

## Приложение Д

### Кварки

Элементарные частицы делятся на два класса: *лептоны*, которые не участвуют в сильных взаимодействиях и не обнаруживают никакой внутренней структуры, и сильно взаимодействующие *адроны*. В настоящее время известно три типа лептонов:  $e$ ,  $\mu$  и  $\tau$ , каждый со своим нейтрино, взаимодействующим только с данным лептоном (экспериментальные доказательства существования  $\nu_\tau$  пока только косвенные).

Адроны подразделяются на *барионы*, которые в конечном итоге распадаются, превращаясь в протоны (т.е. имеют барионное число, равное единице) и *мезоны* (барионное число равно нулю). Кварковая модель весьма успешно объяснила многие свойства адронов. В настоящее время считается, что существует шесть «ароматов» кварков. Они обозначаются  $u$  (up),  $d$  (down),  $s$  (strange),  $c$  (charm),  $t$  (top) и  $b$  (bottom). Кварки имеют спин  $1/2$  и каждый обладает тремя «цветами». Барионы состоят из трех кварков, а мезоны из кварка и антикварка. Кварки  $u$ ,  $c$  и  $t$  обладают зарядом  $+2/3$ , а  $d$ ,  $s$  и  $b$  имеют заряд  $-1/3$ . У всех кварков странность равна нулю, за исключением  $s$ -кварка, у которого она составляет  $-1$ .

Предполагается, что сильное взаимодействие между кварками возникает из-за обмена безмассовыми частицами со спином 1, называемыми «глюонами», которые переносят цветовые квантовые числа. Эту теорию называют «квантовой хромодинамикой» — сокращенно КХД.

Кварки и лептоны группируются в три семейства:

$$\begin{array}{ccc} e & \nu_e & \mu & \nu_\mu & \tau & \nu_\tau \\ d & u & s & c & b & t \end{array}$$

Слабое взаимодействие отвечает за переходы между разными ароматами кварков и между семействами лептонов. В модели Вейнберга—Салама (которая является составной частью квантовой хромодинамики) слабое взаимодействие и электромагнетизм объединены в одну теорию. Электромагнитное взаимодействие возникает благодаря обмену безмассовыми фотонами со спином 1, а слабое взаимодействие появляется вследствие обмена частицами со спином 1 и с очень большой массой ( $\sim 80$  ГэВ) — бозонами  $W^+$ ,  $W^-$  и  $Z^0$ . «Нормальное» вещество состоит в значительной мере из представителей первого семейства: нейтрон является просто триплетом  $udd$ , а протон — триплетом  $uud$ .

В табл. Д.1 приводится перечень свойств частиц. В нее включены все «устойчивые» частицы (с временем жизни  $> 10^{-20}$  с), а также некоторые представляющие интерес *резонансы* с более коротким временем жизни.

СВОЙСТВА ЧАСТИЦ <sup>1)</sup>

Частица	$t$	$J^P$	Масса, МэВ	Среднее время жизни, с
<i>Лептоны</i>				
$e$		1/2	0,511003	стабилен
$\mu$		1/2	105,6594	$2,19714 \cdot 10^{-6}$
$\tau$		1/2	1784	$5 \cdot 10^{-13}$
<i>Нестранные барионы</i>				
$p$	1/2	1/2 <sup>+</sup>	938,280	стабилен
$n$	1/2	1/2 <sup>+</sup>	939,573	925
$\Delta$	3/2	3/2 <sup>+</sup>	1232	$6 \cdot 10^{-24}$
<i>Барионы со странностью -1</i>				
$\Lambda$	0	1/2 <sup>+</sup>	1115,60	$2,63 \cdot 10^{-10}$
$\Sigma^+$	1	1/2 <sup>+</sup>	1189,36	$8,00 \cdot 10^{-11}$
$\Sigma^0$	1	1/2 <sup>+</sup>	1192,46	$6 \cdot 10^{-20}$
$\Sigma^-$	1	1/2 <sup>+</sup>	1197,34	$1,48 \cdot 10^{-10}$
<i>Барионы со странностью -2</i>				
$\Xi^0$	1/2	1/2 <sup>+</sup>	1314,9	$2,9 \cdot 10^{-10}$
$\Xi^-$	1/2	1/2 <sup>+</sup>	1321,3	$1,64 \cdot 10^{-10}$
<i>Барион со странностью -3</i>				
$\Omega^-$	0	3/2 <sup>+</sup>	1672,5	$8,2 \cdot 10^{-11}$
<i>Очарованный нестранный барион</i>				
$\Lambda_c^+$	0	1/2 <sup>+</sup>	2282	$1 \cdot 10^{-13}$
<i>Нестранные мезоны</i>				
$\pi^\pm$	1	0 <sup>-</sup>	139,567	$2,603 \cdot 10^{-8}$
$\pi^0$	1	0 <sup>-</sup>	134,963	$8,3 \cdot 10^{-17}$
$\eta$	0	0 <sup>-</sup>	548,8	$8 \cdot 10^{-19}$
$\rho$	1	1 <sup>-</sup>	769	$4,3 \cdot 10^{-24}$
$\omega$	0	1 <sup>-</sup>	782,6	$6,6 \cdot 10^{-23}$
$\eta'$	0	0 <sup>-</sup>	957,6	$2,4 \cdot 10^{-21}$
$\phi$	0	1 <sup>-</sup>	1019,6	$1,6 \cdot 10^{-22}$
$J/\Psi$	0	1 <sup>-</sup>	3096,9	$1,0 \cdot 10^{-20}$
$T$		1 <sup>-</sup>	9456	$1,6 \cdot 10^{-20}$
<i>Мезоны со странностью -1</i>				
$K^\pm$	1/2	0 <sup>-</sup>	493,67	$1,237 \cdot 10^{-8}$
$K^0, \bar{K}^0$	1/2	0 <sup>-</sup>	497,7	$K_S: 8,92 \cdot 10^{-11}$ $K_L: 5,18 \cdot 10^{-8}$

Продолжение табл. .

Частица	$t$	$J^P$	Масса, МэВ	Среднее время жизни, с
<i>Очарованные нестранные мезоны</i>				
$D^\pm$	1/2	$0^-$	1869,4	$9 \cdot 10^{-13}$
$D^0, \bar{D}$	1/2	$0^-$	1864,7	$5 \cdot 10^{-13}$
<i>Очарованный странный мезон</i>				
$F^\pm$	0	$0^-$	2021	$2 \cdot 10^{-13}$

<sup>1)</sup> Данная таблица заимствована из [448]. Во втором столбце указан изоспин  $t$ , в третьем — спин и четность  $J^P$ . Как правило, массы и времена жизни округлены. Полный перечень свойств частиц и описанные в таблице численные значения даны в [448].