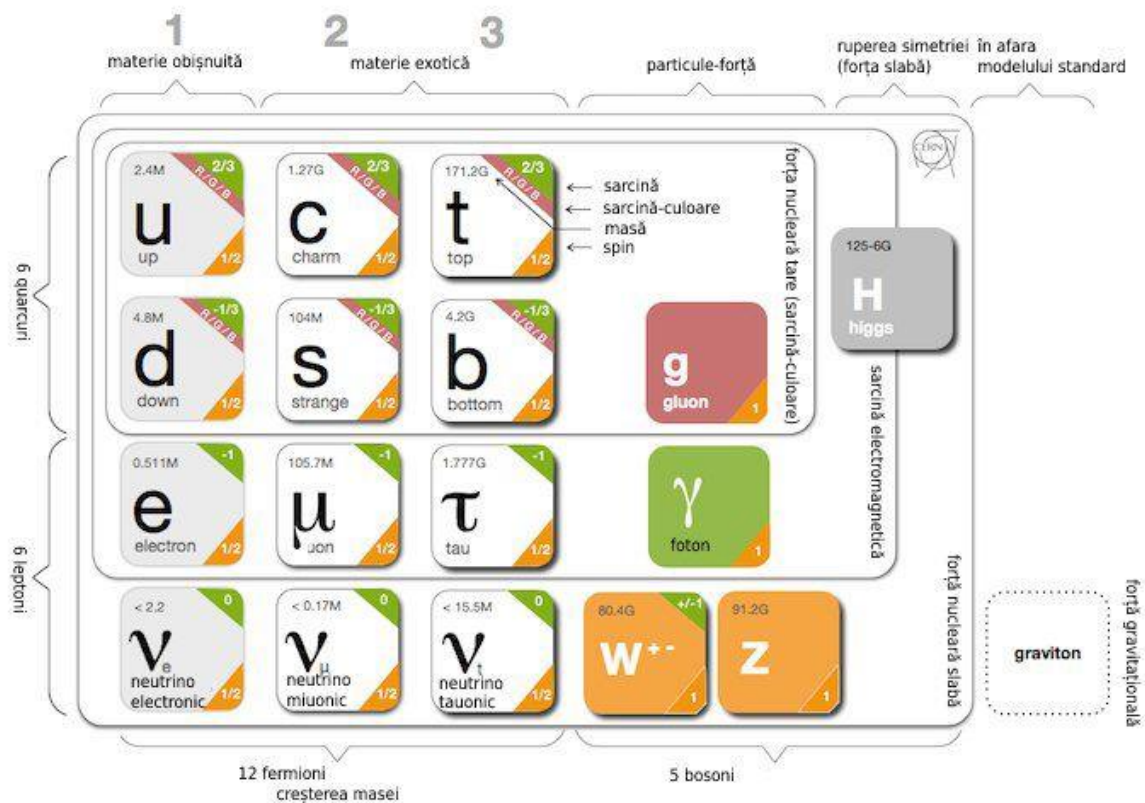


***O imagine de ansamblu privind „clasificarea și sistematizarea particulelor elementare;***



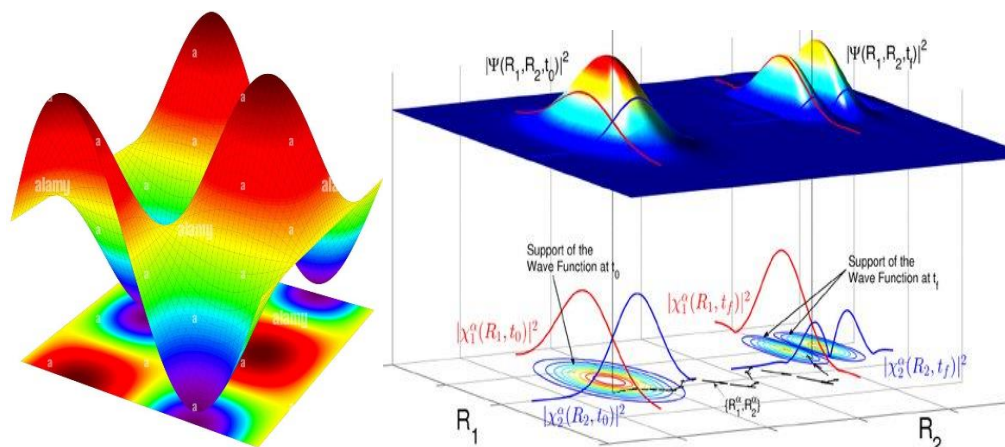
***Fig. 1 - Mapa particulelor elementare – substratul oricărei clasificări esențiale.***

- **Mai întâi de orice... ce anume este aceea o particulă elementară?**

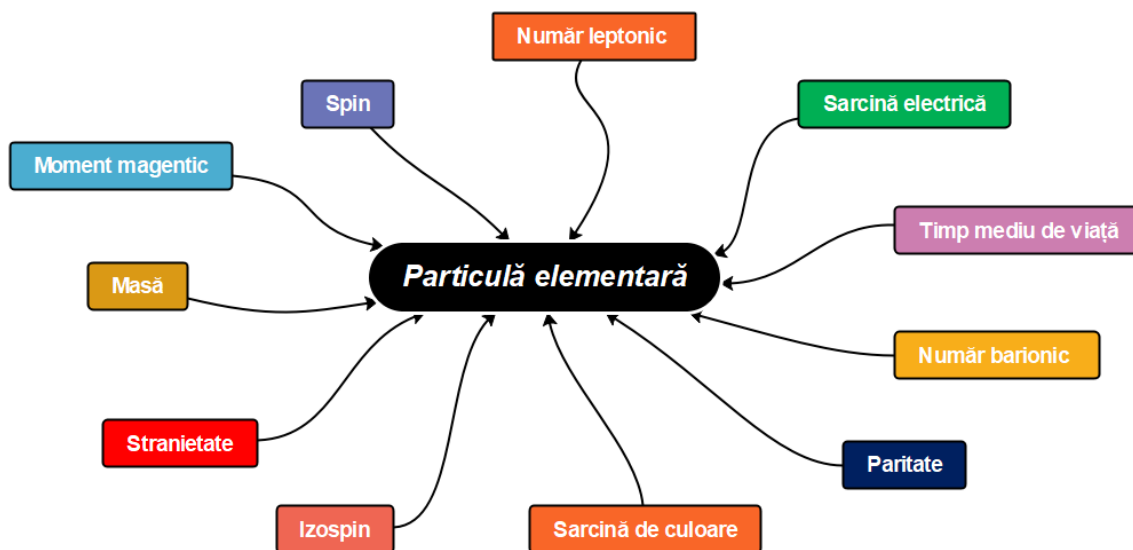
***Orice particulă elementară poate fi privită drept un constituent fundamental al materiei care nu posedă o substructură, având un caracter dual undă-corpusul.***

***Fiind o **unitate de bază**, particula elementară intră în alcătuirea particulelor compozite(compuse) – acești constituenți posedă la rândul lor un set de caracteristici care permit detectarea și organizarea lor în diverse clase și subclase.***

Fiecare particulă poate fi asociată cu o „undă de probabilitate”, în acord cu mecanica cuantică.



De asemenea, orice particulă poate fi reperată prin intermediul unui set/vector de numere aferente proprietăților sale;



*Fig 2 - câteva trăsături remarcabile ale particulelor elementare. Fiecare proprietate poate fi asemuită cu un grad de libertate.*

Discuția noastră se va centra asupra particulelor elementare care compun materia de zi cu zi (ordinară), pentru început – trebuie specificat că aceasta reprezintă doar cca. 5 % din totalul de masă-energie care există în univers

### I) Fermionii:

Compun o întreagă clasă de particule elementare și compozite care au masă de repaus nenulă, spinul semîntreg, respectând principiul de excluziune al lui Pauli;

Aceștia au o comportare duală (undă- particulă) și se subclasifică în două categorii fundamentale distincte: **QUARCI** + **LEPTONI**.

- a) Categoria **QUARCILOR** se împarte în trei generații a câte doi quarci fiecare – prima generație este întâlnită în natură; celelalte două compun „materia exotică”. Există „6 arome”- sau versiuni ale particulei quark;

	I	II	III
Mass	2.4 MeV	1.27 GeV	171.2 GeV
Charge	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$
Spin	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$
Name	u	c	t
Quarks	up	charm	top
	4.8 MeV	104 MeV	4.2 GeV
	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$
	d	s	b
	down	strange	bottom

- 1) Quarcul *up*(u).
- 2) Quarcul *down*(d).
- 3) Quarcul *charm*(c).
- 4) Quarcul *strange*(s).
- 5) Quarcul *top*(t).
- 6) Quarcul *bottom*(b).

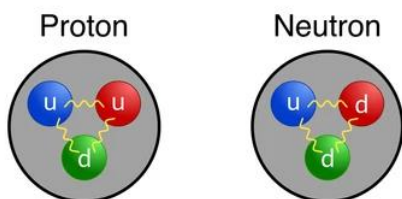
Acești quarci se pot asocia în dublete sau triplete și compun la rândul lor alte două categorii de particule(mezoni și barioni) compozite numite uzual hadroni. Trebuie spus că fiecare tip de quark are asociat un anti-quark (care are sarcina opusă precum și numerele cuantice interne conjugate)

Particule compozite din această categorie:

1) **Barionii – sunt alcătuiți din triplete de cuarci;**

- De exemplu nucleonii: protonul (alcătuit din doi cuarci up și unul down) sau neutronul (alcătuit din doi cuarci down și unul up).

## QUARKS



2) **Mezonii – sunt alcătuiți din perechi cuarci-anticuarci( sunt instabili! );**

Nu au fost detectați quarci în stare liberă - cele 3 generații sunt, în esență, doar diferite moduri de a privi „aceeași particulă” dar în stări cuantice relativ diferite!

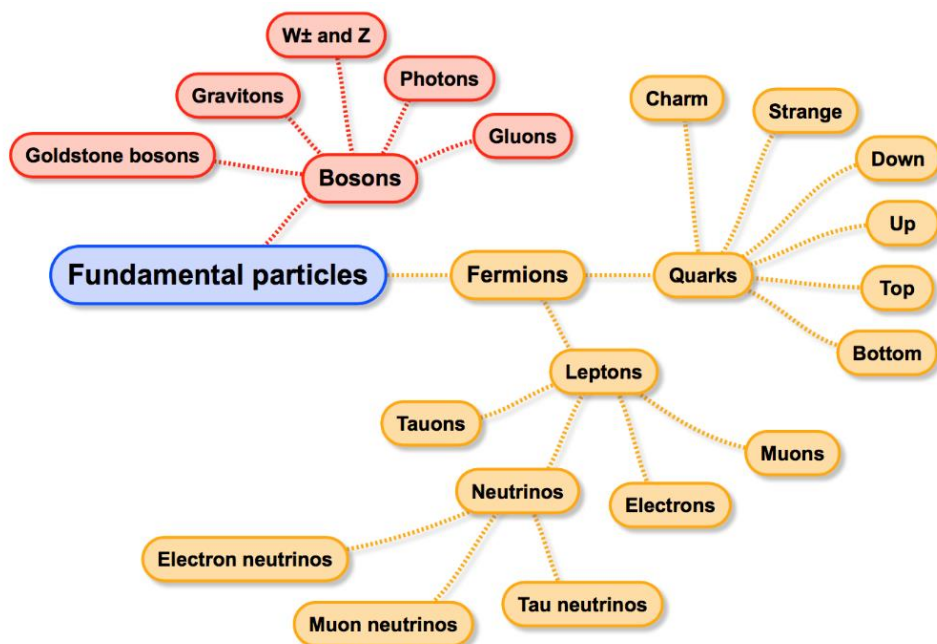
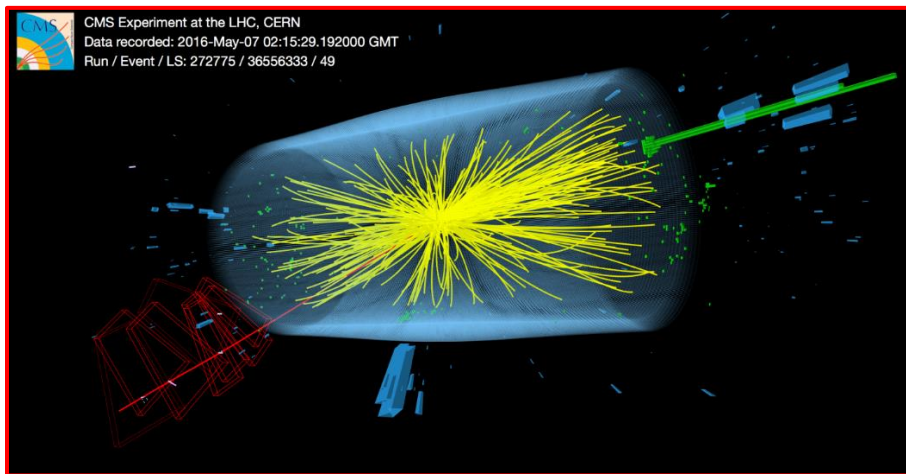
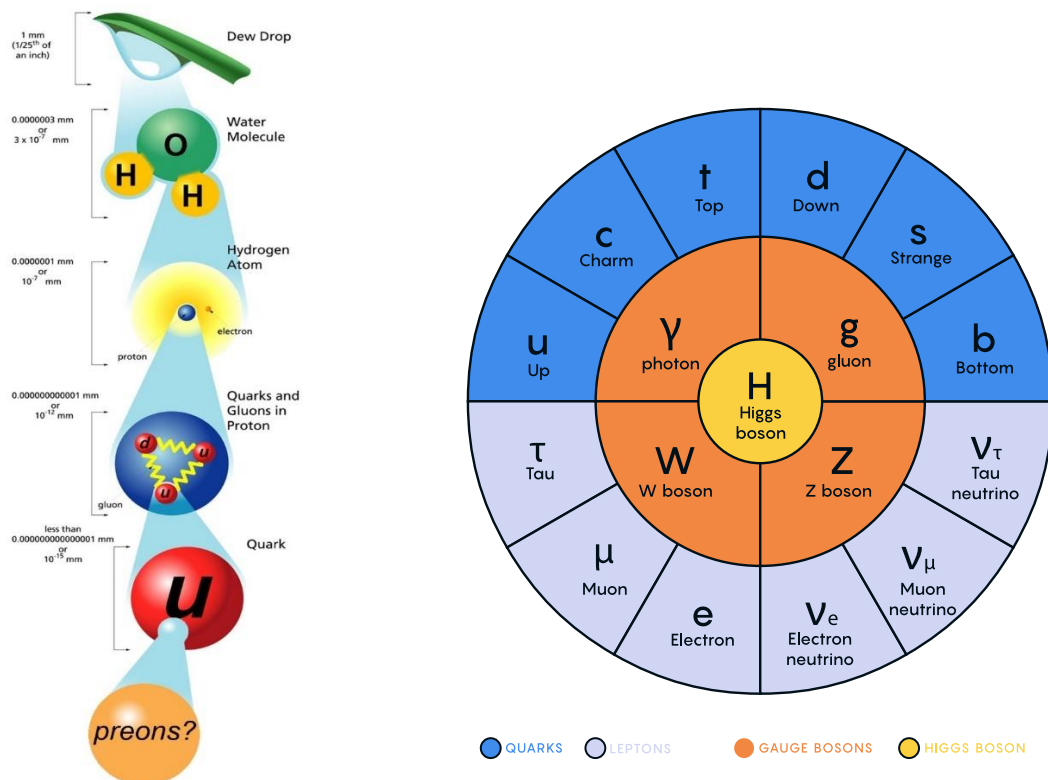


Fig 3 -Schema de tip „pânză de păianjen” a clasificării particulelor fundamentale.

- *Particulele interacționează unele cu altele prin schimbul unor intermediari – de asemenea, unele pot evolua în altele iar procesele cuantice pot fi reprezentate într-un mod simplificat prin intermediul unor grafice/diagrame!*



*Fig 4 - miliarde de coliziuni între protoni au loc chiar acum la LHC*



*Fig. 5 - Un mod artistic de a privi materia în funcție de compoziția ei la scări arbitrare de mici. + Schema circulară a modelului standard.*

- I) Categoria **LEPTONILOR**- este și ea divizată în trei generații de particule dintre care prima generație compune mare parte din materia ordinară;

Leptons	$<2.2 \text{ eV}$ $0 \quad \frac{1}{2}$ $\nu_e$ electron neutrino	$<0.17 \text{ MeV}$ $0 \quad \frac{1}{2}$ $\nu_\mu$ muon neutrino	$<15.5 \text{ MeV}$ $0 \quad \frac{1}{2}$ $\nu_\tau$ tau neutrino
	$0.511 \text{ MeV}$ $-1 \quad \frac{1}{2}$ $e$ electron	$105.7 \text{ MeV}$ $-1 \quad \frac{1}{2}$ $\mu$ muon	$1.777 \text{ GeV}$ $-1 \quad \frac{1}{2}$ $\tau$ tau

- 1) Neutrinel electronic alături de electron – generația I.
- 2) Neutrinel miuonic alături de miuon – generația II
- 3) Neutrinel tauonic alături de tauon – generația III

**Generațiile II și III de particule compun materia exotică și sunt detectate din coliziunile/interacțiunile între particule compozite din radiația cosmică sau în acceleratoarele de particule!**

	Particle name	Symbol	Antiparticle	Mass (MeV/c <sup>2</sup> )	Average lifetime (s)
Leptons					
	Electron	$e^-$	$e^+$	0.511	Stable
	Electron neutrino	$\nu_e$	$\bar{\nu}_e$	$\approx 0$	Stable
	Muon	$\mu^-$	$\mu^+$	105.7	$2.20 \times 10^{-6}$
	Muon neutrino	$\nu_\mu$	$\bar{\nu}_\mu$	$\approx 0$	Stable
	Tau	$\tau^-$	$\tau^+$	1784	$< 4 \times 10^{-13}$
	Tau neutrino	$\nu_\tau$	$\bar{\nu}_\tau$	$\approx 0$	Stable

**Fig 6 - Tabelul Leptonilor - simboluri, mase, timpi de viață**

**În absența unor explicații mai detaliate nici această junglă de particule nu pare să capete un anume sens logic. Se crede că particulele mai masive ar reprezenta doar stări excitate ale particulelor mai ușoare însă nu se știe cu adevărat.**



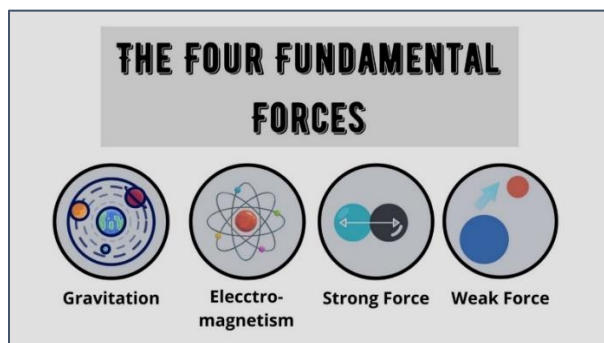
**Structurile compacte ale hadronilor pot fi elucidate pe seama unei interacțiuni care implică conexiuni între quarkuri – aceasta se numește și „interacțiune tare”.**

Hadrons					
Baryons	Proton	p	$\bar{p}$	938.3	Stable
	Neutron	n	$\bar{n}$	939.6	920
	Lambda	$\Lambda^0$	$\bar{\Lambda}^0$	1115.6	$2.6 \times 10^{-10}$
	Sigma	$\Sigma^+$	$\Sigma^-$	1189.4	$0.80 \times 10^{-10}$
	Xi	$\Xi^+$	$\Xi^-$	1315	$2.9 \times 10^{-10}$
	Omega	$\Omega^+$	$\Omega^-$	1672	$0.82 \times 10^{-10}$
Mesons	Pion	$\pi^+$	$\pi^-$	139.6	$2.60 \times 10^{-8}$
	$\pi$ -Zero	$\pi^0$	$\pi^0$	135.0	$0.83 \times 10^{-16}$
	Kaon	$K^+$	$K^-$	493.7	$1.24 \times 10^{-8}$
	k-Short	$K_S^0$	$\bar{K}_S^0$	497.6	$0.89 \times 10^{-10}$
	k-Long	$K_L^0$	$\bar{K}_L^0$	497.6	$5.2 \times 10^{-8}$
	$J/\psi$	$J/\psi$	$J/\psi$	3100	$7.1 \times 10^{-21}$
	Upsilon	$\Upsilon$	$\Upsilon$	9460	$1.2 \times 10^{-20}$

**Fig. 7 – Tabelul hadronilor- simboluri, mase, timpi de viață**

**Toate aceste particule masive sunt „conectate” de câteva interacțiuni fundamentale care sunt mediate prin transferul unor particule mediatoare numite „bosoni gauge”;**

**Aceste entități au spinul întreg și nu respectă principiul lui Pauli de excluziune( pe o aceeași stare cuantică se pot identifica oricâți bosoni). Bosonii sunt particule purtătoare de forță;**



**Fig 8- cele patru interacțiuni/forțe fundamentale - fiecare are un tip de sarcină specifică.**

INTERACTIONS/FORCE CARRIERS (BOSONS)	
GAUGE BOSONS (VECTOR BOSONS)	SCALAR BOSONS
<div>0 0 1</div> <div><b>g</b></div> <div>Gluon</div>	<div>125,180 0 0</div> <div><b>H</b></div> <div>Higgs boson</div>
<div>0 0 1</div> <div><b>γ</b></div> <div>Photon</div>	
<div>91,188 0 1</div> <div><b>Z</b></div> <div>Z boson</div>	
<div>80,379 +/-1 1</div> <div><b>W</b></div> <div>W boson</div>	
* All masses are given in MeV/c <sup>2</sup>	

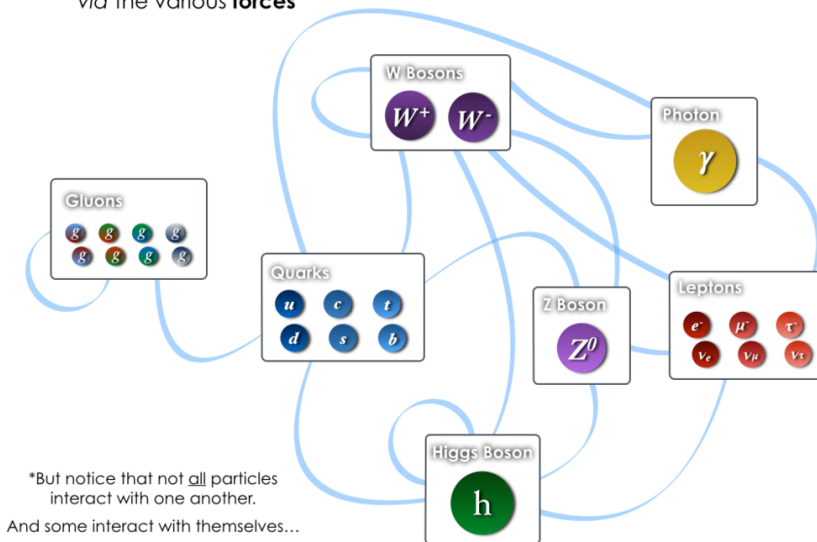
**Avem în total 5 bosoni cunoscuți:**

- 1) **Gluonul** – mediază interacția tare( responsabilă de confinarea cuarcilor în hadroni și a nucleonilor în nucleu). Gluonul are sarcina electrică 0, spinul 1 și masa de repaus 0.
- 2) **Fotonul** – mediază interacția electromagnetică. Fotonul are sarcina electrică 0, spinul 1 și masa de repaus 0 (ca și gluonul).
- 3) **Bosonii W și Z** – mediază interacția slabă (responsabilă pentru dezintegrarea beta). Ei au mase de repaus precum și sarcini nenule - sunt bosoni „masivi”.
- 4) **Bosonul Higgs** – conferă masă tuturor particulelor! Acesta are spinul și sarcina electrică nule(boson scalar).

- ✓ *Toate particulele cu sarcină electrică nenulă resimt forța electromagnetică( toți cuarcii și leptonii, exceptând neutrinii).*
- ✓ *Toate particulele cu sarcină de culoare resimt forța tare( incluzând toate tipurile de cuarci dar nu și leptonii.)*
- ✓ *Forța slabă este resimțită atât de cuarci cât și de leptoni – această forță permite schimbarea sarcinii de culoare a unui cuarc și se face responsabilă de fenomenul radioactivității.*
- ✓ *Chiar și gravitația s-ar putea să aibă un boson transmițător – numit graviton( care nu a fost detectat, deocamdată).*
- ✓ *Forțele fundamentale conferă acțiune și dinamică lumii subatomice.*



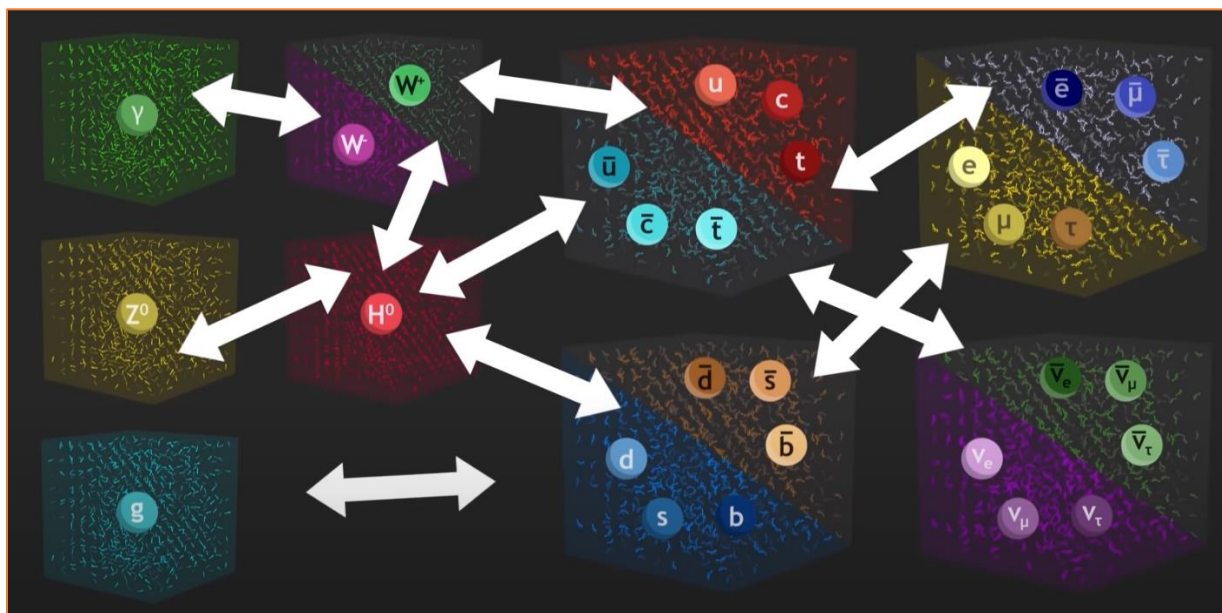
Crucially the **fundamental particles** are all **connected to one another** via the various **forces**\*



**Fig 9 - graful care interconectează seturile de particule prin forțele aferente.**

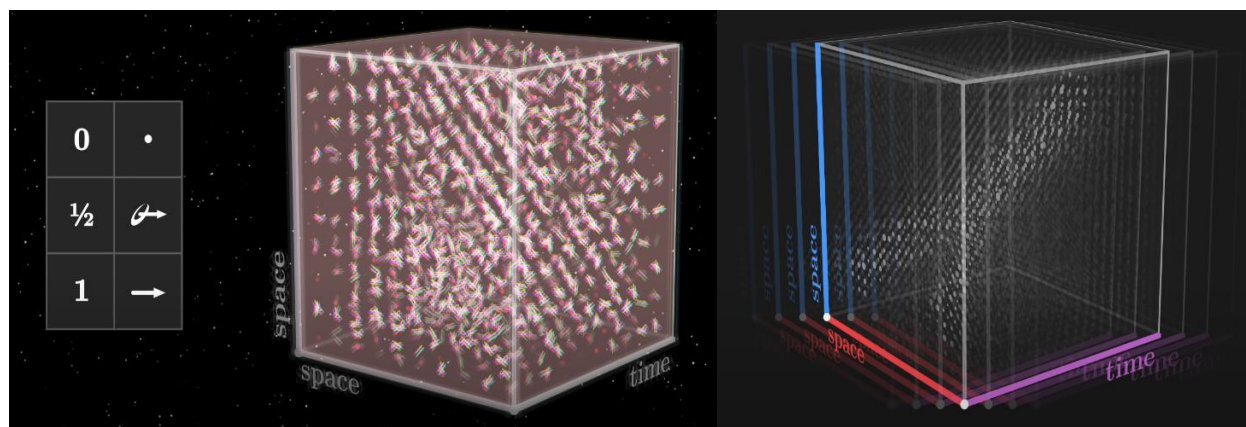
*În teoria cuantică de câmp se poate spune că fiecare particulă reprezintă cuanta unui câmp fundamental – sau excitația condensată a unei saltele cuantice.*

*Evoluția proceselor se face prin medierea sau sinteza tuturor proceselor posibile- câmpurile cuantice evoluează astfel ca superpoziții ale tuturor scenariilor imaginabile.*



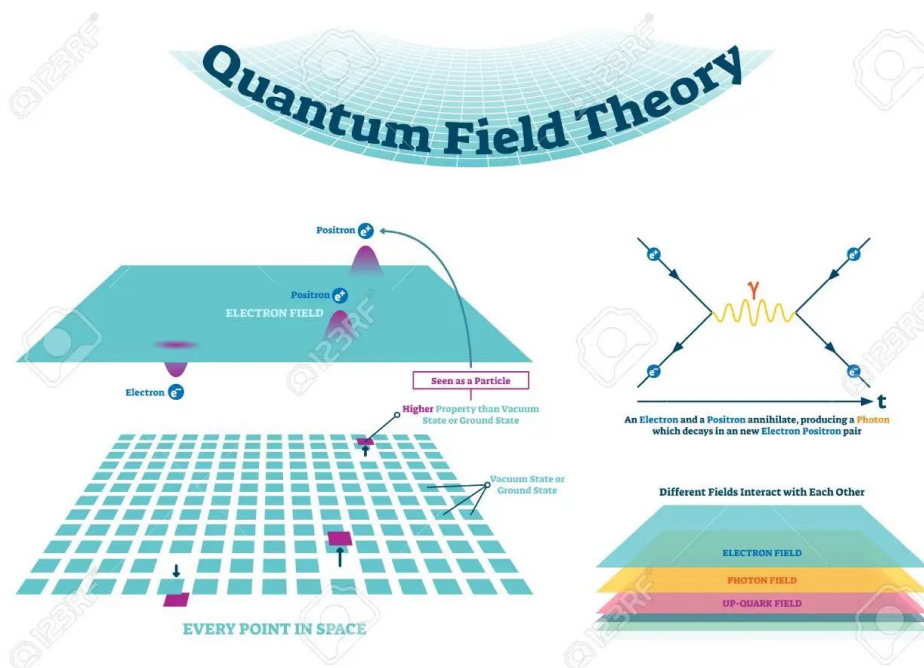
**Fig. 10 – aceste câmpuri interacționează în permanență unele cu altele și sunt omniprezente.**

*Evoluția sistemelor cuantice poate fi privită ca pe o reuniune a tuturor posibilităților – fiecare instanță evolutivă având o amplitudine de probabilitate specifică – acestea din urmă se vor suma, cele mai relevante și mai probabile scenarii fiind cele cu probabilitate mare de realizare.*



- *Se observă că procesele evolutive sunt conceptualizate drept o superpoziție sau o „supă a tuturor căilor imaginabile”. Acesta este un mode de a spune că „real este tot ceea ce pare ireal iar ireal este tot ceea ce pare real”.*

*Am trecut de la perspectiva clasică de particulă punctiformă la cea modernă; de excitație a unui câmp fizic – aceste câmpuri sunt funcții matematice care asociază anumite elemente tuturor punctelor din spațiu.*






## II) Topologia diagramelor Feynman;

Orice tip de interacțiune între particule poate fi redată grafic (ilustrativ) prin diagrame 2D ce au axa orizontală spațială și cea verticală temporală – diagrame care cuantifică ecuații matematice precise;

- Punctele de intersecție a 3 drepte reprezintă noduri de interacțiune între particule;
- Există linii externe (de input/output) dar și linii interne care interconectează două noduri;
- Interacțiunile dintre fermioni au loc prin intermediul schimbului de bosoni virtuali (emisie/absorbție) și indiferent de proces „ceva se schimbă între altceva”;

### CONVENȚII GRAFICE:







Represent particles (and antiparticles):

Spin 1/2	Quarks and Leptons	
Spin 1	$\gamma, W^\pm, Z$	
	$g$	




And each interaction point (vertex) with a ●

Each vertex contributes a factor of the coupling constant,  $g$ .

External lines (visible **real** particles)

Spin 1/2	Particle		Incoming
			Outgoing
	Antiparticle		Incoming
			Outgoing
Spin 1	Particle		Incoming
			Outgoing

Internal lines (propagators; **virtual** particles)

Spin 1/2	Particle/antiparticle		Each propagator gives a factor of $\frac{1}{q^2 - m^2}$
Spin 1	$\gamma, W^\pm, Z$		
	$g$		

A vertex represents a point of interaction: either EM, weak or strong.

The strength of the interaction is denoted by  $g$

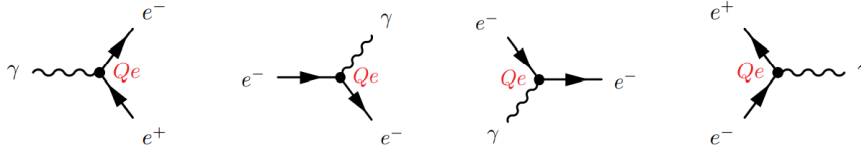
EM interaction:  $g = Qe$  (sometimes denoted as  $Q\sqrt{\alpha}$ , where  $\alpha = e^2/4\pi$ )

Weak interaction:  $g = g_W$

Strong interaction:  $g = \sqrt{\alpha_s}$

***Interacțiunea implică o anumită forță mediată în vertex, unde legile de conservare sunt respectate integral. De exemplu;***

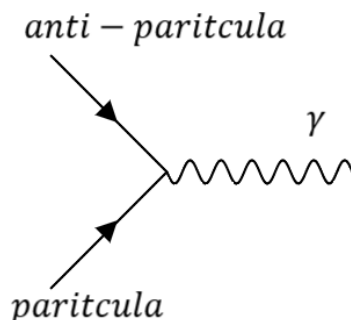
A vertex will have three (in rare cases four) lines attached, e.g.



At each vertex, conserve energy, momentum, angular momentum, charge, lepton number ( $L_e = +1$  for  $e^-$ ,  $\nu_e$ ,  $= -1$  for  $e^+$ ,  $\bar{\nu}_e$ , similar for  $L_\mu$ ,  $L_\tau$ ), baryon number ( $B = \frac{1}{3}(n_q - n_{\bar{q}})$ ), strangeness ( $S = -(n_s - n_{\bar{s}})$ ) & parity – except in weak interactions.

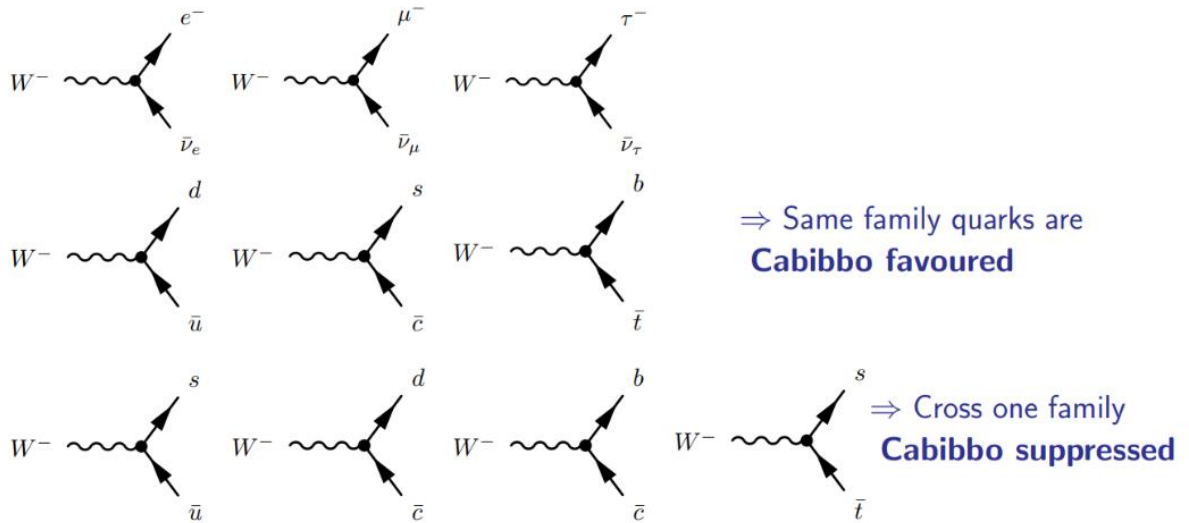
***Interpretările pot fi multiple (pot exista chiar o infinitate de diagrame), ex:***

- ♣ *Un electron și un anti-electron(pozitron) se anihilează reciproc și rezultă un foton gamma.*
- ♣ *Un foton gamma, de asemenea, poate forma o pereche electron – pozitron(proces invers anihilării - de creare).*
- ♣ *Doi electroni pot interacționa electric – repulsiv, prin schimbul unui foton virtual.*
- ♣ *Un electron poate absorbi un foton gamma, trecând pe o stare energetică excitată(sau poate emite un foton gamma – în procesul de dezexcitare).*



***Orice proces de anihilare poate fi privit ca pe unul de creare de particule din fotonul expulzat. Am reprezentat vertex-urile interacțiunii electromagnetice(Qe). În imaginea de mai sus avem exemple de noduri(vertex-uri) fundamentale.***

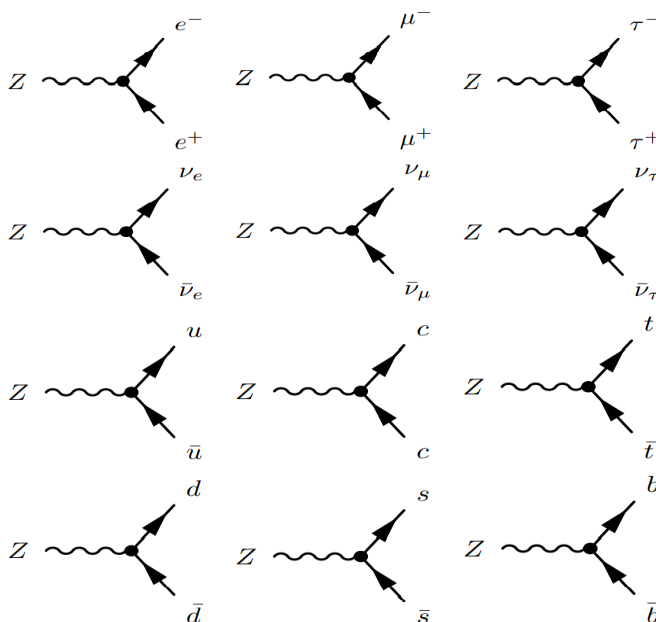
- **Forța slabă implică transmutarea particulelor elementare dintr-un tip în altul;**



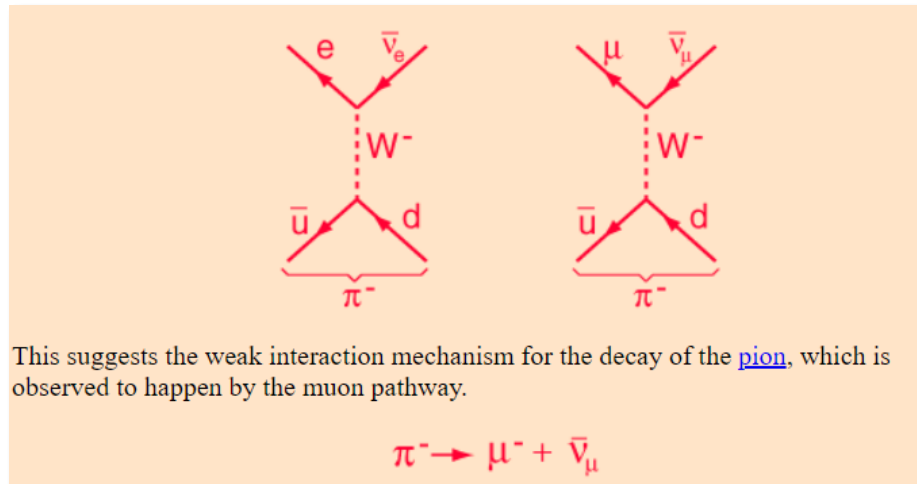
**Bosonul  $W$**  (cu sarcina negativă) poate să schimbe natura unui lepton; făcând conversia acestuia dintr-un tip în altul - este un intermediar cu viață extrem de scurtă și implică schimbarea masei particulei originale (care îl absoarbe sau emite) - deci și a identității sale.

Putem afirma că un anti-neutrîn leptonic poate fi transformat în leptonul aferent prin schimbul unui boson  $W$  (prin emisie/absorbție), de unde și transformarea de masă.

- **Orice proces poate avea asociate mai multe diagrame de acest tip!**



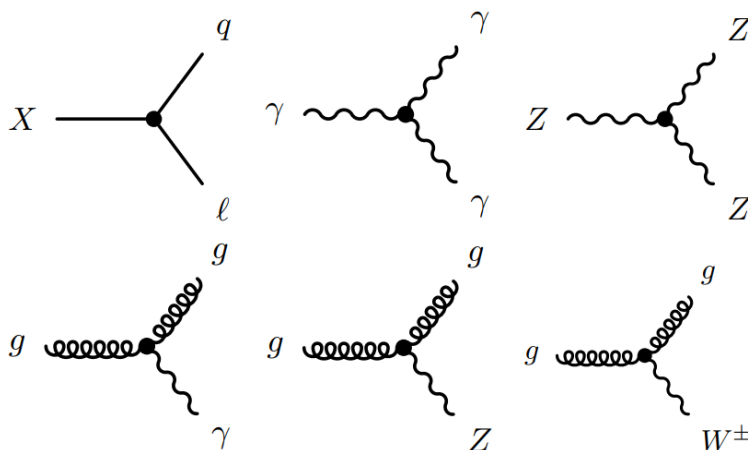
**Bosonul Z (neutru) nu implică schimbarea aromei quarkului( deci nici transformarea de masă) și poate înlocui la fel de bine fotonul virtual - el va duce la schimbarea sarcinii electrice a particulei. Un anti-quark schimbă un boson Z și trece într-un quark; are loc transformarea sarcinii electrice.**



**Mecanismul de dezintegrare W- implică și pionul(care este un mezon);**

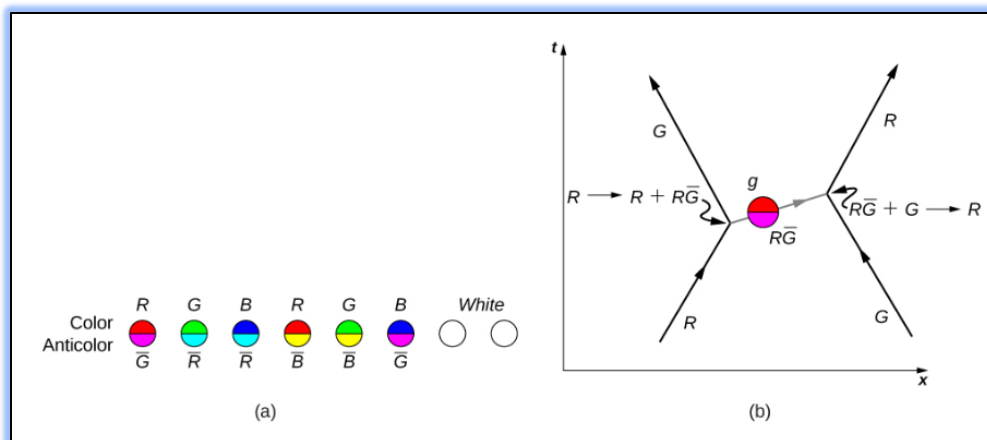
- Pionul se descompune într-un intermediar instabil (W-) care la rândul lui se dezintegrează într-un electron și un antielectron. Orice proces de compunere poate fi privit conform acestor diagrame ca un proces invers de descompunere.

**Observație:** fiecare săgeată indică progresul particulei dar nu și traiectoria acesteia! Liniile propagatoare care desemnează intermediarii virtuali(bosonii gauge) nu indică particule „detectabile”/vizibile, ci doar mecanisme relaționale.



**Cele de mai sus sunt diagramele interzise !!!**





- **Diagrama care descrie mecanismul de funcționare al forței de culoare, prin schimb de gluoni între quark-uri;**

Un **quark roșu**( $R$ ) emite un gluon(roșu-antiverde) și se transformă într-un **quark verde**; Gluonul este captat de un alt **quark verde** și trece într-un **quark roșu**. **Schimbul de gluoni** duce la o **transformare a culorii unui quark**. Acest mecanism permite conținerea quark-urilor în hadroni.

**Obs:** Nodul este punctul în care are loc emisia sau absorbția de particule purtătoare de forță!

La nivel cuantic, interacțiunile fermionilor apar prin emisia și absorbția particulelor de câmp asociate cu interacțiunile fundamentale ale materiei, în special forța electromagnetică, forța tare și forța slabă.

**!!! Gravitația(extrem de slabă la scara cuantică) rămâne un mister, momentan !!!**

**Diagramele Feynman;** sunt instrumente matematice esențiale în calculul amplitudinilor de probabilitate ale unor procese de împrăștiere, descompunere sau ciocnire. Antiparticula devine astfel o particulă care călătorește înapoi în timp în reprezentarea lui Feynman.

**Universul evoluează concomitent în acord cu toate scenariile posibile!**

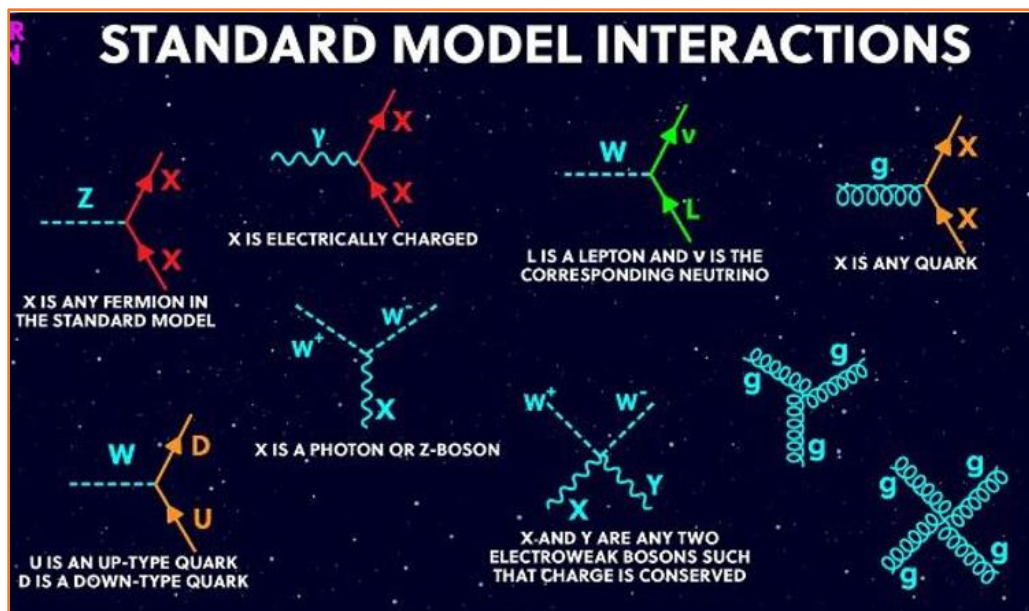
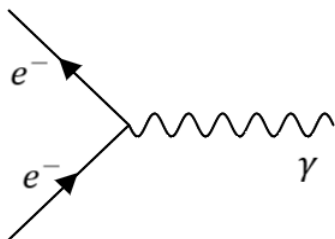


Fig. 11 - Diagramele Feynman sunt doar mijloace matematice de vizualizare simplificată a interacțiunilor fizice- fiecare simbol grafic ascunde o notație în ecuația asociată;

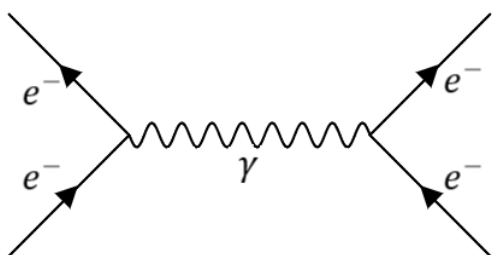
$$\begin{aligned}
 &= \left[ \bar{u}^s(p') (-ie\gamma^\mu) u^s(p) \right] \left( \frac{-i}{(p-p')^2} \right) \\
 &\quad \int \frac{d^4 w}{(2\pi)^4} \text{Tr} \left[ (-ie\gamma_\mu) \left( \frac{i(\not{w} + m)}{w^2 - m^2} \right) (-ie\gamma_\nu) \left( \frac{i(\not{p} - \not{p}' + \not{w} - \not{k} + m)}{(p-p'+w-k)^2 - m^2} \right) (-ie\varepsilon^\lambda(k)) \left( \frac{i(\not{p} - \not{p}' + \not{w} + m)}{(p-p'+w)^2 - m^2} \right) \right] \\
 &\quad \left( \frac{-i}{(p-p'-k)^2} \right) \left[ \bar{u}^s(q') (-ie\gamma^\nu) u^s(q) \right]
 \end{aligned}$$

### Alte diagrame Feynman explicate individual;

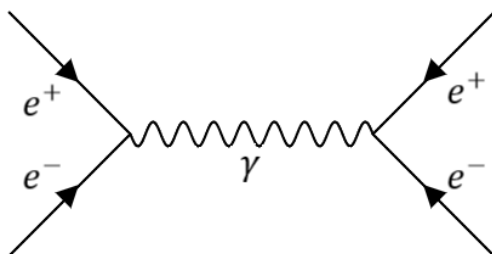
Nu uităm că în evaluarea amplitudinilor de probabilitate ale diverselor procese de împrăștiere, dezintegrare, ciocnire... diagramele Feynman(chiar dacă sunt reprezentări simbolice) joacă un rol cheie!



**Interpretare:** Particula de input emite sau absoarbe un foton virtual și trece într-o stare energetică diferită; două moduri de a privi diagrama din perspectiva a două fenomene distincte. Diagrama este un „vertex primitiv”.

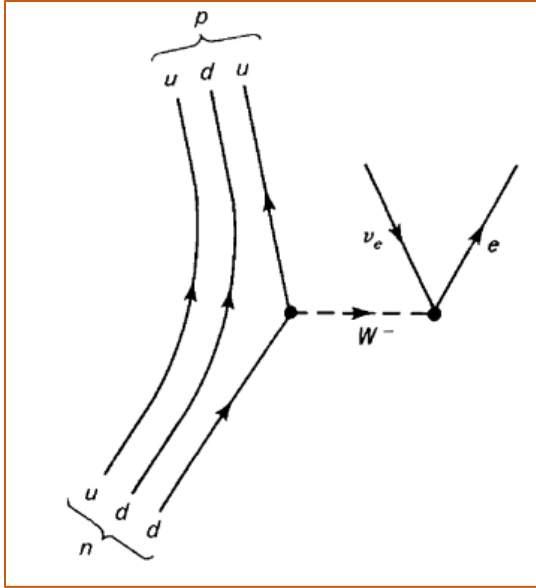


**Interpretare:** Un electron (stâng/drept) emite un foton virtual care este absorbit de un electron(drept/stâng), având loc repulsia electrostatică între cele două particule. Se observă că ordinea evenimentelor nu este de interes – o aceeași diagramă poate desemna procese distincte;

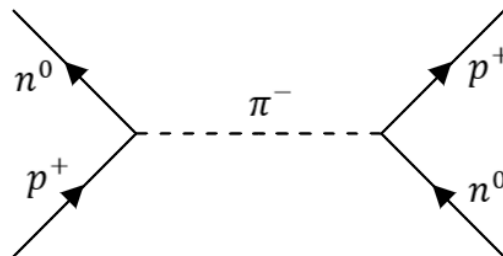
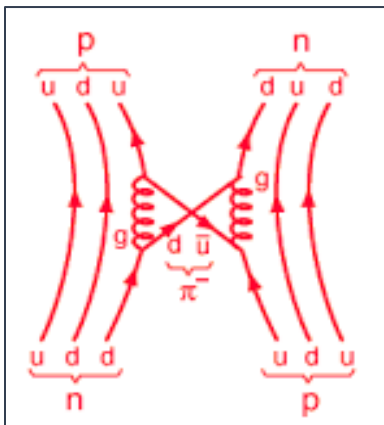


**Interpretare:** Un electron întâlnește un pozitron(anti-electron) și se anihilează reciproc, rezultând un foton gamma. Acest foton recompune perechea inițială electron-pozitron;

**Povestea:** A fost odată un electron și un pozitron; au schimbat un foton; apoi din nou a fost un electron și un pozitron. Există o infinitate de diagrame Feynman.

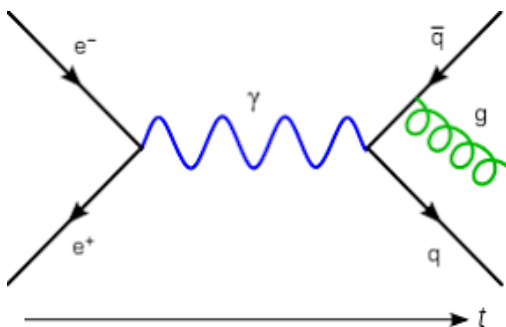
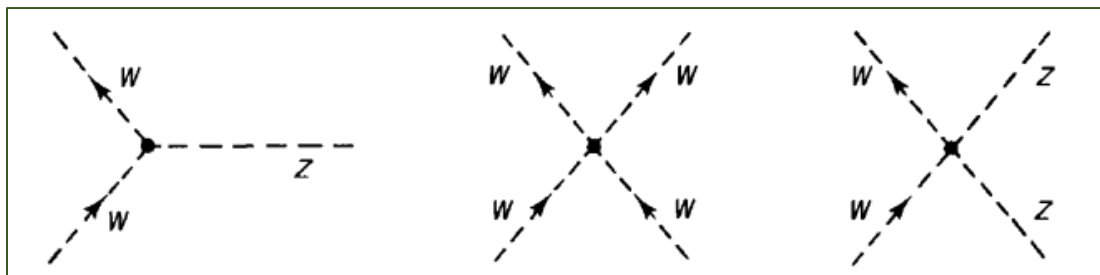


**Interpretare:** Un quark down schimbă(ex: emite) un boson  $W^-$  care se dezintegrează într-un electron și un pozitron; este chiar reacția de dezintegrare beta- a unui neutron liber.

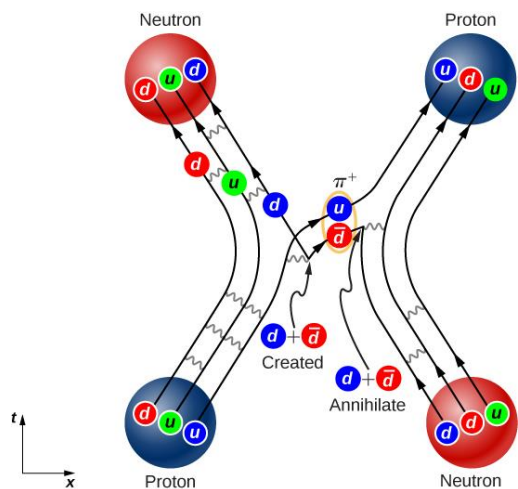


**Interpretare:** Un proton și un neutron interacționează prin schimbul unui pion – nu este de interes cine emite sau cine absoarbe pionul. S-ar putea spune că la emisia sau captarea pionului se va realiza schimbarea identității (conversie).

**Cuplajele între bosonii vectoriali  $W$  și  $Z$ :**



**Interpretare:** Un electron și un pozitron se anihilează rezultând un foton gamma care formează o pereche quark – anti-quark; după un timp și anti-quarkul emite un gluon.



**Interpretare:** mecanismul de interacțiune între quark-urile protonilor și neutronilor; ilustrarea asamblării lor în pioni de schimb( mecanismul forței nucleare tari, reziduu al forței de culoare.)

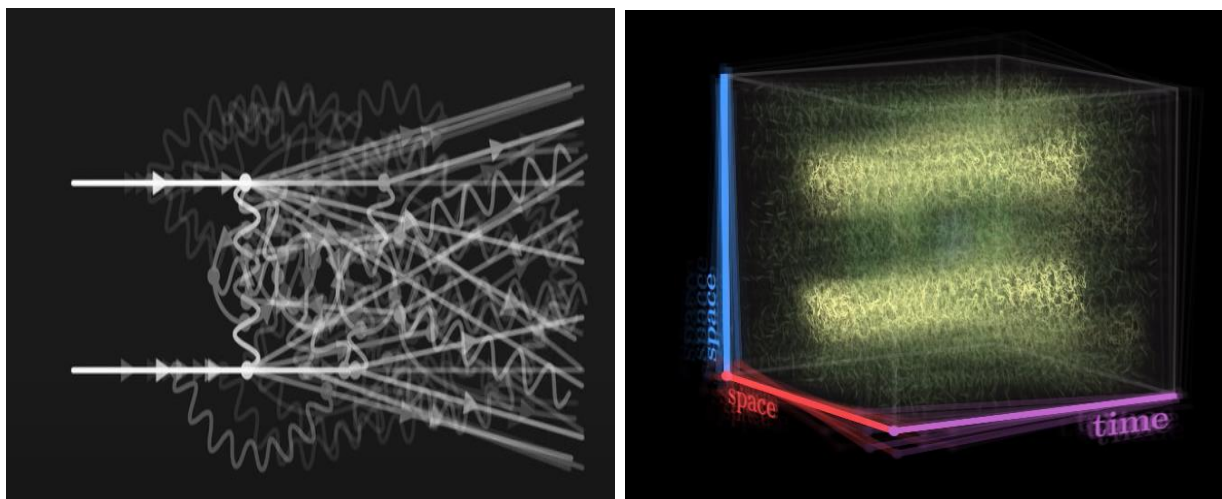


Fig 12 - forța repulsivă dintre doi electroni poate fi privită ca o „sinteză probabilistică” a tuturor scenariilor posibile (cu diagramele lor efective), sumând fiecare propria lui probabilitate.

## Legi de conservare

### Glosar de mărimi fizice:

În fizica particulelor elementare există două categorii de legi de conservare;

- I) Legi generale; sunt valabile pentru orice tip de interacțiune, ex: conservarea energiei, a numărului barionic sau leptonic, a sarcinii electrice sau a momentului cinetic.
- II) Legi speciale; au un sector de valabilitate ceva mai restrâns și sunt încălcate în anumite tipuri de interacțiuni, ex: stranietatea este conservată în interacțiunile tari dar nu și în cele slabe.

- Toate aceste legi de conservare acționează ca și constrângeri ale tipurilor proceselor fizice de interacțiune;
- 1) Sarcina electrică( $q$ ); este o proprietate intrinsecă a particulelor și caracterizează mai mult „capacitatea” particulei de a reacționa la aplicarea unui câmp electric extern. Această mărime se conservă în orice tip de proces fizic, chiar și în dezintegrările ce implică forța slabă; „diferența de sarcină” este purtată de bosonul W.



- 2) **Sarcina de culoare(R/G/B);** experiența arată că forța slabă și cea electromagnetică nu afectează sarcina de culoare a unui quark. Chiar și în cazul forței tari, gluonul este emis sau absorbit după un mecanism care conservă sarcina de culoare... De exemplu, dacă un quarc „roșu” se transformă într-un quarc „albastru”, atunci emite un gluon „roșu/anti-albastru”. *Culoarea netă este încă „roșie” și nu se pierde!*
  
- 3) **Numărul leptonic(L);** este un număr cuantic aditiv iar suma numerelor leptonice ale reactanților este egală cu suma numerelor leptonice ale produșilor de reacție – sunt trei tipuri de numere leptonice, asociate celor trei leptoni. *Conservarea numărului lepton garantează că numărul de electroni și pozitroni din univers rămâne relativ constant. Un lepton și neutrinelul său vor avea numărul leptonic aferent  $L = 1$  iar antiparticulele lor au  $L = -1$ .*
  
- 4) **Numărul barionic(B);** este un număr cuantic aditiv iar legea sa de conservare ne indică faptul că numărul de barioni implicați în proces este echivalent cu numărul de barioni rezultați din proces. Convențional, pentru barioni  $B = 1$ , pentru anti-barioni  $B = -1$  iar  $B = 0$  pentru oricare alt tip de particulă. ***Ca și numărul leptonic, numărul barionic este o etichetă asociată pentru recunoașterea tipurilor de particule.***
  
- 5) **Stranietatea(S);** este o proprietate exprimată ca număr cuantic, pentru a descrie dezintegrarea particulelor în interacțiuni puternice și electromagnetice care au loc într-o perioadă scurtă de timp- aceasta este atribuită numai particulelor elementare care se generează în perechi. Stranietatea este de asemenea o mărime care trebuie conservată în toate interacțiunile tari și electromagnetice, dar nu și în cele slabe.  $S$  este diferit de 0 pentru particulele stranii.
  
- 6) **Paritatea(P);** este o caracteristică asociată funcției de undă, fiind un număr cuantic multiplicativ care descrie comportarea funcției de undă a unui sistem cuantic la inversiune spațială- este și un operator asociat, fără corespondent clasic! Funcțiile de undă impare sunt asociate fermionilor iar cele pare bosonilor; se știe că în dezintegrarea beta nu are loc conservarea parității.

**Tabelul numere cuantice asociate paritculelor**

Particle name	Symbol	Lepton number ( $L_e$ )	Lepton number ( $L_\mu$ )	Lepton number ( $L_\tau$ )	Baryon number (B)	Strange-ness number
Electron	$e^-$	1	0	0	0	0
Electron <u>neutrino</u>	$\nu_e$	1	0	0	0	0
Muon	$\mu^-$	0	1	0	0	0
Muon <u>neutrino</u>	$\nu_\mu$	0	1	0	0	0
Tau	$\tau^-$	0	0	1	0	0
Tau <u>neutrino</u>	$\nu_\tau$	0	0	1	0	0
Pion	$\pi^+$	0	0	0	0	0
Positive kaon	$K^+$	0	0	0	0	1
Negative kaon	$K^-$	0	0	0	0	-1
Proton	p	0	0	0	1	0
Neutron	n	0	0	0	1	0
Lambda zero	$\Lambda^0$	0	0	0	1	-1
Positive sigma	$\Sigma^+$	0	0	0	1	-1
Negative sigma	$\Sigma^-$	0	0	0	1	-1
Xi zero	$\Xi^0$	0	0	0	1	-2
Negative xi	$\Xi^-$	0	0	0	1	-2
Omega	$\Omega^-$	0	0	0	1	-3

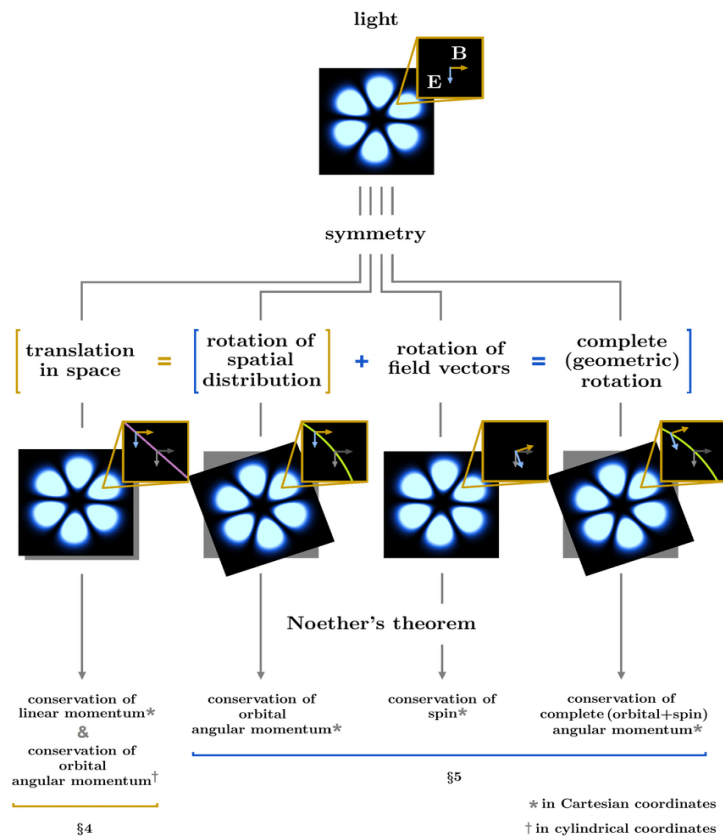
***Aceste mărimi fizice pot fi aseuite cu un fel de coordonate sau grade de libertate. Alte exemple de parametrii importanți din punct de vedere fizic;***

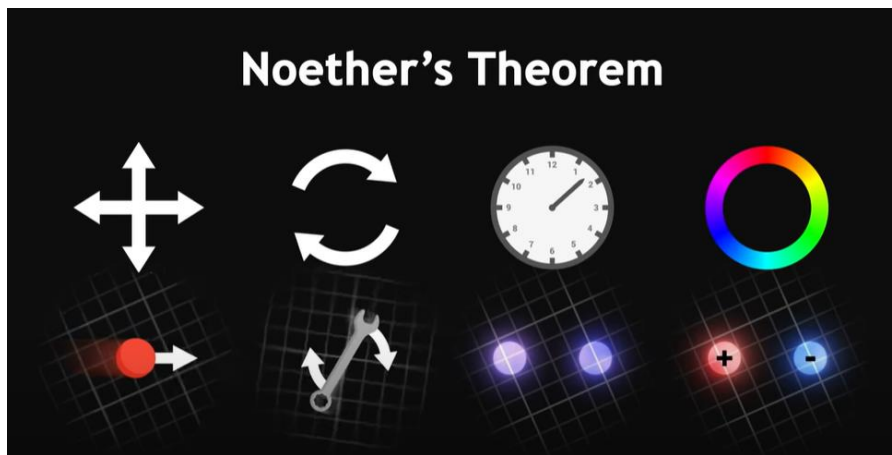
- 7) ***Spinul;*** este momentul cinetic intrinsec asociat fiecărei particule elementare- există un număr cuantic de spin care cuantifică momentul cinetic propriu.
- 8) ***Timpul de viață:*** este caracteristic fiecărei particule și poate să fie infinit(particule stabile) sau finit(scurt, mediu sau lung).

- ***O particulă virtuală este un tip de particulă care posedă anumite caracteristici ale unei particule reale dar care are un timp de viață extrem de scurt... De aceea poate avea în principiu „orice energie”, pe o durată de timp extrem de scurtă, în acord cu principiul de incertitudine!***

Aceste legi de conservare se pot obține pe seama unor criterii de simetrie impuse sistemului fizic, astfel; ***Fiecare lege de conservare este legată de o simetrie continuă și la oricare simetrie continuă se poate asocia o lege de conservare- teorema lui Noether;***

- ➔ ***Simetria este prin definiție orice transformare care lasă invariant sistemul fizic – orice configurație rezultată va fi echivalentă cu prima. Simetriile se studiază prin prisma așa numitor grupuri de simetrie – seturi de elemente(matrici) legate între ele prin diverse operații.***
- ➔ ***Legile de conservare stabilesc decisiv relații între mărimile și caracteristicile cuantice implicate în interacțiunile dintre particule.***

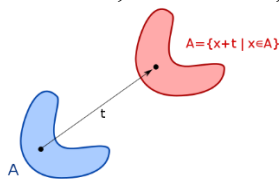




Există 4 grupuri principale de simetrie– fiecare cu propriile sale elemente care exprimă ideile universale de regularitate.

Exemple sugestive:

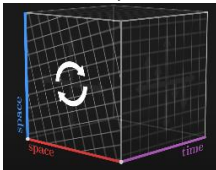
- 1) *Invarianța la translația spațială -implică conservarea impulsului.*



- 2) *Invarianța la translația temporală -implică conservarea energiei totale.*



- 3) *Invarianța la rotație -implică legea conservării momentului cinetic.*



- 4) *Inversia spațială(p) -implică legea conservării parității.*

$$P : \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} \mapsto \begin{pmatrix} -x \\ -y \\ -z \end{pmatrix}.$$

- 5) *Inversia temporală(t) -implică reversibilitatea acțiunilor*

$$T : t \mapsto -t.$$

Symmetry	Transformation	Unobservable	Conservation law
Space-translation	$\mathbf{r} \rightarrow \mathbf{r} + \delta\mathbf{r}$	absolute position in space	momentum
Time-translation	$t \rightarrow t + \delta t$	absolute time	energy
Rotation	$\mathbf{r} \rightarrow \mathbf{r}'$	absolute direction in space	angular momentum
Space inversion	$\mathbf{r} \rightarrow -\mathbf{r}$	absolute left or right	parity
Time-reversal	$t \rightarrow -t$	absolute sign of time	Kramers degeneracy
Sign reversion of charge	$e \rightarrow -e$	absolute sign of electric charge	charge conjugation
Particle substitution		distinguishability of identical particles	Bose or Fermi statistics
Gauge transformation	$\psi \rightarrow e^{iN\theta}\psi$	relative phase between different normal states	particle number

Fig 13 - tabelul simetriilor; transformări – legi de conservare.

**Conjugarea de sarcină(c)** – este operatorul care permite transformarea unei particule în antiparticula sa. O antiparticulă este o particulă care are numerele cuantice interne cu semne schimbate( ex: număr barionic, număr leptonic, stranietate). Masele, energiile, momentele și spinii rămân neschimbate.

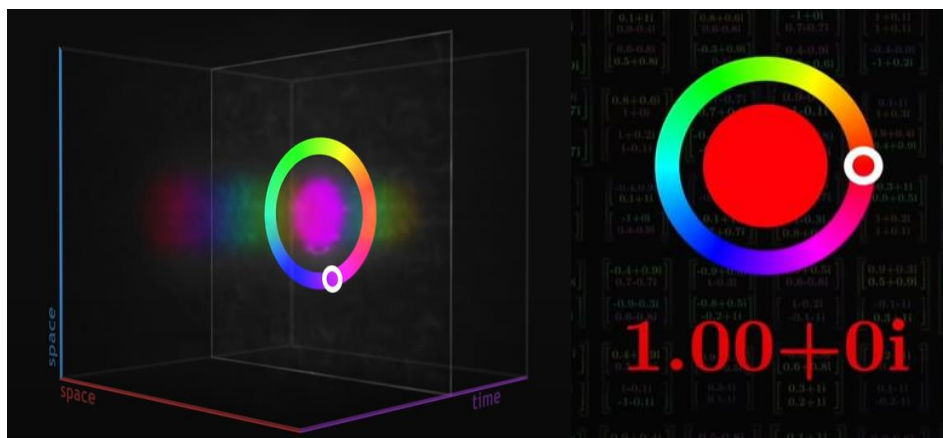


Fig 14 -Sarcina electrică a unui electron este consecința „rotirii fazei numerelor complexe” ale elementelor(spinoilor) câmpului Dirac.

Pentru un pozitron, această fază se rotește în sens contrar – ceea ce este asemănător unui electron care se mișcă înapoi în timp !!!

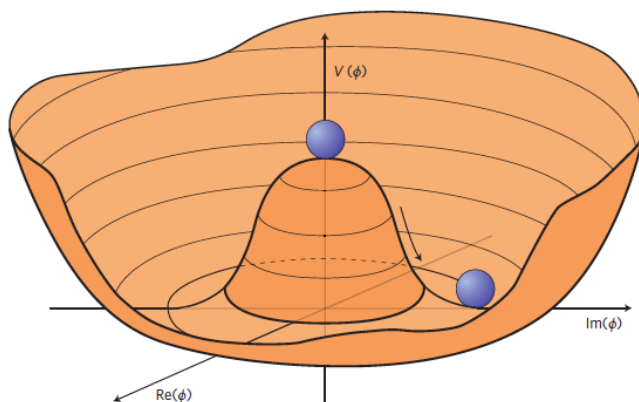
*CPT(conjugare-paritate-este o combinație de 3 operații, fiecare marcând o simetrie discretă– întregul Model Standard este simetric în raport cu această succesiune de operații.*

*Simetriile fizice se traduc în simetrii ale ecuațiilor care descriu lumea reală relativ la; translații, rotații, ogindiri, transformări Lorentz...*

### Simetrii și conservarea în interacțiunile fundamentale

Interacțiunea	Gravitațională	Electromagnetică	Tare	Electroslabă
Intensitatea relativă	$10^0$	$10^{38}$	$10^{40}$	$10^{15}$
raza de acțiune	$\infty$	$\infty$	$10^{-15}\text{m}$	$10^{-18}\text{m}$
conservarea -P	✓	✓	✓	x
conservarea -T	✓	✓	✓	x
conservarea -C	✓	✓	✓	x
conservarea -CP	✓	✓	✓	x
conservarea -CPT	✓	✓	✓	✓

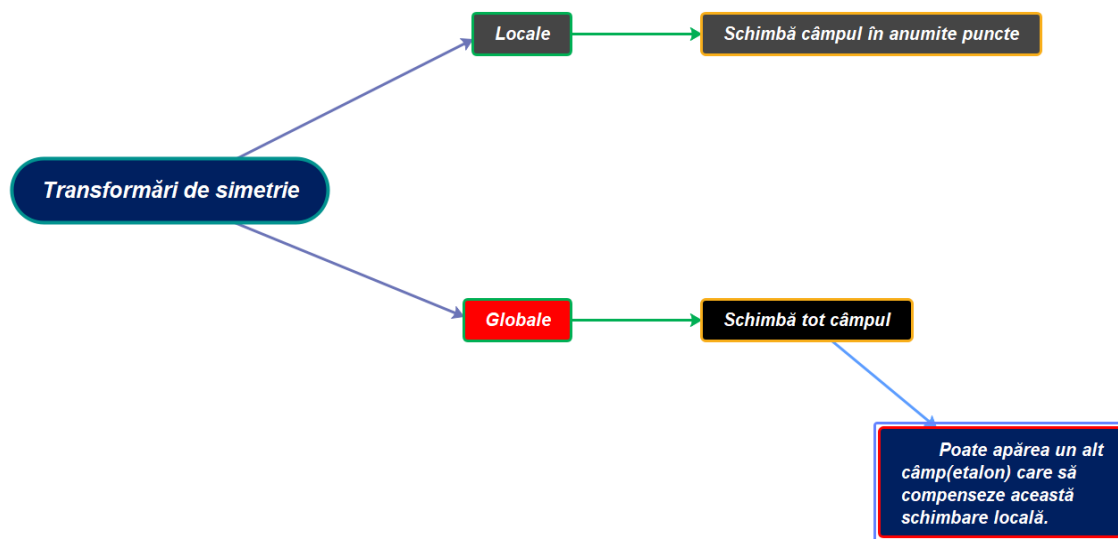
*Există mecanisme de rupere a simetriei; implicând faptul că un sistem simetric în raport cu oricare grup trece spontan într-o formă asimetrică.*



*Fig. 15 – ruperea de simetrie este asemănătoare situației practice în care o bilă plasată în vârful unui deal își pierde echilibrul și alunecă.*



Transformările de simetrie se pot clasifica în două mari categorii - după impactul lor;



---

#### Grupuri de simetrie - matrici asociate

---

- 1)  $U(n)$  – sau grupul matricilor unitare de tipul  $n \times n$ .
  - 2)  $SU(n)$  - sau grupul matricilor unitare de tipul  $n \times n$ , cu determinantul 1.
  - 3)  $O(n)$  – grupul matricilor ortogonale de tipul  $n \times n$
  - 4)  $SO(n)$  – grupul matricilor ortogonale de tipul  $n \times n$ , cu determinantul 1.
- 

- O matrice este unitară dacă  $U^* U = U U^* = I_{n \times n}$

Sau dacă transpusa complex conjugată a matricei este egală cu inversa matricei.

- O matrice este ortogonală dacă  $U^t U = U U^t = I_{n \times n}$

Transpusa matricei este egală deci cu inversa ei.

*Este necesar să menționez că aceste grupuri pot fi de natură discretă sau continuă, în funcție de calitatea mulțimii de a fi numărabilă sau respectiv nenumărabilă. Cele 4 grupuri de simetrie sunt corelate cu „simetriile interne, unitare” ale Modelului Standard;*

✓	simetria $U(1)$ – conservarea sarcinii electrice (QED), a numărului, barionic, leptonic, etc.)
✓	simetria $SU(2)$ - interacțiunea slabă, spin, isospin
✓	simetria $SU(3)$ – interacțiunea tare (culoare - QCD) și stări hadronice
✓	simetria $SU(n)$ - aroma

*Un grup reprezintă în general o mulțime  $G$  înzestrată cu o lege binară de compoziție;*

*Proprietăți:*

- 1) **Asociativitate:**  $a * (b * c) = (a * b) * c$ , oricare ar fi  $a, b, c$  din  $G$
- 2) **Element neutru( $e$ ):**  $x * e = e * x = x$ .
- 3) **Element invers( $x'$ ):**  $x * x' = x' * x = e$ .
- 4) **Comutativitate(opțional):**  $a * b = b * a$

*O imagine de fond asupra spinului unei particule;*

*Spinul unei particule este o calitate intrinsecă fără corespondent clasic – poate fi privit ca pe un moment unghiular – sau ilustrativ „cum se vede particula” de pe urma unor mișcări de revoluție( asemănătoare rotațiilor axiale);*

*Momentul unghiular de spin se cuantifică în funcție de numărul cuantic de spin care poate fi întreg sau fracționar;*

0	$\frac{1}{2}$	1	$\frac{3}{2}$	2
•				

*Explicații naive;*

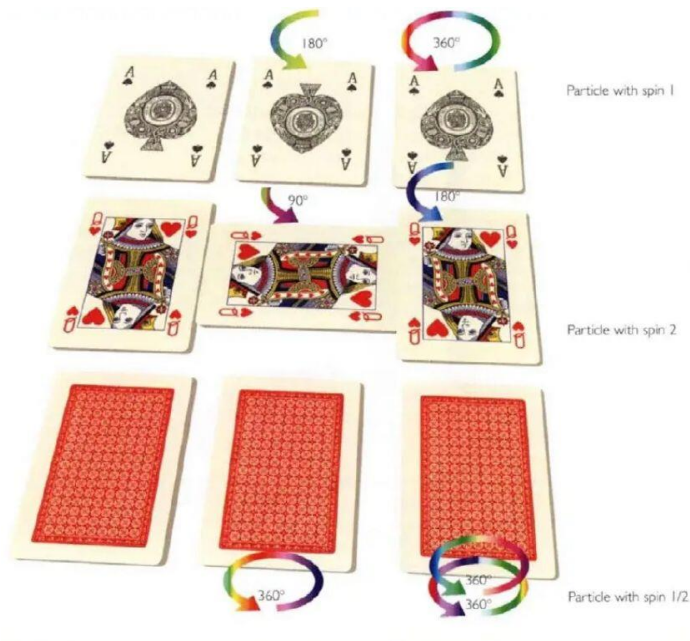
**Spinul 0;** pentru particulele care nu prezintă variații de configurație indiferent de unghi.

**Spinul 1;** pentru particulele care prezintă aceeași configurație după o singură rotație completă;

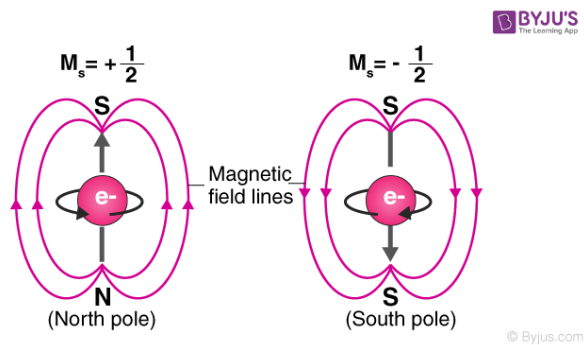
**Spinul  $\frac{1}{2}$ ;** pentru particulele care prezintă aceeași configurație după 2 rotații complete;

**Spinul 2 ;** pentru particulele care prezintă aceeași configurație după  $\frac{1}{2}$  rotații complete;

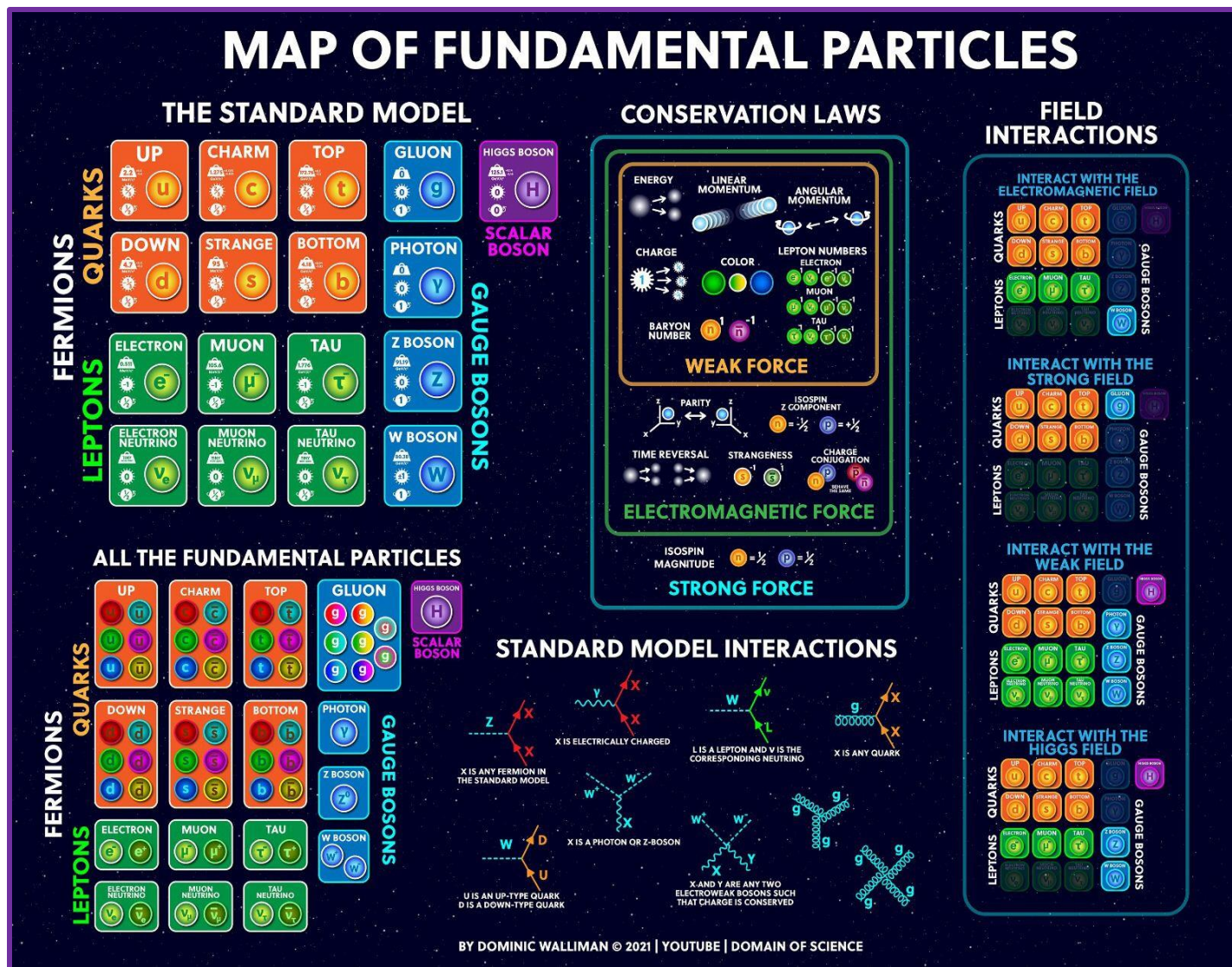
- Pentru a înțelege mai bine conceptele, avem imaginea:



*Aceasta este doar o imagine analogă cazului clasic- un mod vizual de conceptualiza situația – spinul are deci profunde legături cu simetriile spațiului.*



*O imagine cât 1000 de cuvinte:*



*Notă: ceea ce am încercat a fost să încadrez cele mai generale aspecte într-un scurt rezumat introductiv, nu foarte dens dar aparent minuțios – aceste concepte pun bazele de temelie în studiul unor capitole majore, cu numeroase implicații matematice și practice.*

*Un aspect practic în toată această poveste rămâne chiar detectarea unor particule exotice precum și reconstruirea inversă a unor canale de dezintegrare care conduc către anumiți constituenți remarcabili – în fizica detectorilor experimentali.*

The four fundamental interactions of nature<sup>[42]</sup>

Property/Interaction	Gravitation	Electroweak		Strong	
		Weak	Electromagnetic	Fundamental	Residual
Mediating particles	Not yet observed (Graviton hypothesised)	$W^+$ , $W^-$ and $Z^0$	$\gamma$ (photon)	Gluons	$\pi$ , $\rho$ and $\omega$ mesons
Affected particles	All particles	Left-handed fermions	Electrically charged	Quarks, gluons	Hadrons
Acts on	Stress energy tensor	Flavour	Electric charge	Color charge	
Bound states formed	Planets, stars, galaxies, galaxy groups	—	Atoms, molecules	Hadrons	Atomic nuclei
Strength at the scale of quarks (relative to electromagnetism)	$10^{-41}$ (predicted)	$10^{-4}$	1	60	Not applicable to quarks
Strength at the scale of protons/neutrons (relative to electromagnetism)	$10^{-36}$ (predicted)	$10^{-7}$	1	Not applicable to hadrons	20

• **Sursele valoroase consultate pentru făurirea acestei introduceri:**

- 1) [Modelul standard - Wikipedia](#)
- 2) [Cum a apărut modelul standard? \(scientia.ro\)](#)
- 3) [Griffiths D. Introduction to elementary particles \(Wiley, 1987\)\(T\)\(405s\).djvu \(msu.ru\)](#)
- 4) [Map of Fundamental Particles Poster for Flickr - a photo on Flickrriver](#)
- 5) [Teoria modelului standard al particulelor elementare \(scientia.ro\)](#)
- 6) [Modelul standard - Wikiwand](#)
- 7) [Noether's theorem - Wikipedia](#)
- 8) *Fizica din simetrii - Jakob Schwichtenberg.*
- 9) [The Symmetries of the universe - YouTube](#)
- 10) [\(1\) Quantum Electrodynamics and Feynman Diagrams - YouTube](#)
- 11) [\(1\) Quantum Electrodynamics \(QED\) - YouTube](#)
- 12) [\(1\) Quantum Chromodynamics \(QCD\) - YouTube](#)
- 13) [\(1\) The Map of Particle Physics | The Standard Model Explained - YouTube](#)
- 14) [Feb25th2008.key \(ed.ac.uk\)](#)
- 15) [Feynman diagram - Wikipedia](#)
- 16) [File:Standard Model – All Feynman diagram vertices.svg - Wikimedia Commons](#)
- 17) [A New Map of All the Particles and Forces | Quanta Magazine](#)
- 18) [Standard Model - Wikipedia](#)
- 19) [5. Feynman Diagrams - Particle and Nuclear Physics \(cam.ac.uk\)](#)
- 20) [CheatSheet.pdf \(cern.ch\)](#)
- 21) [Stephen Hawking-Universul Intr-o Coaja de Nuca-Humanitas \(2004\) - Free Download PDF \(kupdf.net\)](#)
- 22) [The Standard Model – The Physics Hypertextbook](#)