

# Елементарните частици и субатомната структура

## кварки

2,3 MeV $u^{+\frac{2}{3}}$ up - quark	4,8 MeV $d^{-\frac{1}{3}}$ down - quark
1,275 GeV $c^{+\frac{2}{3}}$ charm - quark	95 MeV $s^{-\frac{1}{3}}$ strange - quark
173,2 GeV $t^{+\frac{2}{3}}$ top - quark	4,18 GeV $b^{-\frac{1}{3}}$ bottom - quark

стабилни  
в атомни ядра

$s \rightarrow u e^{-} \bar{\nu}_i$  ( $\tau \sim 10^{-8}$ s)  
 $c \rightarrow s e^{+} \nu_i$  ( $\tau \sim 10^{-12}$ s)

$b \rightarrow c e^{-} \bar{\nu}_i$  ( $\tau \sim 10^{-11}$ s)  
 $t \rightarrow b W^{+}$  ( $\tau \sim 10^{-25}$ s)

## бозони

0 eV $\gamma^0$ photon	80,4 GeV $W^{+}$ W - boson
0 eV $g^0$ gluon	91,2 GeV $Z^0$ Z - boson
0 eV $G^0$ graviton	125,1 GeV $h^0$ Higgs - boson

$W^{+} \rightarrow u \bar{d}$  ( $\tau \sim 10^{-25}$ s)

$Z \rightarrow b \bar{b}$  ( $\tau \sim 10^{-25}$ s)

$h \rightarrow b \bar{b}$  ( $\tau \sim 10^{-22}$ s)

## ЛЕПТОНИ

< 1 eV $\nu_1^0$ first neutrino	0,511 MeV $e^{-}$ electron
< 1 eV $\nu_2^0$ second neutrino	105,66 MeV $\mu^{-}$ muon
< 1 eV $\nu_3^0$ third neutrino	1776,8 MeV $\tau^{-}$ tau - lepton

стабилен

$\mu^{-} \rightarrow e^{-} \bar{\nu}_i \nu_j$  ( $\tau \sim 10^{-6}$ s)

$\tau^{-} \rightarrow d \bar{u} \nu_i$  ( $\tau \sim 10^{-13}$ s)

$$E_0 a^k$$

название

## Обозначения

$E_0$  е енергия на покой или маса  $m = E_0/c^2$  на частицата, където  $c = 299792458$  m/s е физическа константа: скоростта на светлината във вакуум. Ако частица има импулс  $\vec{p}$  в дадена посока, то нейната пълна енергия е  $E = \sqrt{E_0^2 + \vec{p}^2 c^2} = E_0 + E_K$ , където  $E_K$  е кинетична енергия.

Тогаво скоростта на частицата е  $\vec{v} = \vec{p} c^2 / E$ . Оттук следва, че винаги  $|\vec{v}| \leq c$  и закона за събиране на скорости в една и съща посока  $\vec{v} = \vec{v}_1 \oplus \vec{v}_2 \equiv (\vec{v}_1 + \vec{v}_2) / \left(1 + \frac{|\vec{v}_1||\vec{v}_2|}{c^2}\right)$ .

Точните маси на неутрината са неизвестни, обаче съществуват ограничения върху сумата на масите им  $0,05 \text{ eV} < \sum_{i=1}^3 m_{\nu_i} c^2 < 0,23 \text{ eV}$ .

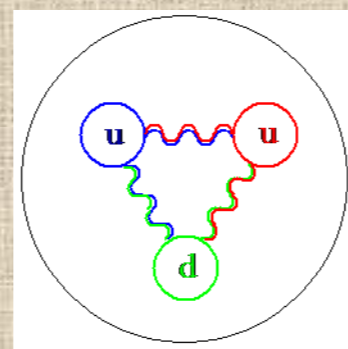
$Q = ke$  е електричният заряд на частицата, където  $e \approx 1,6 \cdot 10^{-19}$  C е елементарен заряд.

$a$  е обозначение на частица. Всяка електрично заредена частица има античастица  $\bar{a}$  с противоположен електричен заряд  $\bar{Q} = -ke$  и същата маса.  $e^{+}$  има специално име: позитрон. Електронеутралните неутрина  $\nu_i$  също имат античастици  $\bar{\nu}_i$ , които се различават от частиците. Електронеутралните бозони  $\gamma, g, G, Z, h$  са истински неутрални частици, защото тяхната античастица съвпада със самата частица.

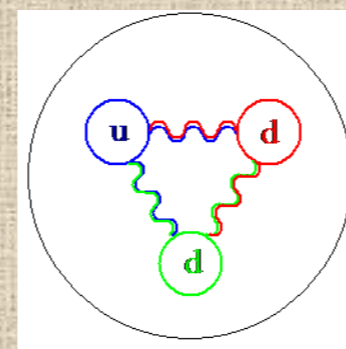
Кварките и лептоните са фермиони и са градивни елементи на веществото във Вселената.

Кварките имат допълнителна характеристика: цвят. Всеки кварк може да съществува в три различни цвята: червен, зелен и син. Обаче наблюдаемите състояния трябва да са бели, състоящи се от три кварка с различни цветове или от кварк и антикварк. Кварк-антикварковите състояния се наричат мезони, те са нестабилни и се разпадат. Обаче, състоянията образувани от три леки кварка: протони и неутрони, могат да бъдат стабилни в атомните ядра. Времето на живот на протона е по-голямо от  $10^{33}$  години. Протонът свързвайки се с електрон образува атом водород.

протон



неутрон



Неутрината и антинейтрината също имат време на живот много по-голямо от възрастта на Вселената. Те нямат електричен заряд и не могат да образуват атоми, и затова се намират в свободно състояние: би трябвало да е примерно 340 неутрина и антинейтрина от всички видове в  $1 \text{ cm}^3$  днес. Обаче, в отличие от космичния микровълнов фон, тези неутрина не са директно детектирани поради слабото им взаимодействие и изключително ниската им енергия.

Бозоните са преносители на взаимодействие (енергия, импулс, заряд, цвят и др.) между различните фермиони и помежду си.

Фотонът  $\gamma$  взаимодейства с всички заредени частици със сила пропорционална на техния електрически заряд. Той е преносител на електромагнитното взаимодействие.

Осемте двувънтови глюона  $g$  взаимодействат само с цветни кварки и помежду си. Силата на това взаимодействие линейно расте при увеличаване на разстоянието между кварките, което е причина за отсъствие на свободни кварки в Природата. Глуоните са преносители на силното взаимодействие, което свързва кварките в нуклони: протони и неутрони. Нуклоните образуват атомното ядро с ядрени сили, които възникват в резултат на остатъчно силно взаимодействие между цветните частици. Тези сили са аналогични на молекулярните сили, които свързват електрично неутралните атоми в молекули.

Силата на взаимодействие на гравитона  $G$  е пропорционална на пълната енергия на частицата. Той е преносител на гравитационното взаимодействие. Обаче, при настоящите експериментално достижими максимални енергии от порядъка на 10 TeV гравитационното взаимодействие е на десетки порядъци по-слабо от електромагнитното взаимодействие заради много малката стойност на гравитационната константа. Затова гравитонът като частица не може да се роди при тези енергии и още не е открит.

Масивните  $Z, W$  и  $h$  бозони са преносители на слабото взаимодействие. В отличие от безмасовите бозони те имат ограничен радиус на действие  $r \sim hc/E_0 \sim 10^{-17} \text{ m}$ , където  $h \approx 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$  е константата на Планк.  $Z$  и  $W$  бозоните взаимодействат с всички изброени частици и осигуряват разпадите на тежките елементарни частици в по-леки.  $\tau$  обозначава време на живот на дадена частица и отговаря на интервала от време, в който началния брой от частиците намалява приблизително три пъти. Хигс-бозонът  $h$  взаимодейства само с масивните частици със сила пропорционална на тяхната маса. С Хигс-бозона е свързан механизъм, който обяснява защо  $Z$  и  $W$  бозоните са тежки, а фотонът е безмасов.