

# Kvantová, atómová a subatómová fyzika

Fyzika elementárnych častíc

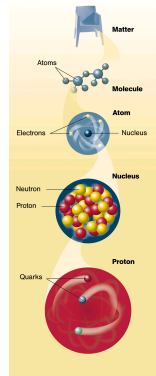
## Štruktúra hmoty

molekuly

atómy

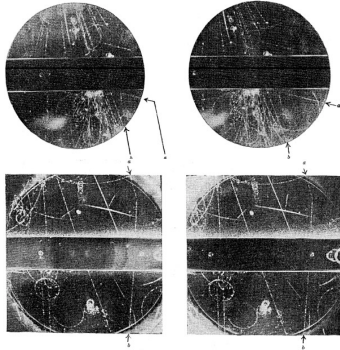
jadrá a elektróny

protóny a neutróny



## Podivné $V_0$ častice

1947,  
G.D. Rochester,  
C.C. Butler  
pozorujú "vidlicové dráhy" v  
hmlovej komore vystavenej  
kozmickým lúčom



častice K a  $\Lambda$

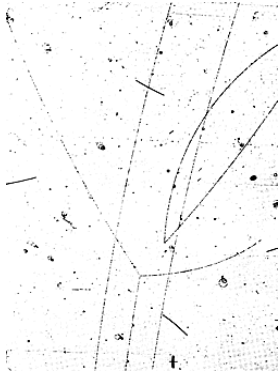
3

## Časticová ZOO

obrázok:  
 $V_0$  častica v zrážke kaónu a protónu

časticová ZOO:  
 $p$ ,  $n$ ,  $\pi$ ,  $\Sigma$ ,  $\Xi$ ,  $\Delta$ ,  $\eta$ ,  $\Phi$ ,  $\Sigma^*$ , ...

Toto nevyzerá elementárne!



4

## Delenie hadrónov

Hadróny sú silno interagujúce častice

- ťažké častice: **baryóny**
  - 2000x (a viac) ťažšie ako elektrón
  - $p, n, \Lambda, \Sigma, \Xi, \dots$
  - ich antičastice sú **antibaryóny**
- stredne ťažké častice: **mezóny**
  - 200x (a viac) ťažšie ako elektrón
  - $\pi, K, \rho, \omega, \Phi$

5

## Niektoré vlastnosti hadrónov

**spin** - vnútorný moment hybnosti;  
môže byť 0 (1 stav),  $1/2$  (2 stavy), 1 (3),  $3/2$  (4), ...

### baryónové číslo

zachováva sa vo všetkých procesoch

**baryóny** ( $p, n, \Lambda, \Sigma, \Xi, \dots$ ): hodnota 1

**antibaryóny** ( $\bar{p}, \bar{n}, \bar{\Lambda}, \bar{\Sigma}, \bar{\Xi}, \dots$ ): hodnota -1

**mezóny** ( $\pi, K, \eta, \rho, \omega, \Phi, \dots$ ): hodnota 0

### podivnosť

zachováva sa v rýchlych (silných) procesoch a

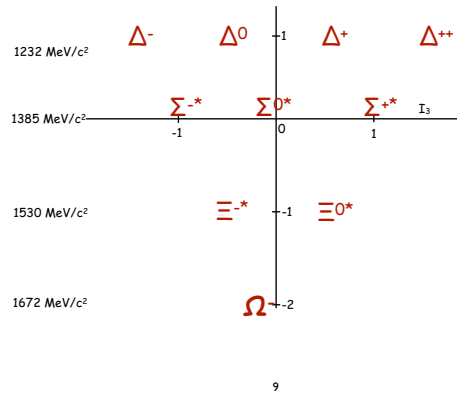
nezachováva sa v pomalých procesoch

$S(p) = 0, S(K^+) = 1, S(\Lambda) = -1$

6



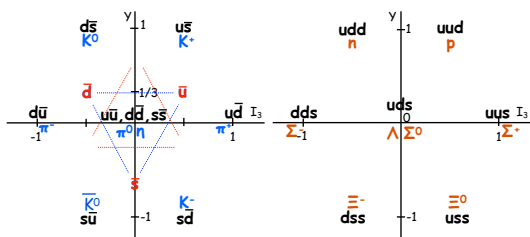
### Upratovanie 3: baryóny J = 3/2



9

### Kvarky

Náboj silnej interakcie: 3 farby (kvarky), 3 farby (antikvarky)  
 Len navonok biele kombinácie sú povolené!



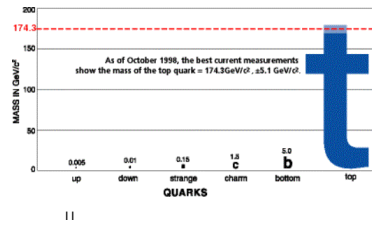
10

## Ťažšie hadróny, ťažšie kvarky

Tri kvarkové rodiny:

up charm top  
down strange bottom

ku každému je aj antikvark



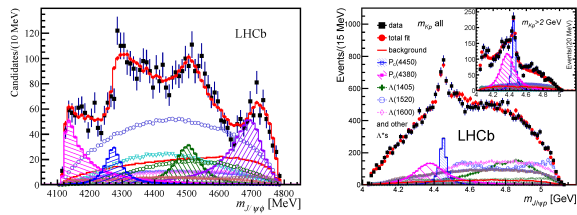
## Tetrakvarky, pentakvarky

Experimenty Belle, BaBar, ... **LHCb**...

Navonok biele kombinácie sa dajú získať aj ako  $qq\bar{q}\bar{q}$ ,  $qqq\bar{q}$ , ...

Tetrakvarky napríklad:  $X(4140)$ ,  $X(4274)$ ,  $X(4500)$ ,  $X(4700)$   
(rozpadajú sa na  $J/\psi + \Phi$ , kvarky  $cc\bar{s}\bar{s}$ )

Pentakvarky napríklad:  $P_c^+(4380)$ ,  $P_c^+(4450)$   
(rozpadajú sa na  $J/\psi + p$ , kvarky  $duccu$ )

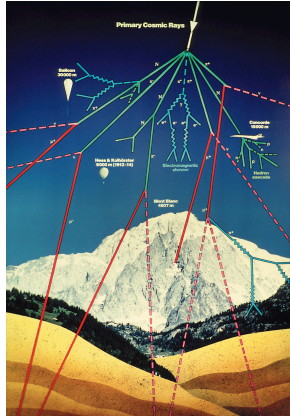


## Leptóny (ľahké častice)

elektrón  
elementárna častica  
žiadna štruktúra  
bodová častica

mión – kozmické žiarenie  
slabo interagujúci,  
na povrchu 1/cm<sup>2</sup>/min  
(rozpadá sa)

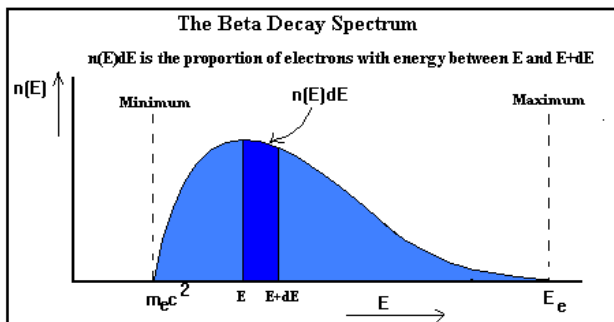
tau – leptón  
(rozpadá sa rýchlo)



13

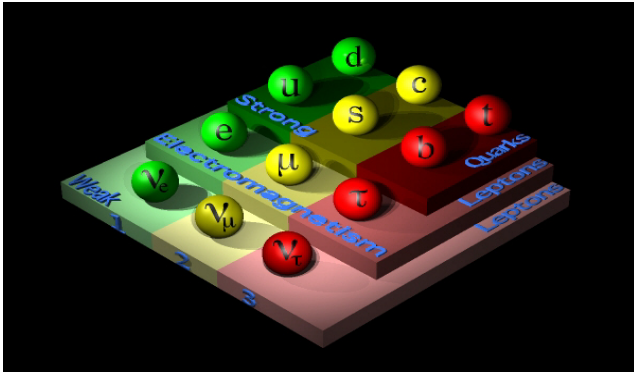
## Neutrína

Chýbajúca energia v rozpade  $\beta$ :  $n \rightarrow p + e + \bar{\nu}$



14

## Zhrnutie: častice



15

## Interakcie - sily medzi časticami

Interakcie:  
vedú k zmene hybnosti, energie, alebo k zmene  
vlastností častice, alebo k zmene častice

### 4 základné interakcie:

- gravitačná
- elektromagnetická
- slabá jadrová
- silná jadrová

hybnosť a energia sa menia **po kvantách**

16

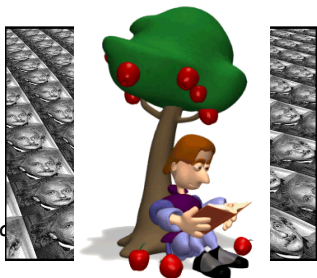


## Gravitačná interakcia

Isaac Newton

Albert Einstein

Kvantová gravitácia

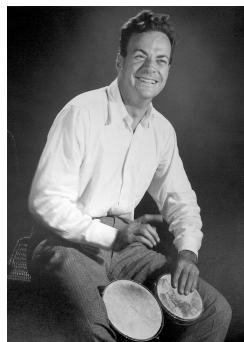
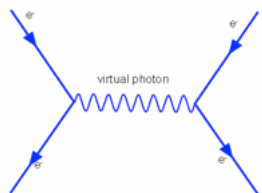


17

## Elektromagnetická interakcia

Výmena kvánt energie a hybnosti: **fotónov**

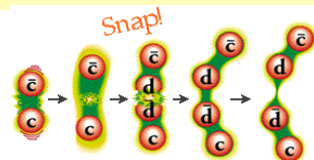
působí na nabité častice



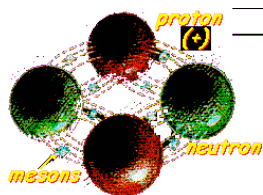
18

## Silná interakcia

najsilnejšia zo všetkých  
pôsobí na farebné častice  
rastie so vzdialenosťou  
výmena **gluónov**



Drží pohromade jadro  
(zvyšková sila)



19

## Higgsov bozón

objavený v CERNe

častica, ktorá je zodpovedná za hmotnosť

častica, ktorá nie je zodpovedná za hmotnosť

20

## Zhrnutie: častice a interakcie

