**Дата** 30.01.2021

**Группа** 20-ИСиП-1дк

**Дисциплина** Естествознание (физика)

**Тема Лептоны**

«Лептос» в переводе с греческого значит «легкий», а название «лептоны» было придумано для семейства легких частиц, по аналогии с такими словами, как «электрон» — частица электричества, «протон» — первичная, основная частица, «барион» — тяжелая частица и т. д. В одном слове нельзя выразить все, и названия давались под впечатлением наиболее ярких, наиболее характерных, по мнению физиков того времени, свойств частиц.



Действительно, поначалу было известно всего два лептона — электрон и [нейтрино](https://www.poznavayka.org/fizika/neytrino/). Масса нейтрино — вообще ноль, а масса электрона на два порядка меньше массы всех остальных известных частиц. Потом было открыто еще два лептона — мюон с массой 106 Мэв, что в 207 раз больше массы электрона (но все же меньше массы остальных частиц) и еще одно безмассовое «мюонное» нейтрино.

Но задолго до открытия тяжелого лептона, о котором речь пойдет дальше, стало ясно, что легкость лептонов — свойство чисто внешнее, не отражающее сути явления.

Тогда какое же свойство лептонов следует счесть главным, определяющим их характер и поведение? Безусловно, их категорическое нежелание участвовать в сильном взаимодействии. Свое название это взаимодействие оправдывает тем, что оно сильнее трех других, известных на сегодня, по крайней мере, в тысячу раз. Это оно скрепляет кварки в адронах, нуклоны в ядрах, зажигает [Солнце](https://www.poznavayka.org/astronomiya/solntse-unikalnaya-zvezda/) и звезды…

Тот факт, что лептоны не участвуют в сильных взаимодействиях, пожалуй, наиболее ярко проявился в истории открытия мюона.

В начале тридцатых годов прошлого ХХ века японский физик Юкава предложил первую в истории теорию сильного взаимодействия. Сделал он это по аналогии с уже имевшейся к тому времени теорией электромагнитного взаимодействия, согласно которой заряженные частицы взаимодействуют друг с другом, обмениваясь виртуальными фотонами. По теории Юкавы ядерные частицы взаимодействуют между собой, тоже обмениваясь некими частицами, которые он назвал мезонами (я прошу извинить за непонятные слова, но подробные объяснения увели бы нас слишком далеко в сторону). Мезоны тогда еще не были открыты, но по теоретическим оценкам их масса должна была лежать в районе 100—200 Мэв.

Какова же была радость физиков, когда в 1936 году в космических лучах, открыли частицу с массой 106 Мэв. Вскоре, однако, стало ясно, что это не та частица, которую ждали. Она не испытывала сильных взаимодействий и свободно проходила через толстые слои вещества, тормозясь лишь за счет электромагнитного взаимодействия с оболочкой атомов.

Новая частица — мюон — была лептоном, полностью тождественным электрону с одним- единственным исключением. Она тяжелее электрона в 207 раз. (Настоящая частица Юкавы — переносчик сильного взаимодействия л-мезон — была открыта значительно позже.)

Открытие мюона немало озадачило физиков. Он никак не вписывался в сложившуюся к тому времени картину мира; было совершенно непонятно, кому и зачем он нужен. Не очень понятно это и до сих пор.

Прежде чем начать разговор о недавних открытиях, вспомним еще об одном свойстве лептонов — законе сохранения лептонного числа.

О нем можно было и не говорить — из множества законов сохранения, известных в физике, это один из самых неинтересных. Некоторые законы сохранения — например, энергии и импульса — связаны с глобальными симметриями пространства и времени (например, закон сохранения импульса связан с однородностью пространства, то есть с тем, что законы природы во всех точках пространства одни и те же).

Закон сохранения лептонного числа не связан ни с какой из известных симметрий и носит скорее характер рецепта. О нем, однако, придется рассказать, иначе нельзя будет понять, как было сделано открытие тяжелого лептона.

Забудем пока о мюоне. Представим, что есть всего 4 лептона: электрон, электронное нейтрино и их античастицы — позитрон и электронное антинейтрино. Закон сохранения лептонного числа гласит, что при взаимодействии частиц лептоны могут исчезать и появляться, но лептонное число L = число лептонов минус число антилептонов должно при этом сохраняться.

Мюоны сильно осложняют дело. Как и электронное семейство, мюонное тоже состоит из четырех членов: сам мюон, мюонное нейтрино и их двойники из «Зазеркалья» — анти-мюон и мюонное антинейтрино. (Мюонное и электронное нейтрино — это две разные частицы.) Так вот, сложность в том, что есть не одно лептонное число, а как минимум два — электронное и мюонное, которые должны сохраняться во всех реакциях независимо, каждое в отдельности. Это правило непреложно соблюдалось во всех известных процессах с участием лептонов. Но только до поры до времени.

И вот пришло сообщение об открытии нового явления. Исследовались столкновения электронов и позитронов высокой энергии. Хорошо был известен ранее ряд процессов, протекающих в полном соответствии с законом сохранения лептонных чисел и потому не вызывавших у физиков ни тени недоумения.

Но вот оказалось, что, начиная с энергии 2 Гэв, столкновения электронов и позитронов приводят к довольно странному результату. На «выходе» реакции приборы регистрировали частицы, появление которых явно противоречило закону сохранения лептонных чисел. В свете этого закона такие процессы были просто невозможны.

Было высказано подозрение, что в реакциях замешана какая-то (или какие-то) неизвестная частица, которую следует принимать во внимание при подсчете лептонных чисел. Прошло около полутора лет напряженной работы, пока не стало окончательно ясно, что открыто… сразу две новые элементарные частицы! Одна из них — давно обещанный мною тяжелый лептон. Тау-лептон (так предложили его назвать первооткрыватели) оказался действительно тяжелым. Он весит примерно 1780 Мэв, что почти в два раза превосходит массу протона. И наряду с тау-лептоном существует еще одно (!) нейтральное безмассовое тау-нейтрино — уже третье по счету, отличное от уже известных электронного и мюонного.

Такова разгадка странного явления, открытого на ускорителе. Изложенную здесь картину ни в коем случае не следует воспринимать как умозрительное гипотетическое построение. Процессы указанного типа рассчитываются точно и до конца. Лишь после тщательных измерений и сравнения с предсказаниями теории был сделан вывод, что все происходит именно так, как здесь рассказано.

Мы видим, что известные на сегодняшний день лептоны распадаются на три отдельных независимых семейства (е, уе), (u, vu) (t, vt). Во всех реакциях должен теперь выполняться закон сохранения и тау-лептонного числа.

Я уже говорил, что никому не понятно, зачем нужен мюон. Логично предположить, что тем более непонятно, зачем нужен тау-лептон. И, как ни странно, это будет неверно. Новые «кирпичики» — тау-лептон и тау-нейтрино — очень точно легли на пустовавшее в кладке новой теории место.

Дело в том, что, кроме лептонов, в микромире существуют, как известно, кварки. Кварки отличаются от лептонов тем, что сильно взаимодействуют друг с другом, группируясь в адроны. В настоящее время известно уже пять кварков: нейтронный *n*, странный *s* и прелестный *b* с зарядами — 1/3, а также протонный *p* и очарованный *c* с зарядами + 2/3. Не открыт, но никто не сомневается, что существует и шестой кварк с зарядом +2/3, имени для которого еще нет. Как и лептоны, кварки группируются в семейства: *(pn), (сs)*, а шестой кварк — это недостающая пока пара к недавно открытому в-кварку. Суммарный заряд кварков равен +3.

Лептонов с учетом семейства тау стало шесть штук: электрон, мюон и тау с зарядом — 1 и три сорта нейтральных нейтрино (мы говорим лишь о частицах, а не их антиподах — шести антилептонах и шести антикварках). Суммарный заряд лептонов равен —3.

Итого, полный суммарный заряд кварков и лептонов равен нулю. Есть серьезные основания думать, что это не случайно. Существующая теория слабых и электромагнитных взаимодействий приводила бы к глупостям, так называемым «аномалиям», если бы заряды кварков и лептонов не компенсировались.

На сегодняшний день, правда, совершенно непонятно, почему кварков и лептонов так много — теоретикам вполне бы хватило двух лептонов и двух кварков. Но число кварков и лептонов связано друг с другом — из существования семейства тау вытекает существование пятого и шестого кварков, и наоборот.

Эстетическому чувству человека всегда льстила гармония в делах Природы, красота симметрии в ее творениях. Может быть, поэтому физики с большим удовольствием отмечают некую гармонию, которая открылась в микромире с выходом на новые рубежи пространственно-временных и энергетических масштабов. Радует (и не только глаз) симметрия между семействами кварков и лептонов — частиц, представляющих собой сейчас основные структурные единицы материи. Я умышленно не называю их элементарными в подлинном смысле этого слова, памятуя уроки истории науки, когда казалось, что протон и нейтрон — это, что называется, последние «этажи» микромира. Кварки и лептоны представляются сейчас точечными, неделимыми, хотя со временем и у них может обнаружиться внутренняя структура.

Давайте взглянем на таблицу элементарных частиц, как она выглядит сейчас.



Раньше можно было встретить совсем другие таблицы. Там не было ни кварков, ни глюонов, ни промежуточных бозонов, зато были протон и нейтрон, эта-мезон, кси- со звездочкой, минус-гиперон и еще несколько сот различных частиц. Все они отсутствуют в нашей таблице, поскольку эти частицы теперь уже никак нельзя считать элементарными. На самом деле это сложные составные объекты, сделанные из кварков и глюонов.

Ни кварки, ни глюоны нельзя наблюдать непосредственно — они «не вылетают». Есть только косвенные свидетельства в пользу их существования.

Что касается кварков, то таких свидетельств очень много, они прекрасно согласуются и дополняют друг друга, так что реальность кварков практически несомненна. Вопрос о существовании глюонов на сегодняшний день еще не так ясен — это отмечено соответствующим знаком в таблице.

Вопросительным знаком также отмечены промежуточные бозоны и [бозон Хиггса](https://www.poznavayka.org/fizika/bozon-higgsa-chastitsa-boga-ili-nauchnaya-mistifikatsiya/) — гипотетические агенты слабого взаимодействия. Имеется красивая и стройная теория — так называемая модель Вайнберга — Салама, — предсказывающая их существование. Помимо красоты и стройности, эта теория обладает также тем достоинством, что она правильно описывает эксперимент всюду, где сравнение теории и эксперимента удалось провести. Но решающий эксперимент — по наблюдению еще впереди.

В таблице нет гравитона — предположительно существующего кванта гравитационного поля, который иногда можно встретить в таблицах элементарных частиц. Дело в том, что более или менее удовлетворительные теории сильного, электромагнитного и слабого взаимодействия уже построены (заметим, что раньше сказать так было нельзя). Эти теории и есть свежевыстроенные стены того здания, о котором говорилось в начале. В то же время квантовая теория гравитации пока не создана, а об экспериментах на эту тему сейчас и думать нечего.

Чтобы не заканчивать статью столь пессимистически, попробуем заглянуть в будущее. Общественное мнение ученых склоняется к тому, что будущая теория элементарных частиц станет единой квантовой теорией поля. Если это так, то все известные сегодня виды взаимодействий (включая гравитационное) суть не что иное, как различные формы проявления глобального «сверхвзаимодействия».

Объединение нескольких видов взаимодействия в единое целое на основе более общей теории — не новость для физики. Электромагнитная теория Максвелла, например, показала, что такие на первый взгляд разные явления, как электричество, магнетизм и свет, имеют одну и ту же природу (именно по этому, например, [цвет свечения светодиодных ламп](https://electricvdome.ru/osvechenie/cvetovaya-temperatura-svetodiodnyx-lamp.html) можно описать физическим языком в терминах физики элементарных частиц). Одна из стен будущего здания — теория Вайнберга — Салама — это единая теория слабого и электромагнитного взаимодействия.

В будущей теории не должно остаться места для недоуменных вопросов типа «зачем нужен тау-лептон?» или «почему сильное взаимодействие такое сильное, а слабое — такое слабое?». Эта теория должна ответить на все вопросы, так что мы сможем, наконец, сказать, что действительно знаем, как устроен наш мир.

На вопрос о том, почему же такая замечательная теория до сих пор не создана, можно ответить двояко.

Во-первых, формулировка такой теории — дело, мягко говоря, непростое. Глядя на дрожание наэлектризованных гребешком полосок бумаги и, с другой стороны, на дрожание железных опилок на листке бумаги между полюсами подковообразного магнита, нелегко было угадать вид уравнений Максвелла. Неизмеримо труднее, переводя взгляд с одной части таблицы на другую, понять, какой единый закон обеспечивает все разнообразие свойств элементарных частиц.

Во-вторых, эта теория, если она будет создана, окажется на порядок сложнее существующих. Перед физиками стоят труднейшие математические проблемы, и может пройти не один десяток лет между формулировкой основ теории и моментом, когда станет возможным сравнить предсказания теории с экспериментом.

Тем не менее, задача построения такой теории стоит на повестке дня. Высказаны уже конкретные идеи о том, как должна выглядеть будущая теория. Идеи эти очень красивы, и может быть, их красота не окажется пустоцветом.

**ТЕСТ**

1. Одно из свойств элементарных частиц – способность:  
а) не превращаться друг в друга  
б) излучать энергию  
в) превращаться друг в друга

2. У всех частиц должны быть античастицы, так ли это:  
а) нет  
б) да   
в) не изучено

3. К лептонам относятся:  
а) электроны и антинейтрино   
б) пионы и катионы  
в) нейтрон и нейтрино

4. Переносчиками сильного взаимодействия являются:  
а) бозоны  
б) глюоны   
в) мюоны

5. Сколько на сегодняшний день открыто видов нейтрино:  
а) 4  
б) 3   
в) 5

6. При аннигиляции медленно движущихся электрона и позитрона образовались два гамма – кванта, под каким углом друг к другу они разлетелись:  
а) меньше 180, но больше 90 град.  
б) 90 град.  
в) 180 град.

7. При столкновении пары частицы-античастица происходит явление аннигиляции, так ли это:  
а) нет  
б) да   
в) не изучено

8. Нейтрон, находящийся вне атома ядра, живет в среднем:  
а) 15 мин.   
б) сколько угодно долго  
в) 1,5 – 2 года

9. Античастицы обладают более высокой энергией, чем обычные частицы, так ли это:  
а) да  
б) неизвестно  
в) нет

10. С точки зрения взаимодействия все частицы делятся на три типа:  
а) фотоны, лептоны и андроны   
б) фотоны, лептоны и барионы  
в) мезоны, фотоны, лептоны

Преподаватель \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Исмаилова З.И.