

# НЕЙТРИНО И СРТ

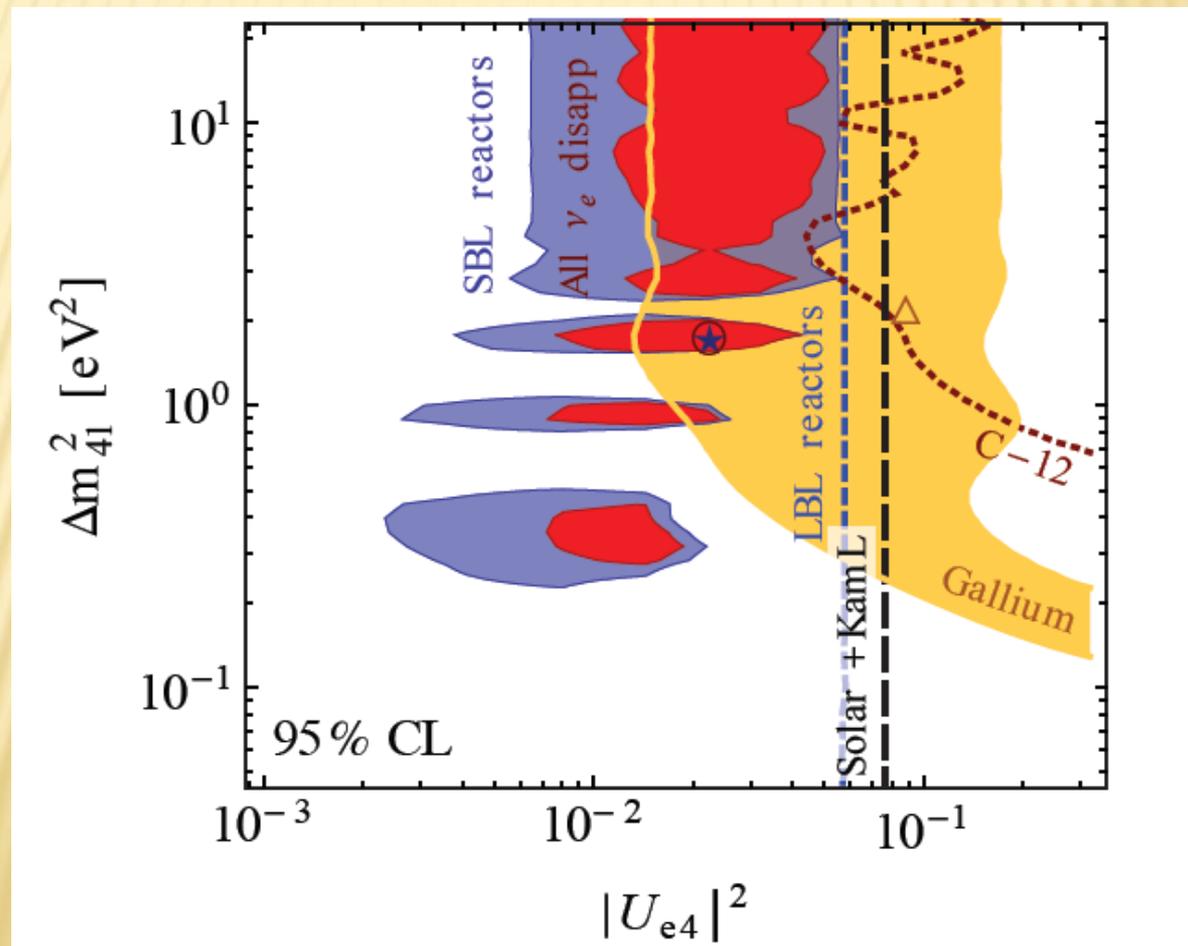
Курсовая работа  
студент 443 группы  
Сосновиков Артур Дмитриевич

---

Научный руководитель  
д.ф.-м.н. проф.  
Рубаков Валерий Анатольевич

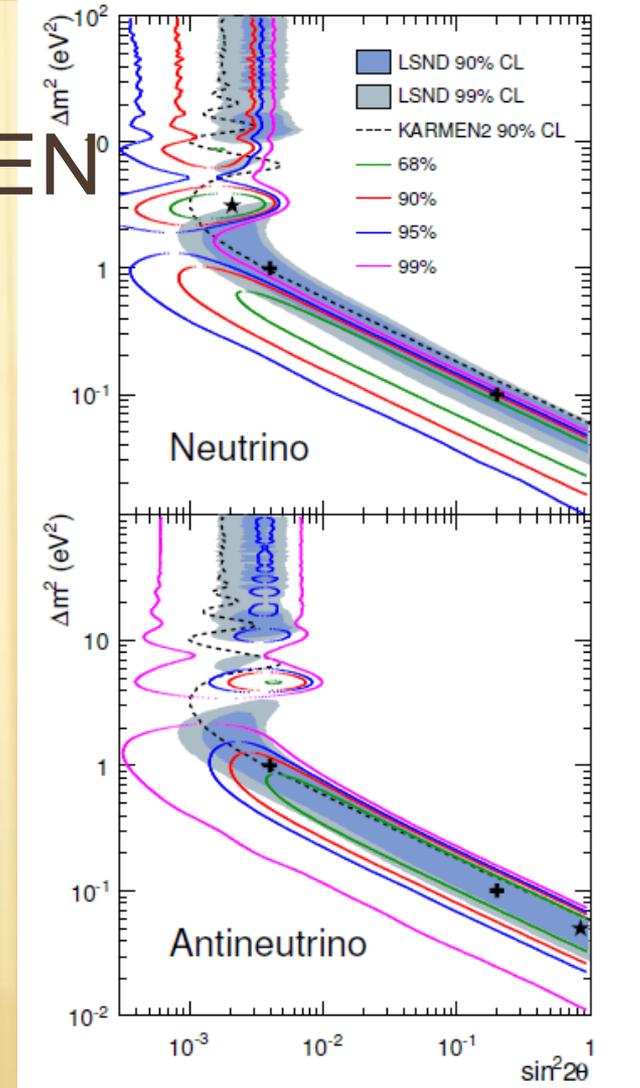
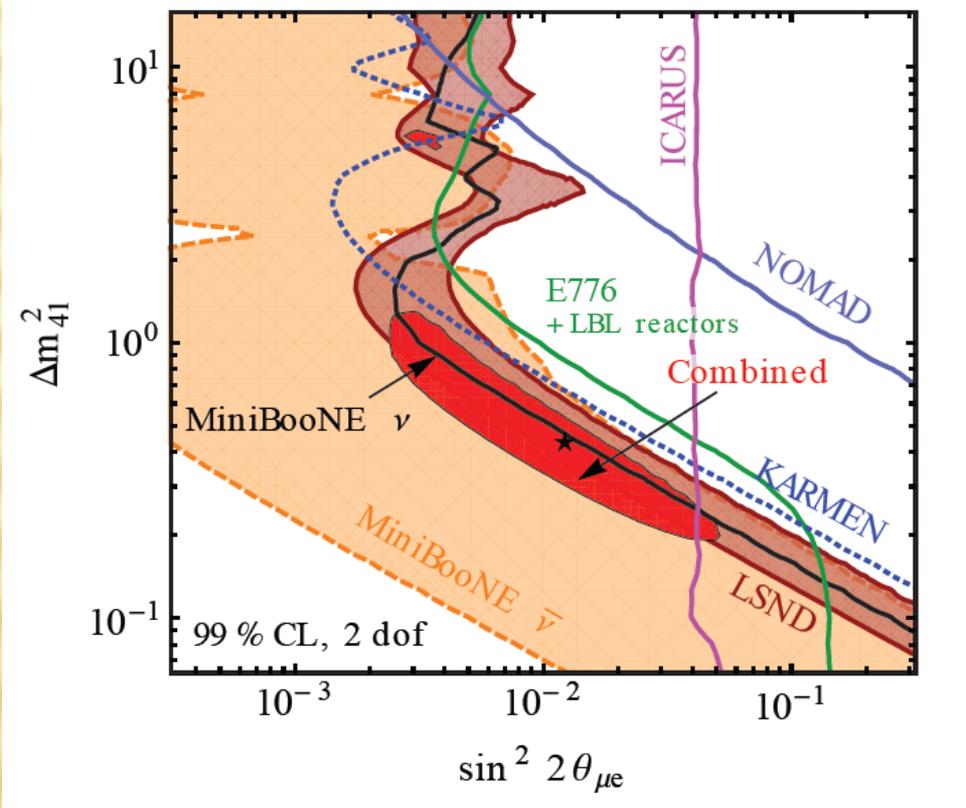
# ЭКСПЕРИМЕНТЫ

- ✘ Галиевые и реакторные аномалии:



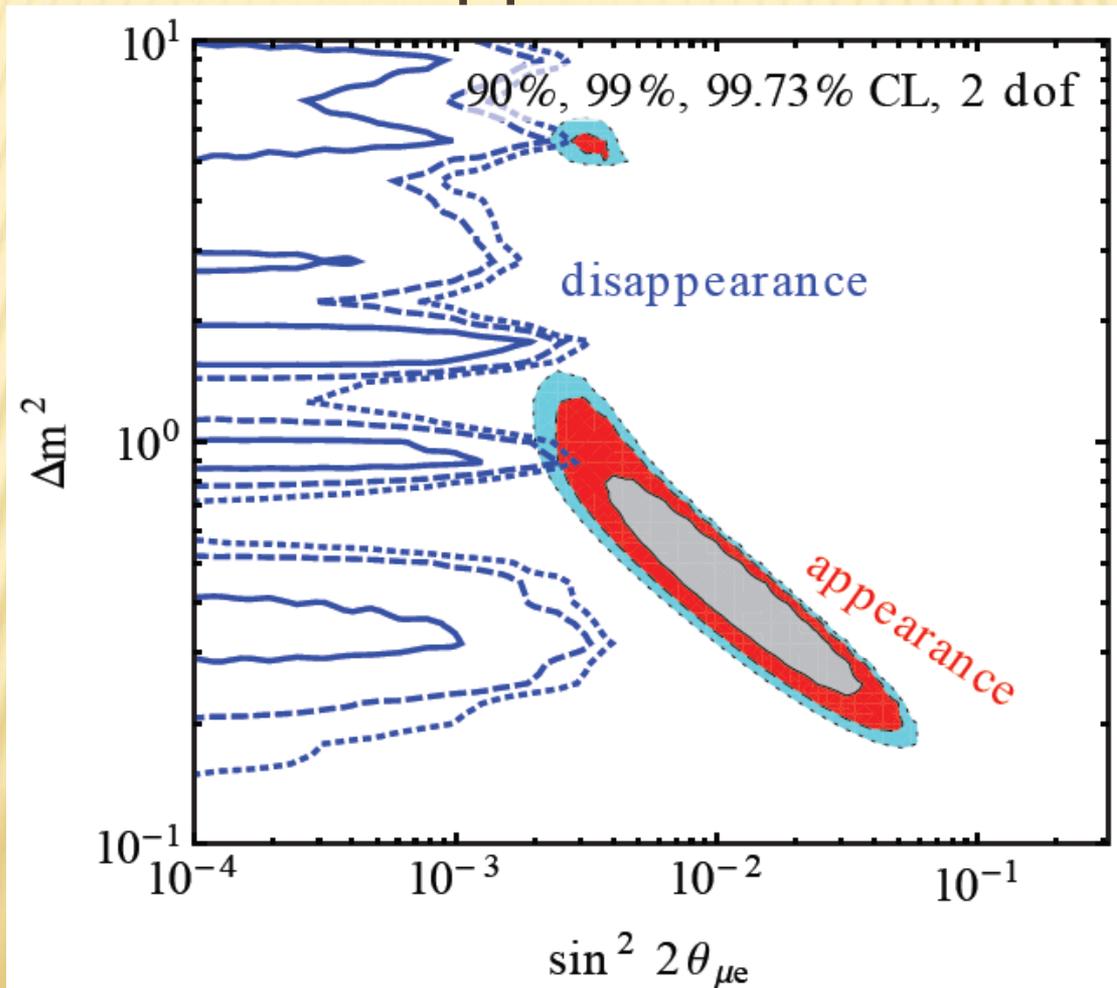
# ЭКСПЕРИМЕНТЫ

## ✗ LSND, MiniBooNE, KARMEN



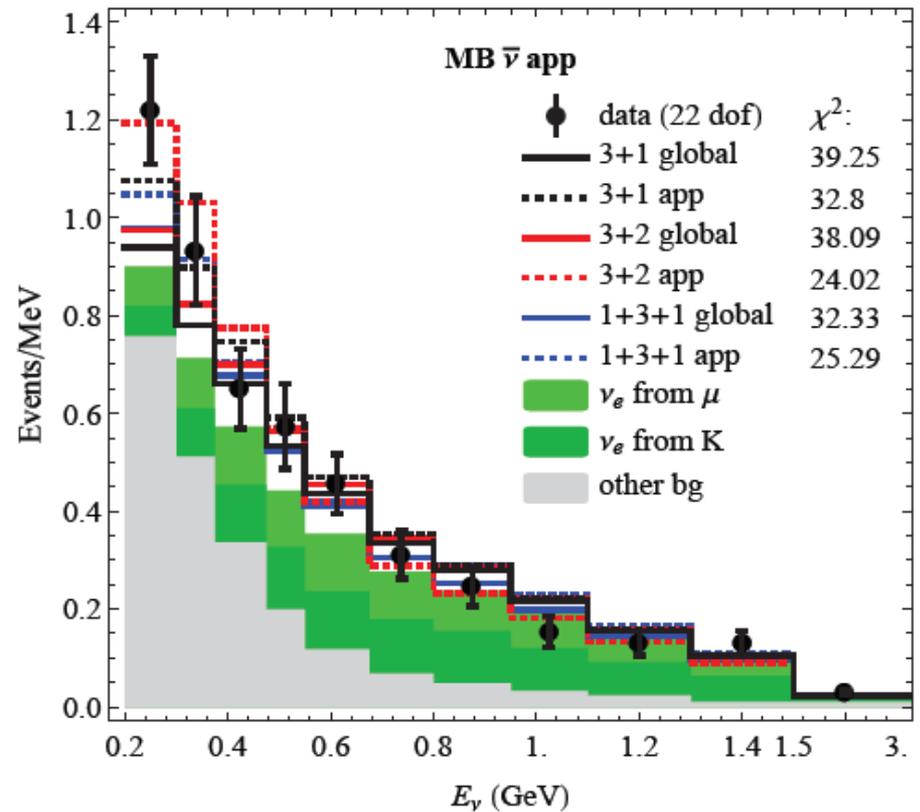
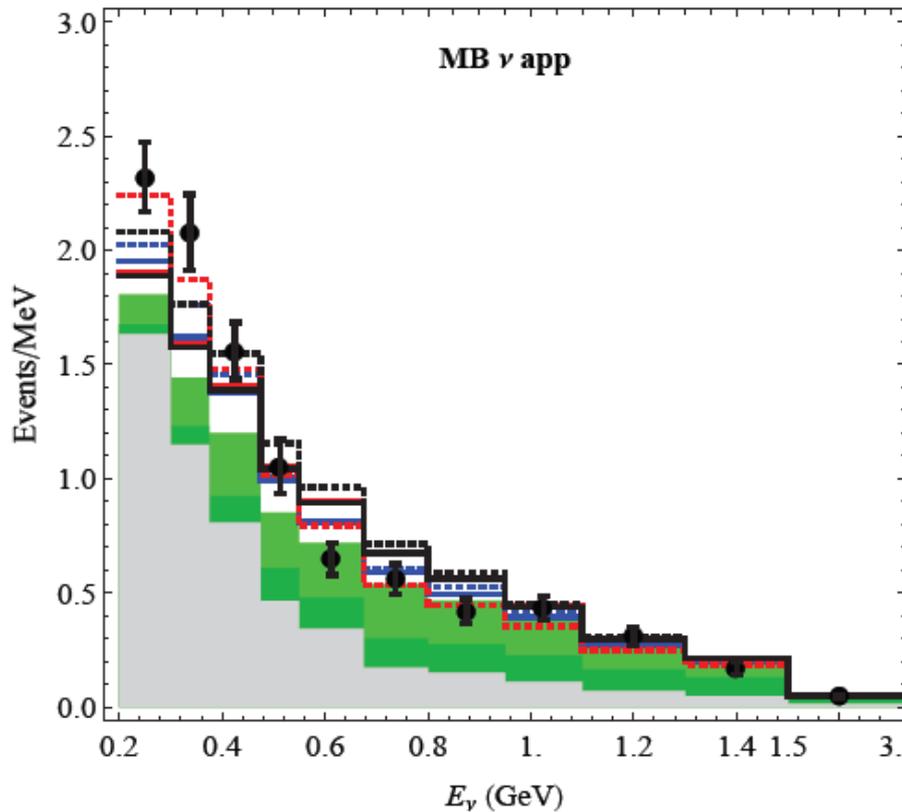
# ЭКСПЕРИМЕНТЫ

## ✘ Appearance-disappearance



# ЭКСПЕРИМЕНТЫ

## ✗ MiniBooNE



# СРТ-ТЕОРЕМА

---

## ✘ Условия теоремы:

- ✘ Лоренц-инвариантность лагранжиана
- ✘ Эрмитовость лагранжиана
- ✘ Локальность теории
- ✘ Соблюдение обычной связи между спином и статистикой

## ✘ Теорема Гринберга:

- ✘ Поля, нарушающие СРТ-симметрию, с необходимостью нарушают и Лоренц-инвариантность.

# СРТ-НАРУШАЮЩАЯ МОДЕЛЬ

Рассматривается модель:

$$\mathcal{L} = i\bar{\psi}_a \gamma^\mu \partial_\mu \psi_a - \left( \frac{m_{ab}}{2} \bar{\psi}_a^c \psi_b + h.c. \right) + \bar{\psi}_a \gamma^\mu a_\mu^{ab} \psi_b$$

Где  $a_\mu^{ab} = (a_0^{ab}, \vec{0})$ , флейворный индекс  $a = e, \mu, s$

Левый лагранжиан имеет вид:

$$\mathcal{L}_L = i\psi_{aL}^\dagger \bar{\sigma}^\mu \psi_{aL;\mu} - i\frac{m_{ab}}{2} (\psi_{aL}^T \sigma^2 \psi_{bL} - \psi_{aL}^\dagger \sigma^2 \psi_{bL}^*) + a_0^{ab} \psi_{aL}^\dagger \psi_{bL}.$$

# ЭФФЕКТИВНЫЙ ГАМИЛЬТониАН

Уравнения движения:

$$(p_0 + \vec{\sigma}\vec{p})u + im\sigma^2 v^* + au = 0,$$

$$(p_0 + \vec{\sigma}\vec{p})v - im\sigma^2 u^* - av = 0.$$

Эффективный гамильтониан:

$$h_{eff}^{\bar{\nu}} = \frac{m^2}{2p} - a = \begin{pmatrix} \bar{h}_{ee} & \bar{h}_{e\mu} & \bar{h}_{es} \\ \bar{h}_{e\mu} & \bar{h}_{\mu\mu} & \bar{h}_{\mu s} \\ \bar{h}_{es} & \bar{h}_{\mu s} & \bar{h}_{ss} \end{pmatrix}$$

$$h_{eff}^{\nu} = \frac{m^2}{2p} + a = \begin{pmatrix} h_{ee} & h_{e\mu} & h_{es} \\ h_{e\mu} & h_{\mu\mu} & h_{\mu s} \\ h_{es} & h_{\mu s} & h_{ss} \end{pmatrix}$$

# ДИАГОНАЛИЗАЦИЯ

$$h_{eff} = U E_{eff} U^\dagger$$

Уравнение на собственные значения:

$$\lambda^3 + a\lambda^2 + b\lambda + c = 0,$$

где

$$a = -Tr(h_{eff}^\nu)$$

$$b = \frac{1}{2}(Tr(h_{eff}^\nu))^2 - \frac{1}{2}Tr((h_{eff}^\nu)^2)$$

$$c = -Det(h_{eff}^\nu)$$

Собственные значения:

$$\lambda_1 = -2\sqrt{Q}\cos\left(\frac{\theta}{3}\right) - \frac{a}{3}$$

$$\lambda_2 = -2\sqrt{Q}\cos\left(\frac{\theta + 2\pi}{3}\right) - \frac{a}{3}$$

$$\lambda_3 = -2\sqrt{Q}\cos\left(\frac{\theta - 2\pi}{3}\right) - \frac{a}{3}$$

$$Q = \frac{1}{9}(a^2 - 3b)$$

$$R = \frac{1}{54}(2a^3 - 9ab + 27c)$$

$$\theta = \cos^{-1}\left(\frac{R}{\sqrt{Q^3}}\right)$$

# ДИАГОНАЛИЗАЦИЯ(ПРОДОЛЖЕНИЕ)

Матрица смешивания:

$$U = \begin{pmatrix} B_1 C_1 / N_1 & C_1 A_1 / N_1 & A_1 B_1 / N_1 \\ B_2 C_2 / N_2 & C_2 A_2 / N_2 & A_2 B_2 / N_2 \\ B_3 C_3 / N_3 & C_3 A_3 / N_3 & A_3 B_3 / N_3 \end{pmatrix}$$

где

$$A_i = h_{\mu s}(h_{ee} - \lambda_i) - h_{se}h_{e\mu}$$

$$B_i = h_{se}(h_{\mu\mu} - \lambda_i) - h_{e\mu}h_{\mu s}$$

$$C_i = h_{e\mu}(h_{ss} - \lambda_i) - h_{\mu s}h_{se}$$

$$N_i = \sqrt{A_i^2 B_i^2 + B_i^2 C_i^2 + C_i^2 A_i^2}$$

# ВЕРОЯТНОСТЬ ОСЦИЛЛЯЦИЙ

Для SBL экспериментов:

$$P_{\nu_\alpha \rightarrow \nu_\alpha} = 1 - \sin^2(2\theta_{eff}) \sin^2\left(\frac{\Delta_{31}L}{2}\right)$$

$$\sin^2(2\theta_{eff}) = 4|U_{\alpha 3}|^2(1 - |U_{\alpha 3}|^2)$$

$$P_{\nu_\alpha \rightarrow \nu_\beta} = \sin^2(2\theta_{eff}) \sin^2\left(\frac{\Delta_{31}L}{2}\right)$$

$$\sin^2(2\theta_{eff}) = 4|U_{\alpha 3}|^2|U_{\beta 3}|^2$$

---

**СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!**