

# Úvod do časticovej fyziky

## časť 1: častice a interakcie

**Boris Tomášik**

Univerzita Mateja Bela, Fakulta prírodných vied  
ČVUT, Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská

CERN, 3.-5.6.2013

# (Trochu ambiciozny) Plán kurzu



# (Trochu ambiciózný) Plán kurzu

1. Hmota: kvarky a leptóny (teda fermióny)
2. Interakcie: intermediálne bozóny  
(fotóny, gluóny, W a Z bozóny)
3. Antihmota
4. Neutrína
5. Higgsov bozón a pôvod hmotnosti  
(symetrie: kalibračná, chirálna)

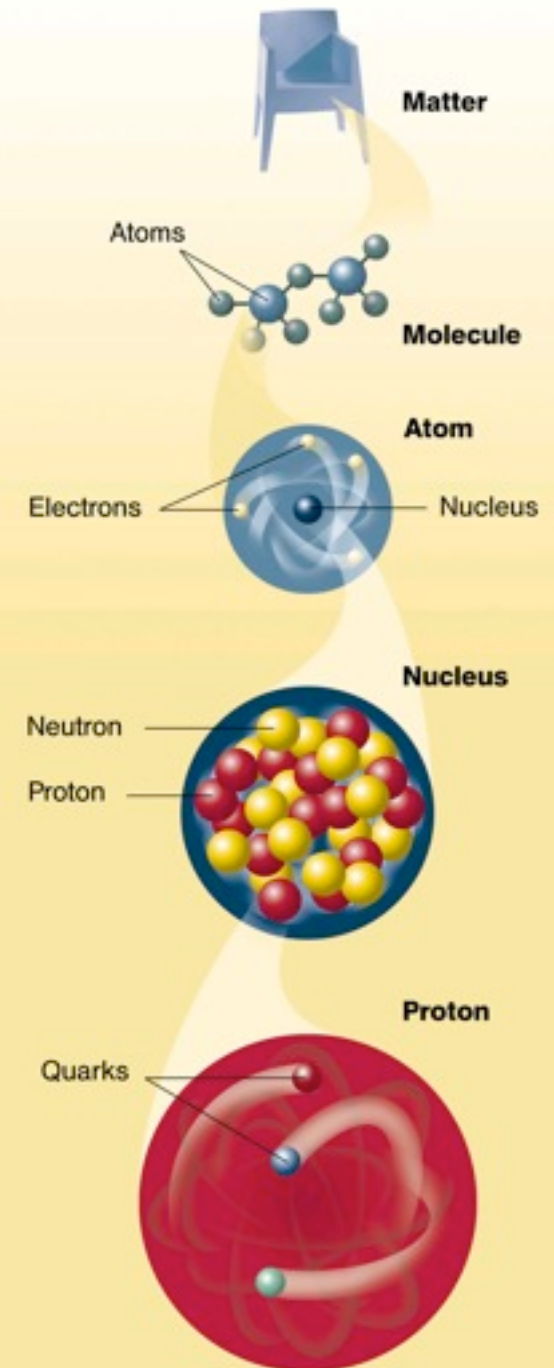
# Štruktúra hmoty

molekuly

atómy

jadrá a **elektróny**

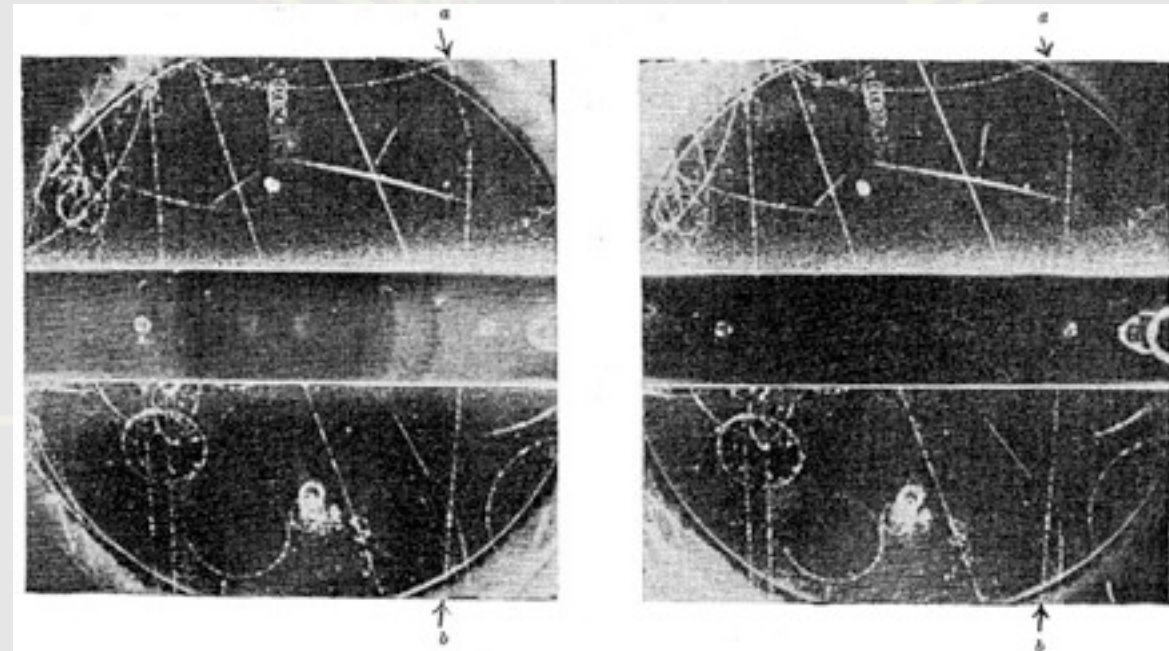
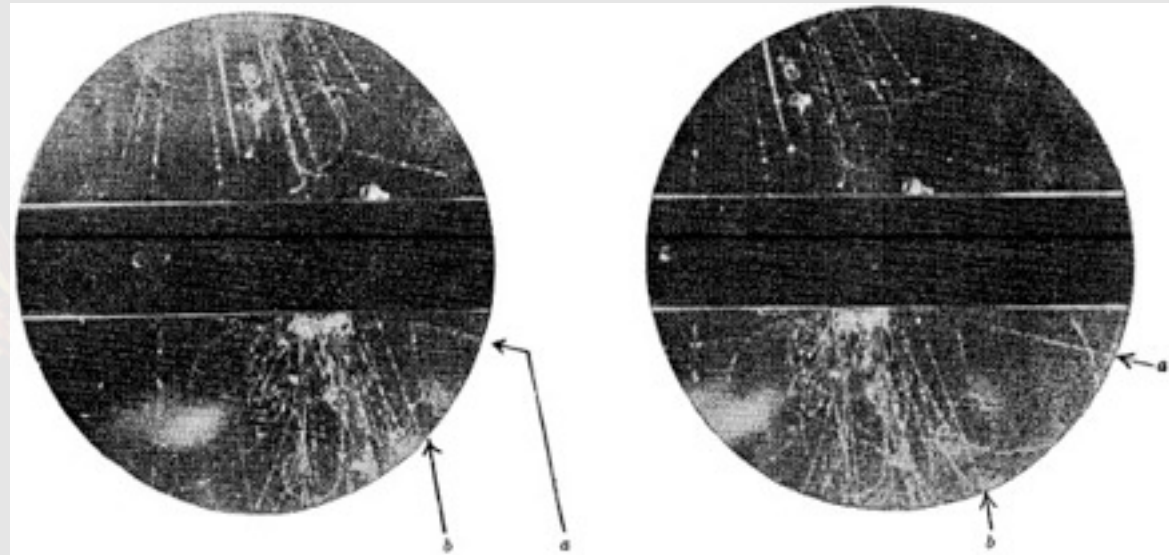
protóny a neutróny



# Podivné $V_0$ částice

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

částice  $K$  a  $\Lambda$



# Časticová ZOO

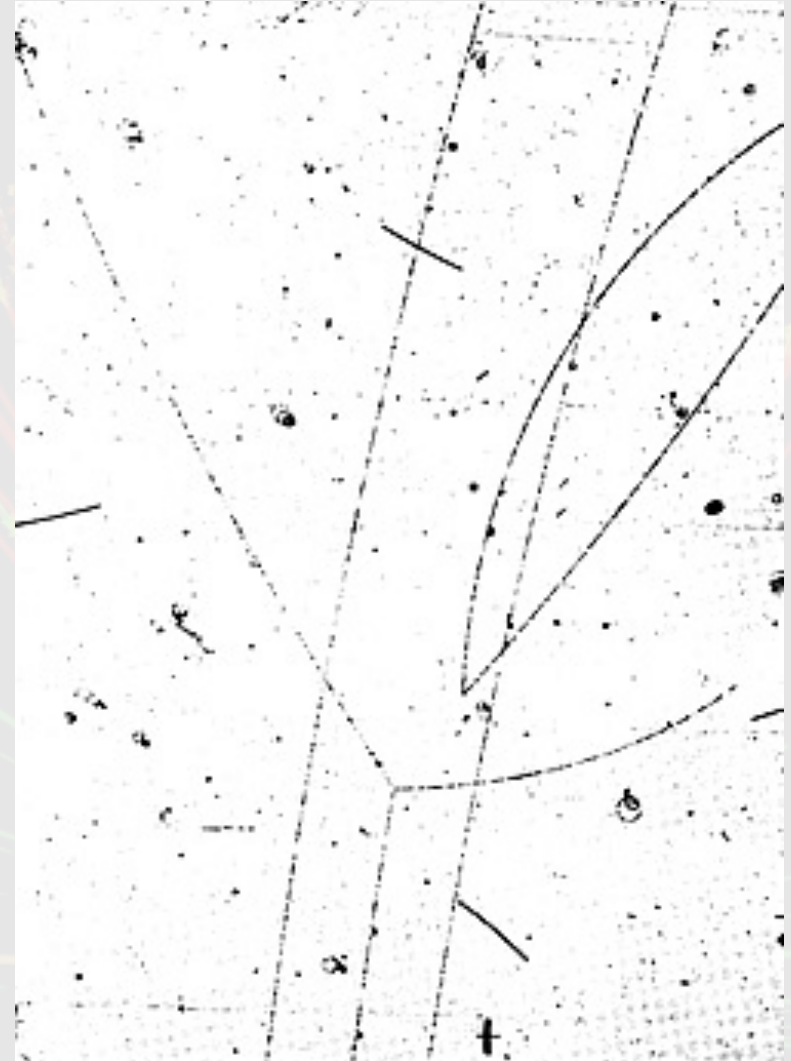
obrázok:

$V_0$  častica v zrážke  
kaónu a protónu

časticová ZOO:

$p, n, \pi, \Sigma, \Xi, \Delta, \eta, \Phi, \Sigma^*, \dots$

Toto nevyzerá elementárne!



# 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
  - $\pi, K, \rho, \omega, \Phi$

# 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,  $\Lambda$ ,  $\Sigma$ ,  $\Xi$ , ...): hodnota 1

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

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

## podivnosť

zachováva sa v rýchlych (silných) procesoch a  
nezachováva sa v pomalých procesoch

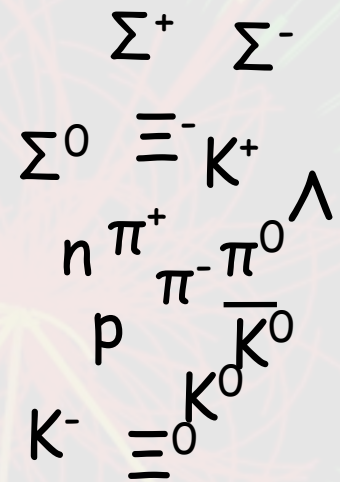
$S(p) = 0$ ,  $S(K^+) = 1$ ,  $S(\Lambda) = -1$



# Upratovanie: izospin

W. Heisenberg: protón a neutrón sú veľmi podobné  $\Rightarrow$  sú to dva stavy rovnakej častice

**nukleón** - častica s izospinom  $1/2$  a priemetmi na os  $z$   $+1/2$  a  $-1/2$



# Upratovanie: izospin

W. Heisenberg: protón a neutrón sú veľmi podobné  $\Rightarrow$  sú to dva stavy rovnakej častice

**nukleón** - častica s izospinom  $1/2$  a priemetmi na os  $z$   $+1/2$  a  $-1/2$

p  
n

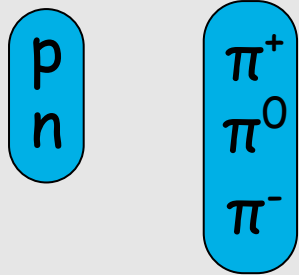
dublet

$\Sigma^+$   $\Sigma^-$   
 $\Sigma^0$   $\Xi^-$   $K^+$   
 $\pi^+$   $\pi^-$   $\pi^0$   $\Lambda$   
 $K^-$   $\Xi^0$   $K^0$   $\bar{K}^0$

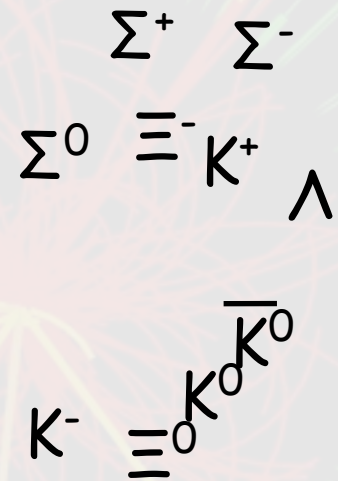
# Upratovanie: izospin

W. Heisenberg: protón a neutrón sú veľmi podobné  $\Rightarrow$  sú to dva stavy rovnakej častice

**nukleón** - častica s izospinom  $1/2$  a priemetmi na os  $z$   $+1/2$  a  $-1/2$



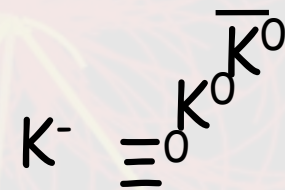
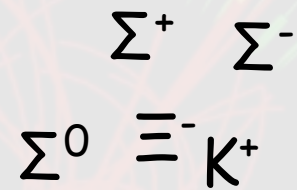
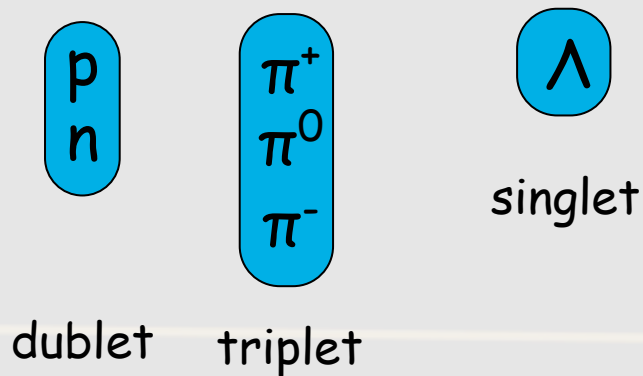
dublet    triplet



# Upratovanie: izospin

W. Heisenberg: protón a neutrón sú veľmi podobné  $\Rightarrow$  sú to dva stavy rovnakej častice

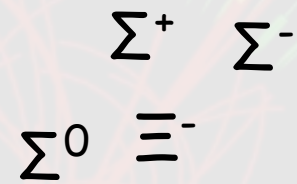
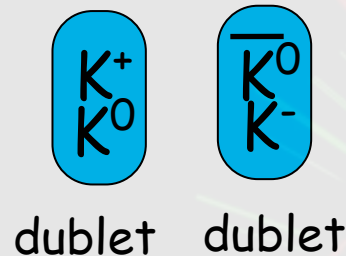
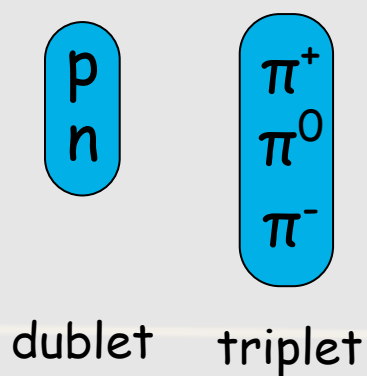
**nukleón** - častica s izospinom  $1/2$  a priemetmi na os  $z$   $+1/2$  a  $-1/2$



# Upratovanie: izospin

W. Heisenberg: protón a neutrón sú veľmi podobné  $\Rightarrow$  sú to dva stavy rovnakej častice

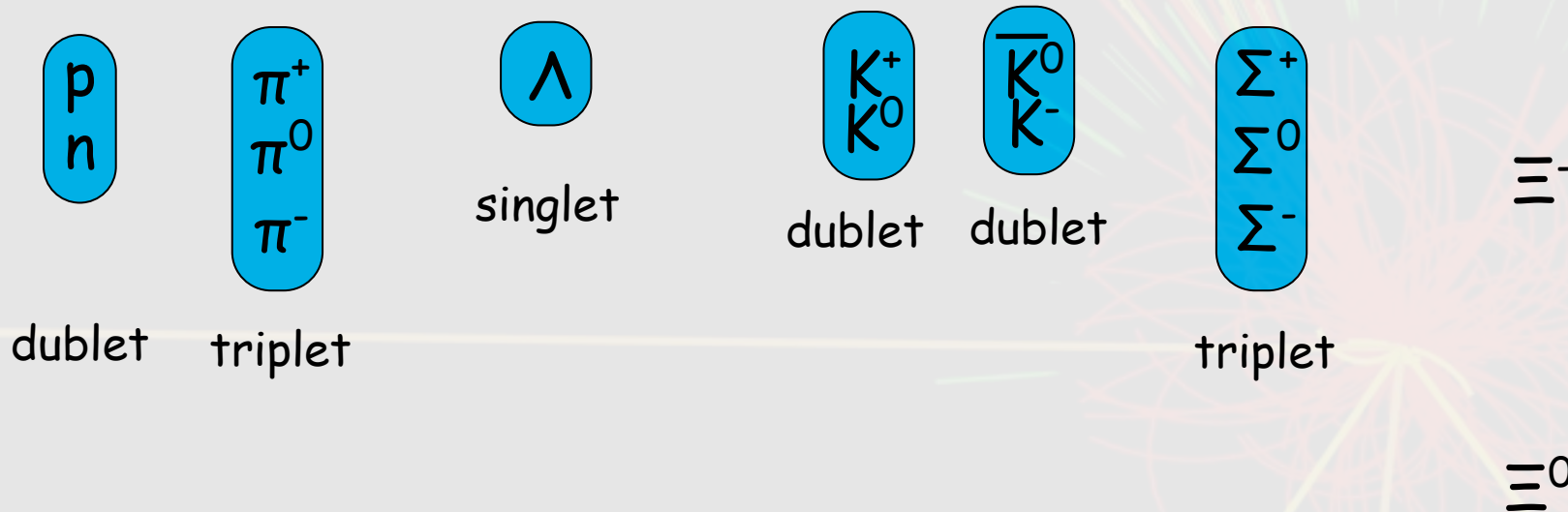
**nukleón** - častica s izospinom  $1/2$  a priemetmi na os  $z$   $+1/2$  a  $-1/2$



# Upratovanie: izospin

W. Heisenberg: protón a neutrón sú veľmi podobné  $\Rightarrow$  sú to dva stavy rovnakej častice

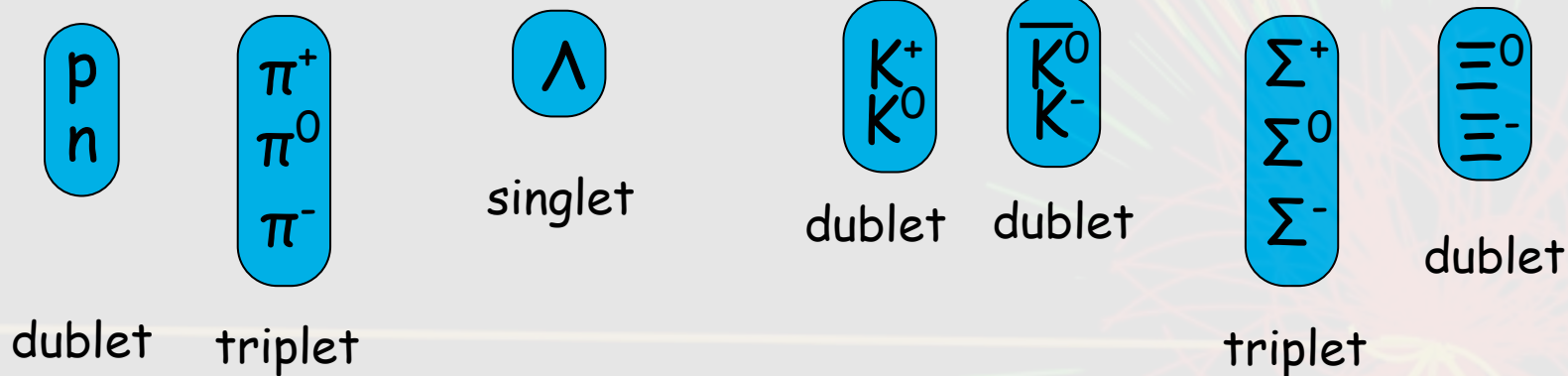
**nukleón** - častica s izospinom  $1/2$  a priemetmi na os  $z$   $+1/2$  a  $-1/2$



# Upratovanie: izospin

W. Heisenberg: protón a neutrón sú veľmi podobné  $\Rightarrow$  sú to dva stavy rovnakej častice

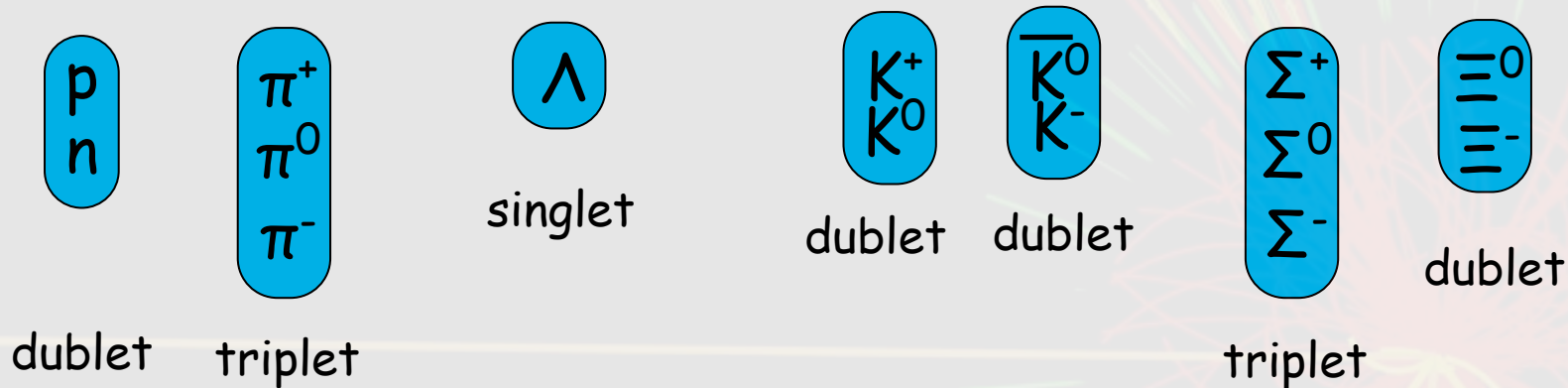
**nukleón** - častica s izospinom  $1/2$  a priemetmi na os  $z$   $+1/2$  a  $-1/2$



# Upratovanie: izospin

W. Heisenberg: protón a neutrón sú veľmi podobné  $\Rightarrow$  sú to dva stavy rovnakej častice

**nukleón** - častica s izospinom  $1/2$  a priemetmi na os  $z$   $+1/2$  a  $-1/2$

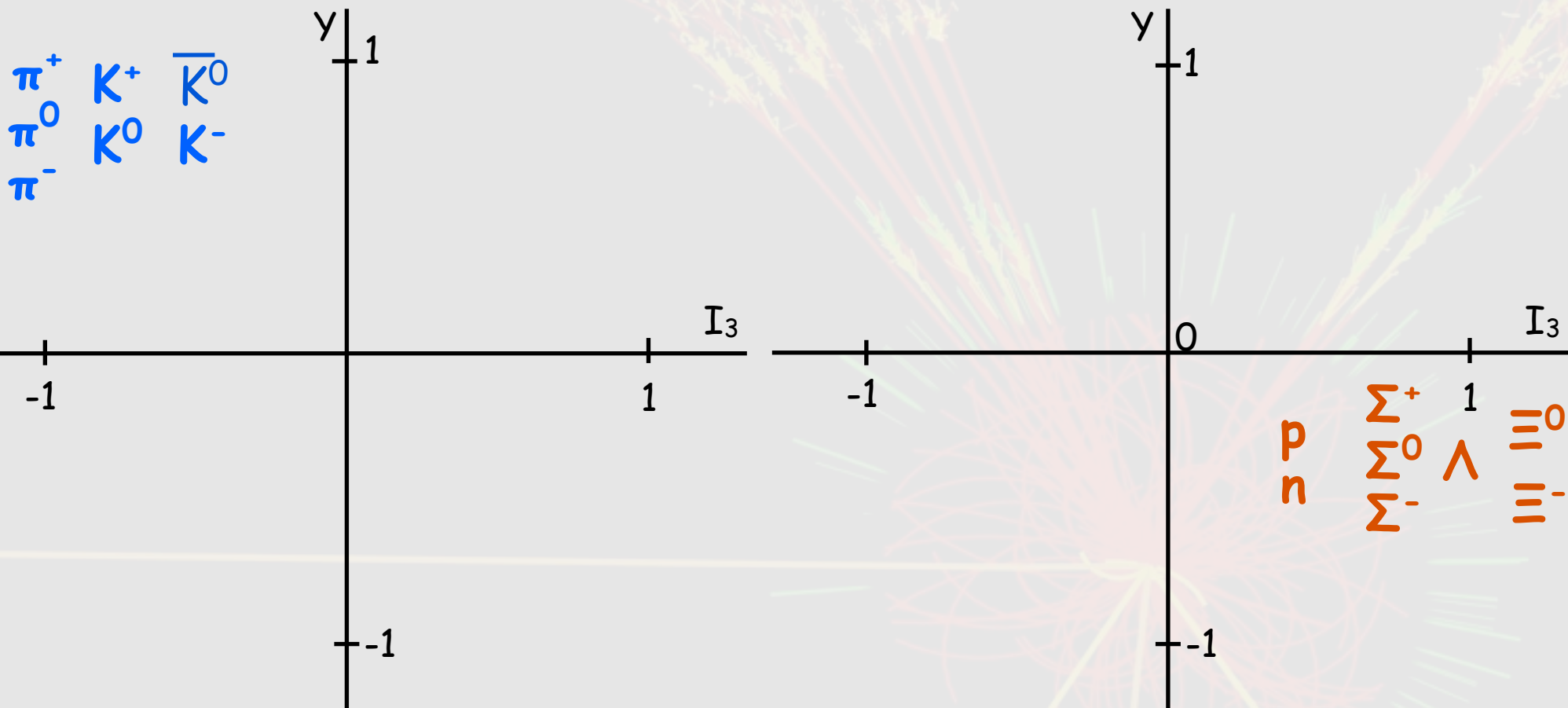


**symetria:** silné interakcie nepoznajú rozdiel medzi jednotlivými časticami v multipletoch



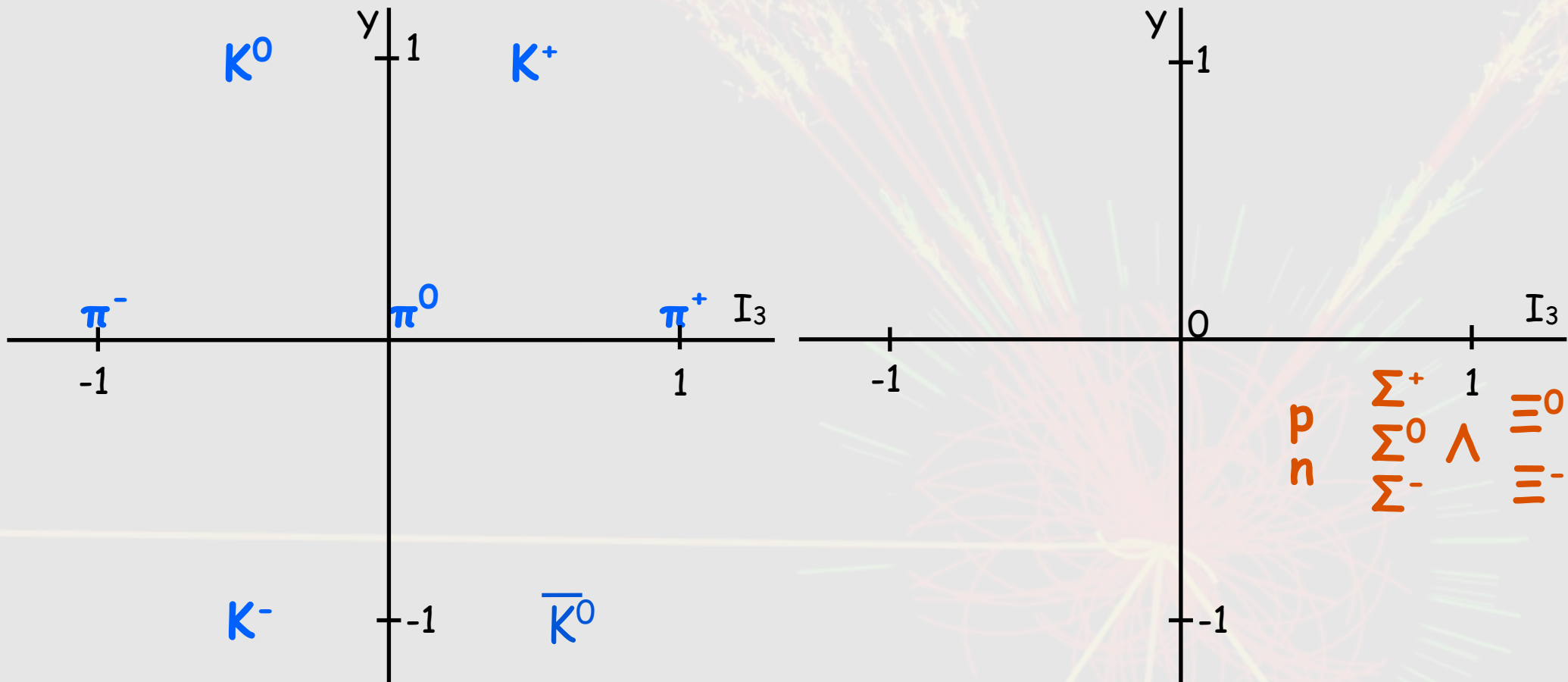
# Upratovanie 2: izospin a hypernáboj

Hypernáboj  $Y = B + S$



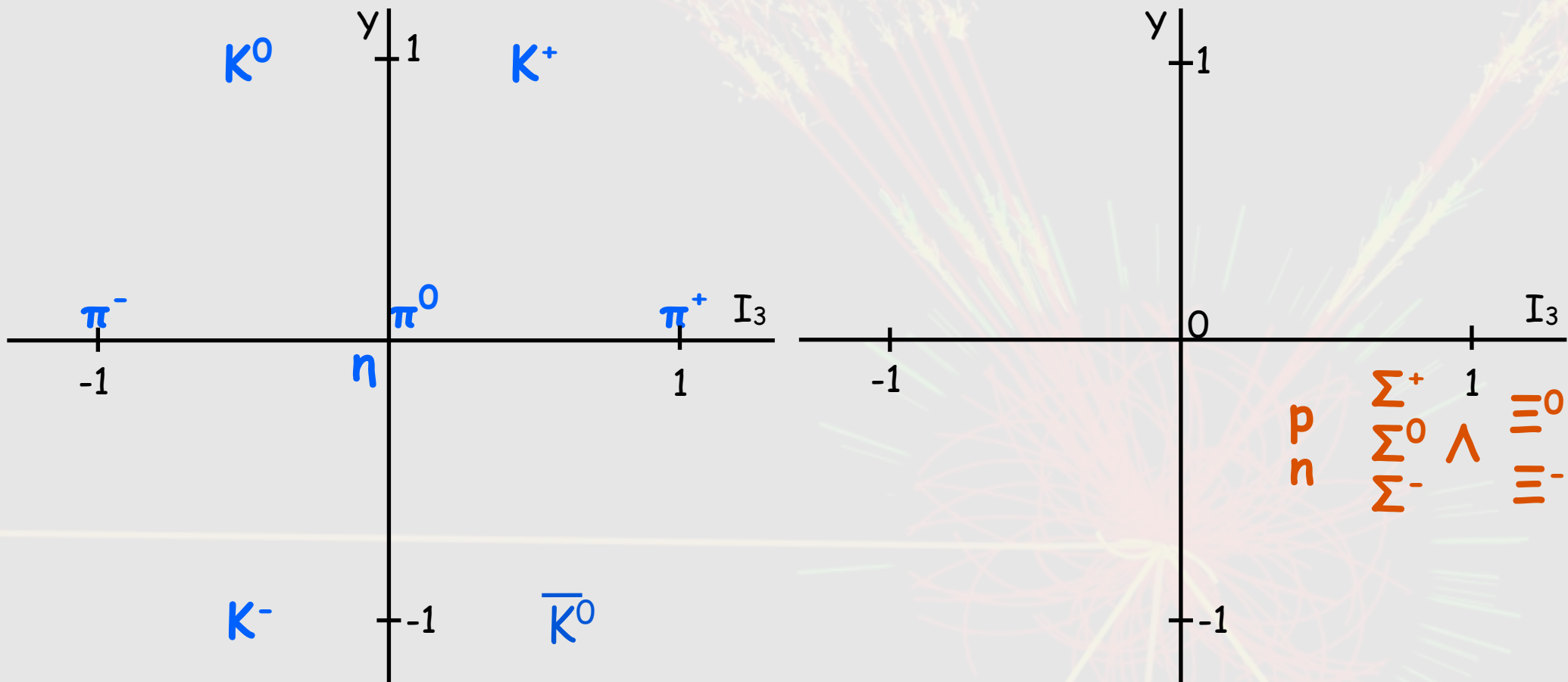
# Upratovanie 2: izospin a hypernáboj

Hypernáboj  $Y = B + S$



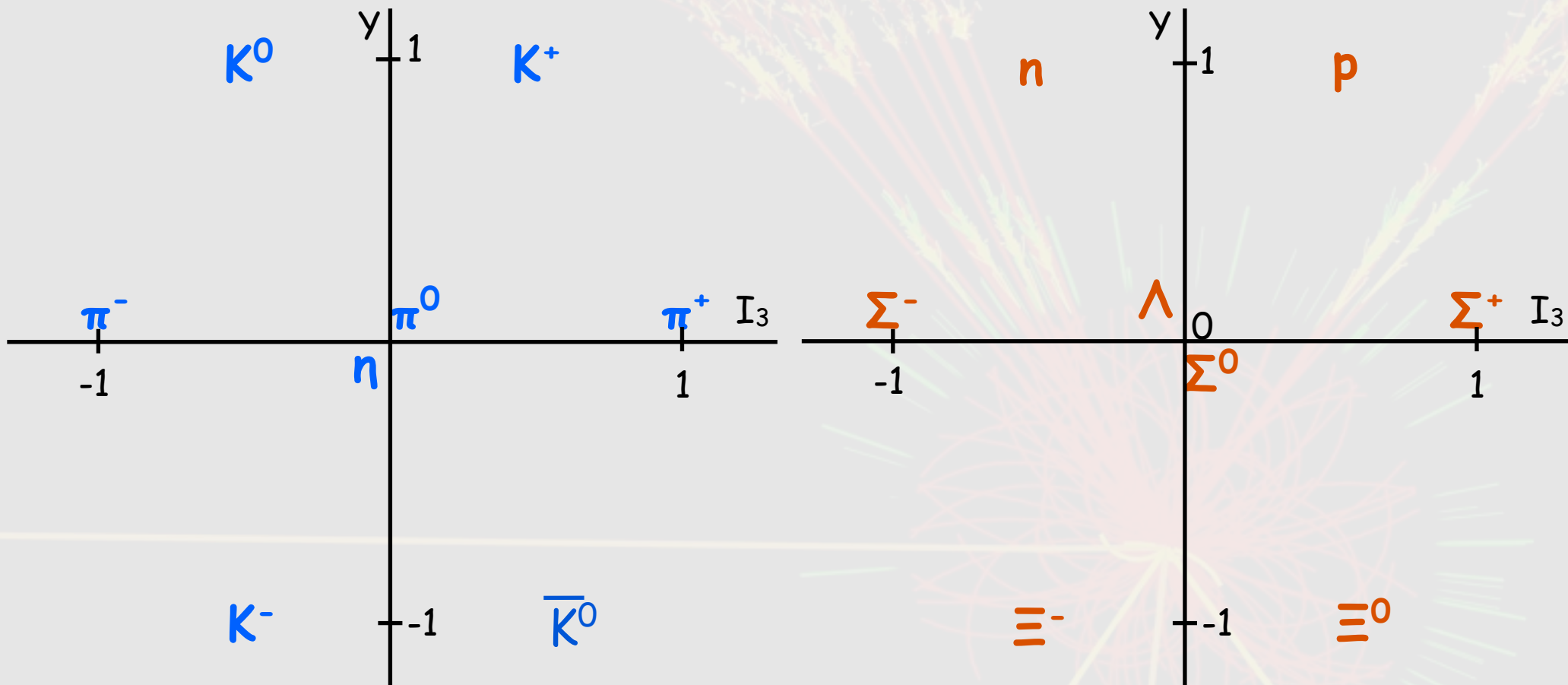
# Upratovanie 2: izospin a hypernáboj

Hypernáboj  $Y = B + S$



# Upratovanie 2: izospin a hypernáboj

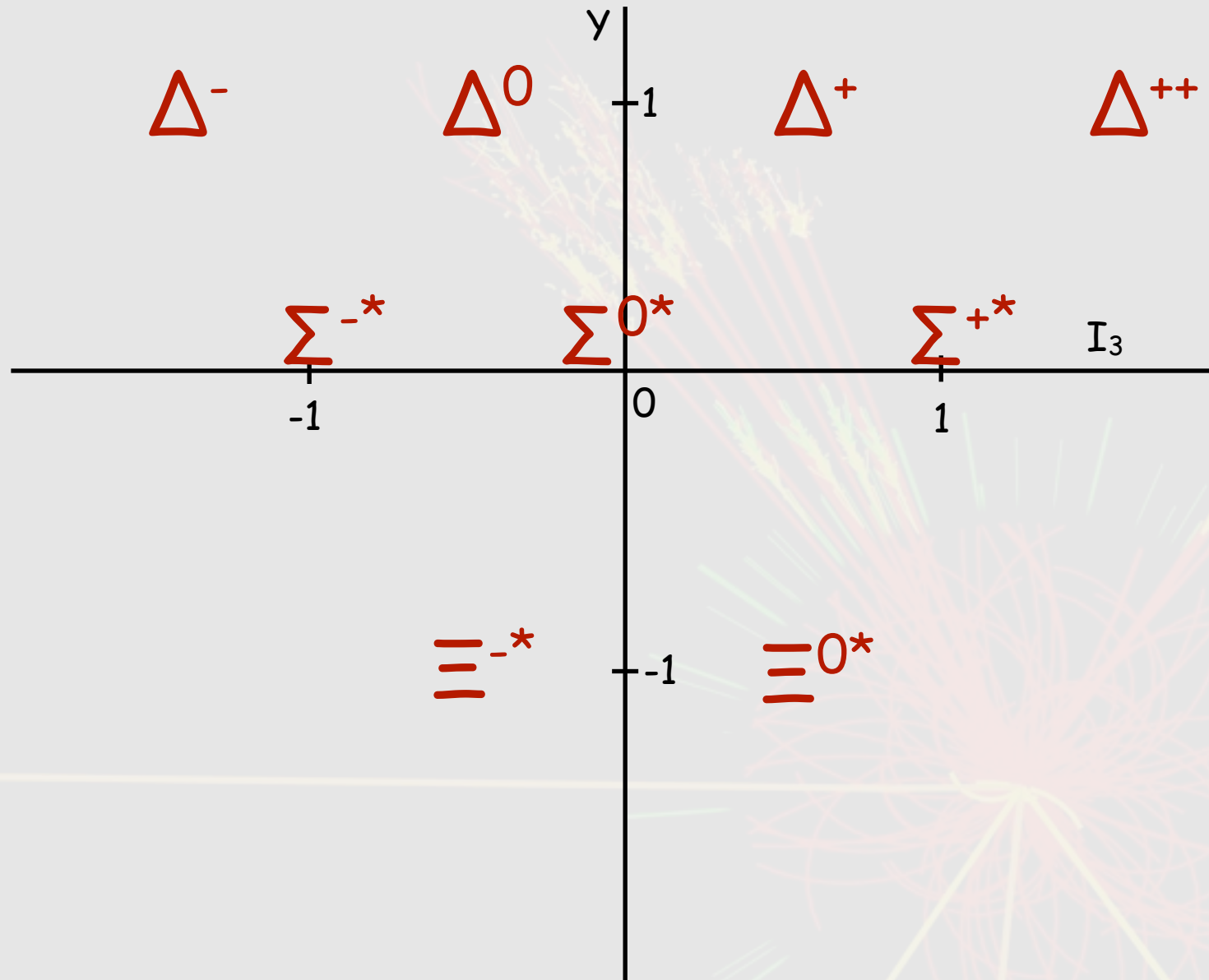
Hypernáboj  $Y = B + S$



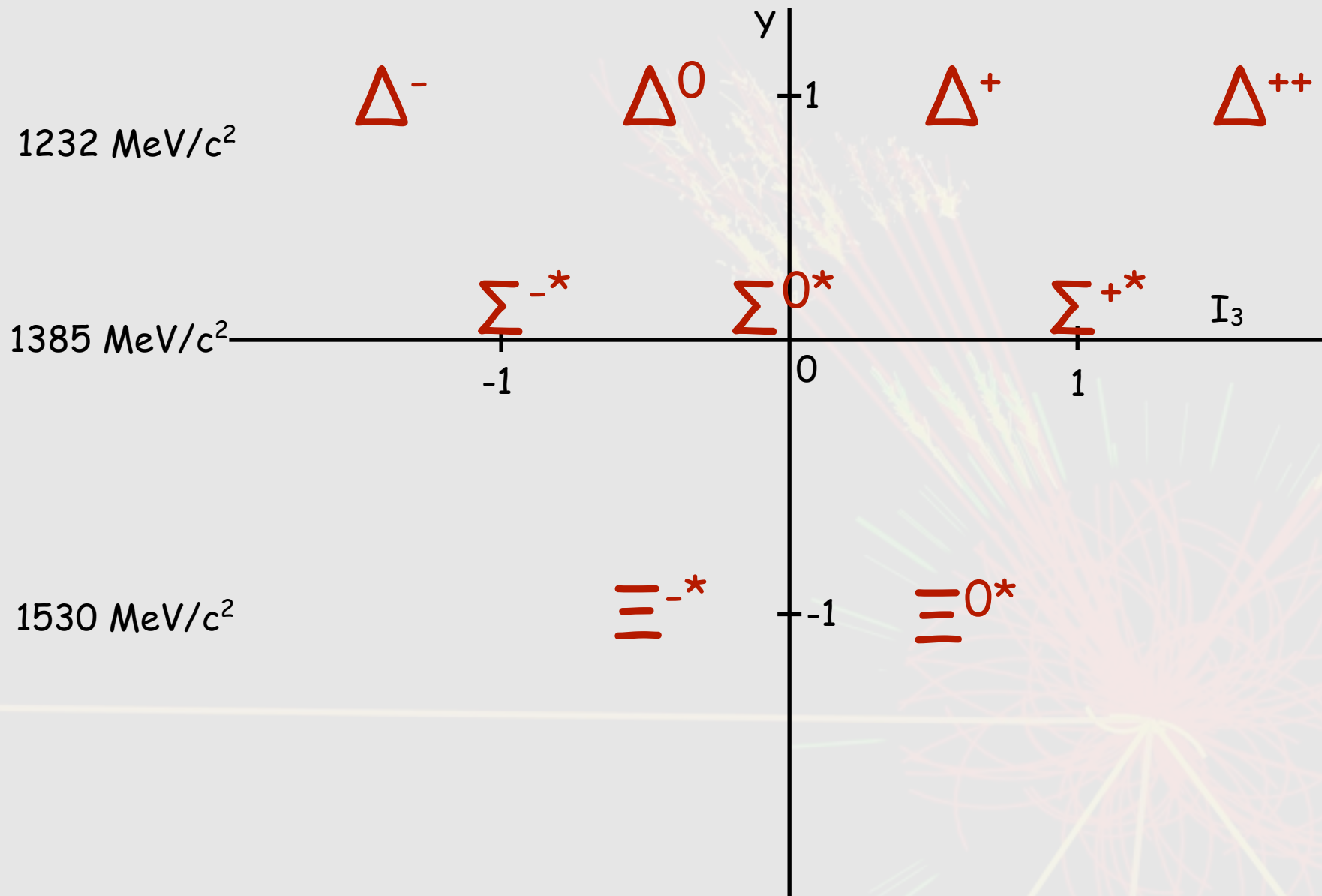
# Upratovanie 3: baryóny $J = 3/2$



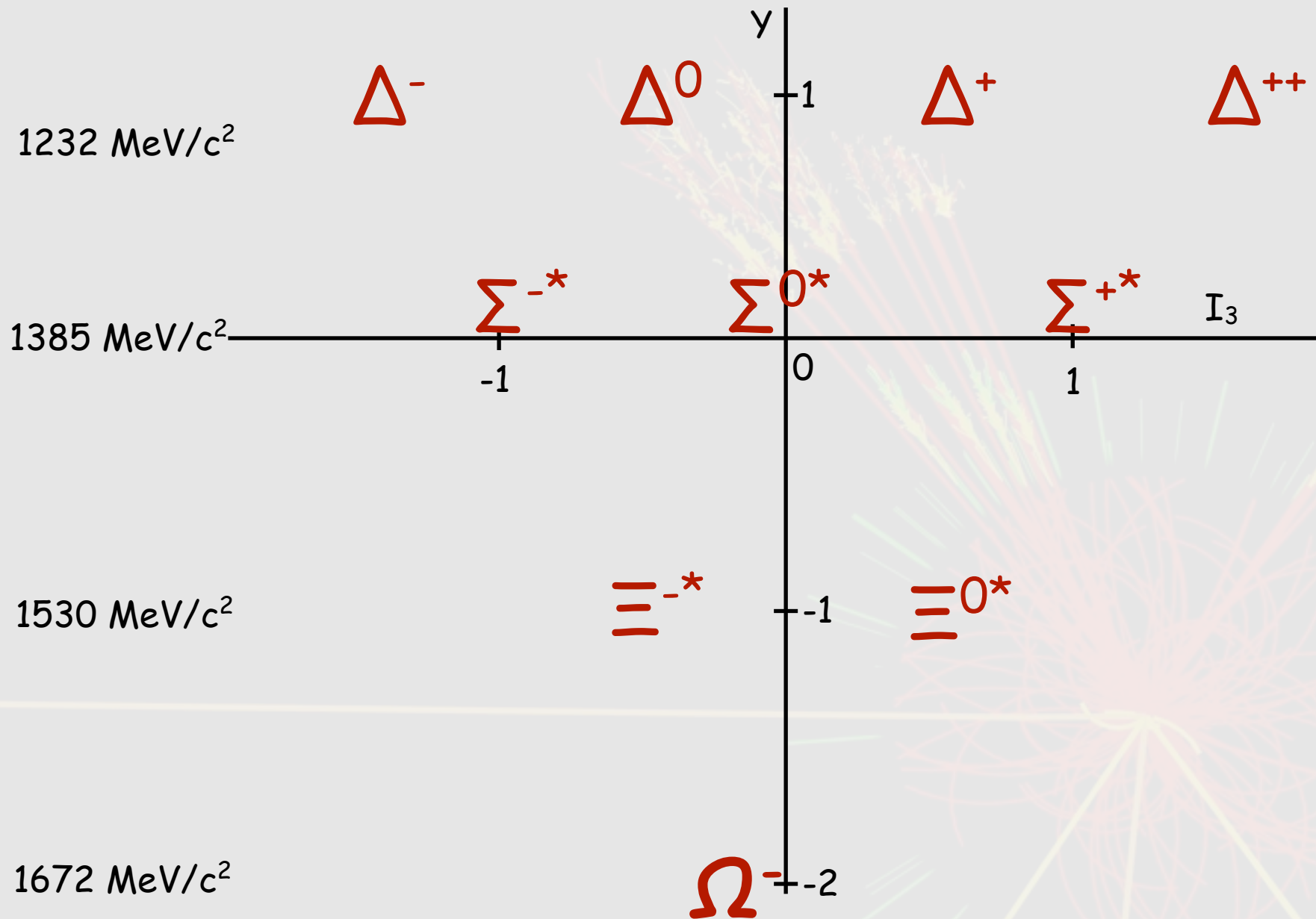
# Upratovanie 3: baryóny $J = 3/2$



# Upratovanie 3: baryóny $J = 3/2$



# Upratovanie 3: baryóny $J = 3/2$



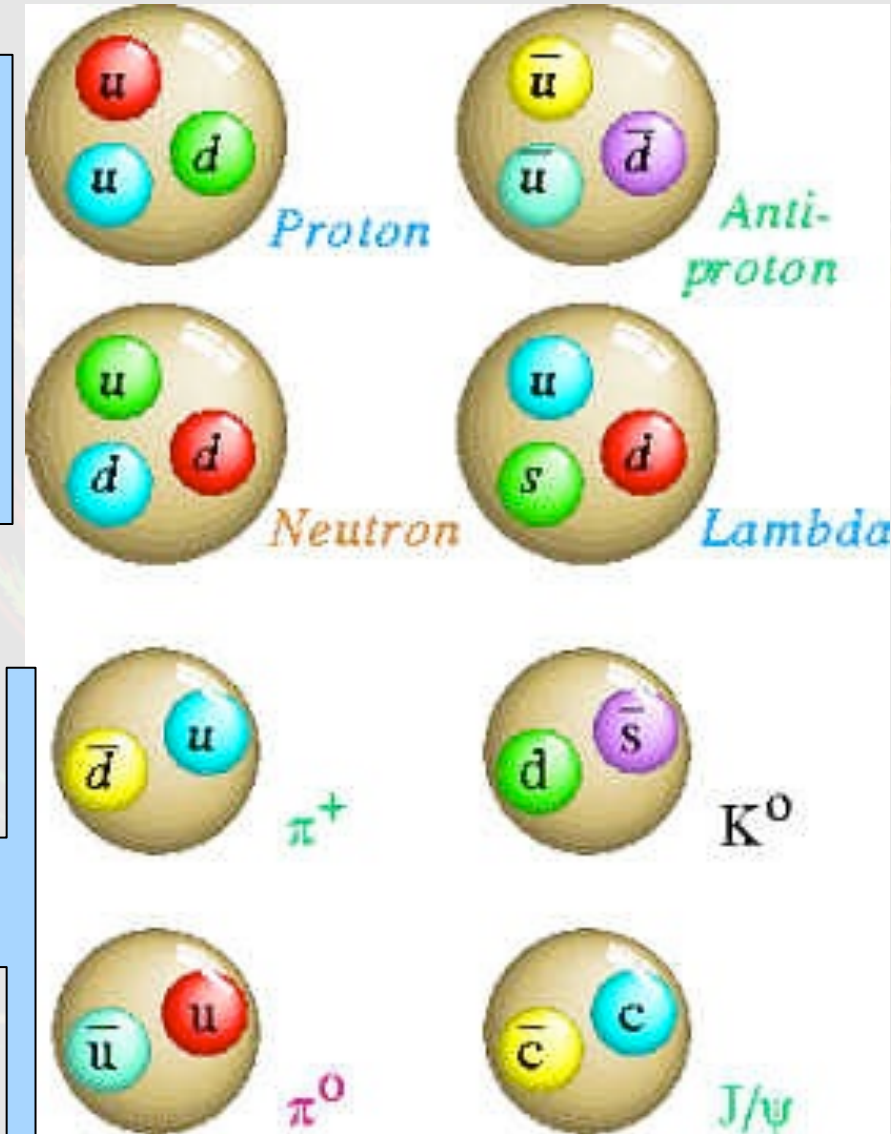


# Hadróny sa skladajú z kvarkov

baryóny

Kvarky: up, down, strange  
(charm, bottom, top)  
spin  $1/2$ , náboj  $2/3e$ ,  $-1/3e$   
antikvarky

mezóny

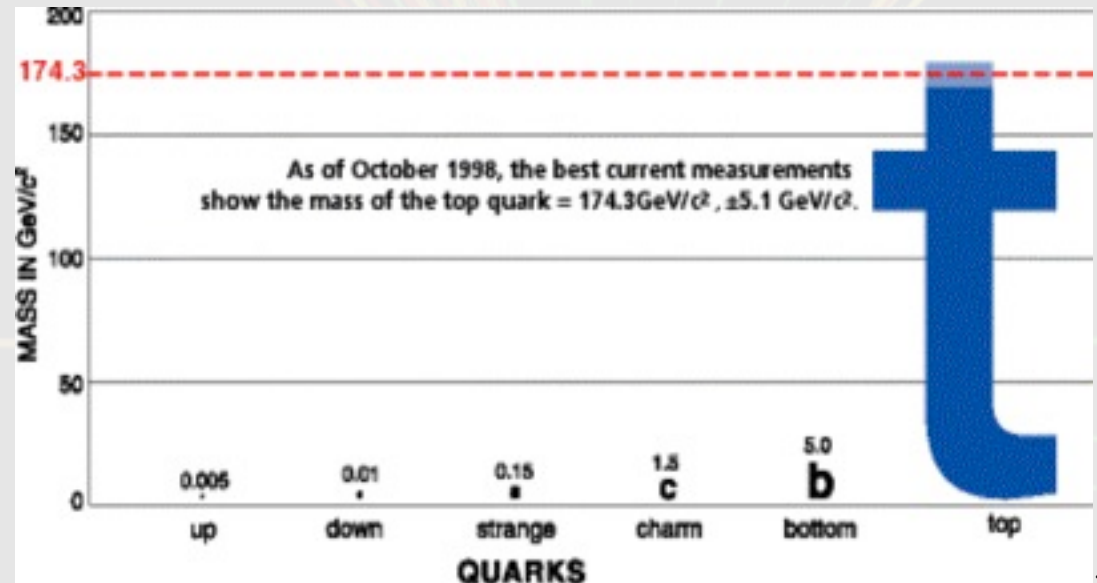


# Ťažšie hadróny, ťažšie kvarky

Tri kvarkové rodiny:

up          charm          top  
down      strange      bottom

ku každému je aj antikvark



# Leptóny (ľahké častice)

elektrón

elementárna častica

žiadna štruktúra

bodová častica

mión - kozmické žiarenie

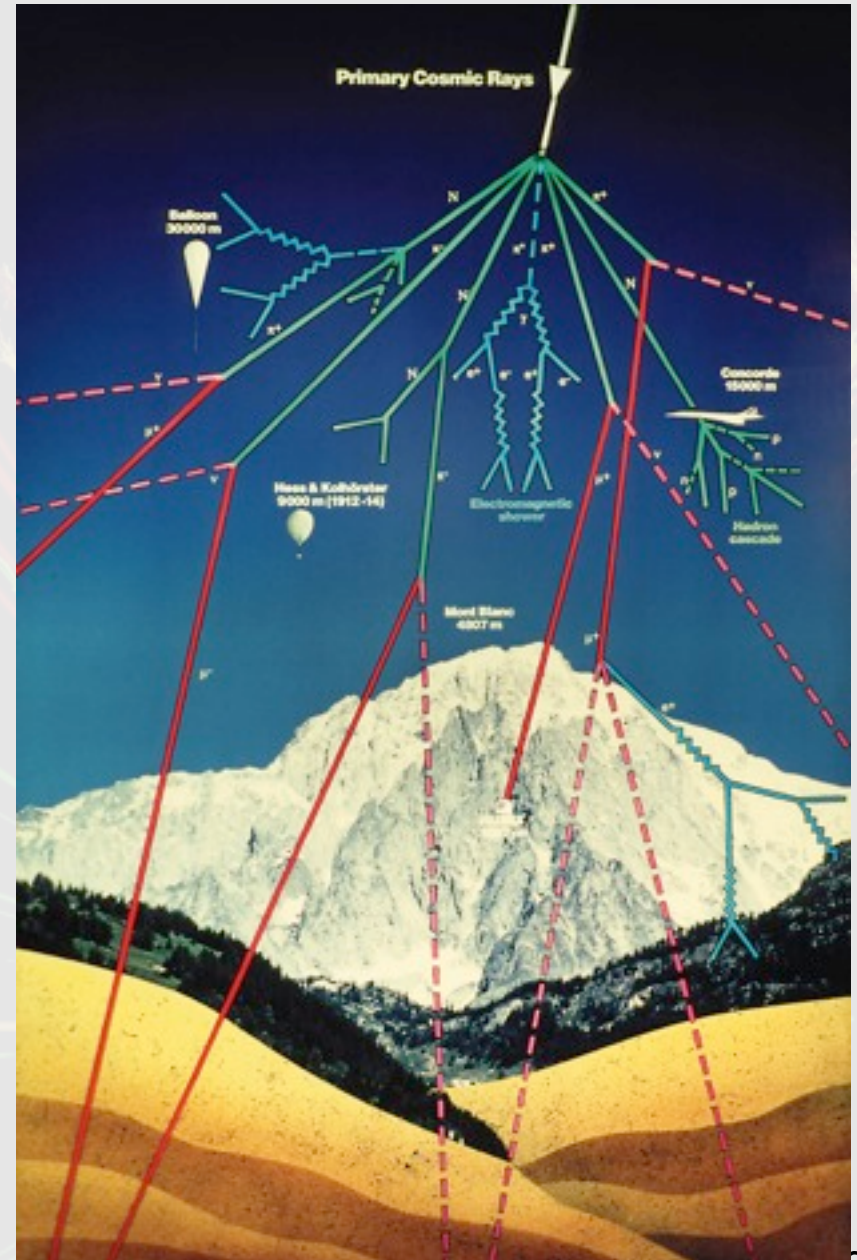
slabo interagujúci,

na povrchu  $1/\text{cm}^2/\text{min}$

(rozpadá sa)

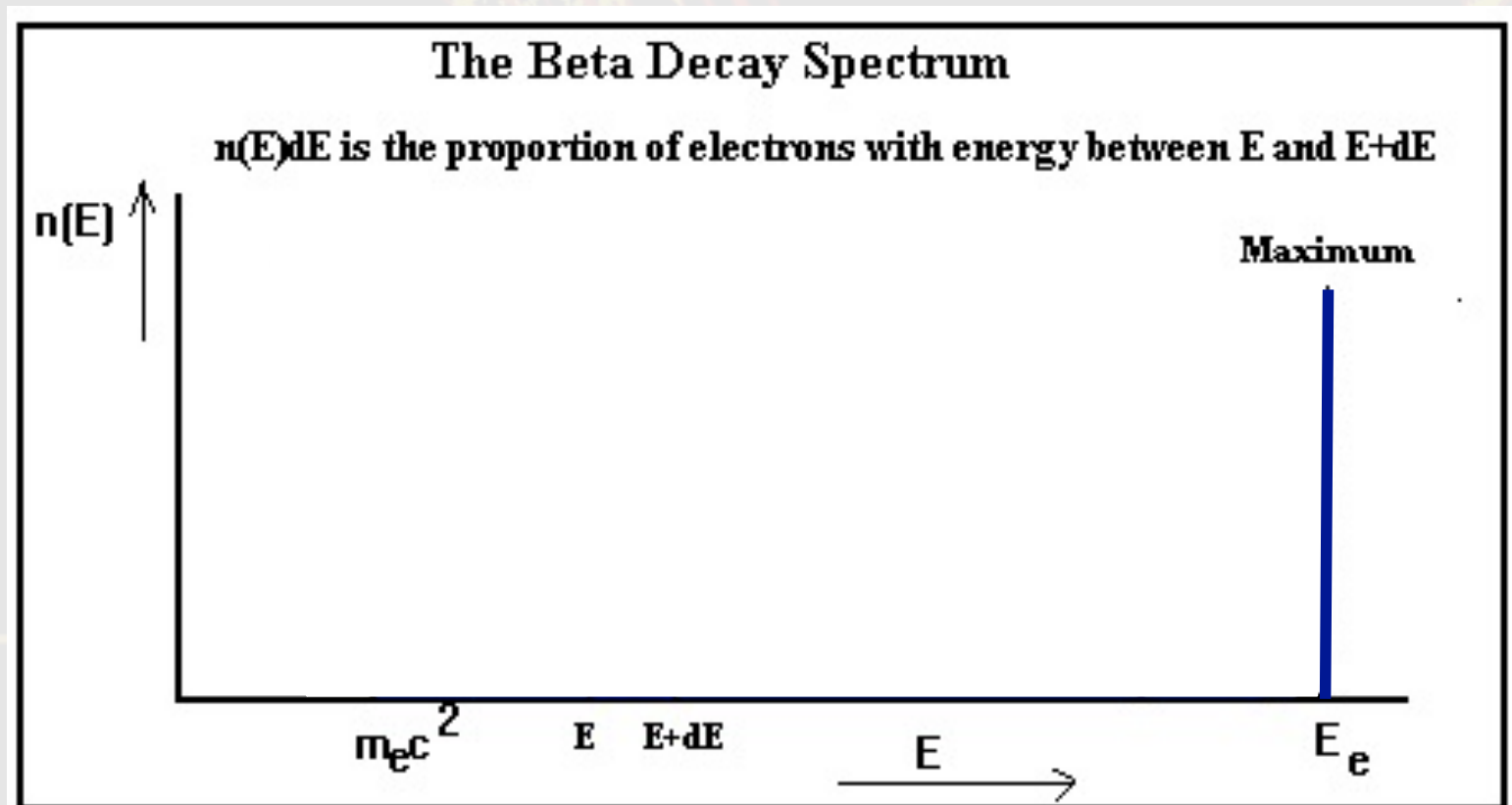
tau - leptón

(rozpadá sa rýchlo)



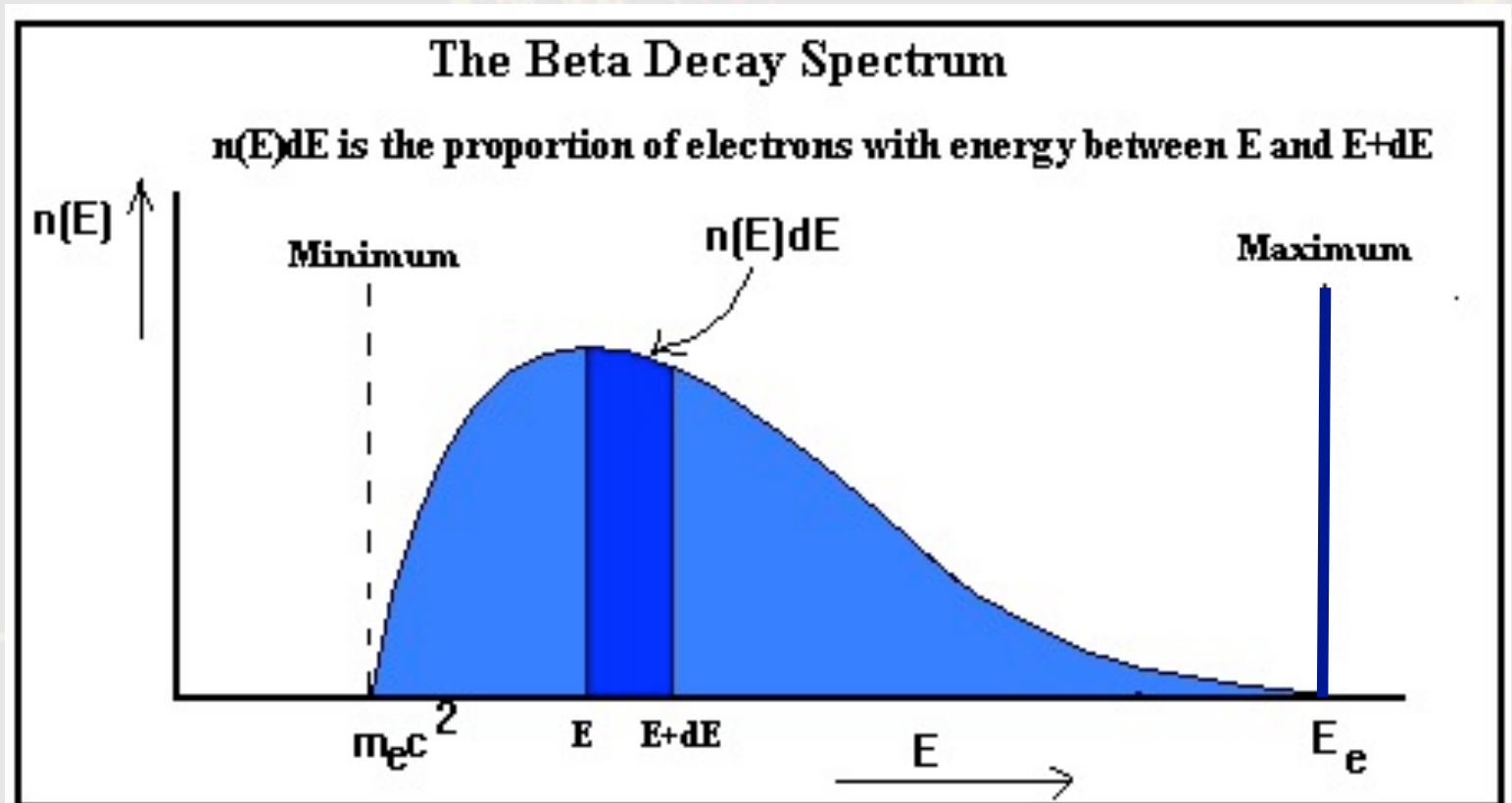
# Neutrína

Chýbajúca energia v rozpade  $\beta$ :



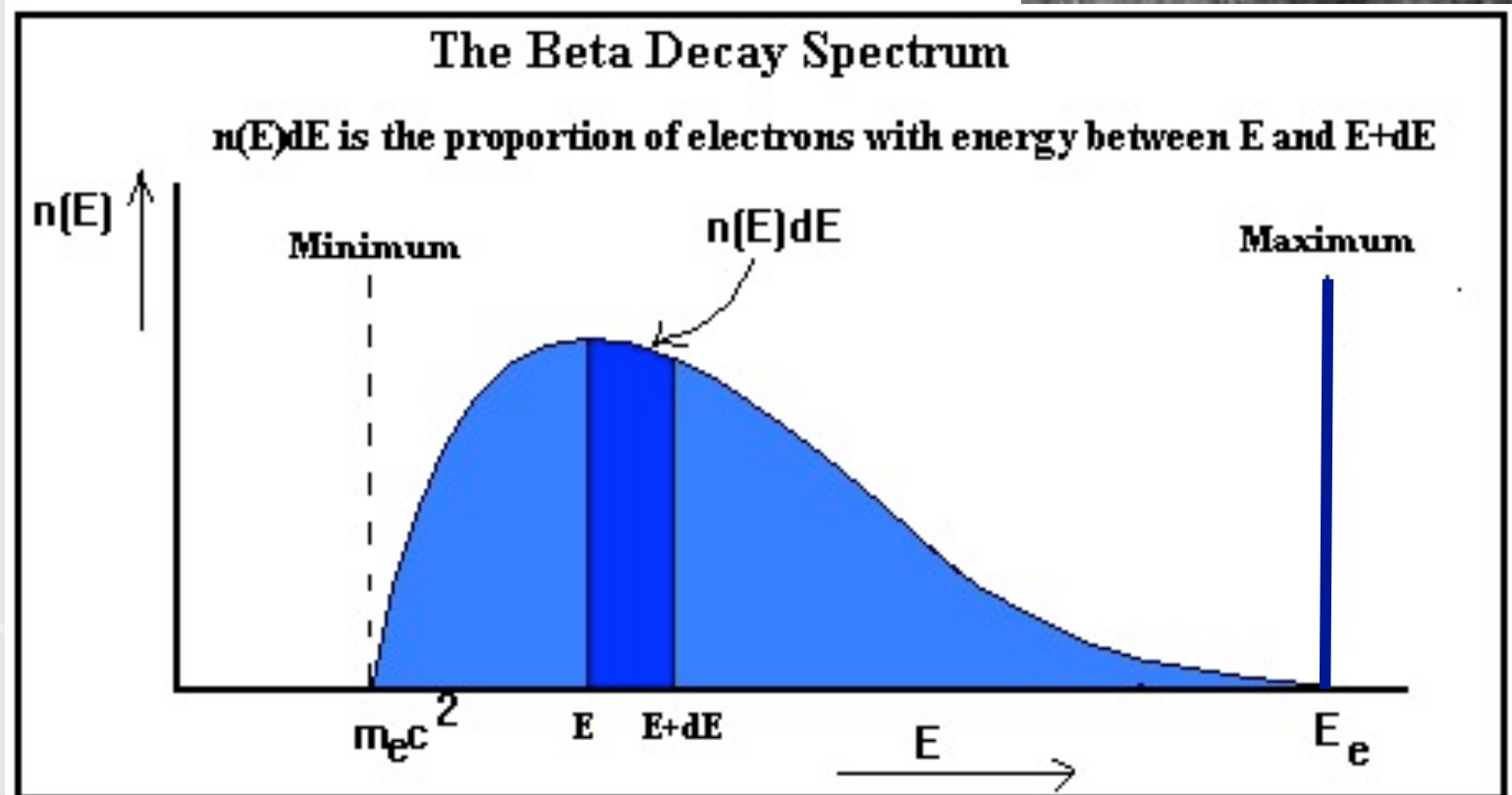
# Neutrína

Chýbajúca energia v rozpade  $\beta$ :



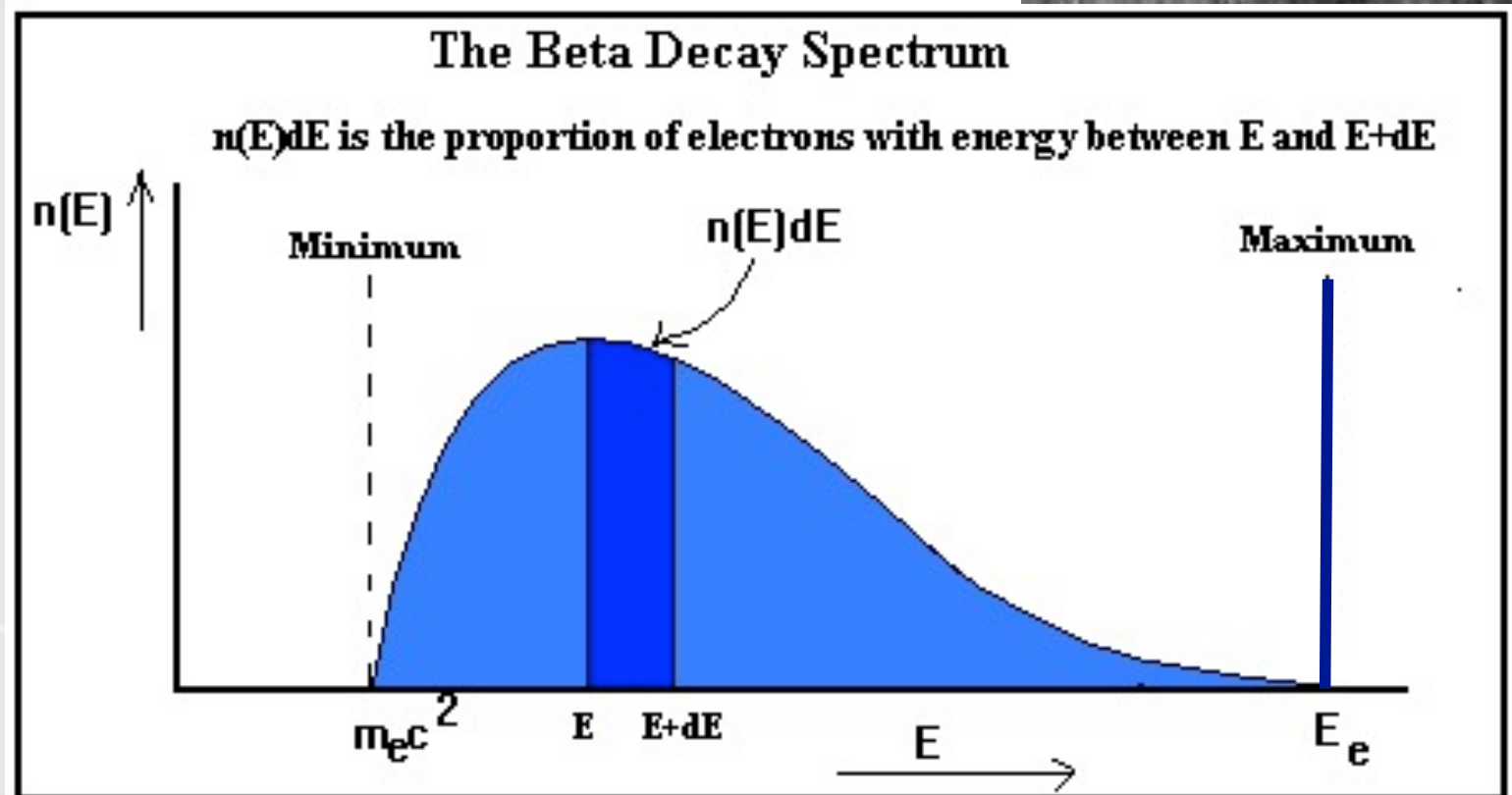
# Neutrína

Chýbajúca energia v rozpade  $\beta$ :

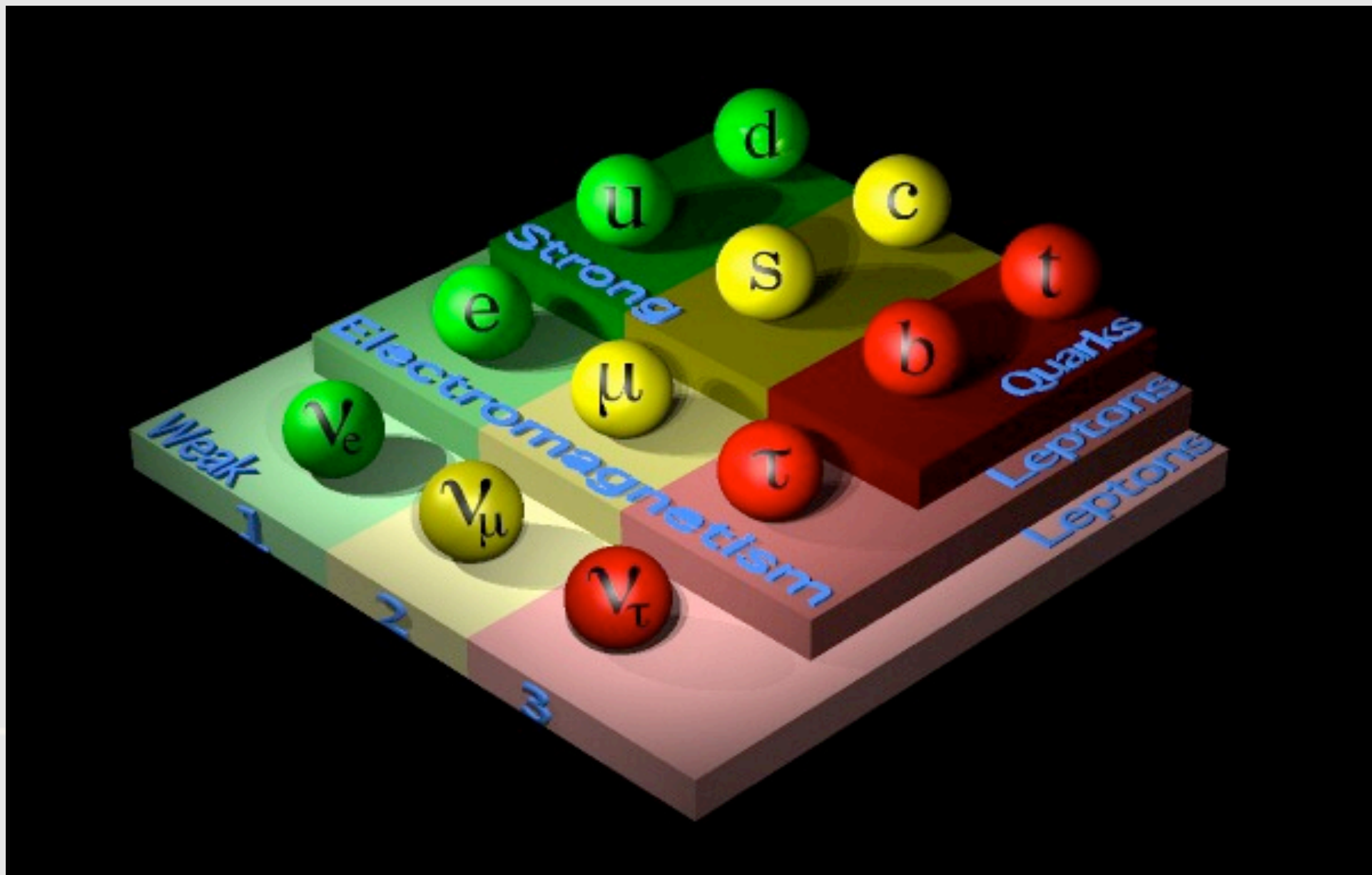


# Neutrína

Chýbajúca energia v rozpade  $\beta$ :



# Zhrnutie: častice





# Interakcie: sily medzi časticami

Interakcie:

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

4 základné interkacie:

gravitačná

elektromagnetická

slabá jadrová

silná jadrová

hybnosť a energia sa menia **po kvantách**

# Gravitačná interakcia

Isaac Newton

Albert Einstein

Kvantová gravitácia



# Gravitačná interakcia

Isaac Newton

Albert Einstein

Kvantová gravitácia



# Gravitačná interakcia

Isaac Newton

Albert Einstein

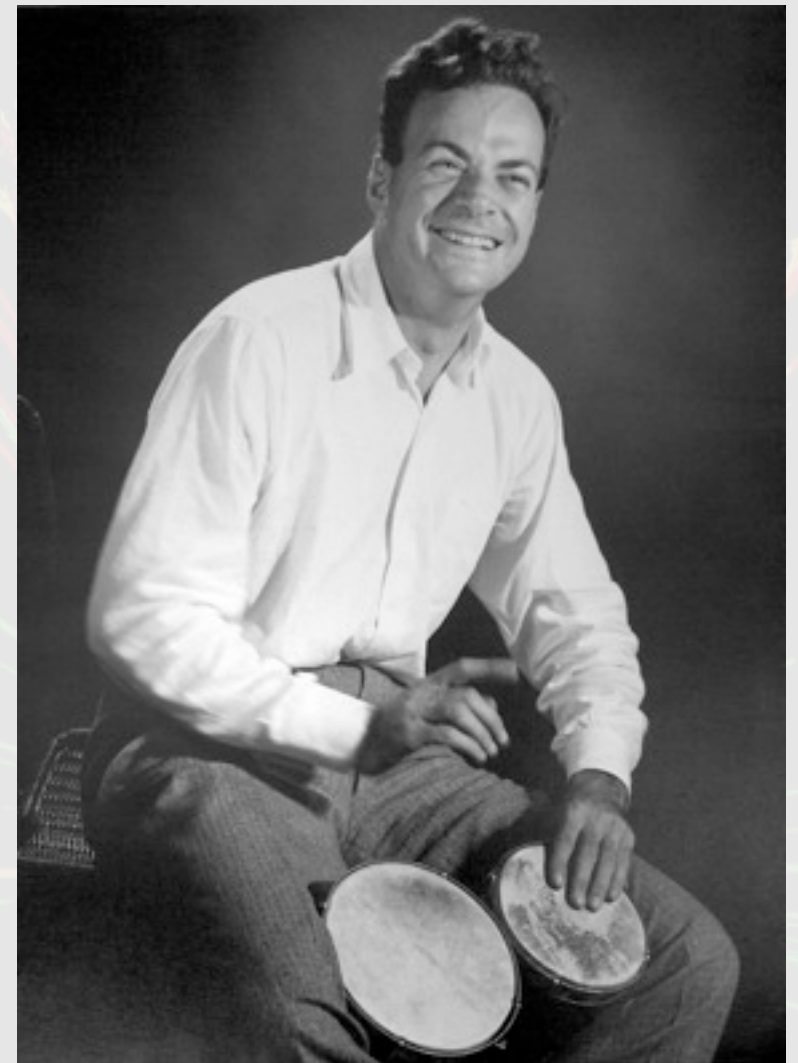
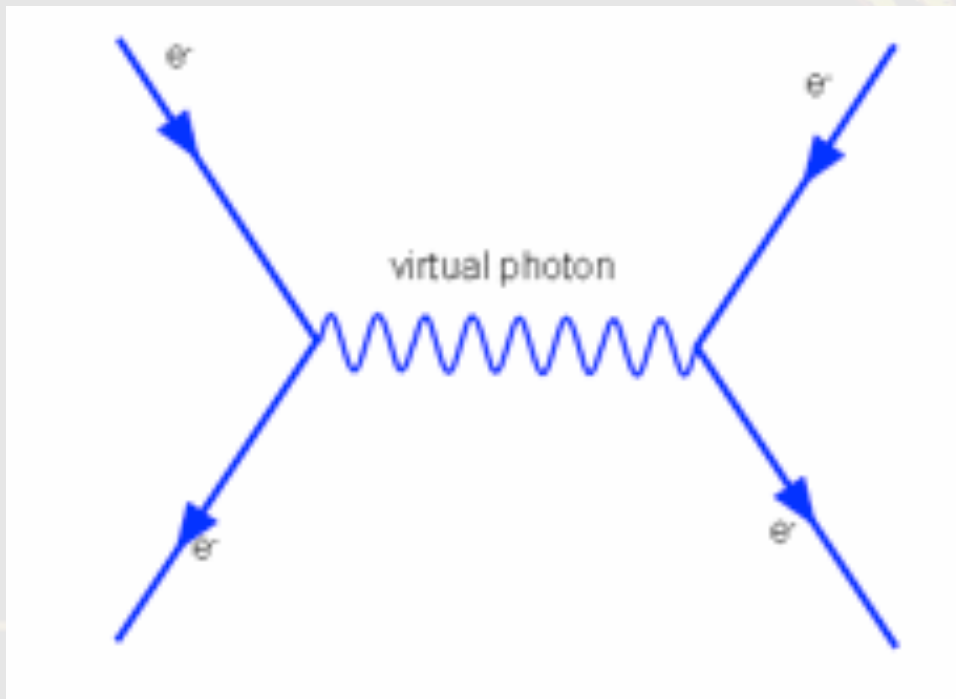
Kvantová gravitácia



# Elektromagnetická interakcia

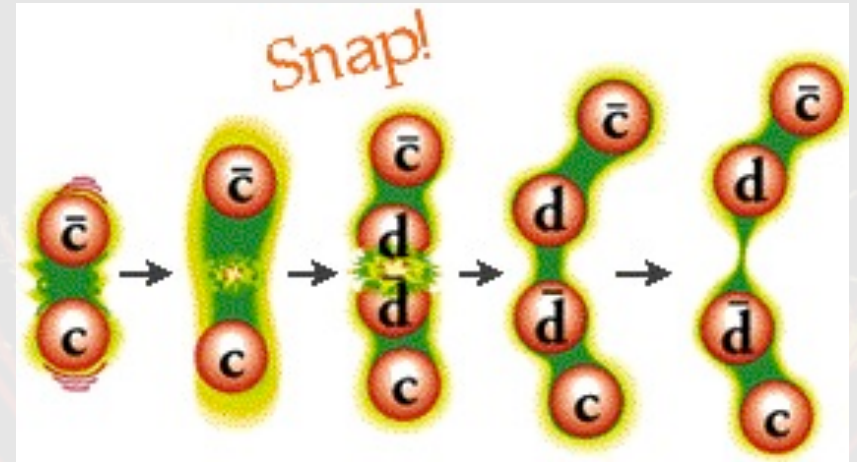
Výmena kvánt energie a hybnosti: **fotónov**

pôsobí na nabité častice

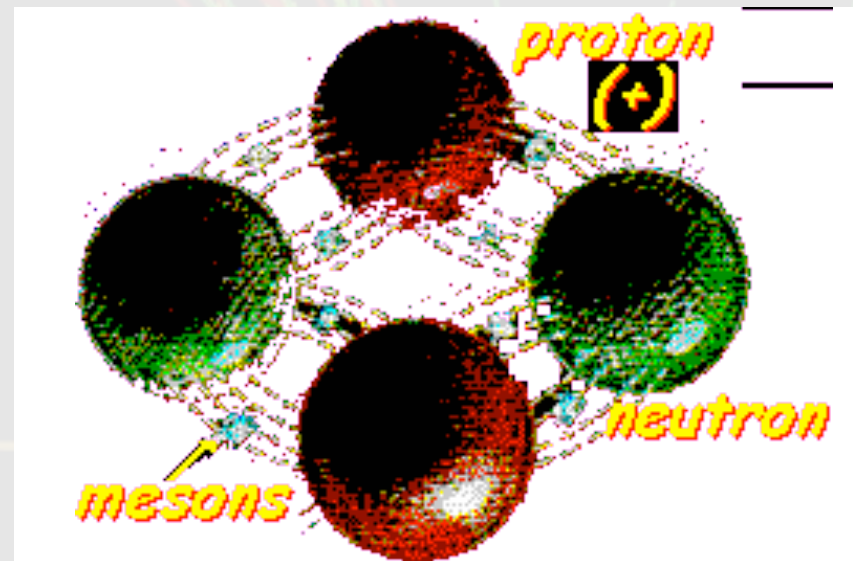


# Silná interakcia

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

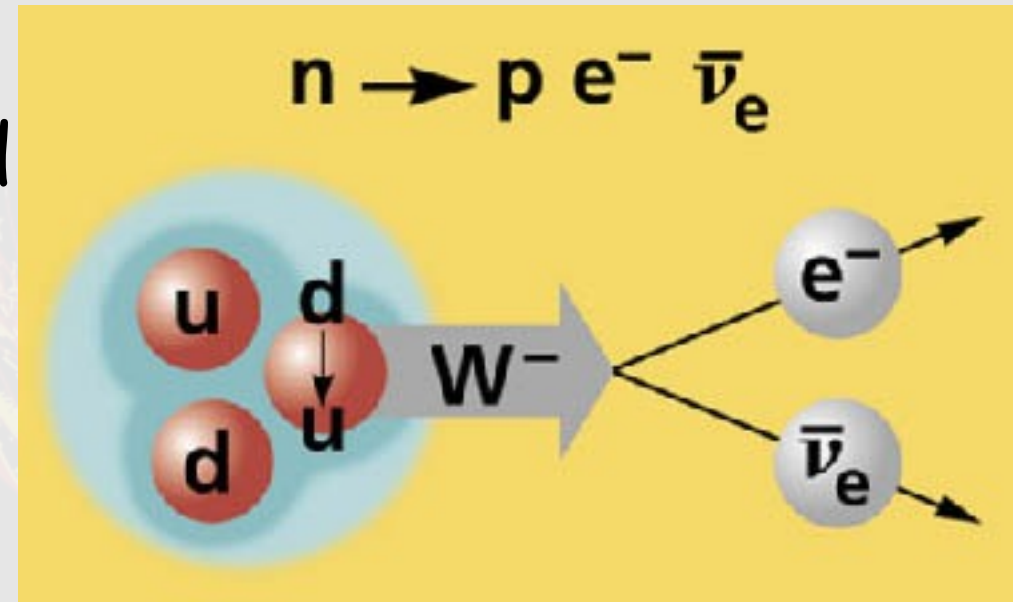


Drží pohromade jadro  
(zvyšková sila)

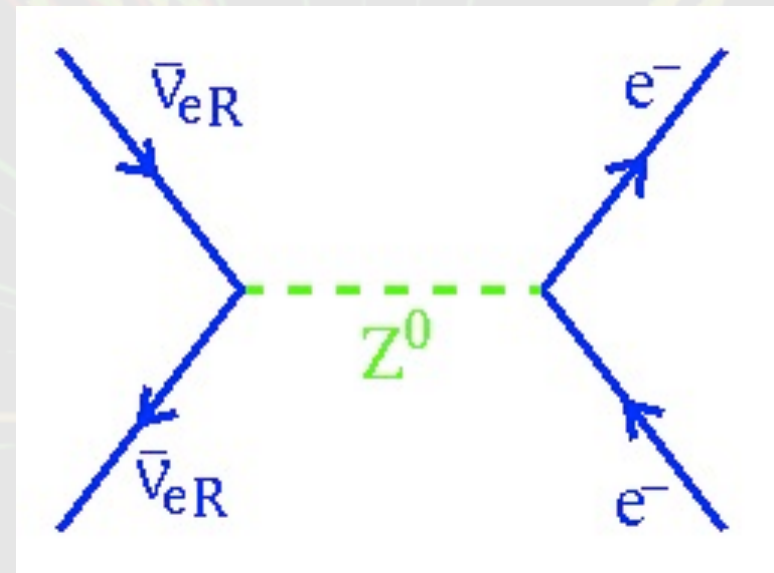


# Slabá interakcia

Zodpovedná za  $\beta$ -rozpad  
(zmena častice)



... ale aj za rozptyl  
neutrín



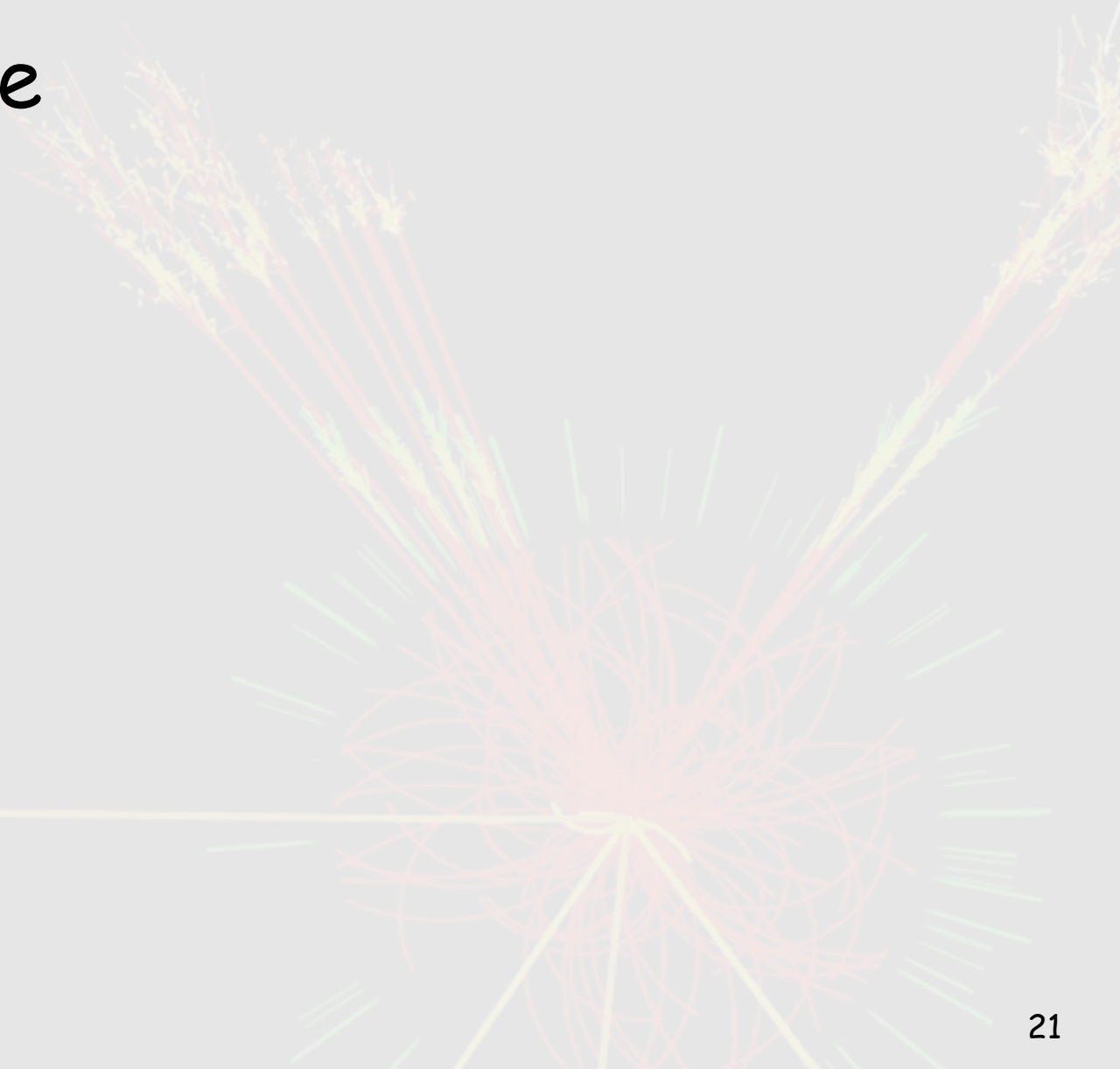
# Higgsov bozón





# Higgsov bozón

objavený CERNe



# Higgsov bozón

objavený CERNe

častica zodpovedná za hmotnosť

# Higgsov bozón

objavený CERNe

častica zodpovedná za hmotnosť

častica nezodpovedná za hmotnosť

# Zhrnutie: častice a interakcie

