Элементарные частицы

План

1. **Элементарные частицы**
2. **Фундаментальные взаимодействия**
3. **Античастицы**
4. **Структура адронов. Кварки.**

Литература

1. **Трофимова Т. И. Курс физики. – § 269 – 275.**

2. **Савельев, И.В. Курс общей физики. В 5-и тт. Том 5, гл.11- Физика атомного ядра и элементарных частиц [Электронный ресурс] : учеб. пособие — Электрон. дан. — Санкт-Петербург : Лань, 2011. — 384 с. — Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/708.**

•

1. Элементарные частицы -- большая группа мельчайших частиц материи, не являющихся атомами или атомными ядрами.

Среди них: электроны, протоны, нейтроны, фотоны, а также мезоны, мюоны, нейтрино, странные частицы, резонансы, «очарованные» частицы, «красивые» частицы.

В основном они нестабильны, имеют исключительно малые размеры. Всего - более 400 частиц.

Характеристики: масса, электрический заряд, момент импульса, магнитный момент и некоторые специфические величины.

Большинство частиц не встречаются в природе, так как они неустойчивы; их получают в лабораториях.

Основной способ получения - столкновение быстрых стабильных частиц, то есть метод рассеяния.

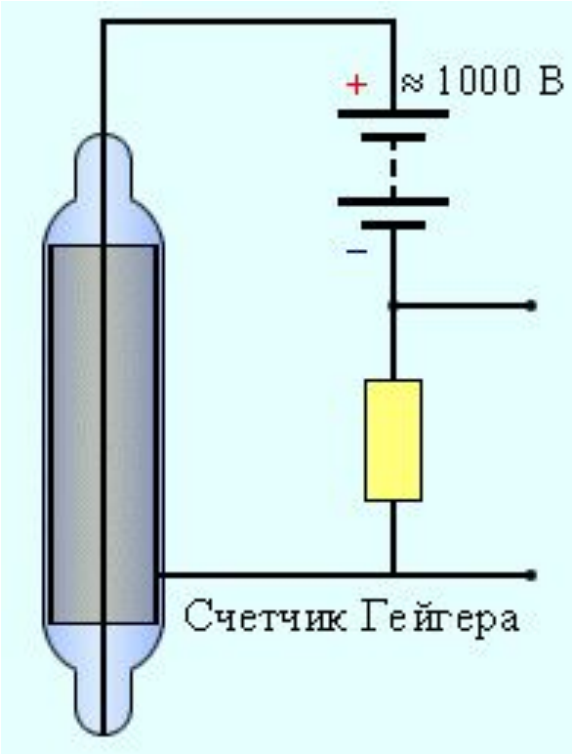
Схема эксперимента (метод рассеяния)

Источники частиц. **1. Радиоактивные препараты**
2. Для получения потоков заряженных частиц с высокой энергией строят ускорители частиц (циклотроны, синхрофазотроны и другие).
Мишени - устройства, содержащее вещество, в состав которого входят исследуемые частицы.

Для регистрации образующихся излучений и частиц применяют различные приборы, позволяющие обнаружить и охарактеризовать (изучить) свойства частиц. Некоторые из них:

Счётчик Гейгера – Мюллера (или просто Гейгера)

Несколько типов счётчиков

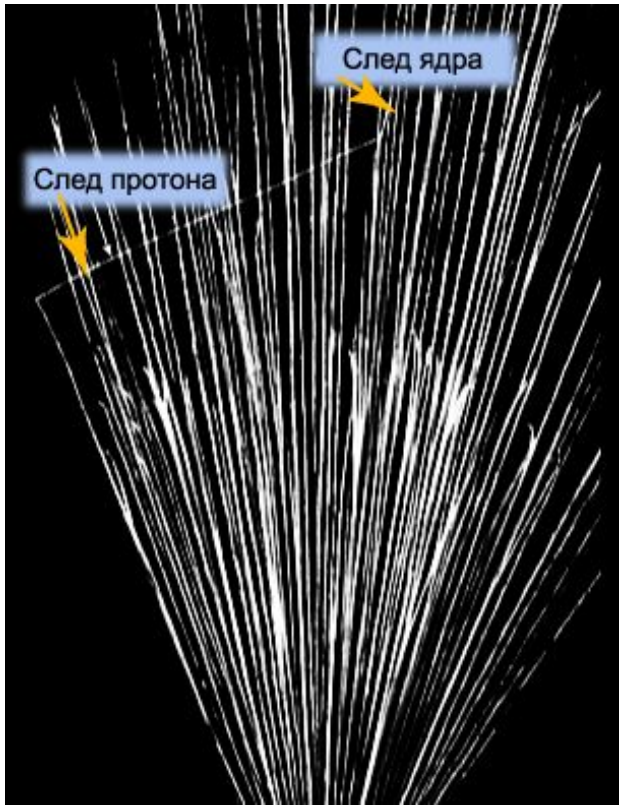


Элемент электронной регистрирующей схемы

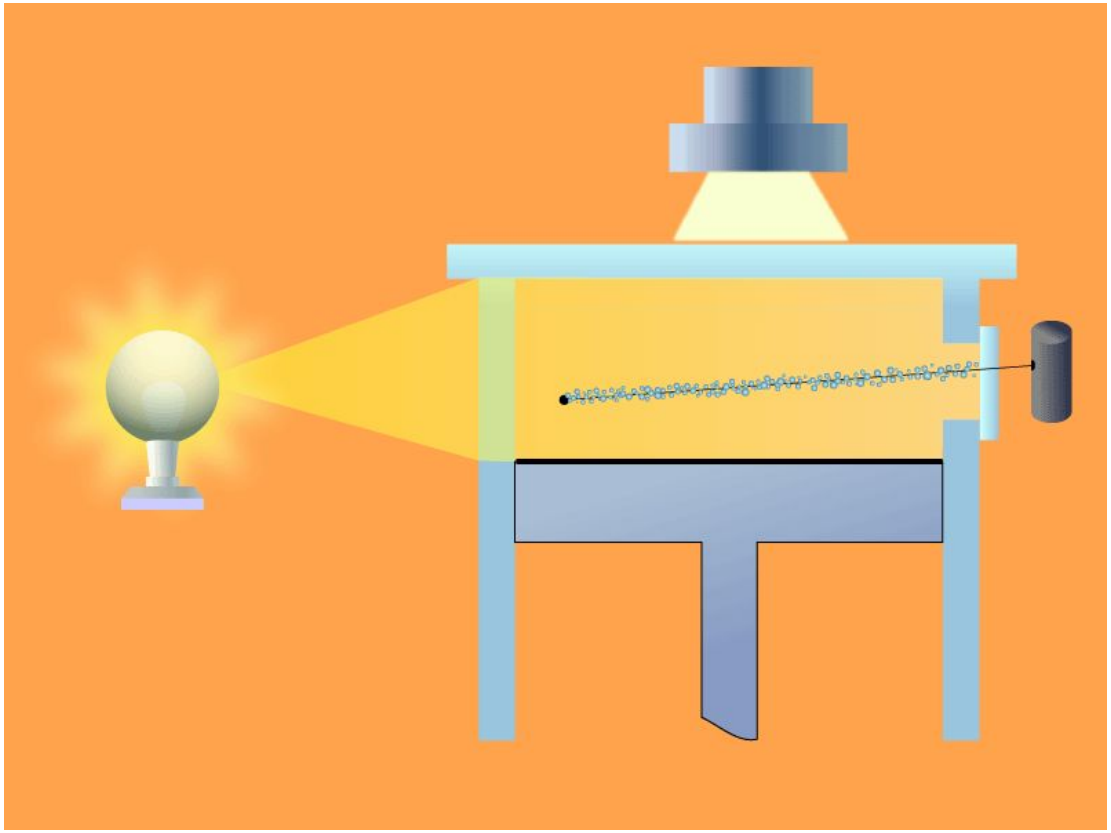
Это газоразрядный счётчик в виде наполненного газом металлического цилиндра (катод) с тонкой проволокой (анод), натянутой по его оси. Регистрируемая частица, попадая в пространство между электродами, вызывает ионизацию газа. Достаточно высокое напряжение между анодом и катодом ускоряет образовавшиеся электроны и ионы, вызывая интенсивную вторичную ионизацию лавинообразного характера. В цепи возникает кратковременный импульс тока, регистрируемый пересчётной (электронной) схемой.

В счётчиках Гейгера-Мюллера выходной импульс не зависит от первичной ионизации. Счётчики регистрирует частицы без измерения её энергии.

Камера Вильсона



Фотографии треков



Устройство камеры Вильсона

Камера Вильсона - это трековый детектор. Выполняется в виде стеклянного цилиндра с плотно прилегающим подвижным поршнем. Цилиндр наполняется нейтральным газом, насыщенным парами воды или спирта. При резком, адиабатическом расширении газа пар становится перенасыщенным и на траекториях частиц, пролетевших камеру, образуются треки из тумана. Образовавшиеся треки фотографируют под разными углами. По характеру и геометрии треков можно судить о типе частиц, их количестве, об энергии.

Если камеру Вильсона поместить в магнитное поле, то можно получить дополнительную информацию о частицах, их свойствах.

Метод ядерных фотоэмульсий

Это простейший трековый детектор заряженных частиц. Прохождение заряженной частицы в эмульсии вызывает ионизацию, приводящую к образованию центров скрытого изображения, После химического проявления следы частиц видны в виде цепочки зерён металлического серебра.

Широко применяются встречные пучки - протон-протонные, электрон-электронные и другие.

Например, Большой адронный коллайдер в Швейцарии, около Женевы. Это ускоритель заряженных частиц на встречных пучках, предназначенный для разгона протонов и тяжёлых ионов (ионов свинца) и изучения продуктов их соударений. Длина основного кольца ускорителя – 26 659 м.

При столкновении одинаковых частиц могут возникнуть различные новые частицы.

Возникающие частицы нестабильны, претерпевают распады и живут после рождения очень малые промежутки времени.

Взаимопревращаемость элементарных частиц - одно из наиболее фундаментальных их свойств.

Фрагмент Большого Адронного Коллайдера

2. Виды фундаментальных взаимодействий

- **Сильное взаимодействие** свойственно тяжёлым частицам. Оно обуславливает связь протонов и нейтронов.
- **В электромагнитном взаимодействии** участвуют электрически заряженные частицы и фотоны. Обуславливает связь электронов с ядрами и молекулами и многие макроскопические свойства вещества.
- **Слабое взаимодействие** характерно для всех частиц, кроме фотонов. Например, бета – распад атомных ядер.
- **Гравитационное взаимодействие** присуще всем телам. Проявляется в виде сил всемирного тяготения. В микромире это взаимодействие предельно слабое.

Силы, действующие между частицами рассматриваются как результат их обмена промежуточной частицей, называемой переносчиком взаимодействия. Некоторые характеристики в таблице

Тип взаимодействия	Радиус действия, м	Интенсивность, относит. ед.	Переносчики взаимодействия
Сильное	10^{-15}	1	Глюоны
Электромагнитное	∞	10^{-2}	Фотоны
Слабое	10^{-18}	10^{-10}	Промежуточные бозоны
Гравитационное	∞	10^{-38}	Гравитоны

При сильном взаимодействии происходит обмен глюонами

Электромагнитное взаимодействие - обмен фотонами

Слабое взаимодействие - обмен промежуточн. бозонами

Гравитационное взаимодействие - обмен гравитонами

Элементарные частицы объединяют в три группы: фотоны, лептоны и адроны (адроны делятся на мезоны и барионы)

1. Фотоны - эта группа состоит из одной частицы - фотона.
2. Лептоны - группа элементарных частиц, к которой относятся электрон, мюон, тау-лептон, электронное нейтрино, мюонное нейтрино, таонное нейтрино и их античастицы.

Лептоны участвуют только в электромагнитном и слабом взаимодействиях и имеют спин *½ ħ.*

Спином называют собственный (внутренний) момент импульса элементарных частиц, измеряемый в единицах ħ. Протон и нейтрон обладают полуцелым спином.

Спин характеризует какое-то вращение, присущее элементарной частице, которое нельзя представить как вращение шарика или волчка. Это вращение носит дискретный характер, что проявляется при помещении частицы во внешнее магнитное поле.

3. Адроны - элементарные частицы, обладающие сильным взаимодействием наряду с электромагнитным и слабым.

Это самая большая группа, к которой относят: нуклоны, пионы, каоны, гипероны и их античастицы.

К классу адронов относят около 300 частиц, участвующих в сильном взаимодействии. В зависимости от их спина они делятся на две группы: мезоны и барионы.

Мезоны - элементарные частицы со спином *0, ħ*, участвующие в сильном взаимодействии.

Барионы (нуклоны и гипероны) - элементарные частицы со спином *ħ/2*, *3 ħ/2*, участвующие в сильном взаимодействии. Стабильной частицей является протон.

ТАБЛИЦА ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ

Группа		Название частицы	Символ		Заряд, ед. e	Масса покоя, ед. m_e	Приблизительное время жизни, с
			частицы	античастицы			
Фотоны		Фотон	γ		0	0	Стабилен
Лептоны		Электрон	e^-	e^+	1	1	Стабилен
		Электронное нейтрино	ν_e	$\tilde{\nu}_e$	0	0	Стабильно
		Мюон	μ^-	μ^+	1	206,8	$\approx 10^{-6}$
		Мюонное нейтрино	n_μ	$\tilde{\nu}_\mu$	0	0	Стабильно
		Тау-лептон	τ^-	τ^+	1	3487	$\approx 10^{-12}$
		Таонное нейтрино	n_τ	$\tilde{\nu}_\tau$	0	0	?
Адроны	*Мезоны*	Пионы	π^0		0	264,1	$\approx 10^{-16}$
			π^+	π^-	1	273,1	$\approx 10^{-8}$
		Каоны	K^0	K^0	0	974,0	10^{-10}—10^{-8}
			K^+	K^-	1	966,2	$\approx 10^{-8}$
		Эта-мезон	η^0		0	1074	$\approx 10^{-19}$
	Барионы	Протон	p	$\tilde{p}$	1	1836,2	Стабилен
		Нейтрон	n	$\tilde{n}$	0	1838,7	$\approx 10^3$

Группа		Название частицы	Символ		Заряд, ед. e	Масса покоя, ед. m_e	Приблизительное время жизни, с
			частицы	античастицы			
Адроны	*Барионы*	Гипероны:					
		лямбда	Λ^0	$\bar{\Lambda}^0$	0	2183	$\approx 10^{-10}$
		сигма	Σ^0	$\bar{\Sigma}^0$	0	2334	$\approx 10^{-20}$
			Σ^+	$\bar{\Sigma}^+$	1	2328	$\approx 10^{-10}$
			Σ^-	$\bar{\Sigma}^-$	1	2343	$\approx 10^{-10}$
		кси	Ξ^0	$\bar{\Xi}^0$	0	2573	$\approx 10^{-10}$
			Ξ^-	$\bar{\Xi}^-$	1	2586	$\approx 10^{-10}$
		омега	Ω^-	$\bar{\Omega}^-$	1	3273	$\approx 10^{-10}$

3. Античастицы

Для каждой элементарной частицы должна существовать античастица.

Частица и античастица должны иметь:

- **одинаковую массу**
- **одинаковое время жизни в вакууме**
- **одинаковые по модулю, но противоположные по знаку электрические заряды (и магнитные моменты)**
- **одинаковые другие характеристики элемент. частиц**

Обозначение античастиц:

$$p \quad - \text{протон}, \qquad \tilde{p} \quad - \text{антипротон}$$

Волнистая линия над символом (буквой) античастицы называется «тильда»

Поль Дирак предсказал существование антиэлектрона, частицы с массой электрона, но имеющий положительный заряд. Позитрон - античастица электрона

Позитрон был обнаружен в 1932 г. в космических лучах.

Он может появиться при взаимодействии гамма - кванта с тяжёлым ядром, всегда вместе с электроном.

$$\gamma + X \rightarrow X + {}^{0}_{-1}e + {}^{0}_{1}e$$

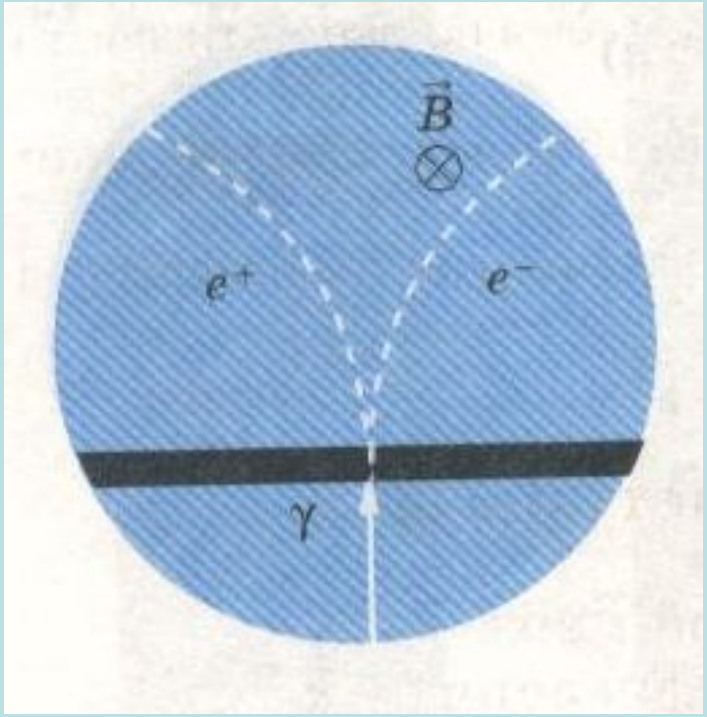
Рождение электрон - позитронной пары есть превращение фотона в две другие частицы (электрон и позитрон).

В камере Вильсона в магнитном поле эта пара оставляет след в виде вилки.

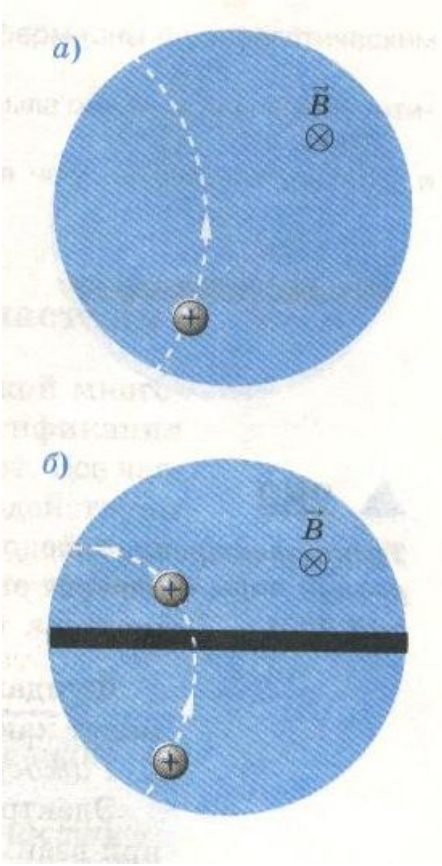
гамма-квант **тяжёлое ядро** **позитрон**

Трек электрон – позитронной пары, порождённой фотоном. Камера Вильсона в магнитном поле. След в виде вилки.

Тёмная полоса -- свинцовая пластина
Y (гамма) -- фотон
Слева - трек позитрона
Справа - трек электрона
Магнитное поле направлено от нас. Используем правило левой руки для определения направления силы Лоренца.



Трек позитрона в камере Вильсона в магнитном поле:
а) без свинцовой пластины б) со свинцовой пластиной



Антипротон был обнаружен в 1955 г. Он отличается от протона знаком электрического заряда. Антипротон отрицателен !

В вакууме позитрон - стабильная частица. Встречаясь друг с другом, электрон и позитрон аннигилируют (« уничтожают ») порождая фотоны большой энергии. Символически это показано в виде :

$$ {}^{0}_{-1}e \quad + \quad {}^{0}_{1}e \rightarrow 2\gamma $$

Атомы, ядра которых состоят из антинуклонов, а оболочка - из позитронов образуют **антивещество.**

При аннигиляции вещества и антивещества высвобождается в виде излучения огромная энергия - энергия покоя.

Факты о существование во Вселенной областей, заполненных антивеществом , пока неизвестны !

Законы сохранения

- **Закон сохранения энергии.** Сумма энергий – масс частиц до взаимодействия равна сумме энергий – масс после взаимодействия.
- **Закон сохранения электрического заряда**
- **Законы сохранения импульса и собственного момента импульса (спина)**
- **Закон сохранения барионного заряда.** Во всех взаимодействиях алгебраическая сумма барионных зарядов сохраняется.

Массовое число A является барионным зарядом B ядра, то есть B = A. Для всех барионов B = 1, у антибарионов B = - 1, у небарионов B = 0.

Это специфический закон сохранения, существует в микромире для элементарных частиц.

При β – распаде нейтрона закон сохранения барионного заряда имеет вид:

$$n \rightarrow p + {}^{0}_{-1}e + \tilde{\nu}_e \quad (\tilde{\nu}_e - \textit{нейтрино})$$

$$1 = 1 + 0 + 0$$

Закон сохранения лептонного заряда. **Сумма лептонных зарядов до и после взаимодействия частиц не изменяется.**

Для выделения класса лептонов введено квантовое число - *лептонный заряд L . Для лептонов L = 1, для антилептонов L = - 1, для адронов L = 0*

Пояснение. Дело в том, что некоторые реакции взаимодействия элементарных частиц, в которых участвуют адроны, не происходят, хотя вроде бы основные фундаментальные законы энергии, импульса, заряда и другие выполняются.

Физики высказали гипотезу о существовании нового закона сохранения - закона сохранения «барионного заряда». Барионный заряд означает то же самое , что и число нуклонов, которое сохраняется в ядерных реакциях. В связи с новым законом и было сделано предположение о том, что барионный заряд всех нуклонов равен +1, а у антинуклонов равен -1.

Аналогично, в процессах, связанных с о слабыми взаимодействиями, главным образом в радиоактивных распадах, другой класс частиц-лептоны - проявляют чисто свои свойства, особенности. Чтобы объяснить эти свойства было введено понятие «лептонный заряд». Для лептонов этот заряд L = + 1, для антилептонов L = - 1, для адронов L = 0. Распады, в которых лептонный заряд не сохранялся бы, а все остальные законы сохранения были бы выполнены, не наблюдались.

4. Структура адронов. Кварки.

- **Большое разнообразие элементарных частиц и квантовых чисел означает, что пока не открыты какие - то основные законы. Происходит собирание фактов, а единое описание элементарных частиц и полей не создано.**

1963 г. Модель Гелл - Манна и Цвейга. Эти учёные предположили, что все барионы составлены из трёх фундаментальных частиц, обладающих дробным электрическим зарядом. Их название - кварки.

Символы кварков.

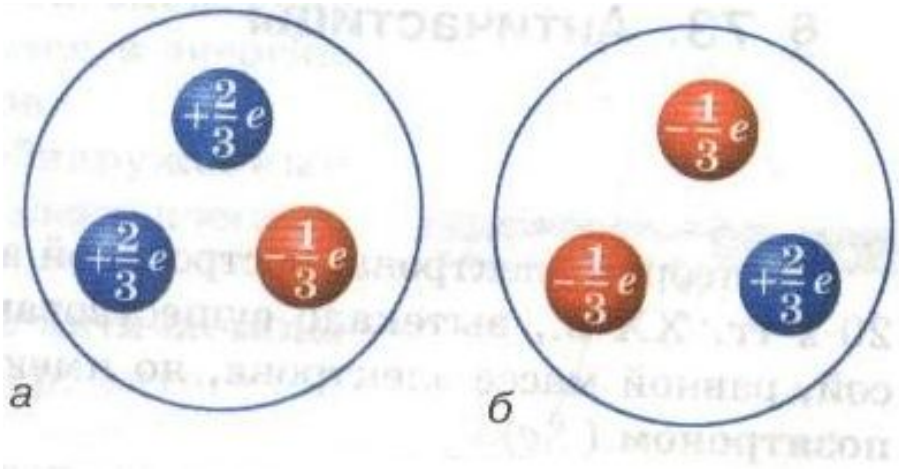
u - кварк , электрический заряд $Q = +2/3 \cdot e$

d - кварк , электрический заряд $Q = -1/3 \cdot e$

Барионы (протон и нейтрон) образуются в результате следующих комбинаций этих кварков

$$p \rightarrow uud, \qquad Q_p = +\frac{2}{3}\cdot e + \frac{2}{3}\cdot e - \frac{1}{3}\cdot e = +e \qquad \textit{протон}$$

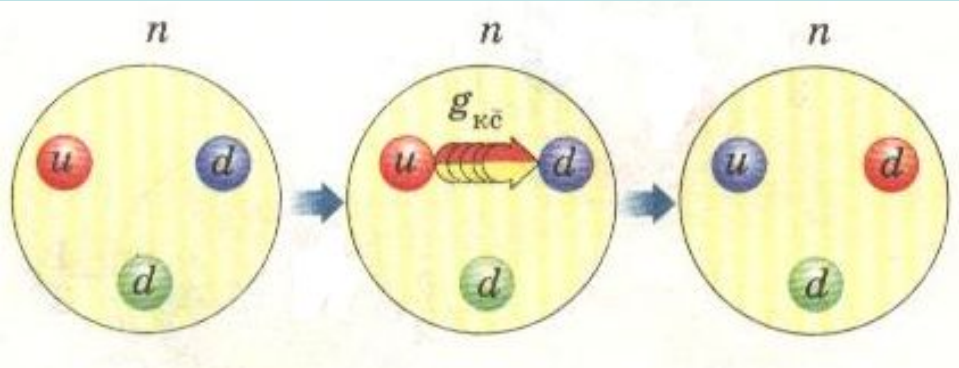
$$n \rightarrow udd, \qquad Q_n = +\frac{2}{3}\cdot e - \frac{1}{3}\cdot e - \frac{1}{3}\cdot e = 0 \qquad \textit{нейтрон}$$



протон **нейтрон**

После обнаружения тяжёлых адронов были добавлены ещё две пары кварков: s - (strange), c - (charmed) , b - (beauty), t - (truth). Их массы заметно превышают массы u - кварка и d - кварка .

- Сильное взаимодействие между кварками осуществляется при обмене глюонами.
- Глюон - бозон со спином 1, переносчик сильного взаимодействия. Электронейтрален и не имеет массы покоя.



Взаимодействие кварков в нейтроне

Фундаментальные частицы - бесструктурные элементарные частицы, которые пока не удалось описать как составные образования.

- У ряда элементарных частиц обнаружена внутренняя структура
- В настоящее время фундаментальными частицами считают кварки и лептоны
- Все фундаментальные частицы являются фермионами
- Окружающая Вселенная состоит из 48 фундаментальных частиц

А существуют ли истинно элементарные частицы, первичные, неделимые частицы, из которых состоит материя ? Покажут дальнейшие исследования!

До свидания!

Это последняя тема нашей физической программы.

Успехов на экзамене и в жизни!