

Возможно, *только* через открытие странности и следующих «ароматов» частиц можно было *доказать* кварковую модель. Но видно, что *изобрести* (пусть ненадежную) кварковую модель можно было и раньше. Сковывали инертность, страх перед существенно новым.

Кварки

В 1963 г. М. Гелл-Манн и Дж. Цвейг предложили гипотезу о трех *кварках*, трех фундаментальных составляющих адронов. Они указали, что все наблюдаемые свойства симметрии адронов и их взаимопревращений можно очень просто объяснить предположением о том, что все адроны (в том числе и p , n и Λ) — составные и что существуют гипотетические частицы — кварки, составляющие все адроны.

Пусть имеется тройка частиц со спином $1/2$ (в единицах \hbar) и барионным зарядом $1/3$: u -кварк с электрическим зарядом $+2/3$, d -кварк с зарядом $-1/3$ и s -кварк с зарядом $-1/3$. У них имеются античастицы — антикварки с противоположным знаком барионного и электрического заряда. Кварки u и d рассматриваются как две изоспиновые компоненты одной и той же частицы. Отсюда и обозначения: u от английского up — вверх, это — состояние «изоспин вверх», d — от английского $down$ — вниз, это — состояние «изоспин вниз». Им приписывалась нулевая странность. Кварки u и d и их антикварки должны составлять нуклоны и антинуклоны, π -мезоны, π -мезон-нуклонные и π -мезон- π -мезонные резонансы. Кварк s — это *странный кварк*. Это кварк, обладающий странностью, равной -1 . Отсюда и обозначение s , от английского $strange$ — странный. Кварк s входит в состав странных частиц. Тип (u , d или s) называют *ароматом* кварка.

В модели кварков мезоны — это связанные состояния кварк — антикварк. Например, в модели Ферми — Янга π^+ -мезон рассматривался как связанная система протона p и антинейтрона \bar{n} . В модели кварков — это связанное состояние u - и \bar{d} -кварков. При этом все выводы, сделанные на основе модели Ферми — Янга для мезонов, оставались в силе. Добавились странные мезоны: K^+ , состоящий из u и \bar{s} , K^0 ($u\bar{s}$) и два ней-

тральных мезона, составленные из $d\bar{s}$ и $s\bar{d}$. На их очень интересных свойствах мы не останавливаемся.

В кварковой модели барионы и барионные резонансы состоят из трех кварков, а антибарионы — из трех антикварков.

Например, протон состоит из двух u -кварков и одного d -кварка, нейтрон — из двух d -кварков и одного u -кварка, Δ^{++} -резонанс — из трех u -кварков, Δ^- -резонанс — из трех кварков, антипротон — из двух анти- u -кварков (\bar{u}) и одного анти- d -кварка (\bar{d})*).

Трудности теории кварков

Кварки имеют спин $1/2$ (в единицах \hbar). Как и электроны. Как и нуклоны. Для кварков одного и того же типа должен быть справедлив принцип запрета Паули. Два одинаковых кварка не могут находиться в состоянии с одним и тем же направлением спина. Но для резонансов Δ^{++} , Δ^- кварковая модель предсказывала именно такую ситуацию. Согласно теории кварков они состоят из трех кварков одного типа: Δ^{++} — из трех u -кварков, Δ^- — из трех d -кварков. Спин кварков равен $1/2$. Спин Δ^{++} и Δ^- равен $3/2$. Было естественно считать, что все кварки находятся на одном и том же низшем энергетическом уровне, в состоянии с нулевым орбитальным моментом. Но тогда спины трех составляющих кварков должны быть ориентированы в одном и том же направлении. Это противоречит принципу запрета Паули — основе статистики систем тождественных частиц с полуцелым значением спина.

*) В процессах сильного и электромагнитного взаимодействия кварк данного типа может рождаться или уничтожаться только в паре со своим антикварком. Поэтому-то и наблюдается парное рождение странных частиц. Например, реакция сильного взаимодействия $p + N \rightarrow \Lambda + K^+$ обусловлена рождением пары s и \bar{s} , входящих, соответственно, в состав Λ и K^+ . В процессах слабого взаимодействия кварк одного типа может поодиночке превращаться в кварк другого типа. При этом в модели кварков вся совокупность процессов слабого взаимодействия адронов сводилась к взаимодействию токов превращений u -кварка в d -кварк и u -кварка в s -кварк. Например, превращение нейтрона в протон при β -распаде нейтрона — это процесс, в котором один из d -кварков нейтрона превращается в u -кварк. Слабый ток именно этого перехода взаимодействует со слабым током рождающейся в β -распаде пары электрон — нейтрино (см. далее).