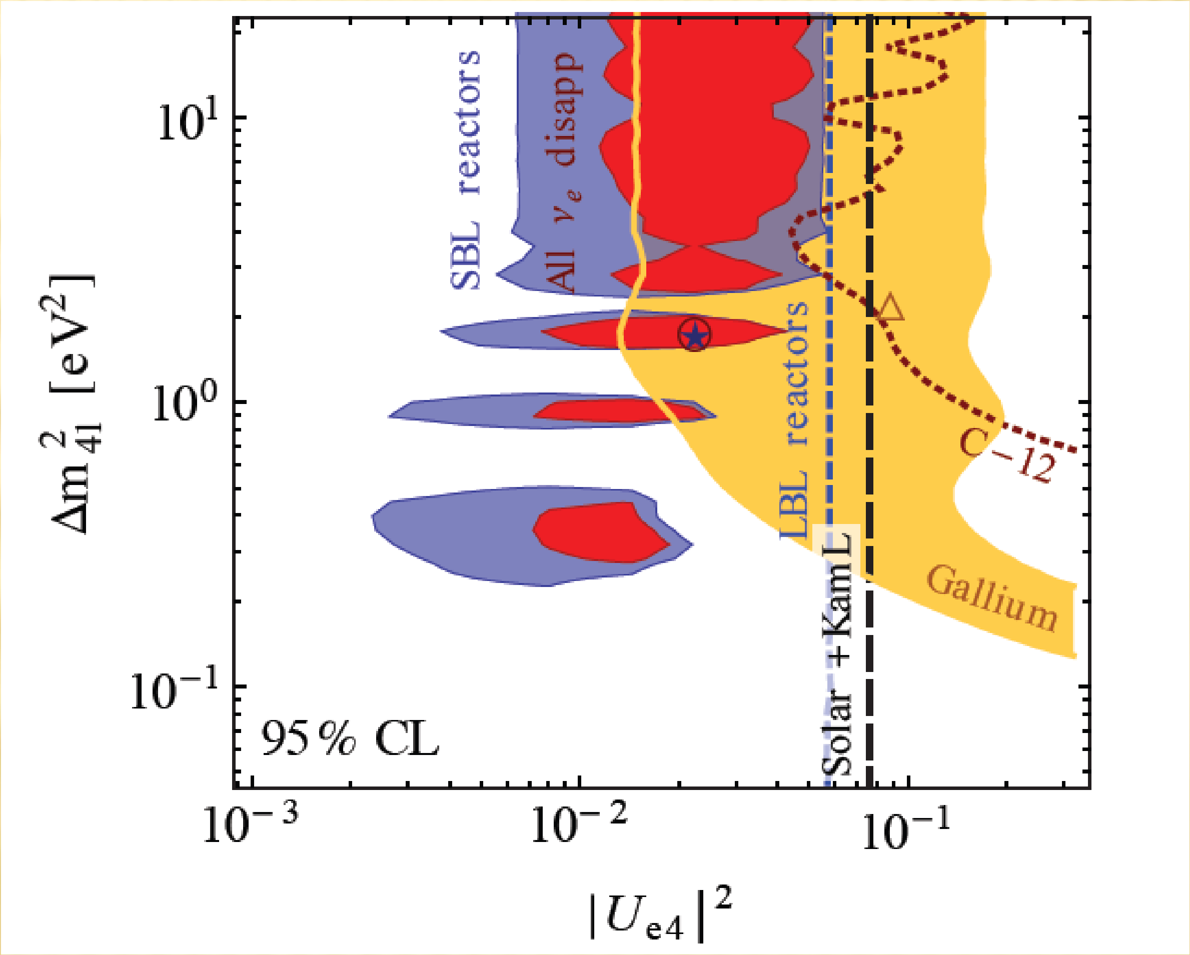
НЕЙТРИНО И CPT

Курсовая работа
студент 443 группы
Сосновиков Артур Дмитриевич

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

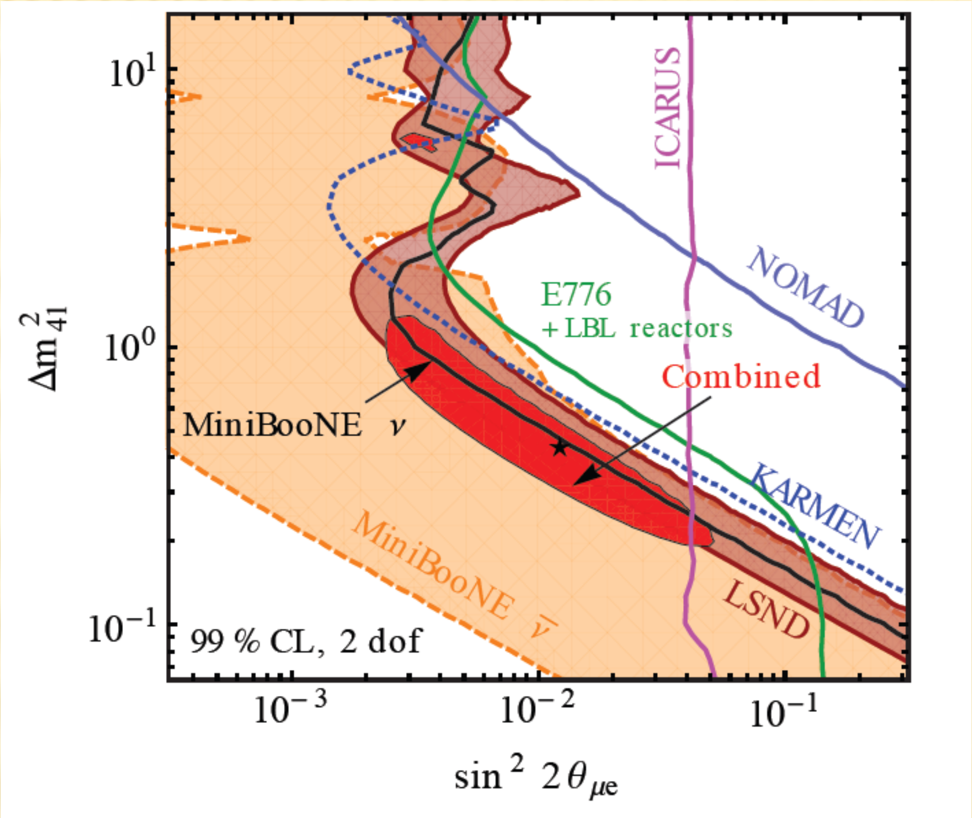
ЭКСПЕРИМЕНТЫ

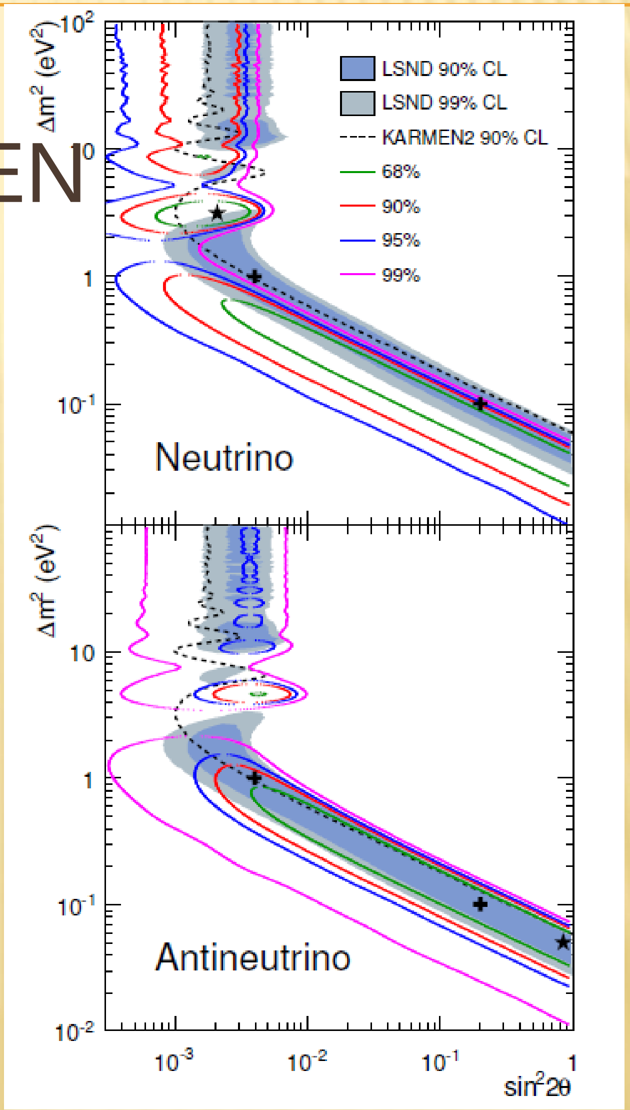
- Галиевые и реакторные аномалии:



ЭКСПЕРИМЕНТЫ

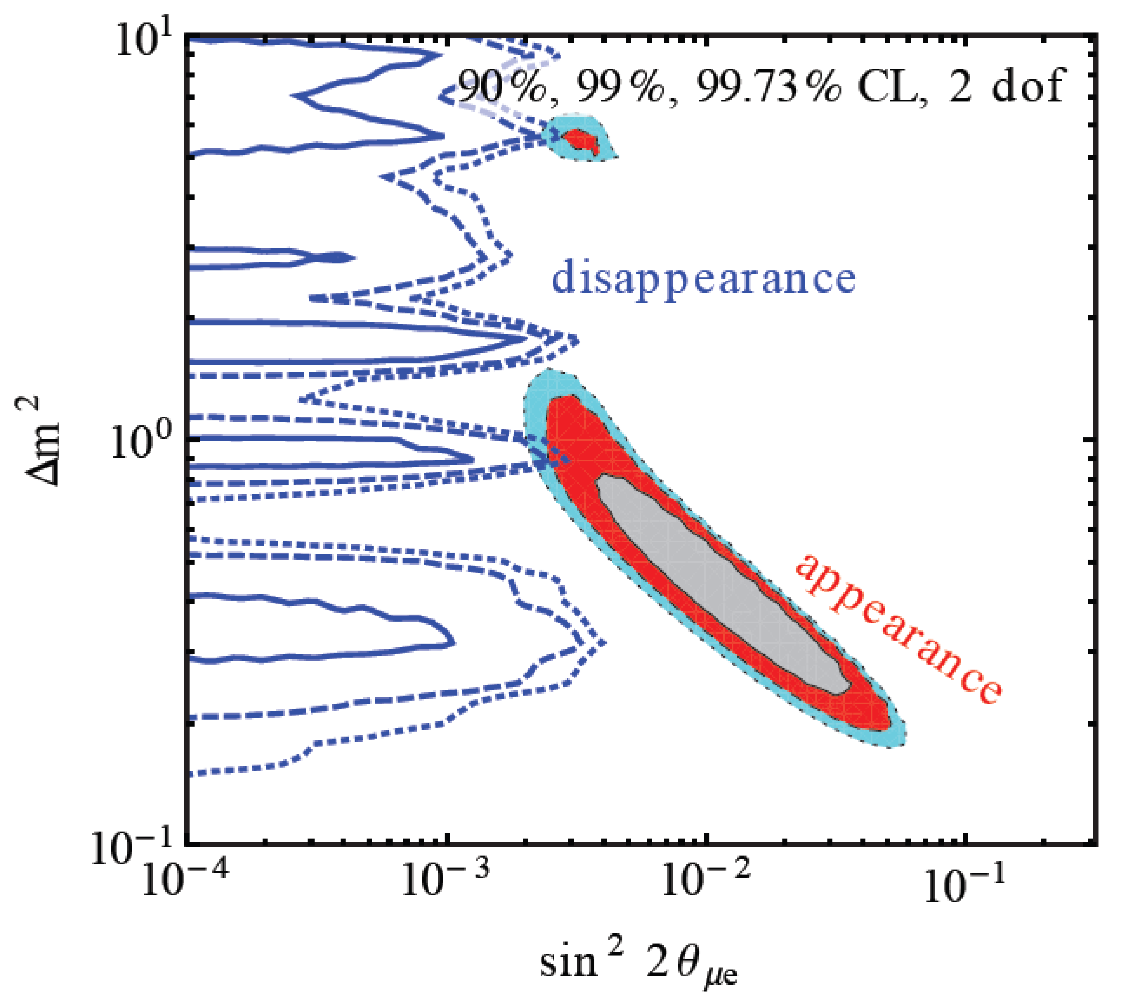
- LSND, MiniBooNE, KARMEN





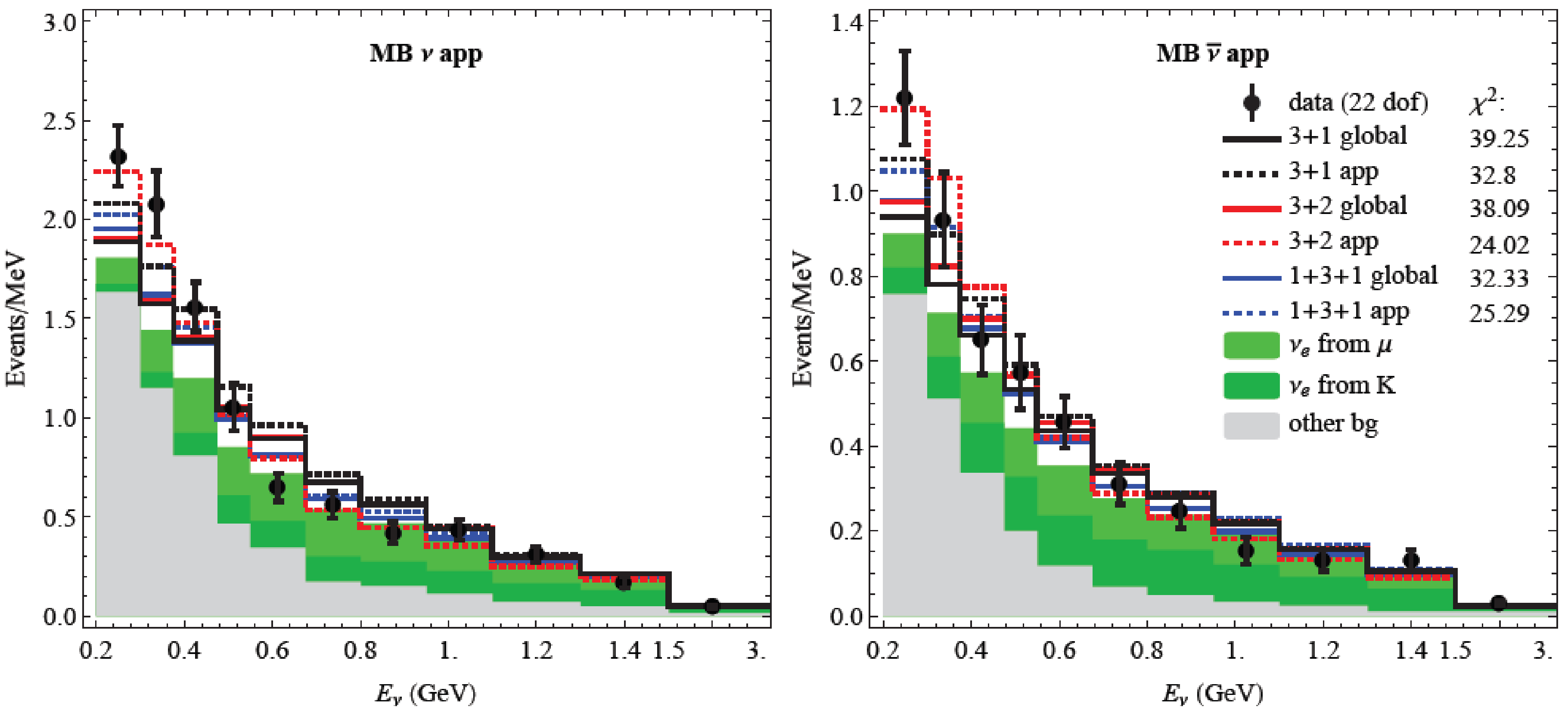
ЭКСПЕРИМЕНТЫ

- Appearance-disappearance



ЭКСПЕРИМЕНТЫ

- MiniBooNE



CPT-теорема

- Условия теоремы:
- Лоренц-инвариантность лагранжиана
- Эрмитовость лагранжиана
- Локальность теории
- Соблюдение обычной связи между спином и статистикой

- Теорема Гринберга:
- Поля, нарушающие CPT-симметрию, с необходимостью нарушают и Лоренц-инвариантность.

CPT-нарушающая модель

Рассматривается модель:

$$\mathscr{L} = i\bar{\psi}_a\gamma^\mu\partial_\mu\psi_a - (\frac{m_{ab}}{2}\bar{\psi}^c_a\psi_b + h.c.) + \bar{\psi}_a\gamma^\mu a^{ab}_\mu\psi_b$$

Где $a^{ab}_\mu = (a^{ab}_0, \vec{0})$, флейворный индекс $a = e, \mu, s$

Левый лагранжиан имеет вид:

$$\mathscr{L}_L = i\psi^\dagger_{a_L}\bar{\sigma}^\mu\psi_{a_L;\mu} - i\frac{m_{ab}}{2}(\psi^T_{a_L}\sigma^2\psi_{b_L} - \psi^\dagger_{a_L}\sigma^2\psi^*_{b_L}) + a^{ab}_0\psi^\dagger_{a_L}\psi_{b_L}.$$

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:

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

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

Диагонализация

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

Уравнение на собственные значения: $\lambda^3 + a\lambda^2 + b\lambda + c = 0,$

где

$$a = -Tr(h^\nu_{eff})$$
$$b = \frac{1}{2}(Tr(h^\nu_{eff}))^2 - \frac{1}{2}Tr((h^\nu_{eff})^2)$$
$$c = -Det(h^\nu_{eff})$$

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:

$$U = \begin{pmatrix} B_1C_1/N_1 & C_1A_1/N_1 & A_1B_1/N_1 \\ B_2C_2/N_2 & C_2A_2/N_2 & A_2B_2/N_2 \\ B_3C_3/N_3 & C_3A_3/N_3 & A_3B_3/N_3 \end{pmatrix}$$

где

$$A_i = h_{\mu s}(h_{ee} - \lambda_i) - h_{se}h_{e\mu}$$
$$B_i = h_{se}(h_{\mu\mu} - \lambda_i) - h_{e\mu}h_{\mu s}$$
$$C_i = h_{e\mu}(h_{ss} - \lambda_i) - h_{\mu s}h_{se}$$
$$N_i = \sqrt{A_i^2B_i^2 + B_i^2C_i^2 + C_i^2A_i^2}$$

Вероятность осцилляций

Для SBL экспериментов:

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

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

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

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

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!