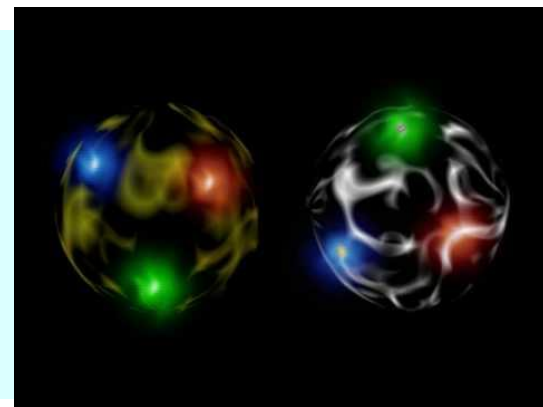


Numere cuantice interne asociate particulelor elementare

- Numerele cuantice descriu valori ale cantităților conservative în dinamica unui sistem cuantic
- La momentul actual: **10 numere cuantice asociate noțiunii de aromă (flavour)** corelate cu simetria globală și **2 combinații ale acestora.**



Numere cuantice în fizica particulelor

Numere cuantice pure

- ✳ Numărul Barionic (*Baryon number*): **B**
- ✳ Numărul Leptonic (*Lepton number*): **L**
- ✳ Stranietatea (*Strangeness*): **S**
- ✳ Farmecul (*Charm*): **C**
- ✳ Bottomness (*Beauty*): **B'**
- ✳ Topness (*Truth*): **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 cuantic 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**

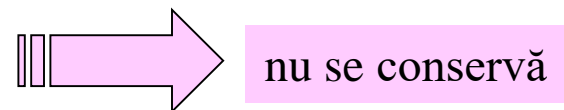
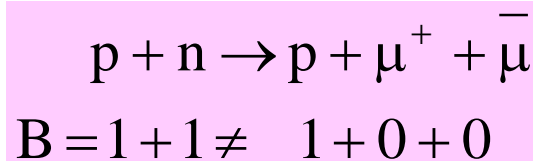
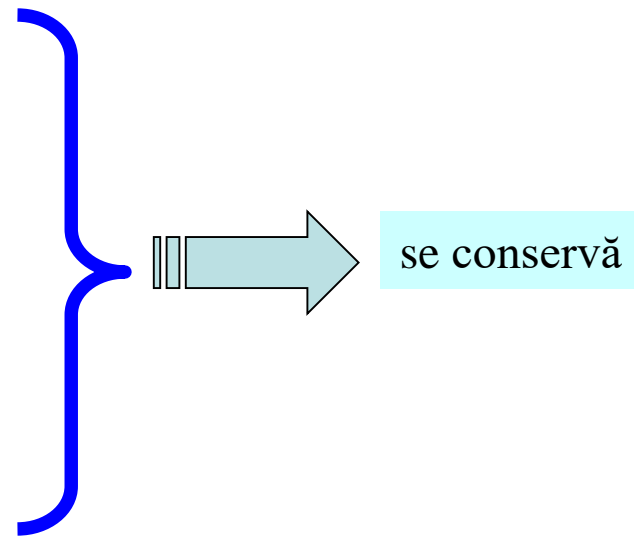
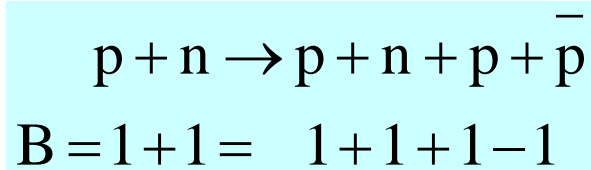
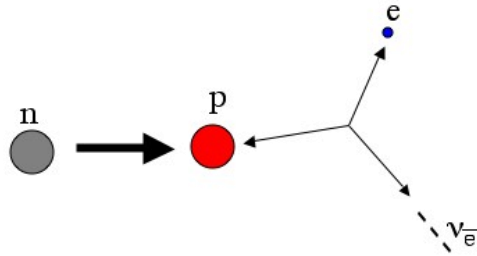
- Particulele care nu sunt compuse din quarci sau antiquarci (leptonii, fotonii, bosonii W^\pm și Z^0), au numărul barionic **B=0**

➤ Numărul barionic se conservă aproape în toate interacțiunile :

Exemple :



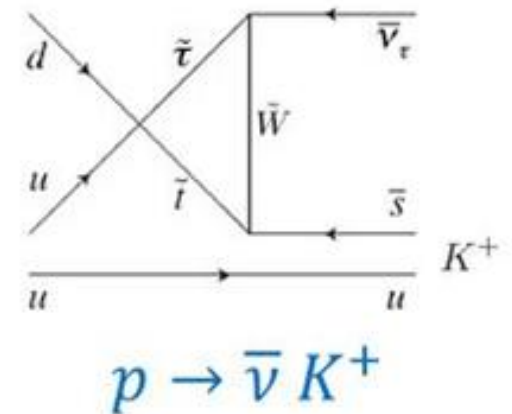
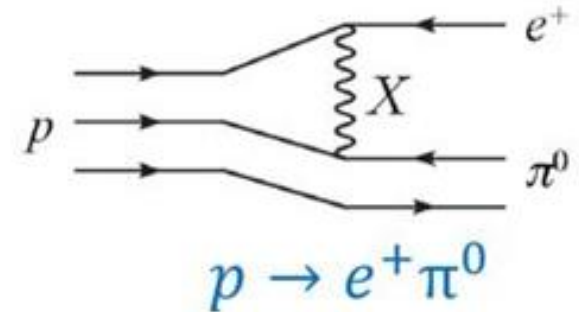
numarul barionic (+1) \rightarrow (+1) + 0 + 0



- Conform Modelului Standard, numărul barionic este o cantitate care se conservă în mod absolut, motiv pentru care cel mai ușor barion, **protonul** este stabil.

- În alte teorii diferite de modelul standard, cum ar fi **Marea Teorie Unificată (GUT)**, conservarea numărului de barioni nu are o dimensiune exactă, astfel încât protonii pot să se descompună cu un timp de înjumătățire foarte mare (10^{32} ani).

- Mecanismele adoptate în prezent **bariogeneza**, originea dezechilibrului materiei și a antimateriei în fracțiunile timpurii ale Universului de la o secundă după Big Bang, presupun neconservarea numărului de barioni



✳ 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_{μ}** - numărul Leptonic muonic pentru miuon și neutrino muonic
- ✓ **L_{τ}** - numărul Leptonic tauonic pentru tauon și neutrino tauonic;

- Aceleași atribuiri ca și pentru numărul leptonic:

- ✓ **+1** pentru particule,
- ✓ **-1** pentru antiparticule
- ✓ **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.

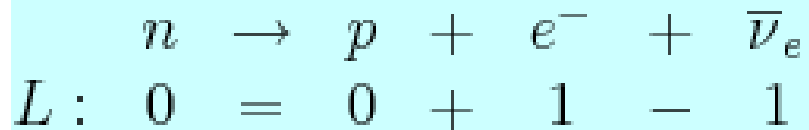
| | | Particula | | | | Antiparticula | | | | |
|----------------------------|---------|------------------|-------|---------|----------|----------------------|---|-------|---------|----------|
| Nume | Simbol | Q | L_e | L_μ | L_τ | Simbol | Q | L_e | L_μ | L_τ |
| Electron | e^- | -1 | 1 | 0 | 0 | e^+ | 1 | -1 | 0 | 0 |
| Neutrino electronic | ν_e | 0 | 1 | 0 | 0 | $\bar{\nu}_e$ | 0 | -1 | 0 | 0 |

| | | | | | | | | | | |
|------------------------|-----------|----|---|---|---|-----------------|---|---|----|---|
| Muon | μ^- | -1 | 0 | 1 | 0 | μ^+ | 1 | 0 | -1 | 0 |
| Neutrino muonic | ν_μ | 0 | 0 | 1 | 0 | $\bar{\nu}_\mu$ | 0 | 0 | -1 | 0 |

| | | | | | | | | | | |
|---------------------|------------|----|---|---|---|------------------|---|---|---|----|
| Tau | τ^- | -1 | 0 | 0 | 1 | τ^+ | 1 | 0 | 0 | -1 |
| Neutrino tau | ν_τ | 0 | 0 | 0 | 1 | $\bar{\nu}_\tau$ | 0 | 0 | 0 | -1 |

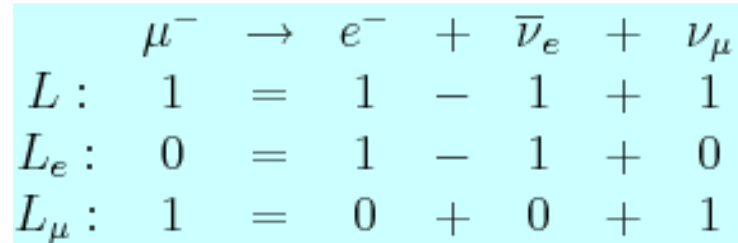
➤ În modelul standard, numărul leptonic se conservă:

✓ De exemplu, în dezintegrarea beta



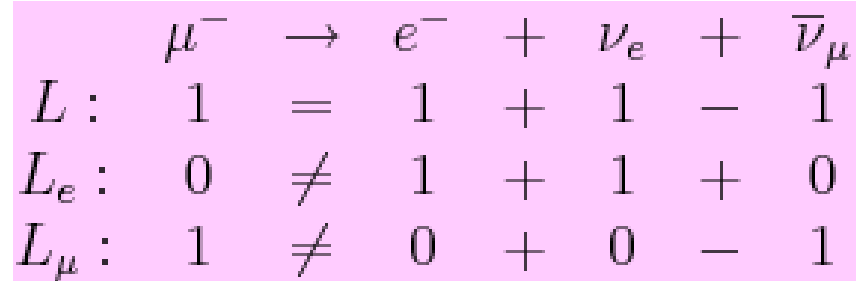
➤ De *obicei*, numărul leptonic se conservă și în fiecare familie de leptoni:

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



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

➤ În unele dezintegrări rare ale miuonului, apar neconservări:



✳️Stranietatea (Strangeness): **S**

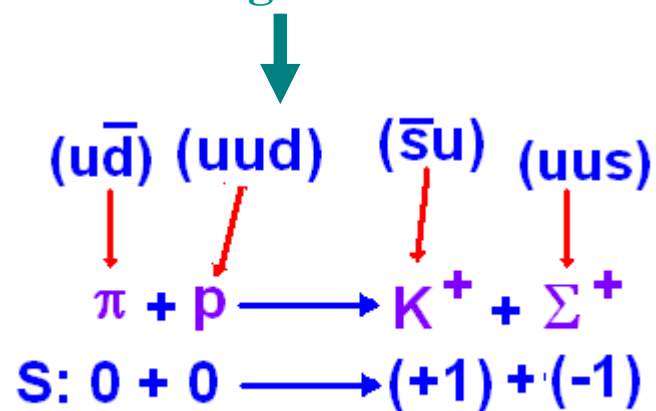
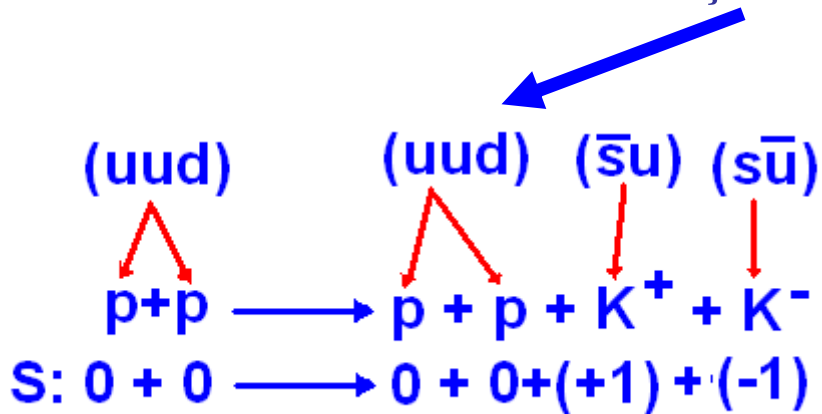
- **Stranietatea S** este o proprietate a particulelor exprimată ca număr cuantic, pentru a descrie dezintegrarea unei particule prin interacțiuni tari și electromagnetice, care apar într-o perioadă scurtă de timp.
- **Stranietatea** unei particule este definită ca diferența dintre numărul de quarci **strange** (N_S) și numărul de quarci **antistrange** ($N_{\bar{S}}$) luată cu semn negativ :

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

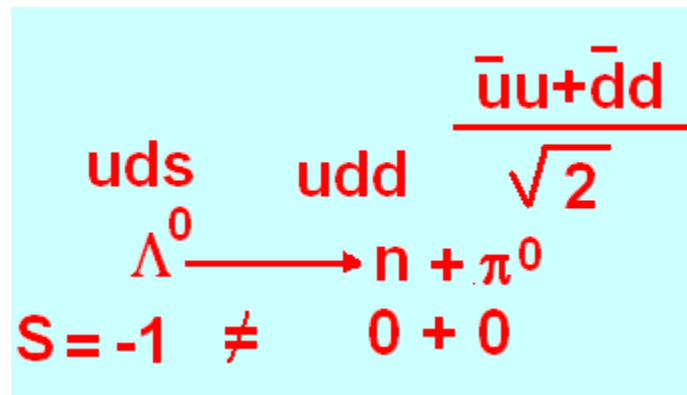
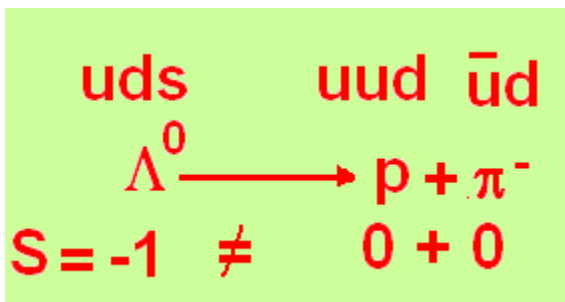
- Stranietatea unei particule este **S=-1** iar a unei antiparticule **S=+1**.
- **Consecință:**
 - ✓ prezența unui quarc **strange** conferă particulei numărul cuantic de stranietate **S = -1**
- Celelalte particule care nu conțin quarci strange au stranietatea **S=0**

➤ *Conceptul a fost introdus de Murray Gell-Mann și Nishijima Kazuhiko pentru a explica faptul că anumite particule (kaonii sau anumiti 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 conservă în timpul creării lor, dar nu se 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 :

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

- Numărul de farmec unei particule este **$C=-1$** iar a unei antiparticule **$C=+1$** .
 - Consecință:
 - ✓ prezența unui quarc **charm** conferă particulei numărul cuantic de farmec **$C=-1$**
- Numărul 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 Λ_c** (un quarc **u** unul **d** și **c**):

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

✳ Bottomness: B'

- Număr cuantic asociat quarcului **bottom** din a treia generație.
- Numărul 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 $B'=0$
- Numărul 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 $\bar{B}^0(\bar{d}b)$

$B_s^0(s\bar{b})$ antiparticula $\bar{B}_s^0(\bar{s}b)$

☺ **Barionii** Σ_b^+ (**uub**), Σ_b^- (**bdd**), :

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

☀ **Topness: T**

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



- Numărul cuantic **Topness** al unei particule este definit 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 $T=0$

- Numărul cuantic de **Topness** se conservă în **interacțiunile tari** și **electromagnetice** dar nu și în cele slabe

★ 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 face distincție între neutroni și protoni (independența de sarcină).

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

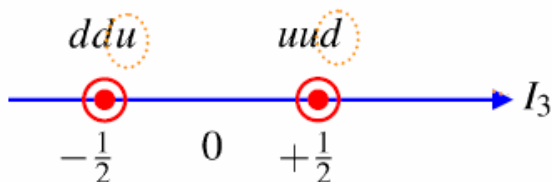
- Întrucât protonii și neutronii sunt în aceeași stare energetică cu spinii paraleli, fiind fermioni se supun principiului de excluziune și deci trebuie să aibă o mărime cuantică diferită – **izospinul**. Așadar, aceștia constituie un dublet cu **izospinul** $1/2$ (fermioni) cu proiecțiile $+1/2$ (**proton**)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

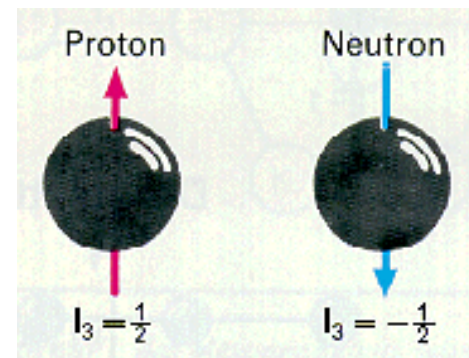
- Izospinul are exact aceleași proprietăți cu spinul (care dă numărul de substări) – multiplicitatea $2I+1$; $I_3 = -I, -I+1, \dots, I-1, I$ (mărime aditivă)

dublet

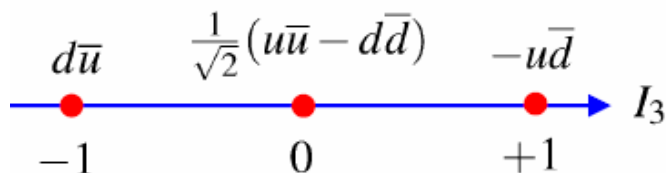


$$|s, m\rangle \rightarrow |\bar{I}, I_3\rangle$$

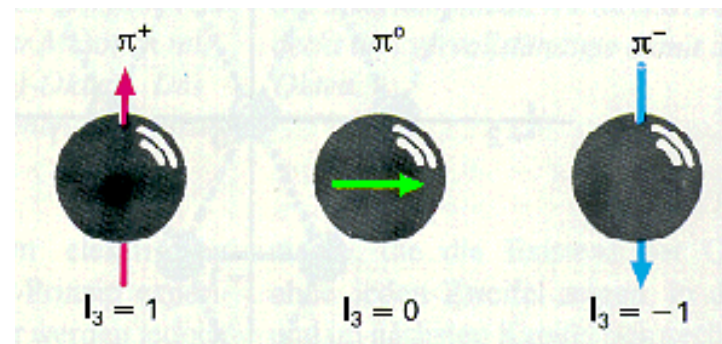
Spin 1/2
Isospin 1/2



Triplet $I = 1$

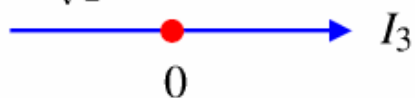


Spin 1
Isospin 1

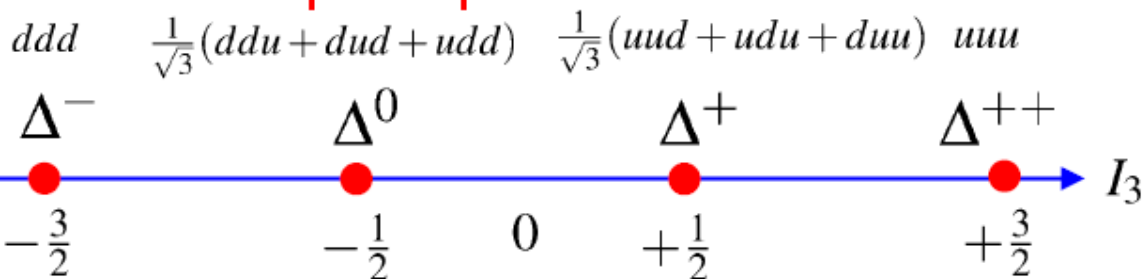


singlet $I = 0$

$$\frac{1}{\sqrt{2}}(u\bar{u} + d\bar{d})$$



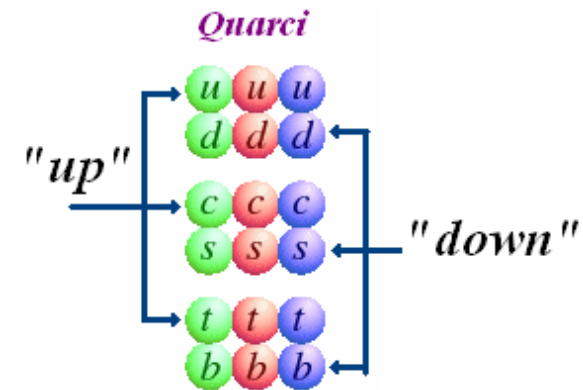
quadruplet



Spin 3/2
Isospin 3/2

✳ Izospinul slab (Weak isospin): \mathbf{T} or \mathbf{T}_3

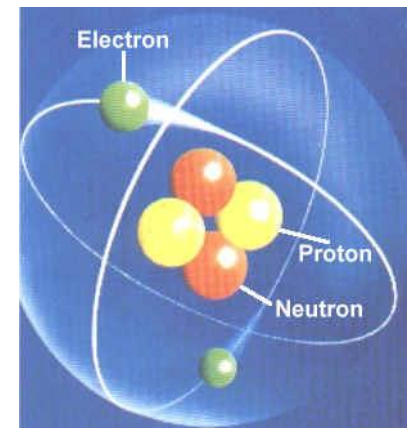
- Notat cu \mathbf{T} și componenta a treia \mathbf{T}_3 sau \mathbf{T}_z , este un număr cuantic din fizica particulelor, corelat cu **interacțiunea slabă**, analog cu izospinul \mathbf{I} din interacțiunea tare.
- Fermionii cu elicitate negativă (stânga) au $\mathbf{T}=1/2$ și proiecțiile $\mathbf{T}_3=\pm 1/2$ (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 $\mathbf{T}_3=+1/2$ și se transformă totdeauna în quarci de tip “down” (d, s, b) care au $\mathbf{T}_3=-1/2$ și invers; **quarcii nu se dezintegrează în quarci de același tip.**
- Fermionii cu elicitate pozitivă (dreapta) au $\mathbf{T}=0$ (singleți) și nu intervin în interacțiunea slabă.



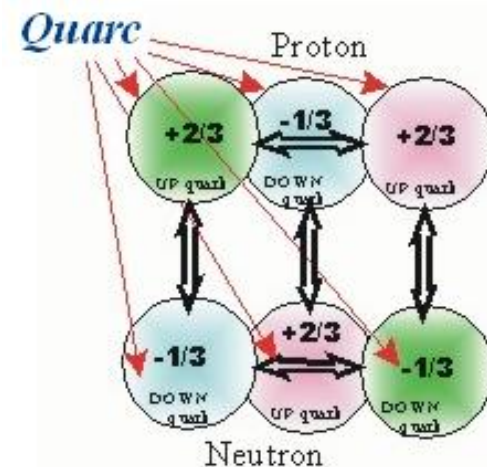
➤ În toate interacțiunile slabe izospinul slab \mathbf{T} se conservă !!!!

✳ Sarcina electrică (Electric charge): Q

- Este o 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 corespunzătoare opusă.
- Sarcina particulelor compozite (hadronii) este dată de compoziția acestora, și se poate evalua cu relația:

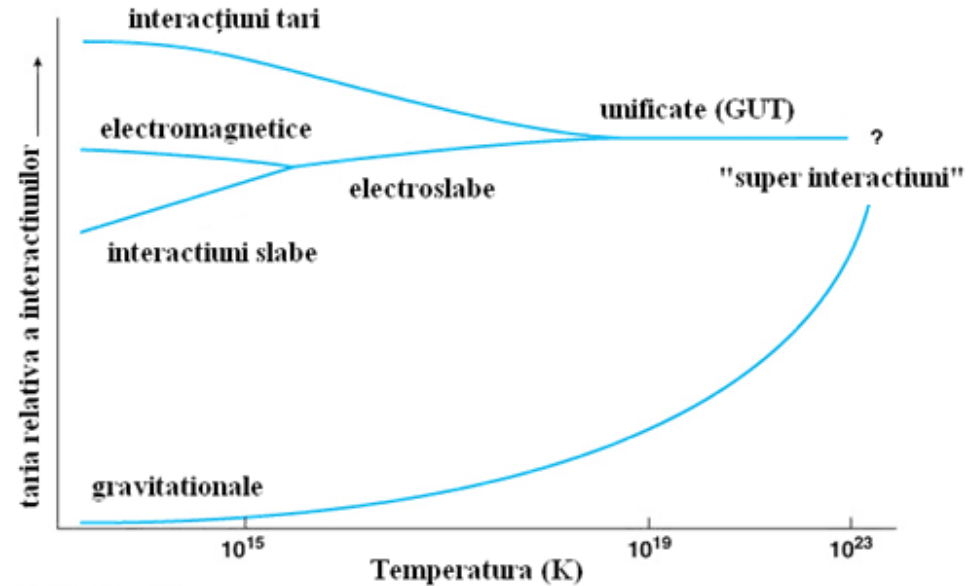


$$Q = \frac{2}{3}[(n_u - n_{\bar{u}}) + (n_c - n_{\bar{c}}) + (n_t - n_{\bar{t}})] - \frac{1}{3}[(n_d - n_{\bar{d}}) + (n_s - n_{\bar{s}}) + (n_b - n_{\bar{b}})]$$

✳ Sarcina X (X-charge): **X**

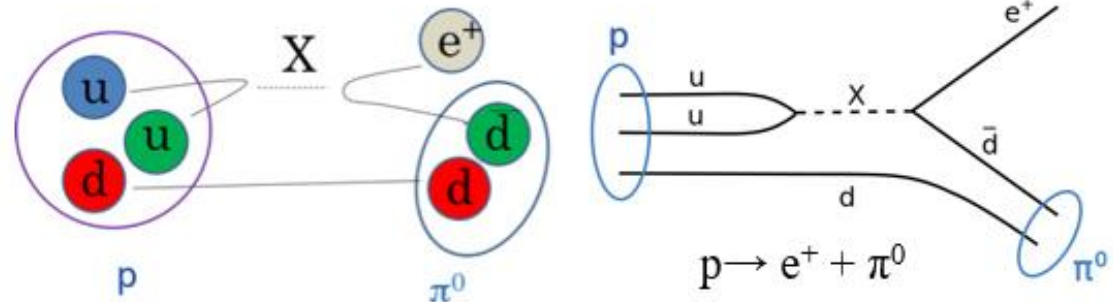
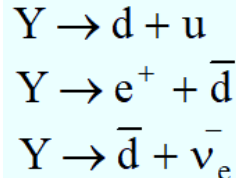
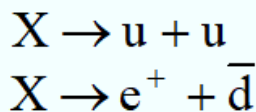
- Este un număr cuantic conservativ asociat teorii marii unificări (GUT- grand unification theory) și este dată de diferența dintre numărul baryon **B** și numărul lepton **L** și hipersarcina slabă **Y_W** prin relația

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



- Se consideră bosonii **X** și **Y** ca fiind particule elementare (ipotetice) similare (bosoni elalon) cu bosonii **W** și **Z**, dar care corespund la un nou tip de forță prezisă de modelul Georgi-Glashow (1974) în teoria unificată (modelul combină leptonii și quarcii într-o singură reprezentare ireductibilă care nu conservă numărul barionic, ci numai diferența **B-L**)

- Moduri de dezintegrare



Combinatii ale numerelor cuantice

✳️ **Hipersarcina (Hypercharge): Y**

- Hipersarcina este un număr cuantic asociat interacțiunii tari și al algebrei modelului unitar SU(3).
- A fost propusă (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 interacțiune, atunci în interacțiunile tari 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:

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

- Aceasta expresie 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 ușoară este analoagă hipersarcinii din 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 | ν_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 | μ^- | -1 | -1/2 | -1 | 106 MeV |
| Antimuon | μ^+ | +1 | 0 | +2 | 106 MeV |
| Muon-neutrino | ν_μ | 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 | τ^- | -1 | -1/2 | -1 | 1.78 GeV |
| Anti-tau lepton | τ^+ | +1 | 0 | +2 | 1.78 GeV |
| Tau-neutrino | ν_τ | 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 |