

Существующие экспериментальные ограничения на стерильные нейтрино и перспективы их поиска на Троицком спектрометре

И.И. Ткачев

Марковские чтения, ИЯИ РАН

14 мая 2013

Давно ищем ...

Стандартная модель не объясняет

- Осцилляции нейтрино
- Барионную асимметрию Вселенной
- Темную материю

Давно ищем ...

Стандартная модель не объясняет

- Осцилляции нейтрино
- Барионную асимметрию Вселенной
- Темную материю

Стерильные нейтрино.

Известно что

- Нейтрино существуют
- Нейтрино имеют массу

Неизвестна

- Массовая матрица нейтрино

Стерильные нейтрино

После минимального расширения Стандартной Модели с включением правых нейтрино N_j , $j = 1, 2, 3$

$$\mathcal{L} = \mathcal{L}_{\text{SM}} + i\bar{N}_j \partial_\mu \gamma^\mu N_j - \left[\lambda_{ji} N_j (H L_i) + \frac{M_{ji}}{2} N_j N_i + \text{h.c.} \right]$$

появляется возможность объяснения:

- Ненулевой массы нейтрино и осцилляций
 - Если $m_D \equiv \lambda \langle H \rangle \ll M$, работает стандартная формула "see-saw" $m_\nu = m_D M^{-1} m_D^T$
- Барионной асимметрии, если $M_1 \gtrsim 10^8 \text{ GeV}$

Fukugita & Yanagida, (86)

Стерильные нейтрино

После минимального расширения Стандартной Модели с включением правых нейтрино N_j , $j = 1, 2, 3$

$$\mathcal{L} = \mathcal{L}_{\text{SM}} + i\bar{N}_j \partial_\mu \gamma^\mu N_j - \left[\lambda_{ji} N_j (H L_i) + \frac{M_{ji}}{2} N_j N_i + \text{h.c.} \right]$$

появляется возможность объяснения:

- Темной материи, если $M_1 \gtrsim \text{keV}$

Dodelson & Widrow (94)

Asaka, Blanchet & Shaposhnikov (2005)

- Темной материи и барионной асимметрии, если $M_1 \gtrsim \text{keV}$ и $M_2, M_3 \sim \text{GeV}$

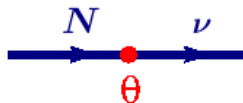
Akhmedov, Rubakov & Smirnov (98)

Asaka & Shaposhnikov (05)

Стерильные нейтрино

Важный параметр - смешивание активных и стерильных нейтрино

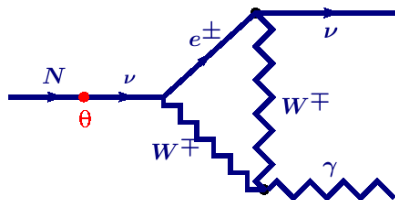
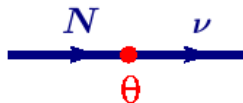
$$\theta_{1\alpha}^2 = \frac{|M_{1\alpha}^D|^2}{M_1^2}, \quad \alpha = e, \mu, \tau$$



Стерильные нейтрино

Важный параметр - смешивание активных и стерильных нейтрино

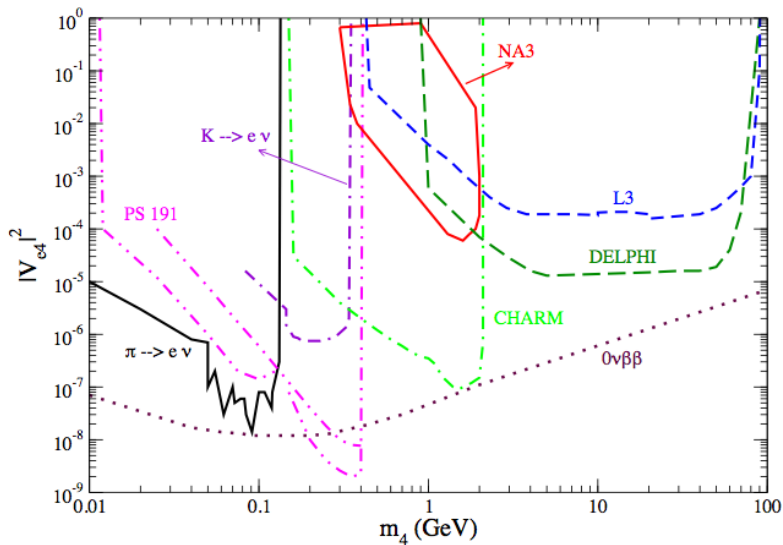
$$\theta_{1\alpha}^2 = \frac{|M_{1\alpha}^D|^2}{M_1^2}, \quad \alpha = e, \mu, \tau$$



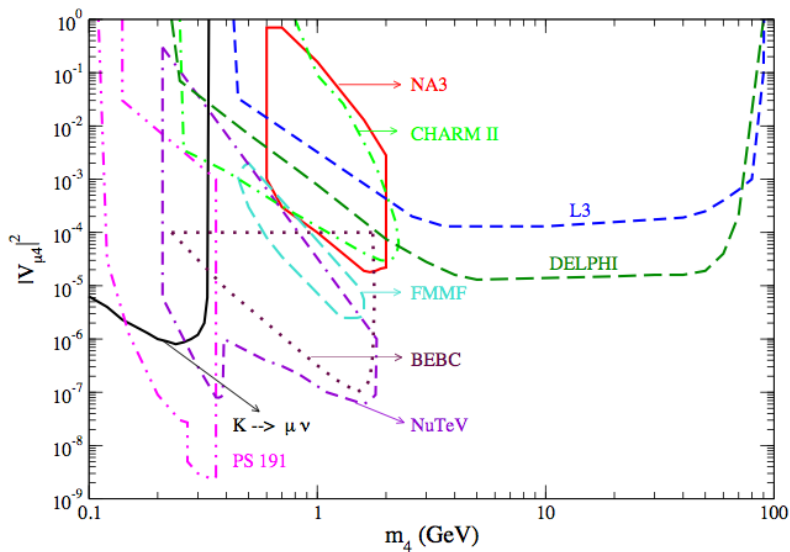
Ограничения на стерильные нейтрино

- Лабораторные
 - $m \lesssim 100 \text{ eV}$: осцилляционные эксперименты
 - $10 \text{ eV} \lesssim m \lesssim \text{MeV}$: радиоактивный распад
 - $\text{MeV} \lesssim m \lesssim \text{GeV}$: лептонные распады мезонов
 - $\text{MeV} \lesssim m \lesssim 100 \text{ GeV}$: распады стрильных нейтрино
- Космологические и астрофизические

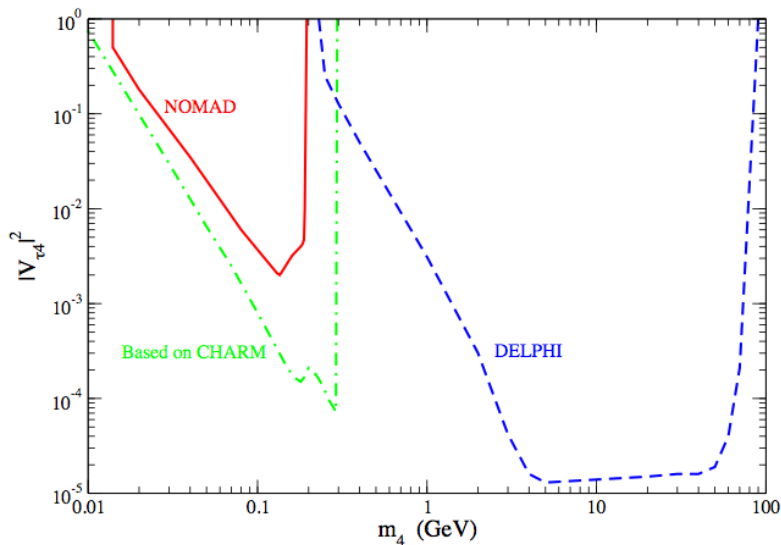
Ограничения на тяжелые нейтрино



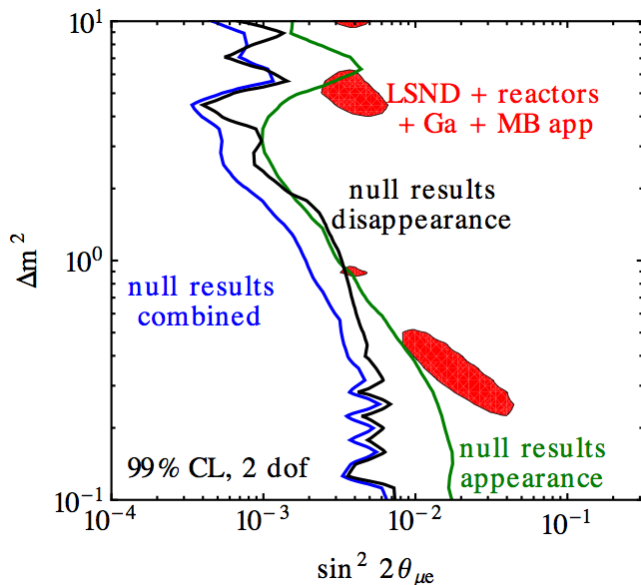
Ограничения на тяжелые нейтрино



Ограничения на тяжелые нейтрино



Ограничения на легкие нейтрино



Использованы данные экспериментов:

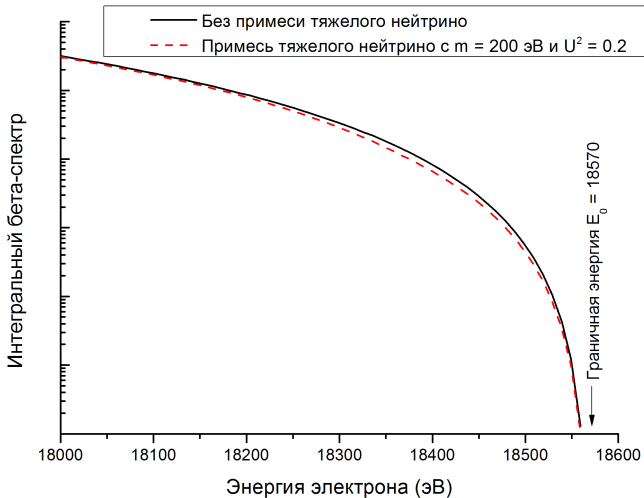
Experiment	dof	channel	comments
Short-baseline reactors	76	$\bar{\nu}_e \rightarrow \bar{\nu}_e$	SBL
Long-baseline reactors	39	$\bar{\nu}_e \rightarrow \bar{\nu}_e$	LBL
KamLAND	17	$\bar{\nu}_e \rightarrow \bar{\nu}_e$	
Gallium	4	$\nu_e \rightarrow \nu_e$	SBL
Solar neutrinos	261	$\nu_e \rightarrow \nu_e + \text{NC data}$	
LSND/KARMEN ^{12}C	32	$\nu_e \rightarrow \nu_e$	SBL
CDHS	15	$\nu_\mu \rightarrow \nu_\mu$	SBL
MiniBooNE ν	15	$\nu_\mu \rightarrow \nu_\mu$	SBL
MiniBooNE $\bar{\nu}$	42	$\bar{\nu}_\mu \rightarrow \bar{\nu}_\mu$	SBL
MINOS CC	20	$\nu_\mu \rightarrow \nu_\mu$	LBL
MINOS NC	20	$\nu_\mu \rightarrow \nu_s$	LBL
Atmospheric neutrinos	80	$\bar{\nu}_\mu^{(-)} \rightarrow \bar{\nu}_\mu^{(-)} + \text{NC matter effect}$	
LSND	11	$\bar{\nu}_\mu \rightarrow \bar{\nu}_e$	SBL
KARMEN	9	$\bar{\nu}_\mu \rightarrow \bar{\nu}_e$	SBL
NOMAD	1	$\nu_\mu \rightarrow \nu_e$	SBL
MiniBooNE ν	11	$\nu_\mu \rightarrow \nu_e$	SBL
MiniBooNE $\bar{\nu}$	11	$\bar{\nu}_\mu \rightarrow \bar{\nu}_e$	SBL
E776	24	$\bar{\nu}_\mu^{(-)} \rightarrow \bar{\nu}_e^{(-)}$	SBL
ICARUS	1	$\nu_\mu \rightarrow \nu_e$	LBL
total	689		

Троицкий спектрометр

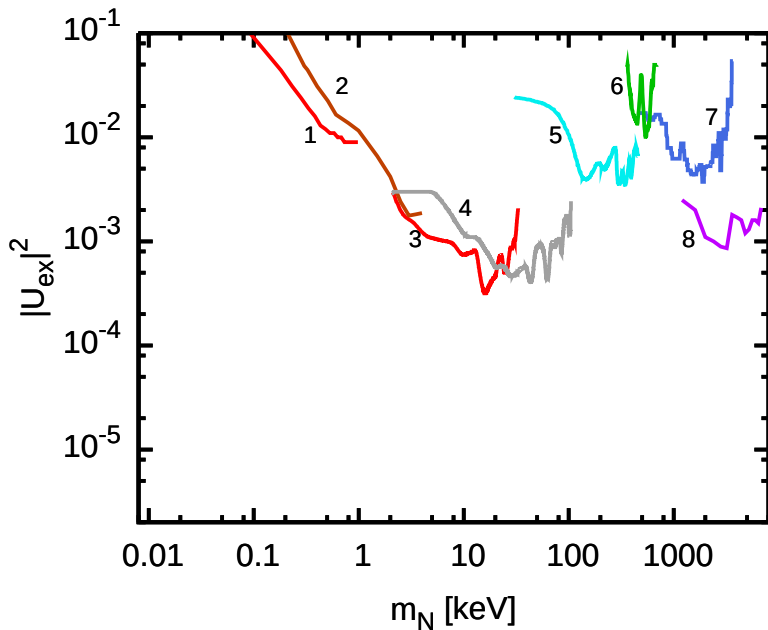


Владимир Михайлович Лобашев

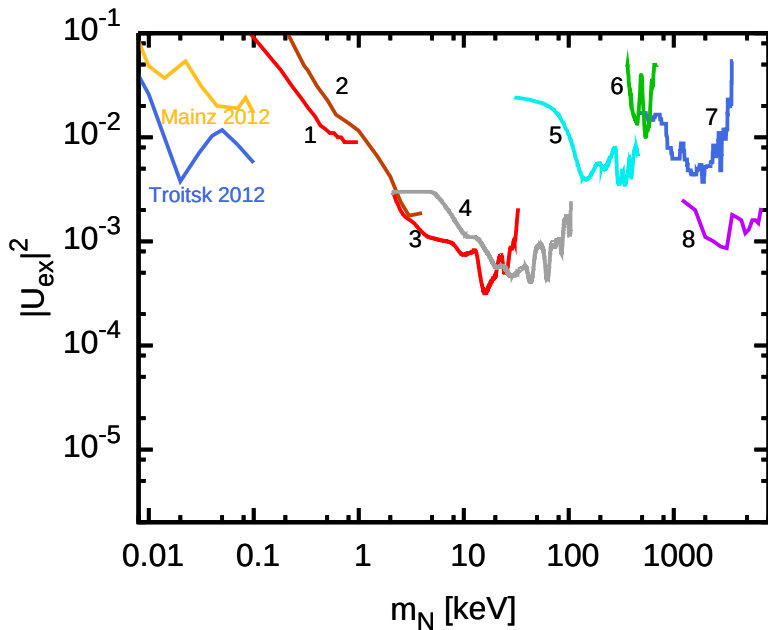
Спектр β -распада



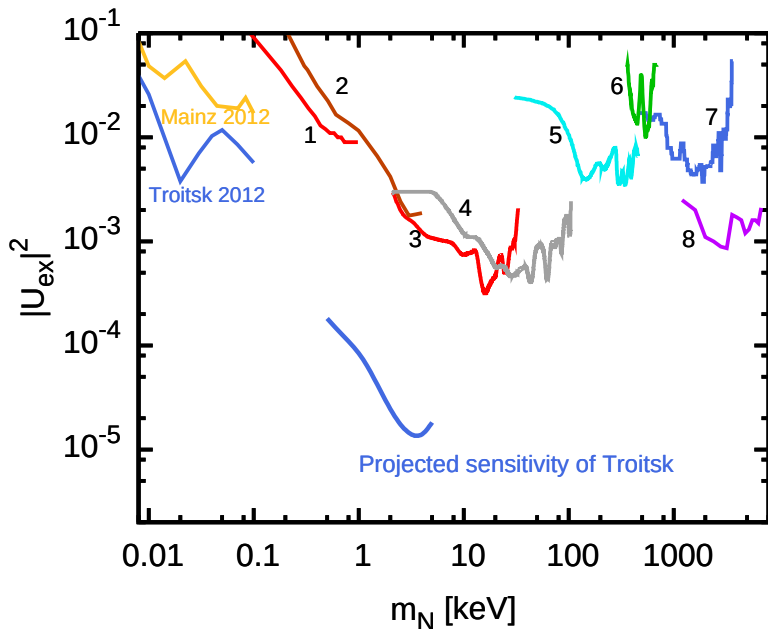
Ограничения из β -спектра



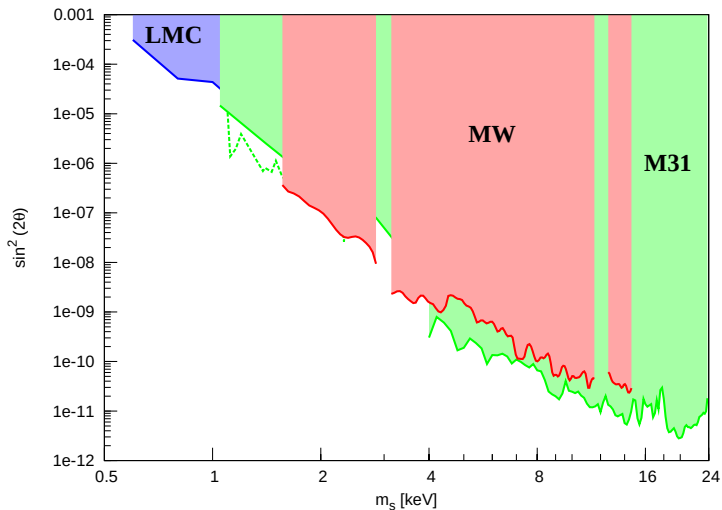
Ограничения из β -спектра



Ограничения из β -спектра



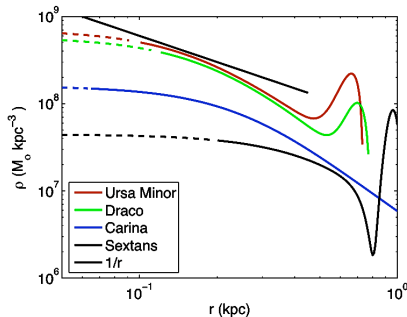
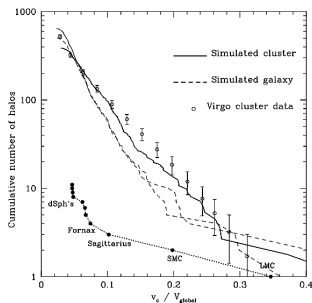
Астрофизические ограничения



Темная материя из стерильных нейтрино светится, $N \rightarrow \nu_e, \gamma$

Проблемы холодной темной материи

На малых космологических масштабах



Избыточное число dSph

Сингулярные профили dSph

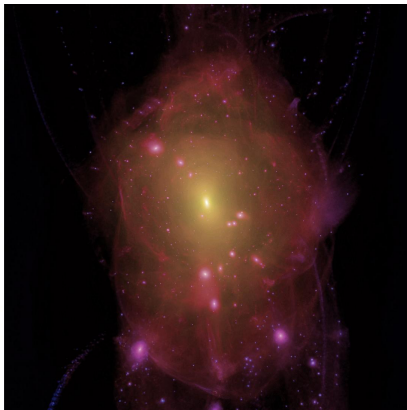
Теплая темная материя

Галактическое гало:

CDM



WDM



2 keV нетермальное стерильное нейтрино лучше согласуется с наблюдениями

Троицкая установка имеет большой научный потенциал. Существующие экспериментальные ограничения на стерильные нейтрино в космологически интересной области масс **100 eV - 10 keV** можно улучшить на два порядка.