

Сим-вол	Название	B	I	I <sub>3</sub>	S	C	b	t(?)	Q
u <sup>α</sup>	верхний (от англ. up)	1/3	1/2	+1/2	0	0	0	0	2/3
d <sup>α</sup>	нижний (от англ. down)	1/3	1/2	-1/2	0	0	0	0	-1/3
s <sup>α</sup>	странный (от англ. strange)	1/3	0	0	-1	0	0	0	-1/3
c <sup>α</sup>	очарованный (от англ. charm)	1/3	0	0	0	1	0	0	2/3
b <sup>α</sup>	красивый (от англ. beauty)	1/3	0	0	0	0	1	0	-1/3
t <sup>α</sup>	истинный (от англ. truth)	1/3	0	0	0	0	0	1	+2/3

ными в таблице. Однако проведение указанной точки зрения сталкивается с рядом трудностей, связанных, в частности, с нарушением цветовой симметрии (см. *Квантовая хромодинамика*) и с т. н. *удержанием цвета*.

Цвет является важной характеристикой К., обеспечивающей необходимую антисимметрию волновой ф-ции адронов, построенных из одинаковых К., напр. ( $q_i q_j q_k$ ) (и тем самым соблюдения принципа Паули). С учётом цвета структуры бариона и мезона более точно записываются в виде

$$V_{ijk} = \frac{1}{\sqrt{6}} \sum_{\alpha, \beta, \gamma=1}^3 \epsilon_{\alpha\beta\gamma} q_i^\alpha q_j^\beta q_k^\gamma; \quad M_{ik} = \frac{1}{\sqrt{3}} \sum_{\alpha=1}^3 q_i^\alpha \bar{q}_j^\alpha. \quad (2)$$

Здесь  $\epsilon_{\alpha\beta\gamma}$  — полностью антисимметричный тензор,  $\epsilon_{123}=1$ . Догадка о существовании цвета у К., впервые высказанная в 1965 Н. Н. Боголюбовым, Б. В. Струминским, А. Н. Тавхелидзе и независимо М. Ханом (М. Khan) и Й. Намбу (Y. Nambu), была впоследствии косвенно подтверждена в большом числе экспериментов. Индекс  $\alpha$  обычно рассматривается как индекс, нумерующий компоненты фундам. представления группы  $SU(3)_c$  [т. н. группа цвета  $SU(3)$ ]. Комбинации К., приведённые в (2), инвариантны относительно преобразований  $SU(3)_c$ , и это объясняет тот факт, что адроны являются бесцветными объектами (синглетами  $SU(3)_c$ ).

Адроны, построенные по правилам (2) из  $u$ - и  $d$ -К., образуют семейство «обычных» адронов (к ним относятся нуклоны,  $\pi$ - и  $\rho$ -мезоны, *резонансы* с  $S=C=b=0$ ). Мезоны и барионы, в состав к-рых помимо  $u$ - и  $d$ -К. входит один или более  $s$ -К., образуют семейство *странных частиц*. Введение в состав адронов  $c$ - и  $b$ -К. (наряду с  $u$ -,  $d$ -,  $s$ -К.) даёт начало семействам соответственно *очарованных частиц* и *красивых* (предестных) частиц. Знание кваркового строения адронов (2) позволяет полностью воспроизвести все известные в систематике адронов группы этих частиц и изученные характеристики отд. адронов.

Вся информация о К. была получена на основе изучения особенностей разл. процессов с участием адронов, т. е. в условиях, в к-рых проявляются свойства связанных К. Попытки обнаружить К. в свободном состоянии к успеху не привели. Это означает, что пока нет возможности говорить о массе К. в обычном для элементарных частиц смысле. Можно говорить лишь об эфф. массе связанных К., зависящей, вообще говоря, от условий, в к-рых осуществляются измерения (в частности, от квадрата переданного 4-импульса  $q^2$ ). В соответствии с этим для масс ( $m_q$ ) К. (особенно лёгких) получаются сильно варьирующиеся значения. Тем не менее можно определённо сказать, что

$$m_u \approx m_d < m_s \ll m_c < m_b.$$

Эти неравенства отражают иерархию масс разл. се-

мейств адронов. Значения масс К. в статич. ( $q^2 \rightarrow 0$ ) пределе равны:

$$m_u \approx m_d \approx 300 \text{ МэВ}, \quad m_s \approx 500 \text{ МэВ}, \\ m_c \approx 1500 \text{ МэВ}, \quad m_b \approx 5000 \text{ МэВ}.$$

Такие К. называют конститuentными («составляющими») К. Масса  $t$ -К., согласно эксперименту, не менее 45 ГэВ. С ростом  $q^2$  эфф. масса К. уменьшается. По этой причине значения масс т. н. *токовых* К. (т. е. К., образующих нач. и конечные состояния *токов* перехода, отвечающего сильному, эл.-магн. или слабому взаимодействию и ненулевому значению  $q^2$ ) заметно отличаются от приведённых выше величин и составляют:

$$m_u \approx 4,5 \text{ МэВ}, \quad m_d \approx 7 \text{ МэВ}, \quad m_s \approx 150 \text{ МэВ}, \\ m_c \approx 1200 \text{ МэВ}, \quad m_b \approx 4500 \text{ МэВ}.$$

К. в адронах удерживаются специфич. силами, порождаемыми обменов особыми безмассовыми частицами — *глюонами*, также являющимися носителями цвета (их число равно 8). Глюоны — калибровочные мезоны группы  $SU(3)_c$ ; по своим трансформ. свойствам они принадлежат присоединённому представлению группы. Взаимодействие глюонов с К., задаваемое свойствами группы  $SU(3)_c$ , довольно сильное (примерно в 10–100 раз сильнее эл.-магнитного). По этой причине глюоны, испускаемые К., могут с заметной вероятностью рождают пары К.-антикварк (с тем большей вероятностью, чем меньше масса К.). В результате в любом адроне в каждый данный момент наряду с К., составляющими, согласно (2), основу его структуры и определяющими его квантовые числа (т. н. *валентными* и К. *qvai*), содержится равновесная примесь глюонов и пар К.-антикварков разл. типов. Последние образуют как бы «море» К.-антикварковых пар; соответственно их часто называют *морскими* и К., *qsea*. Море К. в основном образовано парами  $u$ - и  $d$ -К., несколько меньше в нём пар  $s$ -К., ещё меньше (по крайней мере на порядок) пар  $c$ -К. и  $t$ -К. Примесь морских К. в адронах в среднем не очень велика, однако зависит от типа адрона и, в частности, в мезонах, по имеющимся данным, более выражена. Кроме того, море К. в адроне при его взаимодействии с др. частицами в той или иной степени возмущается, изменяя при этом свои свойства. Количественно относительная роль валентных и морских К., а также глюонов ( $g$ ) в адроне может быть охарактеризована средним значением  $f$  доли полного импульса адрона, переносимой каждой из названных компонент. Для наиб. детально изученных адронов — нуклонов — типичные цифры при переданном нуклону квадрате импульса 5 (ГэВ/с)<sup>2</sup> таковы:

$$f(u_{vai} + d_{vai}) = 0,37; \quad f(u_{sea} + d_{sea} + \bar{u}_{sea} + \bar{d}_{sea}) = 0,06; \\ f(s_{sea} + \bar{s}_{sea}) = 0,02; \quad f(g) = 0,55.$$

Т. о., доля импульса нуклона, приходящая на глюоны, высока (примерно такая же картина:  $f(g) \approx 0,5$  в  $\pi$ - и К-мезонах). На морские К. в ср. приходится ок. 20% импульса, переносимого валентными К. Следует, однако, иметь в виду, что число морских К. с очень малой долей  $x$  от полного импульса нуклона ( $x < 0,1$ ) быстро растёт с уменьшением  $x$  ( $\sim 1/x$ ), и в определенных условиях это обстоятельство существенно проявляется.

С учётом присутствия в адронах морских К. и глюонов структура адрона уточняется след. образом: каждый образующий адрон валентный К. (антикварк) в действительности окружён как бы облаком из К.-антикварковых пар и глюонов. Такой «облаченный» валентный К. иногда называют *валентным К.* (размеры облака, окружающего валентный К.,  $(1/3 - 1/5)r_N$  ( $r_N$  — размер нуклона). Масса валона соответствует массе К. в статич. пределе.

Отрицат. результаты поисков К. в свободном состоянии, хотя они могут отражать наличие у них очень