

Нейтрино

Материал из Википедии — свободной энциклопедии

Нейтри́но (итал. *neutrino* — нейтрончик, уменьшительное от *neutrone* — нейтрон) — общее название шести нейтральных фундаментальных частиц^[4] с полужелым спином, участвующих только в слабом и гравитационном взаимодействиях и относящихся к классу лептонов.

Нейтрино малой энергии чрезвычайно слабо взаимодействуют с веществом, и поэтому имеет колоссальную длину пробега в самых разных веществах: так, нейтрино с энергией порядка 3—10 МэВ имеют в воде длину свободного пробега порядка 10¹⁸ м (около ста св. лет), а практически все типы звёзд прозрачны для нейтрино. Каждую секунду через площадку на Земле площадью в 1 см² проходит около 6·10¹⁰ нейтрино, испущенных Солнцем^[5], однако их влияние на вещество практически никак не ощущается. В то же время нейтрино высоких энергий успешно обнаруживаются по их взаимодействию с мишенями^[6].

Такааки Кадзита и Артур Макдональд получили Нобелевскую премию по физике 2015 года «за открытие нейтринных осцилляций, показывающих, что нейтрино имеют массу»^{[7][8]}.

Содержание

Свойства нейтрино

Масса

История открытия

Исследования нейтрино

Дефицит солнечных нейтрино

Сообщение о возможном превышении скорости света

Упругое когерентное рассеяние нейтрино

Геонейтрино

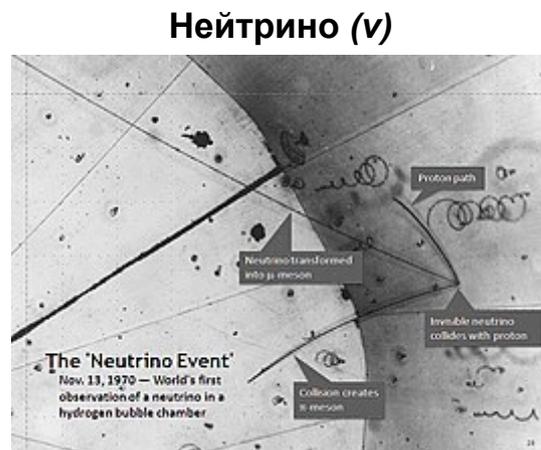
Перспективы использования

В культуре

Примечания

Литература

Ссылки



Состав	<u>фундаментальная частица</u>
Семья	<u>Фермионы</u>
Группа	<u>Лептоны</u>
Поколение	<i>v</i>_e <i>v</i>_μ <i>v</i>_τ
Участвует во взаимодействиях	<u>Слабое</u> , <u>гравитационное</u>
Античастица	<u>Антинейтрино</u>
Кол-во типов	6 (<u>электронное нейтрино</u> <u>мюонное нейтрино</u> <u>тау-нейтрино</u> и их античастицы)
Масса	меньше 0,28 эВ , но не нулевая у всех <u>ароматов</u> (<i>v</i>_e , <i>v</i>_μ , <i>v</i>_τ) ^{[1][2][3]}
Время жизни	Стабильны или > 7·10⁹ с × (m_{<i>v</i>}/1 эВ)^{−1}
Квантовые числа	
Электрический заряд	0
Цветной заряд	0
Барионное число	0
В-L	−1
Спин	¹⁄2 <i>ħ</i>
Слабый	−1

Свойства нейтрино

гиперзаряд

Каждому заряженному лептону соответствует своя пара нейтрино/антинейтрино:

- электронное нейтрино/электронное антинейтрино;
- мюонное нейтрино/мюонное антинейтрино
- тау-нейтрино/анти-тау-нейтрино

Различные виды нейтрино могут преобразовываться друг в друга — это так называемые нейтринные осцилляции; считается, что это происходит из-за того, что нейтрино обладают ненулевой массой^[9].

В экспериментах с рождением ультрарелятивистских частиц, показано, что нейтрино обладают отрицательной спиральностью, а антинейтрино — положительной^[10].

Существуют теоретические предпосылки, предсказывающие существование четвёртого типа нейтрино — стерильного нейтрино. Однозначного экспериментального подтверждения их существования (например в проектах MiniBooNE, LSND) пока нет^[11].

Неизвестно, является ли нейтрино античастицей самой себе (см. майорановский фермион)^{[12][11]}.

Неизвестно, нарушается ли CP-инвариантность при нейтринных осцилляциях^[11].

Масса

Нейтрино имеют ненулевую массу, но эта масса крайне мала. Верхняя экспериментальная оценка суммы масс всех типов нейтрино составляет всего $0,28 \text{ эВ}$ ^{[13][14]}. Разница квадратов масс нейтрино разных поколений, полученная из осцилляционных экспериментов, не превышает $2,7 \cdot 10^{-3} \text{ эВ}^2$.

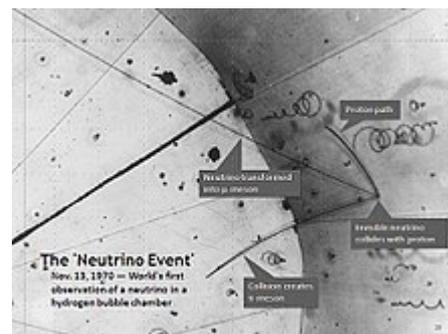
Информация о точном значении массы нейтрино важна для объяснения феномена скрытой массы в космологии, так как, несмотря на её малость, возможно, концентрация нейтрино во Вселенной достаточно высока, чтобы существенно повлиять на среднюю плотность.

История открытия

Одной из основных проблем в ядерной физике 20-30-х годов XX века была проблема бета-распада: спектр электронов, образующихся при β -распаде, измеренный английским физиком Джеймсом Чедвиком ещё в 1914 году, имеет непрерывный характер, то есть, из ядра вылетают электроны самых различных энергий.

С другой стороны, развитие квантовой механики в 1920-х годах привело к пониманию дискретности энергетических уровней в атомном ядре: это предположение было высказано австрийским физиком Лизой Мейтнер в 1922 году. То есть спектр вылетающих при распаде ядра частиц должен быть дискретным и показывать энергии, равные разностям энергий уровней, между которыми происходит переход при распаде. Таковым, например, является спектр энергий альфа-частиц при альфа-распаде.

Таким образом, непрерывность спектра электронов β -распада ставила под сомнение закон сохранения энергии. Вопрос стоял настолько остро, что в 1931 году знаменитый датский физик Нильс Бор на Римской конференции выступил с идеей о несохранении энергии. Однако было и другое объяснение — «потерянную» энергию уносит какая-то неизвестная и незаметная частица.



Одно из первых наблюдений взаимодействия нейтрино в пузырьковой камере

Гипотезу о существовании чрезвычайно слабо взаимодействующей с веществом частицы выдвинул 4 декабря 1930 г. Паули — не в статье, а в неформальном письме участникам физической конференции в Тюбингене:

...имея в виду ... непрерывный β -спектр, я предпринял отчаянную попытку спасти «обменную статистику» и закон сохранения энергии. Именно, имеется возможность того, что в ядрах существуют электрически нейтральные частицы, которые я буду называть «нейтронами» и которые обладают спином $\frac{1}{2}$... Масса «нейтрона» по порядку величины должна быть сравнимой с массой электрона и во всяком случае не более 0,01 массы протона. Непрерывный β -спектр тогда стал бы понятным, если предположить, что при β -распаде вместе с электроном испускается ещё и «нейтрон», таким образом, что сумма энергий «нейтрона» и электрона остаётся постоянной.

Я признаю, что такой выход может показаться на первый взгляд маловероятным... Однако, не рискнув, не выиграешь; серьёзность положения с непрерывным β -спектром хорошо проиллюстрировал мой уважаемый предшественник g -н Дебай, который недавно заявил мне в Брюсселе: «О... об этом лучше не думать вовсе, как о новых налогах».

— «Открытое письмо группе радиоактивных, собравшихся в Тюбингене», цит. по М. П. Рекало, «Нейтрино».

Впоследствии «нейтроном» была названа, как оказалось, другая элементарная частица, наряду с протоном входящая в состав атомных ядер. А предсказанная Паули частица в работах 1933—1934 годов итальянца Энрико Ферми на итальянский манер была названа «нейтрино».

На Сольвеевском конгрессе 1933 года в Брюсселе Паули выступил с рефератом о механизме β -распада с участием лёгкой нейтральной частицы со спином $\frac{1}{2}$. Это выступление было фактически первой официальной публикацией, посвящённой нейтрино.

Исследования нейтрино

Нейтрино изучается в десятках лабораторий мира (см. неполный список экспериментов в физике нейтрино)^[11].

Дефицит солнечных нейтрино

Ядерные реакции, происходящие в ядре Солнца, приводят к образованию большого количества электронных нейтрино. При этом измерения потока нейтрино на Земле, которые постоянно производятся с конца 1960-х годов, показали, что количество регистрируемых солнечных электронных нейтрино приблизительно в два-три раза меньше, чем предсказывает стандартная солнечная модель, описывающая процессы в Солнце. Это рассогласование между экспериментом и теорией получило название «*проблема солнечных нейтрино*» и более 30 лет было одной из загадок солнечной физики.

Предлагалось два главных пути решения проблемы солнечных нейтрино. Во-первых, можно было модифицировать модель Солнца таким образом, чтобы уменьшить предполагаемую термоядерную активность (а, значит, и температуру) в его ядре и, следовательно, поток излучаемых Солнцем нейтрино. Во-вторых, можно было предположить, что часть электронных нейтрино, излучаемых ядром Солнца, при движении к Земле превращается в нерегистрируемые обычными детекторами нейтрино других поколений (мюонные и тау-нейтрино)^[15].

Сегодня понятно, что правильным, скорее всего, является второй путь, то есть различные виды нейтрино могут преобразовываться друг в друга; это так называемые нейтринные осцилляции, в пользу которых свидетельствуют наблюдения солнечных нейтрино^[16] и угловой анизотропии атмосферных нейтрино, а также проведённые в начале этого века эксперименты с реакторными (см. KamLAND) и ускорительными нейтрино^[17].

Кроме того, существование нейтринных осцилляций напрямую подтверждено опытами в Садбери, в котором были непосредственно зарегистрированы солнечные нейтрино всех трёх сортов и было показано, что их полный поток согласуется со стандартной солнечной моделью. При этом только около трети долетающих до Земли нейтрино оказывается электронными. Это количество согласуется с теорией, которая предсказывает переход электронных нейтрино в нейтрино другого поколения как в вакууме (собственно «нейтринные осцилляции»), так и в солнечном веществе («эффект Михеева — Смирнова — Вольфенштейна»).

Сообщение о возможном превышении скорости света

22 сентября 2011 года коллаборация OPERA объявила о регистрации возможного превышения скорости света мюонными нейтрино (на 0,00248 %).^{[18][19][20]} Нейтрино от ускорителя SPS (ЦЕРН, Швейцария) якобы прибывали к детектору (находящемуся на расстоянии 730 км в подземной лаборатории Гран-Сассо, Италия) на 61±10 наносекунд раньше расчётного времени; это значение получено после усреднения по 16 тыс. нейтринных событий в детекторе за три года. Физики обратились к своим коллегам с просьбой проверить результаты в подобных экспериментах MINOS (лаборатория Fermilab возле Чикаго) и T2K (Япония).

Менее чем за месяц в архиве препринтов появилось около 90 статей, предлагающих возможные объяснения зарегистрированного эффекта^[21].

23 февраля 2012 года коллаборация OPERA сообщила об обнаружении двух ранее неучтённых эффектов, которые могли иметь влияние на процесс измерения времени полёта нейтрино. Для проверки степени влияния данных эффектов на результаты измерений было решено провести новые эксперименты с нейтринными пучками^{[22][23]}.

Проведённые в ноябре-декабре 2011 года независимые измерения в той же лаборатории (эксперимент ICARUS) сверхсветовых скоростей нейтрино не обнаружили^[24].

В мае 2012 года OPERA провела ряд контрольных экспериментов и пришла к окончательному выводу, что причиной ошибочного предположения о сверхсветовой скорости стала техническая ошибка (плохо вставленный разъём оптического кабеля, что приводило к задержке в часах на 73 наносекунды)^[25].

Упругое когерентное рассеяние нейтрино

В 2017 году экспериментально обнаружено упругое когерентное рассеяние нейтрино. Используя этот эффект, можно создавать небольшие переносные детекторы нейтринного излучения^{[26][27]}.

Геонейтрино

Исследования геонейтрино позволяют найти залежи радиоактивных элементов.

Перспективы использования

Одно из перспективных направлений использования нейтрино — это нейтринная астрономия. Нейтрино несут важную информацию о ранних стадиях расширения Вселенной^[28]. Кроме того, известно, что звёзды, кроме света, излучают значительный поток нейтрино, которые возникают в процессе ядерных реакций. Поскольку на поздних стадиях звёздной эволюции за счёт нейтрино уносится до 90 % излучаемой энергии (нейтринное

охлаждение), то изучение свойств нейтрино (в частности — энергетического спектра солнечных нейтрино) помогает лучше понять динамику астрофизических процессов. Кроме того, нейтрино без поглощения проходят огромные расстояния, что позволяет обнаруживать и изучать ещё более удалённые астрономические объекты^[29].

Другим (практическим) применением является развиваемая в последнее время нейтринная диагностика промышленных ядерных реакторов. Проведённые в конце XX века физиками Курчатовского института эксперименты показали перспективность этого направления, и сегодня в России, Франции, Италии и других странах ведутся работы по созданию нейтринных детекторов, способных в режиме реального времени измерять нейтринный спектр реактора и тем самым контролировать как мощность реактора, так и комозитный состав топлива (включая наработку оружейного плутония).

Теоретически потоки нейтрино могут быть использованы для создания средств связи (нейтринная связь), что привлекает интерес военных: частица теоретически делает возможной связь с подводными лодками, находящимися на глубине, или передачу информации сквозь Землю^[30].

Нейтрино, образующиеся в результате распада радиоактивных элементов внутри Земли^[31], могут использоваться для изучения внутреннего состава Земли. Измеряя потоки геологических нейтрино в разных точках Земли, можно составить карту источников радиоактивного тепловыделения внутри Земли^[32].

В культуре

- В книге Станислава Лема «Солярис» «гости», созданные самим Солярисом, имеют в своей основе нейтринную структуру. В романе «Глас Господа» нейтрино использовалось для передачи сообщения от предположительно чрезвычайно высокоразвитой цивилизации.
- В «Мире Полудня» братьев Стругацких «флюктуации нейтринных полей» вызывают перебои в работе системы «нуль-транспортировки» (физической телепортации).
- Нейтрино посвящена песня Тимура Шаова — «Свободная частица»^[33].
- Нейтрино упоминается в песне Владимира Высоцкого «Марш студентов-физиков».
- В фильме «2012» произошедший на Солнце выброс нейтрино привёл к расплавлению земного ядра, что привело к геотектонической катастрофе. Это, конечно, кинематографическая выдумка, так как низкоэнергетические нейтрино, излучаемые Солнцем, практически не взаимодействуют с веществом Земли.

Примечания

↑ Показывать компактно

- Astronomers Accurately Measure the Mass of Neutrinos for the First Time (<http://scitechdaily.com/astronomers-accurately-measure-mass-neutrinos-first-time/>). *scitechdaily.com* (February 10, 2014). Дата обращения 7 мая 2014. Архивировано (<https://web.archive.org/web/20140508044357/http://scitechdaily.com/astronomers-accurately-measure-mass-neutrinos-first-time/>) 8 мая 2014 года.
- Foley, James A. Mass of Neutrinos Accurately Calculated for First Time, Physicists Report (<http://www.natureworldnews.com/articles/5968/20140210/mass-neutrinos-accurately-calculated-first-time-physicists-report.htm>). *natureworldnews.com* (February 10, 2014). Дата обращения 7 мая 2014. Архивировано (<https://web.archive.org/web/20140508044537/http://www.natureworldnews.com/articles/5968/20140210/mass-neutrinos-accurately-calculated-first-time-physicists-report.htm>) 8 мая 2014 года.
- Battye, Richard A.; Moss, Adam (2014). “Evidence for Massive Neutrinos from Cosmic Microwave Background and Lensing Observations”. *Physical Review Letters*. **112** (5): 051303. arXiv:1308.5870v2 (<https://arxiv.org/abs/1308.5870v2>). Bibcode:2014PhRvL.112e1303B (<http://adsabs.harvard.edu/abs/2014PhRvL.112e1303B>). DOI:10.1103/PhysRevLett.112.051303 (<https://doi.org/10.1103%2FPhysRevLett.112.051303>). PMID 24580586 (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24580586>).
- Электромагнитная модель нейтрино (<http://n-t.ru/ns/fm/em.htm>)
- Наше Солнце (<http://crydee.sai.msu.ru/~maria/astron/referatTheSUN/referat.htm>)
- Физическая энциклопедия. Нейтрино (http://www.femto.com.ua/articles/part_2/2430.html). Клайд Коуэн и Фредерик Райнес, 1953—1957
- Заколебали. Почему за превращения нейтрино присудили Нобелевскую премию по физике (<http://lenta.ru/articles/2015/10/06/nobelprizeinphysics/>)

8. *Герштейн С. С., Куденко Ю. Г.* Лауреаты Нобелевской премии 2015 года. По физике — А. Макдональд, Т. Каджита (<http://www.ras.ru/FStorage/Download.aspx?id=7ac8797e-6c53-4f8b-93f0-4631f27475ce>) // *Природа*. — 2016. — № 1. — С. 59—64.
9. *Пять загадок физики после бозона Хиггса. Масса нейтрино* (http://www.gazeta.ru/science/2014/07/04_a_6097073.shtml)
10. *Нейтрино* (http://www.femto.com.ua/articles/part_2/2430.html) — статья из *Физической энциклопедии*
11. *Куденко Ю. Г.* Нейтрино - ключ к загадкам Вселенной? (<http://www.ras.ru/FStorage/Download.aspx?id=6b0017f4-3ca8-410f-8429-da6b03a68114>) // *Природа*. — 2017. — № 6. — С. 3—11.
12. *Физик Дмитрий Казаков о частице с нулевым электрическим зарядом, нейтринных осцилляциях и темной материи* (<http://postnauka.ru/video/14282>), 04.07.2013
13. *Астрономы получили самую точную оценку массы «частицы-призрака»* (<http://www.rian.ru/science/20100622/249169807.html>). РИА Новости (22 июня 2010). Дата обращения 22 июня 2010. Архивировано (<https://www.webcitation.org/6184dHTAW?url=http://ria.ru/science/20100622/249169807.html>) 22 августа 2011 года.
14. *Shaun A. Thomas, Filipe B. Abdalla, and Ofer Lahav.* Upper Bound of 0.28 eV on Neutrino Masses from the Largest Photometric Redshift Survey (<http://physics.aps.org/pdf/10.1103/PhysRevLett.105.031301.pdf>) (англ.) // *Phys. Rev. Lett.*. — 2010. — Vol. 105, iss. 3. — P. 031301. (недоступная ссылка)
15. *Haxton, W. C.* (1995). "The Solar Neutrino Problem" (http://articles.adsabs.harvard.edu/cgi-bin/nph-iarticle_query?1995ARA%26A..33..459H&data_type=PDF_HIGH&type=PRINTER&filetype=.pdf) (PDF). *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*. **33**: 459—504.
16. *Extra-terrestrial Neutrinos* (<http://indico.cern.ch/getFile.py/access?contribId=40&resId=0&materialId=0&confId=147174>) // 2011 July
17. *Куденко Ю. Г.* Нейтринная физика: год угла смешивания θ_{13} , *Природа*, № 11, 2012
18. *Measurement of the neutrino velocity with the OPERA detector in the CNGS beam* (<http://arxiv.org/abs/1109.4897>), 22 Sep 2011
19. *Эксперимент OPERA сообщает о наблюдении сверхсветовой скорости нейтрино* (<http://elementy.ru/news/431680>) — *Элементы*
20. *Lenta.ru: Прогресс: Торопливые нейтрончики* (<http://lenta.ru/articles/2011/09/23/cern/>)
21. *В сверхсветовой скорости нейтрино обвинили GPS* (<http://lenta.ru/news/2011/10/17/ftlneutrino/>) :: Lenta.ru
22. *OPERA experiment reports anomaly in flight time of neutrinos from CERN to Gran Sasso* (<http://press.web.cern.ch/press-releases/2011/09/opera-experiment-reports-anomaly-flight-time-neutrinos-cern-gran-sasso>) // CERN Press Release, 23 February 2012, Update 8 June 2012 (англ.)
23. *Данные о «сверхсветовых» нейтрино могли появиться из-за сбоя техники* (<http://www.ria.ru/science/20120223/572628353.html>) // РИА Новости, 23 февраля 2012
24. *ICARUS Collaboration et al.* Measurement of the neutrino velocity with the ICARUS detector at the CNGS beam // *Physics Letters B*. — 2012. — Vol. 713 (18 июля). — P. 17–22. — arXiv:1203.3433. — DOI:10.1016/j.physletb.2012.05.033 (<https://dx.doi.org/10.1016%2Fj.physletb.2012.05.033>).
25. *Эксперимент OPERA окончательно «закрыл» сверхсветовые нейтрино* (<http://ria.ru/science/20120608/668400332.html>) // *ria.ru*
26. *Алексей Понятов.* Десять крупнейших событий 2017 года в физике и астрономии (<https://www.nkj.ru/archive/articles/32966/>) // *Наука и жизнь*. — 2018. — № 1. — С. 9.
27. *«Мы увидели процесс, предсказанный 43 года назад». Интервью с участником проекта COHERENT Дмитрием Акимовым об упругом когерентном рассеянии нейтрино на атомных ядрах* (<https://nplus1.ru/material/2017/12/20/SEvNS>)
28. *Дорошкевич А. Г., Зельдович Я. Б., Новиков И. Д.* Кинетическая теория нейтрино в анизотропных космологических моделях // *Проблемы теоретической физики. Сборник, посвященный Николаю Николаевичу Боголюбову в связи с его шестидесятилетием*. — М., *Наука*, 1969. — Тираж 4000 экз. — с. 15-25
29. *Труды* (<http://pontecorvo.jinr.ru/work/pswork3.html>) *Бруно Понтекорво*
30. *«Элементы»: Частица-призрак: нейтрино* (<http://elementy.ru/lib/430999>)
31. *Маркс Г., Люкс И.* Антинейтринное свечение Земли // *Проблемы теоретической физики. Сборник, посвященный Николаю Николаевичу Боголюбову в связи с его шестидесятилетием*. — М., *Наука*, 1969. — Тираж 4000 экз. — с. 28-34
32. *Скорохватов М. Д.* Нейтринная геофизика — первые шаги (http://www.nrcki.ru/files/Geo_neytrino.pdf) , *Природа*, 2012, № 3
33. *Дискография Тимура Шаова* (http://www.shaov.ru/discs_and_lyrics.php)

Литература

- *Мухин, К.* Нейтрино: вчера, сегодня, завтра (<http://www.nkj.ru/archive/articles/23890/>) // *Наука и жизнь*. — 2014. — № 3,4. — С. 4—12.

- *Ву Цзянь-сюн* Нейтрино // Теоретическая физика 20 века / под ред. *Я. Смородинского*. — М.: ИЛ, 1962. — С. 290—356.
- *Биленький, С. М.* Лекции по физике нейтринных и лептон-нуклонных процессов. — М.: Энергоиздат, 1981. — С. 216.
- *Иванов И.* Нейтринный детектор IceCube окончательно доказал реальность астрофизических нейтрино (<http://elementy.ru/news/432258>) // *Элементы.ру*, 2014.
- *Левин А.* Повля солнечных нейтрино: историческая ретроспектива (<http://elementy.ru/news/432311>) // *Элементы.ру*, 2014.

Ссылки

- *Зацепин Г. Т., Смирнов А. Ю.* Нейтрино (http://www.femto.com.ua/articles/part_2/2430.html) // Физическая энциклопедия : [в 5 т.] / Гл. ред. А. М. Прохоров. — М.: Большая российская энциклопедия, 1994. — Т. 4: Пойнтинга — Робертсона — Стримеры. — С. 258—267. — 704 с. — 40 000 экз. — ISBN 5-85270-087-8.
- *Samoil Bilenky.* Introduction to the Physics of Massive and Mixed Neutrinos (англ.) // *Lecture Notes in Physics*. — 2010. — Vol. 817. — DOI:10.1007/978-3-642-14043-3 (<https://dx.doi.org/10.1007%2F978-3-642-14043-3>).
- *S Bilenky, Neutrino* (http://www1.jinr.ru/Репан/2013-v44/v-44-1/01_bil.pdf) , 2013
- *Нейтрино, частица-призрак.* (<http://tvroscosmos.ru/frm/Galaxy/2012/rk26.php>) — программа студии «Русский космос», 2012
- Нейтрино // *Большая советская энциклопедия* : [в 30 т.] / гл. ред. А. М. Прохоров. — 3-е изд. — М.: Советская энциклопедия, 1969—1978.

Научно-популярные фильмы

- Д/ф «Проект „Полтергейст“. В поисках нейтрино» (англ. *Project Poltergeist. Missing Neutrinos*) (2004, *BBC*)

Источник — <https://ru.wikipedia.org/w/index.php?title=Нейтрино&oldid=99195372>

Эта страница в последний раз была отредактирована 13 апреля 2019 в 14:55.

Текст доступен по лицензии [Creative Commons Attribution-ShareAlike](#); в отдельных случаях могут действовать дополнительные условия.

Wikipedia® — зарегистрированный товарный знак некоммерческой организации [Wikimedia Foundation, Inc.](#)