

Википедия

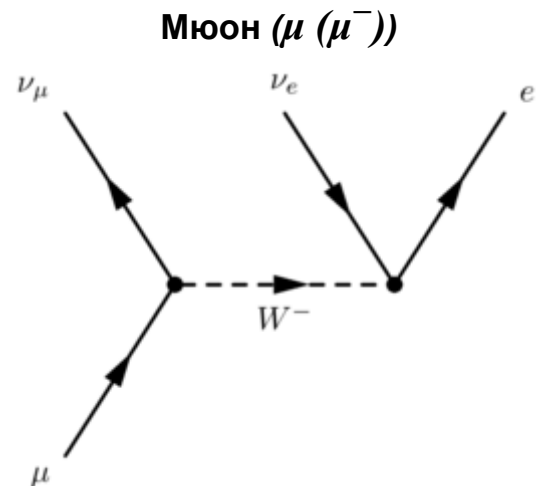
МЮОН

Материал из Википедии — свободной энциклопедии

Мюо́н (от греческой буквы μ , использующейся для обозначения) в стандартной модели физики элементарных частиц — неустойчивая элементарная частица с отрицательным электрическим зарядом и спином $\frac{1}{2}$. Вместе с электроном, тау-лептоном и нейтрино классифицируется как часть лептонного семейства фермионов. Так же как они, мюон, по-видимому, бесструктурен и не состоит из каких-то более мелких частиц. Как и все фундаментальные фермионы, мюон имеет античастицу с квантовыми числами (в том числе зарядом) противоположного знака, но с равной массой и спином: **а́нтимюо́н** (чаще частицу и античастицу называют соответственно отрицательным и положительным мюоном). Мюонами называют также мюоны и антимюоны в совокупности. Ниже термин «мюон» употребляется в этом значении, если не оговорено обратное.

По историческим причинам, мюоны иногда называют **мю-мезонами**, хотя они не являются мезонами в современном представлении физики элементарных частиц. Масса мюона в 207 раз больше массы электрона; по этой причине мюон можно рассматривать как чрезвычайно тяжёлый электрон. Мюоны обозначаются как μ^- , а антимюоны как μ^+ .

На Земле мюоны регистрируются в космических лучах, они возникают в результате распада заряженных пионов. Пионы создаются в верхних слоях атмосферы первичными космическими лучами и имеют очень короткое время распада — несколько наносекунд. Время жизни мюонов достаточно мало — 2,2 микросекунды, тем не менее эта элементарная частица рекордсмен по времени жизни и дольше её не распадается только свободный нейтрон. Однако мюоны космических лучей имеют скорости, близкие к скорости света, так что из-за эффекта замедления времени специальной теории относительности их легко обнаружить у поверхности Земли.



Фейнмановская диаграмма распада мюона

<u>Семья</u>	<u>фермион</u>
<u>Группа</u>	<u>лептон</u>
<u>Поколение</u>	2
<u>Участвует во взаимодействиях</u>	<u>Слабое, электромагнитное и гравитационное</u>
<u>Античастица</u>	μ^+
<u>Масса</u>	105,6583745(24) МэВ ^[1]
<u>Время жизни</u>	$2,19703(4)\cdot 10^{-6}$ с
<u>Обнаружена</u>	<u>Карлом Андерсоном в 1936 году</u>
<u>В честь кого или чего названа</u>	От <u>греч.</u> буквы μ , использующейся для обозначения) в <u>стандартной модели физики элементарных частиц</u>
<u>Квантовые числа</u>	
<u>Электрический заряд</u>	-1
<u>Барионное число</u>	0
<u>Спин</u>	$1/2 \hbar$
<u>Изотопический спин</u>	0
<u>Странность</u>	0
<u>Очарование</u>	0

Как и в случае других заряженных лептонов, существует мюонное нейтрино (и антинейтрино), которое имеет тот же аромат, что и мюон (антимюон). Мюонные нейтрино обозначаются как ν_μ , антинейтрино — $\bar{\nu}_\mu$. Мюоны почти всегда распадаются в электрон, электронное антинейтрино и мюонное нейтрино (соответственно антимюоны — в позитрон, электронное нейтрино и мюонное антинейтрино); существуют также более редкие типы распада, когда возникает дополнительный фотон или электрон-позитронная пара.


Другие свойства

Кварковый состав

нет

Схема распада

$e^- + \nu_\mu + \bar{\nu}_e$

Медиафайлы на Викискладе

Содержание

История

Экзотические атомы

Мюонные атомы

Мюоний

Практическое использование

См. также

Примечания

Литература

История

Мюоны были обнаружены Карлом Андерсоном в 1936 году, во время исследования космических лучей. Он обнаружил частицы, которые при прохождении магнитного поля отклонялись в меньшей степени, чем электроны, но более резко, чем протоны. Было сделано предположение, что их электрический заряд был равен заряду электрона, и для объяснения различия в отклонении было необходимо, чтобы эти частицы имели промежуточную массу (лежащую где-то между массой электрона и массой протона).

По этой причине Андерсон первоначально назвал новую частицу «мезотрон», используя приставку «мезо-» (от греческого слова «промежуточный»). Вскоре после этого были обнаружены другие частицы промежуточной массы и был принят более общий термин **мезон** для обозначения любой такой частицы. В связи с необходимостью разных обозначений для различных типов мезонов, мезотрон был переименован в «мю-мезон» (от греческой буквы «мю»). До того, как был открыт пи-мезон, мюон считался кандидатом на роль переносчика сильного взаимодействия, который был необходим в незадолго до того разработанной теории Юкавы. Однако было обнаружено, что мюон не вступает в сильные взаимодействия, и некоторое время (до открытия пи-мезона) это поведение мюона оставалось загадкой.

Вскоре обнаружилось, что мю-мезон значительно отличается от других мезонов (например, его продукты распада включали нейтрино и антинейтрино, а не только либо одно, либо другое, что наблюдалось для других мезонов). Таким образом, мю-мезоны не были мезонами вообще, и термин «мю-мезон» был заменён современным термином «мюон».

В середине 1970-х годов физики-экспериментаторы, работающие в ЦЕРНе, исследовали рассеяние нейтрино на протонной мишени. Согласно тому, что было тогда известно о слабом взаимодействии, они ожидали, что столкновение превратит нейтрино в мюон, а протон в



CMS

осколки. Они с удивлением обнаружили, что в результате такого столкновения появляются два мюона, отрицательный и положительный.

Это вызвало большую теоретическую дискуссию, которая завершилась объяснением того, как появляется положительный мюон. Столкновение нейтрино и протона производит не только протонные осколки и отрицательный мюон, но и очарованный кварк, который вскоре распадается в странный кварк, мюонное нейтрино и положительный мюон.

Экзотические атомы

Мюонные атомы

Мюоны были первыми открытыми элементарными частицами, которые не встречались в обычных атомах. Отрицательные мюоны могут, однако, формировать *мюонные атомы*, заменяя электроны в обычных атомах. Решение уравнения Шредингера для водородоподобного атома показывает, что характерный размер получаемых волновых функций (то есть радиус Бора, если решение проводится для атома водорода с привычным электроном) обратно пропорционален массе частицы, движущейся вокруг атомного ядра. В силу того, что масса мюона более чем в двести раз превосходит массу электрона, размер получаемой «мюонной атомной орбитали» во столько же раз меньше аналогичной электронной. В результате, уже для ядер с зарядовым числом $Z = 5\text{--}10$ размеры мюонного облака сравнимы или не более чем на порядок превосходят размеры ядра, и неточность ядра начинает оказывать сильное влияние на вид волновых функций мюона. Как следствие, изучение их энергетического спектра (иначе говоря, линий поглощения мюонного атома) позволяет «заглянуть» в ядро и исследовать его внутреннюю структуру. Также малые размеры атомов позволяют атомным ядрам сильно сблизиться и слиться, что используется для осуществления термоядерного синтеза (см. мюонный катализ).

Мюоний

Положительный мюон, остановленный в обычной материи, может связать электрон и сформировать *мюоний* (Mu) — атом, в котором мюон действует как ядро. Приведенная масса мюония и, следовательно, его боровский радиус близки к соответствующим величинам для водорода, вследствие чего этот короткоживущий атом в первом приближении ведет себя в химических реакциях как сверхлёгкий изотоп водорода.

Практическое использование

В 1965 году Луис Альварес предложил использовать мюоны, возникающие в земной атмосфере под действием космических лучей, для просвечивания египетских пирамид с целью поиска не обнаруженных пока полостей — погребальных камер. Идея заключалась в том, что с тех направлений, где имеются полости, должен приходить более сильный поток мюонов, поскольку воздух в полостях пропускает больше мюонов, чем известняковые блоки, из которых сделана пирамида. В 1967 году таким образом была изучена около пятой части пирамиды Хафры. Полости обнаружить не удалось^{[2][3]}. В более поздних работах (2017), опирающихся на три различных метода детектирования мюонов, было установлено, что над Большой галереей пирамиды Хеопса находится 30-метровая полость. Центр камеры располагается на 40—50 метров выше пола «Камеры царицы», по длине она сравнима с Большой галереей^{[4][5]}.

Этот метод получил дальнейшее развитие в начале XXI века в связи с задачей выявления ядерной контрабанды. Детектирование мюонов, прошедших через груз, позволяет определить наличие в нём тяжёлых элементов, в том числе, свинца, урана и плутония. Более тяжёлые элементы сильнее отклоняют мюоны в актах рассеяния, поэтому, установив газоразрядные детекторы (дрейфовые камеры) сверху и снизу исследуемого объекта и сравнивая треки мюонов в них, можно определить наличие подозрительных элементов.

Этот метод получил название *мюонной томографии*. Работы по его разработке были начаты в Лос-Аламосской национальной лаборатории в 2003 году под руководством Кристофера Морриса. В 2012 году были проведены первые тесты опытного образца в терминале Фрипорта на Багамских островах. Тесты показали, что оборудование определяет наличие подозрительных материалов с практически стопроцентной надёжностью^[2].

В 2015 году были произведены испытания метода мюонной томографии как метода неразрушающего контроля в электроэнергетике для оценки степени деградации бетона, состояния задвижек и измерения толщин стенок труб^{[6][7]}.

См. также

- Мюонный катализ
- Аномальный магнитный момент мюона

Примечания

- Fundamental Physical Constants - Complete Listing (<http://physics.nist.gov/cuu/Constants/Table/allascii.txt>)
- Алексей Левин*. Мюоны дают добро (<http://elementy.ru/lib/431926>) // Популярная механика. — 2013. — № 3.
- Ученые: мюонный сканер нашел тайную комнату в пирамиде Снофру (<http://ria.ru/science/20160606/1443477469.html>) // июнь 2016
- Физики подтвердили существование «тайной комнаты» в пирамиде Хеопса (https://hi-tech.mail.ru/news/fiziki_podtverdili_suschestvovanie_laquo_taynoy_komnaty_raquo_v_nbsp_piramide_heopsa/?frommail=10&fromnews=1) , *Hi-Tech Mail.Ru* (02.11.2017).
- Kunihiro Morishima et al.* Discovery of a big void in Khufu’s Pyramid by observation of cosmic-ray muons (<https://www.nature.com/nature/journal/vaap/ncurrent/full/nature24647.html>) (англ.) // Nature. — 2017. — doi:10.1038/nature24647 (<https://dx.doi.org/10.1038%2Fnature24647>) .
- Зданиям сделают «томографию» с помощью космических мюонов (<https://nplus1.ru/news/2015/07/01/mutomo>) . N+1 (1 июля 2015). Дата обращения 1 июля 2015.
- J. M. Durham et al.* Tests of cosmic ray radiography for power industry applications (<http://scitation.aip.org/content/aip/journal/adva/5/6/10.1063/1.4922006>) (англ.) // AIP Advances. — 2015. — Vol. 5, no. 067111. — doi:10.1063/1.4922006 (<https://dx.doi.org/10.1063%2F1.4922006>) .

Литература

- Давыдов А. С.* Квантовая механика (<https://books.google.ru/books?id=VlcuAAAAIAAJ>) . — 1963. — 747 с.
- Белоусов Ю. М.* Что такое мюонный метод исследования вещества (<http://www.pereplet.ru/cgi/soros/readdb.cgi?f=ST650>) , Статьи соросовского образовательного журнала
- Вайсенберг А. О.* Мю-мезон. — М.: Наука, 1964. — 399 с.

Источник — <https://ru.wikipedia.org/w/index.php?title=Мюон&oldid=107185779>

Эта страница в последний раз была отредактирована 21 мая 2020 в 22:29.

Текст доступен по лицензии Creative Commons Attribution-ShareAlike; в отдельных случаях могут действовать дополнительные условия.

Wikipedia® — зарегистрированный товарный знак некоммерческой организации Wikimedia Foundation, Inc.