

# Структура и взаимодействие адронов

# Элементарные частицы

Адроны – сильно  
взаимодействующие частицы

Барионы

Мезоны

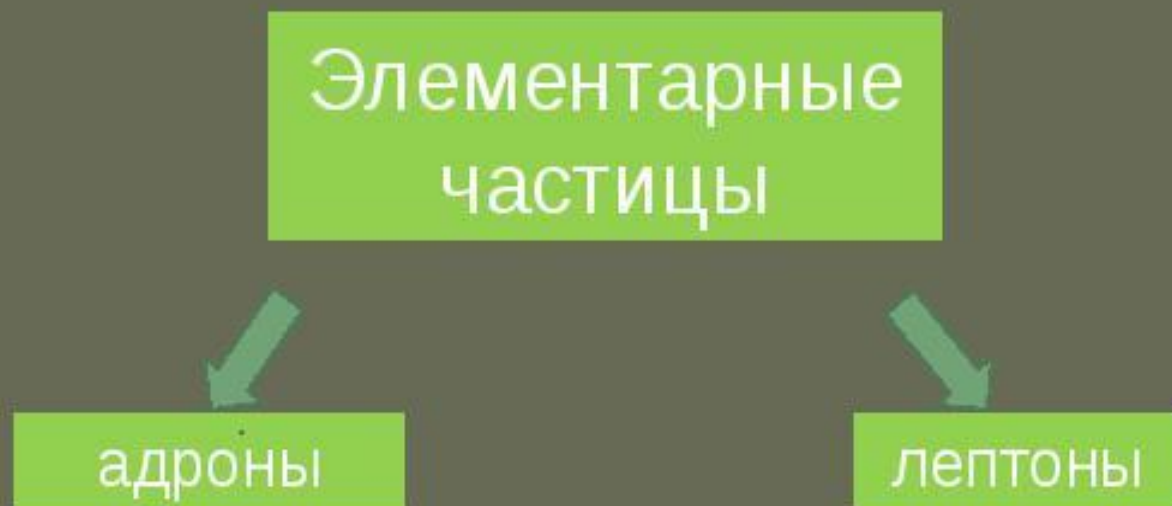
Кварки

Лептоны – слабо  
взаимодействующие частицы

Электроны  
Мюоны  
Тау-частицы

Электронное нейтрино  
Мюонное нейтрино  
Тау-нейтрино

# Классификация по видам взаимодействия

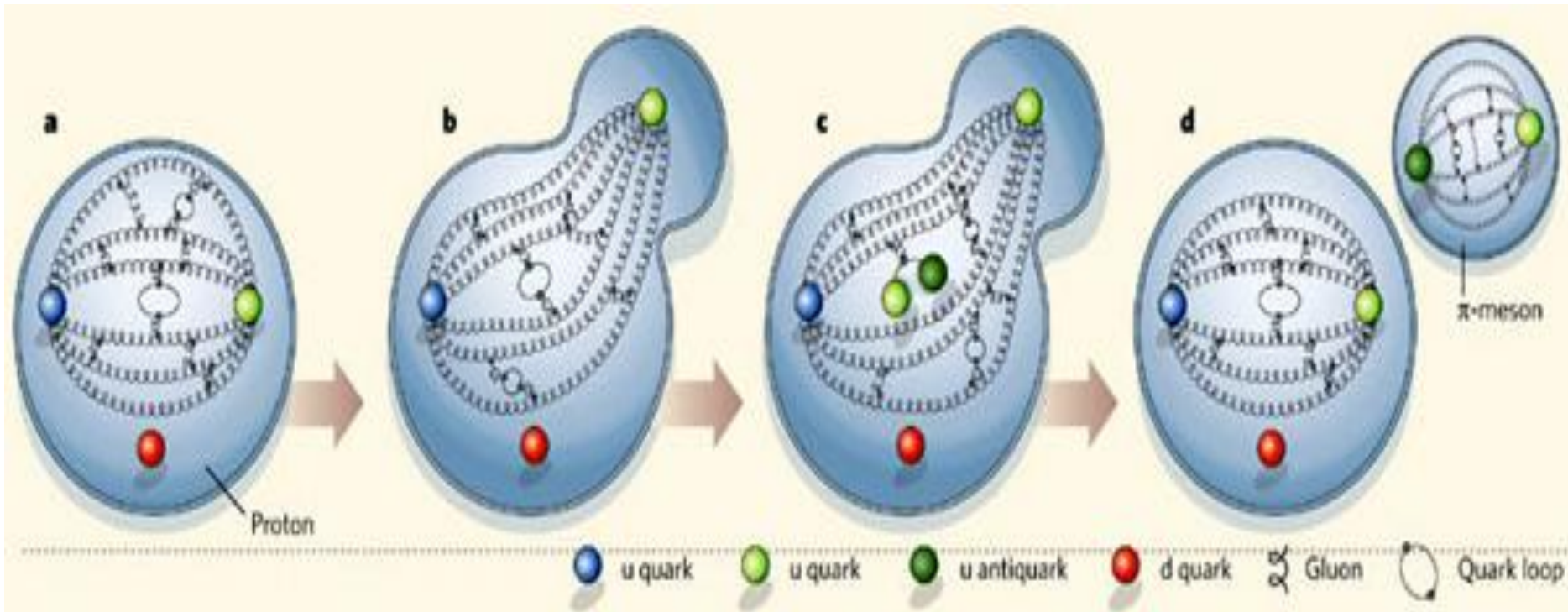


**Адроны** – элементарные частицы, участвующие в сильном взаимодействии (протоны, нейтроны и еще более сотни вновь открытых частиц)

**Лептоны** – фундаментальные частицы, не участвующие в сильном взаимодействии (12 частиц – 6 частиц и 6 античастиц). (электрон, нейтрино ...)

- **Адронами** называют частицы, участвующие в сильном взаимодействии. Все адроны — составные частицы, они состоят из кварков или антикварков. **Мезоны** — это адроны, состоящие из кварк-антикварковой пары, **барионы** — это адроны, состоящие из трех кварков (соответственно, антибарионы состоят из трех антикварков).

- Физики видят в многочисленных экспериментах, что протоны, нейтроны и другие адроны действительно состоят из отдельных «комочков материи», которые, хоть и движутся друг относительно друга, но навеки скреплены глюонными силами. Разделить протон на отдельные кварки, отделить один кварк от других не получится. Как только вы попытаетесь это сделать, приложите достаточную силу для вытягивания одного кварка из протона, так сразу же глюонное поле породит новую кварк-антикварковую пару. Вместо вытягивания кварка вы извлечете из протона мезон, а протон так и останется протоном. Этот процесс называется [адронизация](#) — «превращение в адроны».



- Такое поведение кварков называют **конфайнментом** — «пленением» кварков внутри адронов. Получается так вовсе не из-за самих кварков, а из-за сил, которые между ними действуют. Связывающее их силовое поле не просто сильное, оно очень особенное, непохожее на электромагнитные силы. Это силовое поле способно чувствовать само себя, способно взаимодействовать с собой и от этого усиливаться. В результате получается, что если этому силовому полю предоставить всё пространство, то его энергия будет неограниченно возрастать. Это очень невыгодно с точки зрения энергии; гораздо выгоднее для этого поля будет породить много кварк-антикварковых пар, которые замкнут на себя это поле. И вот тогда оно будет спрятано в отдельных кварковых или антикварковых комбинациях, а на всё пространство распространяться не будет.

Время жизни протона ( $10^{31}$  лет) – стабильная частица, все другие адроны распадаются.

Американские физики-теоретики Геллман и Цвейг предположили, что адроны являются составными частицами (т.к. их “ $m$ ” > чем “ $m$ ” лептонов).

- На жаргоне физиков то свойство, которое позволяет кваркам чувствовать глюонное поле, называется **цвет** (он, конечно, не имеет никакого отношения к оптическим цветам, это просто приятное название для новой величины). Цветов у кварков три, и еще три противоположных цвета у антикварков. А адронами являются не произвольные, а именно такие комбинации, в которых все цвета «сокращаются», или, как говорят физики, бесцветные комбинации (то есть три кварка с тремя разными цветами или кварк и антикварк с противоположным цветом).



- Описанная выше схема, по которой кварки группируются по двое и по трое и становятся бесцветными адронами, называется [наивной кварковой моделью](#). Эта модель не объясняет, почему все адроны объединяются только по двое и по трое. Можно построить и другие бесцветные комбинации кварков и антикварков, создать многокварковые адроны, но они почему-то на опыте не встречаются.
- А точнее, они не встречались до недавнего момента. Начиная с середины 2000-х годов стали появляться надежные экспериментальные данные, что некоторые адроны не вписываются в простую схему наивной кварковой модели. Такие адроны называются **экзотическими**. Правда, количество известных на сегодня экзотических адронов очень невелико, всего несколько штук против нескольких сотен обычных адронов — и причем все они мезоны; подтвержденных данных по пентакваркам и другим экзотическим барионам пока нет.

# Структура адронов

## Адроны

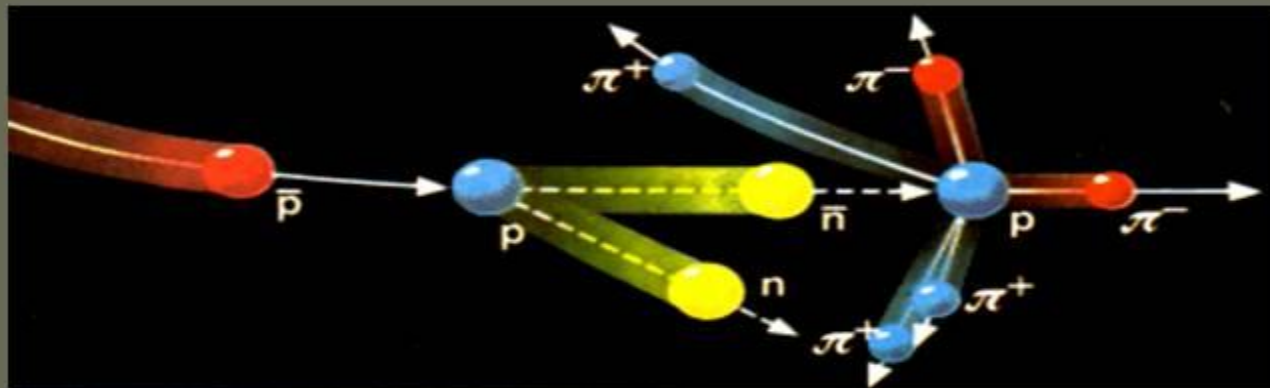
### барионы-

3 кварков

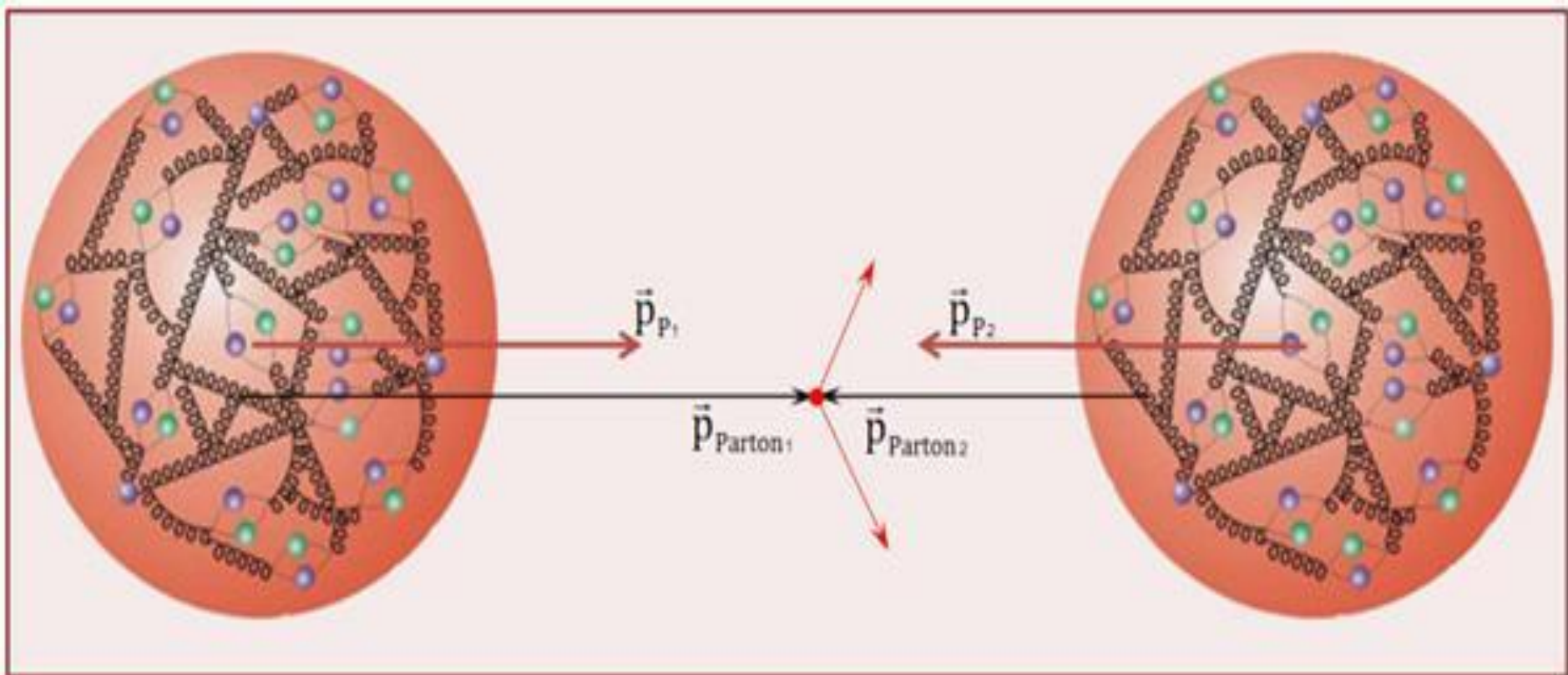
### МЕЗОНЫ-

кварка и антикварка

СОСТОЯТ ИЗ



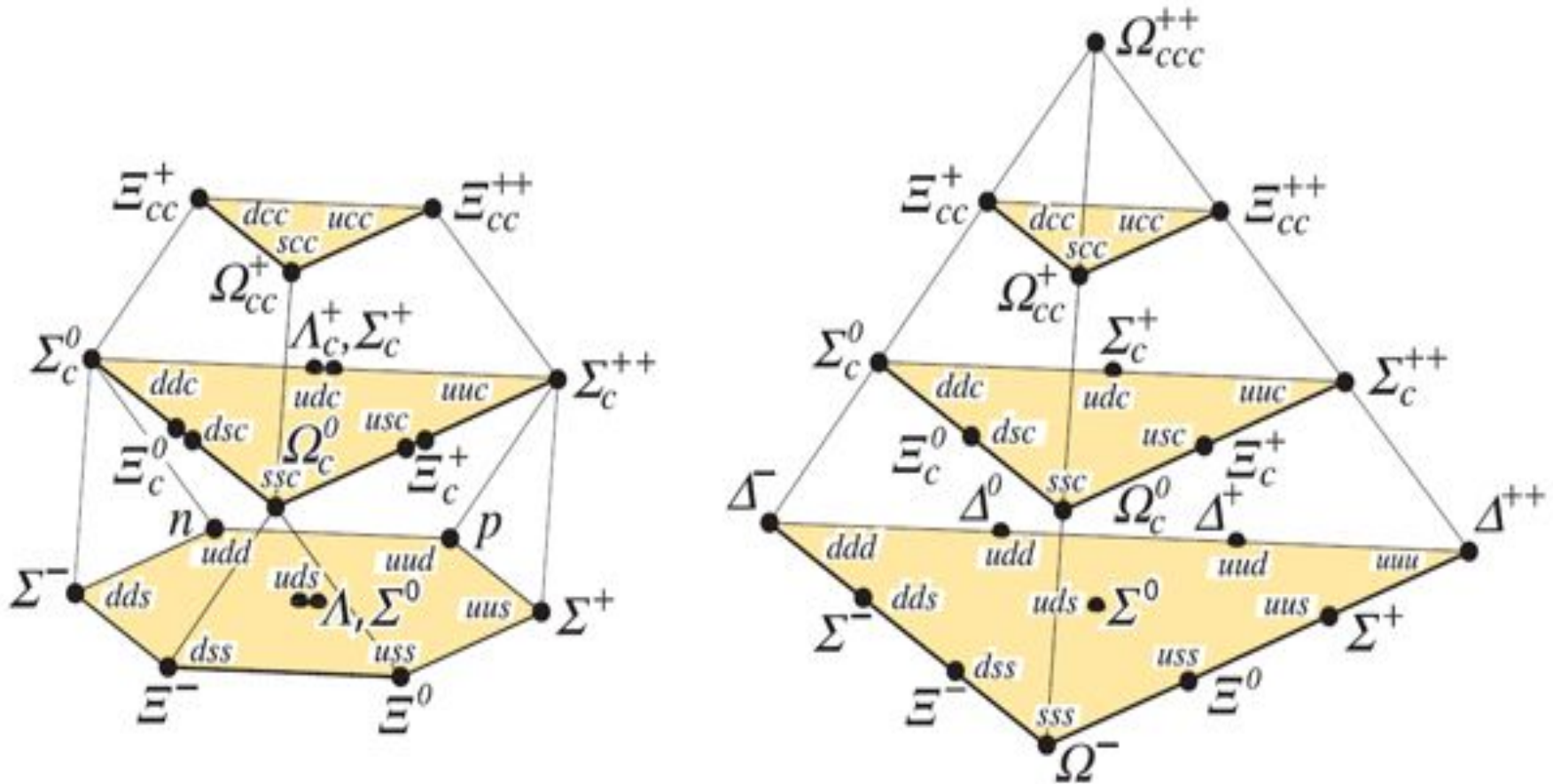
- Дело в том, что утверждение «протон состоит из трех кварков» хорошо работает только для неподвижного или медленно движущегося протона. Если же протон летит со скоростью, близкой к скорости света, то его состав кардинально меняется: в нем словно «нарождаются» многочисленные кварки, антикварки и глюоны (они совокупно называются **партоны**), которые летят вперед одним компактным облаком и, собственно, представляют собой протон. В столкновении таких быстролетающих протонов реально сталкивается не вся толпа этих отдельных частиц, а лишь по



- Протон, движущийся с околосветовой скоростью, представляет из себя облако партонов: кварков, антикварков и глюонов. Когда происходит столкновение двух таких протонов, реально сталкивается лишь пара партонов. Получается, что состав протона — вещь не абсолютная, а зависит от системы отсчета.

- **Классификация адронов**
- **Общепринятые обозначения**
- Адроны могут содержать любые комбинации этих пяти кварков, которые, к тому же, могут еще и по-разному двигаться друг вокруг друга наподобие того, как электроны могут по-разному двигаться вокруг ядра. Поэтому даже из небольшого числа кварков можно, в принципе, составить неограниченное количество адронов.
- Мезоны и барионы с разным кварковым составом обозначаются разными прописными буквами; при этом мезоны обычно обозначаются латинскими буквами (K-мезоны, D-мезоны, B-мезоны), а барионы — греческими ( $\Lambda$ ,  $\Sigma$ ,  $\Xi$ ,  $\Omega$ ). Исключение составляют исторически сложившиеся названия:  $\pi$ -мезоны,  $\rho$ -мезоны,  $p$ ,  $n$  и т. п. Внутри одного семейства частицы обозначаются одинаковой буквой, но к ней либо приписываются индексы, либо в скобках добавляется масса. Например, «обычный» B-мезон с кварковым составом (d-анти-b) так и обозначается: B, но мезон с составом s-анти-b обозначается  $B_s$  и называется странным прелестным мезоном. Обычный  $\Lambda$ -барион с кварковым составом  $uds$  обозначается просто  $\Lambda$ , а возбужденное состояние тех же кварков с общей массой 1519,5 МэВ обозначается  $\Lambda(1520)$ .
- Особый класс составляют мезоны с кварком и антикварком одинакового аромата, в особенности c-анти-c и b-анти-b. Такие состояния называются **кваркониями** (и конкретно — «чармонием» в случае c-анти-c и «боттомонием» в случае b-анти-b), по аналогии с позитронием, который состоит из электрона и его античастицы, позитрона. В семействе кваркониев есть много состояний со слегка отличающимися массами, которые могут переходить друг в друга с излучением фотонов, по аналогии с переходами электронов между уровнями энергии в возбужденных атомах.

- Свойства кварков позволяют удобно распределять семейства адронов в узлах тетраэдральной решетки. На рис. 4 даны схемы этих решеток для барионов со спином 1/2 или 3/2, составленных их первых четырех кварков. Каждое пространственное направление здесь отвечает какому-то аромату кварков: двигаясь слева направо, вы добавляете u-кварки, двигаясь от заднего фона рисунка к переднему — странные кварки, двигаясь вверх — очарованные кварки. По такому же принципу можно [добавлять и прелестные кварки](#), но только тетраэдр при этом получится уже четырехмерный.
- Схема барионов со спином 1/2 (слева) или 3/2 (справа), составленных их первых четырех кварков.





- Аналогичная диаграмма для мезонов, состоящих из первых четырех кварков. Схема мезонов со спином 0 (слева) и 1 (справа), составленных из первых четырех кварков.

