

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова

ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

кафедра физики элементарных частиц

# Источники нейтрино

*Работу выполнила:*

Степанова Анна

*Научный руководитель:*

Наумов Д. В.

Научный соруководитель:

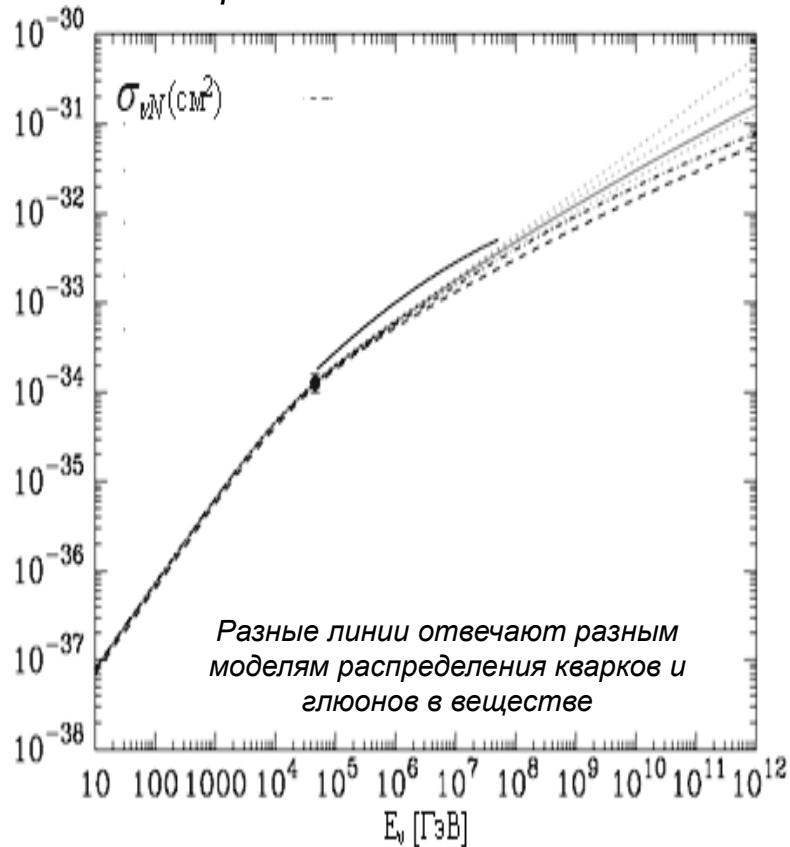
Колупаева Л. Д.

*Цель: рассмотреть различные виды источников нейтрино.*

*Актуальность: в связи с активным развитием физики нейтрино необходимо обобщить информацию о всех видах источников этих частиц и установить четкие границы их естественного и искусственного происхождения.*

# Нейтрино

Зависимость сечения взаимодействия от энергии



Характеристика	Значение
Спин, $J$	1/2
Чётность, $P$	не определена
Электрический заряд, $Q$	0
Время жизни, $t$	$\rightarrow \infty$ (стабильно)
Барионный заряд, $B$	0

Хар-ка	$\nu_e$	$\nu_\mu$	$\nu_\tau$
$L_e$	1	0	0
$L_\mu$	0	1	0
$L_\tau$	0	0	1
$mc^2$	< 3эВ	< 190кэВ	< 18,2МэВ

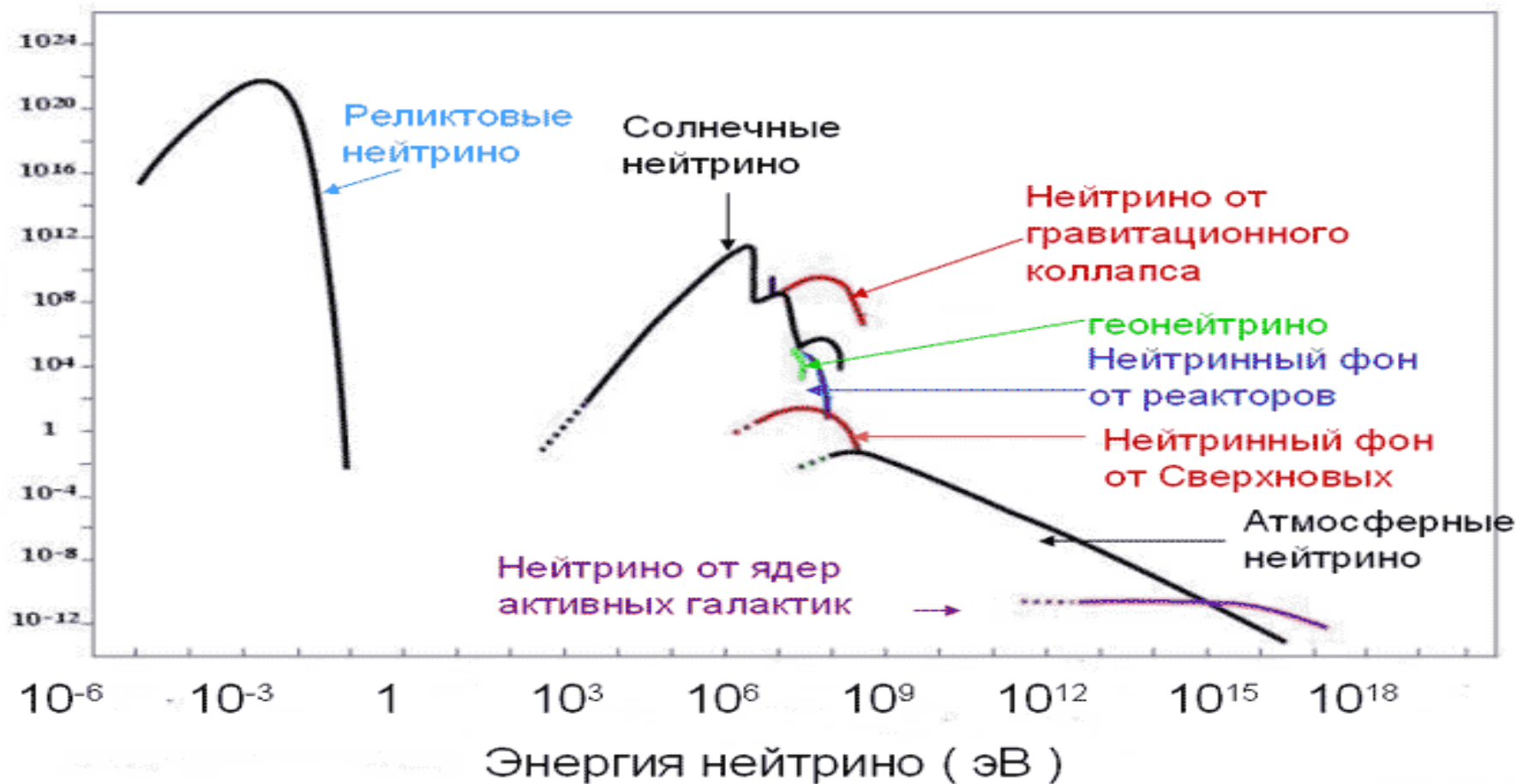
Взаимодействие	Участие	Примечание
Сильное	-	Как и все лептоны
Электромагнитное	-	Из-за отсутствия заряда
Гравитационное	?	
Слабое	+	

# Источники

←  
*Естественные*

→  
*Искусственные*

Поток нейтрино (  $\text{см}^{-2} \text{с}^{-1} \text{МэВ}^{-1}$  )



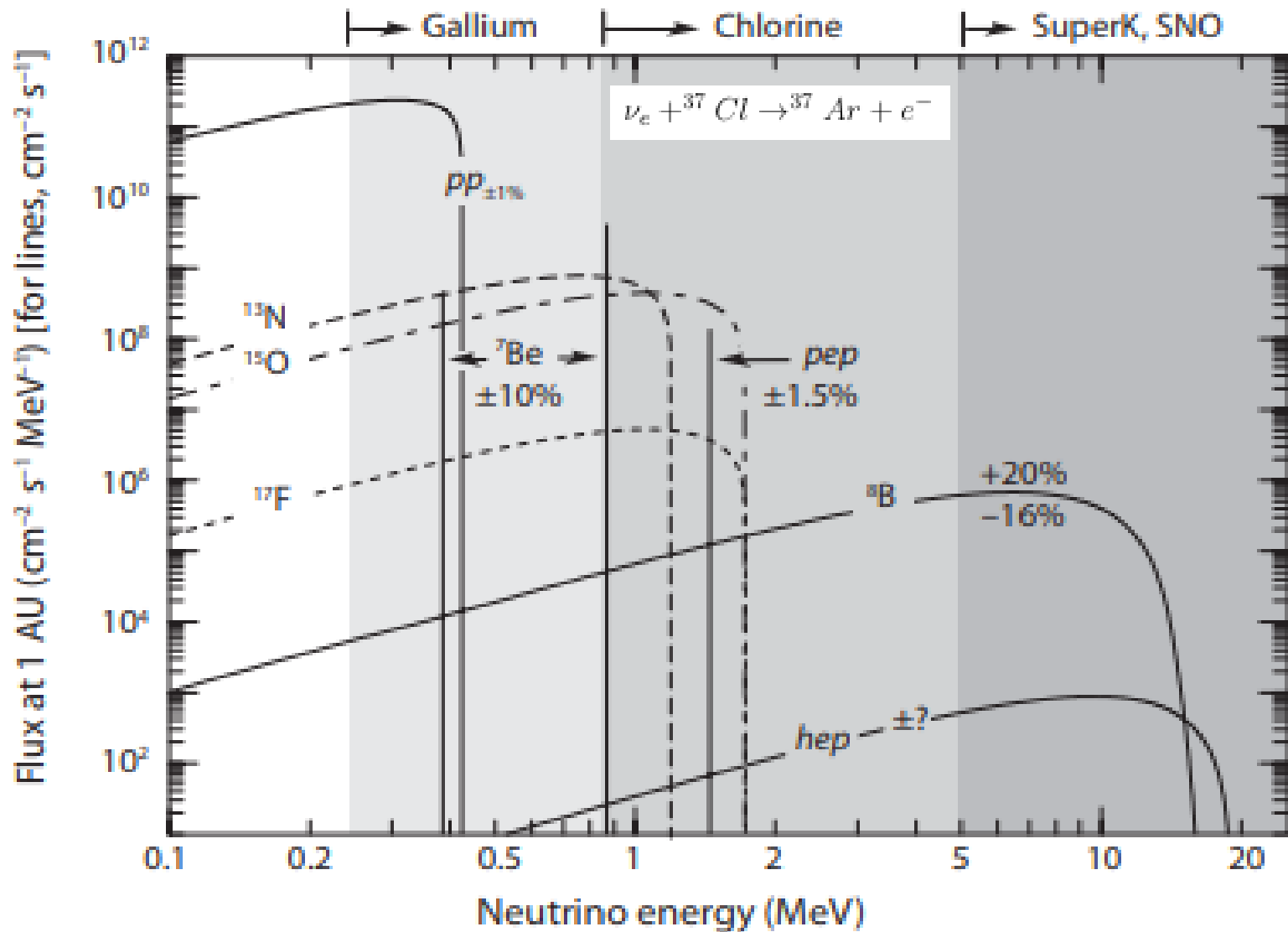
# *План рассмотрения источника:*

- Общие характеристики источника*
- Реакции рождения нейтрино в нём*
- Особенности нейтрино данного места происхождения*
- Детекторы и методы регистрации определенного типа нейтрино*

## *Будут рассмотрены:*

*Солнечные, атмосферные, реакторные,*





Энергетический спектр солнечных нейтрино имеет диапазон от 0.1 до 20 МэВ

Естественный источник

# «Проблема солнечных нейтрино»



нехватка  $1/3$  от  
предсказанного  
потока



регистраци  
я только  $\nu_e$   
на Солнце в  
основном  
создаются  
 $\nu_e$

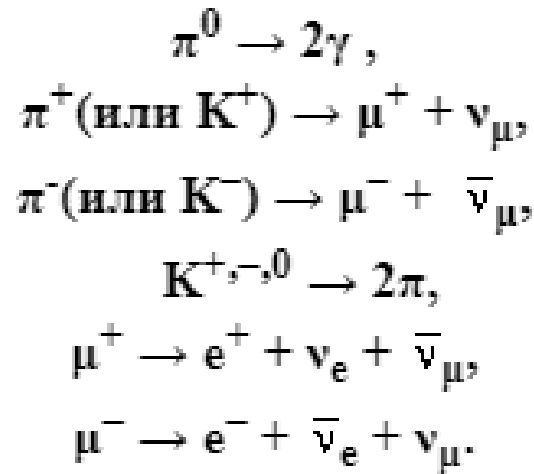
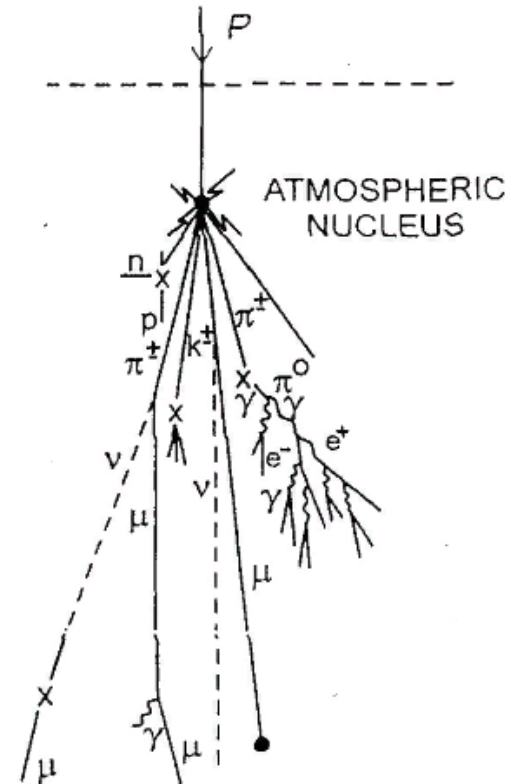
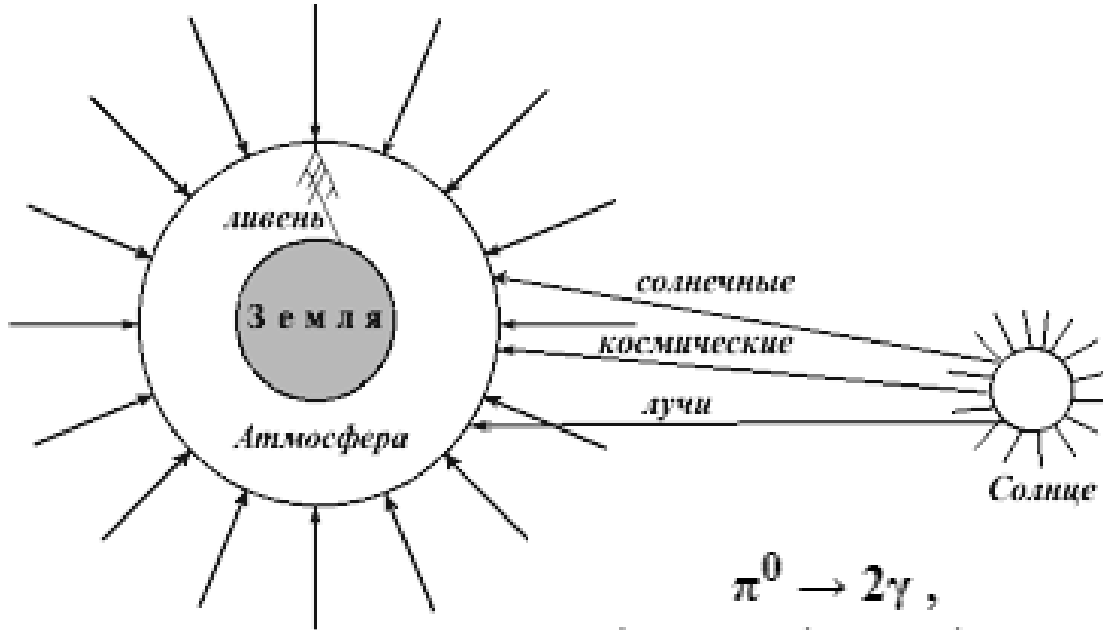


гипотеза  
осцилляций  
нейтрино



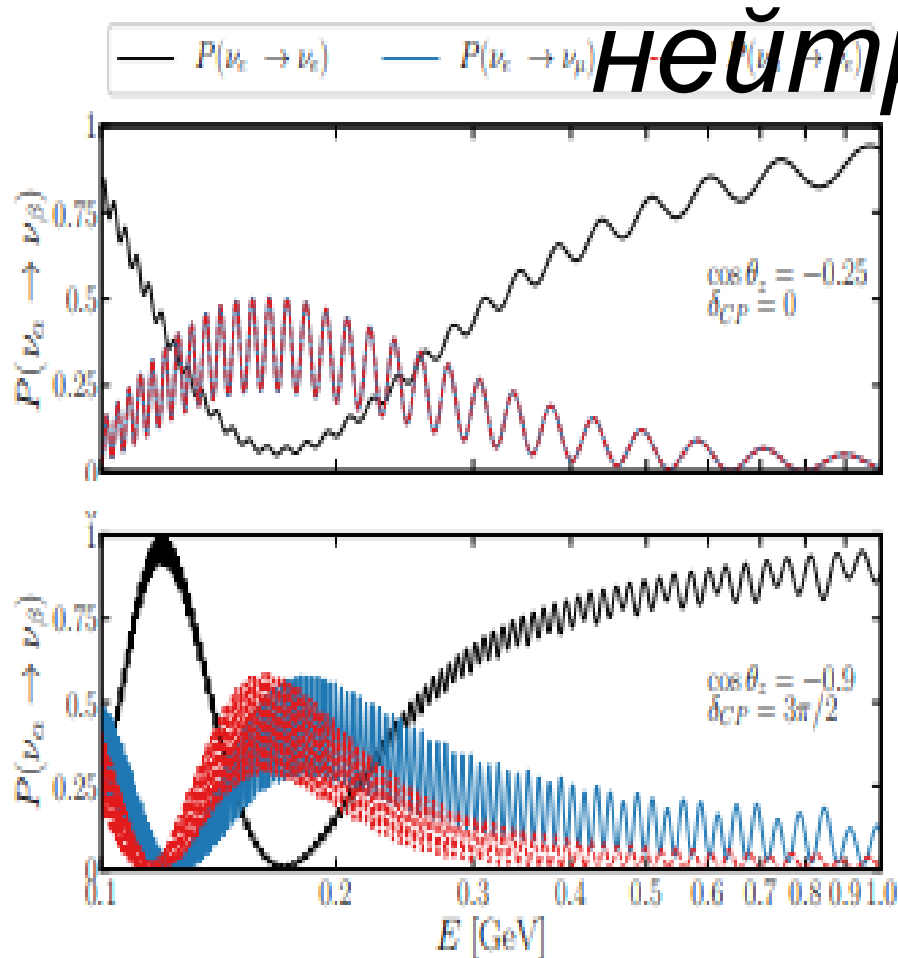
# Атмосферные нейтрино

Галактические космические лучи



Естественный источник

# Причины активных осцилляций атмосферных нейтрино:

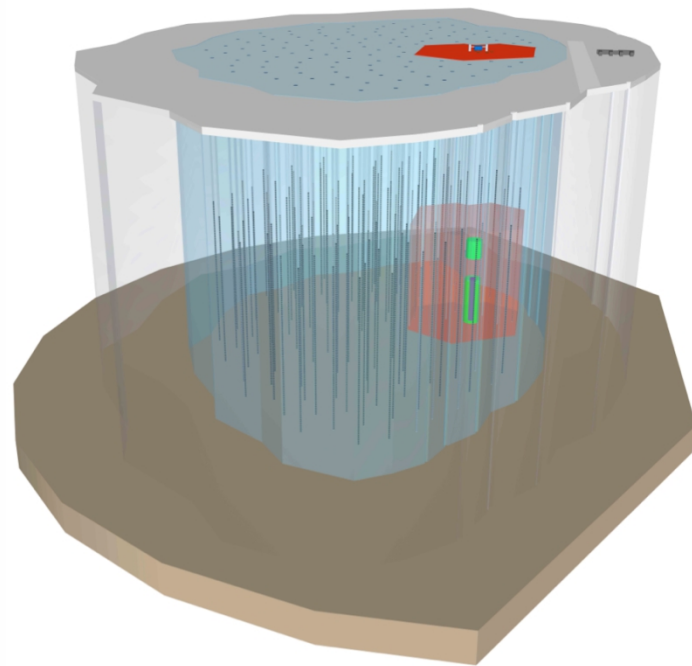
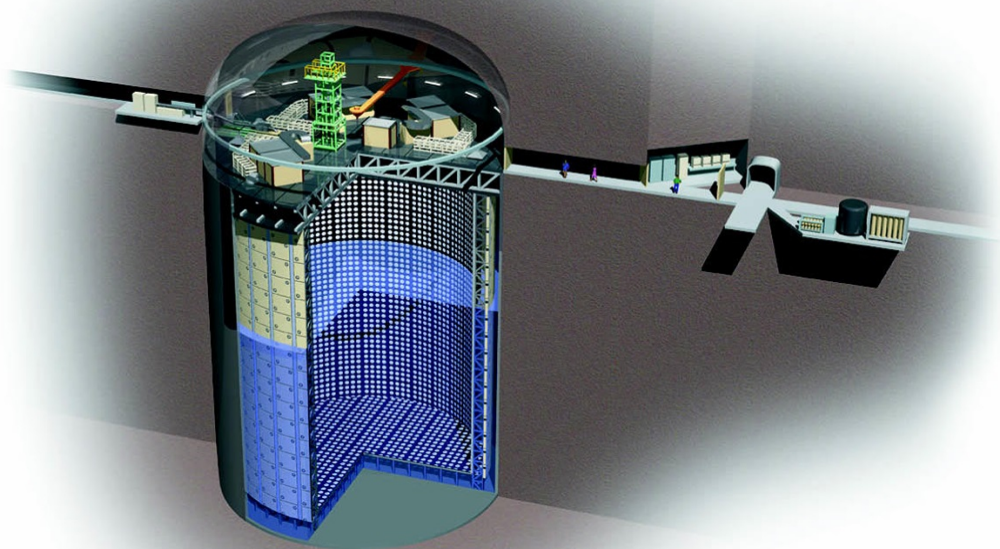


подвержены расщеплению солнечной и атмосферных разниц квадратов масс

- широкий энергетический спектр нейтрино и эффекты вещества приводят к нетривиальным процессам: MSW и параметрическим резонансам

*SuperKamiokande*

*IceCube*



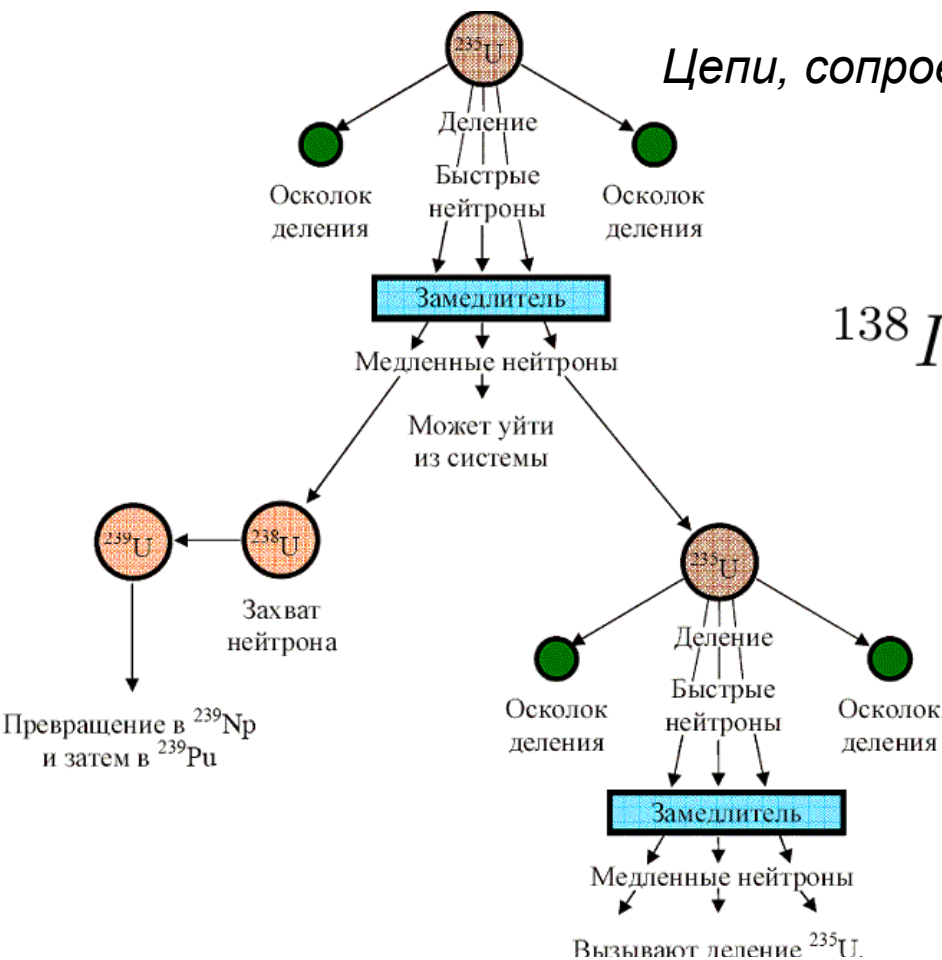
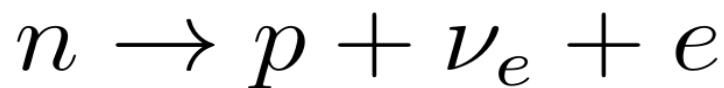
*Естественный источник*

# Реакторные нейтрино

Цепи, сопровождающиеся вылетом антинейтрино:



$\beta^-$ -распад:



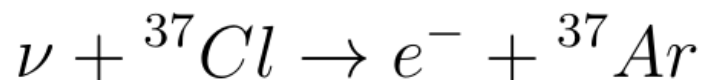
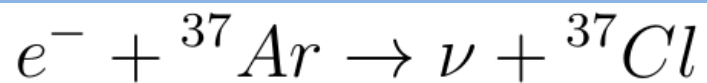
# Ядерные реакторы

Являются мощным  
источником  
нейтрино:  
 $< 2 \cdot 10^{27}$   
антинейтрино/сек.

Активно  
используются в:

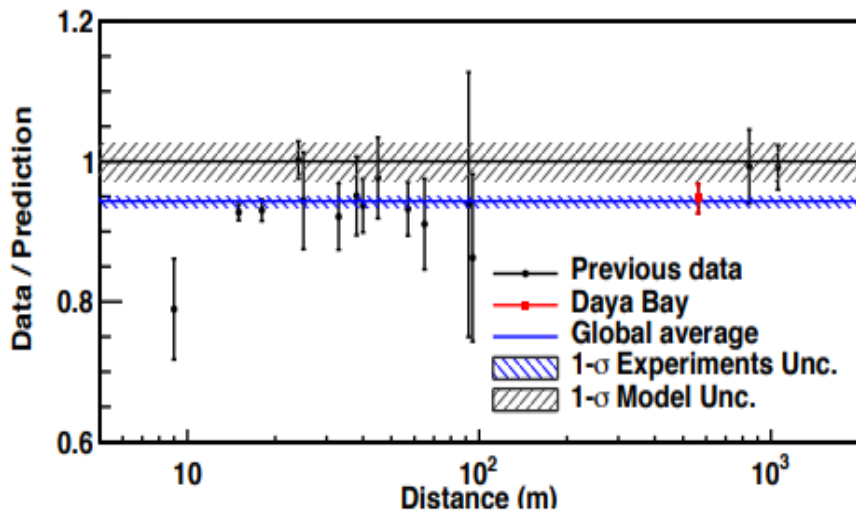
Изучении  
осцилляций  
нейтрино

Дали возможность доказать, что:  
Нейтрино – не истинно  
нейтральная частица



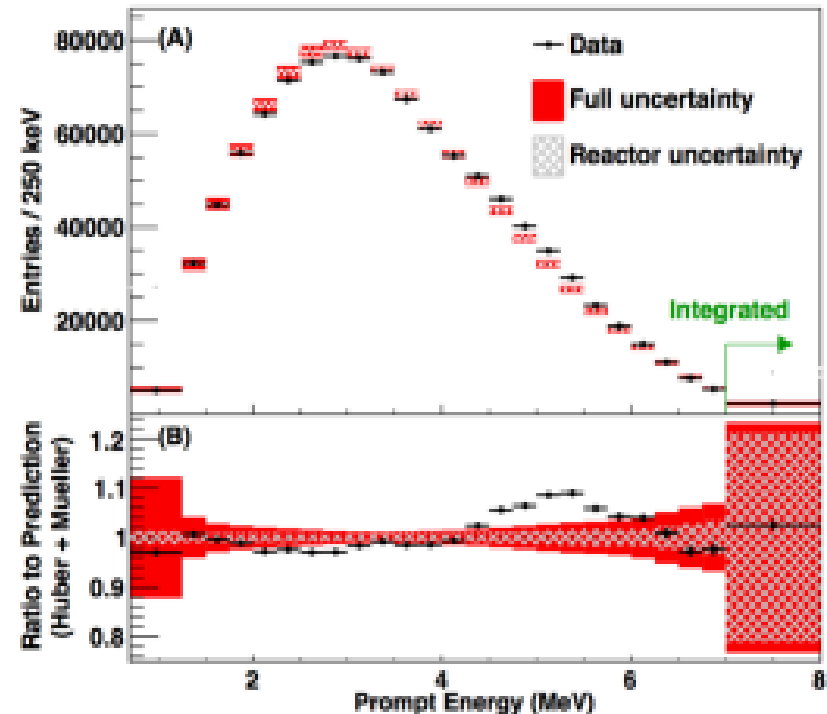
# « Реакторная антинейтринная аномалия »

Разница между наблюдаемым и  
ожидаемым потоками ~ 6%



«Стерильное» нейтрино?

# « *Витр* »



Искусственный источник

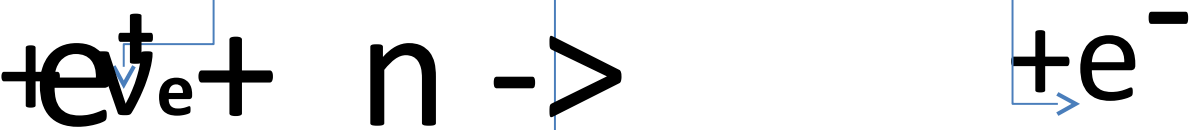
# Позитронный

# Радиоактивные

Электронный захват:



Захват нейтрино:

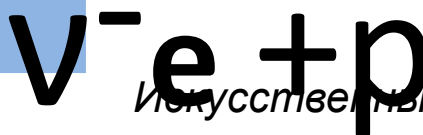


$\beta^-$ -распад:



Захват антинейтрино:

$\beta^+$ -распад в ядре



Искусственный источник

# *Результаты работы*

- *рассмотрены естественные и искусственные источники нейтрино*
- *составлена общая картина о местах рождения нейтрино и их особенностях*
- *обнаружено множество задач, требующих решения для более глубокого познания физики нейтрино*

# Список литературы

- *[1] L. Wan et al. [Super-Kamiokande Collaboration], "Measurement of the neutrino-oxygen neutral-current quasielastic cross section using atmospheric neutrinos at Super-Kamiokande," Phys. Rev. D 99 (2019) no.3, 032005 [arXiv:1901.05281 [hepex]].*
- *[2] I. M. Oldengott, G. Barenboim, S. Kahlen, J. Salvado and D. J. Schwarz, "How to relax the cosmological neutrino mass bound," arXiv:1901.04352 [astro-ph.CO].*
- *[3] D. Green et al. "Messengers from the*

- [12] L. M. Slad, "Existing and expected manifestations of a new fundamental interaction,"*arXiv:1811.12056 [hep-ph]*
- [13] J. Ashenfelter et al. [PROSPECT Collaboration], "The PROSPECT Reactor Antineutrino Experiment,"*Nucl. Instrum. Meth. A* 922, 287 (2019) [*arXiv:1808.00097 [physics.ins-det]*]
- [14] J. Sinatkas, V. Tsaktsara and O. Kosmas, "Simulated neutrino signals of low and intermediate energy neutrinos on Cd detectors,"*Front. in Phys.* 7, 42 (2019) [*arXiv:1904.01056 [physics.ins-det]*] [
- 15] P. Vogel, "Evaluation of reactor neutrino ux: issues and uncertainties,"*arXiv:1603.08990 [hep-ph]*
- [16] V. M. Bui et al., "Antineutrino emission and gamma background characteristics from a thermal research reactor,"*arXiv:1602.07522 [nucl-ex]*
- [17] J. Petkovic, T. Marketin, G. Martnez-Pinedo and N. Paar, "Selfconsistent calculation of the reactor antineutrino spectra including forbidden transitions,"*arXiv:1903.06192 [nucl-th]*
- [18] A. Pocar et al. [BOREXINO Collaboration], "Solar Neutrino Physics with Borexino,"*SciPost Phys. Proc.* 1, 025 (2019) [*arXiv:1810.12967 [nucl-ex]*]
- [19] L. Miramonti et al. [Borexino Collaboration], "Recent results on pp-chain solar neutrinos with the Borexino detector,"*arXiv:1901.09965 [hep-ex]*
- [20] J. N. Bahcall, A. M. Serenelli and S. Basu, "New solar opacities, abundances, helioseismology, and neutrino uxes,"*Astrophys. J.* 621, L85 (2005) [*astro-ph/0412440*]
- [21] R. Jiang and A. Elagin, "Space-Time Discriminant to Separate DoubleBeta Decay from  $8\text{B}$  Solar Neutrinos in Liquid Scintillator,"*arXiv:1902.06912 [physics.ins-det]*
- [22] M. Apollonio et al. [CHOOZ Collaboration], "Determination of neutrino incoming direction in the CHOOZ experiment and supernova explosion location by scintillator detectors,"*Phys. Rev. D* 61,

- [23] J. N. Bahcall, "Gallium solar neutrino experiments: Absorption cross-sections, neutrino spectra, and predicted event rates," *Phys. Rev. C* 56, 3391 (1997) doi:10.1103/PhysRevC.56.3391 [hep-ph/9710491]
- [24] Sterile neutrino, Wikipedia, [https://en.wikipedia.org/wiki/Sterile\\_neutrino](https://en.wikipedia.org/wiki/Sterile_neutrino)
- [25] Стандартная Модель физики частиц, Ядерная физика в интернете, <http://nuclphys.sinp.msu.ru/fi/fi01.htm>
- [26] Ядерные реакции, Ядерная физика в интернете, <http://nuclphys.sinp.msu.ru/astro/astro11.htm>
- [27] Эксперименты с нейтрино на атомных станциях, Ядерная физика в интернете, <http://nuclphys.sinp.msu.ru/mirrors/m045.html>
- [28] Загадки солнечных нейтрино, Ядерная физика в интернете, <http://nuclphys.sinp.msu.ru/mirrors/neutrino.htm>
- [29] Электромагнитные свойства массивных нейтрино, Ядерная физика в интернете, [http://nuclphys.sinp.msu.ru/mirrors/2000\\\_10.pdf](http://nuclphys.sinp.msu.ru/mirrors/2000\_10.pdf)
- [30] Космические лучи, Ядерная физика в интернете, <http://nuclphys.sinp.msu.ru/enc/e083.htm>
- [31] Источники нейтрино, Ядерная физика в интернете, <http://nuclphys.sinp.msu.ru/neutrino1/neutrino05.htm>
- [32] Д. В. Наумов, "Атмосферные нейтрино",
- [33] Parametric resonance in neutrino oscillations in matter, <https://link.springer.com/article/10.1007/s12043-000-0006-4>

- [35] G. Marx, "Geophysics by neutrinos"
- [36] Исследование осцилляций нейтрино в реакторных экспериментах, Российский научный центр, <http://www.inr.ru/rus/referat/sinev/dis.pdf>
- [37] Д. И. Орехов, Методическое пособие по физике нейтрино, [http://neutrino-history.narod.ru/neutrino\\\_main.htm](http://neutrino-history.narod.ru/neutrino\_main.htm)
- [38] M. Fukugita T. Yanagida, "Physics of Neutrinos and Application to Astrophysics".,
- [39] V. Barger, D. Marfatia, K. Whisnant, "The physics of Neutrinos"
- [40] Д. В. Наумов, "Введение в физику нейтрино"
- [41] Solar Neutrino Viewgraphs, <http://www.sns.ias.edu/~jnb/SNviewgraphs/snviewgraphs.html>
- [42] H. T. Janka, "Neutrino-driven Explosions," arXiv:1702.08825 [astro-ph.HE]