

Рассеяние реликтовых нейтрино на нейтроне

В. А. Ли

ЛЯП ОИЯИ

ХII НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ МОЛОДЫХ УЧЁНЫХ
И СПЕЦИАЛИСТОВ, ОИЯИ

Only massive ν_i neutrinos

Для экспериментов с большой базой или очень низкой энергией следующие три реакции независимы

$$\nu_i + n \rightarrow e^- + p, \quad i = 1, 2, 3$$

это будет означать, что складываются не амплитуды, а вероятности этих процессов. Поколения лептонов и неопределенность в иерархии масс нейтрино

$$\begin{pmatrix} e \\ \nu_1 \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} \mu \\ \nu_2 \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} \tau \\ \nu_3 \end{pmatrix}$$

Only massive ν_i neutrinos

Для экспериментов с большой базой или очень низкой энергией следующие три реакции независимы

$$\nu_i + n \rightarrow e^- + p, \quad i = 1, 2, 3$$

это будет означать, что складываются не амплитуды, а вероятности этих процессов. Поколения лептонов и неопределенность в иерархии масс нейтрино

$$\begin{pmatrix} e \\ \nu_1 \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} \mu \\ \nu_2 \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} \tau \\ \nu_3 \end{pmatrix}$$

Matrix elements

При малых передачах импульса $q^2 \ll m_W^2$, запишем матричные элементы этих процессов

$$\mathcal{M}_i = \bar{G} \bar{p} \gamma_\mu (1 - \lambda \gamma_5) n \bar{e} V_{ei}^{PMNS} \gamma^\mu (1 - \gamma_5) \nu_i, \quad \text{no sum over } i$$

$$\bar{G} = \frac{G_F \cos \theta_C}{\sqrt{2}} g_V \quad \lambda = \frac{g_A}{g_V}$$

$$q^2/m_W^2 \rightarrow 0 : \quad g_A = 1.25, \quad g_V^2 = 1.0275$$

$$\lambda^2 \approx 1.52 .$$

$$\cos \theta_C \approx |V_{ud}| \approx 0.97$$

Matrix elements

При малых передачах импульса $q^2 \ll m_W^2$, запишем матричные элементы этих процессов

$$\mathcal{M}_i = \bar{G} \bar{p} \gamma_\mu (1 - \lambda \gamma_5) n \bar{e} V_{ei}^{PMNS} \gamma^\mu (1 - \gamma_5) \nu_i, \quad \text{no sum over } i$$

$$\bar{G} = \frac{G_F \cos \theta_C}{\sqrt{2}} g_V \quad \lambda = \frac{g_A}{g_V}$$

$$q^2/m_W^2 \rightarrow 0 : \quad g_A = 1.25, \quad g_V^2 = 1.0275$$

$$\lambda^2 \approx 1.52 .$$

$$\cos \theta_C \approx |V_{ud}| \approx 0.97$$

Matrix elements

После несколько громоздких, но учебно-полезных, преобразований, получим квадрат модуля матричного элемента

$$\sum_{s_n, s_p, s_e, s_\nu} |\mathcal{M}_0|^2 =$$

$$2\bar{G}^2 32 [(1 + \lambda)^2 (p_p p_e)(p_n p_\nu) + (1 - \lambda)^2 (p_p p_\nu)(p_n p_e) - (1 - \lambda^2) m_p m_n (p$$

Очевидно,

$$|\mathcal{M}_i|^2 = |V_{ei}|^2 \cdot |\mathcal{M}_0|^2$$

с заменой $\nu \rightarrow \nu_i$.

Cross section

В лабораторной системе отсчета, в которой нейтрон покоится, запишем дифференциальное сечение рассеяния

$$d\sigma = \frac{(2\pi)^4 \delta^3(\mathbf{p}_p + \mathbf{p}_e - \mathbf{p}_\nu) \delta(m_n + E_\nu - E_p - E_e)}{4m_n E_\nu v_\nu} \cdot \frac{1}{4} \sum_s |\mathcal{M}|^2 \frac{d^3 p_p}{(2\pi)^3 2E_p} \frac{d^3 p_e}{(2\pi)^3 2E_e},$$

Kinematics

Пропуская здесь кинематические соотношения, можно сделать следующий вывод : при энергиях нейтрино меньше 100 МэВ, импульс электрона не зависит от угла (между импульсом нейтрино и электрона)

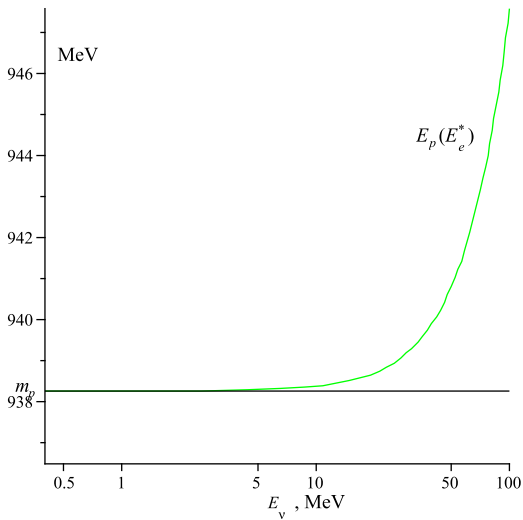
$$p_e(\theta) \rightarrow p_e^* = \sqrt{E_e^{*2} - m_e^2}, \quad E_e^* = \frac{s + m_e^2 - m_p^2}{2\sqrt{s}}$$

$$s \approx m_n^2 + 2E_\nu m_n$$

и энергия протона несущественно отличается от его массы.
Полное сечение

$$\sigma = \frac{\bar{G}^2}{\pi v_\nu} E_e^* p_e^* \left[2 + 2\lambda^2 - (1 - \lambda^2) \frac{m_p}{E_p} \right] \approx \frac{\bar{G}^2}{\pi v_\nu} E_e^* p_e^* [1 + 3\lambda^2]$$

Kinematics



Today range of mixing angles

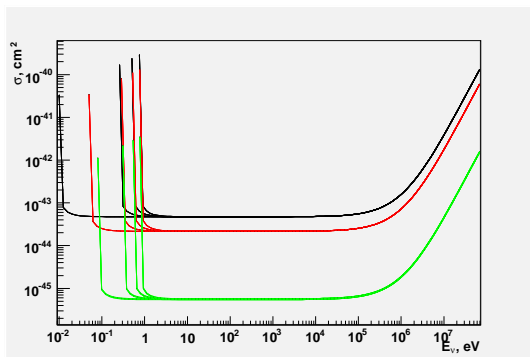
<http://www.jinr.ru/pontecorvo07/Lectures/Mangano.ppt>, and
A. Strumia and F. Vissani, “Neutrino masses and mixings and.,”
arXiv:hep-ph/0606054.

$$\sin^2 \theta_{12} = 0.314(1_{-0.15}^{+0.18}) \quad (1)$$

$$\sin^2 \theta_{23} = 0.45(1_{-0.20}^{+0.35}) \quad (2)$$

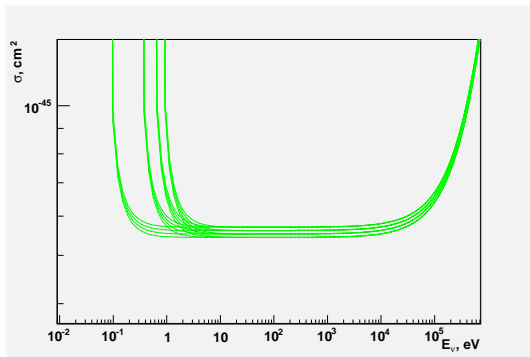
$$\sin^2 \theta_{13} = 0.8(1_{-0.8}^{+2.3})10^{-2} \quad (3)$$

Cross sections



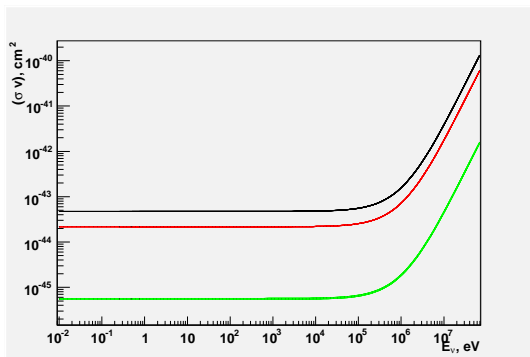
Графики сечений σ_i , σ_1 — черные кривые, σ_2 — красные, σ_3 — зеленые, с учетом изменения углов смешивания в допустимых пределах и изменения масс нейтрино m_{ν_i} в пределах 0.01..1 eV.

Cross sections



“увеличенный” график сечения σ_3

Cross sections



Графики сечений $\sigma_i \cdot v_{\nu_i}$

Event rate

Simple case:

$$R = n(\sigma v) = n\sigma_0 c$$

$$R_{\text{relic}} = \frac{112}{2} \text{cm}^{-3} (\sim 10^{-44}) \text{cm}^2 c \approx 10^{-32} \text{s}^{-1}$$

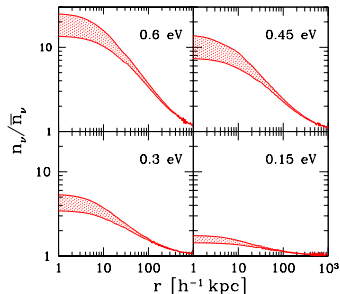
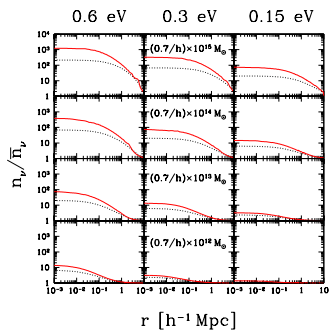
Что хорошо согласуется с оценкой P. Vogel *et al.*,
arXiv:0710.5312 [astro-ph].

Скорость счета должна быть такого вида в нашем случае

$$R = \sigma_0 \sum_i \langle n_i \rangle x_i |V_{ei}|^2 = \sigma_0 \langle n \rangle \sum_i x_i |V_{ei}|^2$$

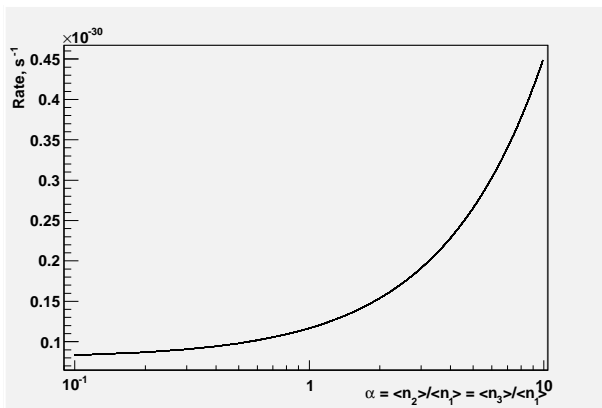
последнее равенство справедливо если плотности $\langle n_i \rangle$
одинаковы.

Gravitational clustering

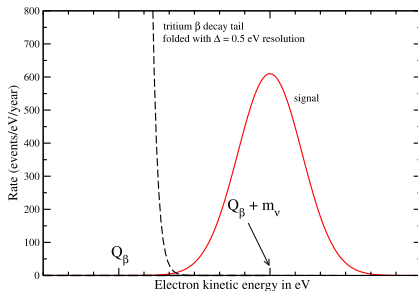


©A. Ringwald, “How to detect big bang relic neutrinos?,”
arXiv:hep-ph/0505024.

Average number density of different massive relic neutrinos



Scattering of relic neutrinos on radioactive nuclei



©P. Vogel *et al.*, “Charged current cross section for massive cosmological neutrinos impinging on radioactive nuclei,”
arXiv:0710.5312 [astro-ph].

Conclusions and prolegomenon of this work about relic neutrinos detection

- посчитано полное сечение с учетом точной кинематики и массы нейтрино
- скорость счета и чувствительность к различным плотностям разных массовых нейтрино. Зависимость скорости счета от изменения углов смешивания в матрице PMNS и масс нейтрино в допустимых сегодняшними экспериментами значениях незначительно.
- реликтовые нейтрино возможно обнаружить экспериментально — 100 граммов трития — 10 событий в год.

Conclusions and prolegomenon of this work about relic neutrinos detection

- E. Holzschuh, “Measurement Of The Neutrino Mass From Tritium Beta Decay,” Rept. Prog. Phys. **55**, 1035 (1992).
- R. Lazauskas, P. Vogel and C. Volpe, “Charged current cross section for massive cosmological neutrinos impinging on radioactive nuclei,” arXiv:0710.5312 [astro-ph].
- A. G. Cocco, G. Mangano and M. Messina, “Probing low energy neutrino backgrounds with neutrino capture on beta decaying nuclei,” JCAP **0706**, 015 (2007) [arXiv:hep-ph/0703075].
- A. Ringwald, “How to detect big bang relic neutrinos?,” arXiv:hep-ph/0505024.