Задача: дана реакция. Понять, идёт ли она. Если идёт, то за счёт какого взаимодействия. Нарисовать диаграммы Фейнмана и кварковые.

ЧАСТЬ 1: ПРО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

Первым делом проверяем:
1. Закон сохранения заряда. Если он не выполняется, реакция невозможна.
2. Закон сохранения барионного заряда – число барионов слева и справа должно быть одинаково. (Напомним, что антибарионы – антинейтроны, антрипотоны и т.д. считаются как минус один барион)
3. Законы сохранения лептонного заряда – электронного, мюонного и таонного.

Если что-то из этого не выполняется, реакция не идёт.
Тренируемся:
$K^+ \to \pi^0 + e^+ + \bar{\nu}_e$
Барионов нигде нет, с ЗСЭ всё ОК, а вот с электронным зарядом нет: у e+ он -1, и у антинейтрино он -1. Получается, было 0, а стало -2. Реакция невозможна.

Есть ещё два условия, при которых реакция также невозможна – ЗСЭ. (Отмечу, что ЗСИ выписать бан не может, а ЗСЭ может).
4. Если слева одна частица:

$$a \to b + c$$
$$a \to b + c + d$$

То необходимо, чтобы её масса m (или, что равносильно, энергия покоя W) была больше, чем сумма энергий покоя частиц справа:

$$W_a > W_b + W_c$$
$$W_a > W_b + W_c + W_d$$

Обсудим, почему это так. Ведь мы можем частицу a, казалось бы, разогнать, перед тем, как она распадётся. Однако это рассуждение неверно: мы можем перейти в СК, где она покоится, а там тоже ЗСЭ должен выполняться: слева у нас будет только энергия покоя, а справа уж явно НЕ МЕНЬШЕ, чем сумм энергий покоя. Так что если условия

$$W_a > W_b + W_c$$
$$W_a > W_b + W_c + W_d$$

не выполнены, реакция не идёт.

Замечание. Отметим, что если слева две частицы:

$$a + b \to c + d$$

И при этом

$$W_a + W_b < W_c + W_d$$

То тут у нас проблем нет, т.к. в этом случае мы можем разогнать одну из частиц слева настолько, что реакция станет возможной. Рассуждение о

переходе в СК, где частица покоится, уже не сработает, т.к. у нас уже две частицы, и нет СК, где они бы покоились обе.
5. Если справа одна частица:

$$a + b \to c$$
$$a + b + c \to d$$

То совершенно аналогично надо проверить, что её энергия покоя > сумм энергии покоя слева. Если это неверно, то реакция не идёт.

Тренируемся:

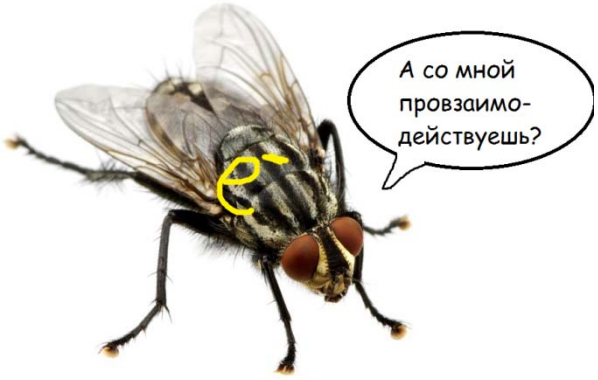
$$\pi^0 \to \mu^+ + \mu^-$$

Распад пиона на две античастицы. У пиона энергия покоя 135 МэВ, у мюонов 105 Мэв. 135<105+105, а должно быть. Вывод: реакция не идёт. (На самом деле пион распадается на два фотона: $\pi^0 \to 2\gamma$)

Если (1)-(5) выполнены, то реакция идёт ***хоть по какому-то взаимодействию***. Теперь наша задача – узнать, какое взаимодействие.

6. Выписать кварковый состав частиц, привести подобные: кварк-антикварк в одной части, кварк-кварк в другом.
Если после упрощений не совпало – только слабое!

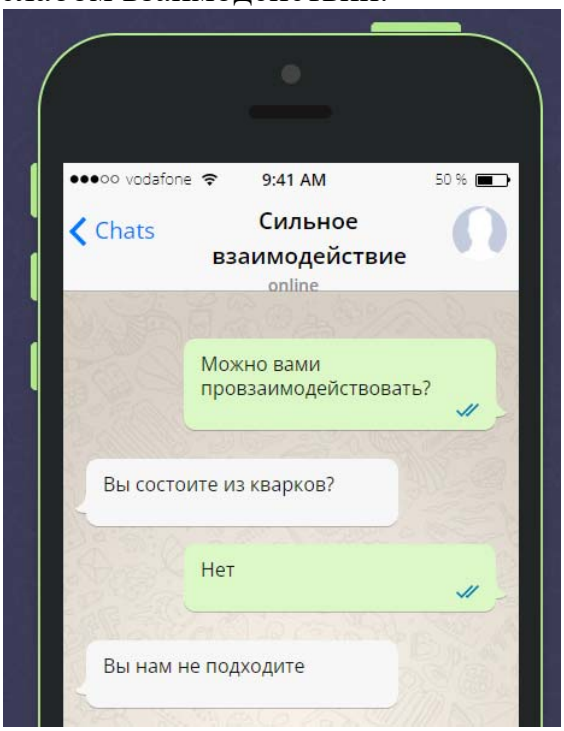
7. Если в реакции есть хотя бы один не-адрон (не барион и не мезон), а, например, гамма-квант γ, лептоны $e^+, e^-, \mu^+, \mu^-, \tau^+, \tau^-$, нейтрино или антинейтрино – это не сильное взаимодействие. Ему, сильному, интересны только частицы из кварков, т.е. андроны.

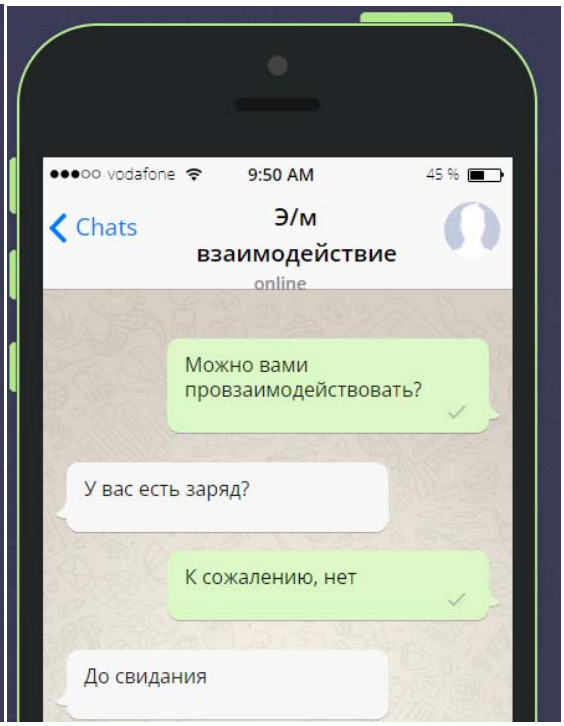


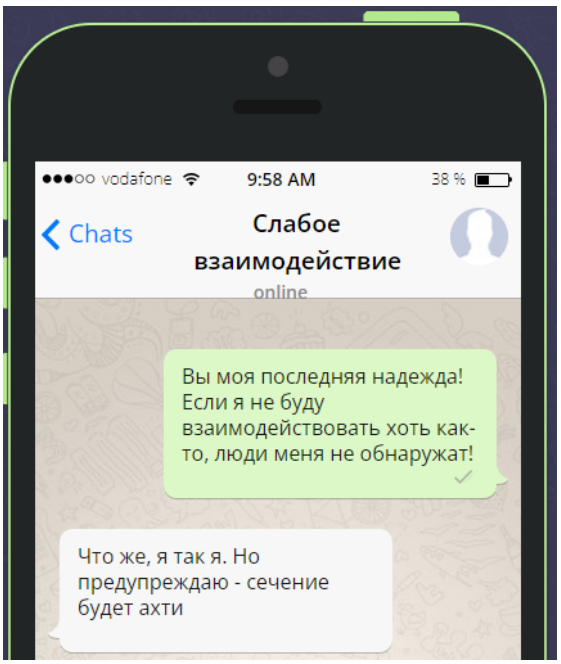
Отмечу и обратное – если в реакции участвуют только адроны и реакция в принципе возможна (т.е. пункты 1-5 отдельно бана не вынесли) – это сильное взаимодействие, дальше можно не смотреть.

8. Если в реакции есть хотя бы одна незаряженная частица, то это точно не э-магнитное взаимодействие. Чтобы в нём участвовать, нужно иметь заряд:

9. Следствие п.7 и п.8 – нейтрино и антинейтрино могут участвовать только в слабом взаимодействии.







10. Если в реакции участвуют фотоны – это 100% электромагнитное взаимодействие.

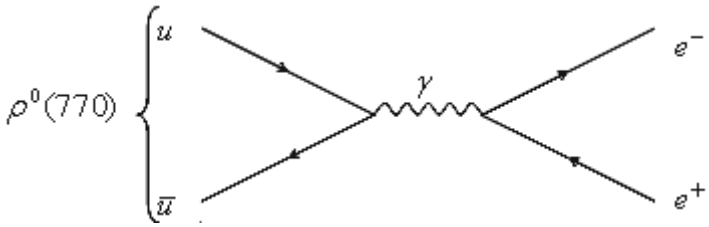
Тренируемся! Таблица частиц:
http://nuclphys.sinp.msu.ru/introduction/particltab.htm

$$\pi^0 \to 2\gamma$$

(1) – (5) банов не выдают, значит, реакция возможна. Есть гамма-кванты (п.10)=>сильное взаимодействие.

$$\rho^0 \to e^+ + e^-$$

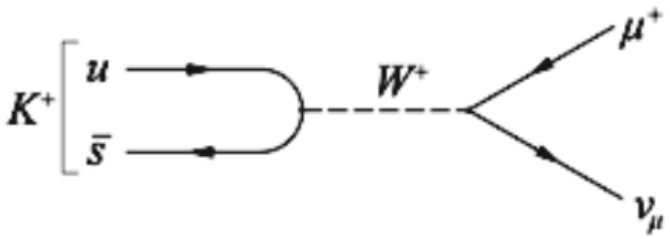
(1) – (5) банов не выдают, значит, реакция возможна. Электрон и позитрон не адроны, так что сильное взаимодействие сразу идёт лесом. Может быть и э/м, и слабое. В этом случае выбираем электромагнитное, как более вероятное:



Замечание. π^0 и ρ^0 по кварковому составу идентичны: $u\bar{u}-d\bar{d}$, и может возникнуть вопрос, почему это не одна и та же частица. Ответ: частицы могут различаться не только кварковым составом: так, π^0 и ρ^0 имеют разный спин (0 и 1 соответственно). Прямо спин на реакцию не являет, однако он меняет массу частицы - у π^0 135 МэВ , а ρ^0 770 МэВ.

$$K^+ \to \mu^+ + \nu_\mu$$

(1) – (5) банов не выдают. Наличие нейтрино сразу (п.9) говорит о слабом взаимодействии:



$$\rho^0 \to \pi^+ + \pi^-$$

(1)-(5) банов выдают. Все частицы – адроны, что сразу толкает на мысль о сильном взаимодействии. Проверяем кварковый состав:

$$\frac{\bar{u}u + d\bar{d}}{\sqrt{2}} \to u\bar{d} + d\bar{u}$$

Сохраняется! Взаимодействие сильное.

Замечание. Если вам неочевидно сохранение кваркового состава, то посмотрите: ρ^0 (как π^0) – истинно нейтральный мезон, поэтому чтобы не работать с неудобной линейной комбинацией $\frac{\bar{u}u+d\bar{d}}{\sqrt{2}}$, можете заменять на $u\bar{u}$ или $d\bar{d}$ - на ваш выбор.

$$K^+ \to \pi^+ + \pi^0$$

Участвуют только адроны… но давайте проверим кварковый состав:

$$K^+ = u\bar{s}$$

$$\pi^+ = u\bar{d}$$

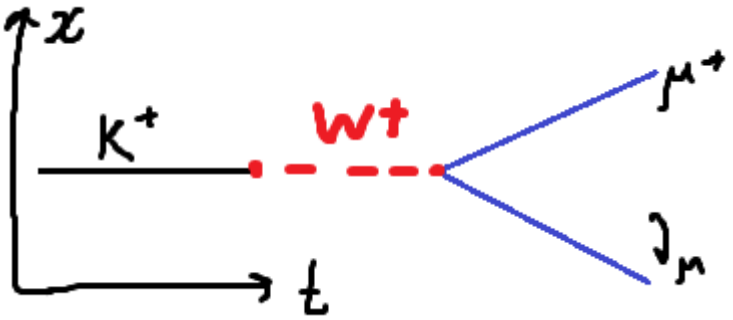
$$\pi^0 = u\bar{u} \text{ (или } d\bar{d})$$

Слева есть странность, а справа её нет => кварковый состав не сохраняется! Слабое взаимодействие!

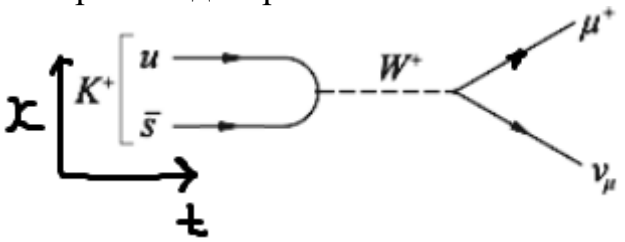
Замечание. Если будете смотреть сайт Нуклфиза, они ещё будут рекомендовать смотреть сохранение изоспина и его проекции. Не тратьте время, это входит в «проверку кваркового состава» как частный случай. Здесь http://anti-moda.ru/yadro/Изоспин%20-%20законы%20сохранения,%20связанные%20с%20ним.%20Разбираемся,%20почему%20они%20говно.pdf это рассматривается подробнее.

ЧАСТЬ 2: ПРО ДИАГРАММЫ – ФЕЙНМАНА И КВАРКОВЫЕ

Кварковые диаграммы более подробны, чем диаграммы Фейнмана. Сравните: диаграмма Фейнмана



и кварковая диаграмма



Как видите, разница в том, что в кварковой диаграмме ещё дополнительно указывается кварковый состав частиц.

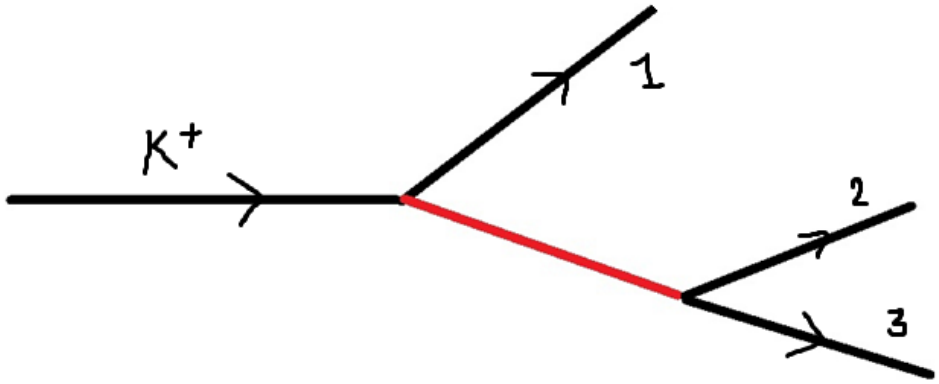
В случае сильного взаимодействия рисовать диаграмму Фейнмана бессмысленно, поэтому там рисуется кварковая. В остальных случаях можно рисовать и ту, и ту.

Какого-то формального рецепта по их нарисовке нет. Рассмотрим примеры.

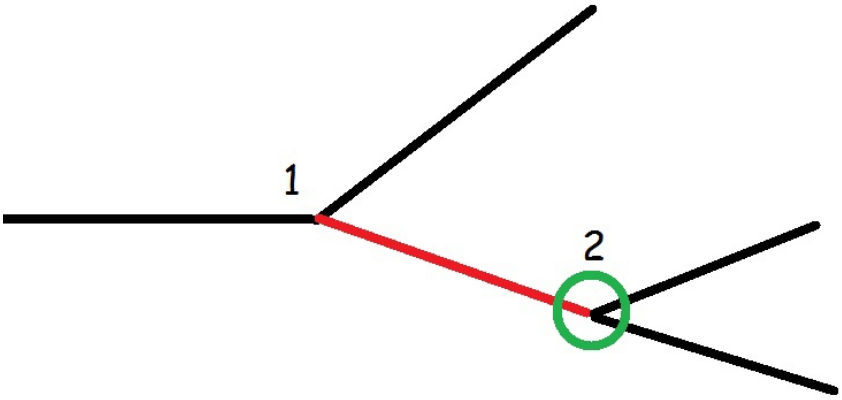
Пример первый: нарисовать диаграмму Фейнмана для реакции:

$$K^+ = \pi^0 + e^+ + \nu_e$$

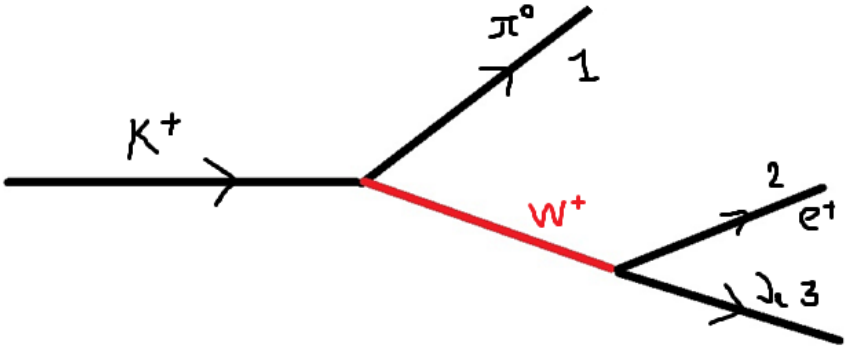
Как мы уже выяснили, она идёт по слабому взаимодействию.
Начнём с шаблона:



Где красной линией обозначен один из W,Z бозонов.
Как я додумался до такой диаграммы? Наиболее правильным ответом будет «А попробуй нарисовать иначе» ☺
Теперь давайте раскидаем частицы. У нас три продукта реакции (они пронумерованы). Что из этого π^0, что e^+, что ν_e?
Отметим, что если π^0 - продукт №2 или №3, то тогда во второй реакции

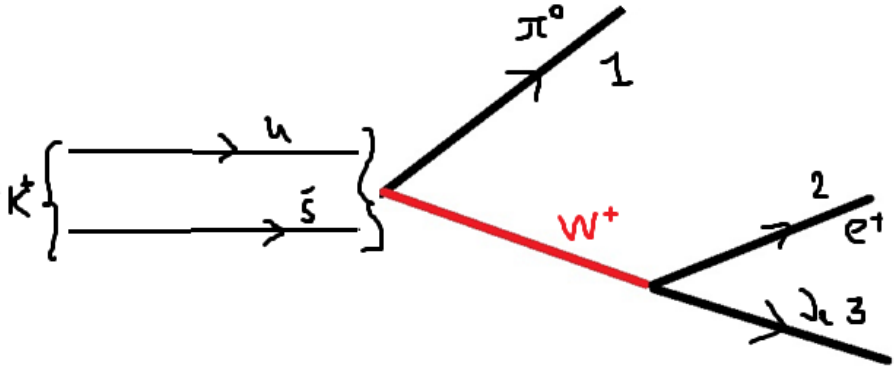


у нас из бозона формируется π^0 и что-то ещё. Энергия покоя W-Z бозонов – 80-90 МэВ, а у пиона – 135 Мэв. Упс. Так нехорошо!
Значит, π^0 сверху, и диаграмма зарисовывается как:



Какой именно у нас бозон, определяется по заряду. В данном случае у нас был K^+, ставшим π^0 и потерявший единичный заряд. Его должен унести с собой бозон. Значит, у нас W^+ бозон.

Кварковая диаграмма будет несильно отличаться от диаграммы Фейнмана:

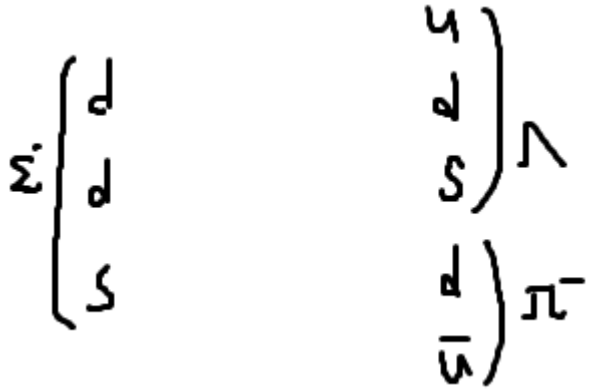


Ещё пример:

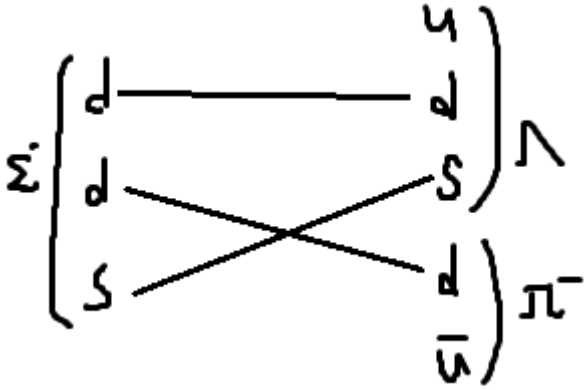
$$\Sigma^- = \pi^- + \Lambda$$

Кварковый состав:
$dds \to d\bar{u} + uds$
Сохраняется, реакция идёт по сильному взаимдействию. Как рисовать диаграмму кварковую?

1) При рисовании кварковых диаграмм (если у нас адроны, адроны, адроны…) сначала рисуем начальные кварки столбцом слева, а конечные столбцом справа:

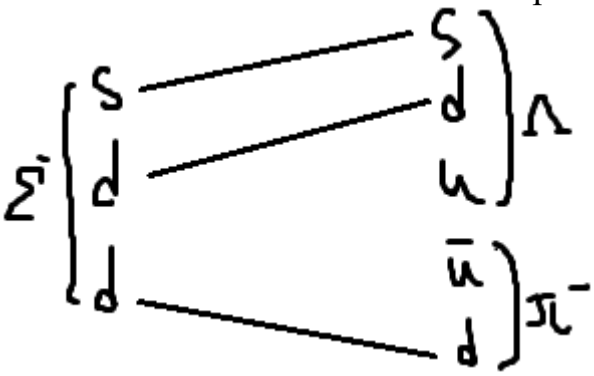


2) Соединим одинаковые частицы отрезками:

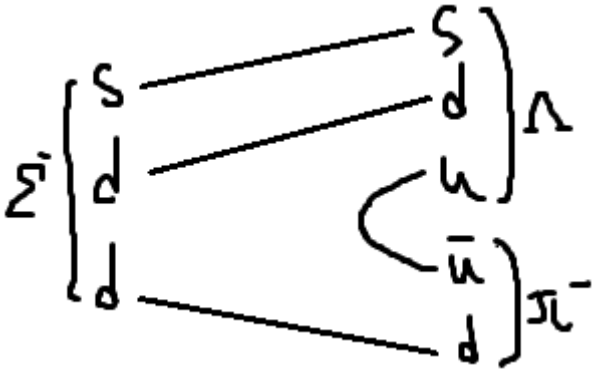


3) Смотрим, что осталось и думаем, при необходимости переставляя строки.

У нас остались u и $\bar{u}$. Меняем кварки местами так, чтобы они стали рядом:



И рожаем пару кварк-антикварк из вакуума.



Готово.

Ещё пример:

$\Xi^- \longrightarrow \Lambda + \pi^-$

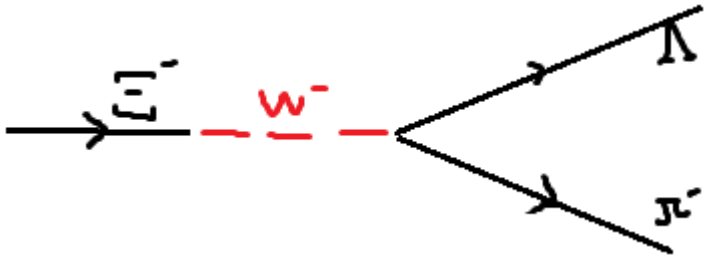
Кварковый состав:

$dss \rightarrow uds + u\bar{d}$

Сокращаем подобные и получаем

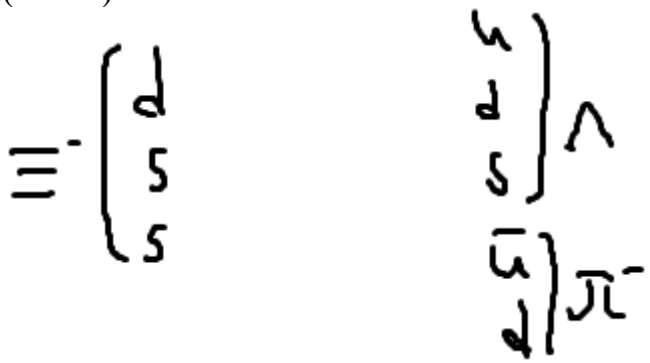
$$s \rightarrow uu\bar{d}$$

Кварковый состав не сохраняется=>взаимодействие слабое. Ну, диаграмма Фейнмана совсем нетривиальная:

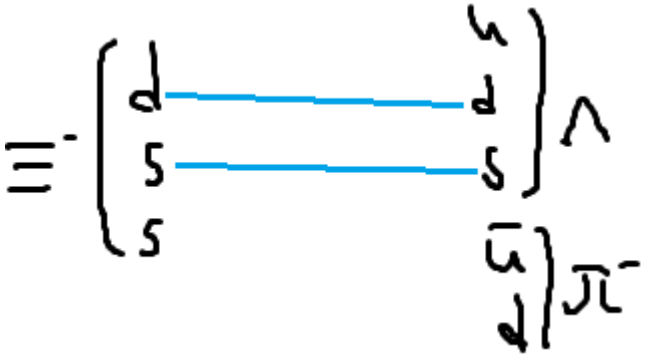


А мы попробуем нарисовать кварковую диаграмму. Действуем по алгоритму:

1) Начнём с того, что напишем столбцы кварков слева (было) и справа (стало):

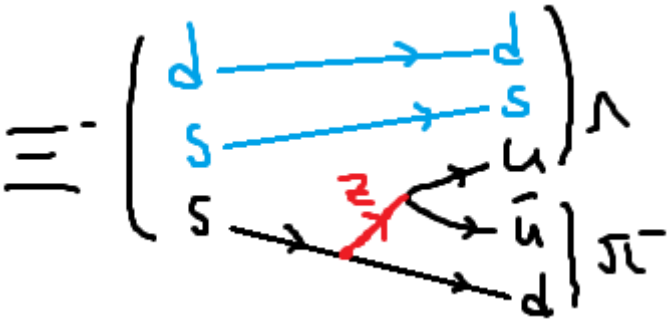


2) Соединим отрезками, что можем:

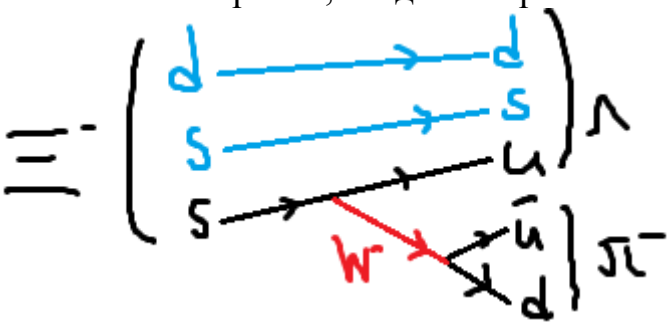


С остальными кварками пока непонятки. Давайте мы пока кварки, с которыми «понятки», вынесем отдельно сверху, поменяв местами строки (как нас учили в пункте 3):

А далее нужно обратить внимание на оставшийся s-кварк. Кем он стал?
Антикварком он мог.
d-кварком? Казалось бы, почему и нет:



Z-бозон, т.к. s и d одного заряда.
Возможен и вариант, когда s-кварк стал u-кварком:



В этом случае у нас будет W^--кварк.

И мы должна избрать именно его, потому что Z-кварк в подобных адронных реакциях участвовать не может! Можно сформилировать правило:
Z кварк может распаться лишь на e^+ и на e^-, но не на пару кварк-антикварк!
(Почему так – не спрашивайте, на уровне 3-го семестра это понять невозможно).

Теперь вы профессионал по решению таких задач!