

# **НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ЙОДНОГО ДЕТЕКТОРА ПРИ РЕГИСТРАЦИИ УСКОРИТЕЛЬНЫХ И СОЛНЕЧНЫХ НЕЙТРИНО**

**NEW CAPABILITIES OF IODINE DETECTOR IN REGISTRATION OF ACCELERATOR AND SOLAR NEUTRINOS**

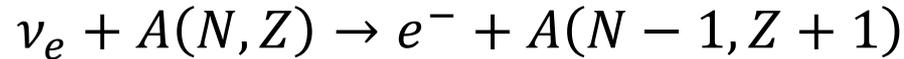
**Ю.С. Лютостанский, А.Н. Фазлиахметов, Г.А. Коротеев, А.П. Осипенко,  
В.Н. Тихонов**

***Национальный Исследовательский Центр "Курчатовский институт"***

**75-я Международная конференция "ЯДРО-2025"  
Физика атомного ядра и элементарных частиц. Ядерно-физические  
технологии.**

**Санкт-Петербург, Россия. 1-6 июля 2025 года**

# Взаимодействие нейтрино с ядрами



$$\sigma_{discr}(E_\nu) = \frac{1}{\pi} \sum_k G^2 p_e E_e F(Z, E_e) [B(F)_k + \frac{g_A}{g_V} B(GT)_k]$$

кинематический член

Ферми-функция: кулоновское взаимодействие  $e^-$  с полем ядра

Комбинация ядерных матричных элементов, характеризующих интенсивность перехода

Переходы Ферми:  $\Delta I = 0$

$$\sum B(F) = N - Z$$

Переходы Гамова-Теллера:

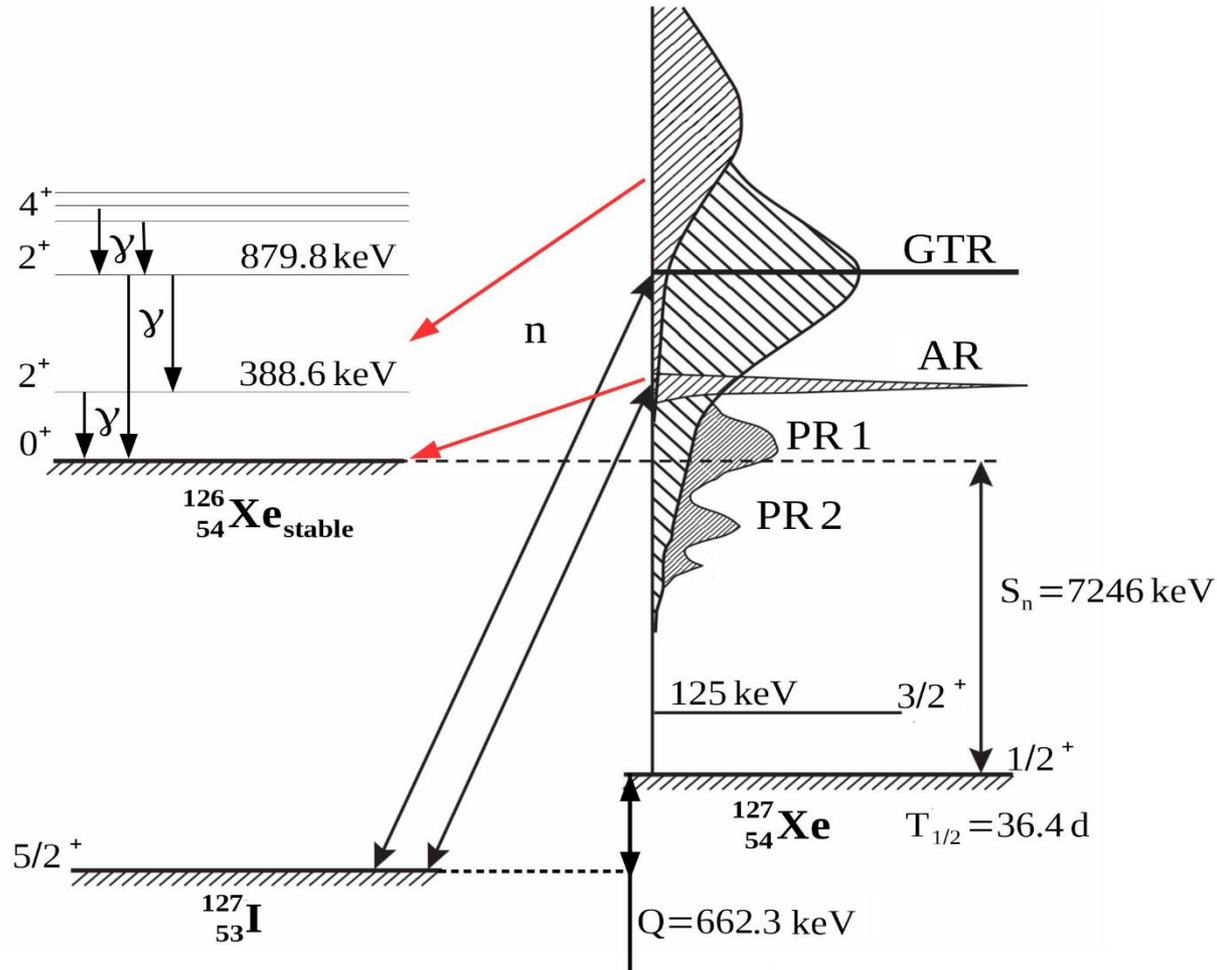
$$\Delta I = 0, \pm 1$$

$$\sum B(GT) = 3(N - Z)$$

$$\sigma_{total}(E_\nu) = \sigma_{discr}(E_\nu) + \sigma_{res}(E_\nu)$$

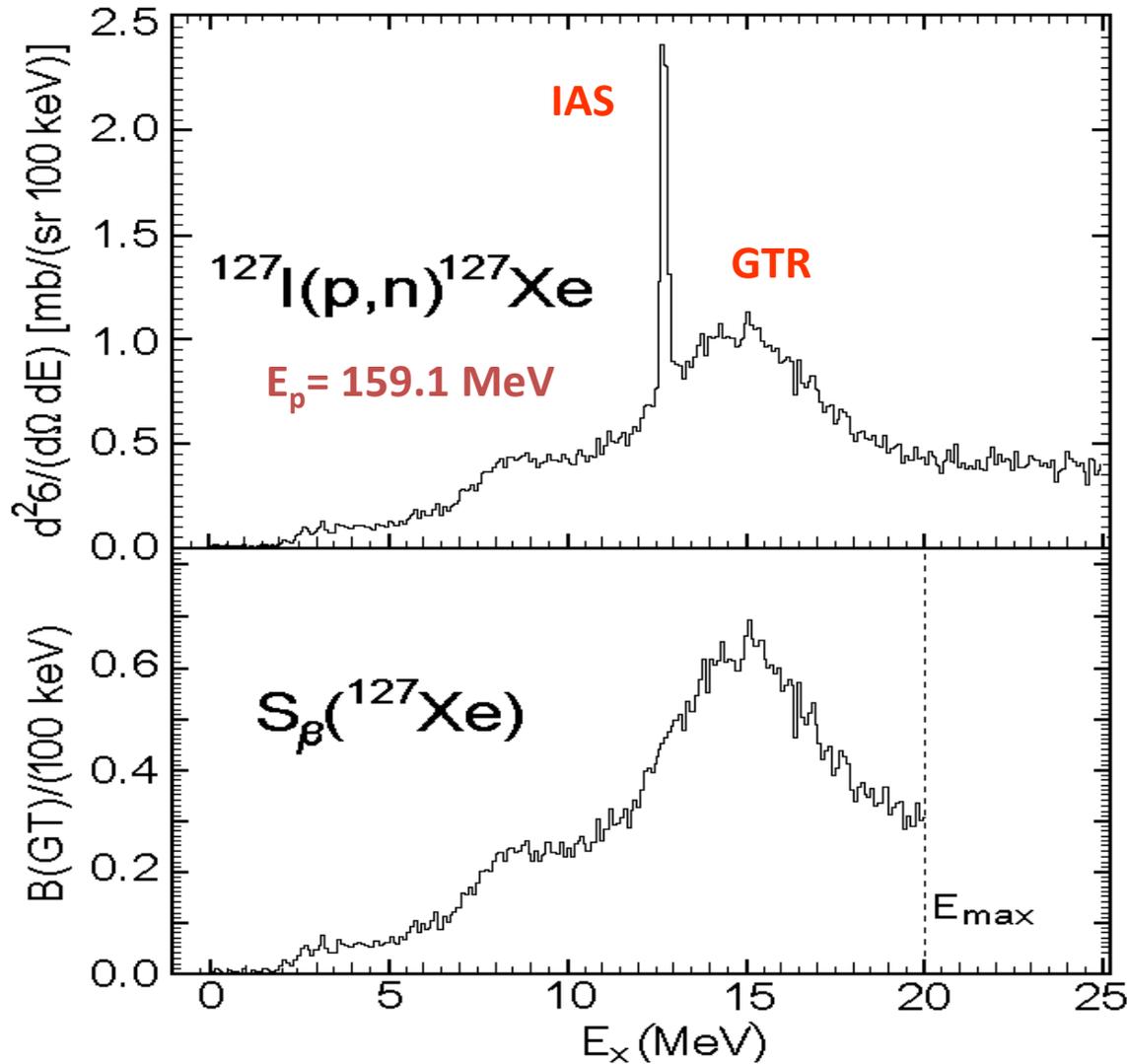
$$\sigma_{res}(E_\nu) = \frac{g_A^2}{\pi} \int_{\epsilon_{min}}^{\epsilon_{max}} G^2 p_e E_e F(Z, E_e) S(E) dE$$

# ЗАРЯДОВО-ОБМЕННЫЕ РЕЗОНАНСЫ В РЕАКЦИИ $^{127}\text{I}(\nu, e)^{127}\text{Xe}$



Заряженная ( $\Delta Q = +1$ ) ветвь возбуждения в реакции  $^{127}\text{I}(\nu, e)^{127}\text{Xe}$ . В ядре  $^{127}\text{Xe}$  обозначены Гамов-Теллеровский (GTR), аналоговый (AR) и три пигми резонанса (PR1, PR2, PR3).

# Зарядово-Обменная Силовая Функция Реакции $^{127}\text{I}(p,n)^{127}\text{Xe}$

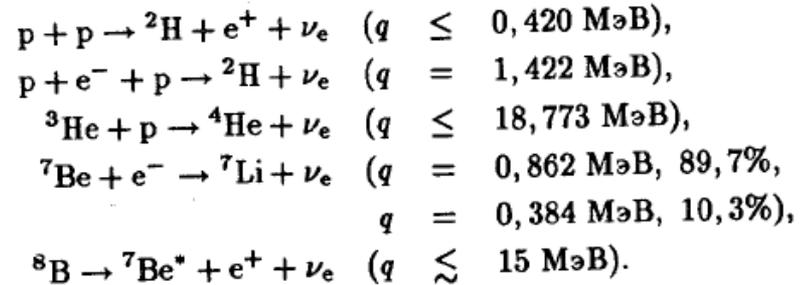


Первые расчеты:  
Yu. S. Lutostansky, N. B. Shulgina. Phys. Rev. Lett. 67, 430 (1991)  
были сделаны задолго до эксперимента и продемонстрировали хорошую точность предсказаний.

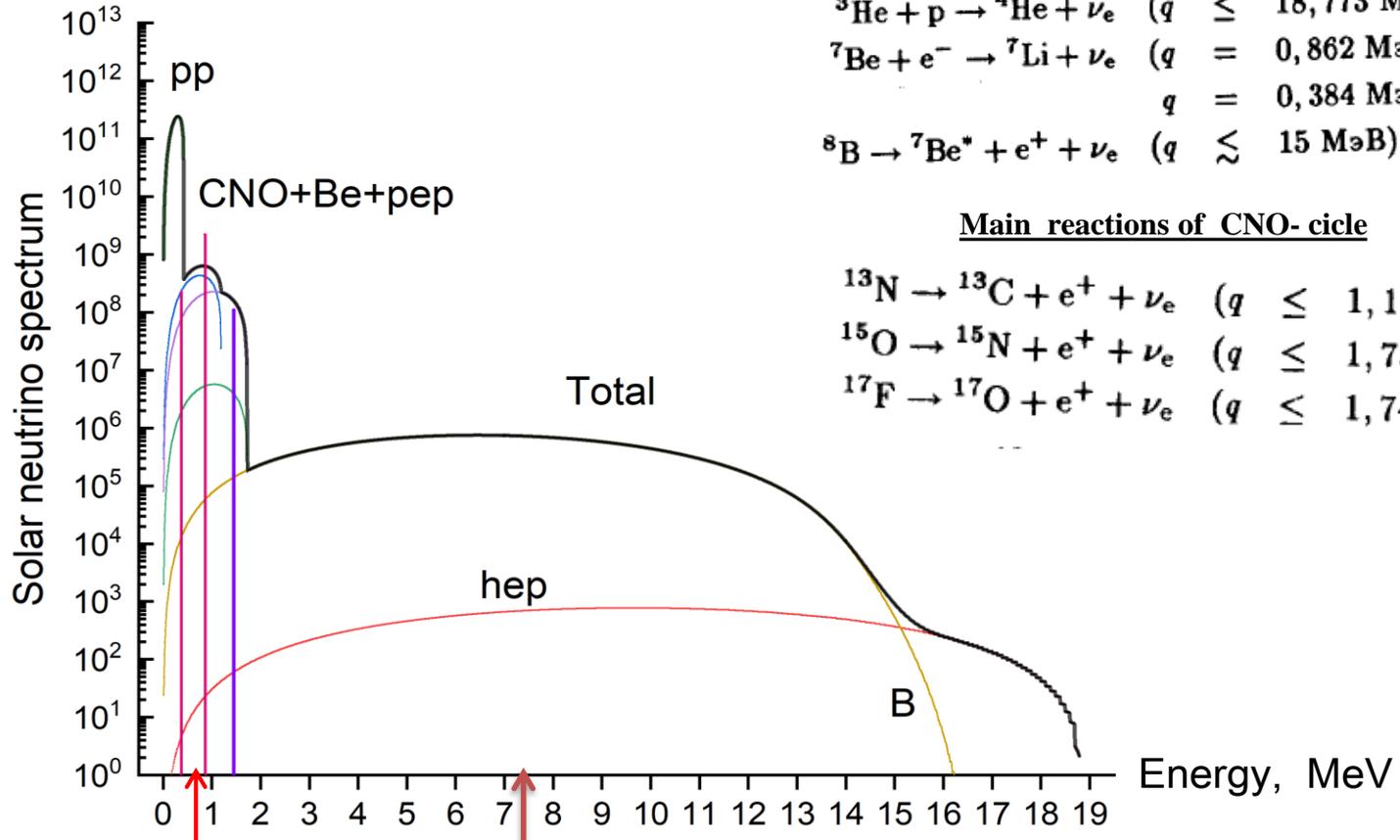
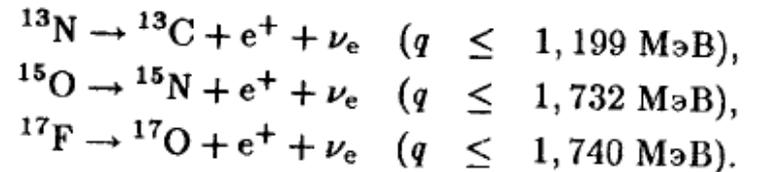
Гистограмма – эксперимент: M. Palarczyk, *et. al.* Phys. Rev. 1999. V. 59. P. 500;

# Solar Neutrino Spectrum (Bahcall J. N.)

## Main reactions of p-p cycle

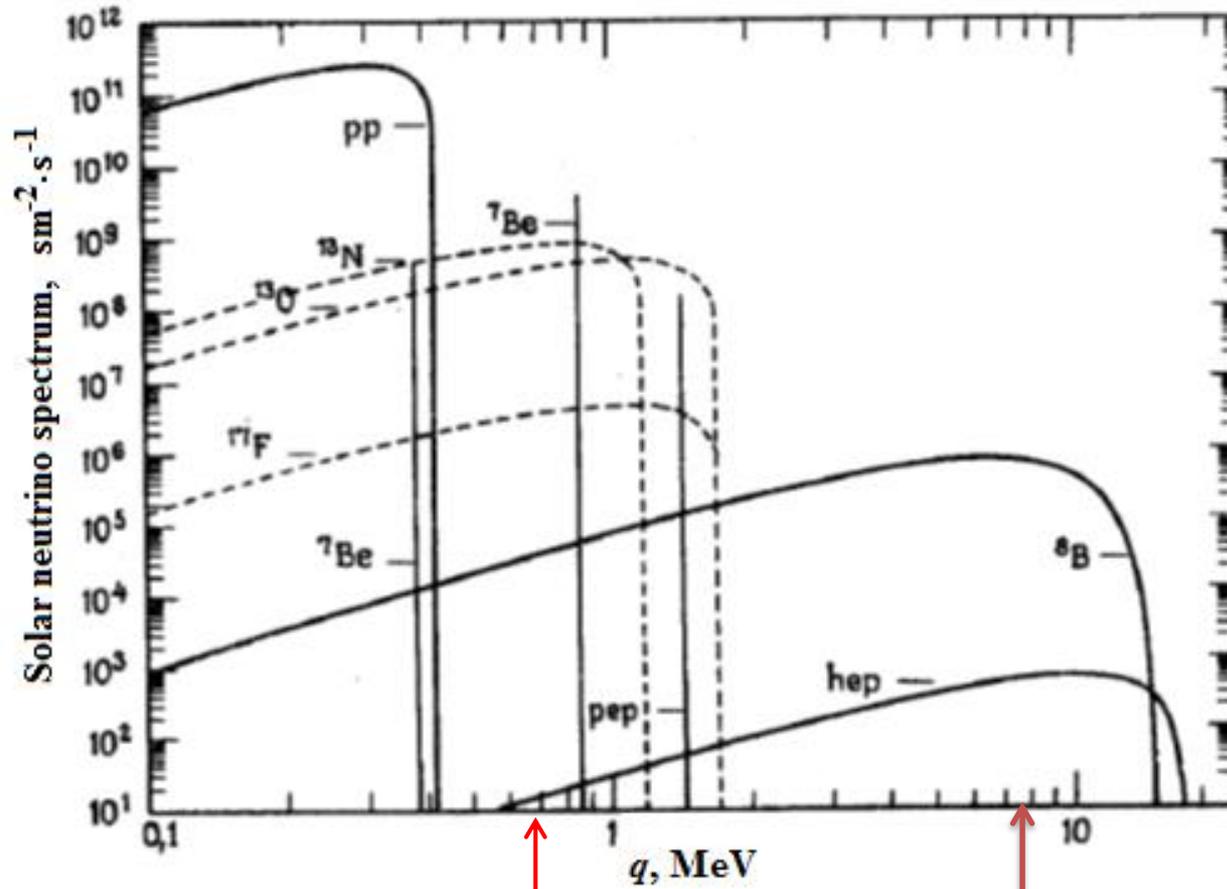


## Main reactions of CNO-cycle



$Q = 662.3 \text{ keV}$  1271  $S_n = 7247 \text{ keV}$

# Solar Neutrino Spectrum (Bahcall J. N.)



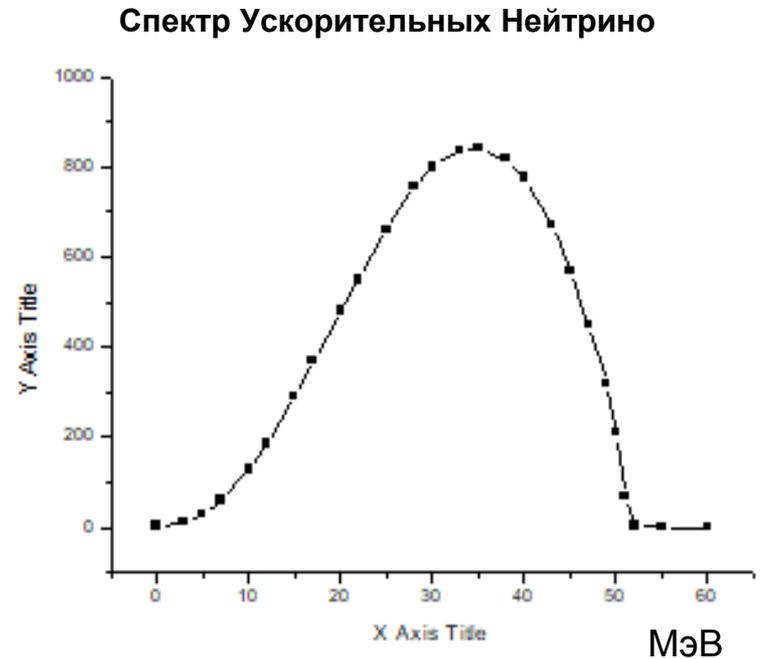
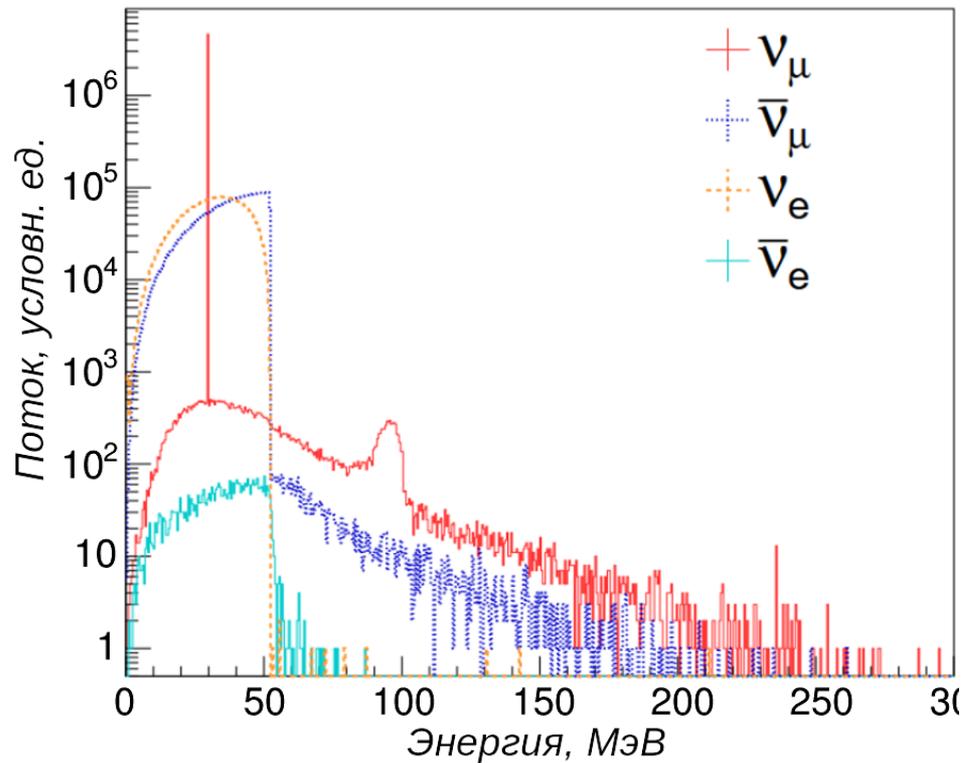
$Q = 662.3 \text{ keV}$

1271

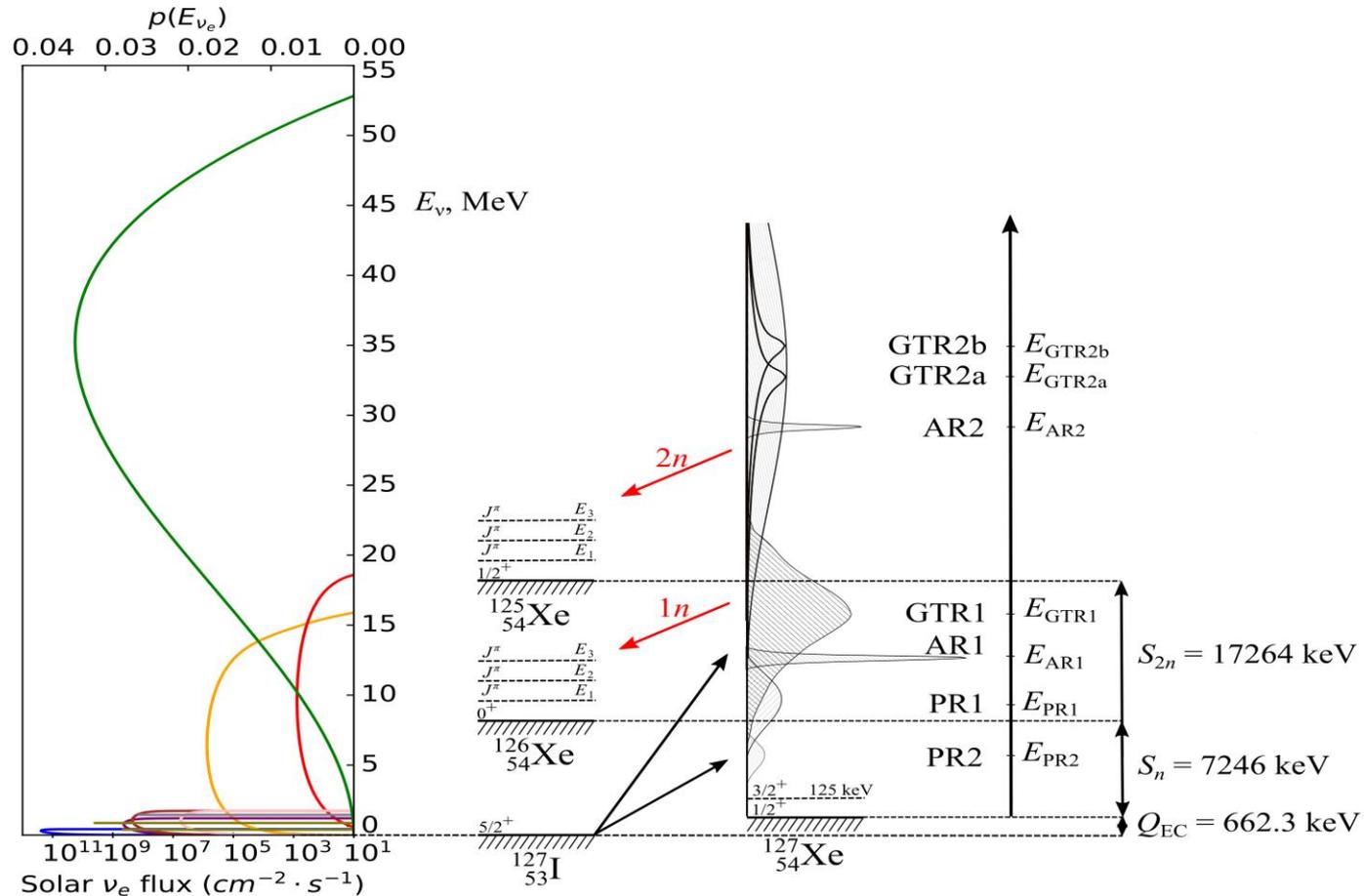
$S_n = 7247 \text{ keV}$

## Спектр Ускорительных Нейтрино

PHYSICAL REVIEW D 106, 032003 (2022) D. Akimov, P. An, C. Awe, P. S. Barbeau, et al. "Simulating the neutrino flux from the Spallation Neutron Source for the COHERENT experiment."



# ЗАРЯДОВО-ОБМЕННЫЕ РЕЗОНАНСЫ В РЕАКЦИИ $^{127}\text{I}(\nu, e)^{127}\text{Xe}$



Заряженная ( $\Delta Q = +1$ ) ветвь возбуждения в реакции  $^{127}\text{I}(\nu, e)^{127}\text{Xe}$ . В ядре  $^{127}\text{Xe}$  обозначены Гамов-Теллеровские (GTR1 и GTR2), аналоговые (AR) и три пигми резонанса (PR1, PR2, PR3).

# TFFS METHOD of CALCULATIONS

$$V_{pn} = e_q V_{pn}^\omega + \sum_{p'n'} F_{np,n'p'}^\omega \rho_{p'n'} \quad V_{pn}^h = \sum_{p'n'} F_{np,n'p'}^\omega \rho_{p'n'}^h$$

$$d_{pn}^1 = \sum_{p'n'} F_{np,n'p'}^\xi \phi_{p'n'}^1 \quad d_{pn}^2 = \sum_{p'n'} F_{np,n'p'}^\xi \phi_{p'n'}^2$$

Здесь  $V_{pn}$ ,  $V_{pn}^h$  – эффективные поля квазичастиц и дырок в ядре;  $V_{pn}^\omega$  – внешнее зарядово-обменное поле;  $d_{pn}^1$ ,  $d_{pn}^2$  – эффективные вершины, описывающие изменение спаривательной щели  $\Delta$  во внешнем поле (они пренебрежимо малы),  $F^\omega$  и  $F^\xi$  – амплитуды эффективного нуклон-нуклонного взаимодействия;  $\rho$ ,  $\rho^h$ ,  $\phi^1$  и  $\phi^2$  – соответствующие переходные плотности (подробнее см. [1, 2]).

---

[1] I. N. Borzov, S. A. Fayans, E. L. Trykov. Nucl. Phys. A 584, p. 335 (1995).

[2] А. Б. Мигдал. *Теория конечных ферми-систем и свойства атомных ядер*. М.: Наука, 1983.

# Система уравнений для эффективного поля ( $\lambda$ – представление)

Для расчетов зарядово-обменных возбуждений ядер использовалась теория конечных ферми-систем А. Б. Мигдала, в которой параметры изобарических состояний находятся из решения системы уравнений для эффективного поля Гамов-Теллеровского типа:

**Г-Т ПРАВИЛА ОТБОРА:  $\Delta j = 0; \pm 1$**

$\Delta j = +1$ :  $j = l + 1/2 \rightarrow j = l - 1/2$      $\Delta j = 0$ :  $j = l \pm 1/2 \rightarrow j = l \pm 1/2$

$\Delta j = -1$ :  $j = l - 1/2 \rightarrow j = l + 1/2$      $j = l - 1/2 \rightarrow j = l - 1/2$

$$\left. \begin{aligned} V_{\lambda\lambda'} &= V_{\lambda\lambda'}^{\omega} + \sum_{\lambda_1\lambda_2} \Gamma_{\lambda\lambda'\lambda_1\lambda_2}^{\omega} A_{\lambda_1\lambda_2} V_{\lambda_2\lambda_1} + \sum_{\nu_1\nu_2} \Gamma_{\lambda\lambda'\nu_1\nu_2}^{\omega} A_{\nu_1\nu_2} V_{\nu_2\nu_1}; \\ V_{\nu\nu'} &= \sum_{\lambda_1\lambda_2} \Gamma_{\nu\nu'\lambda_1\lambda_2}^{\omega} A_{\lambda_1\lambda_2} V_{\lambda_2\lambda_1} + \sum_{\nu_1\nu_2} \Gamma_{\nu\nu'\nu_1\nu_2}^{\omega} A_{\nu_1\nu_2} V_{\nu_2\nu_1}; \\ V^{\omega} &= e_Q \sigma \tau^+; \quad A_{\lambda\lambda'}^{(p\bar{n})} = \frac{n_{\lambda}^n (1 - n_{\lambda'}^p)}{\varepsilon_{\lambda}^n - \varepsilon_{\lambda'}^p + \omega}; \quad A_{\lambda\lambda'}^{(n\bar{p})} = \frac{n_{\lambda}^p (1 - n_{\lambda'}^n)}{\varepsilon_{\lambda}^p - \varepsilon_{\lambda'}^n - \omega}. \end{aligned} \right\}$$

Использовалось локальное взаимодействие  $F^{\omega}$  (Ландау-Мигдал):

$$F^{\omega} = C_0 (f_0' + g_0' \sigma_1 \sigma_2) \tau_1 \tau_2 \delta(r_1 - r_2)$$

где константы:  $f_0'$  спин-спинового и  $g_0'$  спин-изоспинового взаимодействия квазичастиц, являются феноменологическими параметрами.  $f_0' = 1.35, g_0' = 1.22$ .

Матричный элемент  $M_{GT}$ : 
$$M_{GT}^2 = \sum_{\lambda_1\lambda_2} \chi_{\lambda_1\lambda_2} A_{\lambda_1\lambda_2} V_{\lambda_1\lambda_2}^{\omega}$$

Для парциальных силовых функций получаем:

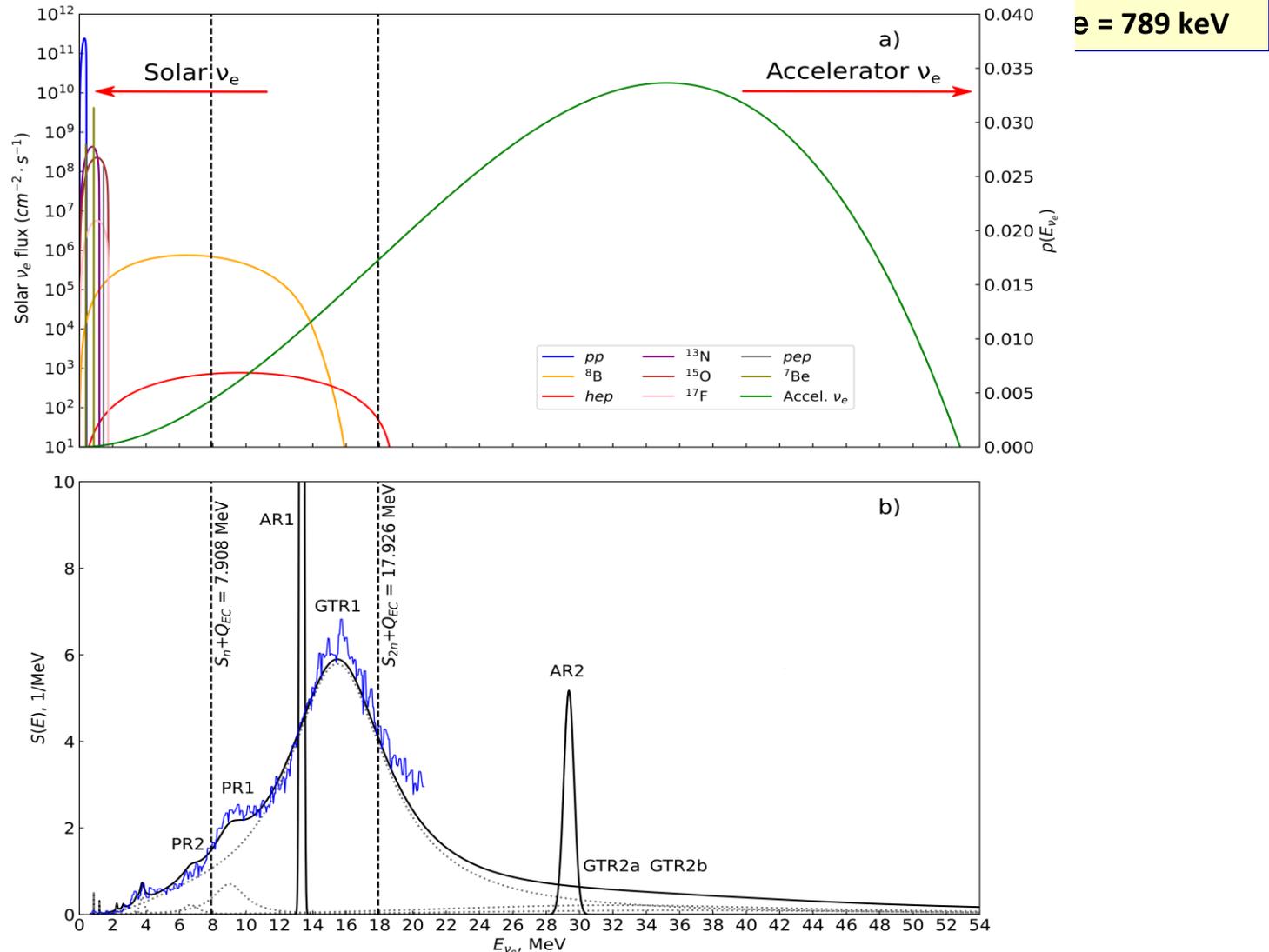
$$S_{\beta}^i(E) = M_i^2 \frac{\tilde{A}_i}{(E - \omega_i)^2 + \tilde{A}_i^2}$$

Ширина  $\Gamma_i$  согласно Мигдалу определяется соотношением:  $\Gamma = -2 \text{Im} [\sum (\varepsilon + iI)]$

или  $\Gamma = \alpha \times \varepsilon |\varepsilon| + \beta \varepsilon^3 + \gamma \varepsilon^2 |\varepsilon| + O(\varepsilon^4) \dots$ , где

$\Gamma_i(\omega_i) = 0,018 \omega_i^2 \text{ МэВ}$

# Charge-Exchange Strength Function of Reaction $^{127}\text{I}(p,n)^{127}\text{Xe}$

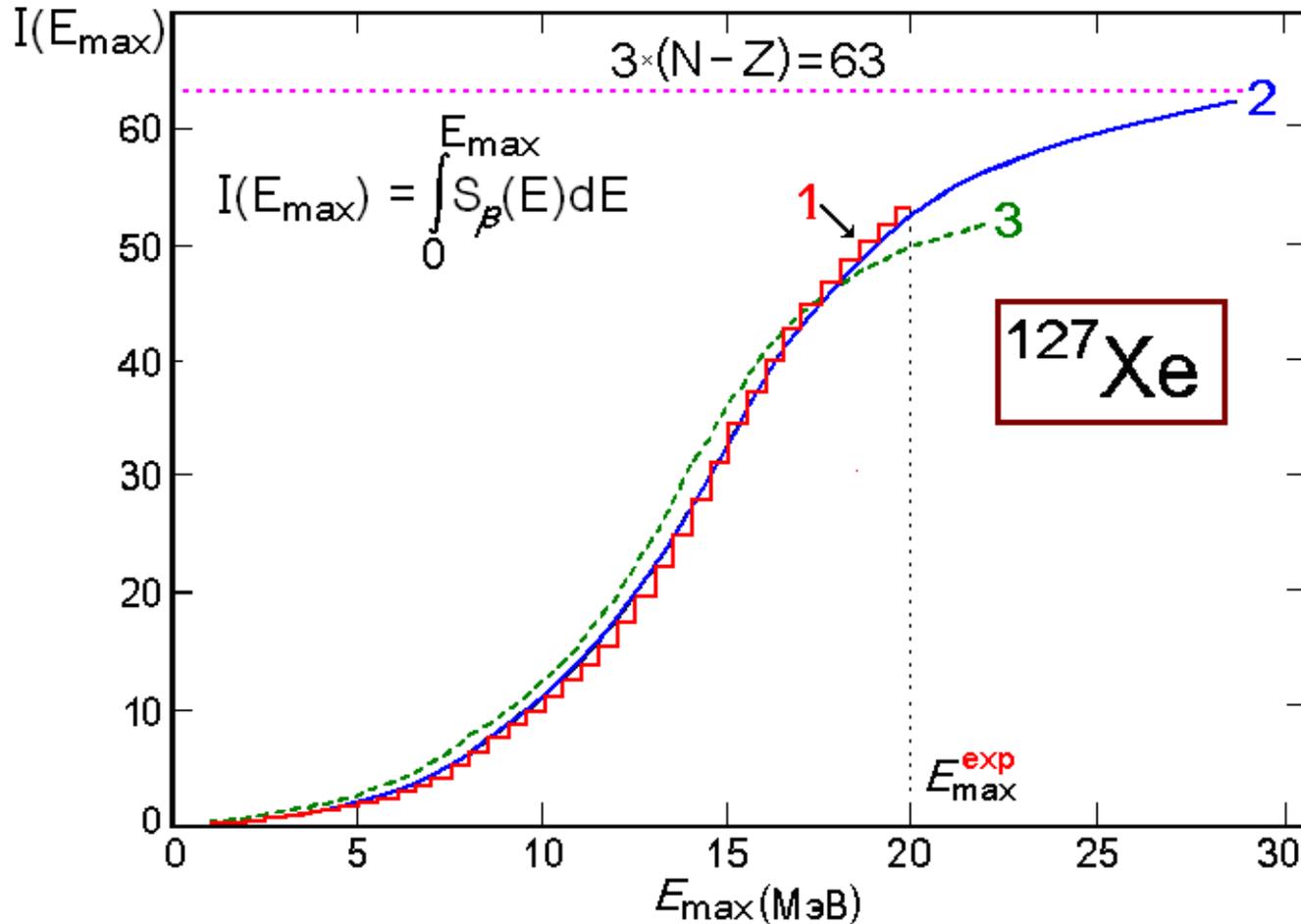


1 – Blue - experiment : M. Palarczyk, *et. al.* Phys. Rev. 1999, v. 59, p. 500

2 – Line – numerical calculation by TFFS with  $e_q = 0.9$ .

GTR1 and GTR2 – Gamow-Teller resonances; PR1, PR2, PR3 – pygmy resonances.

# QUENCHING EFFECT for $^{127}\text{Xe}$



- 1 - **Гистограмма** – эксперимент: M. Palarczyk, *et. al.* Phys. Rev. 1999. V. 59. P. 500;
- 2 - **линия** – ТКФС расчет с  $e_q = 0.9$  ;
- 3 - **пунктир** – численный расчет: Yu.S. Lutostansky, N.B. Shulgina. Phys. Rev. Lett. 1991. V. 67. P. 430;  $e_q = 0.8$

# QUENCHING EFFECT – THEORY

Правило сумм для Гамов-Теллеровских возбуждений:  $\sum (M_{GT})^2 = 3 \cdot (N - Z)$  (1)

В ТКФС правило сумм:  $I(E_{\max}) = \int_0^{E_{\max}} S_{\beta}(E) dE = e_q^2 \cdot 3(N - Z)$  при  $E_{\max} = \infty$  (2)

Т. е.  $e_q^2 = 1 - q$ , где  $q$  – недобор в правиле сумм, который в эксперименте зависит от  $E_{\max}$ .

Согласно А.Б. Мигдалу эффективный заряд для поля фермиевского типа  $e_q = e_q[\tau] = 1$ ; эффективный заряд для поля Гамов-Теллеровского типа равен:

$$e_q = e_q[\sigma\tau] = 1 - 2\zeta_s, (\zeta_s \leq 0.1) \quad (3)$$

Константа  $\zeta_s$  пока не вычисляется и может быть найдена из эксперимента.

Расчеты для  $^{71}\text{Ge}$  при  $E_{\max} = 50$  МэВ дали  $e_q = 0.90$  или  $q = 0.19$  и  $\zeta_s = 0.050$ . (4)

Расчеты для  $^{127}\text{Xe}$  при  $E_{\max} = 50$  МэВ дали  $e_q = 0.95$  или  $q = 0.10$  и  $\zeta_s = 0.025$ . (5)

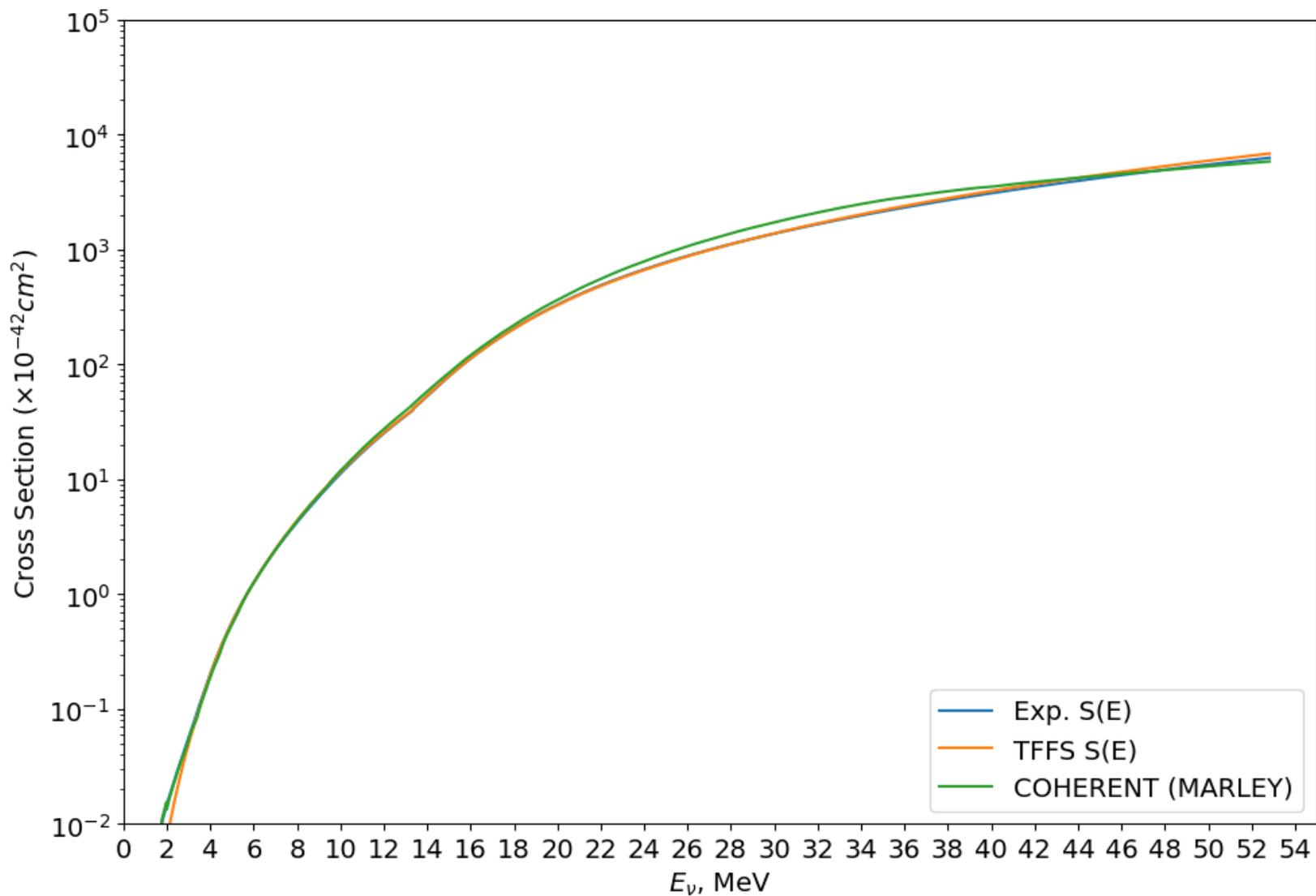
Влияние пионной моды также связано с Quenching – эффектом и приводит к эффективной перенормировке константы  $g_0'$ :

$$g_0'_{\text{эф}} = g_0' - e_q^2 f_{\pi}^2 \frac{dn}{d\mu} \chi^{-2} \left( \frac{q^2}{1+q^2} + \frac{4\chi}{\pi m_{\pi} R} (1+q^2)^{-2} \right)$$

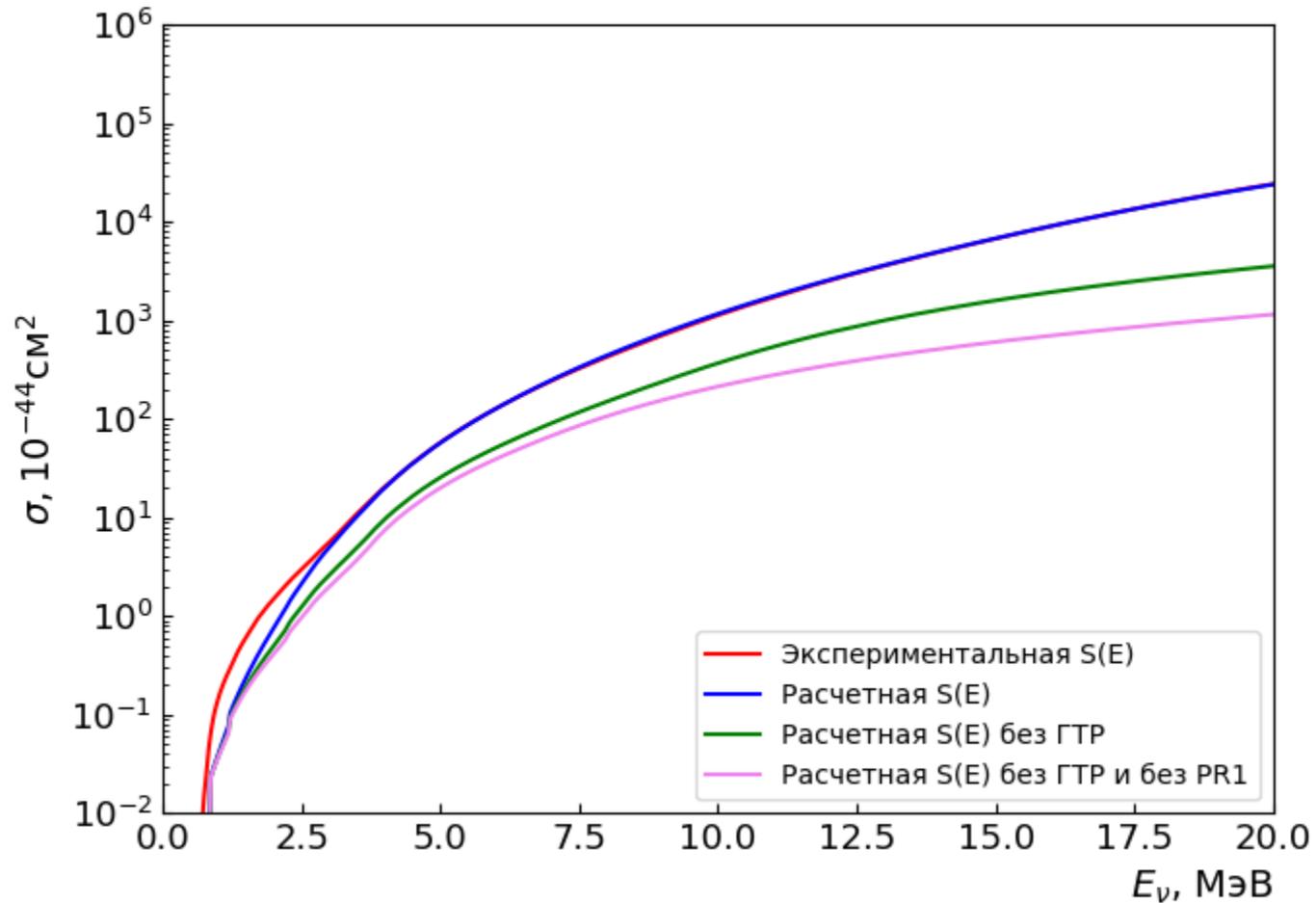
В расчетах с  $\Delta E_{\text{pn}} < 20$  MeV второе слагаемое (пионный член) мало.

Таким образом, для изучения Quenching – эффекта измерения силовых функций необходимо проводить до значений энергий  $E_{\max}$  не менее чем 50 МэВ.

# Сечение Захвата Нейтрино в Реакции $^{127}\text{I}(\nu, e)^{127}\text{Xe}$

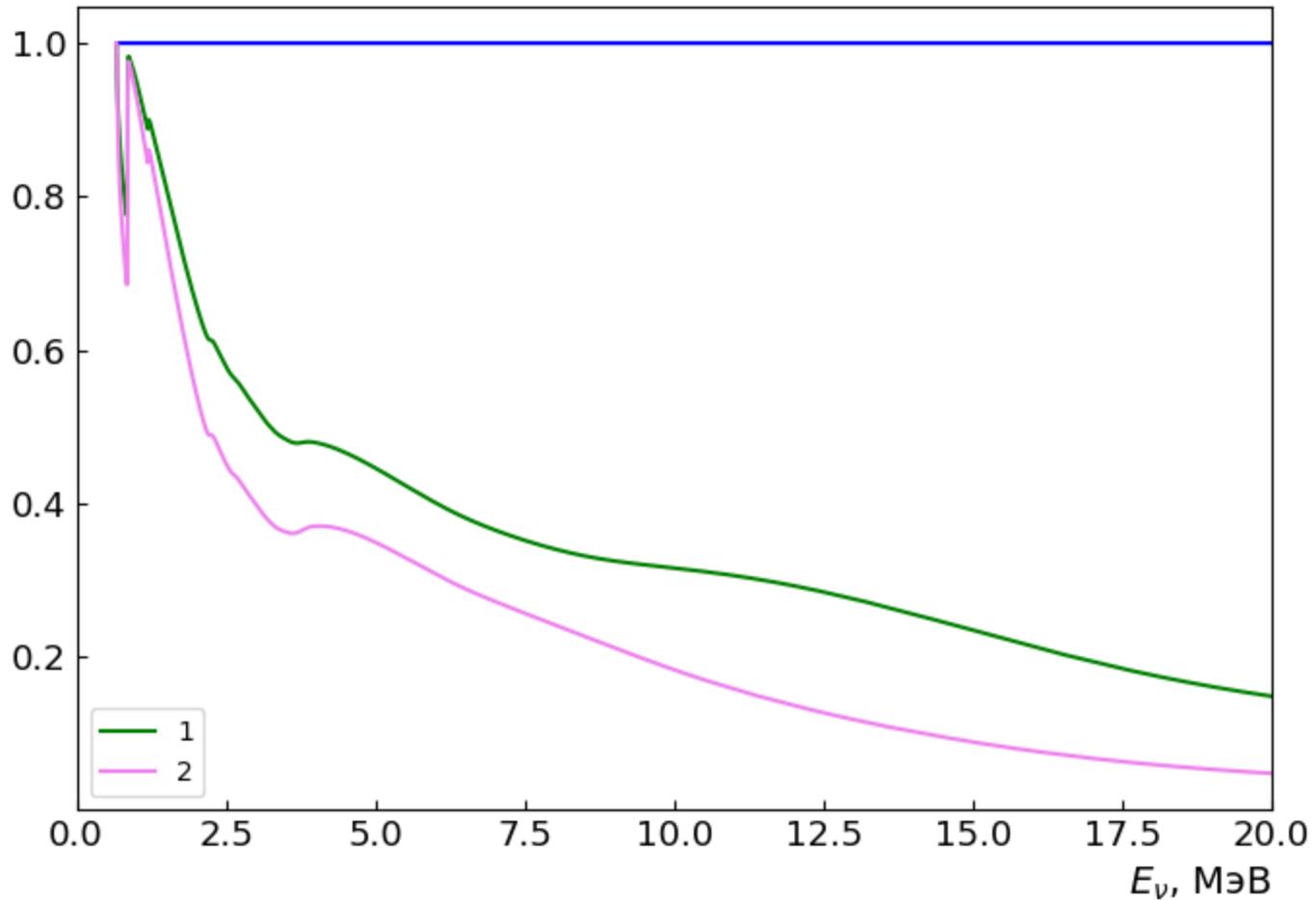


# Сечение Нейтринного Захвата Реакции $^{127}\text{I}(\nu, e)^{127}\text{Xe}$



Расчетная  $S(E)$  без ГТР, без PR1

# Отношение Расчетных Сечений Захвата Солнечных Нейтрино в Реакции $^{127}\text{I}(\nu, e)^{127}\text{Xe}$



1 –  $\sigma(\text{tot})/\sigma(\text{tot} - \text{ГТР})$ ; 2 –  $\sigma(\text{tot})/\sigma(\text{tot} - \text{ГТР} - \text{PR1})$ ;

# RATE OF SOLAR NEUTRINO CAPTURE (in SNU)

скорость захвата солнечных нейтрино (число поглощённых нейтрино 1/сек)

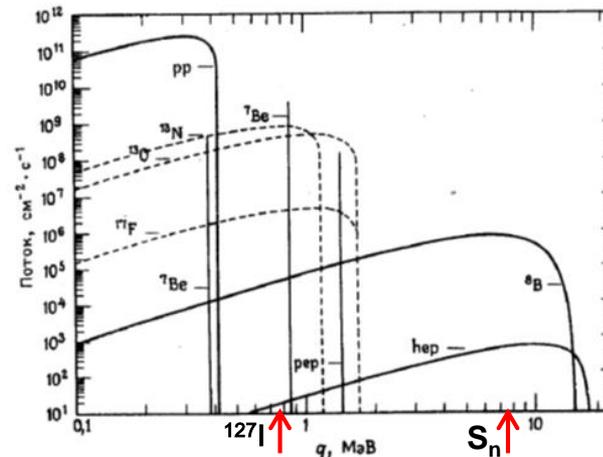
$$R = \int_0^{*\infty} \rho_{solar}(E_\nu) \sigma_{total}(E_\nu) dE_\nu$$

Расчеты  $R(^{127}\text{I})$  с экспериментальными  $S(E)$

<b>Q = 789 кэВ</b>	B-8	hep	N-13	O-15	F-17	Total
$R(^{127}\text{I})$	27.01	0.16	0.15	0.50	0.01	<b>31.21</b>
До $S_n$ ( $N_1$ )	22.39 82.9%	0.09 56.3%	0.15	0.50	0.01	<b>26.52 85%</b>
Выше $S_n$ ( $N_2$ )	4.62 17.1%	0.07 43.8%	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	4.70 15%

Расчеты  $R(^{127}\text{I})$  с  $S(E)$  по ТКФС

<b>Q = 789 кэВ</b>	B-8	hep	N-13	O-15	F-17	Total
$R(^{127}\text{I})$	27.70	0.166	0.037	0.174	0.004	28.90
Без GTR	8.83	0.042	0.035	0.148	0.003	<b>9.81 -66%</b>
Без GTR и PR1	5.23	0.019	0.034	0.138	0.003	<b>6.14 -78.7%</b>



Вывод: 1) Сильное влияние резонансной структуры силовой функции (GTR+PR1).

2) Отношение выходов изотопов  $^{126}\text{Xe} / ^{127}\text{Xe} \approx 15\%$  диагностирует борные нейтрино.

## Результаты расчетов сечения захвата ускорительных нейтрино ядром $^{127}_{53}I$

	$\sigma(0n) \times 10^{-40} \text{cm}^2$	$\sigma(\geq 1n) \times 10^{-40} \text{cm}^2$
Теор. расч. COHERENT (код MARLEY)	$2.3^{+0.2}_{-1.7}$	$\sigma(1n) = 18.9^{+1.0}_{-5.3}$ $\sigma(2n) = 0.8^{+0.1}_{-0.4}$
Эксп. результат COHERENT	$5.2^{+3.4}_{-3.1}$	$\sigma(\geq 1n) = 2.2^{+3.5}_{-2.2}$
Расчет (эксп. $S(E)$ , ферми функ. Сулова)	1.81	$\sigma(\geq 1n) = 18.22$
Расчет (теор. $S(E)$ , ферми функ. Сулова)	1.94	$\sigma(1n) = 16.07$ $\sigma(2n) = 2.88$

## Выводы

- В работе представлена зарядово-обменная силовая функция  $S(E)$  ядра  $^{127}\text{I}$
- Впервые выполнены расчеты теоретической силовой функции ядра  $^{127}\text{I}$ , рассчитанной в ТКФС, с учетом пигми, гигантского Гамов-Теллеровского и более высоколежащих ГТ состояний
- Выполнены расчеты сечения захвата солнечных и ускорительных нейтрино ядром  $^{127}\text{I}$  с использованием экспериментальной и теоретической силовой функции, рассчитанной в ТКФС
- Для солнечных нейтрино проанализирован вклад каждого резонанса на компоненты спектра нейтрино от Солнца
- Для  $\sigma(0\nu)$  результаты расчетов находятся в согласии с результатами коллаборации COHERENT, для  $\sigma(\geq 1\nu)$  расхождения все еще остаются
- Требуются дальнейшие исследования

СПАСИБО

THANK YOU



## Ферми-функция

$$\sigma_{discr}(E_\nu) = \frac{1}{\pi} \sum_k G^2 p_e \underline{E_e F(Z, E_e)} [B(F)_k + \left(\frac{g_A}{g_V}\right)^2 B(GT)_k]$$

Ферми-функция – поправочный множитель,  
учитывающий кулоновское взаимодействие  $F(Z, E_e) = \frac{|\psi_e(0)|_Z^2}{|\psi_e(0)|_{Z=0}^2}$

E. Fermi, “An attempt of a theory of beta radiation. 1.”, Z. Phys.88, 161–177(1934).  
(point-like nuclei)

$$F_0(Z, A, W) = 4(2pR)^{2(\gamma-1)} \frac{|\Gamma(\gamma + iy)|^2}{(\Gamma(1 + 2\gamma))^2} e^{\pi y}, \gamma = \sqrt{1 - (\alpha Z)^2}, y = \pm \alpha ZW/p$$

$$F(Z, A, W) = F_0 \cdot L_0.$$

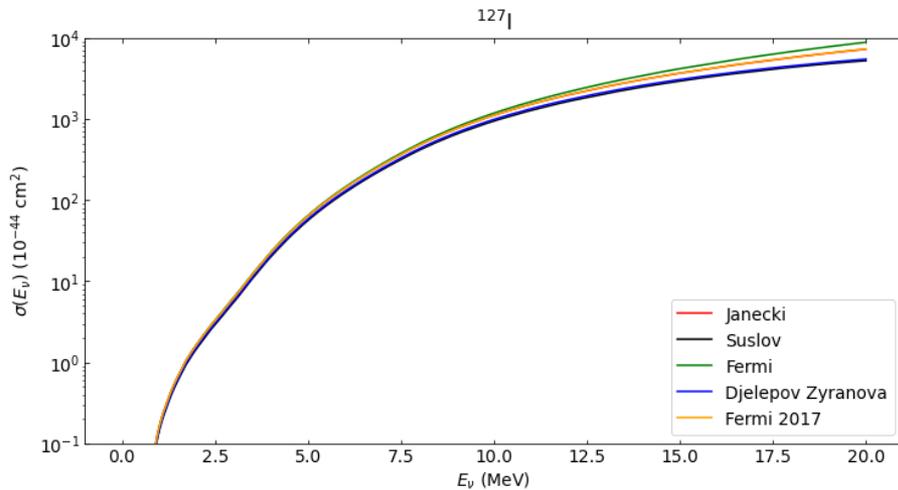
$$L_0 = 1 + \frac{13}{60}(\alpha Z)^2 \mp \frac{\alpha ZWR(41 - 26\gamma)}{[15(2\gamma - 1)]} \mp \frac{\alpha ZR\gamma(17 - 2\gamma)}{[30W(2\gamma - 1)]} + \Omega$$

**H. Behrens and J. Janecke**, *Numerical Tables for Beta-Decay and Electron Capture*, Landolt-Boernstein - Group I Elementary Particles, Nuclei and Atoms (Springer, 1969).

**Б.С. Дзепелов и Л.Н. Зырянова**, *Влияние электрического поля атома на бета-распад*, Изд. АН СССР (1956).

**Ю.П. Сулов**, *Изв. АН СССР, сер. физ.*, 32, 213 (1968).

# Влияние Ферми-функции на расчет скорости захвата нейтрино



1 – E. Fermi, “An attempt of a theory of beta radiation. 1.”, *Z. Phys.*88, 161–177(1934).

2 – L. Hayen, N. Severijns, K. Bodek, D. Rozpedzik, and X. Mougeot, “High precision analytical description of the allowed  $\beta$  spectrum shape”, *Rev. Mod.Phys.*90, 015008 (2018) (Fermi 2017)

3 – H. Behrens and J. Janecke, *Numerical Tables for Beta-Decay and Electron Capture, Landolt-Boernstein - Group I Elementary Particles, Nuclei and Atoms* (Springer, 1969).

4 – Б.С. Джелепов и Л.Н. Зырянова, *Влияние электрического поля атома на бета-распад*, Изд. АН СССР (1956).

5 – Ю.П. Суслов, *Изв. АН СССР, сер. физ.*, 32, 213 (1968).

Ферми-функция	$^8\text{B}$	hep	$^{13}\text{N}$	$^{15}\text{O}$	$^{17}\text{F}$	per	$^7\text{Be}$	Total
1	27.286	0.120	0.161	0.543	0.013	0.818	2.850	31.795
2	25.735	0.108	0.163	0.549	0.013	0.826	2.890	30.287
3	25.706	0.108	0.164	0.551	0.013	0.828	2.923	30.29
4	22.853	0.093	0.152	0.510	0.012	0.767	2.695	27.085
5	21.881	0.089	0.145	0.490	0.012	0.738	2.562	25.920

# Ферми-функция: расчеты

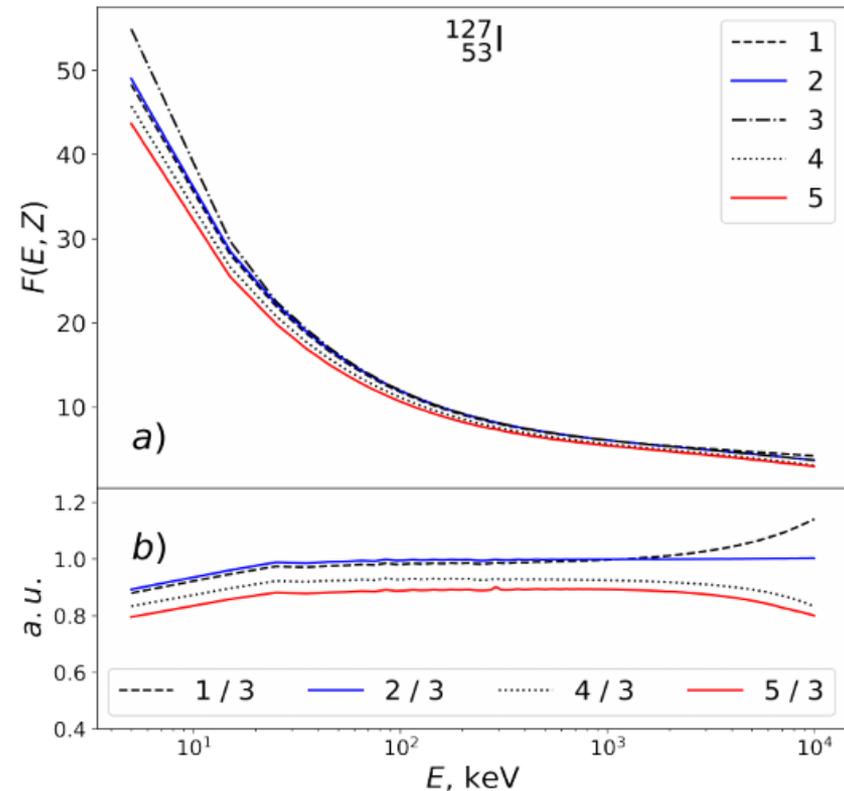
1 - **E. Fermi**, "An attempt of a theory of beta radiation. 1.", *Z. Phys.*88, 161–177(1934).

2 - **L. Hayen, N. Severijns, K. Bodek, D. Rozpedzik, and X. Mougeot**, "High precision analytical description of the allowed  $\beta$  spectrum shape", *Rev. Mod.Phys.*90, 015008 (2018) (Fermi 2017)

3 - **H. Behrens and J. Janecke**, *Numerical Tables for Beta-Decay and Electron Capture*, *Landolt-Boernstein - Group I Elementary Particles, Nuclei and Atoms* (Springer, 1969).

4 - **B. S. Dzhelepov and L. N. Zyrianova**, *Influence of atomic electric fields on beta decay*(Moscow: Akad. Nauk SSSR, 1956).

5 - **Y. P. Suslov**, *Izv. Akad. Nauk SSSR, Ser. Fiz.*32, 213 (1968).



# Экспериментальные сечения захвата нейтрино

TABLE VII. Experimentally measured (flux-averaged) cross sections on various nuclei at low energies (1–300 MeV). Experimental data gathered from the LAMPF (Willis *et al.*, 1980), KARMEN (Bodmann *et al.*, 1991; Zeitnitz *et al.*, 1994; Armbruster *et al.*, 1998; Maschuw, 1998; Ruf, 2005), E225 (Krakauer *et al.*, 1992), LSND (Athanasopoulos *et al.*, 1997; Auerbach *et al.*, 2001; Auerbach *et al.*, 2002; Distel *et al.*, 2003), GALLEX (Hampel *et al.*, 1998), and SAGE (Abdurashitov *et al.*, 1999; Abdurashitov *et al.*, 2006) experiments. Stopped  $\pi/\mu$  beams can access neutrino energies below 53 MeV, while decay-in-flight measurements can extend up to 300 MeV. The  $^{51}\text{Cr}$  sources have several monoenergetic lines around 430 and 750 keV, while the  $^{37}\text{Ar}$  source has its main monoenergetic emission at  $E_\nu = 811$  keV. Selected comparisons to theoretical predictions, using different approaches are also listed. The theoretical predictions are not meant to be exhaustive.

Isotope	Reaction Channel	Source	Experiment	Measurement ( $10^{-42}$ cm $^2$ )	Theory ( $10^{-42}$ cm $^2$ )
$^2\text{H}$	$^2\text{H}(\nu_e, e^-)pp$	Stopped $\pi/\mu$	LAMPF	$52 \pm 18(\text{tot})$	54 (IA) (Tatara, Kohyama, and Kubodera, 1990)
$^{12}\text{C}$	$^{12}\text{C}(\nu_e, e^-)^{12}\text{N}_{\text{g.s.}}$	Stopped $\pi/\mu$	KARMEN	$9.1 \pm 0.5(\text{stat}) \pm 0.8(\text{sys})$	9.4 [Multipole](Donnelly and Peccei, 1979)
		Stopped $\pi/\mu$	E225	$10.5 \pm 1.0(\text{stat}) \pm 1.0(\text{sys})$	9.2 [EPT] (Fukugita, Kohyama, and Kubodera, 1988).
$^{12}\text{C}$	$^{12}\text{C}(\nu_e, e^-)^{12}\text{N}^*$	Stopped $\pi/\mu$	LSND	$8.9 \pm 0.3(\text{stat}) \pm 0.9(\text{sys})$	8.9 [CRPA] (Kolbe, Langanke, and Vogel, 1999)
		Stopped $\pi/\mu$	KARMEN	$5.1 \pm 0.6(\text{stat}) \pm 0.5(\text{sys})$	5.4–5.6 [CRPA] (Kolbe, Langanke, and Vogel, 1999)
		Stopped $\pi/\mu$	E225	$3.6 \pm 2.0(\text{tot})$	4.1 [Shell] (Hayes and Towner, 2000)
		Stopped $\pi/\mu$	LSND	$4.3 \pm 0.4(\text{stat}) \pm 0.6(\text{sys})$	
$^{12}\text{C}$	$^{12}\text{C}(\nu_\mu, \nu_\mu)^{12}\text{C}^*$	Stopped $\pi/\mu$	KARMEN	$3.2 \pm 0.5(\text{stat}) \pm 0.4(\text{sys})$	2.8 [CRPA] (Kolbe, Langanke, and Vogel, 1999)
		Stopped $\pi/\mu$	KARMEN	$10.5 \pm 1.0(\text{stat}) \pm 0.9(\text{sys})$	10.5 [CRPA] (Kolbe, Langanke, and Vogel, 1999)
		$^{12}\text{C}(\nu_\mu, \nu^-)X$	Decay in flight	LSND	$1060 \pm 30(\text{stat}) \pm 180(\text{sys})$
$^{12}\text{C}$	$^{12}\text{C}(\nu_\mu, \mu^-)^{12}\text{N}_{\text{g.s.}}$	Decay in flight	LSND	$56 \pm 8(\text{stat}) \pm 10(\text{sys})$	1380 [Shell] (Hayes and Towner, 2000)
					1115 [Green's Function] (Meucci, Giusti, and Pacati, 2004)
$^{56}\text{Fe}$	$^{56}\text{Fe}(\nu_e, e^-)^{56}\text{Co}$	Stopped $\pi/\mu$	KARMEN	$256 \pm 108(\text{stat}) \pm 43(\text{sys})$	68–73 [CRPA] (Kolbe, Langanke, and Vogel, 1999)
$^{71}\text{Ga}$	$^{71}\text{Ga}(\nu_e, e^-)^{71}\text{Ge}$	$^{51}\text{Cr}$ source	GALLEX, ave.	$0.0054 \pm 0.0009(\text{tot})$	56 [Shell] (Hayes and Towner, 2000)
		$^{51}\text{Cr}$	SAGE	$0.0055 \pm 0.0007(\text{tot})$	264 [Shell] (Kolbe, Langanke, and Martínez-Pinedo, 1999)
		$^{37}\text{Ar}$ source	SAGE	$0.0055 \pm 0.0006(\text{tot})$	0.0058 [Shell] (Haxton, 1998)
$^{127}\text{I}$	$^{127}\text{I}(\nu_e, e^-)^{127}\text{Xe}$	Stopped $\pi/\mu$	LSND	$284 \pm 91(\text{stat}) \pm 25(\text{sys})$	0.0070 [Shell] (Bahcall, 1997)
					210–310 [Quasiparticle] (Engel, Pittel, and Vogel, 1994)

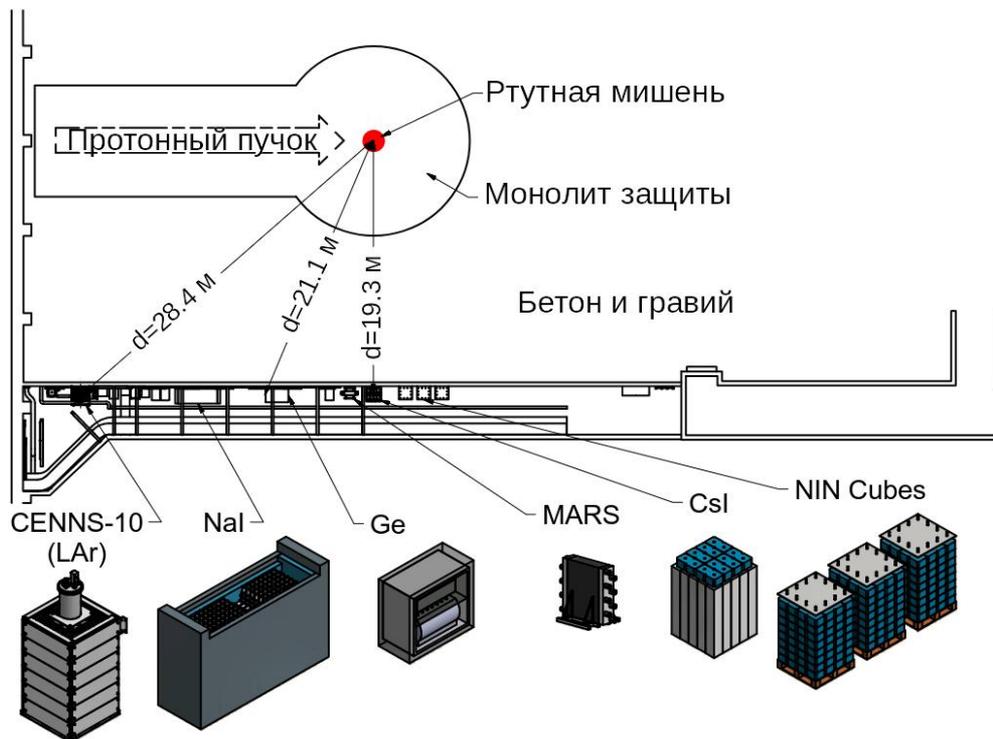
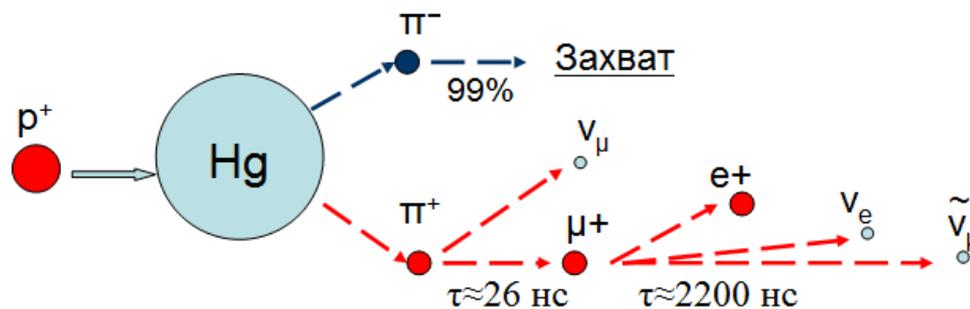
## Measurement of Electron-Neutrino Charged-Current Cross Sections on $^{127}\text{I}$ with the COHERENT NaI $\nu$ E Detector

P. An,<sup>1,2,\*</sup> C. Awe,<sup>1,2</sup> P.S. Barbeau,<sup>1,2</sup> B. Becker,<sup>3</sup> V. Belov,<sup>4,5</sup> I. Bernardi,<sup>3</sup> C. Bock,<sup>6</sup> A. Bolozdynya,<sup>4</sup> R. Bouabid,<sup>1,2</sup> A. Brown,<sup>7,2</sup> J. Browning,<sup>8</sup> B. Cabrera-Palmer,<sup>9</sup> M. Cervantes,<sup>1</sup> E. Conley,<sup>1</sup> J. Daughhetece,<sup>10</sup> J. Detwiler,<sup>11</sup> K. Ding,<sup>6</sup>

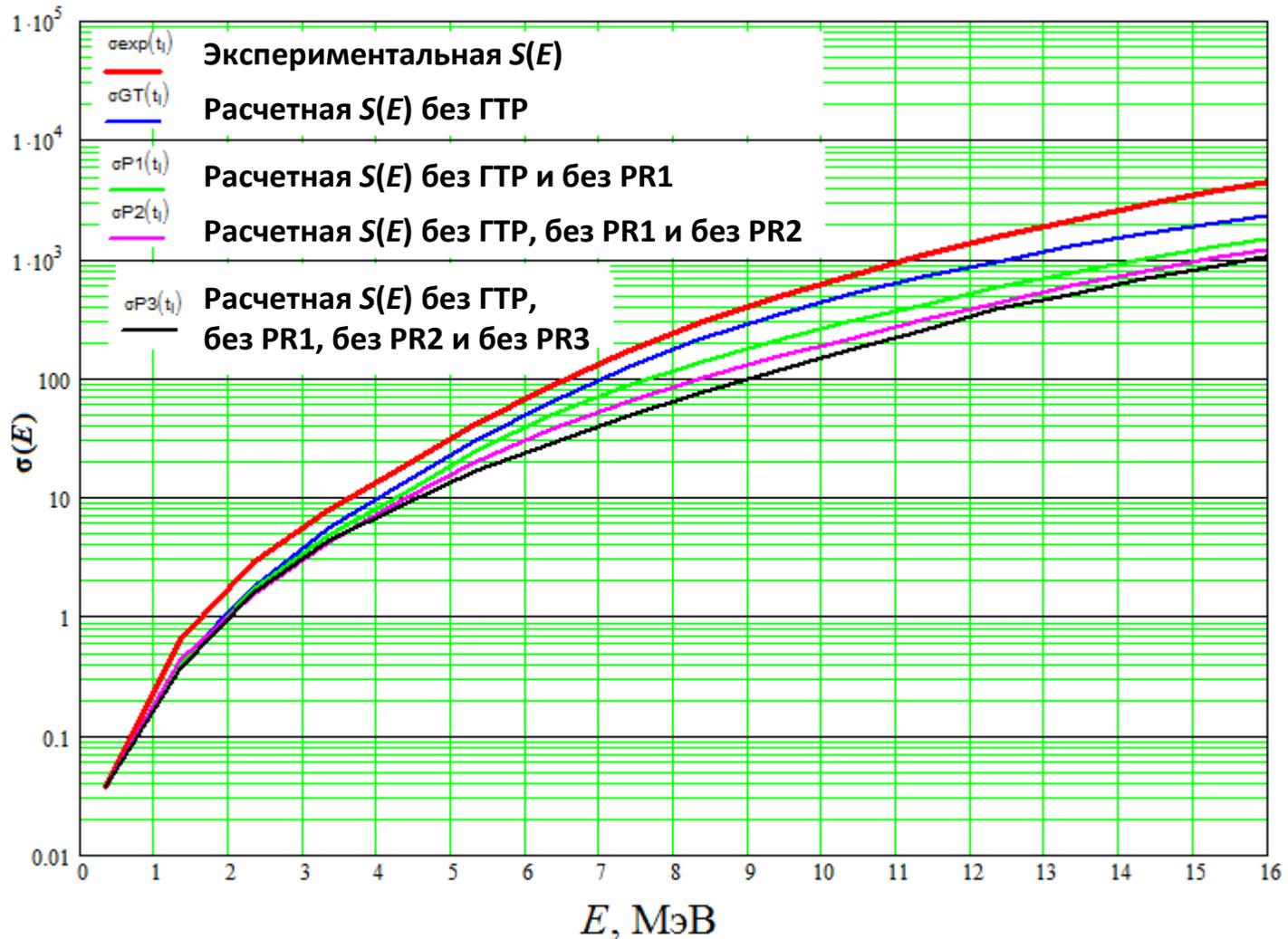
## Measurement of $^{nat}\text{Pb}(\nu_e, Xn)$ production with a stopped-pion neutrino source

A. Galindo-Uribarri,<sup>10,3</sup> M. P. Green,<sup>2,10,8</sup> J. Hakenmüller,<sup>1</sup> M. R. Heath,<sup>10</sup> S. Hedges,<sup>1,2,3</sup> M. Hughes,<sup>14</sup> B. A. Johnson,<sup>14</sup> P. An,<sup>1,2</sup> C. Awe,<sup>1,2</sup> P.S. Barbeau,<sup>1,2</sup> B. Becker,<sup>3</sup> S. W. Belling,<sup>2,\*</sup> V. Belov,<sup>4,5</sup> I. Bernardi,<sup>3</sup> C. Bock,<sup>6</sup> A. Bolozdynya,<sup>4</sup> R. Bouabid,<sup>1,2</sup> A. Brown,<sup>7,2</sup> J. Browning,<sup>8</sup> B. Cabrera-Palmer,<sup>9</sup> M. Cervantes,<sup>1</sup> E. Conley,<sup>1</sup> J. Daughhetece,<sup>10</sup> J. Detwiler,<sup>11</sup> K. Ding,<sup>6</sup> M. R. Durand,<sup>11</sup> Y. Efremenko,<sup>3,10</sup> S. R. Elliott,<sup>12</sup> L. Fabris,<sup>10</sup> M. Febraro,<sup>10</sup> A. Gallo Rosso,<sup>13</sup> A. Galindo-Uribarri,<sup>10,3</sup> M. P. Green,<sup>2,10,8</sup> J. Hakenmüller,<sup>1</sup> M. R. Heath,<sup>10</sup> S. Hedges,<sup>1,2,3</sup> M. Hughes,<sup>14</sup> B. A. Johnson,<sup>14</sup>

# Ускоритель Spallation Neutron Source и эксперимент COHERENT



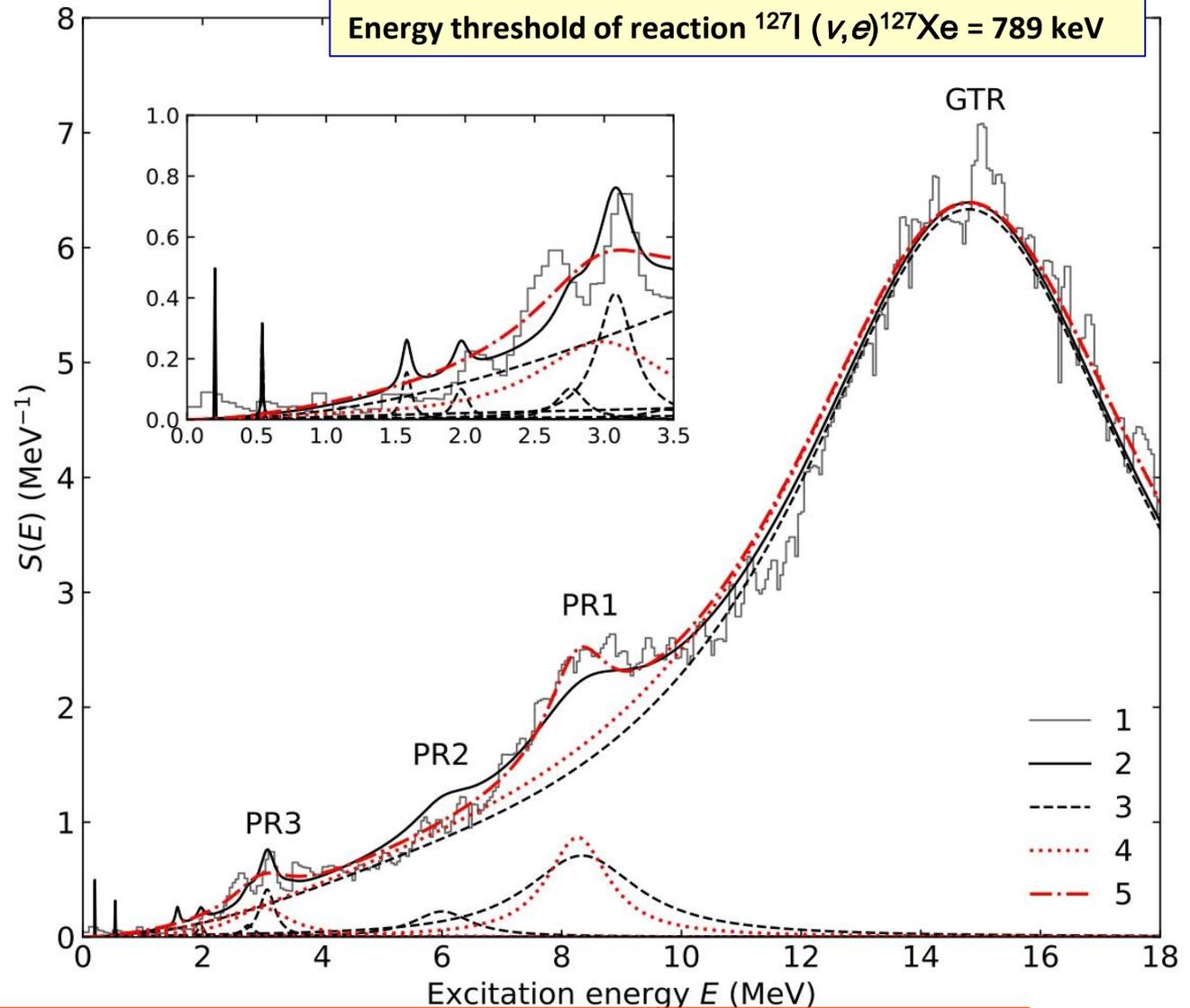
# Сечение Нейтринного Захвата Реакции $^{127}\text{I}(\nu, e)^{127}\text{Xe}$



Расчетная  $S(E)$  без ГТР, без PR1, без PR2 и без PR3

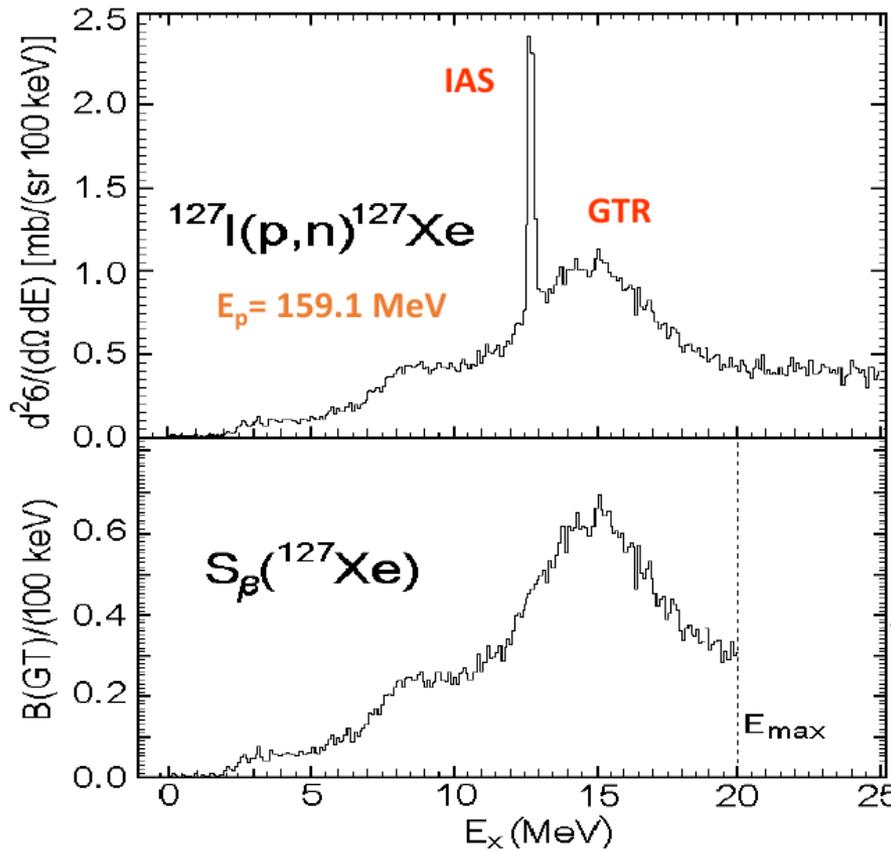
# Charge-Exchange Strength Function of Reaction $^{127}\text{I}(p,n)^{127}\text{Xe}$

Первые расчеты: Yu. S. Lutostansky, N. B. Shulgina. Phys. Rev. Lett. 67, 430 (1991) сделаны задолго до эксперимента – (1999).



1 – Bar chart - experiment : M. Palarczyk, *et. al.* Phys. Rev. 1999, v. 59, p. 500  
2 – Line – numerical calculation by TFFS with  $e_q = 0.9$ .  
GTR – Gamow-Teller resonance; PR1, PR2, PR3 – pygmy resonances.

# Зарядово-обменная силовая функция реакции $^{127}\text{I}(p, n)^{127}\text{Xe}$



Первые расчеты:  
 Yu. S. Lutostansky, N. B. Shulgina. Phys. Rev. Lett. 67, 430 (1991)  
 были сделаны задолго до эксперимента и продемонстрировали хорошую точность предсказаний.

$$\sum B(\text{GT}) = 53.54 \pm 0.22 \text{ stat. } {}^{+3.32}_{-19.47} \text{ syst.}$$

Гистограмма – эксперимент: M. Palarczyk, *et. al.* Phys. Rev. 1999. V. 59. P. 500;

## Результаты эксперимента

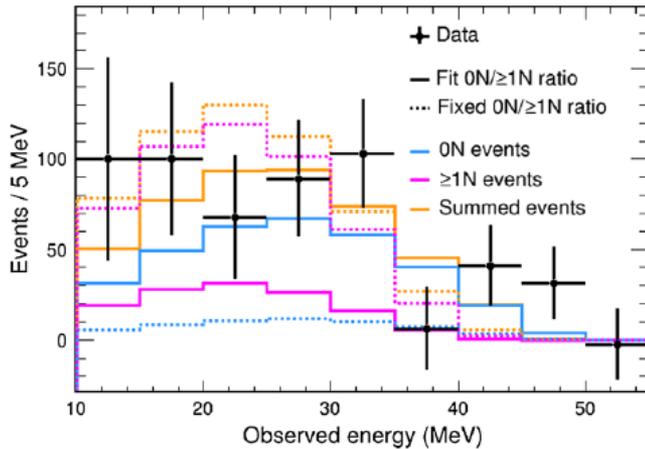


FIG. 4. The visible energy spectrum of CC events between 10 and 55 MeV is shown in black, along with the best-fit spectrum from MARLEY (orange) allowing the  $\geq 1n$  and  $0n$  amplitudes to float.

*Conclusion.*—COHERENT has measured the inclusive  $\nu_e \text{CC-}^{127}\text{I}$  cross section on  $^{127}\text{I}$  between 10 and 55 MeV to be  $(9.2^{+2.1}_{-1.8}) \times 10^{-40} \text{ cm}^2$ . This measurement is roughly 41% of the nominal cross section from MARLEY and to date is the heaviest CC neutrino-nucleus cross section measured in this energy regime.

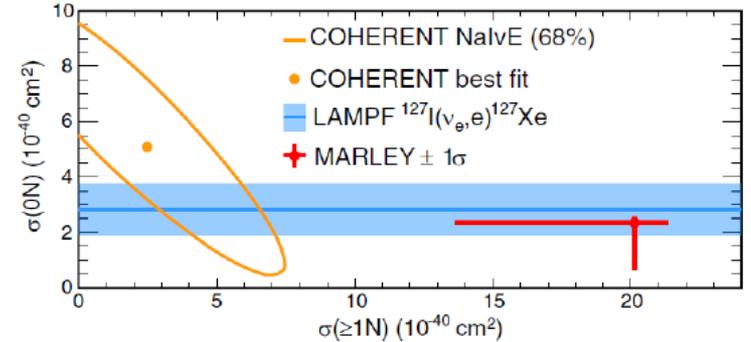
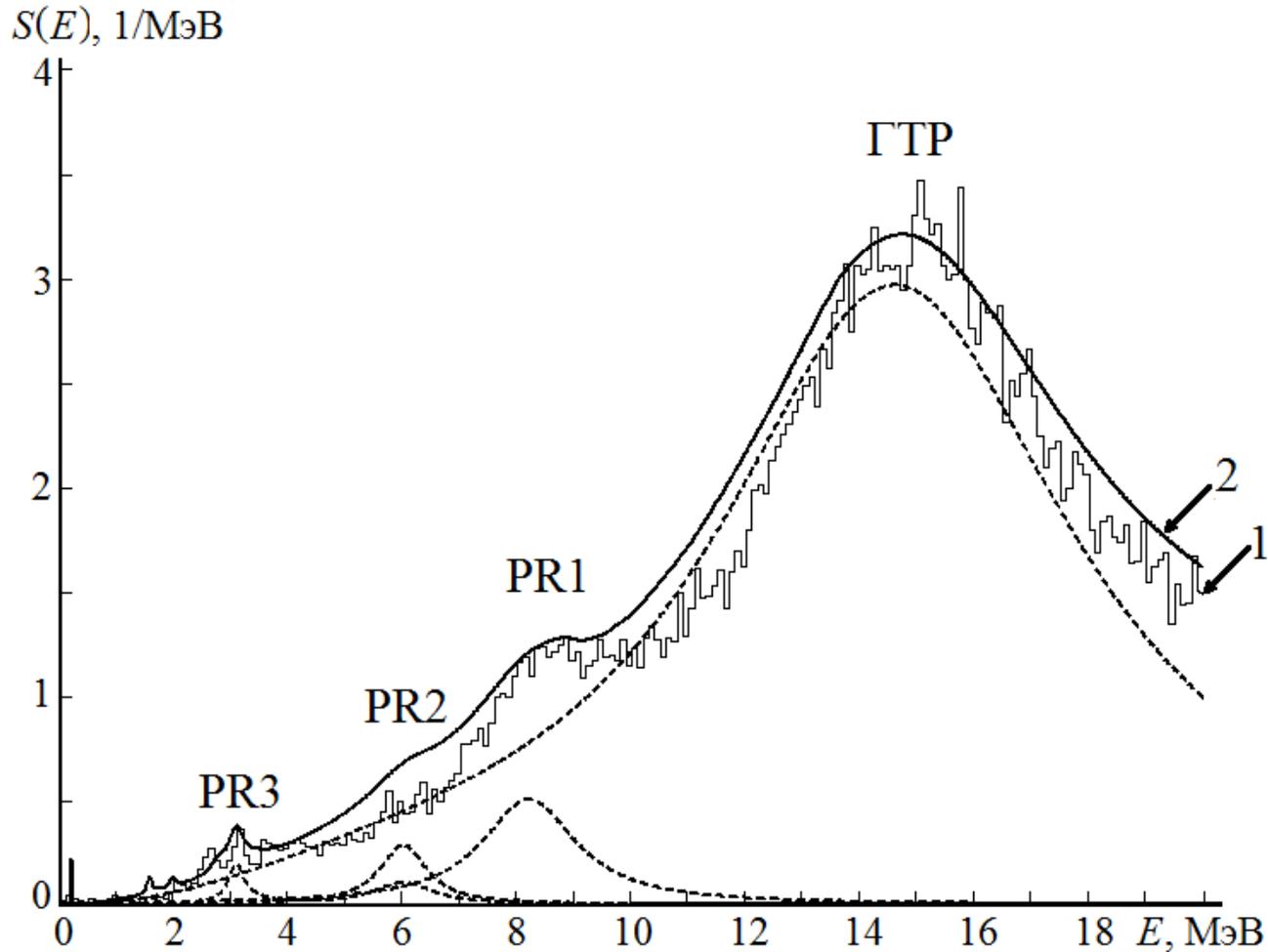


FIG. 5. Measurement ( $1\sigma$ ) of the  $\nu_e \text{CC-}^{127}\text{I}$  cross section separated into  $0n$  and  $\geq 1n$  channels compared to the MARLEY prediction and Ref. [12], measuring the  $0n$  cross section.

From the 2D fit, we derive measurements of the cross sections to the exclusive  $0n$  and  $\geq 1n$  channels simultaneously. Our measurement is shown in Fig. 5. At  $1\sigma$ , the NaIνE data imply  $\sigma(0n) = (5.2^{+3.4}_{-3.1}) \times 10^{-40} \text{ cm}^2$  after profiling  $\sigma(\geq 1n)$ , consistent with Ref. [12] and MARLEY's prediction [18], though uncertainties are large due to the  $\geq 1n$  events present in NaIνE. The determined  $1\sigma$  range for  $\sigma(\geq 1n)$  is  $2.2^{+3.5}_{-2.2} \times 10^{-40} \text{ cm}^2$  is roughly  $10\times$  lower than the MARLEY model, suggesting the suppression in the total rate relative to MARLEY is due to the modeling of the  $\geq 1n$  channel. Profiles for the exclusive cross-section fits can be found in Supplemental Material [18], which includes Refs. [29–37].

# Зарядово-Обменная Силовая Функция Реакции $^{127}\text{I}(p,n)^{127}\text{Xe}$



1 - Гистограмма – эксперимент: M. Palarczyk, *et. al.* Phys. Rev. 1999, v. 59, p. 500

2 - линия – ТКФС расчет с  $e_q = 0.9$  ;

ГТР – Гамов-Теллеровский резонанс; PR1, PR2, PR3 – пигми резонансы.