

Сильное взаимодействие между кварками, удерживающее их внутри элементарных частиц, основано на обмене особыми частицами — глюонами.

Согласно стандартной модели — лучшей на сегодняшний день теории строения материи, — кварки, объединяясь, образуют всё многообразие элементарных частиц, из которых, в свою очередь, состоят ядра атомов. Взаимодействие между кварками описывает теория квантовой хромодинамики (сокращенно КХД). В соответствии с этой теорией кварки взаимодействуют друг с другом, обмениваясь особыми частицами — *глюонами*

В обычной ньютоновской физике любая сила — это либо притяжение, либо отталкивание, изменяющее характер движения тела. Но в современных квантовых теориях сила, действующая между элементарными частицами, интерпретируется несколько иначе. Считается, что сила возникает в результате того, что две частицы обмениваются третьей.

Приведем следующую аналогию. Представьте себе пару фигуристов на катке, едущих друг другу навстречу. Приблизившись, один из них вдруг выплескивает на другого ведро воды. Тот, кто выплеснул воду, от этого затормозит и изменит направление движения. И тот, кто получил порцию воды, также затормозит и изменит направление. Таким образом, «обменявшись» водой, оба фигуриста изменили направление движения. Согласно законам механики Ньютона, это означает, что между фигуристами произошло силовое взаимодействие. В приведенном примере нетрудно увидеть, что эта сила возникла из-за (или, как сказали бы физики, передалась «через» или «посредством») обмена водой.

Все современные теории стремятся описывать силовые взаимодействия именно в терминах обмена частицами (см. Универсальные теории). Их называют *калибровочными теориями*, и они основаны на идеях симметрии и инвариантности в системе частиц и полей. Уравнения, описывающие такую систему, остаются неизменными, когда что-либо происходит со всей совокупностью частиц. Например, когда положительный и отрицательный заряды в системе меняются местами, силы, действующие между частицами, остаются прежними.

КХД развивает идеи первой успешной теории из ряда калибровочных — квантовой электродинамики, или КЭД. (По-английски это сокращение выглядит весьма символично, поскольку совпадает с латинским сокращением QED (quod erat demonstrandum — «что и

требовалось доказать»), которое ставится в конце строгого доказательства математических теорем. — *Прим. автора.*) Согласно КЭД, электромагнитная сила между электрически заряженными частицами возникает в результате обмена фотонами (квантами света).

Аналогично устроена и КХД, только вместо электрических зарядов взаимодействия между кварками обусловлены свойством особого рода, который ученые назвали *цветом*. Он может иметь три значения или, если хотите, три оттенка. Ученые условно называют их

красный

,
желтый

и
синий

, но буквально эти термины понимать не следует. Просто, к несчастью, в 1970-е годы среди физиков-теоретиков было весьма распространено некоторое легкомыслие при выборе названий для открываемых ими явлений — в результате те же кварки имеют такие свойства, как «странность» и «очарование», хотя можно было бы придумать названия и посерьезнее. В любом случае, фраза «кварк имеет красный цвет» имеет не больше (и не меньше) смысла, чем фраза «электрон имеет отрицательный заряд».

Однако калибровочные теории в случае КЭД и КХД отличаются одним важным аспектом — характером их симметрии. Если в КЭД последовательность двух операций преобразования (прямая или обратная) не влияет на итоговый результат, то в КХД это не так, что делает эту теорию гораздо более сложной, чем КЭД.

Цвет присущ только кваркам, но не барионам и мезонам, в состав которых они входят. *Барионы*

(к которым относятся, в частности, протон и нейтрон) состоят из трех кварков — красного, желтого и синего, — цвета которых взаимно гасятся. *А*

мезоны

— из пары «кварк + антикварк», поэтому они тоже бесцветны. Вообще, в КХД действует принцип, согласно которому кварки в природе могут образовывать только такие комбинации, суммарный цвет которых оказывается нейтральным.

Взаимодействие между кварками осуществляется посредством восьми разновидностей частиц, называемых глюонами (от английского *glue* — «клей, клеить»; глюоны как бы «склеивают» кварки между собой). Именно они выступают в роли ведер с водой, если

вернуться к аналогии с фигуристами. Однако, в отличие от фотонов в КЭД, которые электрическим зарядом не обладают (хотя и выступают в роли носителей электромагнитного взаимодействия между заряженными частицами), глюоны имеют собственный цветовой заряд и могут изменять цвет кварков, с которыми взаимодействуют. (Это как если бы наши фигуристы меняли пол с мужского на женский и наоборот, обменявшись ведром воды!) Например, если при поглощении глюона синий кварк превращается в красный, значит глюон нес на себе единичный положительный заряд красного цвета и единичный отрицательный заряд синего. Поскольку совокупный цветовой заряд кварка при этом не меняется, такие взаимодействия в рамках КХД допустимы (и даже необходимы).

КХД функционирует с начала 1980-х годов и с тех пор успешно прошла целый ряд экспериментальных проверок — пока что все ее прогнозы относительно результатов соударений элементарных частиц высоких энергий подтверждаются фактическими данными, полученными на ускорителях. Сегодня эта теория живет и здравствует. Более того, физики-экспериментаторы безбоязненно планируют новые опыты, исходя из того, что эта теория их не подведет. Что еще, собственно, нужно от хорошей теории?