

Уточнение сечения поглощения нейтрино на галлии и  
перспективы экспериментов с короткой базой по  
изучению нейтринных осцилляций

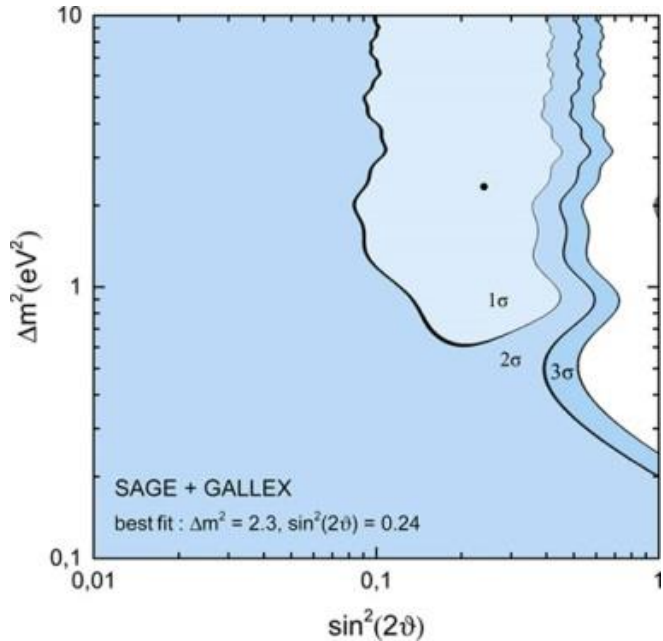
---

Владислав Баринов

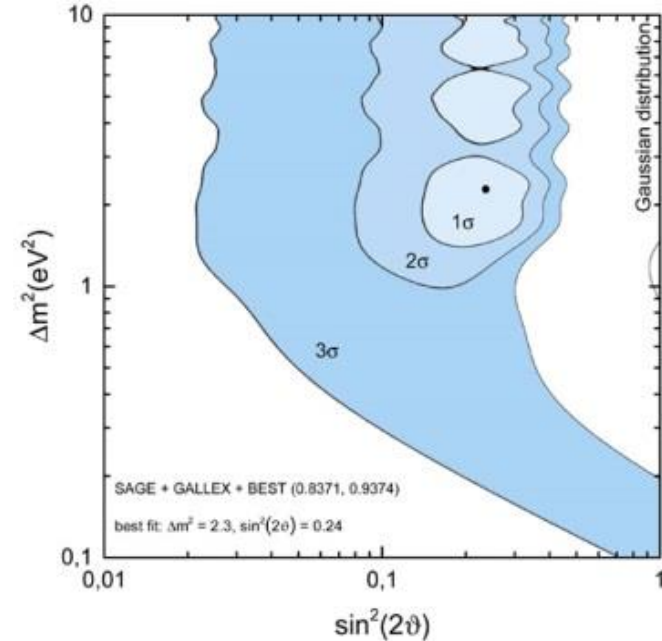
# Галлиевая аномалия

	SAGE $^{51}\text{Cr}$	SAGE $^{37}\text{Ar}$	GALLEX $^{51}\text{Cr}$ 1	GALLEX $^{51}\text{Cr}$ 2
Активность, кКи	$516.6 \pm 6.0$	$409 \pm 2$	$1714^{+30}_{-43}$	$1868^{+89}_{-57}$
$p^{\text{изм}}$ , атомов $^{71}\text{Ge}/\text{сут}$	$14.0 \pm 1.5 \pm 0.8$	$11.0^{+1.0}_{-0.9} \pm 0.6$	$11.9 \pm 1.1 + 0.7$	$10.7 \pm 1.2 \pm 0.7$
Масса Ga (т)	13.1 (метал.)	13.1 (метал.)	30.4 ( $\text{GaCl}_3:\text{HCl}$ )	30.4 ( $\text{GaCl}_3:\text{HCl}$ )
$R = p^{\text{изм}}/p^{\text{теор}}$	$0.95 \pm 0.12$	$0.79 \pm 0.10$	$0.953 \pm 0.11$	$0.812 \pm 0.11$

# SAGE GALLEX BEST



Области разрешенных параметров осцилляций при объединении SAGE + GALLEX



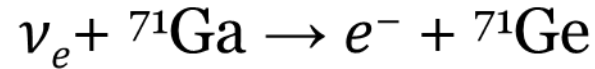
Области разрешенных параметров осцилляций При объединении SAGE + GALLEX + BEST

Полная статистическая неопределенность эксперимента BEST:  $\pm 4.5\%$  – для каждой из зон  
 $\pm 3.7\%$  – для всей мишени

Теоретическая неопределенность в сечении захвата

+ 3.6% \ - 2.8%

# Сечение захвата нейтрино



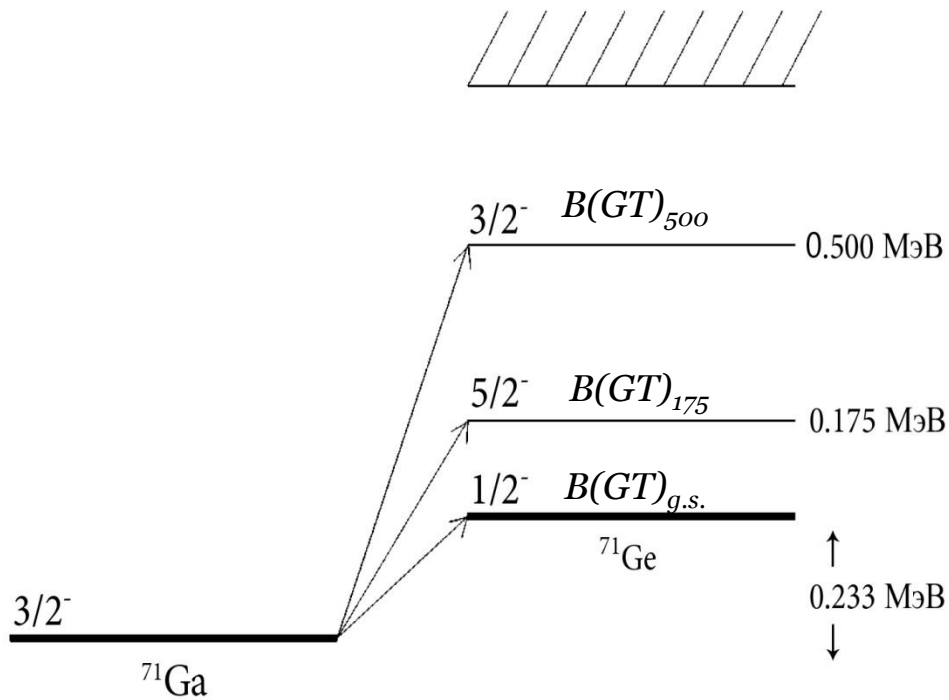
$$\sigma = \sigma_0 \langle \omega_e^2 G(Z, \omega_e) \rangle$$

$$\sigma_0 = \frac{4\pi^3 \ln 2 \alpha \hbar^3}{m_e^3 c^4} \left( \frac{2I_f + 1}{2I_i + 1} \right) \frac{Z}{ft_{1/2}(I_f \rightarrow I_i)} \quad \text{Масштабный фактор для величины сечения}$$

$$ft_{1/2}(I_f \rightarrow I_i) = \frac{2\pi^3 \ln 2 \hbar^7}{m_e^5 c^4} \frac{1}{(G_V^2 |M_{i,f}|_F^2 + G_A^2 |M_{i,f}|_{GT}^2)} \quad ft - \text{значение}$$

$$\langle \omega_e^2 G(Z, \omega_e) \rangle = \frac{1}{2\pi\alpha Z} \frac{\int_{\omega_e^{\min}}^{\omega_e^{\max}} \omega_e p_e F(Z, \omega_e) \phi(q_\nu) d\omega_e}{\int_0^{\omega_e^{\max}} \phi(q_\nu) dq_\nu} \quad \text{Безразмерный фактор фазового пространства, усредненный по энергиями электронов}$$

# Схема распада $^{71}\text{Ga}$ и спектры источников



Спектр источника  $^{51}\text{Cr}$

$E_\nu$ (МэВ)	Относительные доли
0.752	8.49 (1) %
0.747	81.63 (1) %
0.432	0.93 (1) %
0.427	8.95 (1) %

Спектр источника  $^{37}\text{Ar}$

$E_\nu$ (МэВ)	Относительные доли
0.813	9.80 (1) %
0.811	90.20 (1) %

# Вычисления

$$Q = 233.5 \pm 1.2 \text{ кэВ} - \text{Frekers}$$

$$Q = 232.69 \pm 0.15 \text{ кэВ} - \text{Old}$$

$$T_{1/2}(^{71}\text{Ge}) = 11.43 \pm 0.03 \text{ д}$$

$$\log ft_{1/2}(^{71}\text{Ge}) = 4.353 \pm 0.005$$

$$B(GT)g.s. = 0.086 \pm 0.001$$

$$\sigma_0 = (8.6 \pm 0.1) \times 10^{-46} \text{ см}^2$$

$$\sigma_0^{\text{Bahcall}} = (8.611 \pm 0.011) \times 10^{-46} \text{ см}^2$$

# Матричные элементы переходов и результаты вычислений

$E_x(^{71}\text{Ge})$ [keV]	$J^\pi$	$\frac{d\sigma}{d\Omega}(q=0)$ [mb/sr]	GT %	$B(\text{GT})$ $\times 10^{-2}$
g.s.	$\frac{1}{2}^-$	0.786(9)	92	8.52(11) <sup>a</sup>
175	$\frac{5}{2}^-$	0.071(4)	40	0.34(26)
500	$\frac{3}{2}^-$	0.171(4)	87	1.76(14)
708	$\frac{3}{2}^-$	0.018(1)	55	0.11(5)
808	$\frac{1}{2}^-$	0.210(4)	92	2.29(10)
1096	$\frac{3}{2}^-$	0.184(4)	84	1.83(17)

$$\sigma(^{51}\text{Cr}) = (59.20 \pm 1.14) \times 10^{-46} \text{ cm}^2$$

$$\sigma(^{37}\text{Ar}) = (71.5 \pm 1.5) \times 10^{-46} \text{ cm}^2$$

$$\sigma(^{51}\text{Cr}) = (59.2 \pm 1.1) \times 10^{-46} \text{ cm}^2$$

$$\sigma(^{37}\text{Ar}) = (71.5 \pm 1.4) \times 10^{-46} \text{ cm}^2$$

C. Giunti

$$\sigma = \sigma_{g.s.} \left[ 1 + \lambda_{175} \frac{B(\text{GT})_{175}}{B(\text{GT})_{g.s.}} + \lambda_{500} \frac{B(\text{GT})_{500}}{B(\text{GT})_{g.s.}} \right]$$

[3]. C. Giunti, M. Laveder, Y. F. Li, Q. Y. Liu, and H. W. Long. Update of Short-Baseline Electron Neutrino and Antineutrino Disappearance. Phys. Rev., D86:113014, 2012.

[4]. D. Frekers et al. Precision evaluation of the  $^{71}\text{Ga}(ve, e^-)$  solar neutrino capture rate from the  $(^3\text{He}, t)$  charge-exchange reaction. Phys. Rev. C, 91:034608, Mar 2015.

# Сечение захвата для $^{65}\text{Zn}$

$E_\nu$ (МэВ)	Относительные доли
1.352	48.35 (11) %
0.236	50.23 (11) %

$$\sigma(^{65}\text{Zn}) = (94.3 \pm 2.1) \times 10^{-46} \text{ см}^2$$

$$\sigma = \sigma_{g.s.} \left[ 1 + \frac{\sum_{E_x} \lambda_{E_x} B(GT)_{E_x}}{B(GT)_{g.s.}} \right]$$

$$\lambda_{175} = 0.7969, \lambda_{500} = 0.4789, \lambda_{708} = 0.3146, \lambda_{808} = 0.2466, \lambda_{1096} = 0.0934$$



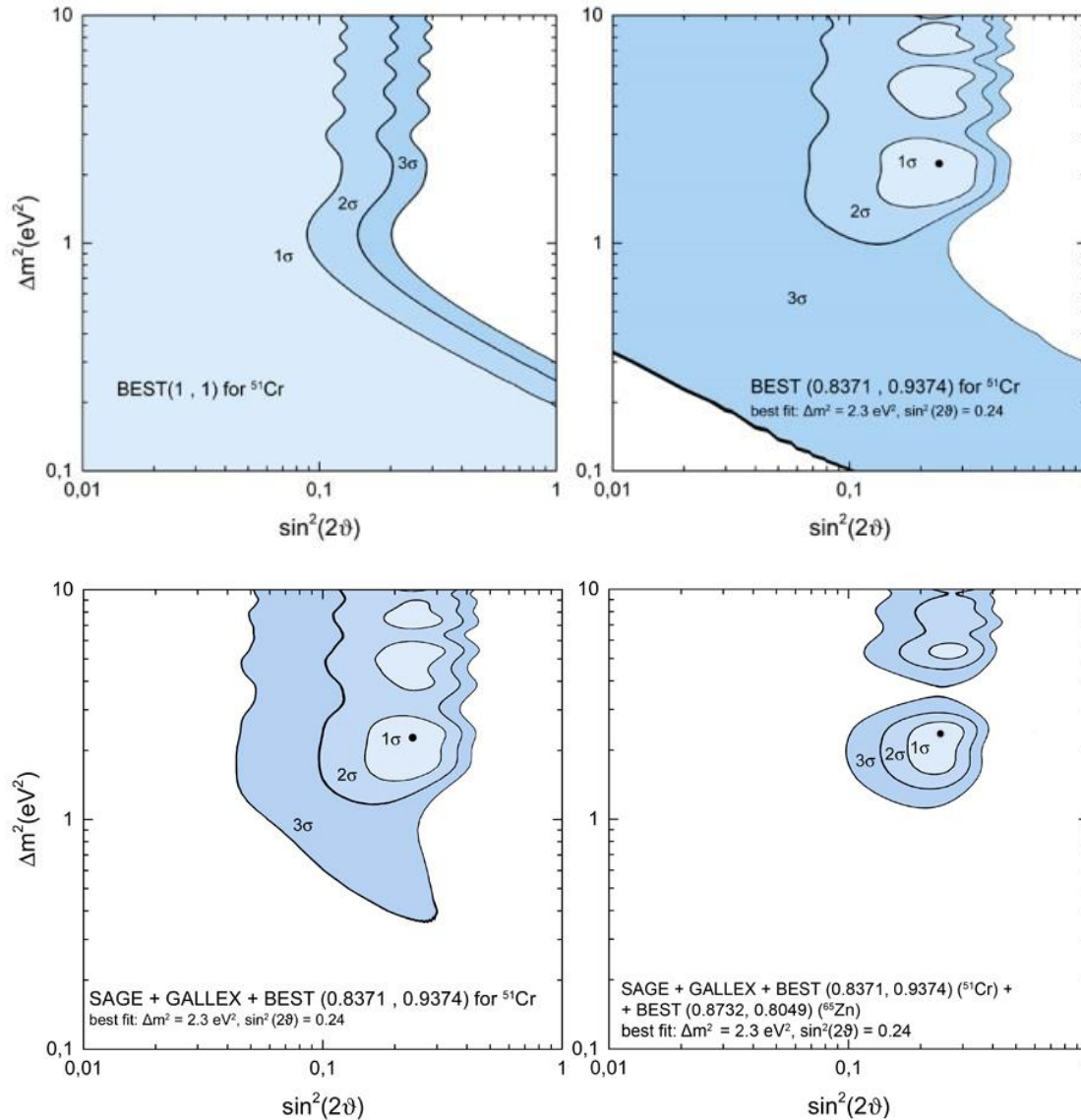
# Неопределенности

Относительная неопределенность сечений, полученных в ходе работы, составляет 2% для источников  $^{51}\text{Cr}$  и  $^{37}\text{Ar}$ , и 2.2% для источника  $^{65}\text{Zn}$ . Полученные результаты для  $^{51}\text{Cr}$  и  $^{37}\text{Ar}$  согласуются с тем, что представлено в работе [3].

С учетом уточненного значения сечения поглощения нейтрино на галлии, полученного в данной работе, результирующая ошибка эксперимента BEST с использованием источника  $^{51}\text{Cr}$  составит 4.9% для каждой из зон и 4.17% для полной мишени, вместо 5.5% и 4.8% соответственно.

В случае использования цинкового источника в эксперименте BEST, результирующая ошибка составит 5.0% для каждой из зон и 4.3% для полной мишени соответственно.

# Области чувствительности



# Заключение

- В ходе работы была изложена краткая теория реакции захвата нейтрино в рамках классической теории бета – распада.
- Получены уточненные значения сечений поглощения нейтрино на галлии для источников  $^{51}\text{Cr}$  и  $^{37}\text{Ar}$  и показано, что несмотря на учет всех неопределенностей в сечении, результаты изменятся незначительно. Отдельно получено значение сечения поглощения для цинка и получена формула с рассчитанными относительными факторами фазового пространства.
- Получены обновленные области разрешенных параметров осцилляций для объединения SAGE + GALLEX + BEST.
- Также в работе показано, что основные результаты, изложенные в [1], остаются верны и более нет неопределенностей в сечении поглощения нейтрино на галлии, которые бы могли устранить расхождение между экспериментами SAGE и GALLEX.

# Благодарности

Автор выражает огромную благодарность Брюсу Кливленду за предоставленную программу spessros, с помощью которой были произведены расчеты, а также Гаврину Владимиру Николаевичу, Ибрагимовой Татьяне Викторовне и Кулагину Сергею Анатольевичу за полезные обсуждения и помощь в написании данной работы.

Отдельно автор благодарит Кулагина Сергея Анатольевича за рецензию на данную работу.

**Благодарю за внимание!**