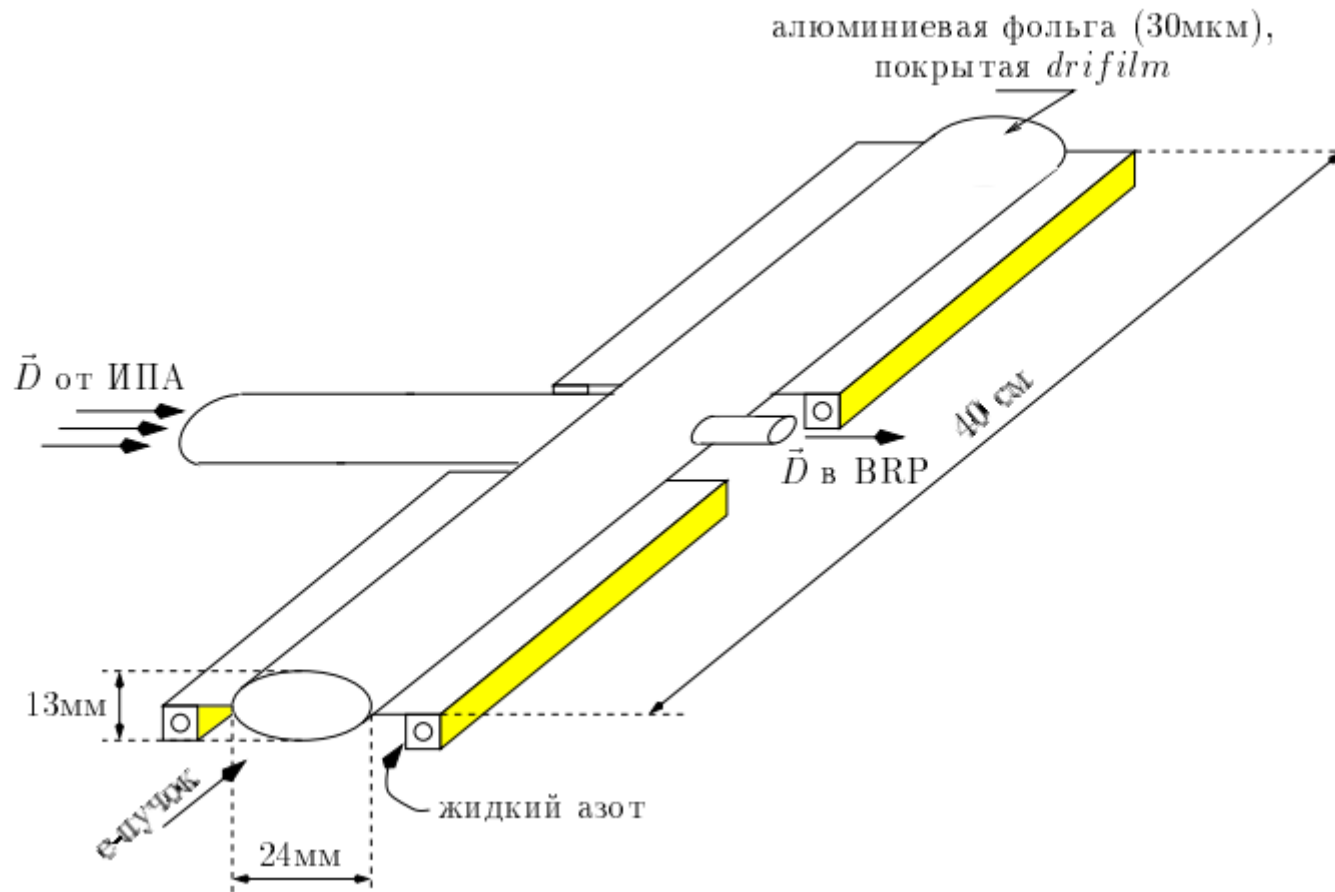


Тензорная поляризация: >95% (+1 или -2)

Векторная поляризация: <5%

Интенсивность струи поляризованных атомов из ИПА: 8.2×10^{16} ат/сек

Накопительная ячейка



- толщина мишени: 5×10^{13} ат/см²
- светимость 2×10^{31} см⁻² (при $I_e = 70$ мА)
- тензорная поляризация $\approx 40\%$

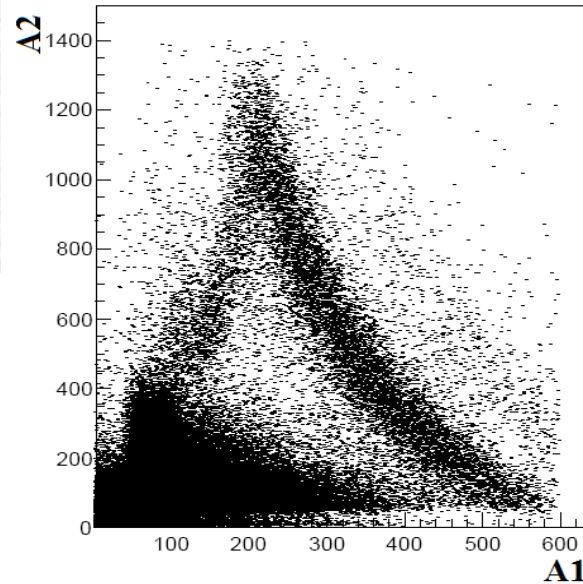
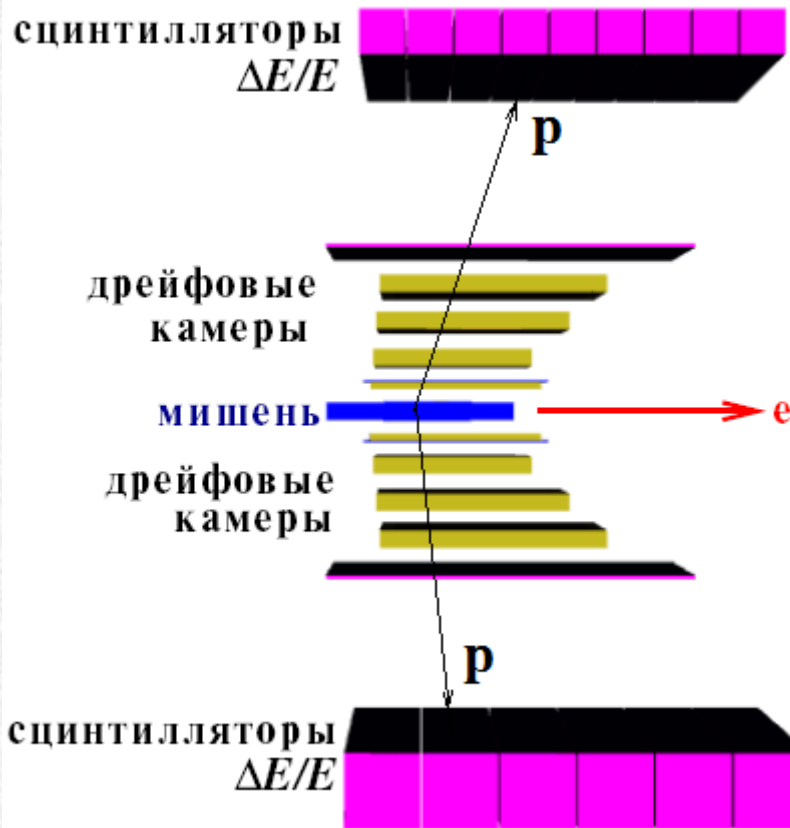
Регистрация (pp)-совпадений

Дрейфовые камеры:

$$\Theta_p \sim (45-90)^\circ$$

$$\Phi_p = \pm 30^\circ$$

$$\sigma \sim 0.5^\circ$$

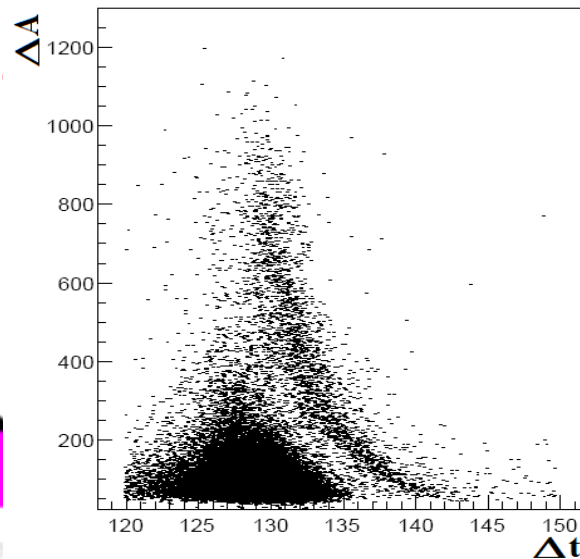


Верхнее плечо:

$\Delta E/E$ -метод

$$E_p \sim (50-150) \text{ МэВ}$$

$$\sigma \sim 18\%$$



Нижнее плечо:

$\Delta t/E$ -метод

$$E_p \sim (50-170) \text{ МэВ}$$

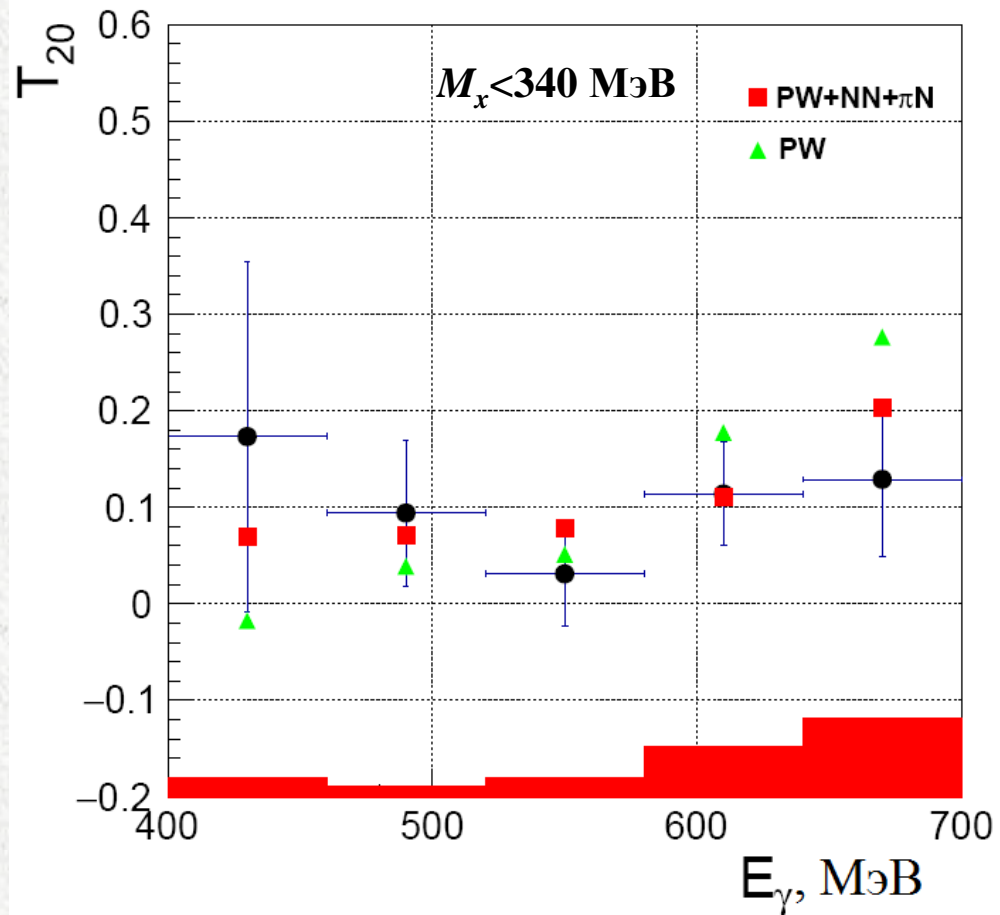
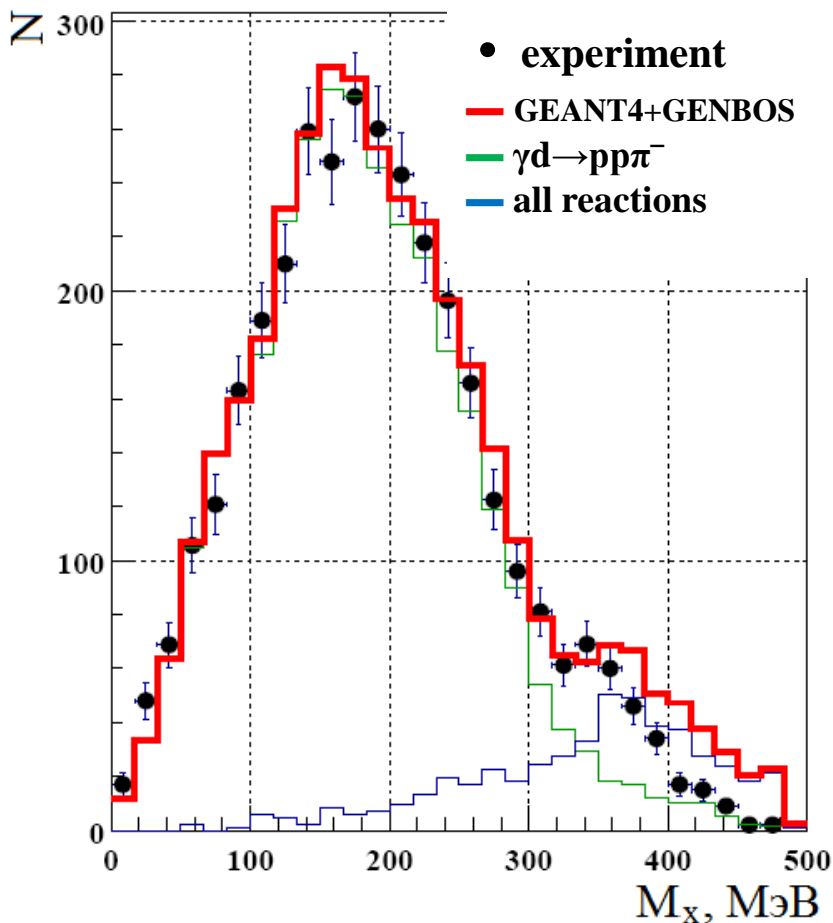
$$\sigma \sim 15\%$$

Результаты для $\gamma d \rightarrow pp\pi^-$

- кинематика реакции восстанавливается через E_γ , E_{p12} , Θ_{p12} и Φ_{p12}
- главный критерий идентификации событий – M_x

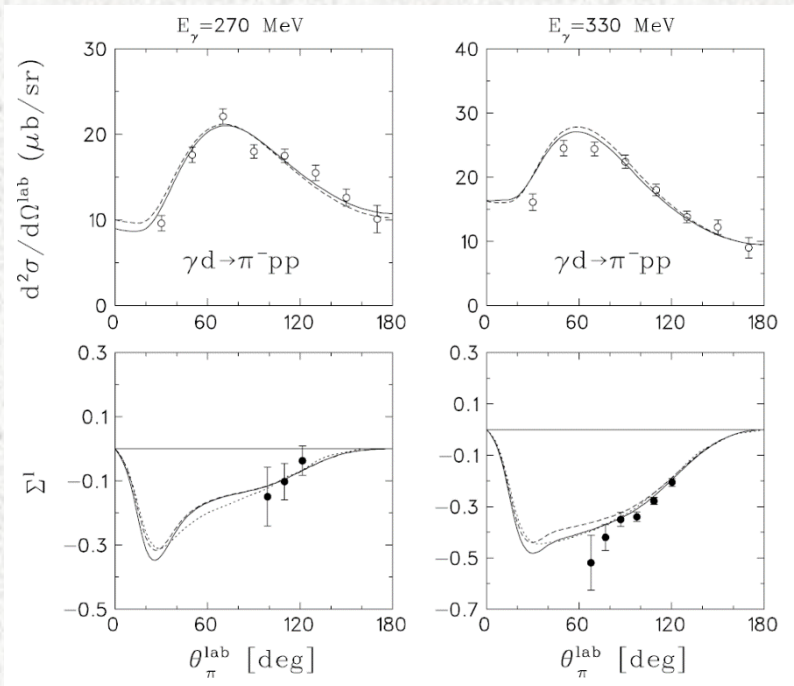
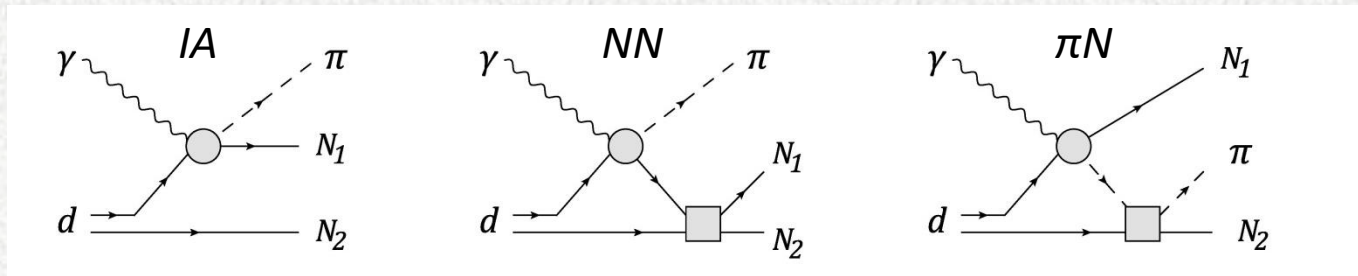
$$M_x^2 = (P_0 - P_{pp})^2$$

P_0 – 4-импульс начальной ($\gamma+d$)-системы, P_{pp} – 4-импульс ($p+p$)-системы



Дополнительный слайд

- Основные механизмы реакций $\gamma d \rightarrow \pi^0 np$ и $\gamma d \rightarrow \pi^- pp$



--- только IA
 — IA + NN + πN

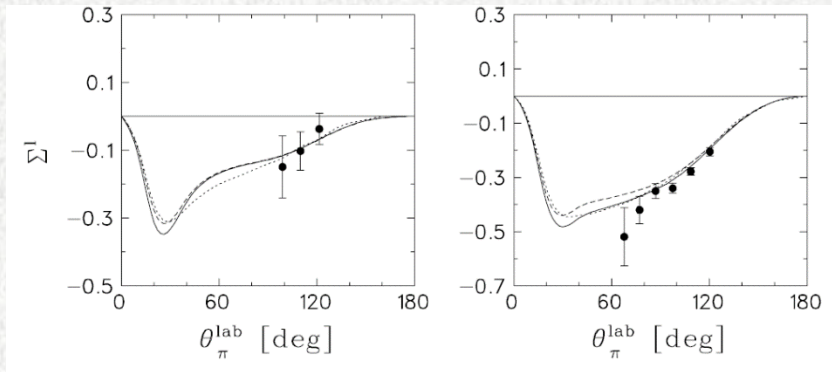
Слабая чувствительность к параметрам модели

- DESY
- LEGS at BNL

Дополнительный слайд

- Проблема полного опыта

- **Метод решения:** измерение и анализ наблюдаемых, наиболее чувствительных к модельным параметрам

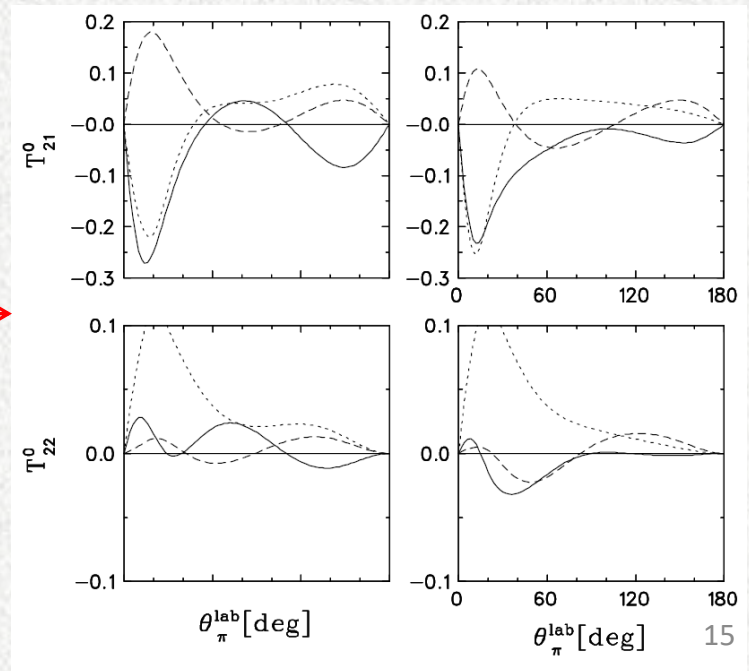


← Σ - асимметрия

Тензорная анализирующая
способность

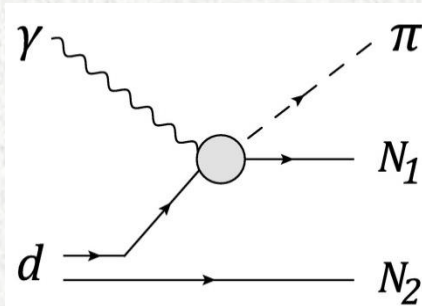
$$T_{2M}, M=0,1,2$$

→

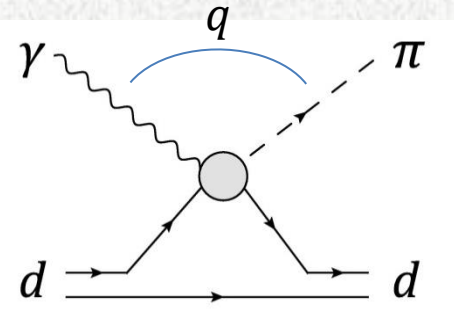


Дополнительный слайд

- Отличие $\gamma d \rightarrow \pi^0 d$ от $\gamma d \rightarrow \pi^0 n p$



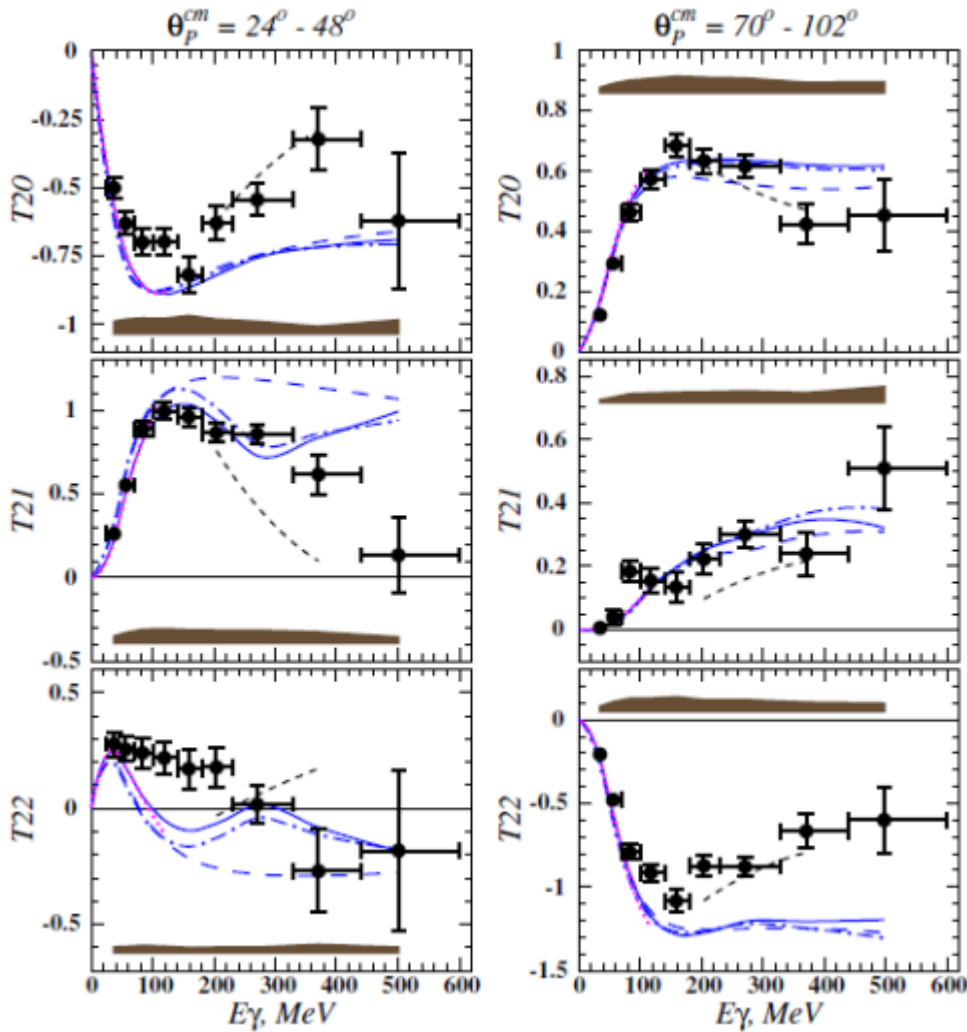
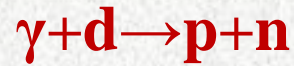
\approx однонуклонный механизм



$$T \sim F_d(q^2)$$

\Rightarrow Сечение $\gamma d \rightarrow \pi^0 d$ чувствительно к динамике на малых межнуклонных расстояниях

Дополнительный слайд



- — Arenhovel (N+MEC)
- · — Arenhovel (N+MEC+IC)
- Arenhovel (N+MEC+IC+RC)
- Levchuk
- - - - Schwamb