

# Фотоядерные процессы на тензорно поляризованном дейтроне

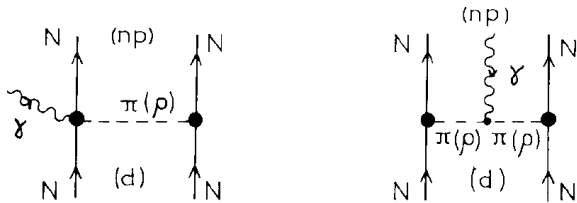
Фикс А.И. [гр. «Дейтрон», ИЯФ им. Г.И. Будкера СО РАН,  
г. Новосибирск]

# Мотивация

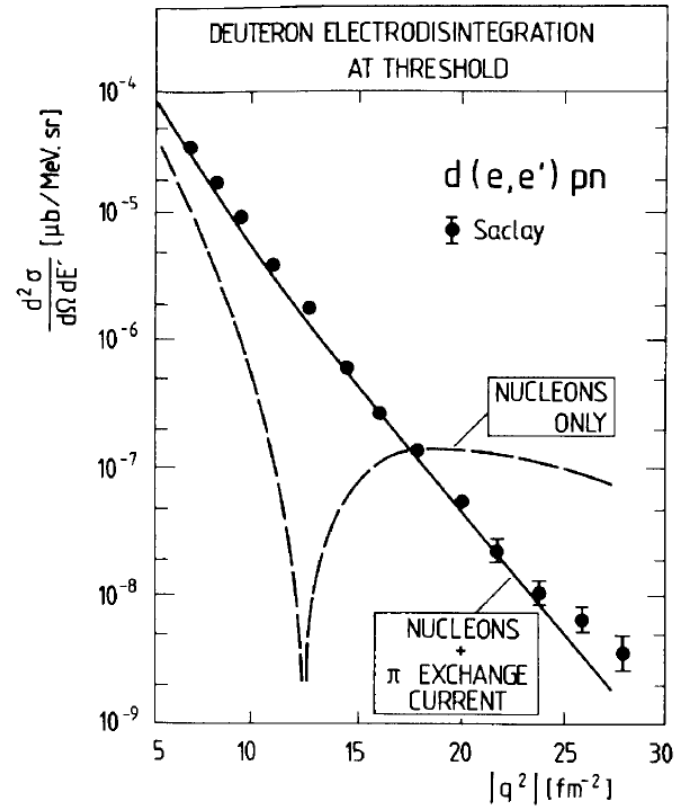
- Роль субъядерных степеней свободы в ядерных процессах

# Мотивация

- Роль субъядерных степеней свободы в ядерных процессах

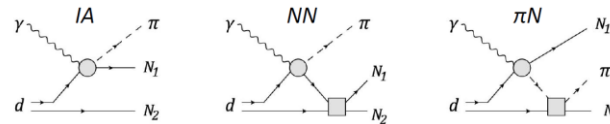
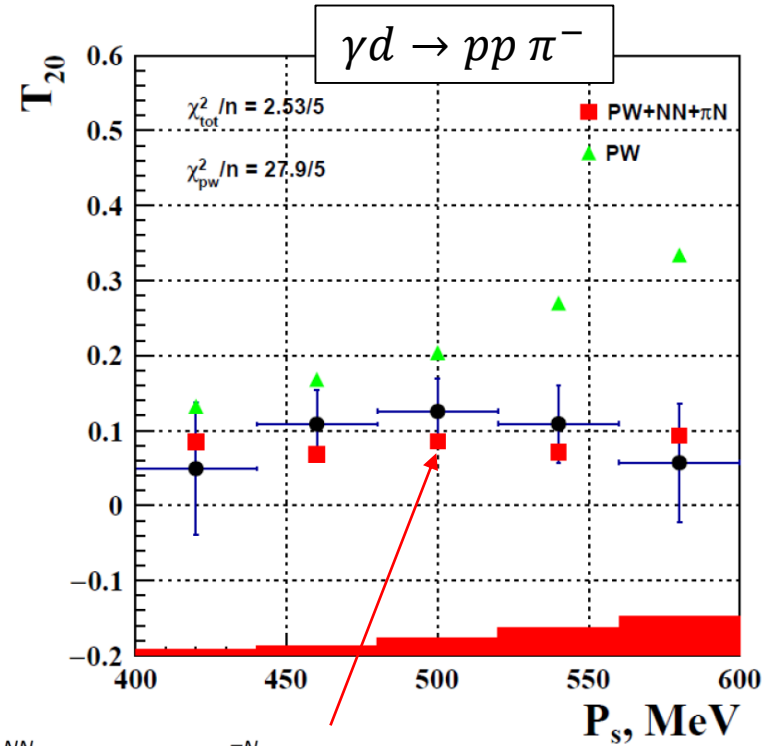
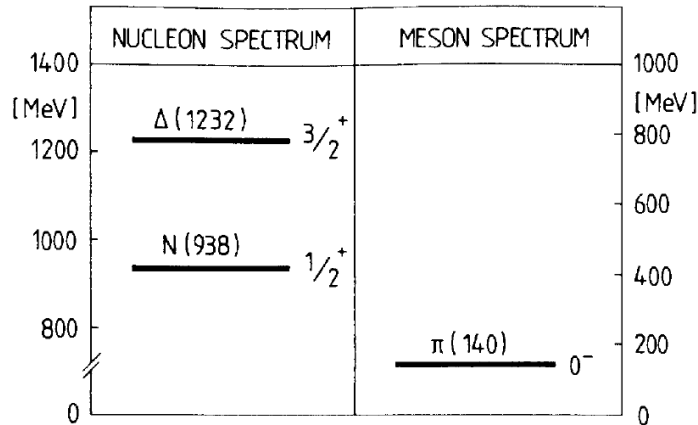


Мезонные токи в ядрах



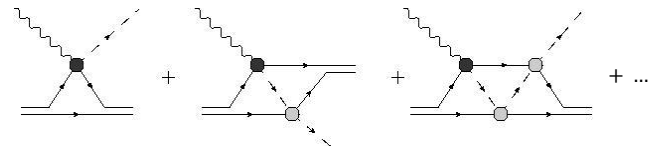
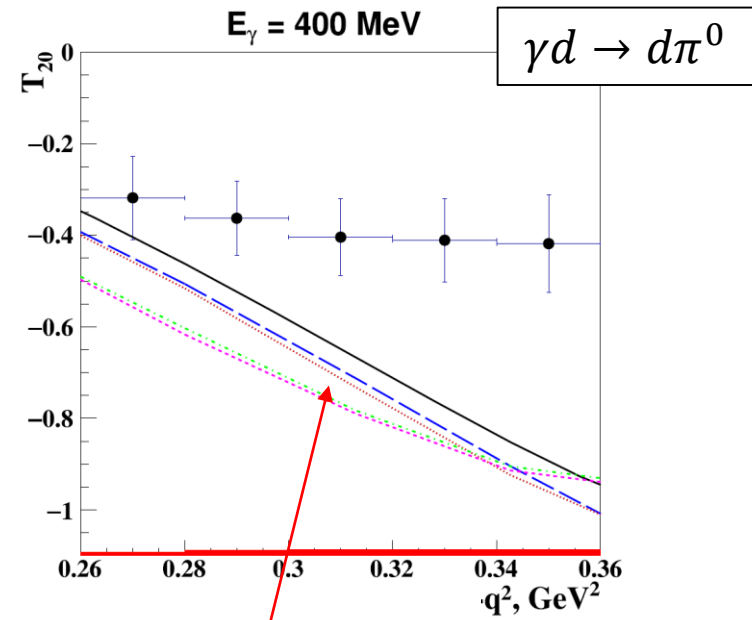
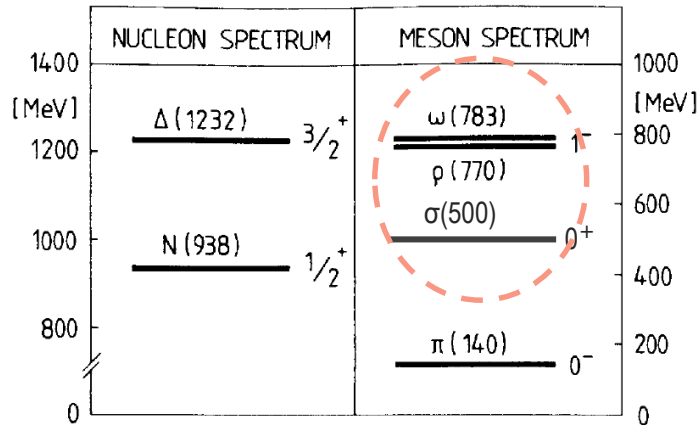
# Мотивация

- Какие степени свободы следует использовать при описании ядер?



# Мотивация

- Какие степени свободы следует использовать при описании ядер?



# Мотивация

**Преимущества** фотоядерных процессов на (тензорно-) поляризованном дейтроне:

- Фотон (хорошо изученное э.м. взаимодействие,  $\alpha = 1/137$ )
- + дейтрон (простейшее ядро)  
**⇒ «чистота» и хорошая контролируемость результатов**
- Тензорно-поляризованный дейтрон  
**⇒ возможность выделения вклада «малых» компонент в амплитуду**
- $P_{zz} > 98\%$ ,  $P_z \approx 0$   
**⇒ прецизионные измерения компонент  $T_{20}, T_{21}, T_{22}$**

# Предварительная программа исследований

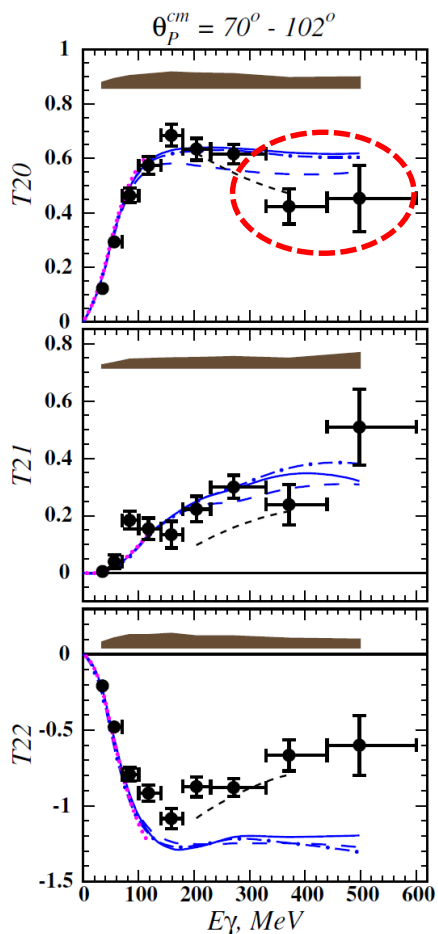
- Фоторасщепление дейтрона в области  $E_\gamma > 400$  МэВ
- $d(\gamma, \pi^0)d$  в области  $E_\gamma > 400$  МэВ,  $\theta_{\pi^0} > 90^\circ$
- Дибарион  $d^*(2380)$
- $d(\gamma, \pi^0\pi^0)d$  в области  $E_\gamma > 500$  МэВ,  $\theta_{\pi^0} > 90^\circ$
- $d(\gamma, \pi^-)pp$ . Отталкивающий  $NN$  кор
- Э.м. правила сумм на дейтроне

# Предварительная программа исследований

- Фоторасщепление дейтрона в области  $E_\gamma > 400$  МэВ
- $d(\gamma, \pi^0)d$  в области  $E_\gamma > 400$  МэВ,  $\theta_{\pi^0} > 90^\circ$
- Дибарион  $d^*(2380)$
- $d(\gamma, \pi^0\pi^0)d$  в области  $E_\gamma > 500$  МэВ,  $\theta_{\pi^0} > 90^\circ$
- $d(\gamma, \pi^-)pp$ . Отталкивающий  $NN$  кор
- Э.м. правила сумм на дейтроне

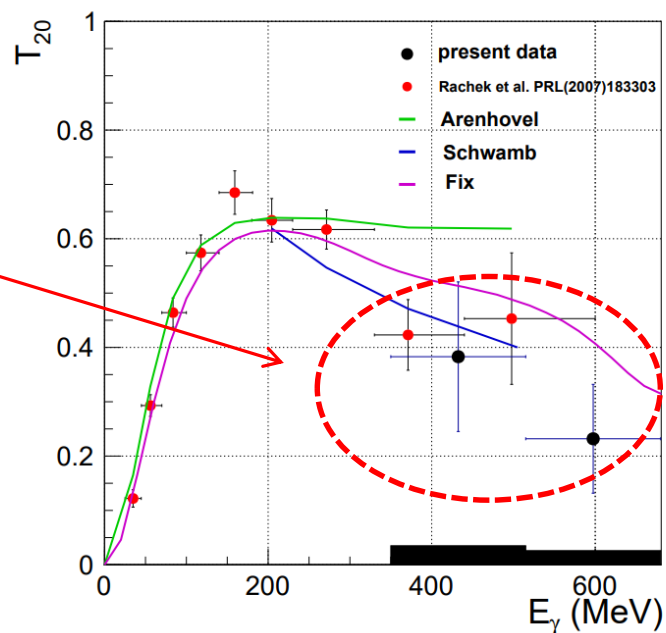
# $\gamma d \rightarrow np$

VEPP -3, 2006 г.



- Arenhövel H. Few-Body Syst., Suppl. 3, 1 (1991)
- ⋯ Levchuk M. Few-Body Syst. 19, 77 (1995)
- - - Schwamb M., Phys. Rept. 485, 109 (2010)

VEPP -3, 2026 г.



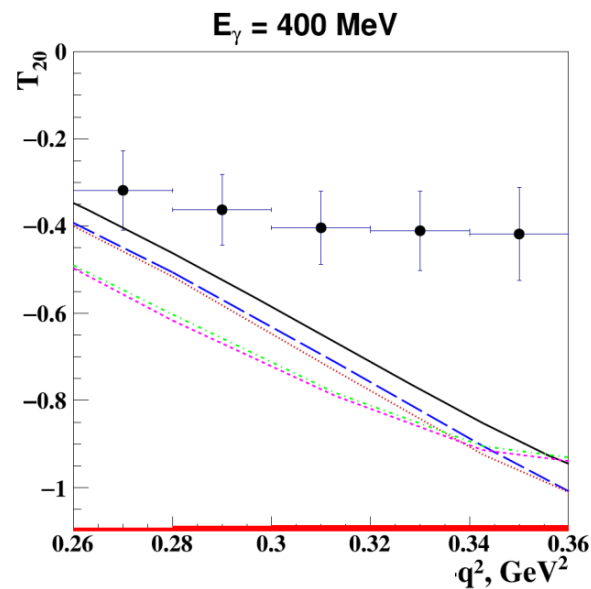
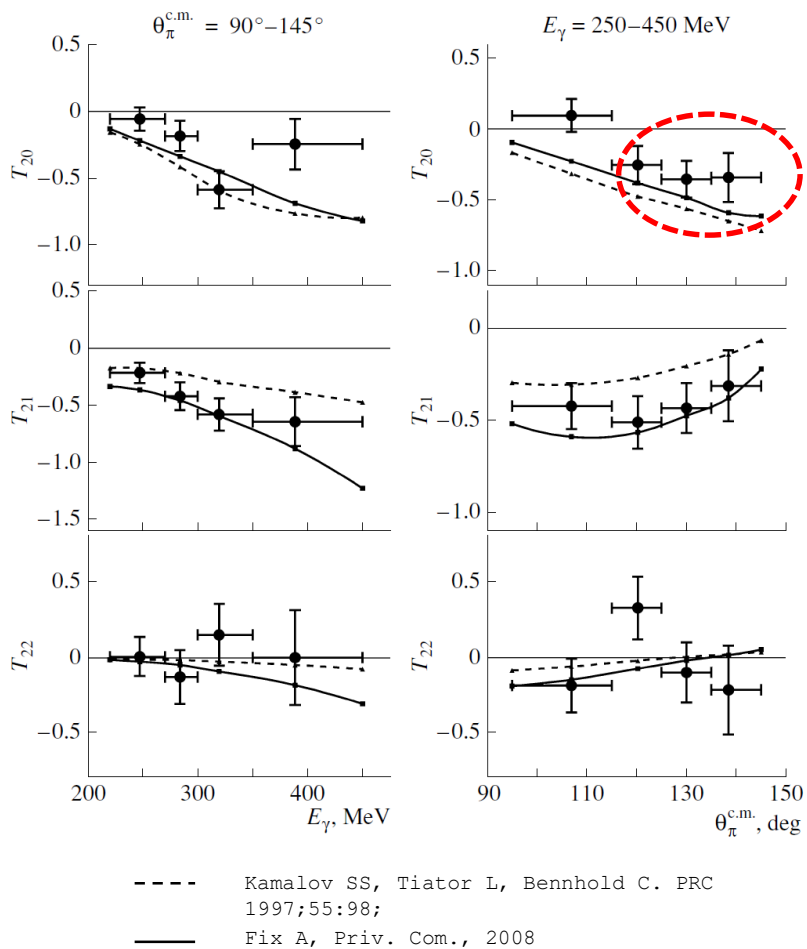
При  $E_\gamma > 150$  МэВ:

- 1) Состояния  $\pi NN$
- 2) Запаздывание в  $V_{NN}$
- 3) Рел. поправки к  $\vec{J}_{NN}$  и  $\psi_d(p)$

# $\gamma d \rightarrow \pi^0 d$ при $\theta_\pi \geq 90^\circ$

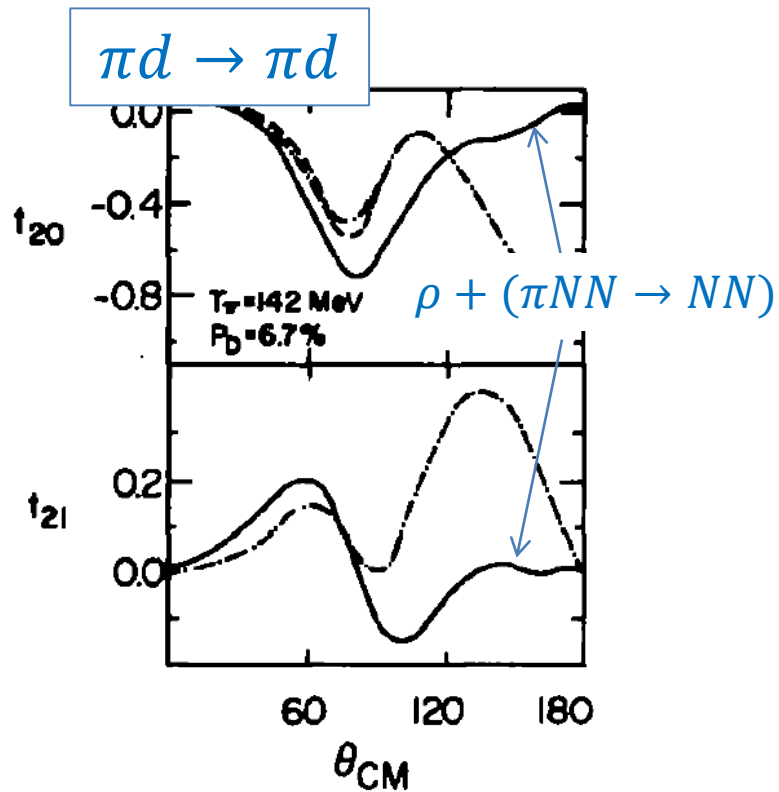
VEPP -3, 2009 г.

VEPP -3, 2019 г.

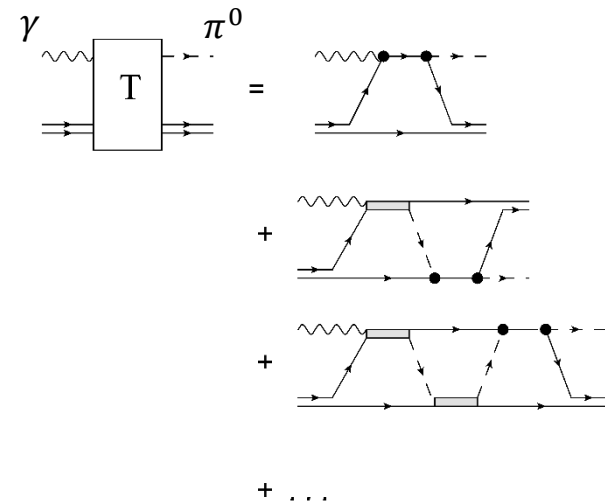
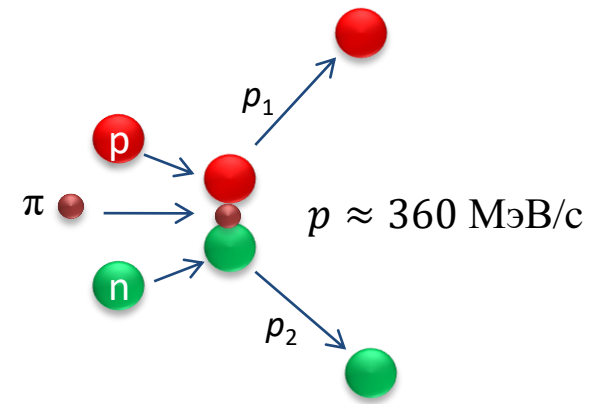


- ..... Wilhelm P, Arenhövel H. FBS Suppl. 1994;7:235;
- ..... Kamalov SS, Tiator L, Bennhold C. PRC 1997;55:98;
- ..... Darwish EM, Priv. Com., 2008
- Levchuk M, Priv. Com., 2008
- - - Fix A, Priv. Com., 2008

$\gamma d \rightarrow \pi^0 d$  при  $\theta_\pi \geq 90^\circ$



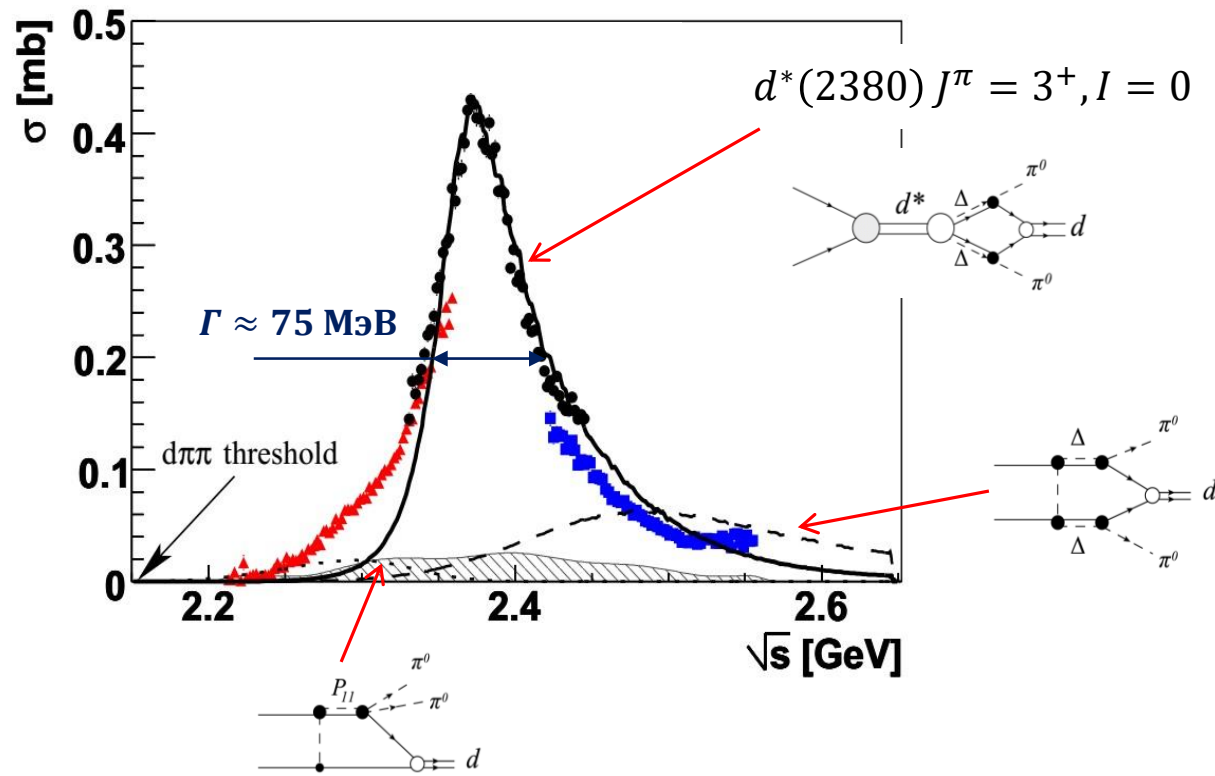
Rinat AS et al. PLA 329 (1979) 285



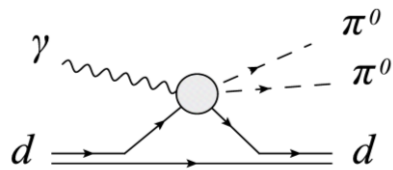
- Насколько важен механизм обмена  $\rho$  и поглощения  $\pi$ ?

# Дибарион $d^*(2380)$ в $pn \rightarrow \pi^0 \pi^0 d$

P. Adlarson *et al.* [Wasa-at-Cosy (Julich) 2011]

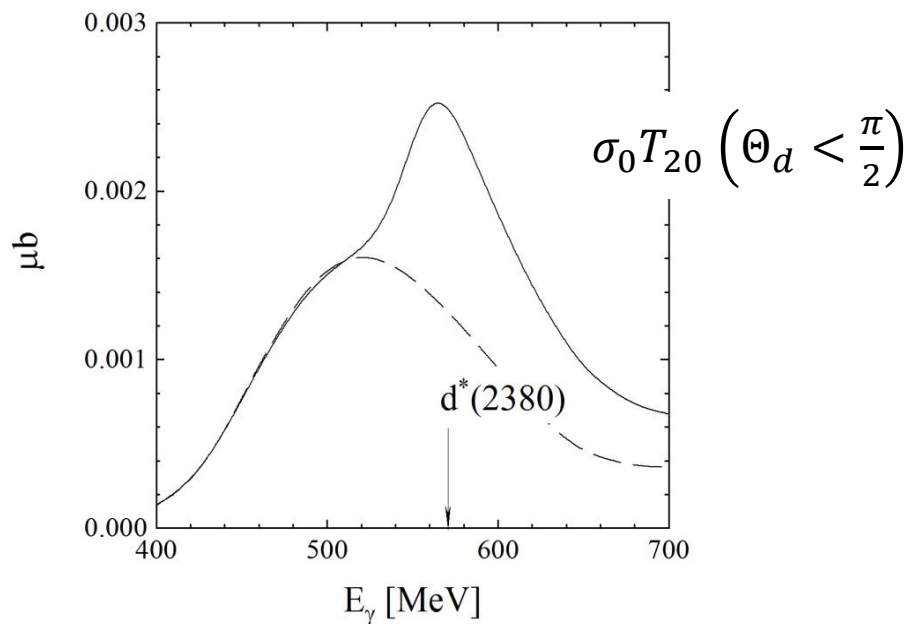


# Поиск $d^*(2380)$ в $\gamma d \rightarrow \pi^0 \pi^0 d$

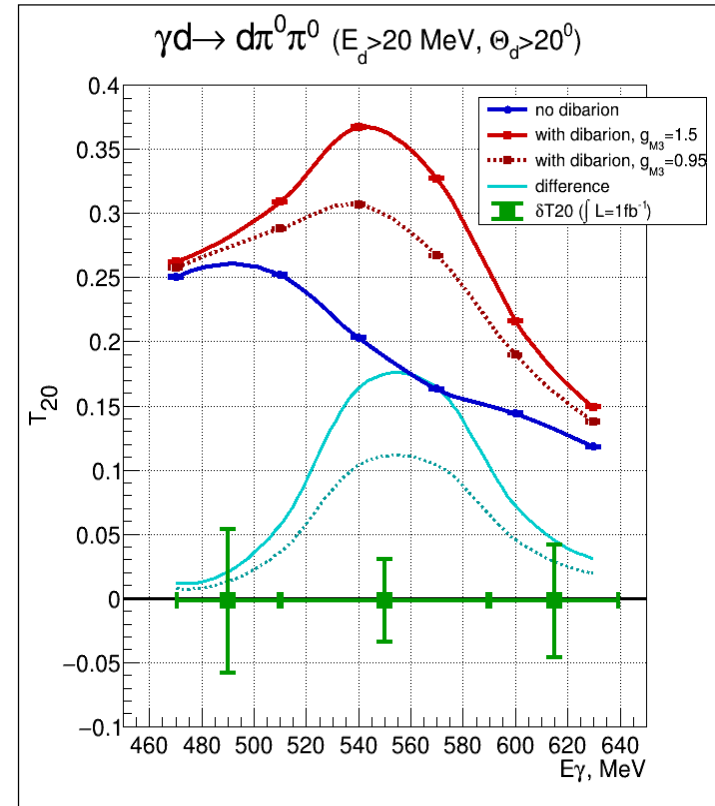
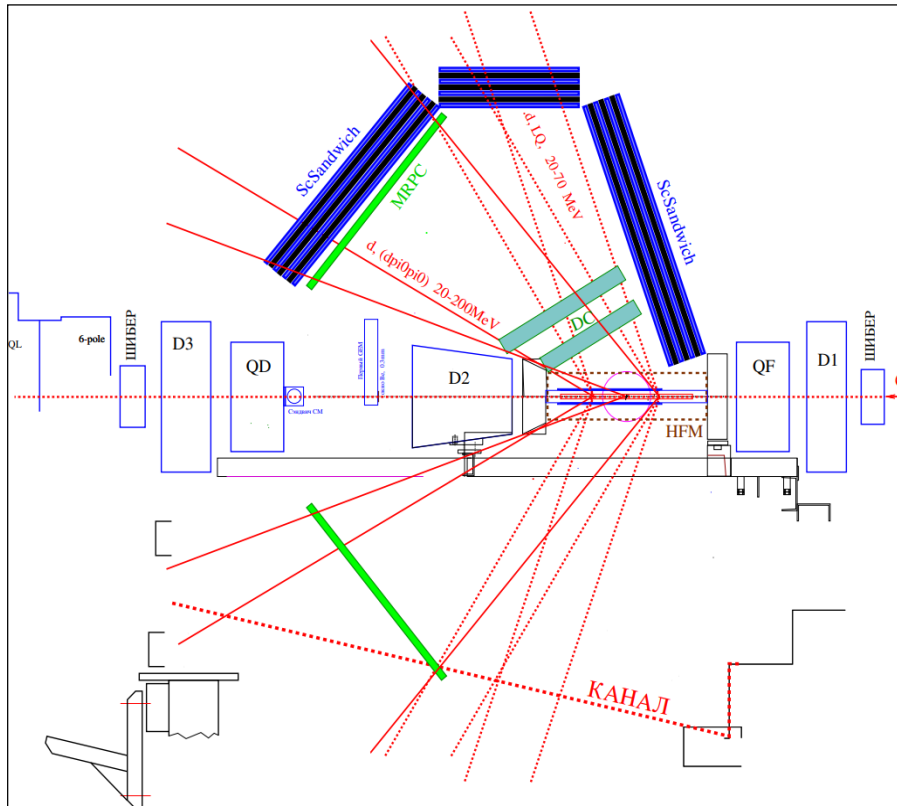


## Преимущества:

1. Отсутствие изовекторного фона
2. Слабость  $\gamma N \rightarrow N^*(T = 0) \Rightarrow$  малое сечение конкурирующего процесса



# Вариант схемы детектора и оценка стат. ошибки

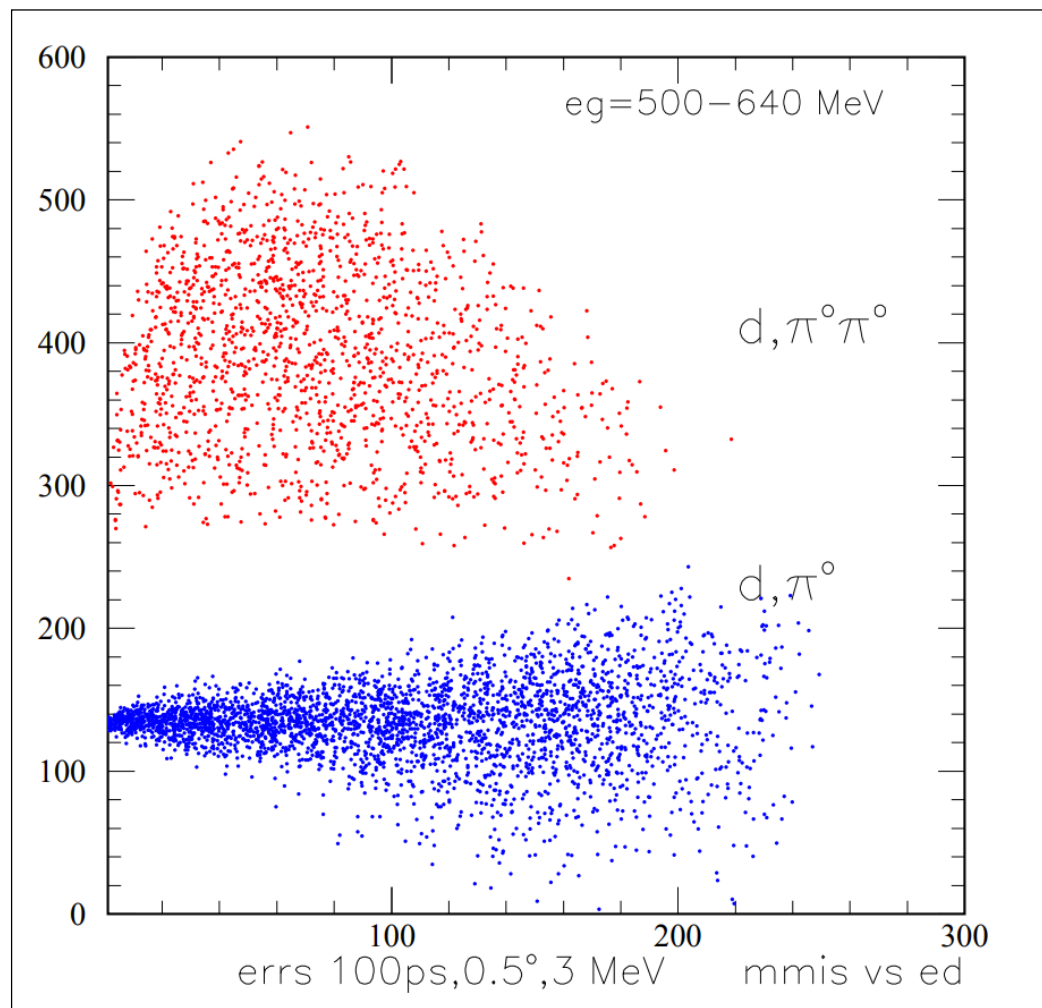


Основная проблема:  $\sigma_0 \left( \Theta_d < \frac{\pi}{2} \right) \sim 1$  nb.

# Заключение

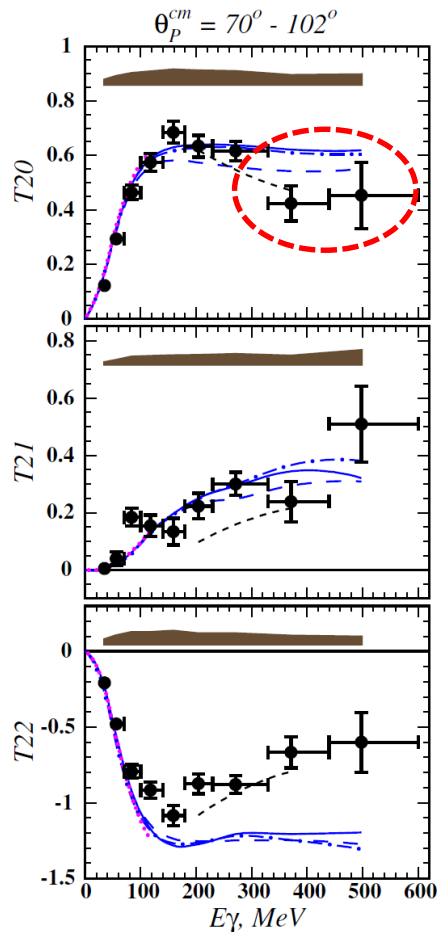
- $E_\gamma < 300$  МэВ: хорошее понимание роли субъядерных с.с. в терминах  $\pi$  и  $\Delta(1232)$
- Достаточно ли существующая картина для описания ядерных явлений в области  $300 < E_\gamma < 1000$  МэВ?
- Фотодейтронные процессы с тензорно-поляризованной мишенью: возможность детально рассмотреть субъядерную структуру и открыть новые явления ( $d^*(2380)$ )
- Теоретический анализ сложен, но наша задача – понять «повседневную жизнь» элементарных частиц внутри ядер

# Выделение событий $d\pi^0\pi^0$

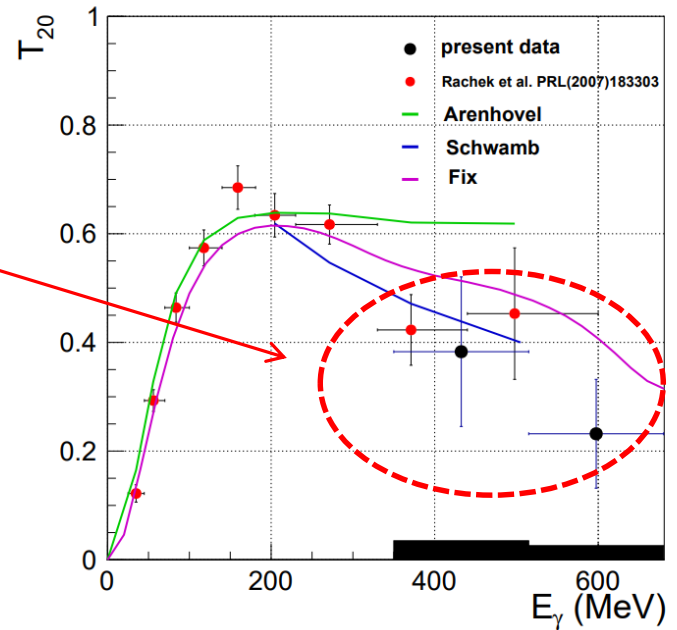


# $\gamma d \rightarrow np$

VEPP -3, 2006 г.



VEPP -3, 2026 г.



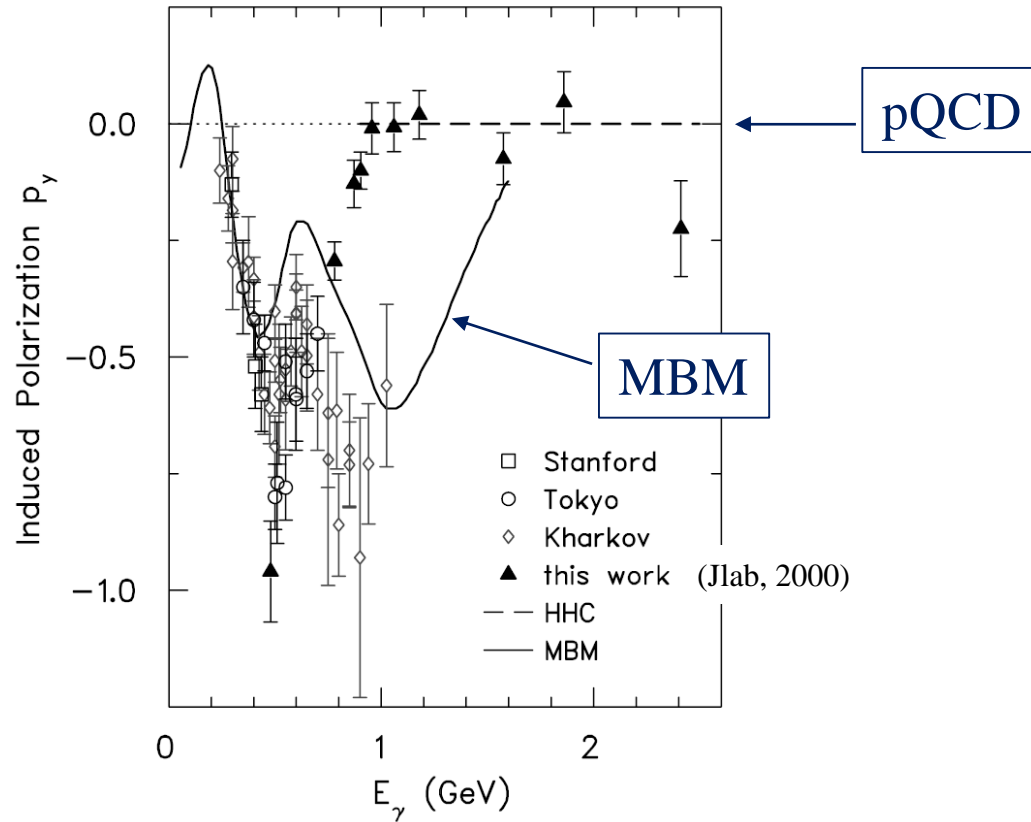
pQCD ( $\theta_p = 90^\circ$ ):

$$T_{21} = T_{22} = 0$$

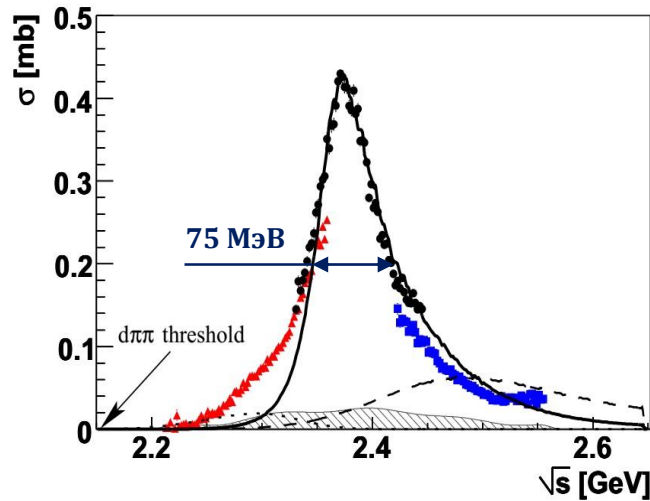
$$T_{20} = -\sqrt{2}$$

- · — · — · Arenhövel H. Few-Body Syst., Suppl. 3, 1 (1991)
- Levchuk M. Few-Body Syst. 19, 77 (1995)
- - - - - Schwamb M., Phys. Rept. 485, 109 (2010)

$$P_y(\gamma d \rightarrow np)$$



# Дибарион $d^*(2380)$ в $pn \rightarrow \pi^0 \pi^0 d$

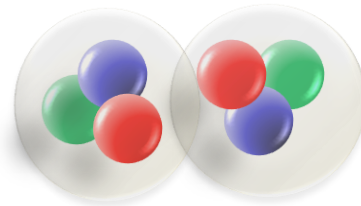


$$\Gamma_{\Delta}(W = M_{\Delta} - 50 \text{ МэВ}) \approx 80 \text{ МэВ}$$

$$\Rightarrow \Gamma_{\Delta\Delta} \approx 160 \text{ МэВ} \gg \Gamma_{d^*}$$

$$|\psi_{d^*}\rangle = b|\Delta\Delta\rangle + \underbrace{c|6_q\rangle}_{\approx 69\%}$$

Y. Dong *et al.*, [PRC 94 (2016) 014003]



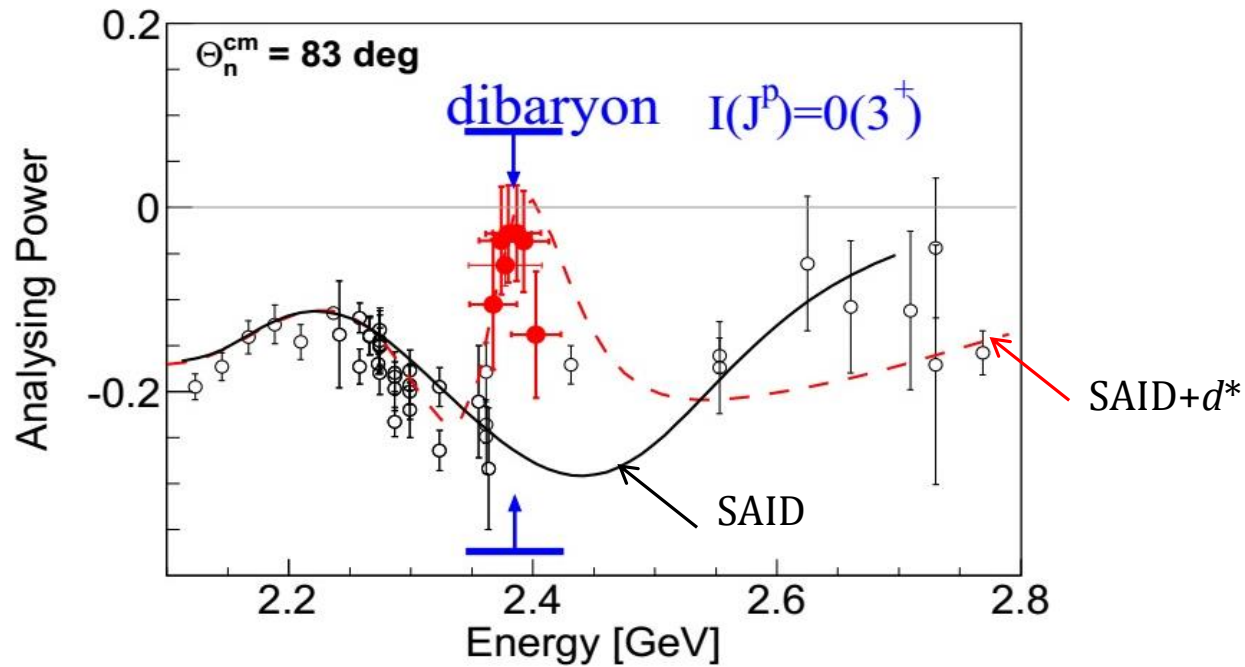
$|\Delta\Delta\rangle$



$|6_q\rangle$

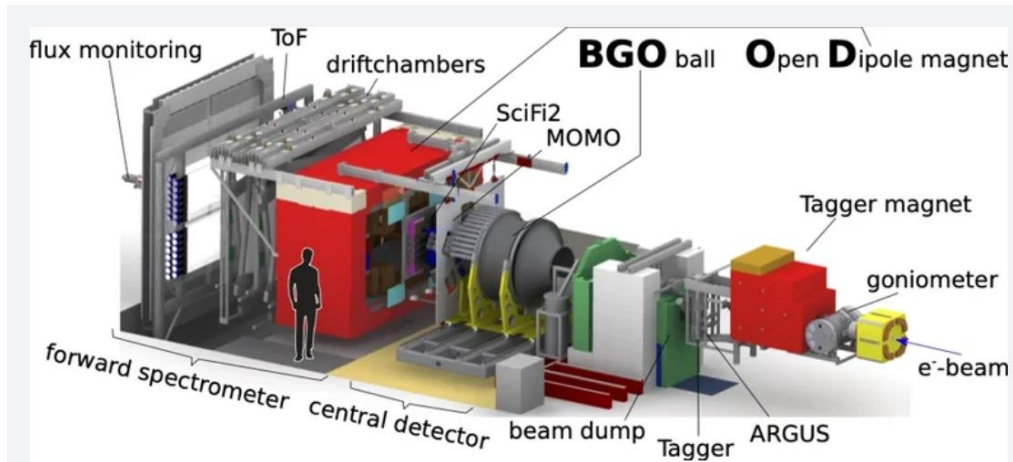
# $pn \rightarrow pn$ , Wasa-at-Cosy (Julich) 2014

P. Adlarson *et al.*, [PRL 112(2014) 202301]

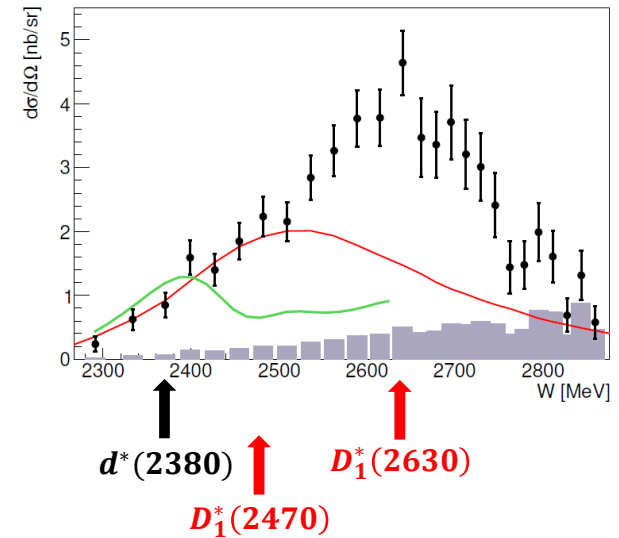


# Планируемые исследования в других центрах

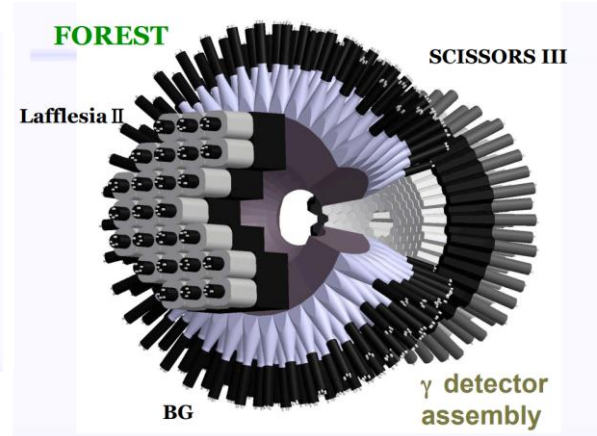
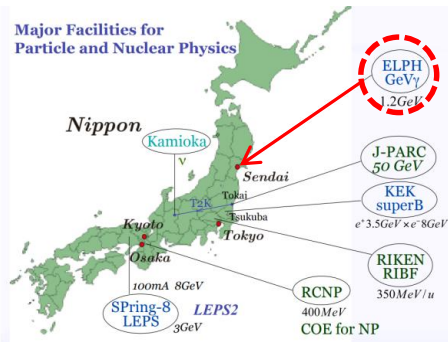
ELSA (Bonn) :  $\gamma d \rightarrow \pi^0 \pi^0 d$  при  $\cos \theta_d \geq 0.8$



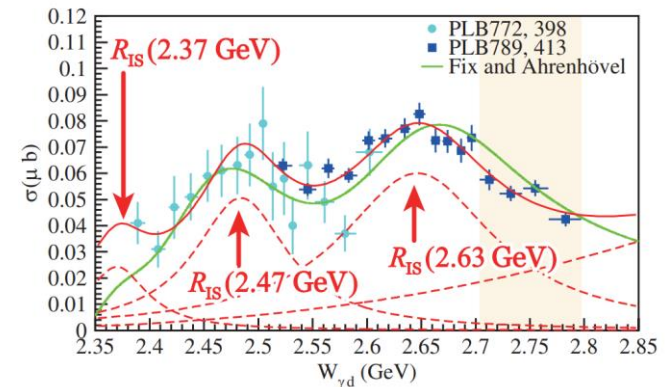
T. Jude *et al.* [PLB 832, 2022]



ELPH (Tohoku) :  $\gamma d \rightarrow \pi^0 \pi^0 d$

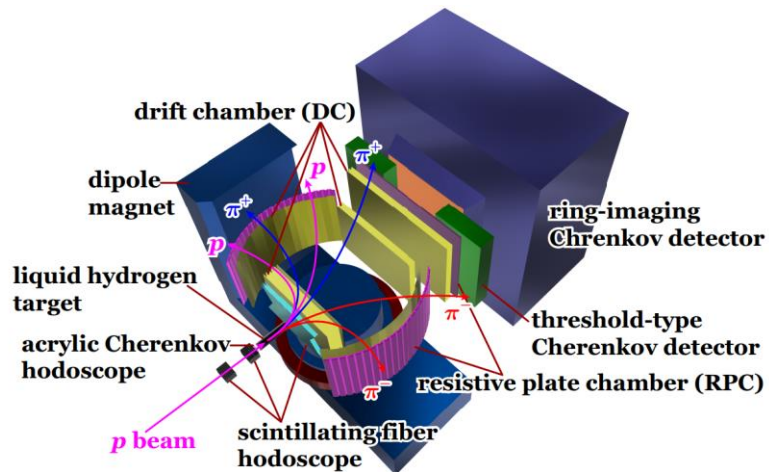
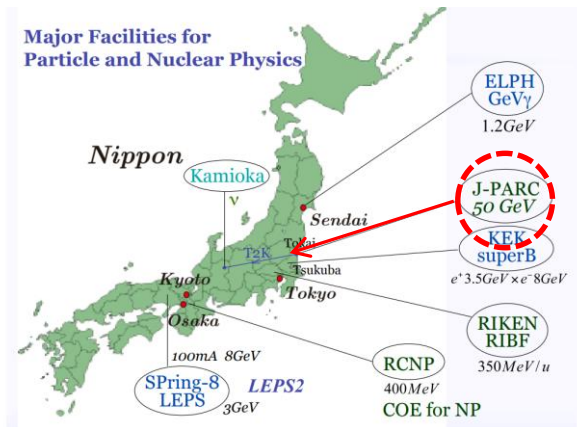


T. Ishikawa *et al.* [PLB 789, 2019]



# Планируемые исследования в других центрах

**J-Parc (Tokai) :  $pp \rightarrow \pi^- \pi^- D_{30}^{++++} \rightarrow \pi^- \pi^- \pi^+ \pi^+ pp$  (Project E79, Stage 1)**



Notation	$I$	$J$	Asymptotic baryon-baryon configuration	Mass (formula)	Mass (value) (MeV)
$D_{01}$	0	1	Deuteron	$A$	1876
$D_{10}$	1	0	$^1S_0$ NN virtual state	$A$	1876
$D_{12}$	1	2	$\Delta N$	$A + 6B$	2160
$D_{21}$	2	1	$\Delta N$	$A + 6B$	2160
$D_{03}$	0	3	$\Delta \Delta$	$A + 10B$	2350
$D_{30}$	3	0	$\Delta \Delta$	$A + 10B$	2350

$D_{30}^{++++}$

# Секстет нестранных дибарионов $D_{IJ}$

F. J. Dyson and N.-H. Xuong [Phys. Rev. Lett. 13, 815 (1964)]

$56 \otimes 56 \quad L = 0 \Rightarrow 6$  дибарионов

Массовая формула:  $M = A + B[I(I + 1) + J(J + 1) - 2]$

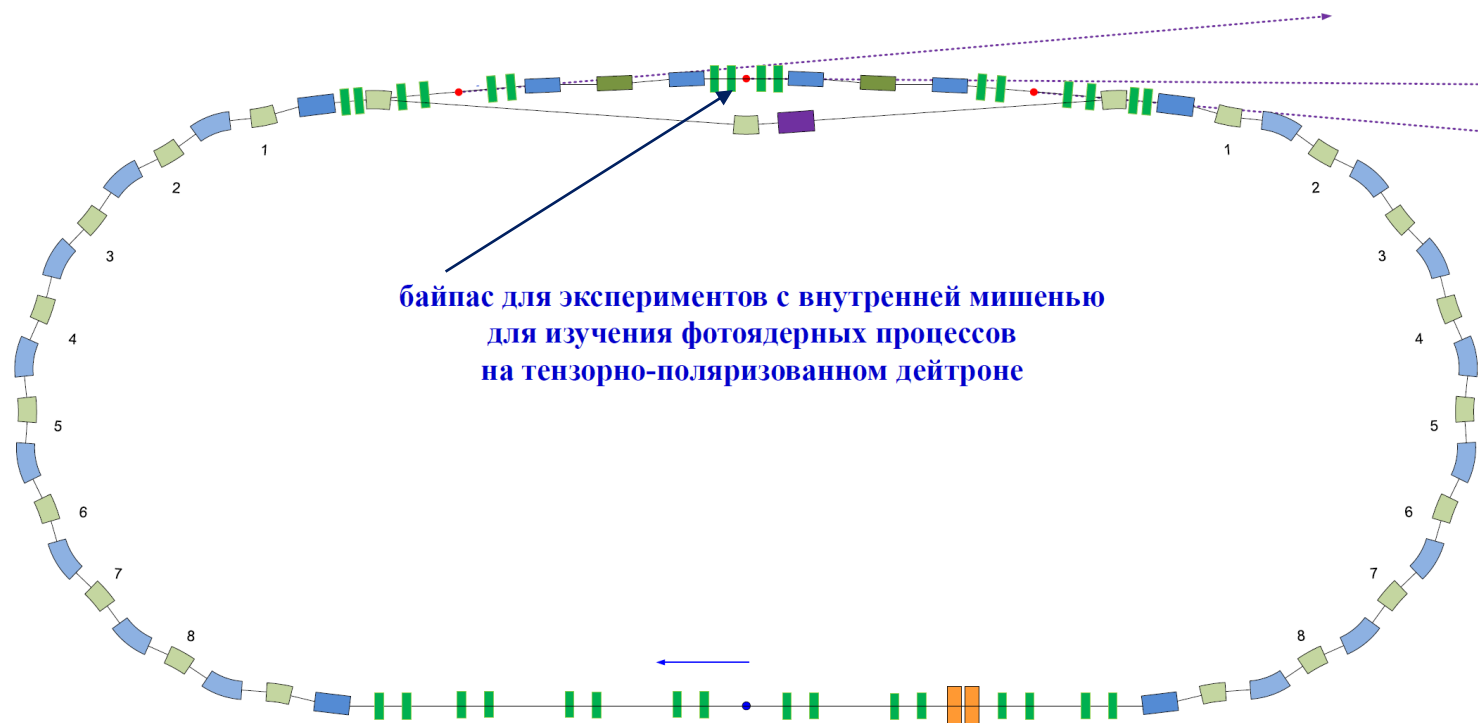
$A = 1876$  МэВ,  $B \approx 50$  МэВ

Notation	$I$	$J$	Asymptotic baryon-baryon configuration	Mass (formula)	Mass (value) (MeV)
$D_{01}$	0	1	Deuteron	$A$	1876
$D_{10}$	1	0	$^1S_0$ NN virtual state	$A$	1876
$D_{12}$	1	2	$\Delta N$	$A + 6B$	2160
$D_{21}$	2	1	$\Delta N$	$A + 6B$	2160
$D_{03}$	0	3	$\Delta\Delta$	$A + 10B$	2350
$D_{30}$	3	0	$\Delta\Delta$	$A + 10B$	2350

$d^*(2380)$

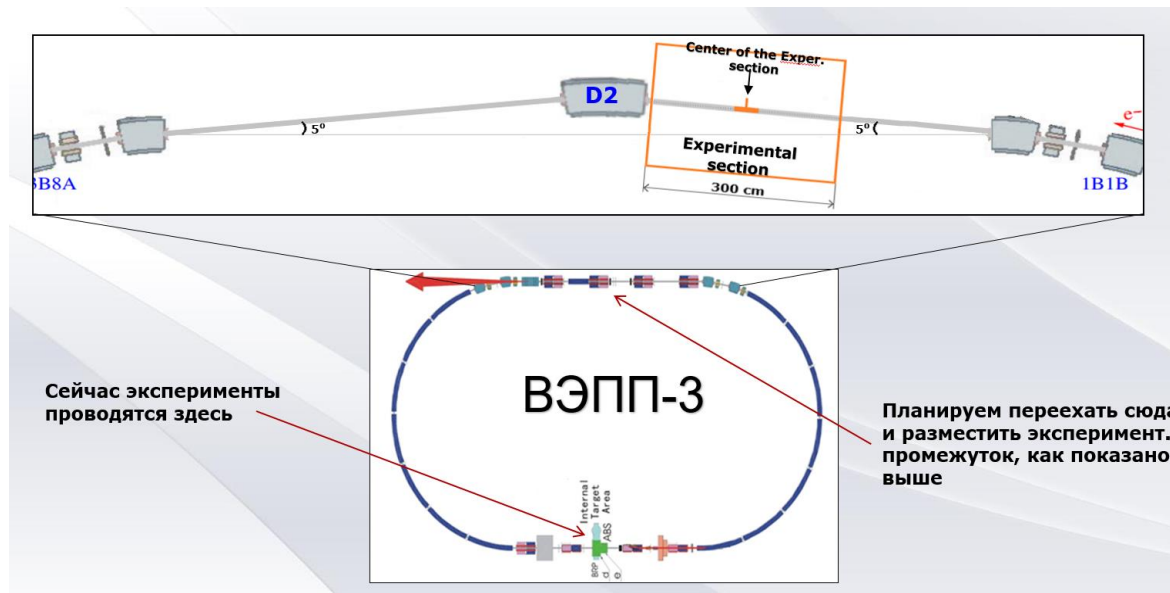


# Расположение экспериментального промежутка для фотоядерных экспериментов с внутренней мишенью



- Требуется подвод охлаждающей дистиллированной воды (расход  $\sim 50$  л/мин) и технического воздуха
- Электропитание  $\sim 30$  кВт

# Планируемое расположение нового экспериментального промежутка для фотоядерных экспериментов на ВЭПП-3



- Расположение на ИКИ может быть аналогичным
- Требуется подвод охлаждающей дистиллированной воды (расход ~ 50 л/мин) и технического воздуха
- Электропитание ~ 30 кВт