

ЭЛЕМЕНТАРНЫЕ ЧАСТИЦЫ

- Частицы, которые нельзя разделить и из которых построена вся материя называются **элементарными**.
- **Этап первый. От электрона до позитрона: 1897—1932 гг.**
- Демокрит назвал простейшие нерасчленимые далее частицы атомами. Различные предметы, растения, животные состоят из неделимых, неизменных частиц. Превращения, наблюдаемые в мире, — это простая перестановка атомов. Все в мире течет, все изменяется, кроме самих атомов, которые остаются неизменными.
- Но вскоре было открыто сложное строение атомов. Был выделен электрон как составная часть атома, были открыты протон и нейтрон — частицы, входящие в состав атомного ядра. Поначалу на все эти частицы смотрели точно так, как Демокрит смотрел на атомы: их считали неделимыми и неизменными первоначальными сущностями, основными кирпичиками мироздания.

Этап второй.

От позитрона до кварков: 1932—1964 гг.

- Ни одна из частиц не бессмертна.
- Большинство частиц, называемых сейчас элементарными, не может прожить более двух миллионных долей секунды, даже в отсутствие какого-либо воздействия извне.
- Свободный нейтрон живет в среднем 15 мин.
- Лишь частицы *фотон, электрон, протон и нейтрино* сохраняли бы свою неизменность, если бы каждая из них была одна в целом мире (нейтрино лишено электрического заряда, и его масса покоя, по-видимому, равна нулю).
- У электронов и протонов имеются опаснейшие собратья — *позитроны и антипротоны*, при столкновении с которыми происходит *взаимное уничтожение этих частиц и образование новых, ранее не входивших в состав прежних*.

Можно ли разделить на составные части **элементарные частицы ?**



- **Все элементарные частицы превращаются друг в друга, и эти взаимные превращения — главный факт их существования.**
- **Лишь нейтрино почти бессмертны, так как они чрезвычайно слабо взаимодействуют с другими частицами. Однако и нейтрино гибнут при столкновении с другими частицами, хотя такие столкновения случаются крайне редко.**

Бывает и такое.



На рисунке 14.1 вы видите результат столкновения ядра углерода, имевшего энергию 60 млрд эВ (жирная верхняя линия), с ядром серебра фотоэмульсии. Ядро раскалывается на осколки, разлетающиеся в разные стороны. Одновременно рождается много новых элементарных частиц — пионов. Подобные реакции при столкновениях ре-

- Что же происходит при столкновении частиц сверхвысокой энергии?
 - Они отнюдь не дробятся на нечто такое, что можно было бы назвать их составными частями.
 - Нет, они рождают новые частицы из числа тех, которые уже фигурируют в списке элементарных частиц.
 - Чем больше энергия сталкивающихся частиц, тем большее количество частиц рождается.
 - При этом возможно появление частиц с большей массой, чем сталкивающиеся частицы.
- Главное, что надо отметить, — это то, что **всегда выполняется закон сохранения энергии.**

Этап третий. От гипотезы о кварках (1964 г.) до наших дней.

- В 60-е гг. возникли сомнения в том, что все частицы, называемые сейчас элементарными, полностью оправдывают это название. Основание для сомнений простое: **этих частиц очень много.**
- Была открыта группа так называемых **странных частиц**: мезонов и гиперонов с массами, превышающими массу нуклонов.
- В 70-е гг. к ним прибавилась большая группа частиц с еще большими массами, названных **очарованными.**
- Кроме того, были открыты короткоживущие частицы с временем жизни порядка $10^{-22} - 10^{-23}$ с.
- Эти частицы были названы **резонансами**, и их число перевалило за двести.
- **Большинство элементарных частиц имеет сложную структуру.**

Гипотеза М. Гелл-Манна и Дж. Цвейга (в 1964 г.)

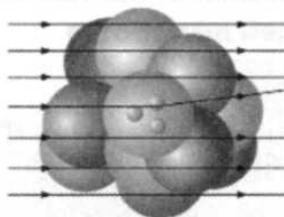
- Все частицы, участвующие в сильных (ядерных) взаимодействиях, — *адроны* — построены из более фундаментальных (или первичных) частиц — *кварков*.
- *Кварки имеют дробный электрический заряд* $+\frac{2}{3}e$ $-\frac{1}{3}e$
- *Протоны и нейтроны состоят из трех кварков.*
- *Протон*
$$\left(+\frac{2}{3}e\right) + \left(+\frac{2}{3}e\right) + \left(-\frac{1}{3}e\right)$$
- *Электрон*
$$\left(-\frac{1}{3}e\right) + \left(-\frac{1}{3}e\right) + \left(-\frac{1}{3}e\right)$$
- *В настоящее время в реальности кварков никто не сомневается, хотя в свободном состоянии они не обнаружены и, вероятно, не будут обнаружены никогда. Существование кварков доказывают опыты по рассеянию электронов очень высокой энергии на протонах и нейтронах.*

Сколько же элементарных частиц?

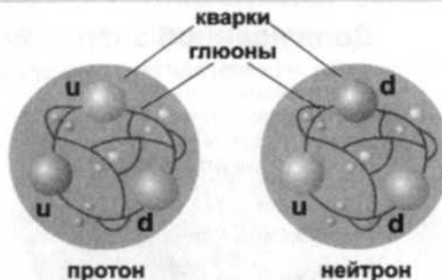
Какие это частицы?

- Число различных кварков равно шести. Кварки, насколько сейчас известно, лишены внутренней структуры и в этом смысле могут считаться истинно элементарными.
- Легкие частицы, не участвующие в сильных взаимодействиях, называются *лептонами*. Их тоже **шесть**, как и кварков (электрон, три вида нейтрино и еще две частицы — мюон и тау - лептон с массами, значительно большими массы электрона).
- Кварки и лептоны — истинно элементарные частицы.

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ



Рассеяние электронов
внутри ядра



протон

нейтрон

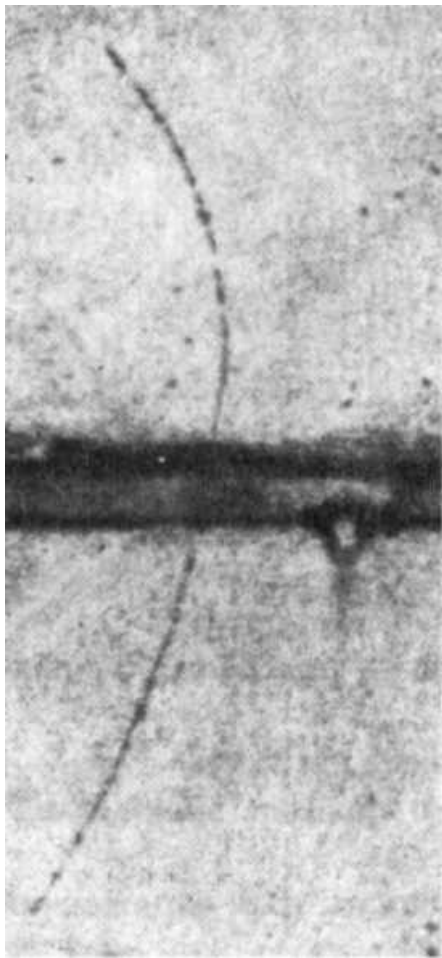
Фундаментальные элементарные частицы

Кварки		Лептоны		
Обозначение	Электрический заряд	Название	Обозначение	Электрический заряд
u	$+\frac{2}{3}e$	Электрон	e	- e
c	$+\frac{2}{3}e$	Мюон	μ	- e
t	$+\frac{2}{3}e$	Таон	τ	- e
d	$-\frac{1}{3}e$	Электронное нейтрино	ν_e	0
s	$-\frac{1}{3}e$	Мюонное нейтрино	ν_μ	0
b	$-\frac{1}{3}e$	Таонное нейтрино	ν_τ	0

Фундаментальные взаимодействия

	Сильное	Электромагнитное	Слабое	Гравитационное
Взаимодействующие частицы	кварки, нуклоны	частицы с электрическими зарядами	кварки, лептоны	все частицы
Радиус действия сил	10^{-15} м	∞	10^{-17} м	∞
Относительная сила взаимодействия	1	10^2	10^3	10^{39}
Частицы - носители взаимодействия	глюоны, мезоны	фотоны	промежуточные бозоны	гравитоны (?)

ОТКРЫТИЕ ПОЗИТРОНА. АНТИЧАСТИЦЫ

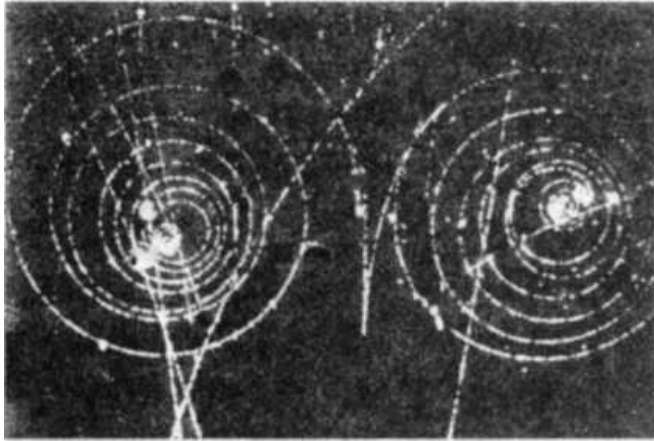


- Существование двойника электрона — позитрона — было предсказано теоретически английским физиком П. Дираком в 1931 г.
- Одновременно он предсказал, что при встрече позитрона с электроном обе частицы должны *исчезнуть*, породив фотоны большой энергии.

$$e_{-1}^0 + e_{+1}^0 \rightarrow 2\gamma_0^0$$

- Спустя два года позитрон был обнаружен с помощью камеры Вильсона, помещенной в магнитное поле.
- На рисунке первая фотография, доказавшая существование позитрона. Частица двигалась снизу вверх и, пройдя свинцовую пластинку, потеряла часть своей энергии. Из-за этого кривизна траектории увеличилась.

Античастицы.



- Процесс рождения пары электрон — позитрон гамма - квантом в свинцовой пластинке показан на фотографии, приведенной на рисунке . В камере Вильсона, находящейся в магнитном поле, пара оставляет характерный след в виде двурогой вилки.
- Исчезновение (*аннигиляция*) одних частиц и появление других при реакциях между элементарными частицами является именно превращением, а не просто возникновением новой комбинации составных частей старых частиц.

$$\gamma_0^0 \rightarrow e_{-1}^0 + e_{+1}^0$$

А существуют ли антиатомы?

- Особенно наглядно обнаруживается это при аннигиляции пары электрон — позитрон. Обе частицы обладают определенной массой в состоянии покоя и электрическими зарядами. Фотоны же, которые при этом рождаются, не имеют зарядов и не обладают массой покоя, так как не могут существовать в состоянии покоя.
- Впоследствии двойники — античастицы — были найдены у всех частиц. Античастицы противопоставляются частицам именно потому, что при встрече любой частицы с соответствующей античастицей происходит их аннигиляция. Обе частицы исчезают, превращаясь в кванты излучения или другие частицы.
- Сравнительно недавно обнаружены *антипротон* и *антинейтрон*. Электрический заряд антипротона отрицателен.
- Атомы, ядра которых состоят из антинуклонов, а оболочка — из позитронов, образуют *антивещество*. В 1969 г. в нашей стране был впервые получен *антигелий*.



- При аннигиляции антивещества с веществом энергия покоя превращается в кинетическую энергию образующихся гамма -квантов.
- Энергия покоя — самый грандиозный и концентрированный резервуар энергии во Вселенной.

Сможете ли вы ответить?

- 1. В чем различие трех этапов развития физики элементарных частиц?
- 2. Электрон — самая легкая из заряженных частиц. Какой из известных вам законов сохранения запрещает превращение электрона в фотоны или нейтрино!
- 3. Перечислите все стабильные элементарные частицы.
- 4. Какова частота гамма - квантов, возникающих при аннигиляции медленно движущихся электрона и позитрона?