

Если спины электрона и позитрона направлены в противоположные стороны, то это — система с нулевым полным спином — *парапозитроний*. При аннигиляции электрона и позитрона парапозитроний превращается в два фотона.

Если спины электрона и позитрона ориентированы в одном направлении, то это — система с единичным полным спином — *ортопозитроний*. Такая система может превратиться только в три фотона.

J/ψ имеет спин 1. Это связанное состояние очарованного кварка с и его антикварка \bar{s} подобно ортопозитронию, и превратиться это состояние может только в три глюона. Этим глюонам передается довольно большая энергия и импульс, поэтому вероятность испускания каждого глюона оказывается небольшой, а распад J/ψ происходит, если все три глюона рождаются одновременно. Потом глюоны саморазмножаются, рождаются пары легких кварков и антикварков, но вероятность этих последующих процессов уже можно считать равной единице. Они медленно разворачиваются после быстрого процесса распада на глюоны. При этом вероятность распада J/ψ , пропорциональная произведению трех малых величин α_s , подавляемая дополнительно малым коэффициентом, оказывается малой.

Кварки в e^-e^+ -аннигиляции

Другой пример успешного применения представлений квантовой хромодинамики дает физика процессов аннигиляции электронов и позитронов в адроны.

В рамках гипотезы кварков процесс электрон-позитронной аннигиляции в адроны выглядит следующим образом: электрон и позитрон уничтожаются и рождается электромагнитный квант. Потом этот квант уничтожается и рождается пара кварк—антикварк. Эта пара затем как-то превращается в адроны, но на вероятность процесса это последнее превращение уже не влияет. Полная вероятность аннигиляции электрона и позитрона в адроны определяется вероятностью рождения пары кварк — антикварк. Глюоны электрически нейтральны и не дают вклада в эту вероятность.

Превращение: электрон \dagger позитрон \rightarrow электромагнитный квант \rightarrow электрон \dagger позитрон интерферирует с рассеянием электрона на позитроне. Поэтому e^+e^- -аннигиляцию в пару e^+e^- экспериментально трудно выделить. В результате обоих процессов получается одно и то же. А вот превращение: электрон \dagger позитрон \rightarrow электромагнитный квант \rightarrow пара $\mu^+\mu^-$ может происходить только за счет аннигиляции электрона и позитрона. Именно это превращение и взяли за эталон для сравнения с аннигиляцией электрона и позитрона в адроны.

Согласно квантовой электродинамике вероятность рождения пары кварк — антикварк отличается от вероятности рождения пары $\mu^+\mu^-$ только величиной заряда кварков (ее, согласно кварковой модели, надо брать дробной). Вероятность рождения пары анти-и (\bar{u}) и u -кварка относится к вероятности рождения $\mu^+\mu^-$ как $4/9$; а для пар $\bar{d}d$ и $\bar{s}s$ — как $1/9$. В электрон-позитронной аннигиляции может родиться любая из пар кварков. Отношение полной вероятности аннигиляции в любую пару к вероятности аннигиляции в пару $\mu^+\mu^-$ должно было равняться сумме этих величин: $4/9 + 1/9 + 4/9 = 2/3$. Тем самым отношение R вероятности аннигиляции электрона и позитрона в адроны к вероятности их аннигиляции в $\mu^+\mu^-$ должно было составлять $R = 2/3$. На опыте наблюдается величина, близкая к 2 ниже порога рождения очарованных частиц. Отличие в 3 раза связано с тем, что каждый тип кварка выступает в трех различных цветовых состояниях и все эти состояния рождаются в e^+e^- -аннигиляции. Но почему тогда разные цвета кварков не проявляются у образующихся адронов?

Конфайнмент

Согласно квантовой хромодинамике на больших расстояниях между цветовыми зарядами величина α_s становится совсем большой. Как оборотная сторона асимптотической свободы цветовых зарядов, удаленных друг от друга на малое расстояние, возникла идея об абсолютном связывании — конфайнменте (английское confinement — тюремное заключение, ограничение свободы передвижения) цветовых зарядов на расстояниях порядка размеров ядра. На большие расстояния цветовые заряды друг от друга уда-