

Kvantová, atómová a subatómová fyzika

Fyzika elementárnych častíc

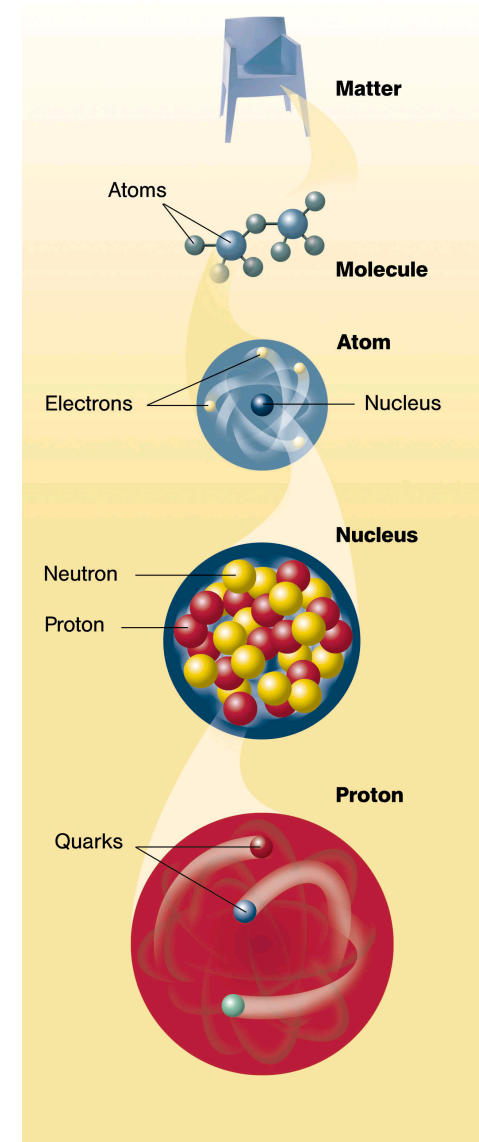
Štruktúra hmoty

molekuly

atómy

jadrá a elektróny

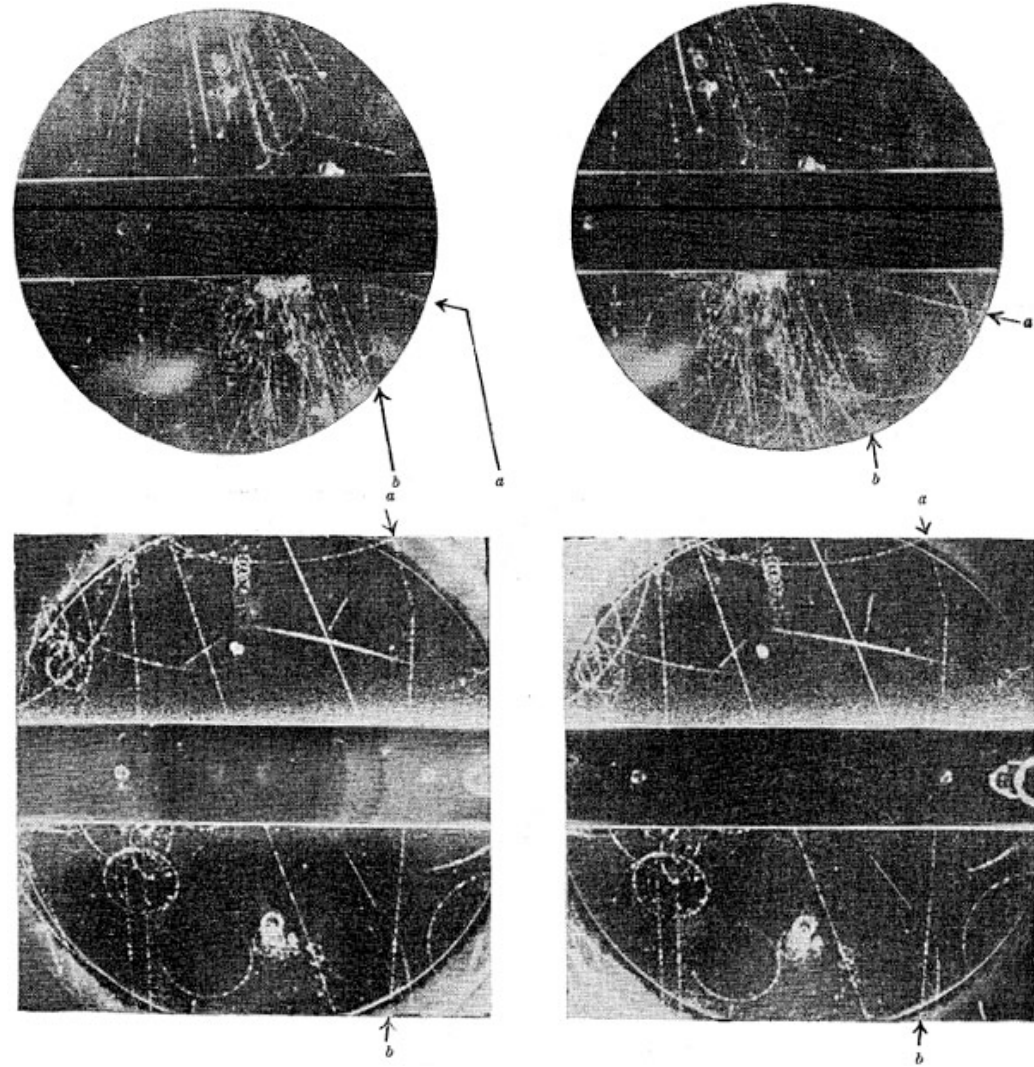
protóny a neutróny



Podivné V_0 častice

1947,
G.D. Rochester,
C.C. Butler
pozorujú “vidlicové dráhy” v
hmlovej komore vystavenej
kozmicným lúčom

častice K a Λ



Časticová ZOO

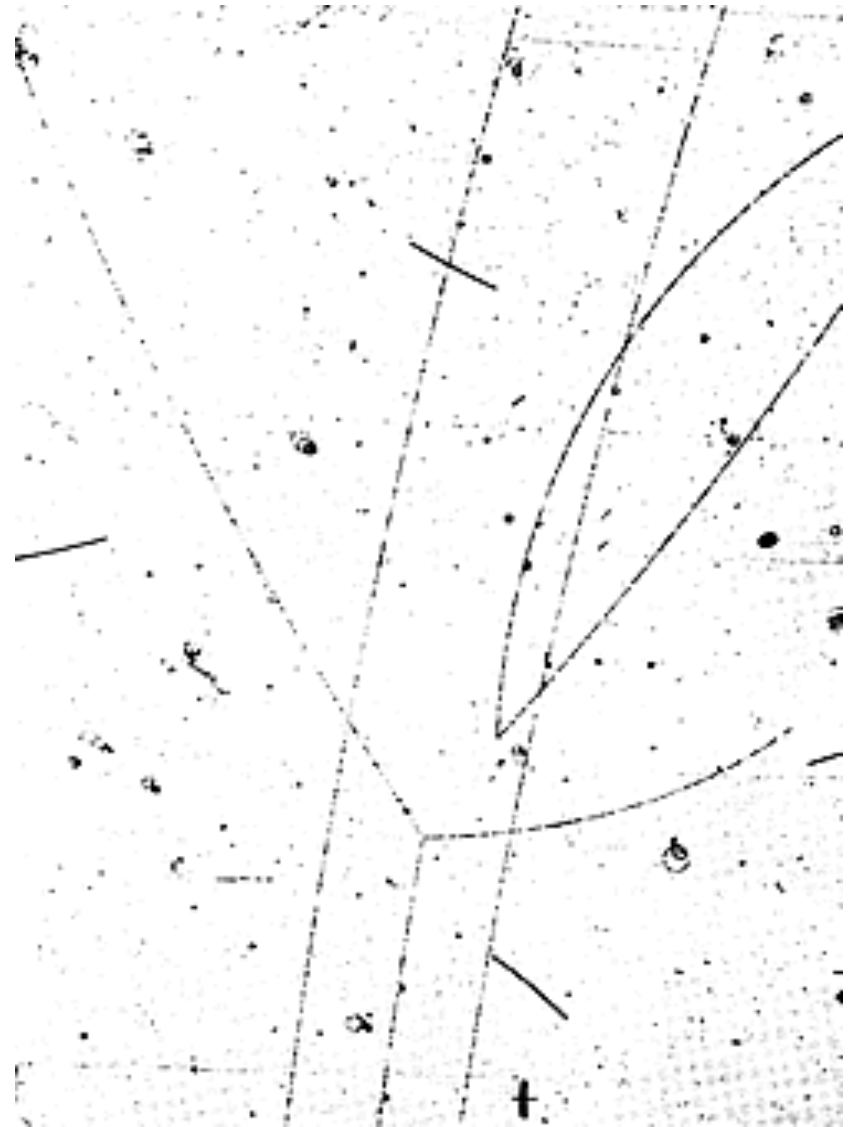
obrázok:

V_0 častica v zrážke kaónu a protónu

časticová ZOO:

ρ , n , π , Σ , Ξ , Δ , η , Φ , Σ^* , ...

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, Λ , Σ , Ξ , ...): hodnota 1

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

mezóny (π , K, η , ρ , ω , Φ , ...): hodnota 0

podivnosť

zachováva sa v rýchlych (silných) procesoch a

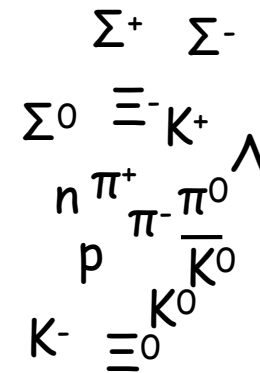
nezachováva sa v pomalých procesoch

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

Upratovanie: izospin

W. Heisenberg: protón a neutrón sú veľmi podobné
⇒ sú to dva stavy rovnakej častice

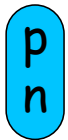
nukleón - častica s izospinom $1/2$ a priemetmi na os z $+1/2$ a $-1/2$



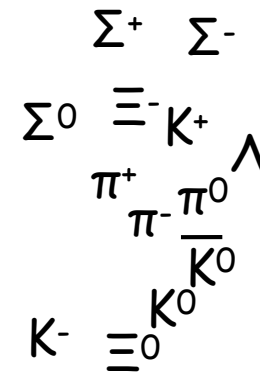
Upratovanie: izospin

W. Heisenberg: protón a neutrón sú veľmi podobné
⇒ sú to dva stavy rovnakej častice

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



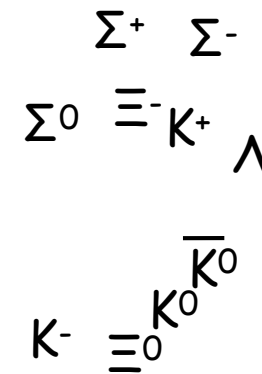
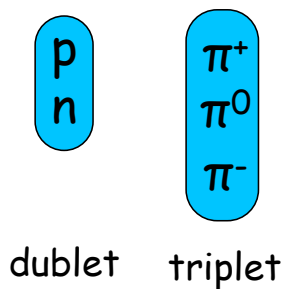
dublet



Upratovanie: izospin

W. Heisenberg: protón a neutrón sú veľmi podobné
⇒ sú to dva stavy rovnakej častice

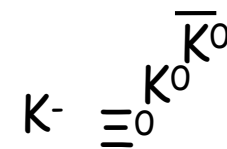
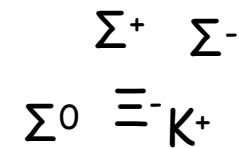
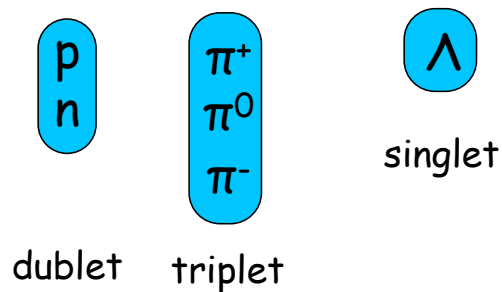
nukleón - častica s izospinom $1/2$ a priemetmi na os z $+1/2$ a $-1/2$



Upratovanie: izospin

W. Heisenberg: protón a neutrón sú veľmi podobné
⇒ sú to dva stavy rovnakej častice

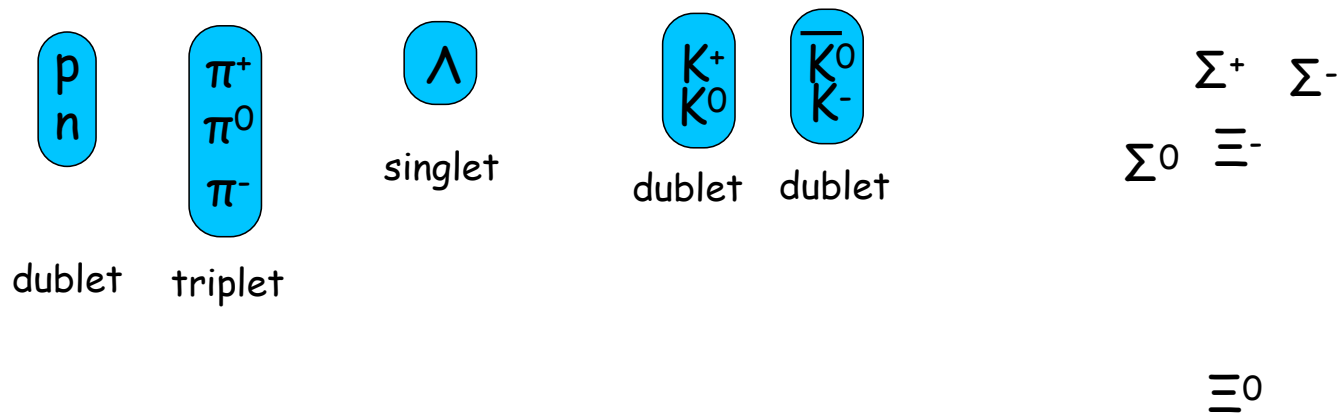
nukleón - častica s izospinom $1/2$ a priemetmi na os z $+1/2$ a $-1/2$



Upratovanie: izospin

W. Heisenberg: protón a neutrón sú veľmi podobné
⇒ sú to dva stavy rovnakej častice

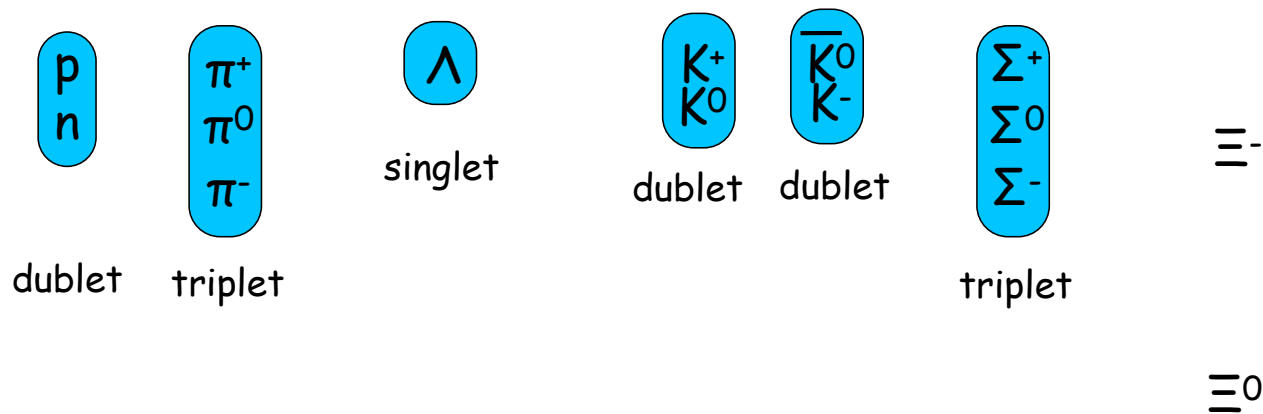
nukleón - častica s izospinom $1/2$ a priemetmi na os z $+1/2$ a $-1/2$



Upratovanie: izospin

W. Heisenberg: protón a neutrón sú veľmi podobné
⇒ sú to dva stavy rovnakej častice

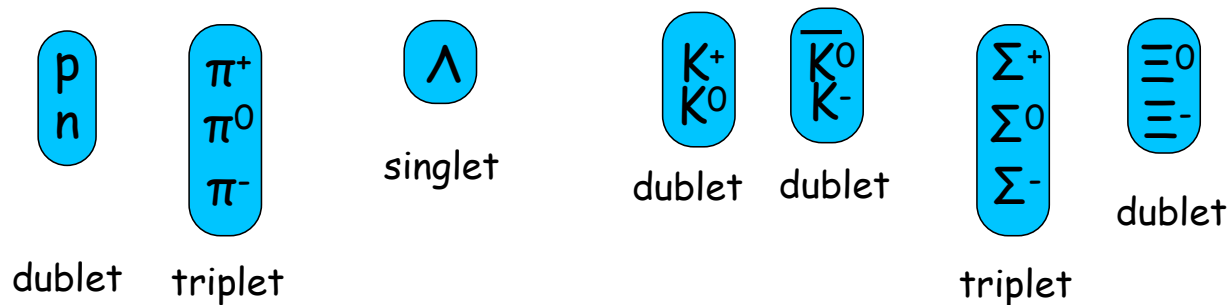
nukleón - častica s izospinom $1/2$ a priemetmi na os z $+1/2$ a $-1/2$



Upratovanie: izospin

W. Heisenberg: protón a neutrón sú veľmi podobné
⇒ sú to dva stavy rovnakej častice

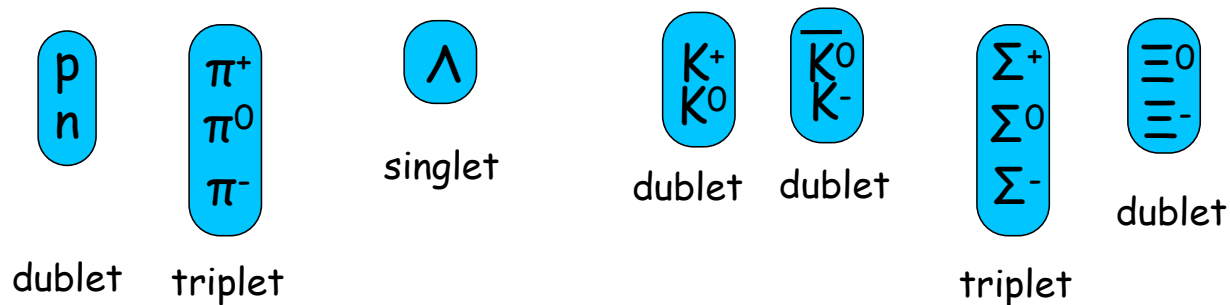
nukleón - častica s izospinom $1/2$ a priemetmi na os z $+1/2$ a $-1/2$



Upratovanie: izospin

W. Heisenberg: protón a neutrón sú veľmi podobné
⇒ sú to dva stavy rovnakej častice

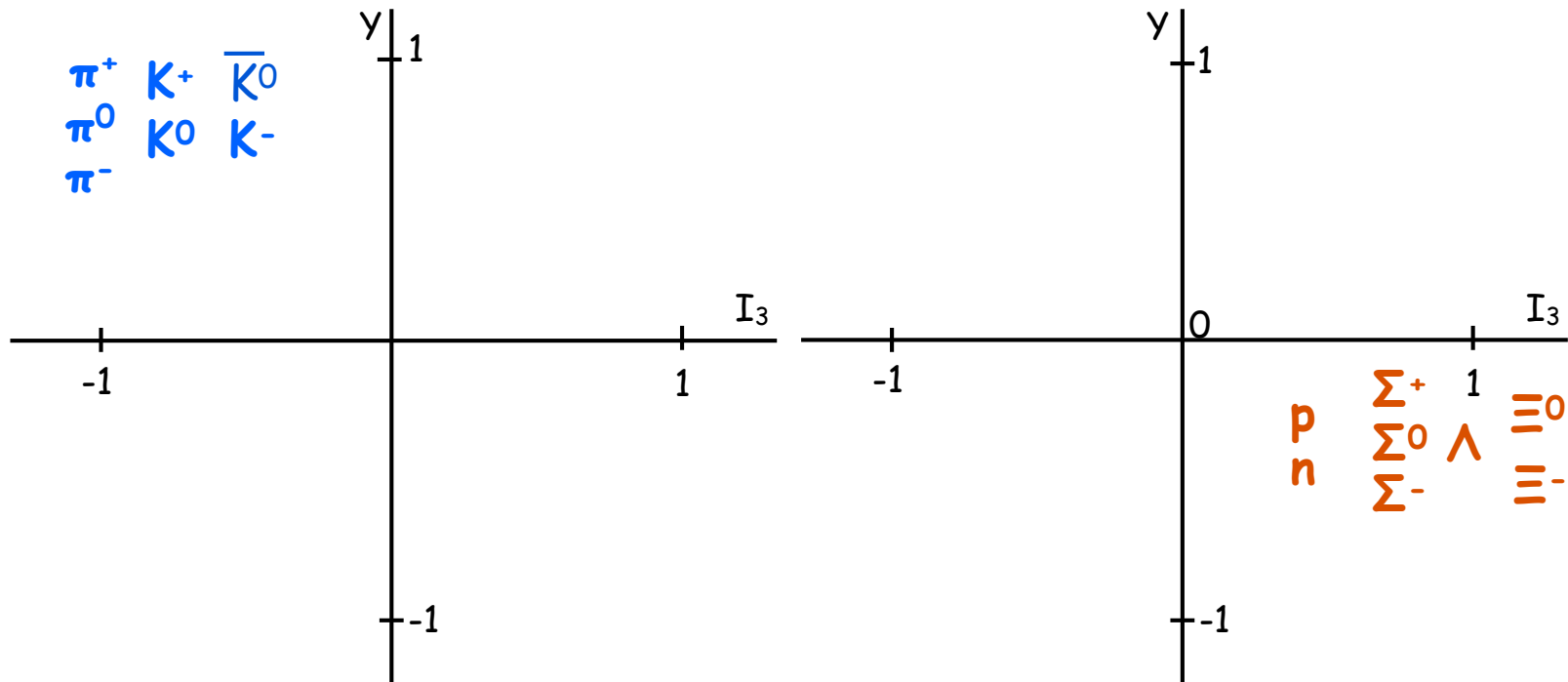
nukleón - častica s izospinom $1/2$ a priemetmi na os z $+1/2$ a $-1/2$



symetria: silné interakcie nepoznajú rozdiel medzi jednotlivými časticami v multipletoch

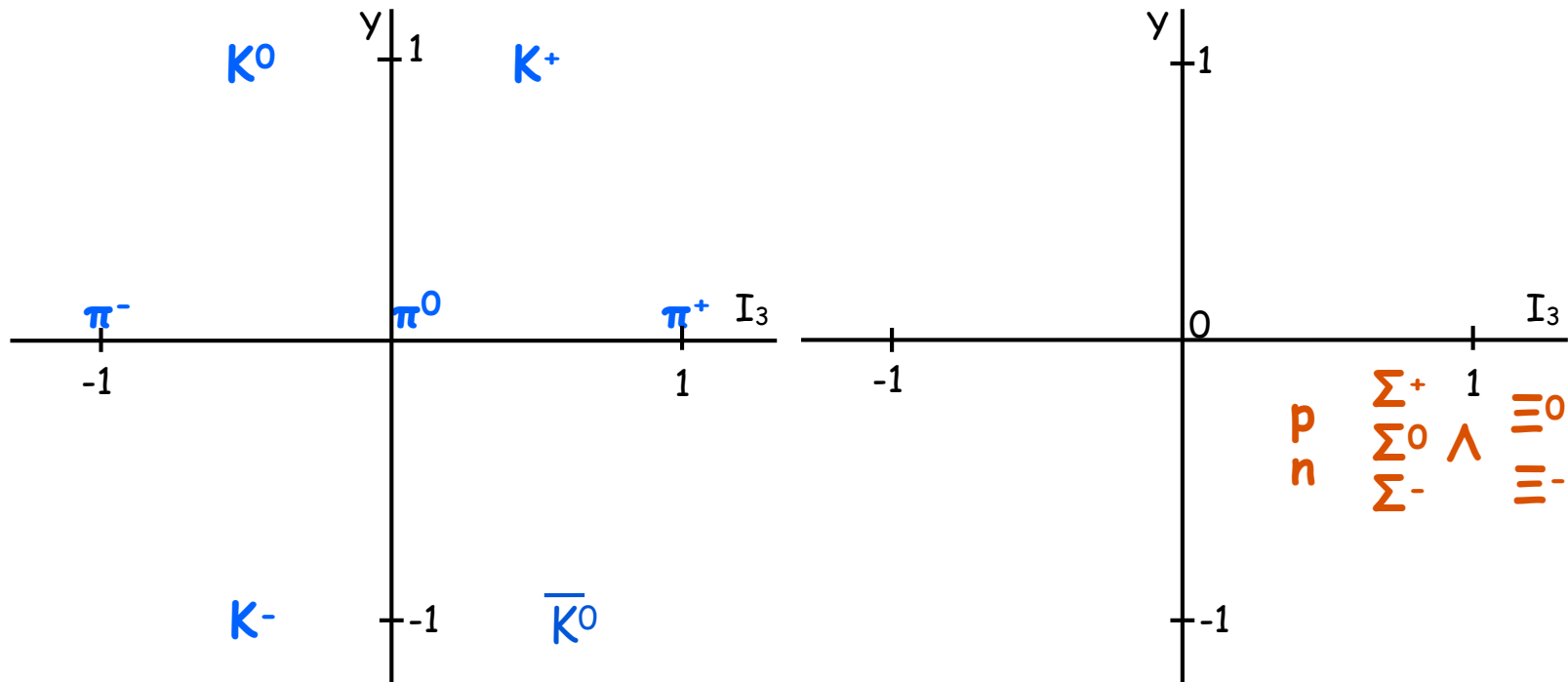
Upratovanie 2: izospin a hypernáboj

Hypernáboj $Y = B + S$



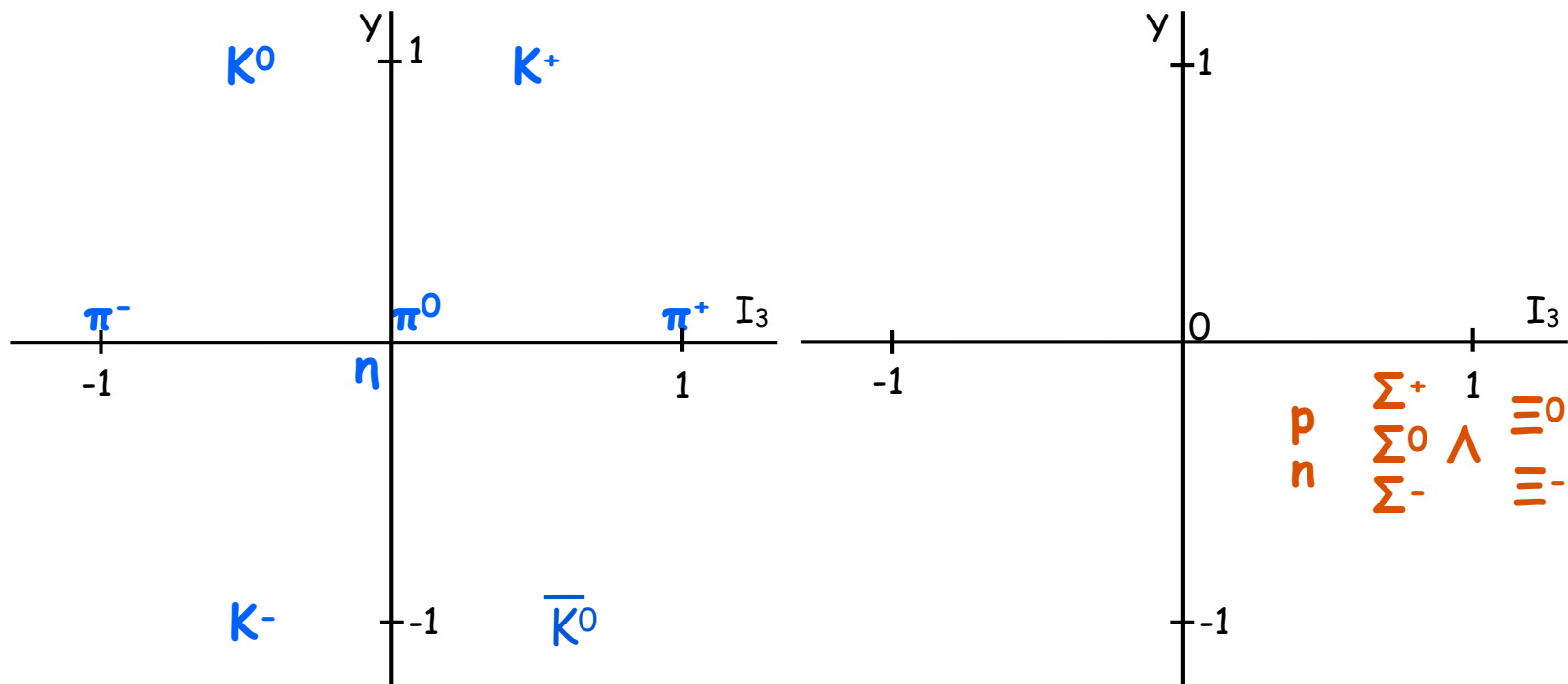
Upratovanie 2: izospin a hypernáboj

Hypernáboj $Y = B + S$



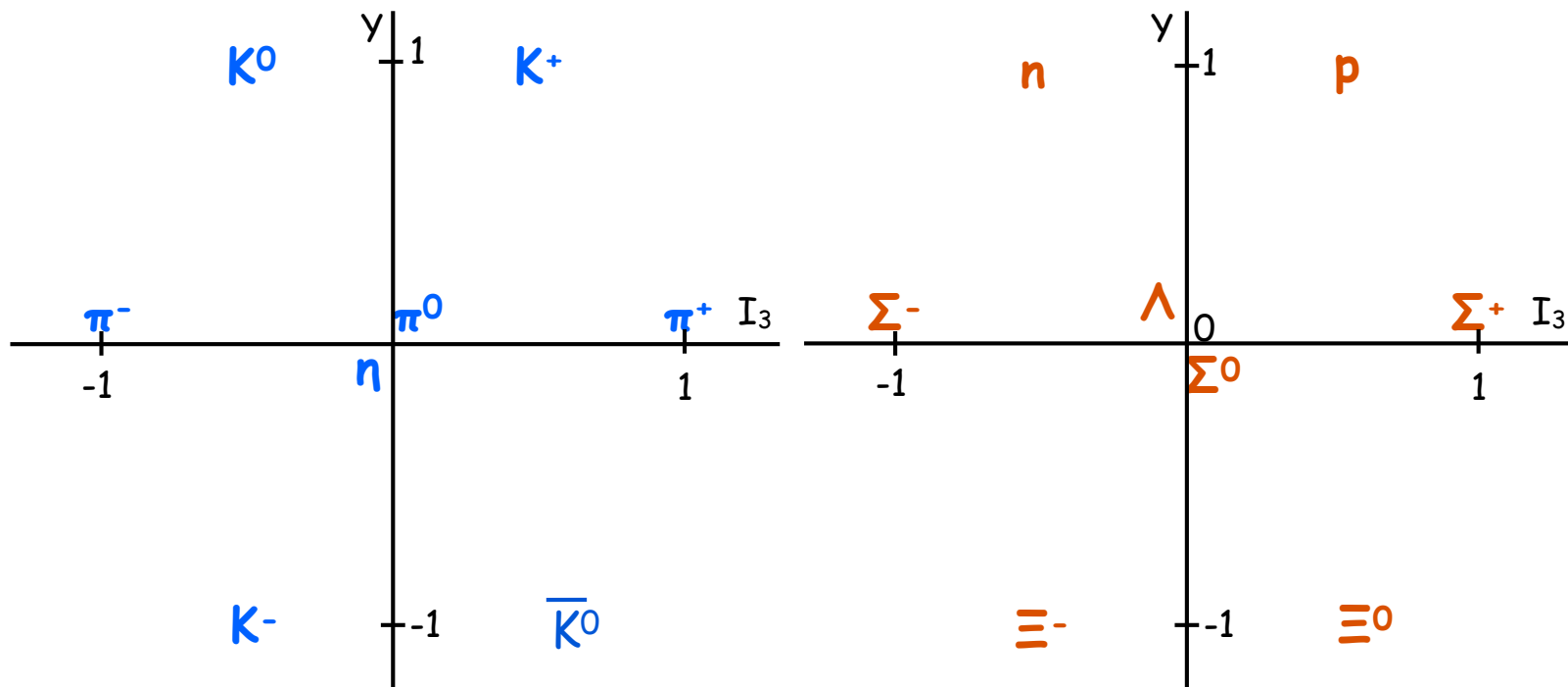
Upratovanie 2: izospin a hypernáboj

Hypernáboj $Y = B + S$

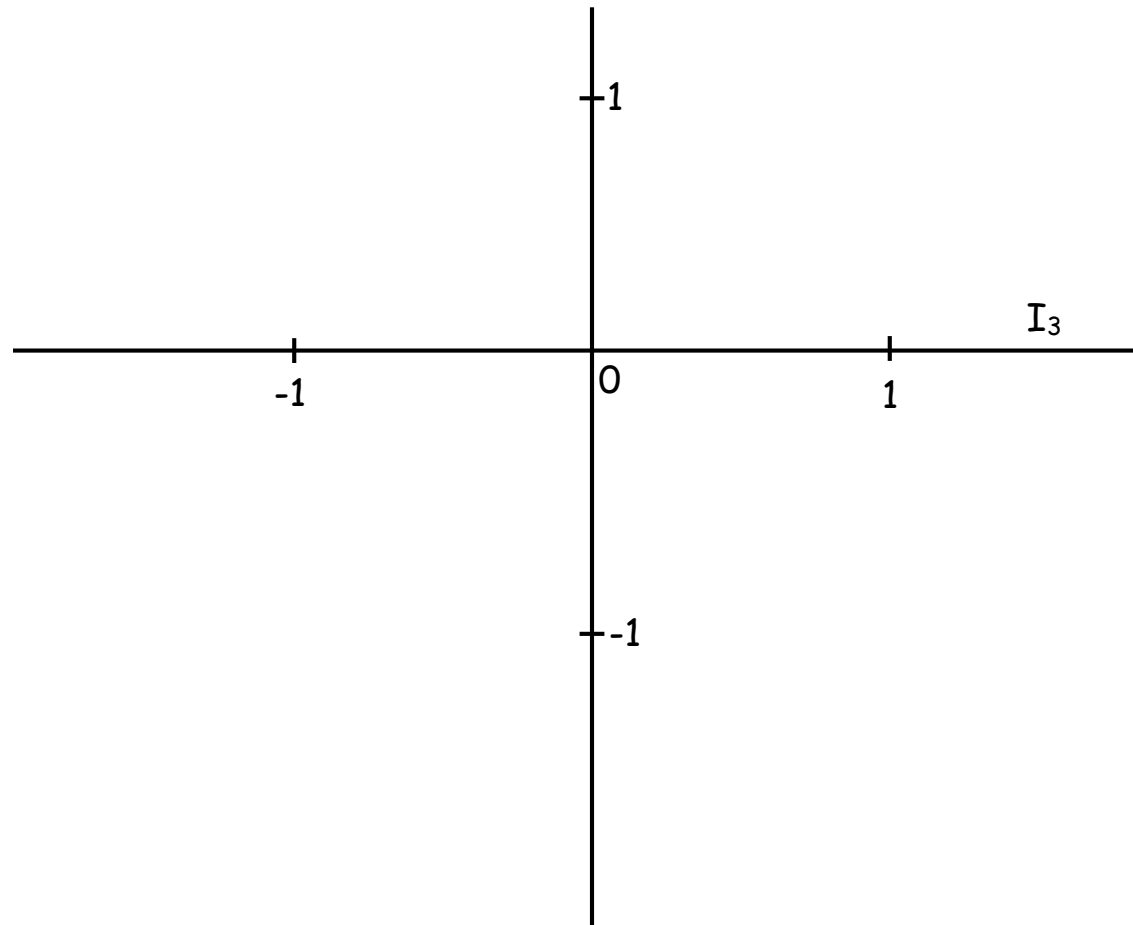


Upratovanie 2: izospin a hypernáboj

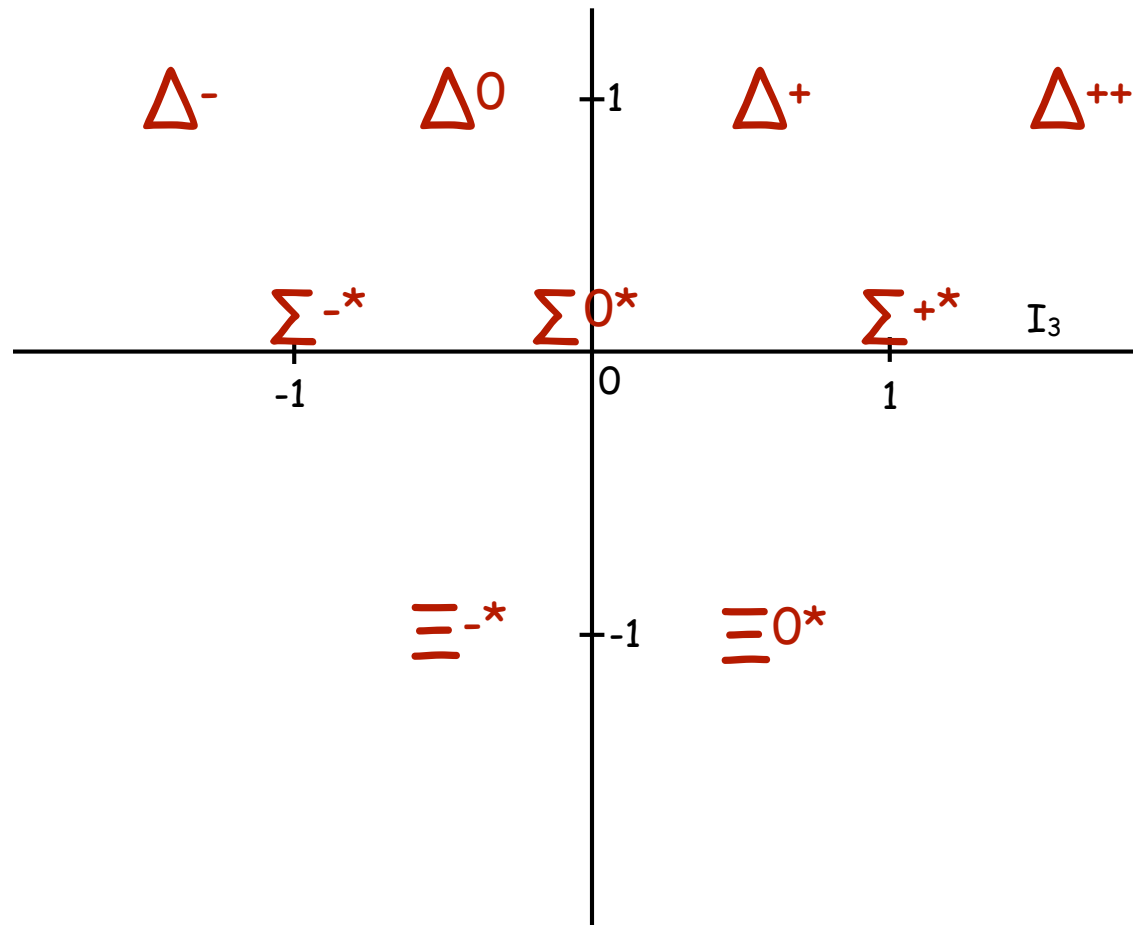
Hypernáboj $Y = B + S$



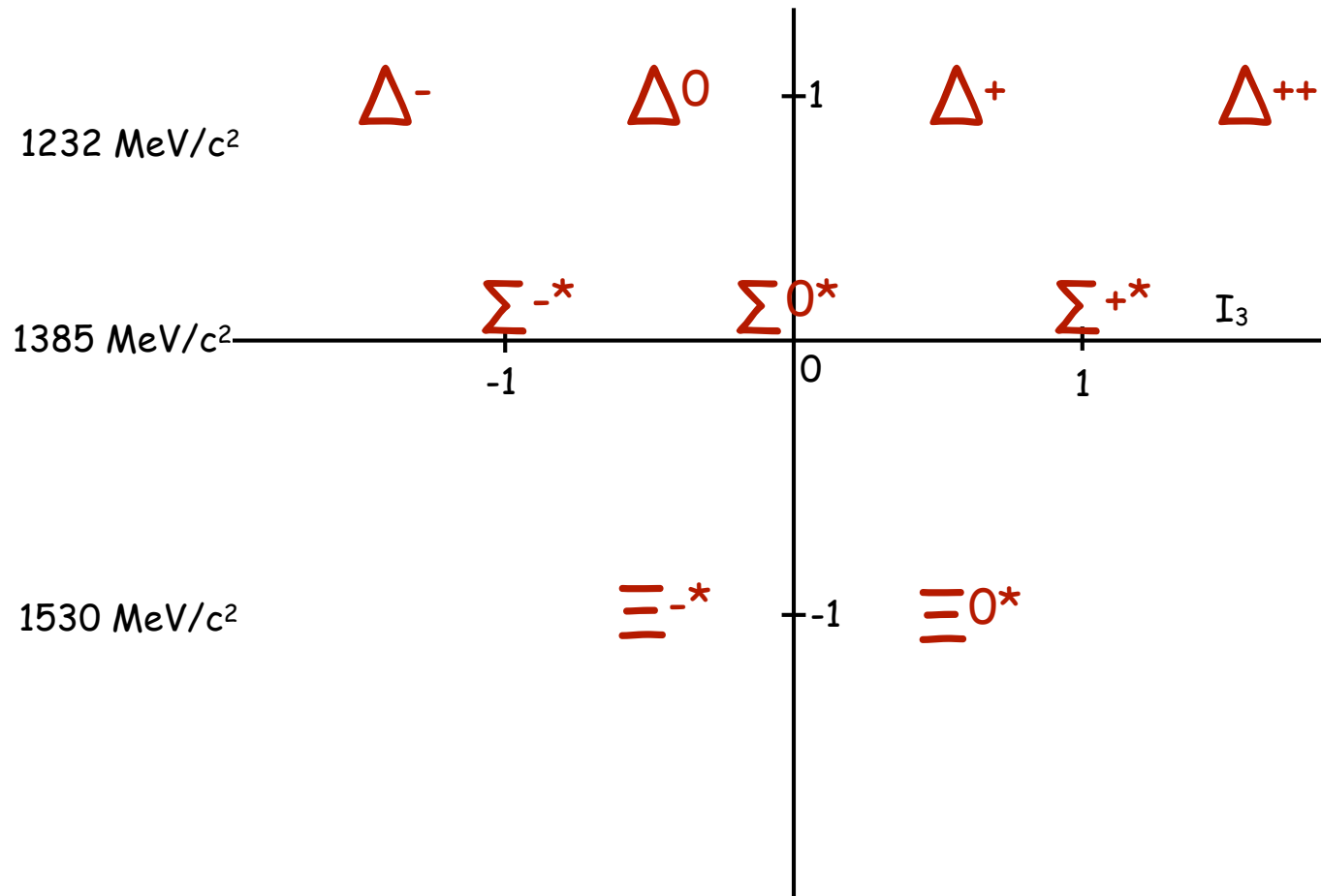
Upratovanie 3: baryóny $J = 3/2$



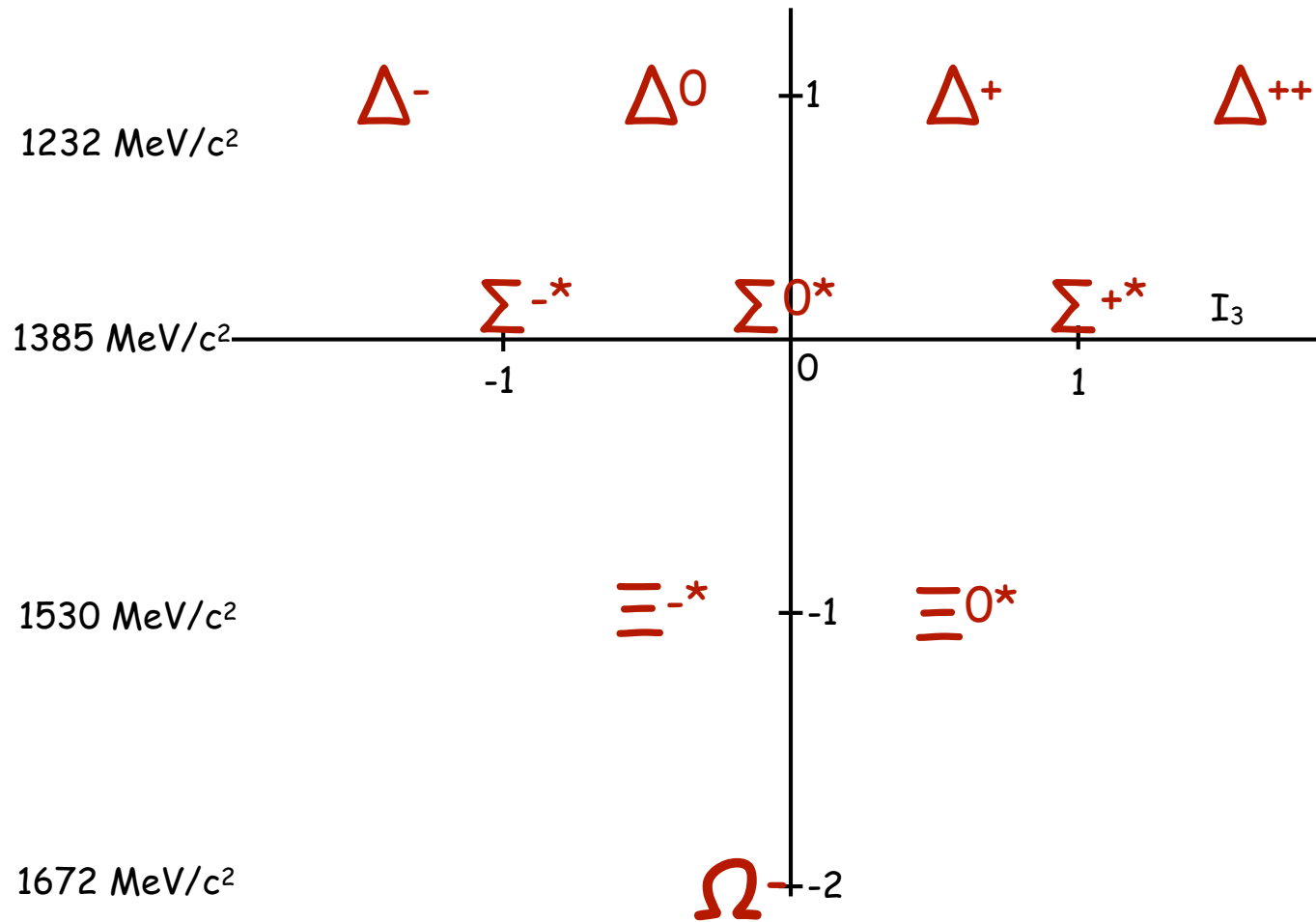
Upratovanie 3: baryóny J = 3/2



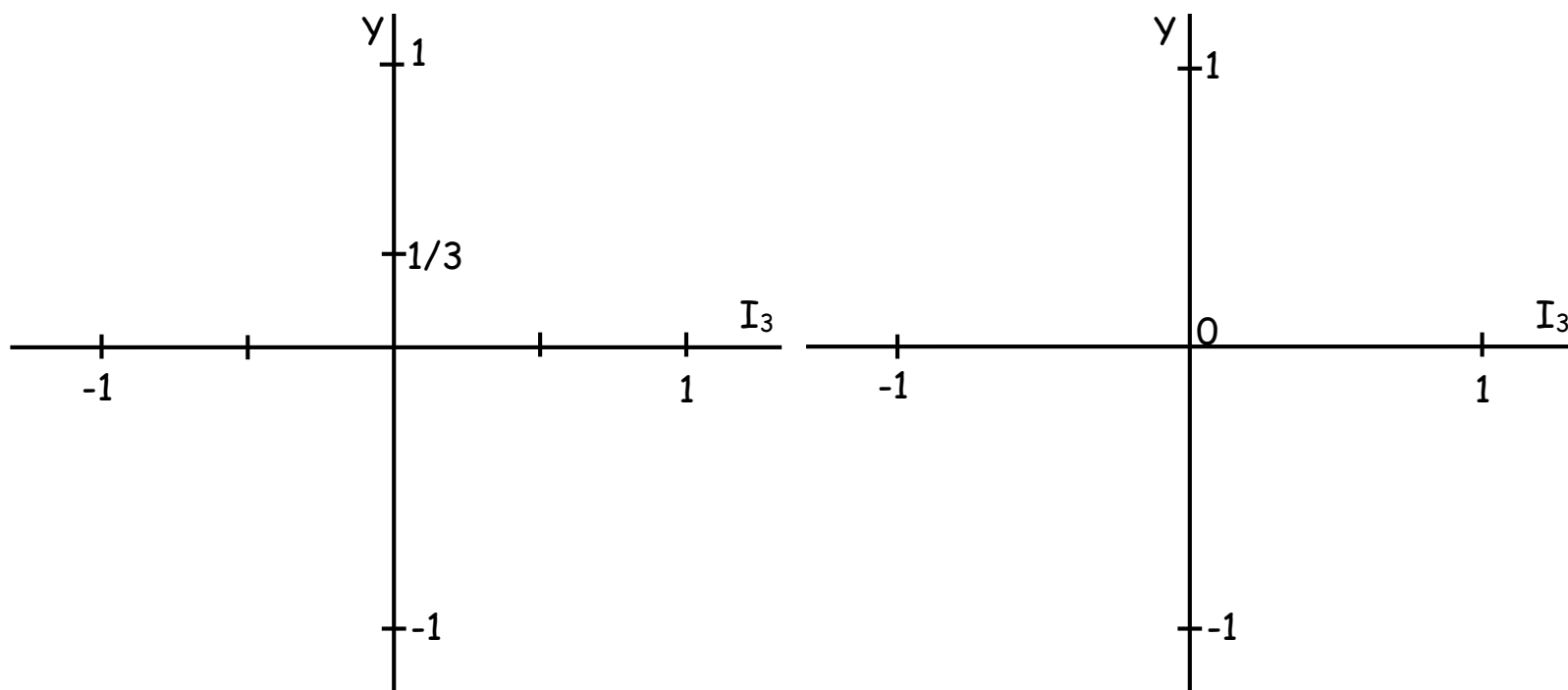
Upratovanie 3: baryóny J = 3/2



Upratovanie 3: baryóny J = 3/2

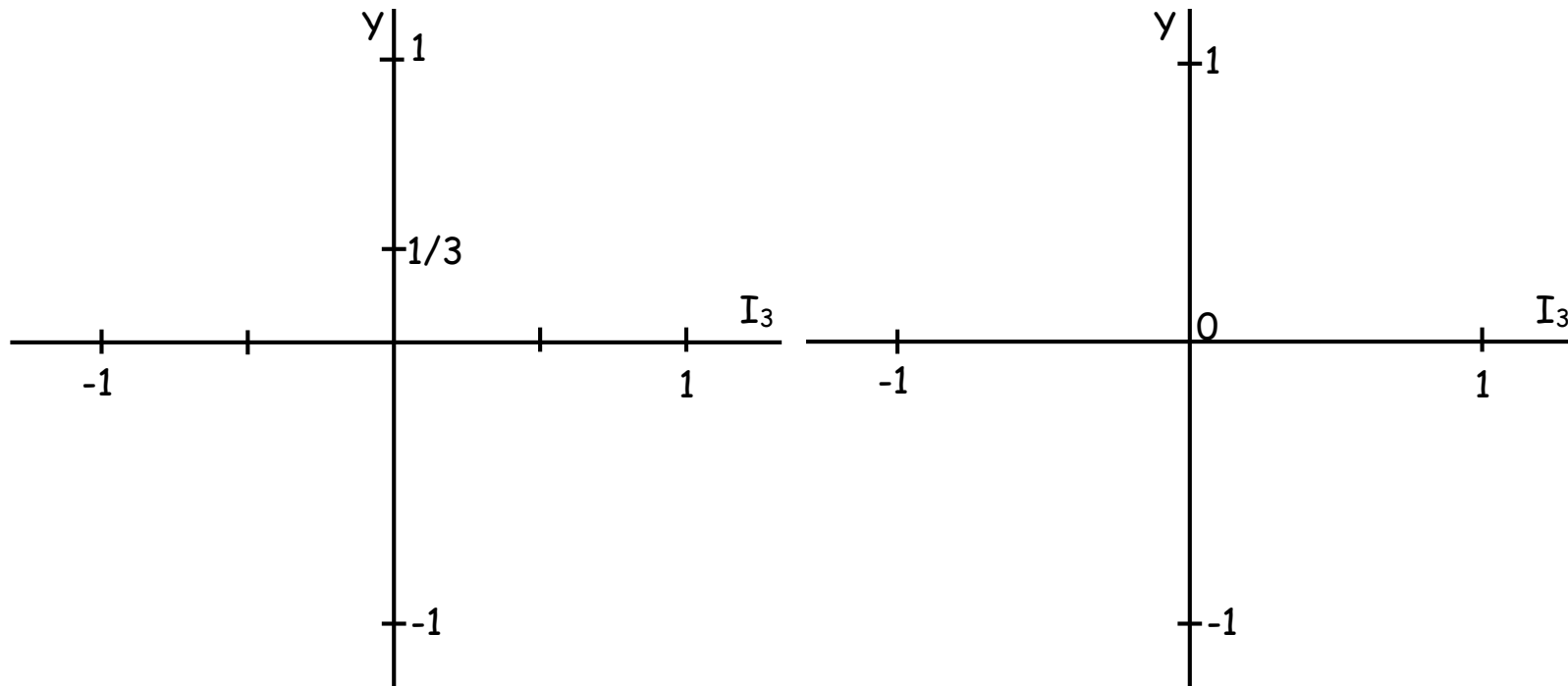


Kvarky



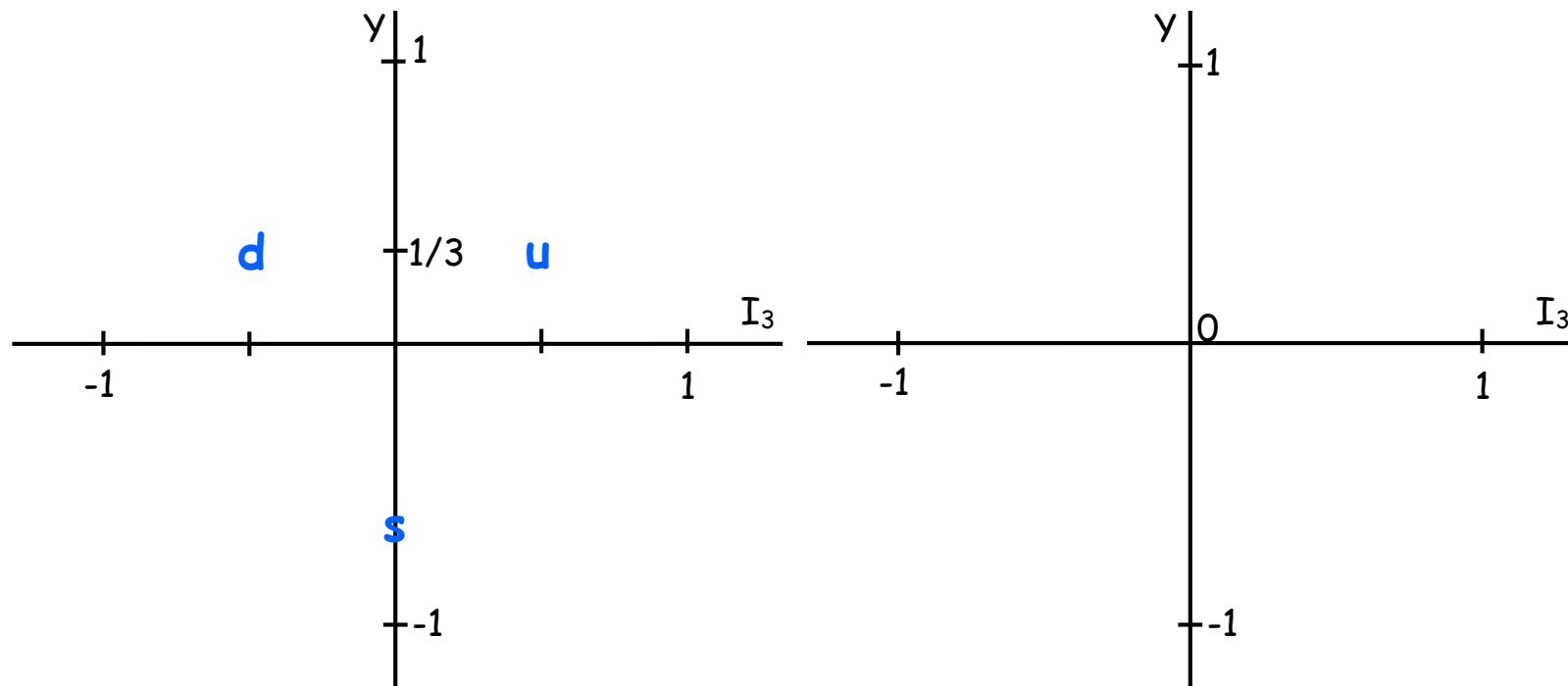
Kvarky

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



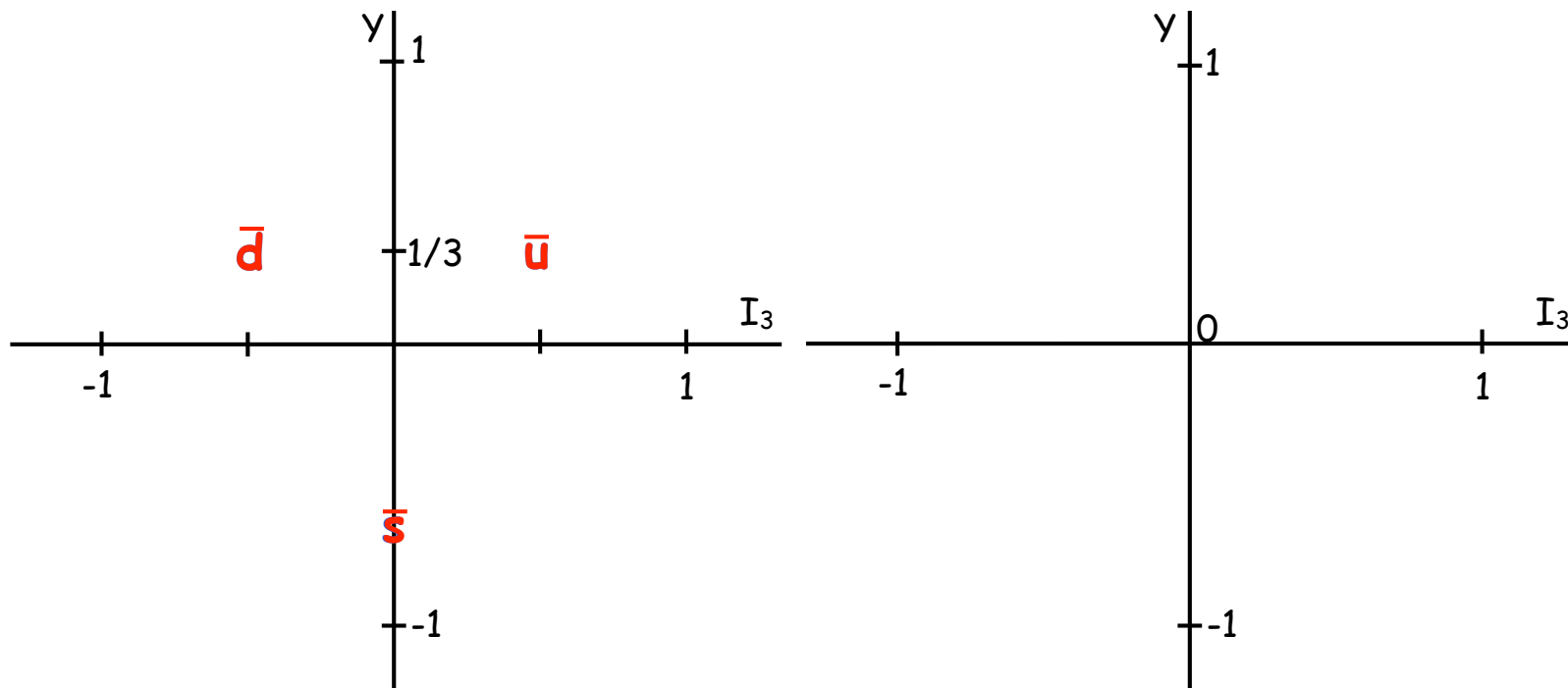
Kvarky

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



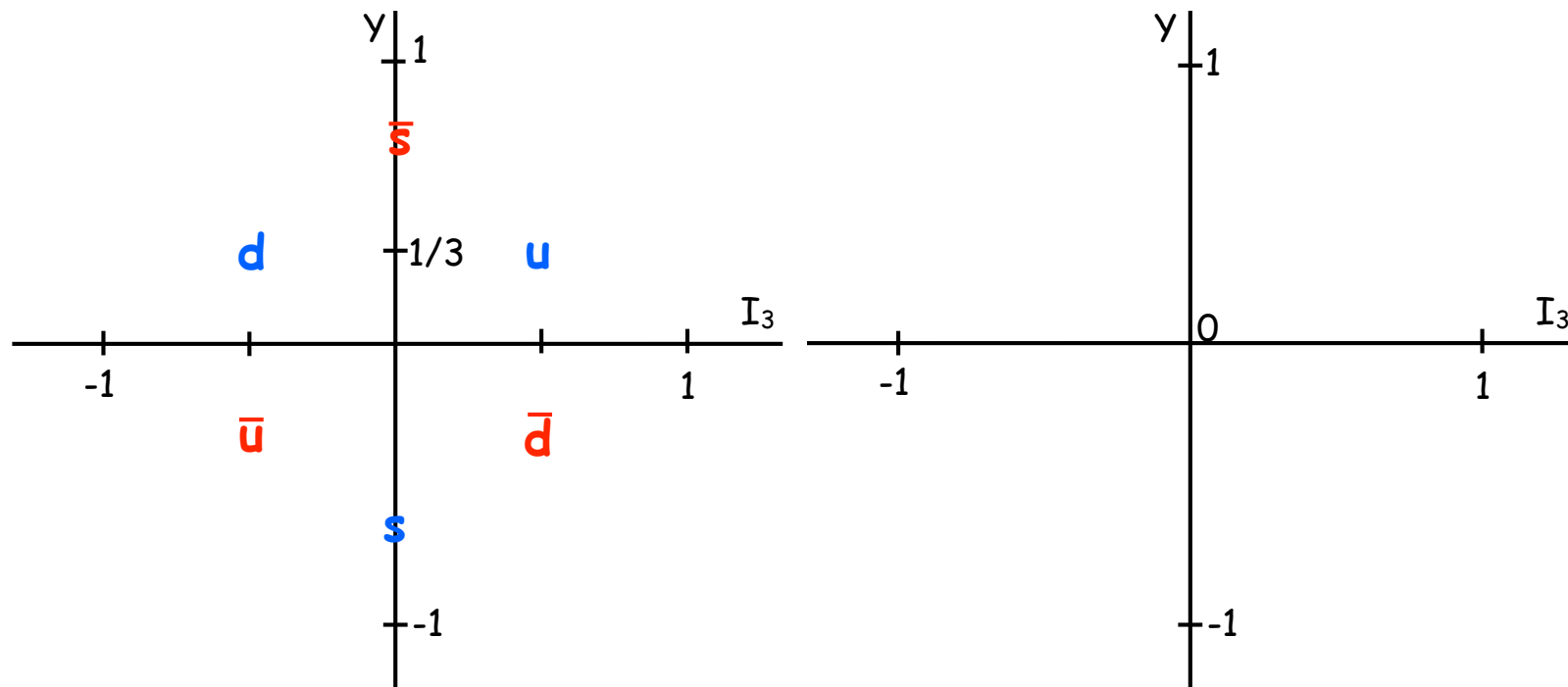
Kvarky

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



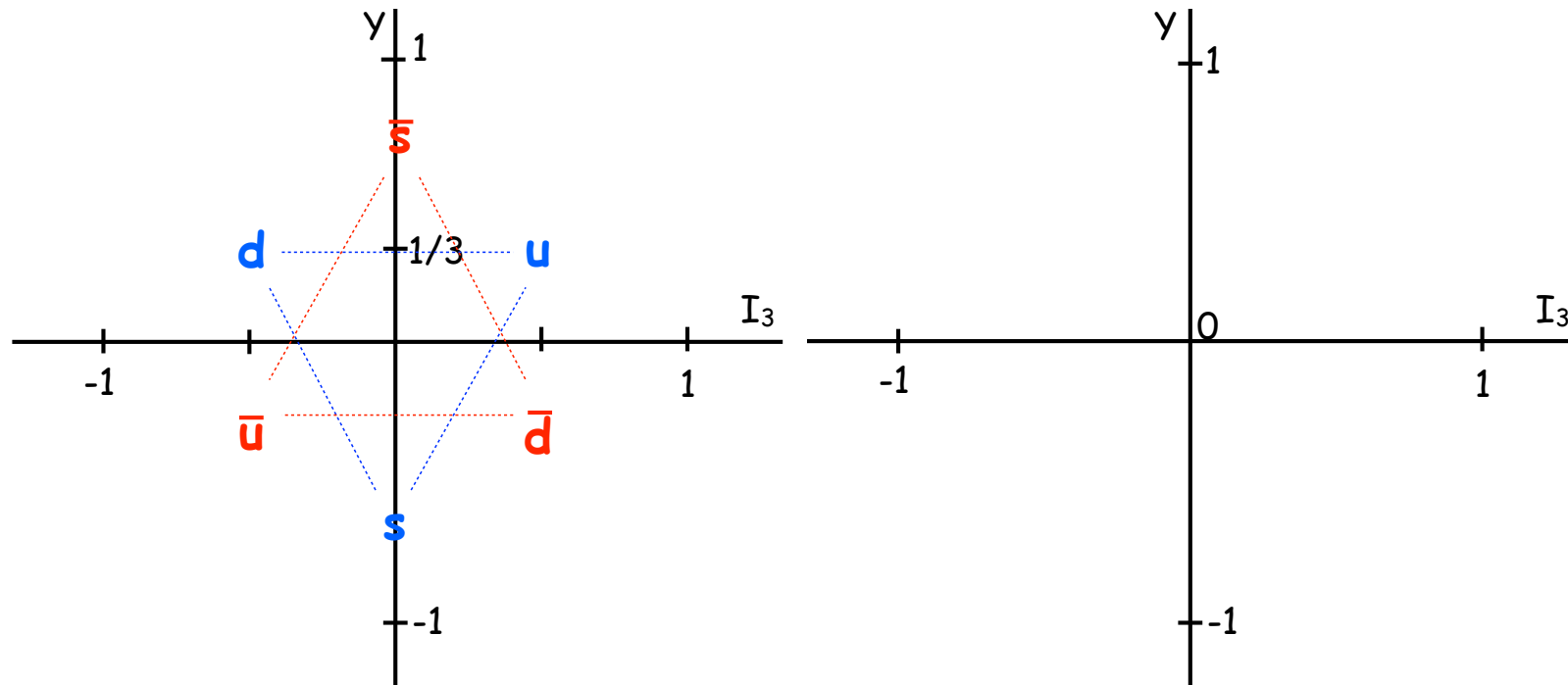
Kvarky

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



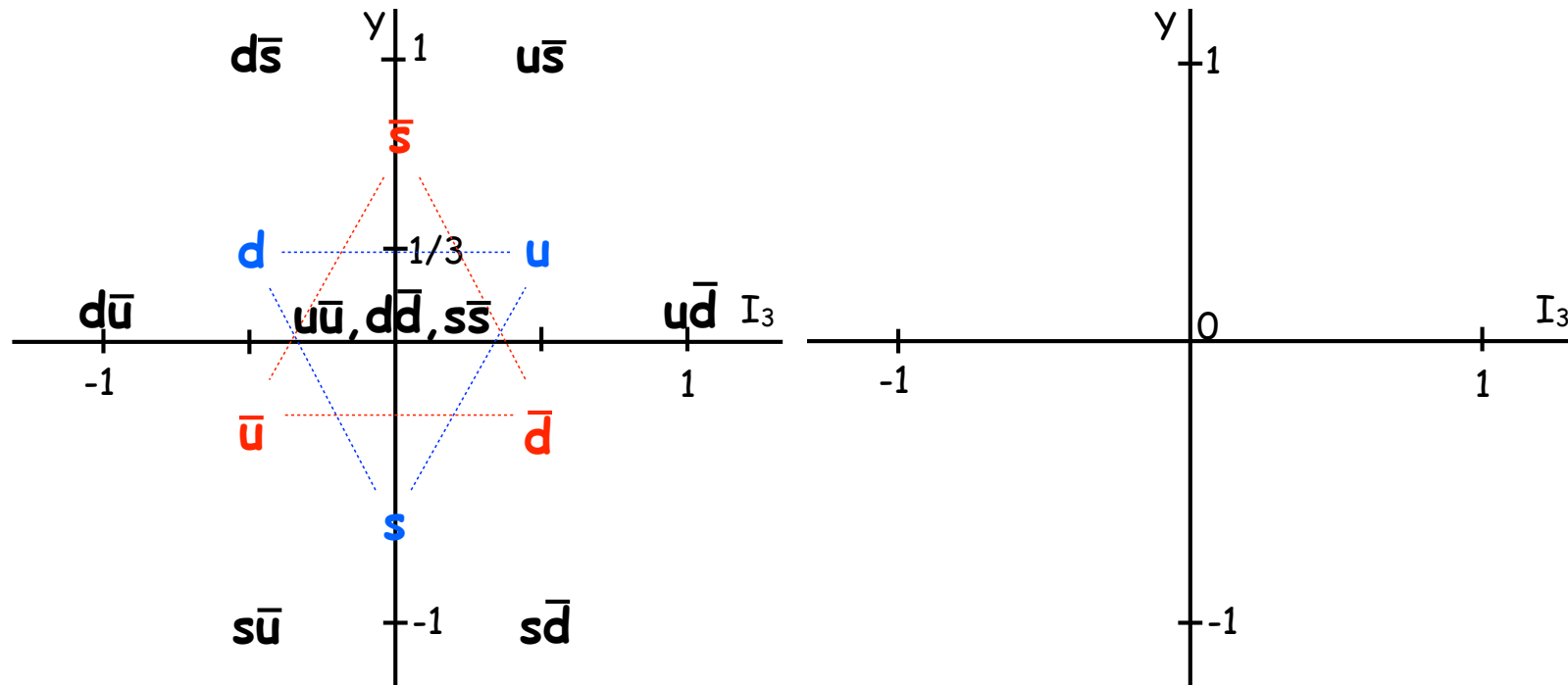
Kvarky

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



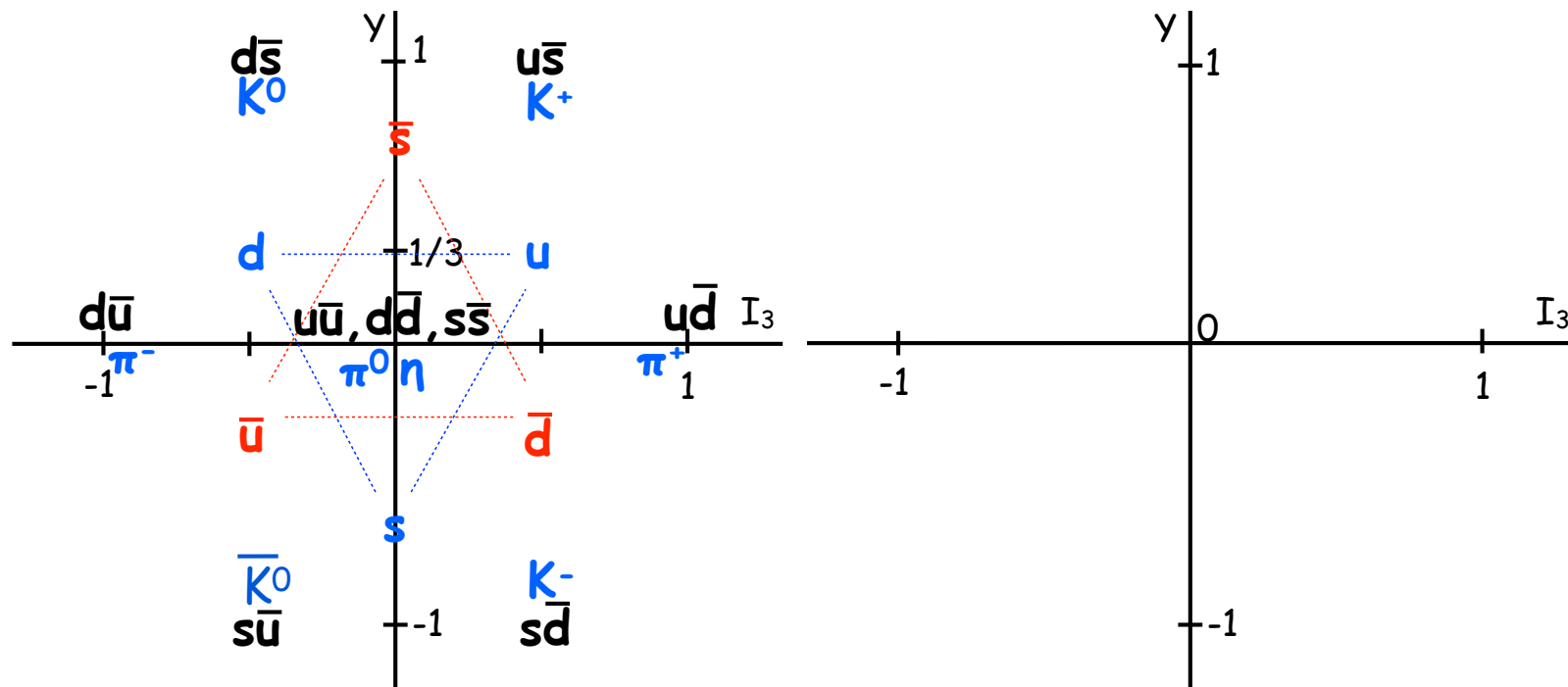
Kvarky

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



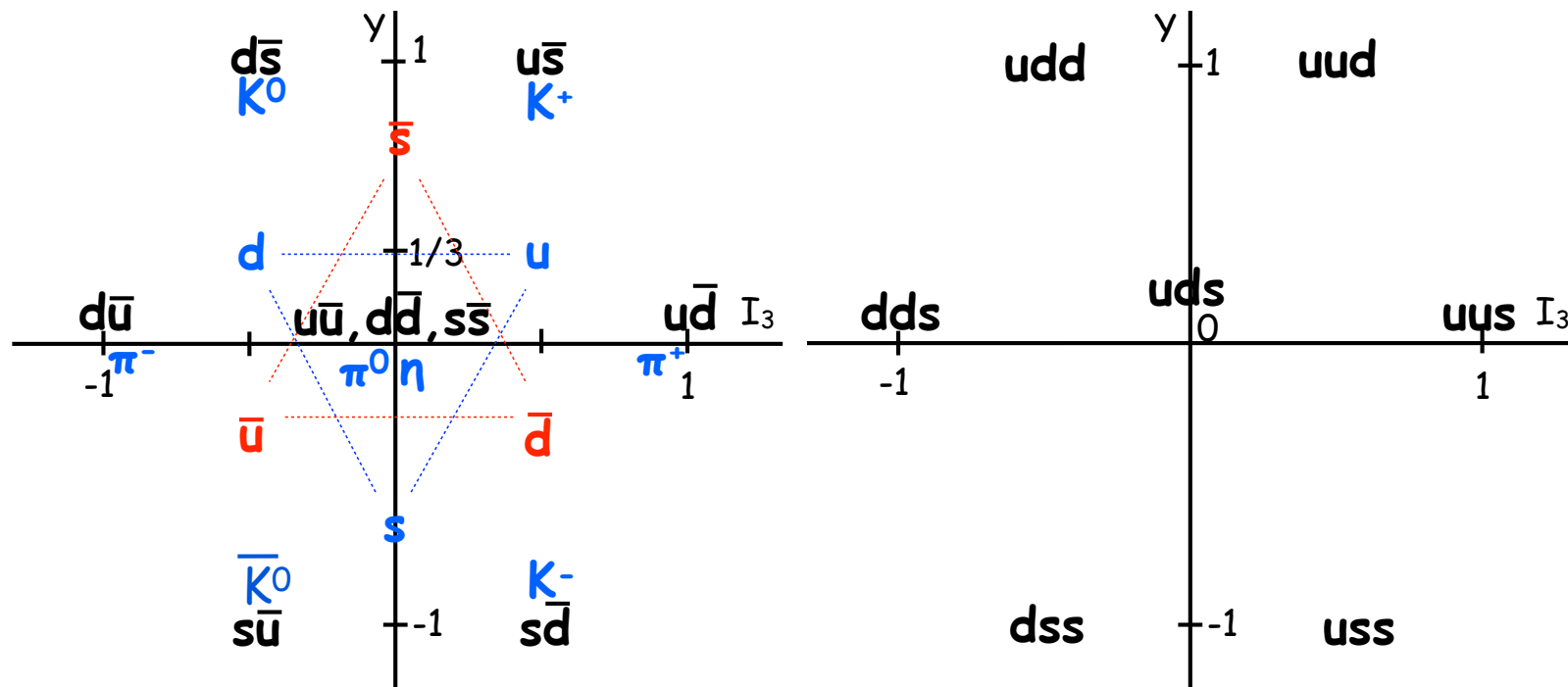
Kvarky

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



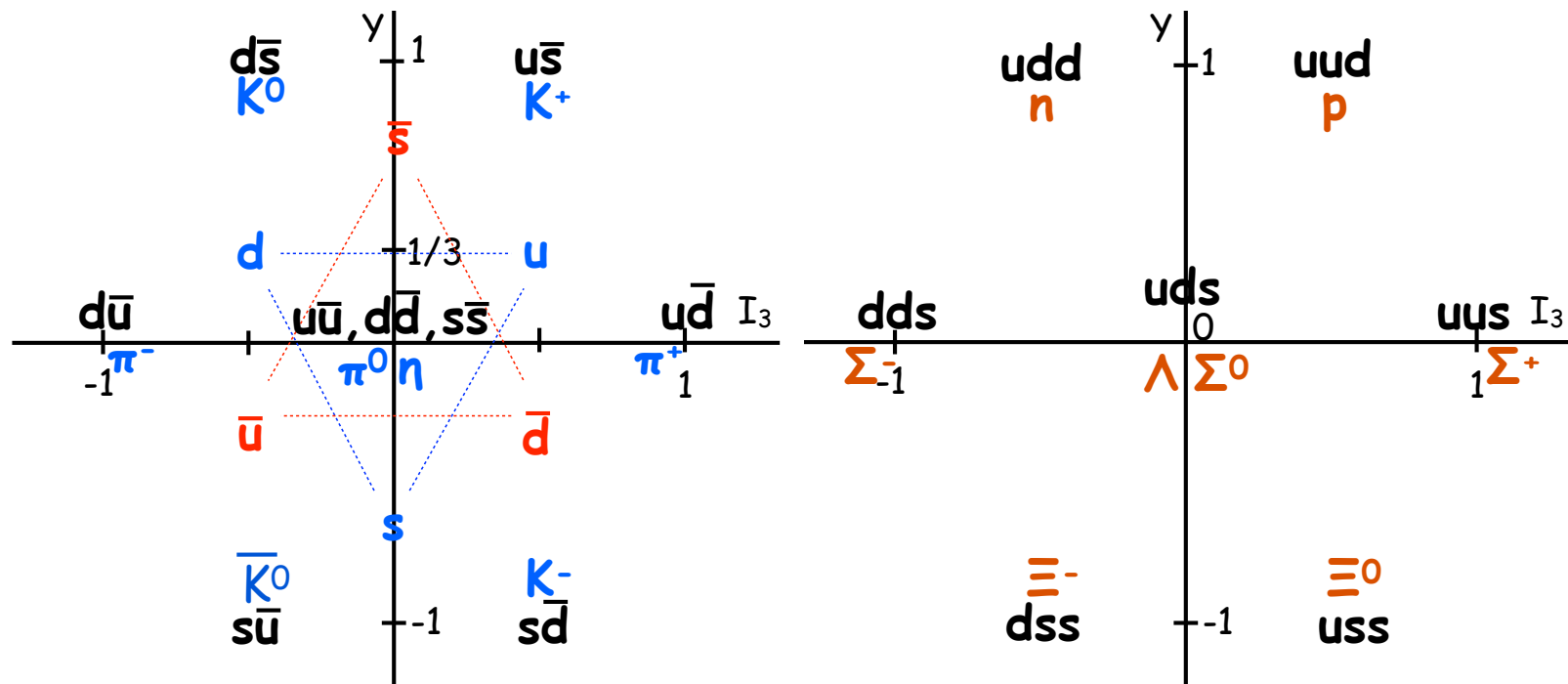
Kvarky

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



Kvarky

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

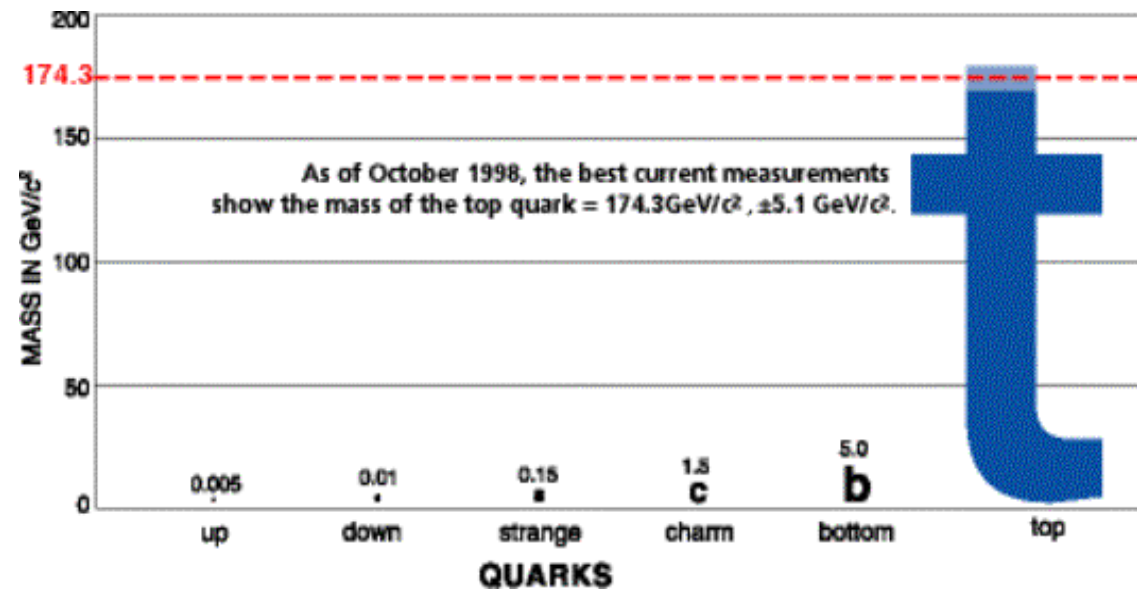


Ťažšie hadróny, ťažšie kvarky

Tri kvarkové rodiny:

up charm top
down strange bottom

ku každému je aj antikvark



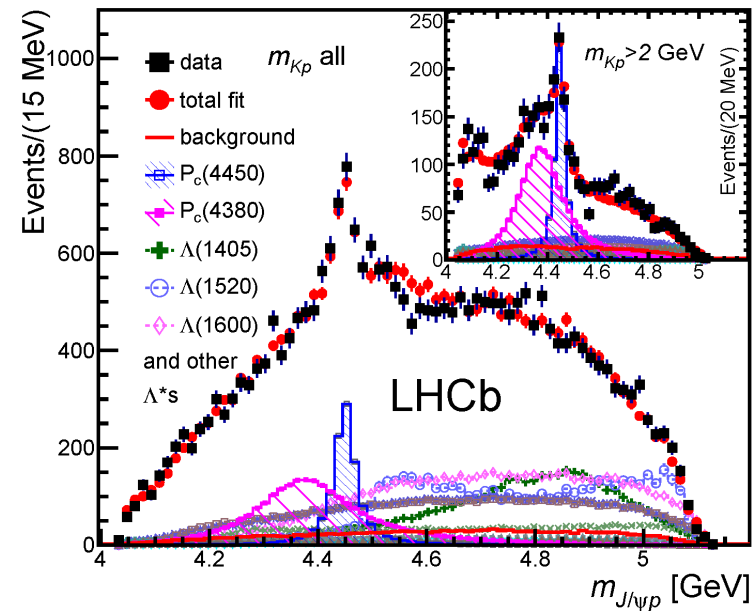
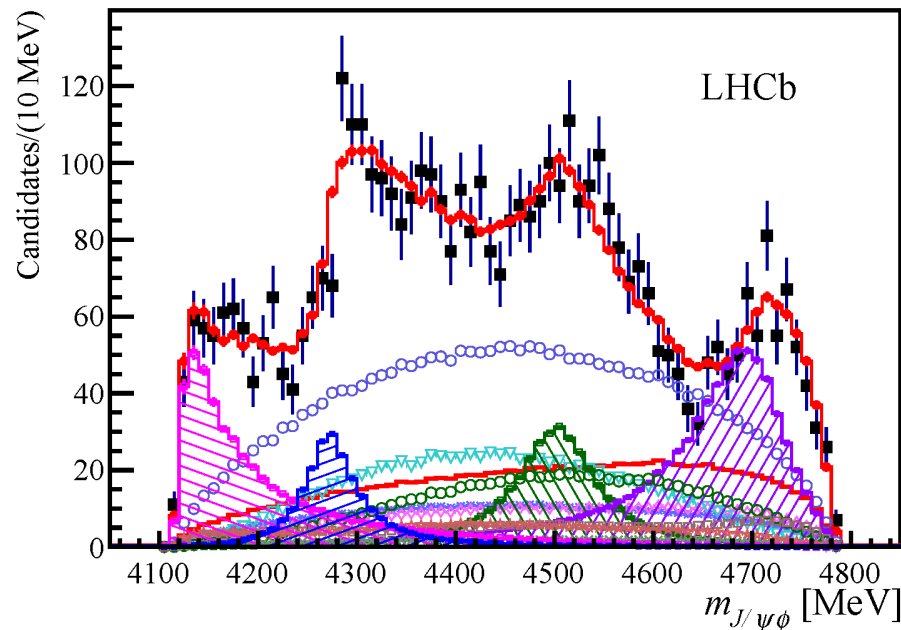
Tetrakvarky, pentakvarky

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

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

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

Pentakvarky napríklad: $P_c^+(4380)$, $P_c^+(4450)$
(rozpadajú sa na $J/\psi + p$, kvarky $ducc\bar{u}$)

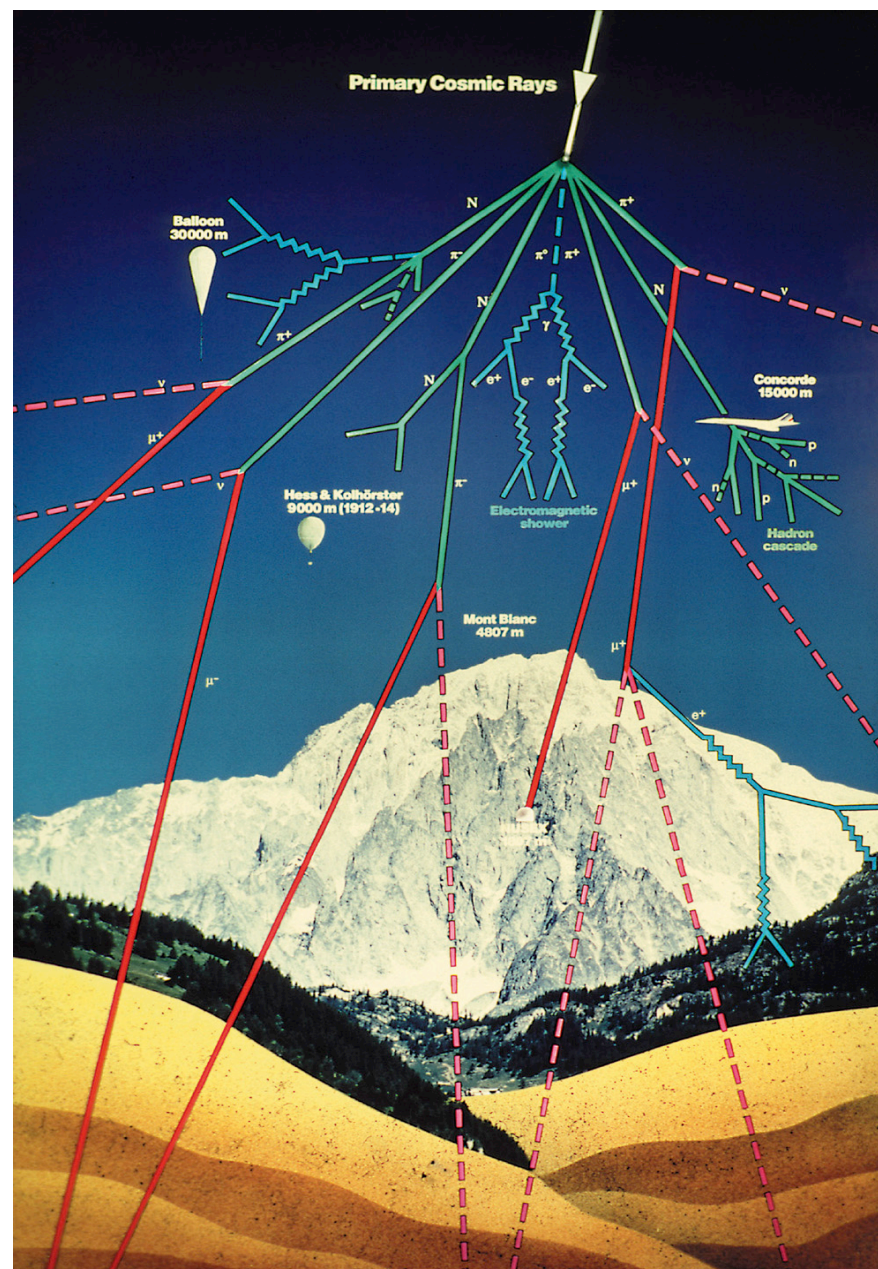


Leptóny (ľahké častice)

elektrón
elementárna častica
žiadna štruktúra
bodová častica

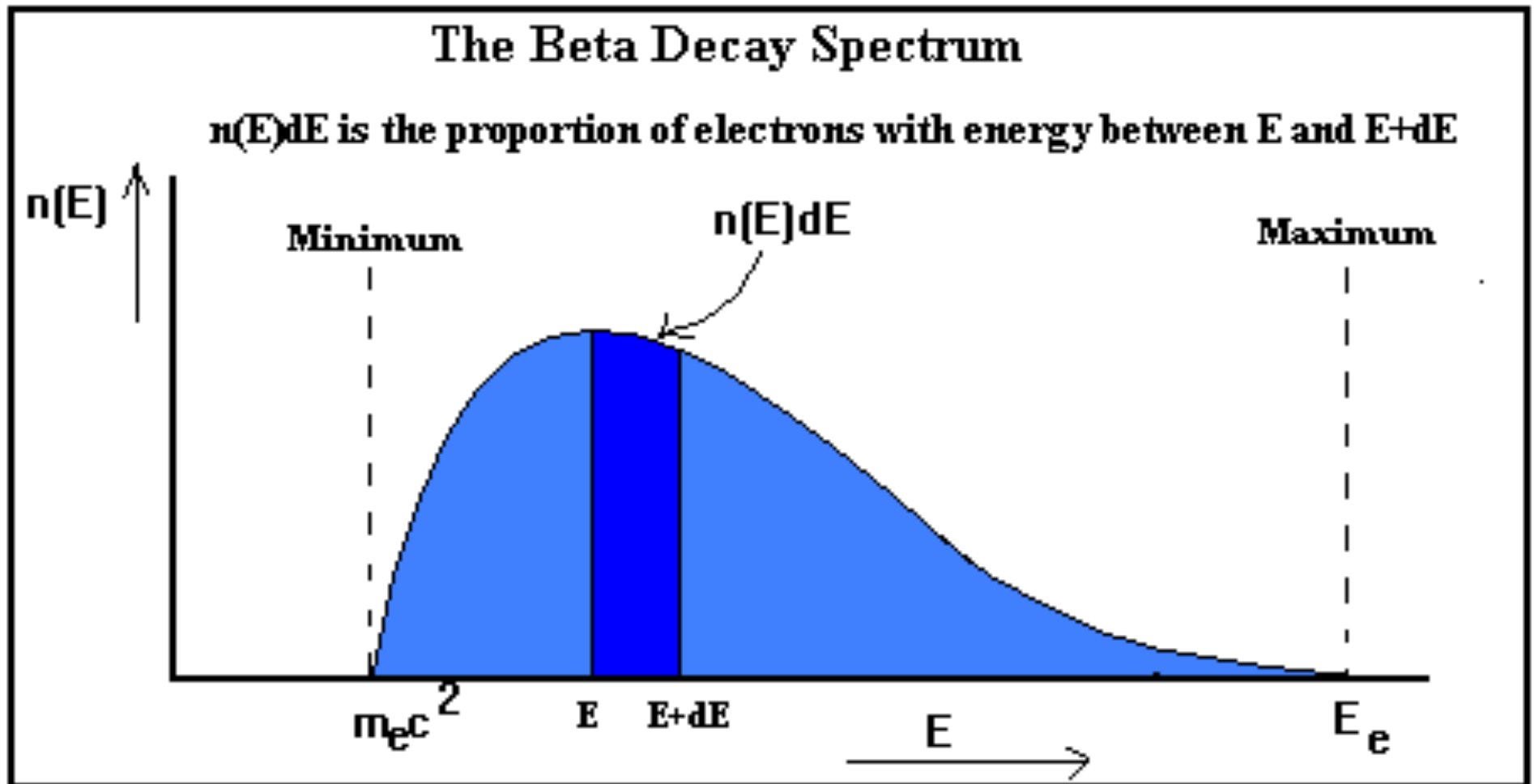
mión – kozmické žiarenie
slabo interagujúci,
na povrchu 1/cm²/min
(rozpadá sa)

tau – leptón
(rozpadá sa rýchlo)



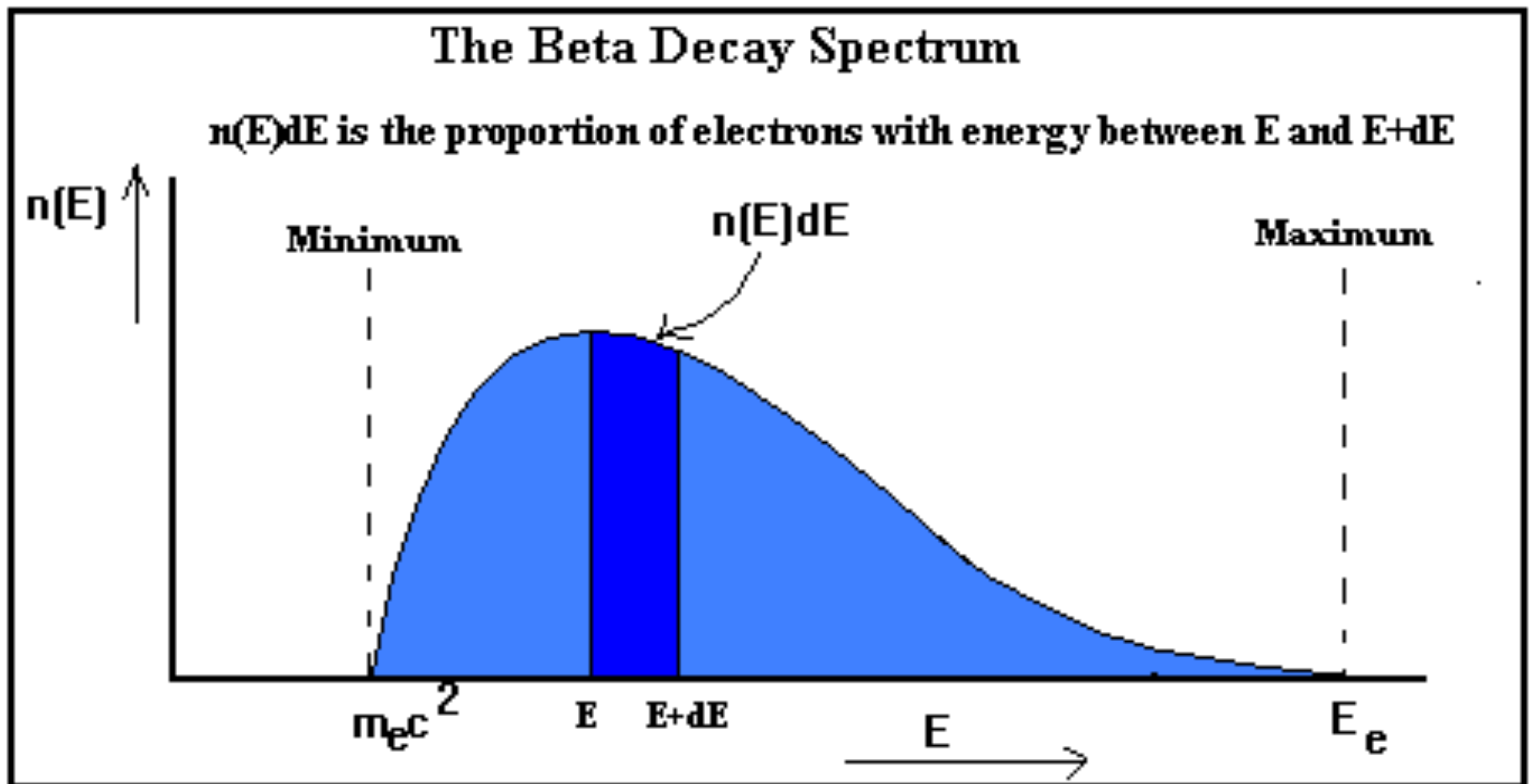
Neutrína

Chýbajúca energia v rozpade β : $n \rightarrow p + e$

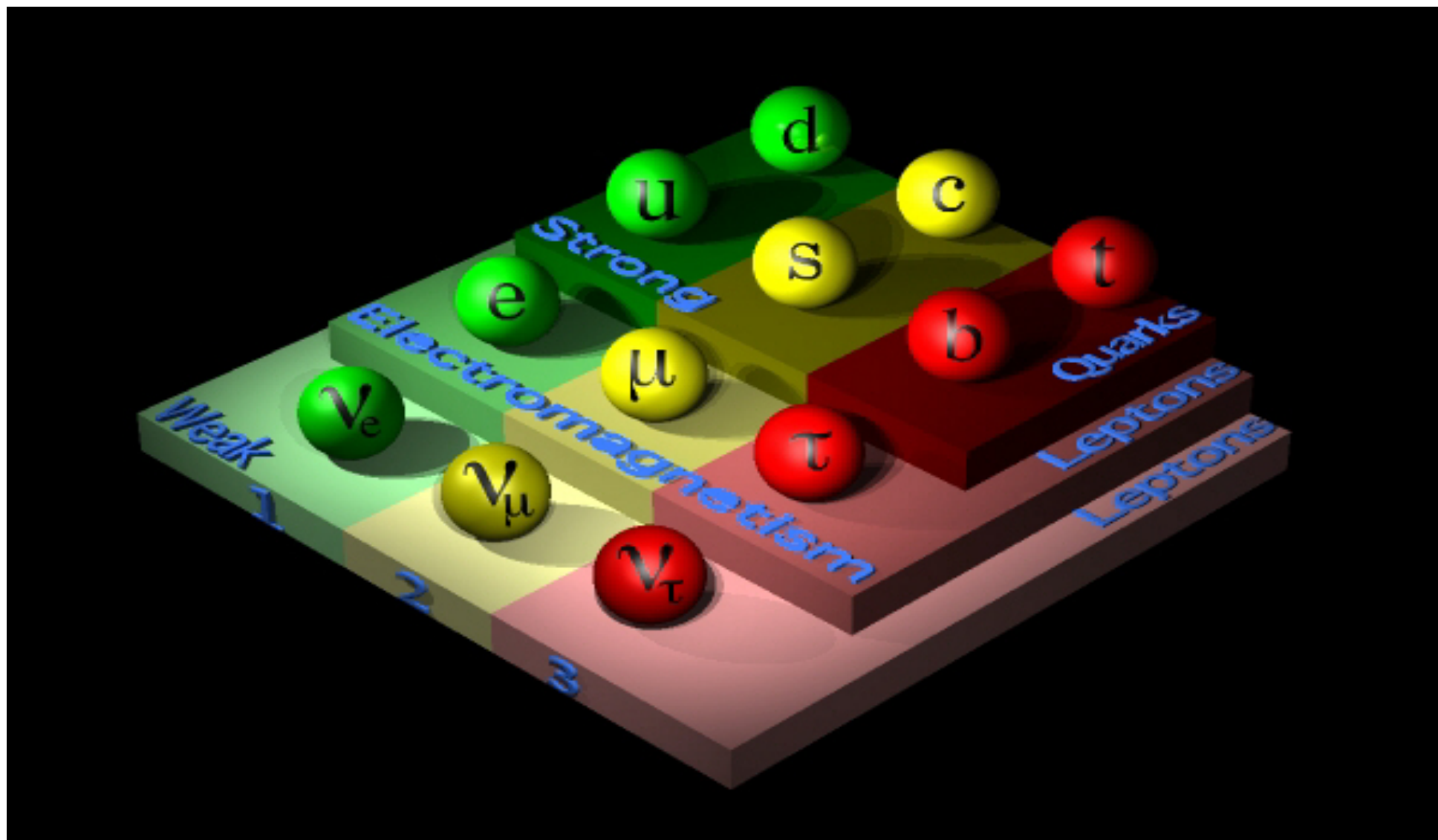


Neutrína

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



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

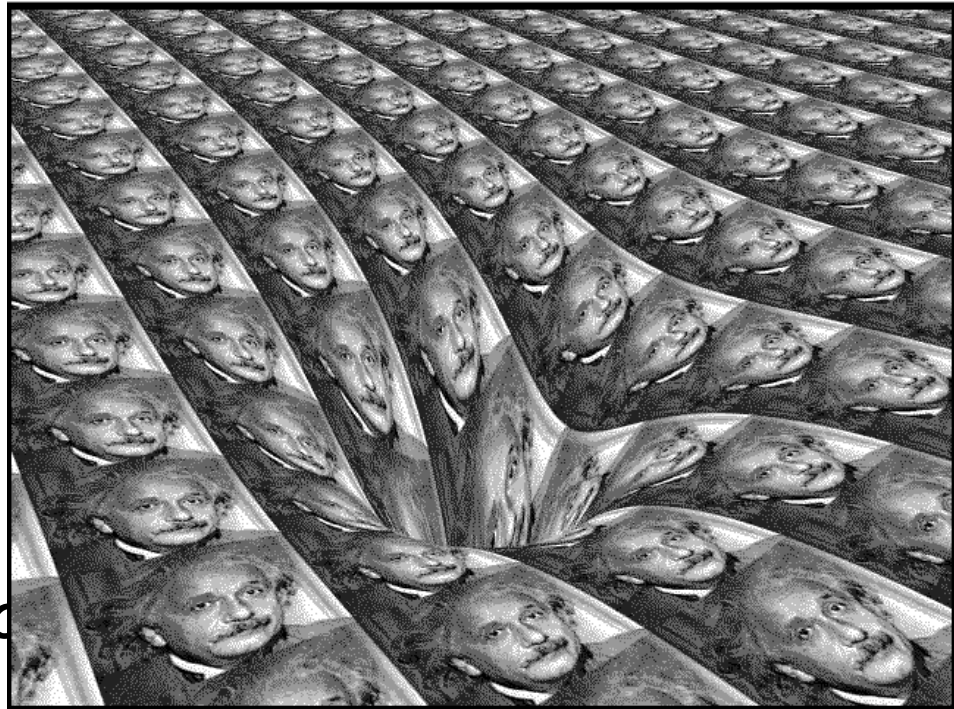


Gravitačná interakcia

Isaac Newton

Albert Einstein

Kvantová gravitácia



Gravitačná interakcia

Isaac Newton

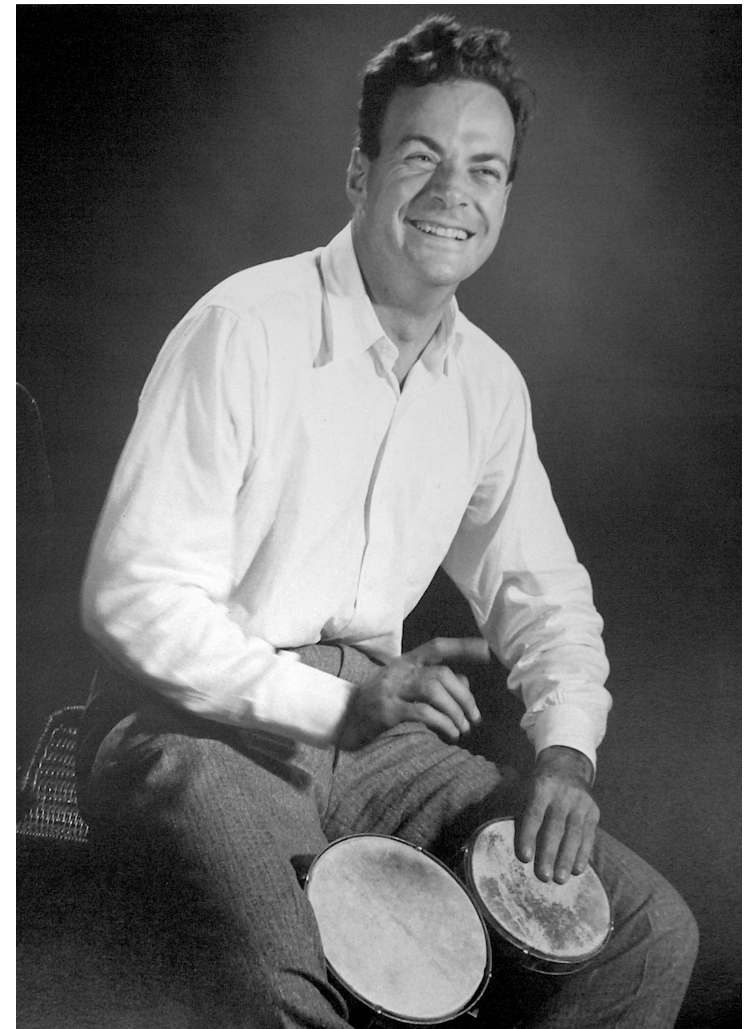
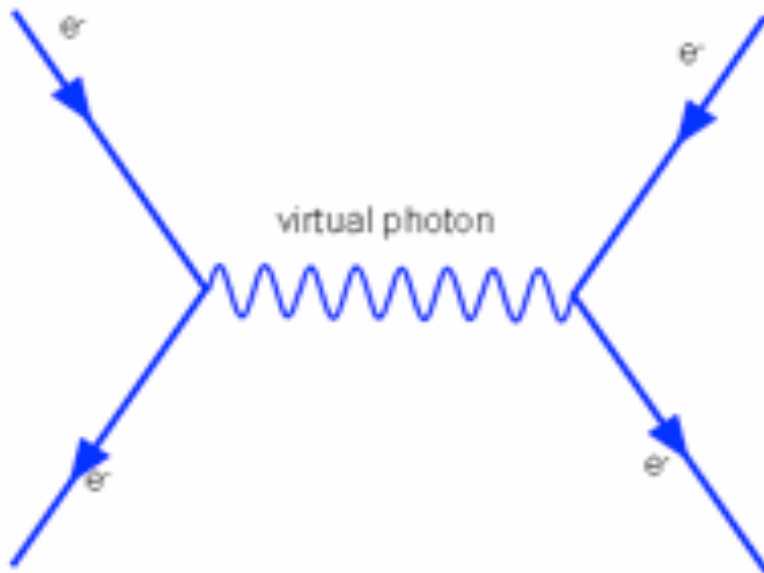
Albert Einstein



Kvantová gravitácia

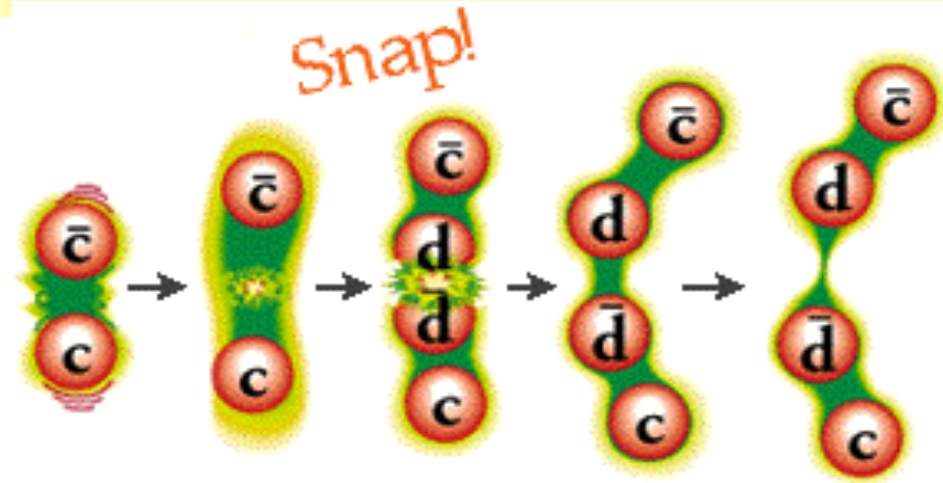
Elektromagnetická interakcia

Výmena kvánt energie a hybnosti: **fotónov**
pôsobí na nabité častice

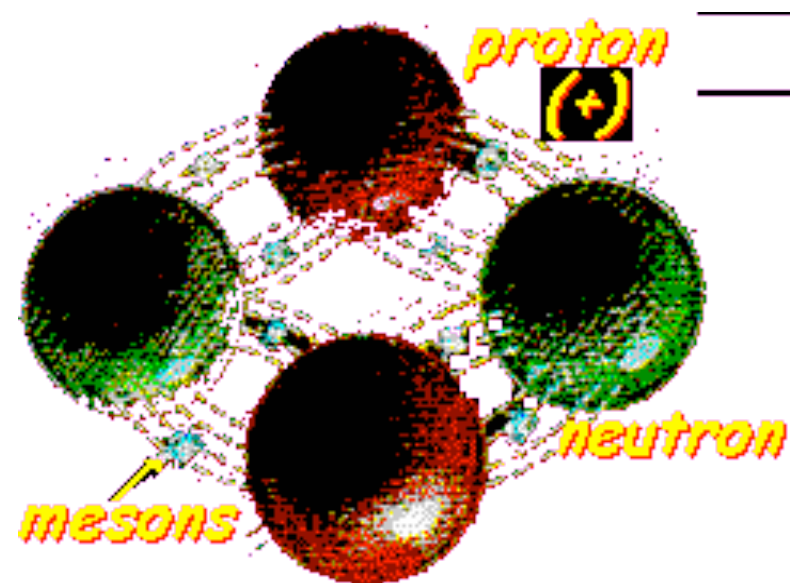


Silná interakcia

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



Drží pohromade jadro
(zvyšková sila)



Higgsov bozón

Higgsov bozón

objavený v CERNe

Higgsov bozón

objavený v CERNe

častica, ktorá je zodpovedná za hmotnosť

Higgsov bozón

objavený v CERNe

častica, ktorá je zodpovedná za hmotnosť

častica, ktorá nie je zodpovedná za hmotnosť

Zhrnutie: častice a interakcie

