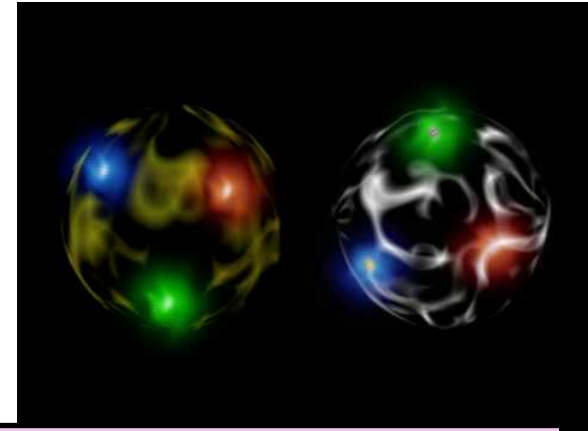


# Numere cuantice (flavours) ale particulelor

Se consideră la momentul actual 10 numere cuantice asociate noțiunii de aromă (flavour) a particulelor corelate cu simetria globală și 2 combinații



## Numere cuantice (arome) în fizica particulelor

### Numere cuantice pure

- ✱ Numărul Barionic (Baryon number):  $B$
- ✱ Numărul Leptonic (Lepton number):  $L$
- ✱ Stranietatea (Strangeness):  $S$
- ✱ Farmecul (Charm):  $C$
- ✱ Bottomness:  $B'$
- ✱ Topness:  $T$
- ✱ Izospinul (Isospin):  $I$  or  $I_3$
- ✱ Izospinul slab (Weak isospin):  $T$  or  $T_3$
- ✱ Sarcina electrică (Electric charge):  $Q$
- ✱ Sarcina X (X-charge):  $X$

### Combinații:

- ✱ Hipersarcina (Hypercharge):  $Y$ 

$$Y = (B + S + C + B' + T)$$

$$Y = 2(Q - I_3)$$
- ✱ Hipersarcina slabă (Weak hypercharge):  $Y_W$ 

$$Y_W = 2(Q - T_3)$$

$$X + 2Y_W = 5(B - L)$$

## ✳ Numărul Barionic (Baryon number): $B$

Barionii sunt compuși din 3 quarci/antiquarci, astfel că numărul barionic este definit ca:

$$B = \frac{N_q - N_{\bar{q}}}{3}$$

$N_q$  – număr de quarci

$N_{\bar{q}}$  – număr de antiquarci

✳ Prin combinarea a 3 quarci într-un barion rezultă un număr barionic  $B=+1$

✳ Prin combinarea a 3 antiquarci într-un barion rezultă un număr barionic  $B= -1$

Numărul barionic caracterizează și mezonii; prin combinarea unui quarc cu un antiquarc, rezultă un mezon cu numărul barionic  $B=0$

▶ Quarcii au numărul barionic  $B=+1/3$

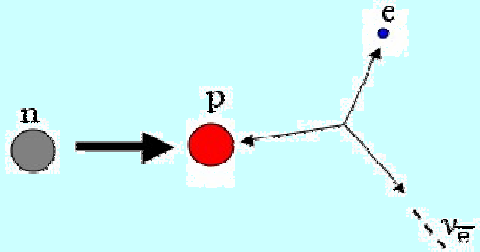
▶ Antiquarcii au numărul barionic  $B= - 1/3$

☺ Particulele care nu sunt compuse din quarci sau antiquarci (leptonii, fotonii, bosonii  $W^\pm$  și  $Z^0$ ), au numărul barionic  $B=0$

Numărul barionic se conservă aproape în toate interacțiunile :

Exemple :

$n \rightarrow p + e + \nu_e$   
numarul barionic  $(+1) \rightarrow (+1) + 0 + 0$

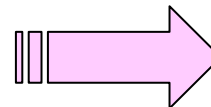


$p + n \rightarrow p + n + p + \bar{p}$   
 $B = 1 + 1 = 1 + 1 + 1 - 1$

$p + n \rightarrow p + \mu^+ + \bar{\mu}^-$   
 $B = 1 + 1 \neq 1 + 0 + 0$



se conservă



nu se conservă

## ✳ Numărul Leptonic (Lepton number): $L$

În fizica particulelor, **numărul lepton**  $L$  este definit de numărul de leptoni minus numărul de antileptoni.

$$L = n_{\ell} - n_{\bar{\ell}}$$

► toți leptonii au numărul leptonic  $L=+1$ , antileptonii  $L=-1$ , alte particule  $L=0$ .

Din familia numerelor leptonice fac parte:

$L_e$  - numărul Leptonic electronic pentru electron și neutrino electronic

$L_{\mu}$  - numărul Leptonic muonic pentru miuon și neutrino muonic

$L_{\tau}$  - numărul Leptonic tauonic pentru tauon și neutrino tauonic;

Cu aceleași atribuiri ca și pentru numărul leptonic: +1 pentru particule, -1 pentru antiparticule, și 0 pentru alte familii de leptoni sau particule.

Numărul Leptonic (uneori numit sarcină leptonică) este un număr cuantic aditiv, ceea ce înseamnă că suma lui este păstrată în toate interacțiunile.

Nome	Particula					Antiparticula				
	Simbol	Q	$L_e$	$L_\mu$	$L_\tau$	Simbol	Q	$L_e$	$L_\mu$	$L_\tau$
<b>Electron</b>	$e^-$	-1	1	0	0	$e^+$	1	-1	0	0
<b>Neutrino electronic</b>	$\nu_e$	0	1	0	0	$\bar{\nu}_e$	0	-1	0	0

<b>Muon</b>	$\mu^-$	-1	0	1	0	$\mu^+$	1	0	-1	0
<b>Neutrino muonic</b>	$\nu_\mu$	0	0	1	0	$\bar{\nu}_\mu$	0	0	-1	0

<b>Tau</b>	$\tau^-$	-1	0	0	1	$\tau^+$	1	0	0	-1
<b>Neutrino tau</b>	$\nu_\tau$	0	0	0	1	$\bar{\nu}_\tau$	0	0	0	-1

În modelul standard, numărul leptonic se conservă:

De exemplu, în dezintegrarea beta

$$\begin{array}{r} n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}_e \\ L : 0 = 0 + 1 - 1 \end{array}$$

De *obicei*, numărul leptonic se conservă și în fiecare familie de leptoni:

De exemplu, în dezintegrarea miuonului cu condiția ca neutrinii să aibă masă diferită de zero :

$$\begin{array}{r} \mu^- \rightarrow e^- + \bar{\nu}_e + \nu_\mu \\ L : 1 = 1 - 1 + 1 \\ L_e : 0 = 1 - 1 + 0 \\ L_\mu : 1 = 0 + 0 + 1 \end{array}$$

$$L = L_e + L_\mu + L_\tau$$

În unele dezintegrări rare ale miuonului, apar neconservări:

$$\begin{array}{r} \mu^- \rightarrow e^- + \nu_e + \bar{\nu}_\mu \\ L : 1 = 1 + 1 - 1 \\ L_e : 0 \neq 1 + 1 + 0 \\ L_\mu : 1 \neq 0 + 0 - 1 \end{array}$$

## ✳️ Stranietatea (Strangeness): $S$

**Stranietatea**  $S$  este o proprietate a particulelor, exprimată ca număr cuantic, pentru a descrie dezintegrarea unei particule prin interacțiuni tari și electromagnetice, care apar într-o perioadă scurtă de timp.

**Stranietatea** unei particule este definită ca diferența dintre numărul de quarci **strange** ( $N_S$ ) și numărul de quarci **antistrange** ( $N_{\bar{S}}$ ) luată cu semn negativ :

$$S = -(N_S - N_{\bar{S}})$$

Stranietatea unei particule este  $S=-1$  iar a unei antiparticule  $S=+1$ .

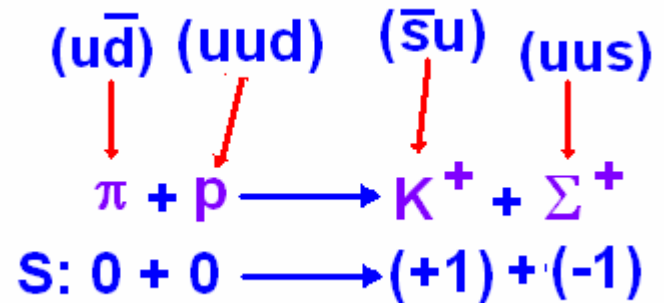
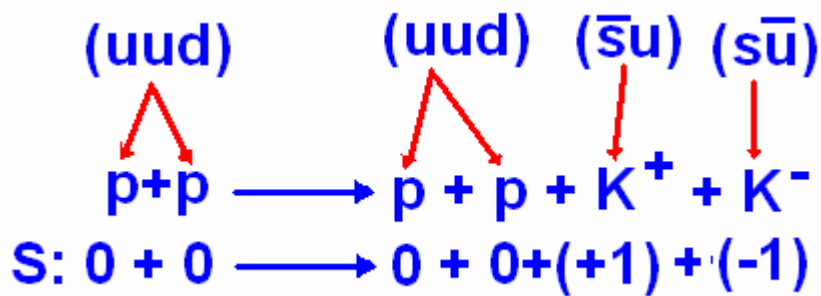
**Consecință:**

prezența unui quarc **strange** conferă particulei numărul cuantic de stranietate  $S=-1$

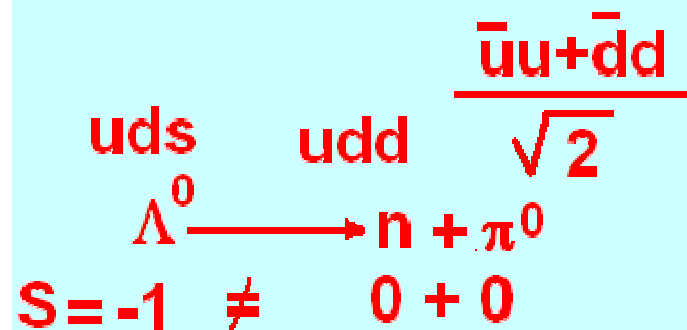
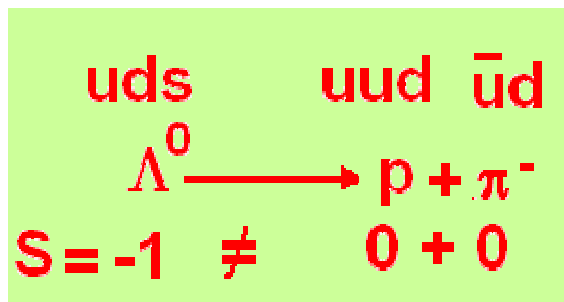
Celelalte particule care nu conțin quarci strange au stranietatea  $S=0$

*Conceptul a fost introdus de Murray Gell-Mann și Nishijima Kazuhiko pentru a explica faptul că anumite particule (kaonii sau anumite hyperons), au fost create în ciocniri de particule la energie joasă, se dezintegrează mult mai lent decât se preconiza pentru masele și secțiunile lor mari. Pentru astfel de perechi a fost postulat faptul că o mărime nouă se conserva în timpul creării lor, dar nu conservă în dezintegrarea lor.*

Stranietatea se conservă în **interacțiunile tari** și **electromagnetice**



dar nu și în interacțiunea slabă !!!!!





## \*Farmecul (Charm): $C$

**Farmecul  $C$**  este o proprietate a particulelor, exprimată ca număr cuantic, pentru a descrie dezintegrarea unei particule prin interacțiuni tari și electromagnetice, care apar într-o perioadă scurtă de timp.

**Farmecul** unei particule este definită ca diferența dintre numărul de quarci **charm** ( $N_c$ ) și numărul de quarci **anticharm** ( $N_{\bar{c}}$ ) luată cu semn negativ :

$$C = -(N_c - N_{\bar{c}})$$

Numarul de farmec unei particule este  $C=-1$  iar a unei antiparticule  $C=+1$ .

Consecință:

prezența unui quarc *charm* conferă particulei numărul cuantic de farmec  $C=-1$

Numarul cuantic de farmec se conservă în **interacțiunile tari** și **electromagnetice** dar nu și în cele slabe

### Hadroni Charm:

☺ mezonii D (un quarc  $c$  și unul  $u$  sau  $d$ ):

$D^+$  ( $c \bar{d}$ ) antiparticula  $D^-$  ( $\bar{c} d$ )

$D^0$  ( $c \bar{u}$ ) antiparticula  $D^-$  ( $\bar{c} u$ )

$D_s^-$  ( $c \bar{s}$ ) antiparticula  $D_s^+$  ( $\bar{c} s$ )

☺ barioni  $\Lambda_c$  (un quarc  $u$  unul  $d$  și  $c$ ):

☺ Mezonul  $J/\Psi$  ( $c\bar{c}$ ) - charmonium

## ✳ Bottomness: $B'$

Acest număr cuantic este asociat quarcului **bottom** din a treia generație.

Numarul cuantic **Bottom** al unei particule este definită ca diferența dintre numărul de quarci **bottom** ( $N_b$ ) și numărul de quarci **antibottom** ( $N_{\bar{b}}$ ) luată cu semn negativ :

$$B' = -(N_b - N_{\bar{b}})$$

Particulele care conțin quarci **bottom** au  $B'=+1$ , cele care conțin quarci **anti-bottom** au  $B'=-1$  iar celelalte care nu conțin quarci **bottom** sau **antibottom** au  $B'=0$

Numarul cuantic de **bottom** se conservă în **interacțiunile tari** și **electromagnetice** dar nu și în cele slabe

Hadroni care conțin quarci **bottom** :

☺ mezonii B (un quarc **b** și unul **u** sau **d**):

$B^-(b\bar{u})$  antiparticula  $B^+(\bar{b}u)$

$B^0(d\bar{b})$  antiparticula  $\underline{B}^0(\bar{d}b)$

$B_S^0(s\bar{b})$  antiparticula  $\underline{B}_S^0(\bar{s}b)$

☺ barionii  $\Sigma_b^+(uub)$ ,  $\Sigma_b^-(bdd)$ , :

☺ Mezonul  $Y(b\bar{b})$  - **upsilonium**

## ✳️ **Topness: $T$**

**Topness** (sau **truth**)- este asociat quarcului **top** din a treia generație. Acest quarc interactionează în principal tari însă se dezintegrează prin interacțiuni slabe, aproape exclusiv prin bosoni **W** și quarci **bottom**



Numarul cuantic **Topness** al unei particule este definită ca diferența dintre numărul de quarci **top** ( $N_t$ ) și numărul de quarci **anti-top** ( $N_{\bar{t}}$ )

$$T = (N_t - N_{\bar{t}})$$

Prin convenție quarcii **top** au  $T=+1$ , iar quarcii **anti-top** au  $T=-1$ . Particulele care nu conțin quarci **top** sau **antitop** au  $T=0$

Numarul cuantic de **bottom** se conservă în **interacțiunile tari** și **electromagnetice** dar nu și în cele slabe

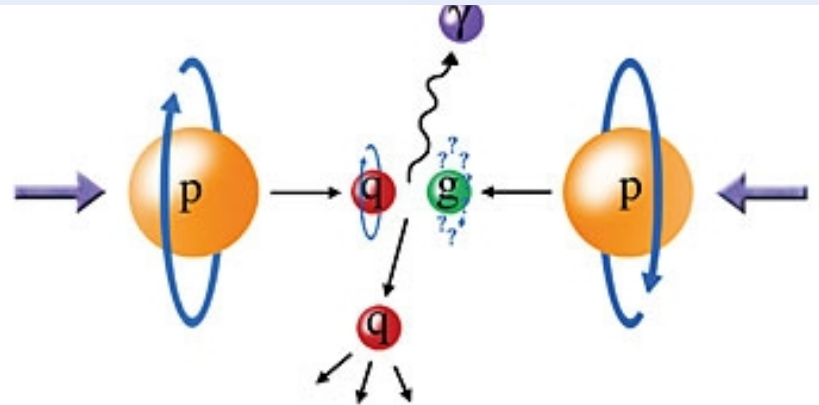
## ✳️ Momentul cinetic de spin: **J**

În fizica particulelor și mecanica cuantică, **spinul** este o caracteristică (proprietate) fundamentală a particulelor elementare, particulelor compozite (hadroni), și a nucleelor atomice. Toate particulele elementare dintr-un anumit tip au același **număr cuantic de spin**, care caracterizează starea cuantică.

Momentul cinetic de spin  $J$  a oricărui sistem fizic este cuantificat; valorile permise:

$$J = \hbar \sqrt{J(J + 1)}$$

$j$  este un număr întreg sau semiîntreg (0, 1/2, 1, 3/2, 2, etc.), denumit numărul cuantic de spin



## ★ Izospinul (Isospin): $I$ sau $I_3$

Izospinul este un concept corelat cu o simetrie continuă, care a fost propus de Heisenberg să explice faptul că în interacțiunea tare nu se face distincție între neutroni și protoni (independența de sarcină).

$$V_{pp} \approx V_{np} \approx V_{nn}$$

Întrucât protonii și neutronii sunt în aceeași stare energetică cu spinii paraleli, fiind fermioni se supun principiului de excluziune și deci trebuie să aibă o mărime cuantică diferită – izospinul. Așadar, aceștia constituie un dublet cu izospinul  $1/2$  (fermioni) și proiecțiile  $+1/2$  (proton)  $-1/2$  (neutron)

☉ Izospinul - număr cuantic în interacțiunea tare care descrie grupuri de particule cu mase aproximativ egale.

La nivel de structură fundamentală – nucleonii sunt constituiți din quarci;

$p(uud)$ ,  $n(udd)$  → quarcul  $u$  are izospinul  $I_3=+1/2$

→ quarcul  $d$  are izospinul  $I_3=-1/2$

Toti ceilalți quarci au spinul nul ( $I_3=0$ ) !!!!

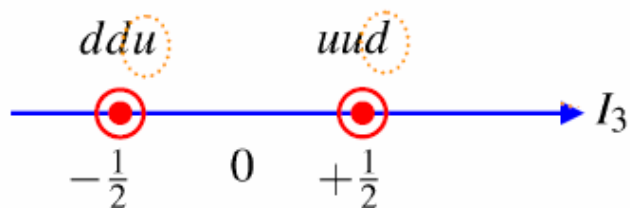
În funcție de numărul de quarci  $up$  și  $down$ , se poate defini izospinul:

$$I_3 = \frac{1}{2} \left[ (n_u - n_{\bar{u}}) - (n_d - n_{\bar{d}}) \right]$$

$n$  fiind numărul de quarci/antiquarci  $up$  și  $down$ .

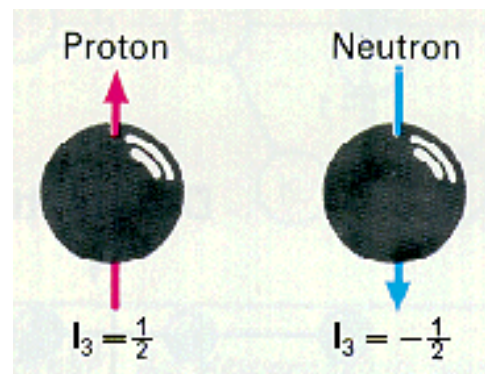
Izospinul are exact aceleași proprietăți cu spinul (care dă numărul de substări) – multiplicitatea  $2I+1$ ;  $I_3 = -I, -I+1, \dots, I-1, I$  (mărime aditivă)

### dublet

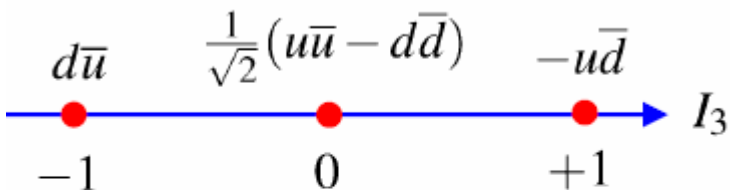


$$|s, m\rangle \rightarrow |\bar{I}, I_3\rangle$$

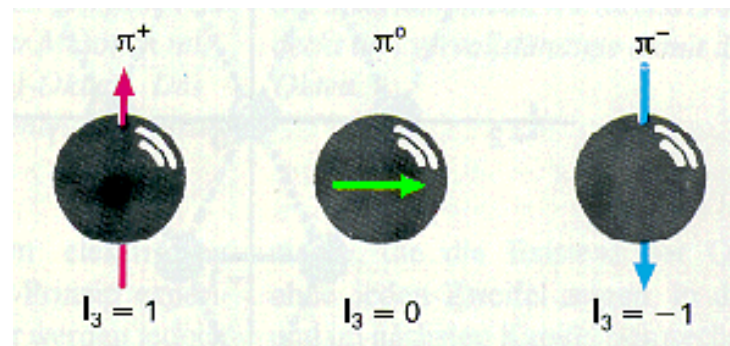
Spin 1/2  
Isospin 1/2



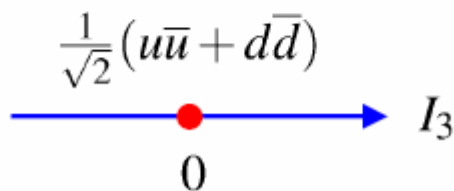
### Triplet $I = 1$



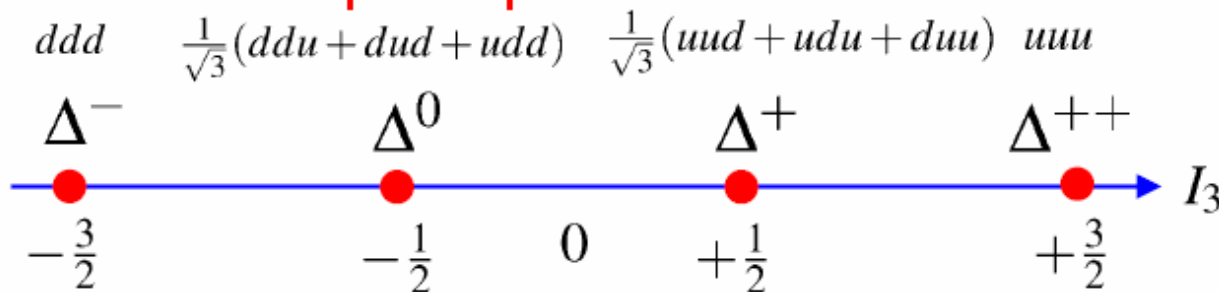
Spin 1  
Isospin 1



### singlet $I = 0$



### quadruplet



Spin 3/2  
Isospin 3/2

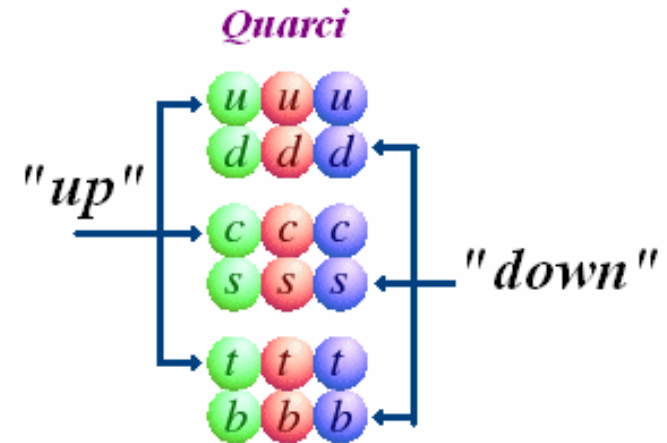
## ★ Izospinul slab (Weak isospin): $T$ or $T_3$

Notat cu  $T$  și componenta a treia  $T_3$  sau  $T_z$ , este un număr cuantic din fizica particulelor, corelat cu **interacțiunea slabă**, analog cu izospinul  $I$  din interacțiunea tare.

Fermionii cu elicitate negativă (stânga) au  $T=1/2$  și proiecțiile  $T_3=\pm 1/2$  (dubleți) și rămân neschimbați în interacțiunea slabă.

Interacțiune slabă – particulele de schimb-bosonii  $W$ - schimbă culoarea quarcilor.

Astfel quarcii de tip “up” în care sunt incluși quarcii ( $u, c, t$ ) au  $T_3=+1/2$  și se transformă totdeauna în quarci de tip “down” ( $d, s, b$ ) care au  $T_3=-1/2$  și invers; **quarcii nu se dezintegrează în quarci de același tip.**



Fermionii cu elicitate pozitivă (dreapta) au  $T=0$  (singleți) și nu intervin în interacțiunea slabă.

**În toate interacțiunile slabe izospinul slab  $T$  se conservă !!!!**

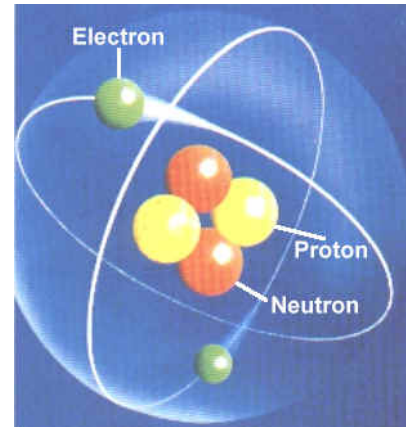
## ✳️ Sarcina electrică (Electric charge): $Q$

Proprietate intrinsecă a particulelor subatomice (protoni și electroni), care alcătuiesc materia, și care generează câmpul electromagnetic (interacțiune electromagnetică).

Un proton are o sarcină pozitivă și un electron are o sarcină negativă.

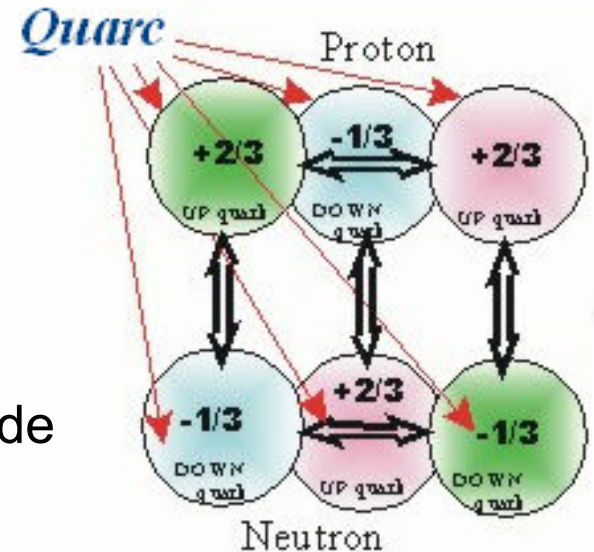
Prin convenție electronul are sarcina  $Q = -1$ .

Sarcina electrică este o mărime care se conservă (aditivă)



Quarcii au sarcina electrică fracțională cu valori de  $-1/3$  sau  $+2/3$  în funcție de aromă. Quarcii de tip “up” au sarcina electrică de  $+2/3$  iar cei de tip “down”  $-1/3$ . Antiquarci au sarcina opusă corespunzătoare.

Sarcina particulelor compozite (hadronii) este dată de compoziția acestora, și se poate evalua cu relația:



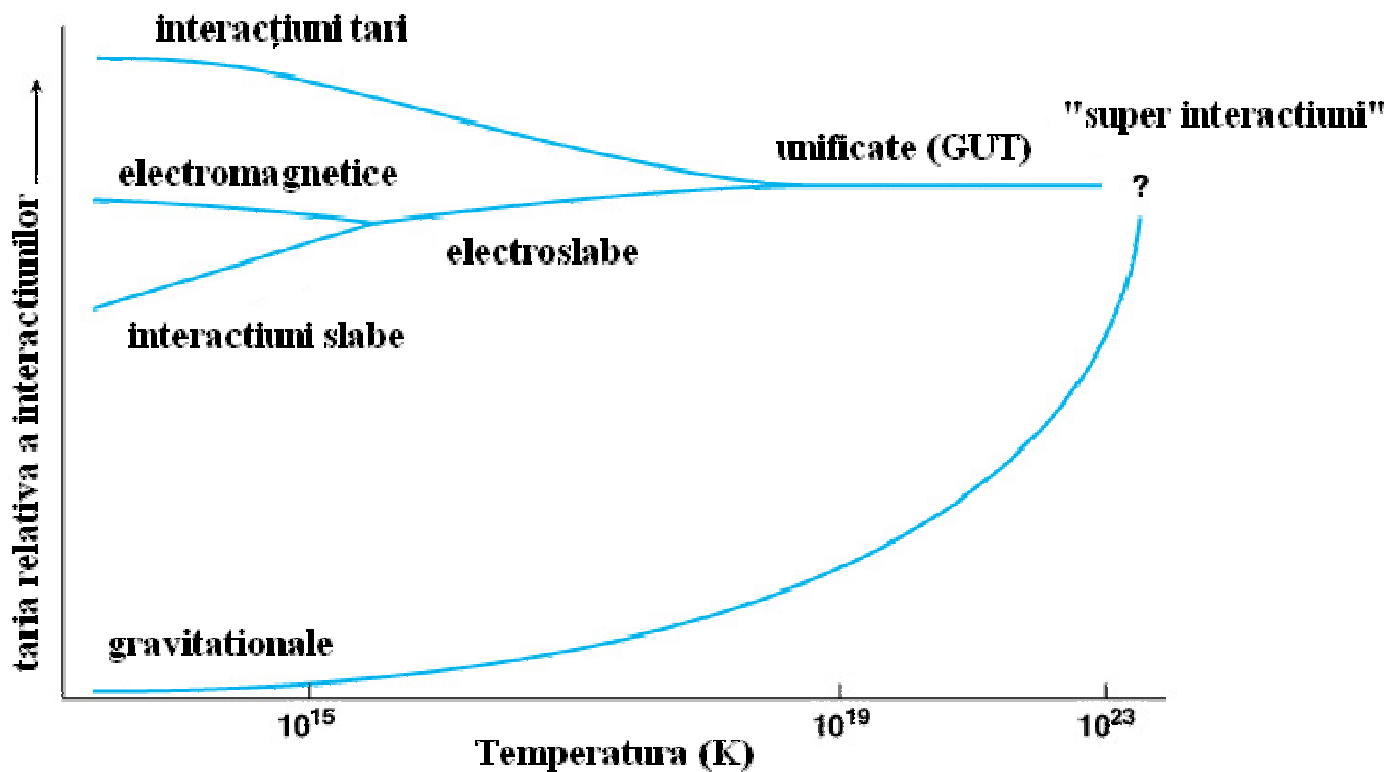
$$Q = \frac{2}{3}[(n_u - n_{\bar{u}}) + (n_c - n_{\bar{c}}) + (n_t - n_{\bar{t}})] - \frac{1}{3}[(n_d - n_{\bar{d}}) + (n_s - n_{\bar{s}}) + (n_b - n_{\bar{b}})].$$



## \*Sarcina X (X-charge): $X$

este un număr cuantic conservativ asociat teorii mării unificări (GUT- grand unification theory) și este dată de diferența dintre numărul baryon  $B$  și numărul lepton  $L$  și hipersarcina slabă  $Y_W$  prin relația

$$X + 2Y_W = 5(B - L)$$



## Combi-nații ale numerelor cuantice

### ✳️Hipersarcina (Hypercharge): $Y$

Hipersarcina este un număr cuantic asociat interacțiunii tari și al algebrei modelului unitar SU(3).

A fost propus(1960) pentru a face o structurare a particulelor elementare pe baza legilor de conservare și a proceselor de transformare observate

Există o legătură între componenta a treia a izospinului  $I_3$  (starea proprie de sarcină) și sarcina electrică  $Q$

Faptul că sarcina electrică și componenta  $I_3$  a izospinului se conservă în orice interacțiuni, atunci în interacțiunile tari atunci există și alte sarcini implicate între acestea; ca urmare:

$$Q = I_3 + \frac{Y}{2} \Rightarrow Y = 2(Q - I_3) \quad \text{formula Gell-Mann-Nishijima}$$

Hipersarcina este folosită în conservarea stranietății și este o combinație de conservare a sarcinii, izospinului și a numărului barionic

$$Y = S + B = 2(Q - I_3)$$

Faptul că izospinul generează multipleți de particule ( $\Sigma I_3=0$ ), sarcina lor medie este corelată cu hipersarcina

$$Y = 2\bar{Q}$$

Pentru ca toate legile de conservare să fie respectate trebuie ca variația:

$$\Delta(2I_3 + S + C + B' + T) = 0$$

Care se poate include în relația **Gell-Mann–Nishijima** obținându-se relația **Gell-Mann–Nishijima** generalizată:

$$Q = I_3 + \frac{(B + S + C + B' + T)}{2}$$

de unde rezultă expresia pentru hipersarcină

$$Y = B + S + C + B' + T$$

B - nr. cuantic **barionic**  
S - nr. cuantic de **stranietate**  
C - nr. cuantic **charm**  
B' - nr. cuantic **bottom**  
T - nr. cuantic **top**

## Numere cuantice asociate quarcilor

	u	d	c	s	t	b	$\bar{u}$	$\bar{d}$	$\bar{c}$	$\bar{s}$	$\bar{t}$	$\bar{b}$
Spin	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$
Paritate	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-
B	$+\frac{1}{3}$	$+\frac{1}{3}$	$+\frac{1}{3}$	$+\frac{1}{3}$	$+\frac{1}{3}$	$+\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$
Q/e	$+\frac{2}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$+\frac{2}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$+\frac{2}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{2}{3}$	$+\frac{1}{3}$	$-\frac{2}{3}$	$+\frac{1}{3}$	$-\frac{2}{3}$	$+\frac{1}{3}$
I	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	0	0	0	0	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	0	0	0	0
$I_3$	$+\frac{1}{2}$	$-\frac{1}{2}$	0	0	0	0	$-\frac{1}{2}$	$+\frac{1}{2}$	0	0	0	0
$\tilde{S}$	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	+1	0	0
$\tilde{C}$	0	0	+1	0	0	0	0	0	-1	0	0	0
$\tilde{B}$	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	+1
$\tilde{T}$	0	0	0	0	+1	0	0	0	0	0	-1	0
Y	$+\frac{1}{3}$	$+\frac{1}{3}$	$+\frac{4}{3}$	$-\frac{2}{3}$	$+\frac{4}{3}$	$-\frac{2}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{4}{3}$	$+\frac{2}{3}$	$-\frac{4}{3}$	$+\frac{2}{3}$

## ✳️ Hipersarcina slabă (Weak hypercharge): $Y_w$

Hipersarcina usoară este analoagă hipersarcinii, în interacțiunea slabă.  
Se definește prin relația:

$$Q = T_3 + \frac{Y_w}{2} \quad \Rightarrow \quad Y_w = 2(Q - T_3)$$

$Q$  - sarcina electrică

$T_3$  - izospinul slab

Este corelată cu sarcina- $X$ , numărul cuantic **barionic** și **leptonic**, prin relația:

$$X + 2Y_w = 5(B - L)$$

## Caracteristici ale fermionilor

Generația 1

Fermion	Simbol	Sarcina electrica	Izospin slab	Hipersarcina slabă	Masa **
Electron	$e^-$	-1	-1/2	-1	511 keV
Pozitron	$e^+$	+1	0	+2	511 keV
Electron-neutrino	$\nu_e$	0	+1/2	-1	< 2 eV ****
Up quarc	$u$	+2/3	+1/2	+1/3	~ 3 MeV ***
Up antiquarc	$\bar{u}$	-2/3	0	-4/3	~ 3 MeV ***
Down quarc	$d$	-1/3	-1/2	+1/3	~ 6 MeV ***
Down antiquarc	$\bar{d}$	+1/3	0	+2/3	~ 6 MeV ***

## Generația 2

Fermion	Simbol	Sarcina electrica	Izospin slab	Hipersarcina slabă	Masa **
Muon	$\mu^-$	-1	-1/2	-1	106 MeV
Antimuon	$\mu^+$	+1	0	+2	106 MeV
Muon-neutrino	$\nu_\mu$	0	+1/2	-1	< 2 eV ****
Charm quarc	$c$	+2/3	+1/2	+1/3	~ 1.337 GeV
Charm antiquarc	$\bar{c}$	-2/3	0	-4/3	~ 1.3 GeV
Strange quar	$s$	-1/3	-1/2	+1/3	~ 100 MeV
Strange antiquarc	$\bar{s}$	+1/3	0	+2/3	~ 100 MeV

### Generația 3

Fermion	Simbol	Sarcina electrica	Izospin slab	Hipersarcina slabă	Masa **
Tau lepton	$\tau^-$	-1	-1/2	-1	1.78 GeV
Anti-tau lepton	$\tau^+$	+1	0	+2	1.78 GeV
Tau-neutrino	$\nu_\tau$	0	+1/2	-1	< 2 eV ****
Top quarc	$t$	+2/3	+1/2	+1/3	171 GeV
Top antiquarc	$\bar{t}$	-2/3	0	-4/3	171 GeV
Bottom quarc	$b$	-1/3	-1/2	+1/3	~ 4.2 GeV
Bottom antiquarc	$\bar{b}$	+1/3	0	+2/3	~ 4.2 GeV