

FERMIONI

3 generatii de fermioni

I

II

III

Leptoni

$<2.2 \text{ eV}$ 0 $\frac{1}{2}$ ν_e electron neutrino	$<0.17 \text{ MeV}$ 0 $\frac{1}{2}$ ν_μ muon neutrino	$<15.5 \text{ MeV}$ 0 $\frac{1}{2}$ ν_τ tau neutrino
0.511 MeV -1 $\frac{1}{2}$ e electron	105.7 MeV -1 $\frac{1}{2}$ μ muon	1.777 GeV -1 $\frac{1}{2}$ τ tau

Quarci

masa→	2.4 MeV	1.27 GeV	171.2 GeV
sarcina→	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$
spin→	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$
nume→	u up	c charm	t top (truth)
	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 down	s strange	b bottom (beauty)

Quarcii

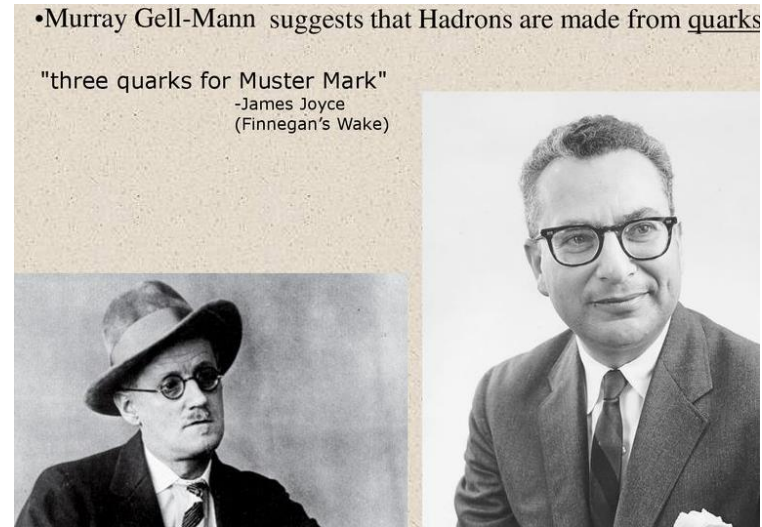
- Denumirea particulei “**quark**” s-a făcut în anul 1964 când Murray Gell-Mann și George Zweig au sugerat faptul că sute de particule cunoscute până atunci ar putea fi explicate ca și combinații de doar trei particule fundamentale.

- Gell-Mann a ales numele de “quark”, pentru aceste trei particule, un cuvânt fără sens folosit de către James Joyce în romanul “Finnegan’s Wake” (Trezirea lui Finnegan): “**Trei quarci pentru Muster Mark!**”

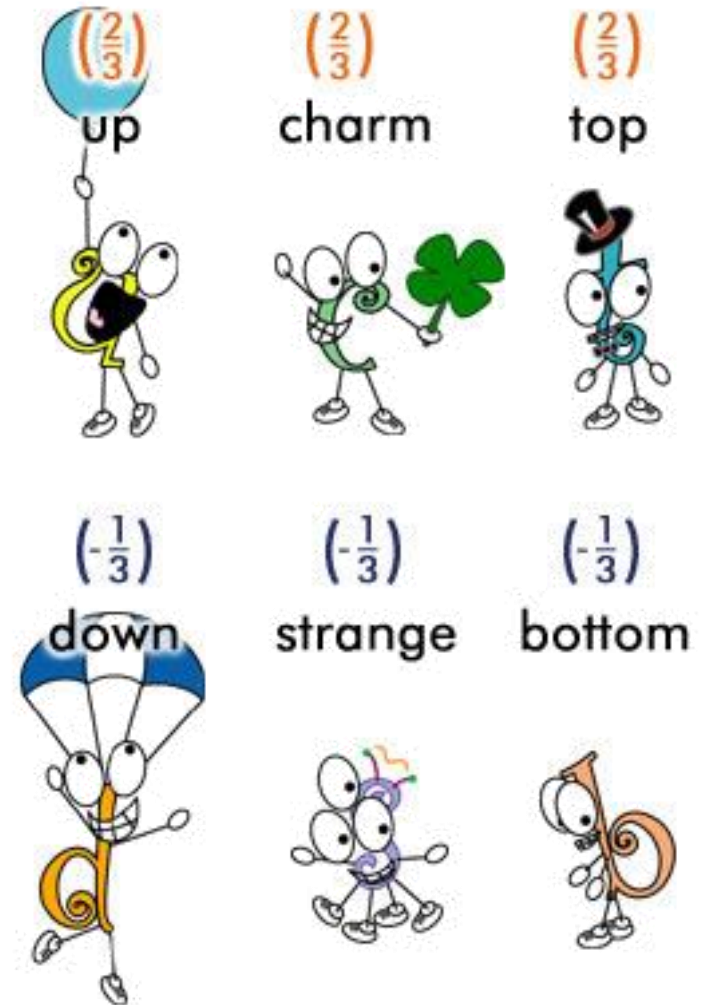
- *Etimologia este de la verbul englez „to quark” care înseamnă „a cloncăni”, „a cârâi” și vine de la dialectul „quark” care înseamnă „a cârâi ca o pasăre”*

- Quarcii sunt constituenții fundamentali ai materiei și care prin combinații specifice formează protoni, neutroni și alte particule grele.

- ✓ Quarcii **nu pot exista independent** și sunt găsiți sub formă confinată prin forțe tari (în stări legate) în grupuri de doi sau trei în interiorul unor particule compozite numite **hadroni** (*nu se poate măsura masa lor în mod independent*).
- ✓ Totuși masa hadronilor poate fi evaluată din experimente de împrăștiere întrucât masa hadronului primește contribuții de la energia cinetică și potențială a quarcilor ca urmare a interacțiunilor tari. Această contribuție este foarte mică; de exemplu, masa unui proton este de $0.938 \text{ GeV}/c^2$, iar suma maselor celor doi quarci, unul „up” și unul „down” este în total $\approx 0.02 \text{ GeV}/c^2$.



- În momentul actual sunt cunoscuți șase quarci.
- Fiecare quarc este caracterizat de o aromă (*tip de particulă caracterizată de un set de numere cuantice*).
- Punerea lor în evidență a fost făcută în trei generații:
 - (I) **up** (sus) și **down** (jos)
 - (II) **charm** (farmec) și **strange** (ciudat)
 - (III) **top** (deasupra) și **bottom** (dedesubt)
- Pentru fiecare din acești quarci există un antiquarc corespunzător.
- Quarzii au o caracteristică neobișnuită: **sarcină electrică fracțională** $\pm \frac{1}{3}$ sau $\pm \frac{2}{3}$
- Sunt caracterizați de un alt tip de sarcină, numită **sarcină de culoare**. Fiecare din cei șase quarci au trei culori diferite.



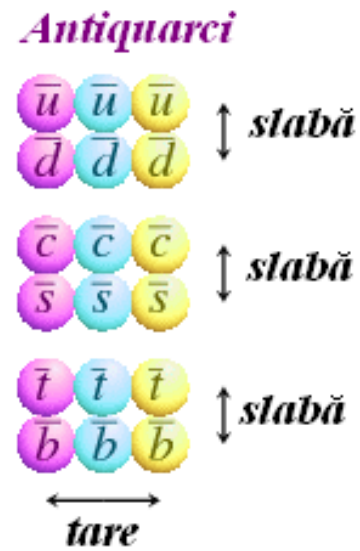
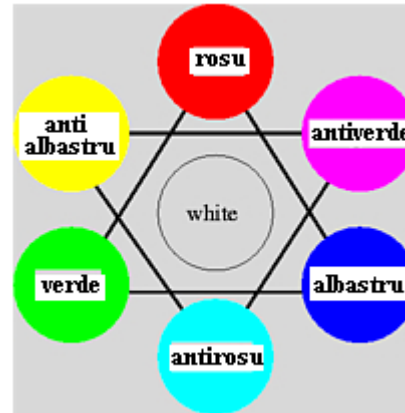
➤ **Culoarea** - în fizica particulelor elementare, este un concept al interacțiunii tari, analog sarcinii în interacțiunile electromagnetice.

- ✓ Proprietate de „culoare” a fost introdusă pentru a caracteriza quarcii, permițând ca aparent quarcii identici să existe în aceeași structură hadronică, (*de exemplu, doi quarci „up” și unul „down” pot să existe în proton*).
- ✓ Proprietatea de culoare face ca trei quarci să coexiste și să satisfacă principiul de excluziune al lui Pauli.

Proprietăți ale quarcilor						
Generația	Izospin slab	Aroma	Nume	Simbol	Sarcina	Masa (MeV/c ²)
1	+1/2	$I_z=+1/2$	up	u	+2/3	1.5–4.0
1	-1/2	$I_z=-1/2$	down	d	-1/3	4–8
2	-1/2	S=-1	strange	s	-1/3	80–130
2	+1/2	C=1	charm	c	+2/3	1150–1350
3	-1/2	B'=-1	bottom	b	-1/3	4100–4400
3	+1/2	T=1	top	t	+2/3	170900±1800

✓ Proprietatea de culoare are trei valori (trei sarcini de culoare: **roșu(r)**, **verde(g)** și **albastru(b)**).

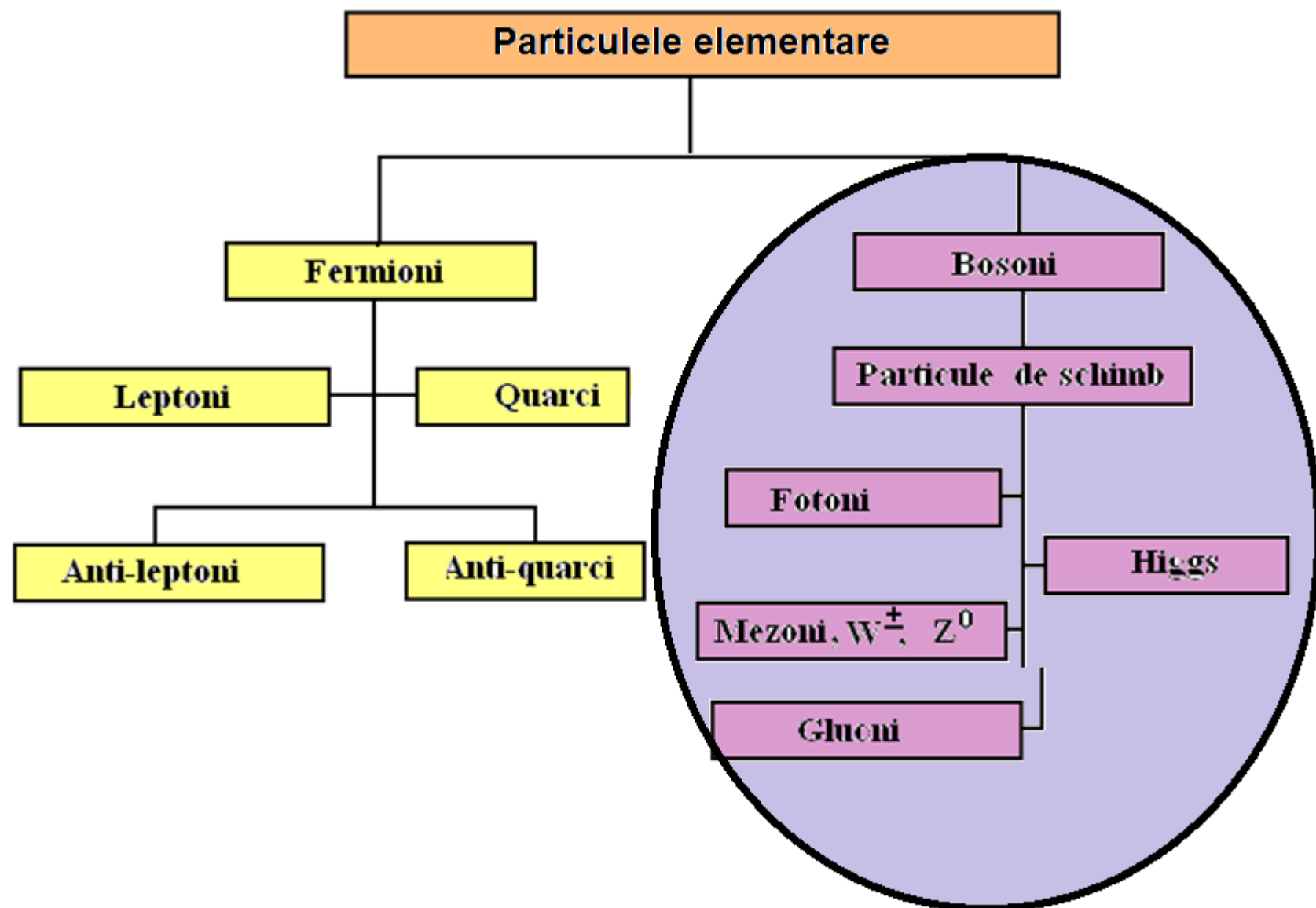
✓ Cele trei culori, roșu, verde și albastru pot forma lumina albă, astfel că, combinația lor poate forma particule fără culoare astfel forțele dintre ele să fie atractive.



- Termenul de **culoare a quarcilor** desemnează de fapt, **stări cuantice distincte**;
- Numai starea de culoare neutră este permisă pentru ca forțele să fie atractive.
- **Antiquarcii** au **anticulori** (exemplu, mezonii sunt formați din perechi quark-antiquark).

➤ Proprietăți fundamentale ale quarcilor

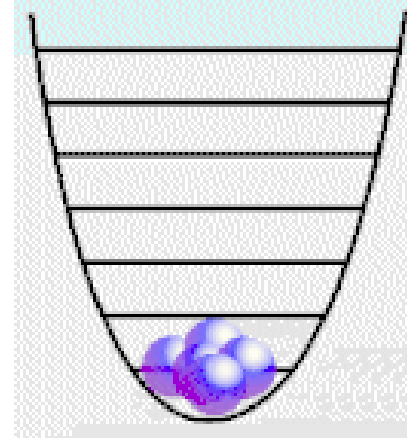
- se supun interacțiunilor tari
- au sarcini electrice fracționare: $\pm 1/3$, $\pm 2/3$
- formează dublete în interacțiunile slabe
- au asociată o culoare și formează tripleți în interacțiunile tari.



□ Bosonii

- Statistica Bose-Einstein determină distribuțiile statistice ale particulelor identice de spin întreg (0, 1, 2, 3,..) numite **bosoni**, peste stările de energie ale sistemelor aflate în echilibru termic.

- **Bosonii** - spre deosebire de fermioni, nu se supun principiului de excluziune al lui Pauli, adică un număr nelimitat de particule pot ocupa aceeași stare cuantică în același timp. Acest lucru explică faptul că, la temperaturi joase, bosonii diferă foarte mult de fermioni, putând colapsa în aceeași stare de energie de valoare cea mai joasă, formând **stări condensate Bose-Einstein**



- Pentru un număr de particule n_i cu stările de energie ε_i , statistica Bose-Einstein este:

$$n_i = \frac{g_i}{e^{\frac{(\varepsilon_i - E_F)}{kT}} - 1}$$

n_i – este numărul de particule în starea de energie ε_i ,

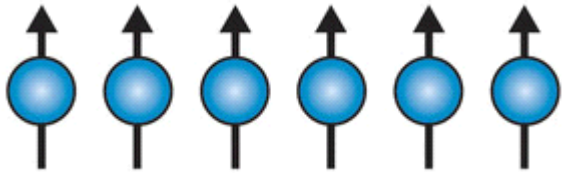
g_i – este gradul de degenerare al stării (densitatea de stări),

E_F – este energia nivelului Fermi (valoarea maximă a energiei pe care o poate lua un sistem de fermioni, la temperatura de zero absolut).

k – constanta Boltzmann

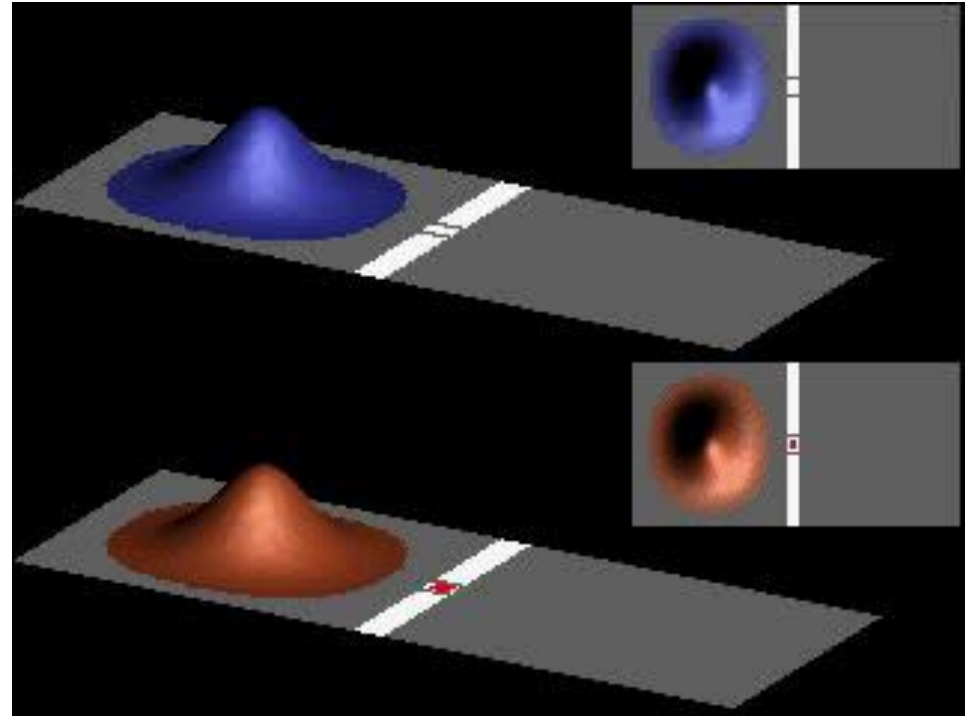
T – temperatura.

- Statistica Bose-Einstein se aplică atunci când efectele cuantice sunt luate în considerare și particulele sunt **indiscernabile**.
- Efectele cuantice apar când concentrația particulelor este mai mare decât concentrațiile cuantice.
- **Concentrațiile cuantice** apar când distanța interparticule este egală cu lungimea de undă de Broglie (*când funcțiile de undă ale particulelor se „ating”, dar nu se suprapun*). Prin urmare, dacă avem doi bosoni, 1, 2, indiscernabili, aceștia vor fi descriși de o funcție de undă care este simetrică la schimbarea particulelor:



$$\psi_{12} \xrightarrow{1 \leftrightarrow 2} \psi_{21}$$

- ✓ bosonii nu sunt constrânși să se supună principiului de excluziune Pauli

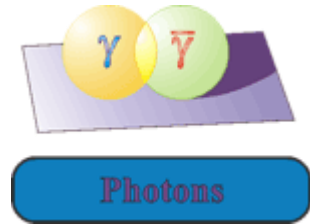


Interschimbul maximului si minimului a probabilitatii de distributie

Bosoni fundamentali (gauge)

Nume	Simbol	Antiparticula	Sarcina (e)	Spin	Masa (GeV/c ²)	Interacțiunea intermediată
Foton	γ	aceiași	0	1	0	electromagnetică
Bosonul W	W^-	W^+	-1	1	80.4	slabă
Bosonul Z	Z	aceiași	0	1	91.2	slabă
Gluon	g	aceiași	0	1	0	tare
Bosonul Higgs	H^0	aceiași ?	0	0	> 112	electroslabă
Graviton	G	aceiași	0	2	0	gravitațională

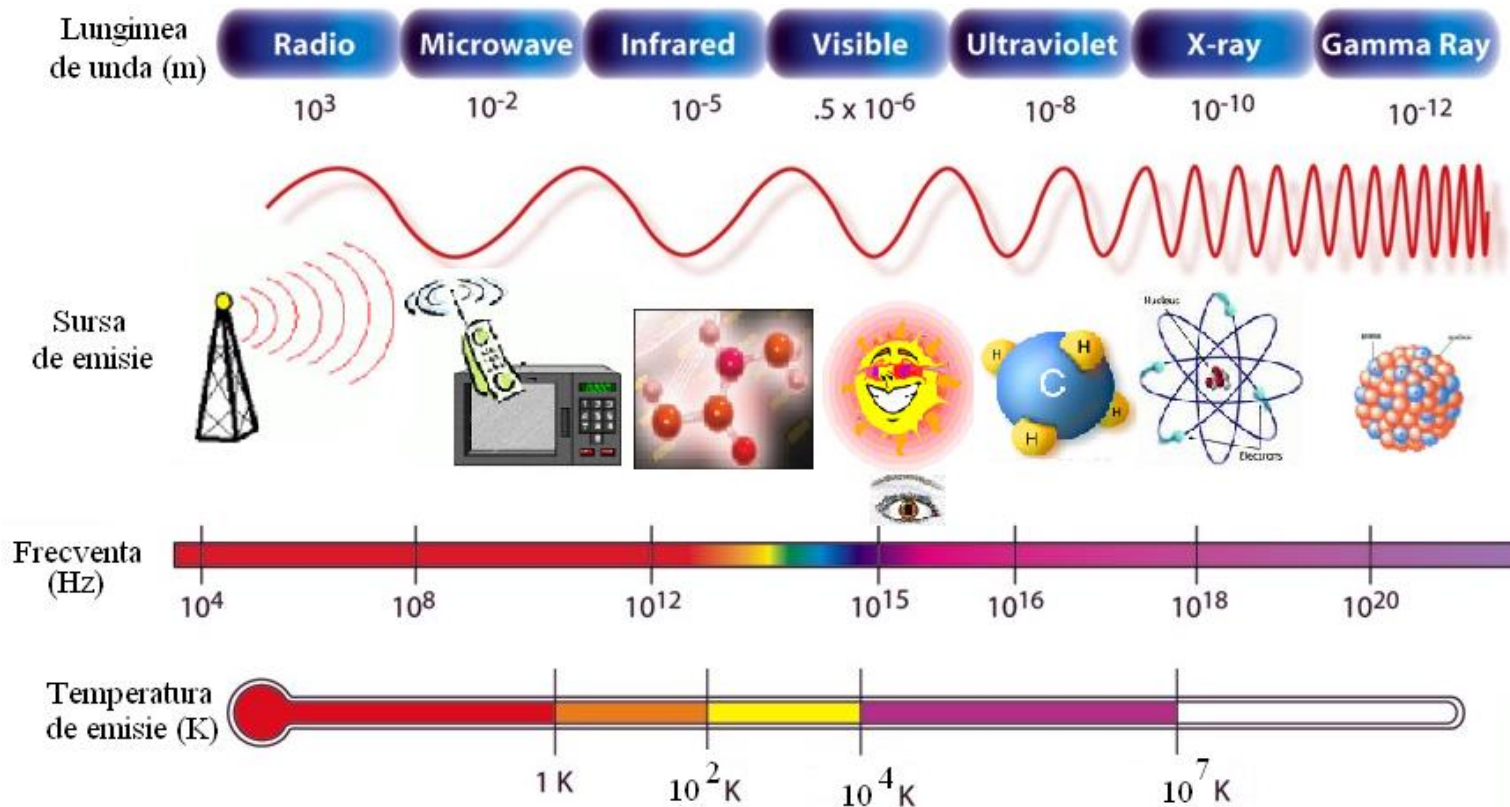
Fotonul



- Particulă elementară din categoria bosonilor (spin = 1) care constituie cuanta de schimb în interacțiunile electromagnetice.
- Proprietăți duale (undă-particulă) - energia implicată în procesele de interacțiune

$$E = \frac{hc}{\lambda} = h\nu$$

- Domeniul de variație a lungimii de undă caracterizează spectrul electromagnetic al interacțiunilor



Domeniu	Lungimea de undă (Å)	Lungimea de undă (cm)	Frecvența (Hz)	Energia (eV)
Radio	$> 10^9$	> 10	$< 3 \times 10^9$	< 10
Microunde	$10^9 - 10^6$	$10 - 0.01$	$3 \times 10^9 - 3 \times 10^{12}$	$10^{-5} - 0.01$
Infraroșu	$10^6 - 7000$	$0.01 - 7 \times 10^{-5}$	$3 \times 10^{12} - 4.3 \times 10^{14}$	$0.01 - 2$
Vizibil	$7000 - 4000$	$7 \times 10^{-5} - 4 \times 10^{-5}$	$4.3 \times 10^{14} - 7.5 \times 10^{14}$	$2 - 3$
Ultraviolet	$4000 - 10$	$4 \times 10^{-5} - 10^{-7}$	$7.5 \times 10^{14} - 3 \times 10^{17}$	$3 - 10^3$
Radiații-X	$10 - 0.1$	$10^{-7} - 10^{-9}$	$3 \times 10^{17} - 3 \times 10^{19}$	$10^3 - 10^5$
Radiații gama	< 0.1	$< 10^{-9}$	$> 3 \times 10^{19}$	$> 10^5$

- Viteza fotonilor în vid este $c = 3 \cdot 10^8$ m/s, iar energia E și impulsul sunt corelate prin relația

$$E = c|\vec{p}|$$

$$\vec{p} = \hbar \vec{k}$$

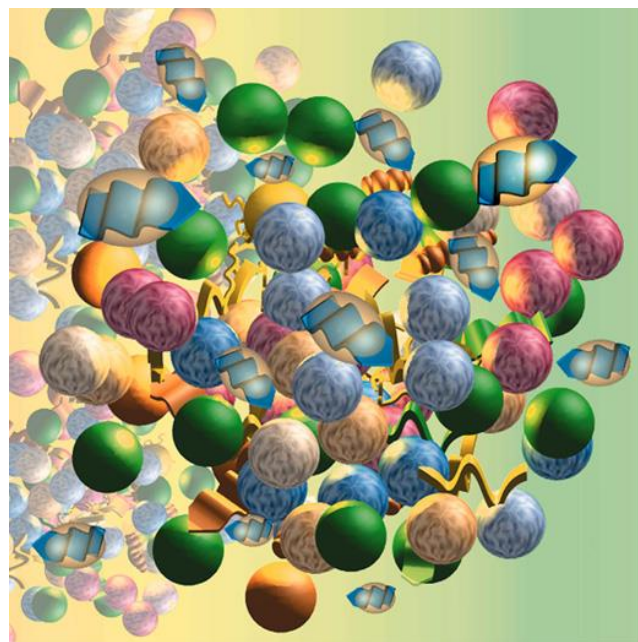
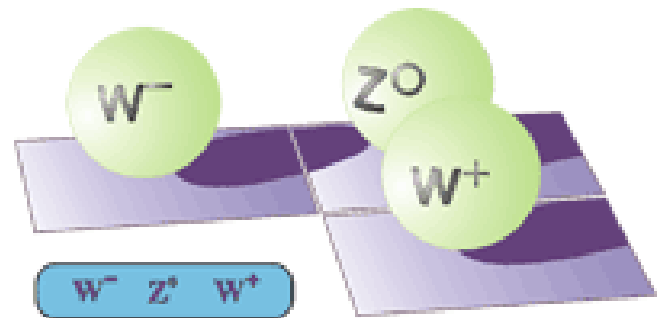
$$\vec{k} = \left| \frac{2\pi}{\lambda} \right|$$

- Spinul este 1, sarcina zero, iar elicitatea este ± 1 corespunzând celor două posibilități de polarizare circulară (polarizare dreapta +1, respectiv polarizare stânga -1).

- **Boson etalon (gauge)**- caracterizat de invariantul de masă (energia și impulsul sunt aceleași în orice sistem de referință)

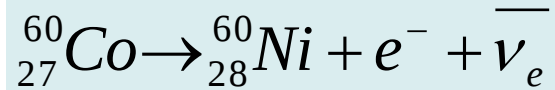
Bosonii $W^\pm$ și Z^0

- Bosonii W și Z sunt particule elementare care mediază forțele slabe (weak – $W^\pm$; W^+ este antiparticula bosonului W^- , Z^0 – sarcina zero).
- Au spinul 1 și sunt particule etalon (gauge) deci sunt caracterizate de invariantul de masă.
- Viața medie a acestor particule este foarte mică, în jur de $3 \cdot 10^{-25}$ s
- Particule teoretizate de S. Glashow, S Weinberg și A. Salam în 1968 în teoria de unificare a interacțiunilor electromagnetice și slabe - *teoria etaloanelor (gauge) $SU(2)$*
- Masa acestor bosoni etalon este de $80.4 \text{ GeV}/c^2$ pentru W și $91.2 \text{ GeV}/c^2$ pentru Z^0 și care este mai mare cu circa două ordine de mărime (100 ori) decât masa protonului (care este $938.27 \text{ MeV}/c^2 \approx 0.93827 \text{ GeV}/c^2$) și, ca urmare, limitează foarte mult raza de interacțiune slabă.

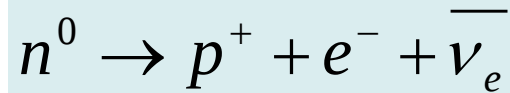


- **Descoperirea experimentală** - în 1983 au fost puse în evidență de către Carlo Rubbia și van der Meer, la CERN (Conseil Européen pour la Recherche Nucleaire), Geneva.

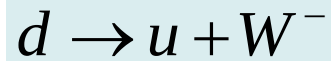
- Bosonul **W** apare în procesele de dezintegrare nucleară – interacțiune slabă



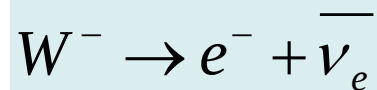
- ✓ Acest proces nu implică întreg nucleul de cobalt-60, ci doar unul din cei 33 de neutroni



- ✓ Neutronul însă nu este o particulă elementară, ci este compus dintr-un quark **up** și doi **down** (**udd**). Deci în acest proces doar unul dintre quarcii **down** se transformă și formează protonul rezultat (**uud**). La nivel fundamental, interacțiunea slabă schimbă aroma (flavour) unui singur quarc



urmat de dezintegrarea imediată ($\approx 10^{-25}$ s) a bosonului W^{-}



- Bosonul **W** poate schimba generarea de particule;

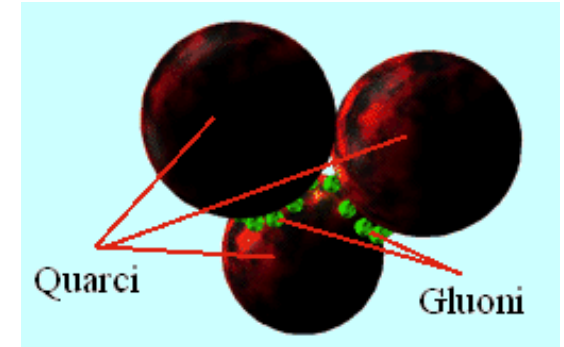
ex: trecerea unui quark **d** sau **c** în quark **u**

- Bosonul **Z⁰** fiind propria sa antiparticulă, are toate numerele cuantice zero și nu schimbă generația sau aroma particulelor emise. Practic, bosonul **Z⁰** mediază transferul de impuls în interacțiunile slabe. Acest proces de transfer mediat de bosonii **Z** poartă numele de interacțiune de curenți neutri

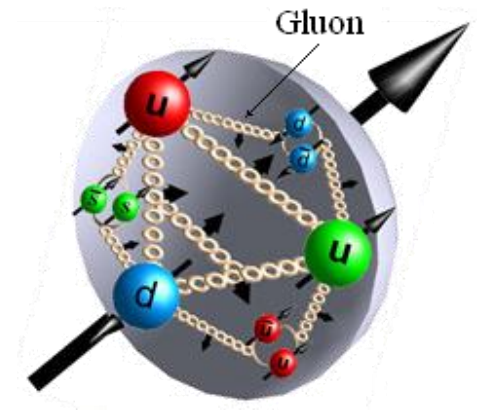
➤ Gluonii

➤ Gluonul g (glue-lipici)

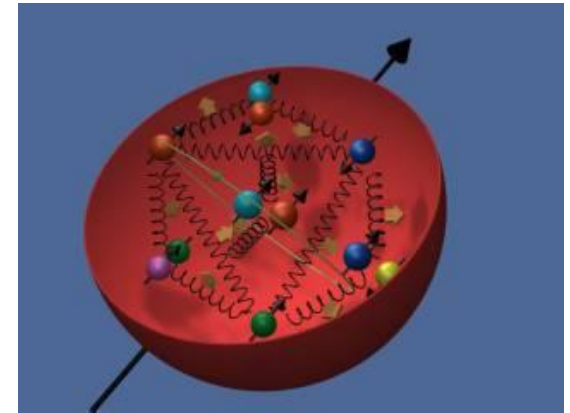
- ✓ particulă elementară **etalon** - boson vectorial
- ✓ **intermediază interacțiunile tari** dintre quarci, prin forțe de culoare
- ✓ formează **particule compozite** (hadroni)
- ✓ are **masa de repaus nulă**
- ✓ **spinul $S=1$**
- ✓ **neutru din punct de vedere electric**
- ✓ limita de **interacțiune**; 10^{-15} m (dimensiunea nucleului)



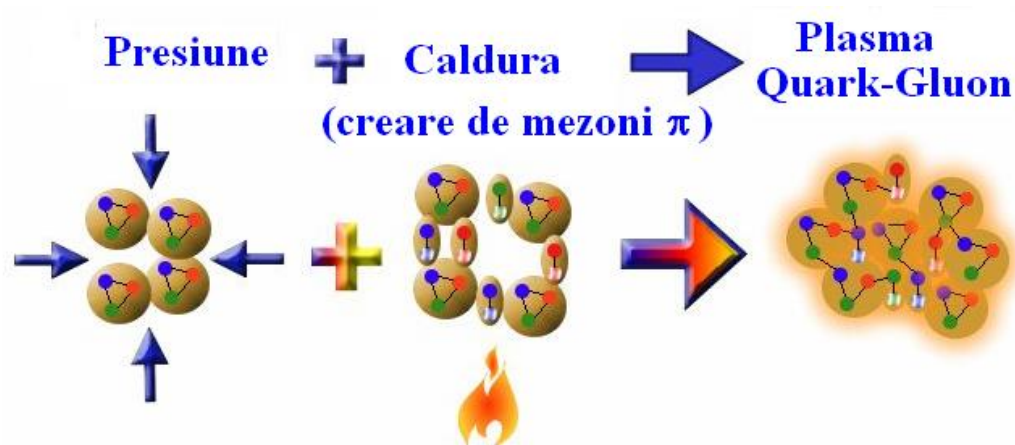
- Quarci și gluonii sunt totdeauna legați în hadroni prin interacțiuni gluon-gluon constrânse într-un **câmp de culoare** conducând la confinarea hadronilor. Consecința confinării hadronilor de către gluoni, face ca aceștia să nu fie implicați direct în forțele nucleare, ci prin intermediul unor particule compozite – **mezoni** (numit și câmp mezonice)



- Gluonii pot exista ca entități ca atare numai în hadroni formați numai din gluoni – **mingi de gluoni** (*glueballs*).
- În astfel de hadroni (**hadroni exotici**), gluonii sunt constituenți primari.
- Aceste structuri energetice sunt extrem de dificil de a fi identificate în acceleratoare de particule, deoarece acestea se amestecă cu stări ordinare ale mezonilor.



- În cromodinamica cuantică, această fază aflată la presiuni și temperaturi extreme, poartă numele de **plasmă quarc-gluon**. În această plasmă nu există hadroni ci doar quarci și gluoni liberi.

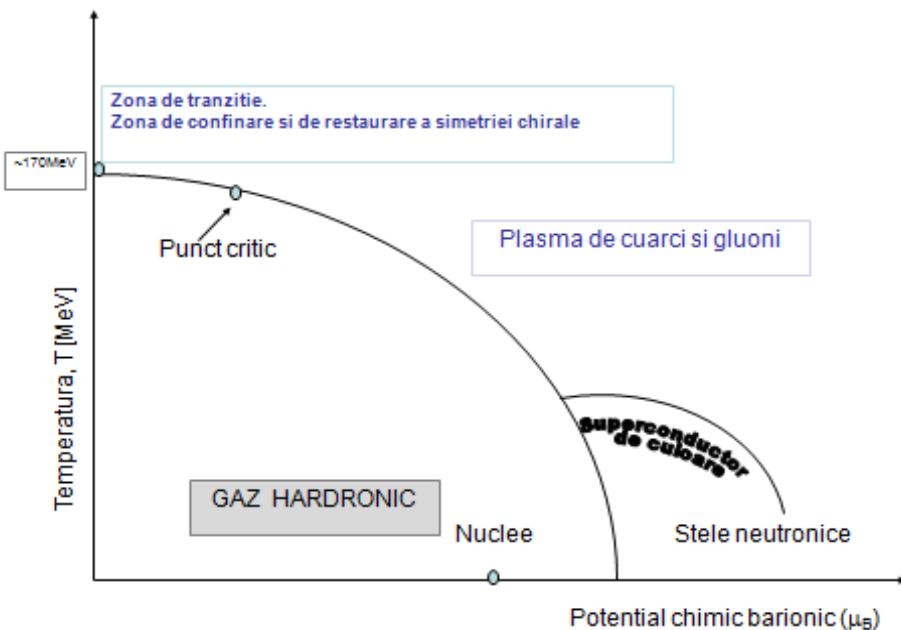


- ✓ O astfel de stare a fost pusă în evidență la RHIC (Relativistic Heavy Ion Collider) BNL

- Plasma de quarci și gluoni este o stare a materiei în cromodinamica cuantică, în care quarcii și gluonii nu sunt confinați în interiorul hadronilor și se pot deplasa liber prin tot volumul ocupat de sistem.
- Studiul proprietăților plamei de quarci și gluoni permite obținerea de informații despre momentele de început ale Universului, imediat după Big Bang, deoarece se consideră că, în Universul timpuriu, înainte de formarea nucleelor și atomilor, a existat această stare a materiei, de quarci și gluoni deconfinați, la câteva microsecunde după Explozia Primordială.
- În prezent, se consideră că stelele neutronice pot conține materie confinată în centrele lor dense.

➤ Proprietăți caracteristice :

- ✓ numărul gradelor de libertate accesibile particulelor 'colorate' în plasma de quarci și gluoni este mult mai mare decât cel disponibil particulelor care formează plasma hadronică;
- ✓ signaturile plamei de quarci și gluoni se bazează pe abundența mult crescută a particulelor de energii relativ mici



- **Gluonii** → particule de schimb în interacțiunile tari → conduc la schimbarea culorilor quarcilor.
- În cromodinamica cuantică - teoria etaloanelor (gauge) SU(3) care permite descrierea interacțiunii, impune existența a $3 \times 3 = 9$ funcții de undă (care corespund combinațiilor celor 3 culori și 3 anticulori ale quarcilor):

$$\mathbf{r\bar{b}}, \mathbf{r\bar{g}}, \mathbf{g\bar{r}}, \mathbf{g\bar{b}}, \mathbf{b\bar{g}}, \mathbf{b\bar{r}}, \mathbf{r\bar{r}}, \mathbf{g\bar{g}}, \mathbf{b\bar{b}}$$

- Funcțiile de undă se obțin prin combinații, formând un octet și un singlet, care constituie setul de generatori în grupul SU(3)

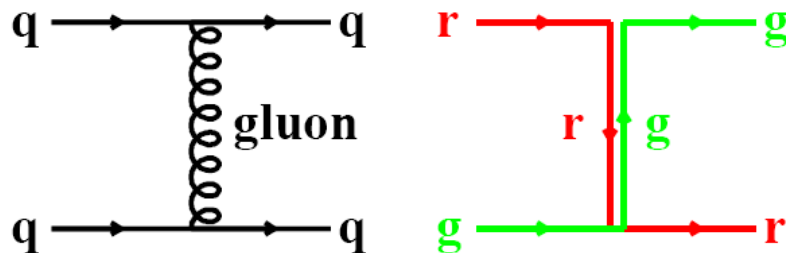
$$\text{Octet} \left\{ \begin{array}{ll} \Psi^1 = \frac{1}{\sqrt{2}} (\mathbf{r\bar{b}} + \mathbf{b\bar{r}}) & \Psi^2 = -i \frac{1}{\sqrt{2}} (\mathbf{r\bar{b}} - \mathbf{b\bar{r}}) \\ \Psi^3 = \frac{1}{\sqrt{2}} (\mathbf{r\bar{r}} - \mathbf{b\bar{b}}) & \Psi^4 = \frac{1}{\sqrt{2}} (\mathbf{r\bar{g}} + \mathbf{g\bar{r}}) \\ \Psi^5 = -i \frac{1}{\sqrt{2}} (\mathbf{r\bar{g}} - \mathbf{g\bar{r}}) & \Psi^6 = \frac{1}{\sqrt{2}} (\mathbf{b\bar{g}} + \mathbf{g\bar{b}}) \\ \Psi^7 = -i \frac{1}{\sqrt{2}} (\mathbf{b\bar{g}} - \mathbf{g\bar{b}}) & \Psi^8 = \frac{1}{\sqrt{6}} (\mathbf{r\bar{r}} + \mathbf{b\bar{b}} - 2 \mathbf{g\bar{g}}) \end{array} \right.$$

singlet $\left\{ \psi^9 = \frac{1}{\sqrt{3}} (\mathbf{r}\bar{\mathbf{r}} + \mathbf{g}\bar{\mathbf{g}} + \mathbf{b}\bar{\mathbf{b}}) \right.$ *Fără culoare ca și fotonul din interacțiunile electromagnetice*

- Așadar există numai 8 combinații ale culorilor gluonilor care pot duce la schimbarea culorilor quarcilor
- Matricile asociate celor trei culori sunt:

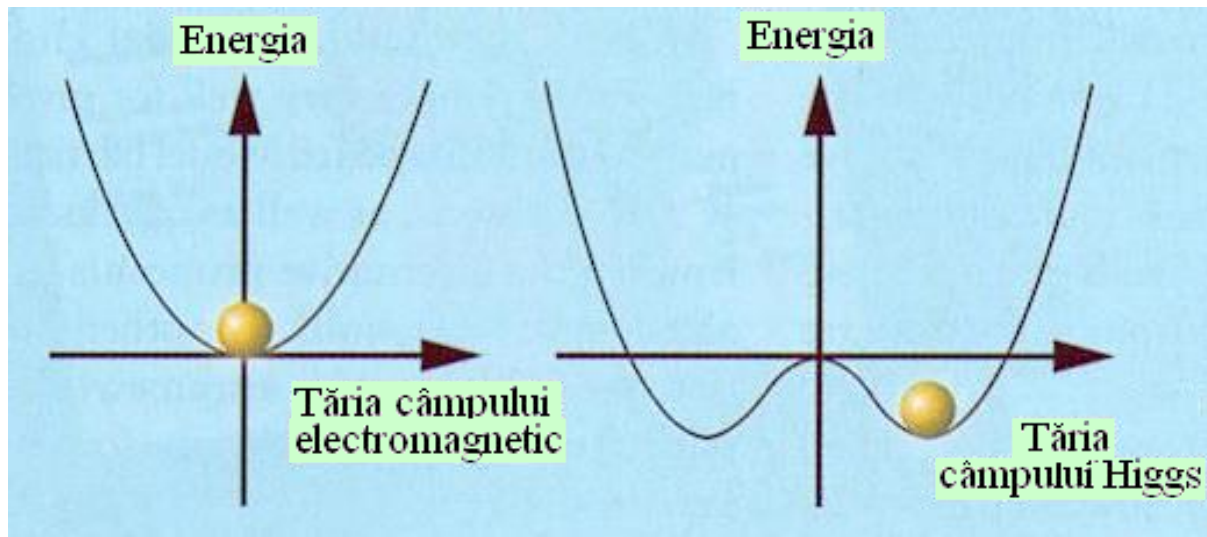
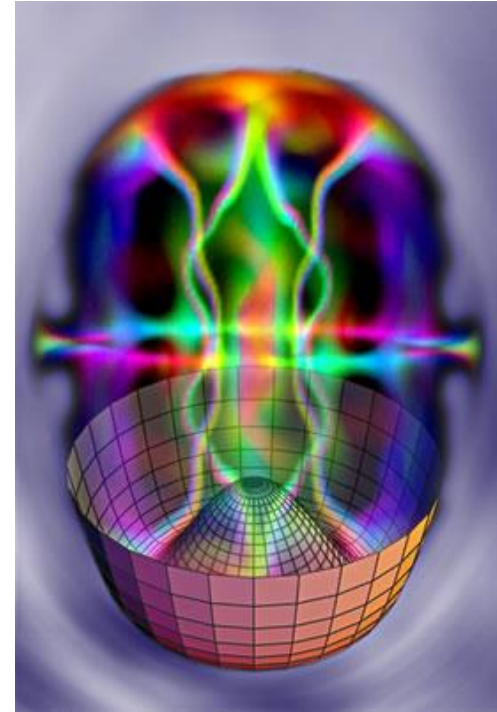
$$\mathbf{r} = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad \mathbf{g} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix} \quad \mathbf{b} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

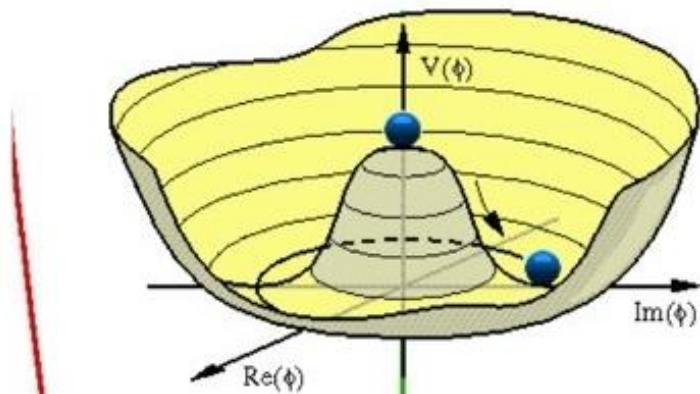
- Gluonii pot să-și schimbe culoare în interacțiunile tari



Bosonul Higgs (H)

- Un **câmp Higgs** este un domeniu de interacțiune care ar trebui să fie responsabil de generarea masei inerțiale și datorită principiului echivalenței lui Einstein dintre energie și masa gravitațională ($E=mc^2$)
- În fizică, vacuumul este definit ca starea în care toate **câmpurile au valoarea cea mai mică posibilă**. În mod obișnuit energia este minimă când toate câmpurile au componentele zero.
- Într-un spațiu vid (**vacuum**) câmpul Higgs capătă o valoare **diferită de zero**, care permite orice poziționare în univers și în orice moment. În mecanismul Higgs, o parte a câmpului se combină cu anumite interacțiuni pentru a produce **bosoni etalon**, iar restul câmpului Higgs descrie noi particule, numiți **bosoni Higgs**. În interacțiunile cu bosonii Higgs, se produc quarcii și leptonii.





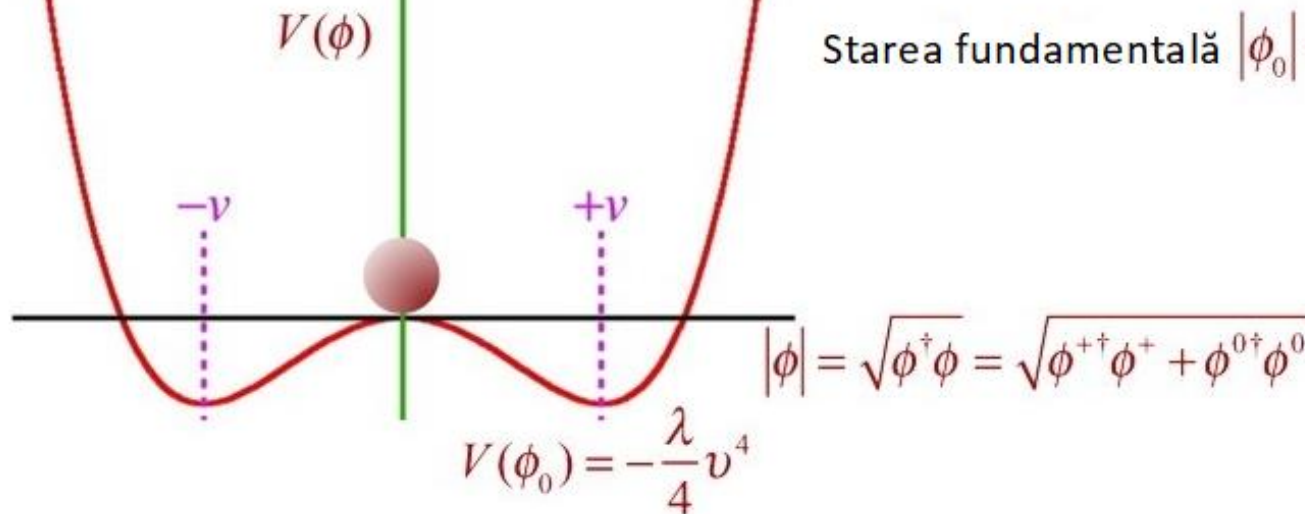
Potențialului Higgs

$$V(\phi) = \frac{1}{2}\mu^2\phi^\dagger\phi + \frac{1}{4}\lambda(\phi^\dagger\phi)^2$$

$\mu_{\text{Higgs}} = \lambda v^2$ - masa Higgs

λ - constanta de autocuplaj (self coupling)

Starea fundamentală $|\phi_0| = \sqrt{\frac{-\mu^2}{\lambda}} \equiv v$



- Masa **bosonului Higgs** este evaluată ca fiind între **125-127 GeV/c²**, astfel că modelul Standard să fie valabil pe întreg domeniu de energii în scala Planck (în jur de **1.22 10¹⁹ GeV** corespunzător masei Planck).
- În fizica particulelor și a cosmologiei, **scara Planck** este o scară de energie în jurul valorii **1.22 × 10²⁸ eV** (care corespunde cu echivalența masa-energie în scala Planck, **2.17645 × 10⁻⁸ kg**) la care efectele cuantice ale gravitației devin puternice

Cantitate	SI echivalente
Timp Planck	$5.39121 \times 10^{-44} \text{ s}$
Masă Planck	$2.17645 \times 10^{-8} \text{ kg}$
Energie Planck	$1.22 \times 10^{28} \text{ eV}$

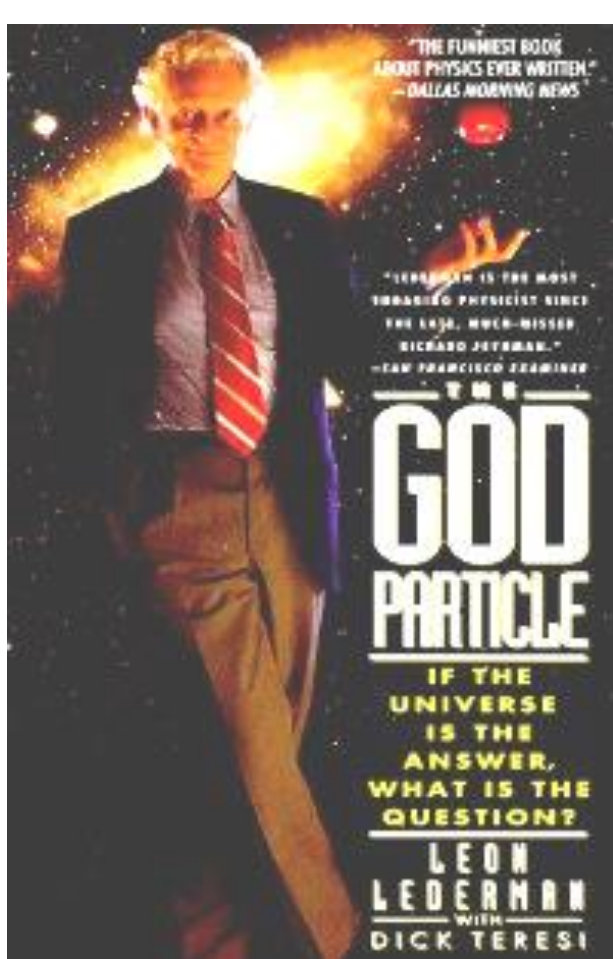
- Masa Planck este o unitate în SUN și care este masa pentru care raza Schwarzschild (r_s) este egală cu lungimea Compton împărțită cu π

$$m_P = \sqrt{\frac{\hbar c}{G}} \approx 1.2209 \cdot 10^{19} \text{ GeV} / c^2 = 2.176 \cdot 10^{-8} \text{ Kg}$$

G – constanta gravitațională
($G=6.67428 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ Kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$)

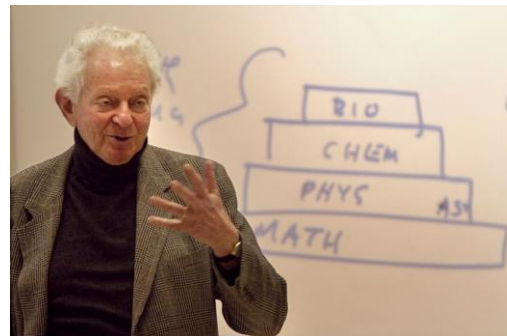
- Raza Schwarzschild este o caracteristică a razei unui punct material asociat masei sale (***raza unui punct material în care nu există forțe sau presiuni de degenerare (ex. gaura neagră)***)

$$r_s = \frac{2G \cdot m}{c^2}$$



*“Există, credem, o prezență fantomatică în tot universul care ne ține departe de înțelegerea adevăratei naturi a materiei. Ca și cum ceva sau cineva ar dori să ne împiedice să atingem limitele cunoașterii. Această barieră invizibilă care ne desparte de aflarea adevărului se numește câmpul Higgs. Tentaculele ei de gheață ajung până în ultimul colțișor al universului, iar implicațiile ei științifice și filosofice îi fac să se înfioare pe fizicieni. Acest câmp Higgs își pune în operă magia neagră prin – nici nu se putea altfel – intermediul unei particule. Această particulă este cunoscută sub numele de bosonul Higgs. ... **Acest boson este atât de important pentru starea fizicii de astăzi, atât de hotărâtor pentru nivelul nostru de înțelegere a structurii materiei, și totuși atât de evaziv, încât a trebuit să-i dau un nume de alint: Particula lui Dumnezeu.** De ce Particula lui Dumnezeu? Din două motive. Unu, pentru că editorul nu ne-ar fi permis să-i spunem Particula Dracului, cu toate că ar fi fost un titlul mult mai potrivit, dacă ne gândim la natura ei infamă și la cheltuielile pe care le prilejuiește. Și doi, există o conexiune, dacă se poate numi așa, cu altă carte, una mult mai veche”.*

Leon Lederman
*The God Particle: If the
 Universe Is the Answer, What Is
 the Question?*



Leon Max Lederman
 1922-2018
 Premiul Nobel 1988

Acea carte este **Facerea, 11, 1-9 (Turnul Babel și încurcarea limbilor)**

Lederman continuă:

“Odată, cu multe milenii în urmă, cu mult înainte ca aceste cuvinte să fi fost scrise, natura vorbea o singură limbă. Pretutindeni materia era aceeași – frumoasă în eleganta, incandescența ei simetrie. Dar de-a lungul miliardelor de ani ea s-a transformat, s-a dispersat în univers sub multe forme, zăpăcindu-ne pe noi, cei ce trăim pe această planetă ca oricare alta, care se învâрте în jurul unui soare mediocru.

Ambele grupuri -fizicieni și astronomi – au progresat către un model simplu, coerent, atotcuprinzător, capabil să explice orice: structura materiei și energia, comportamentul forțelor în medii care se întind de la cele dintâi clipe al universului nou născut cu temperatura și densitatea lui exorbitante până la lumea relativ rece și goală pe care o vedem noi astăzi.

Întrebarea este dacă fizicienii vor fi încurcați de acest puzzle sau dacă, spre deosebire de nefericiții babilonieni, vom continua să construim turnul și, așa cum a spus Einstein, «să cunoaștem gândurile lui Dumnezeu». Și erau în tot pământul mai multe limbi și mai multe graiuri. Și purcezând de la răsărit, oamenii au găsit un șes în țara Waxahachie și au descălecat acolo.

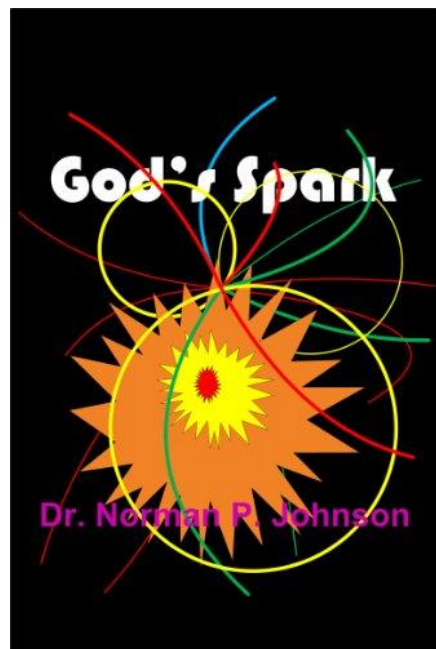
Apoi au zis unul către altul: Haidem să construim un Accelerator, ale cărui ciocniri să ne poată întoarce la începutul timpurilor. Și au folosit magneți superconductori pentru difracție, și au avut protoni spre a-i ciocni.

Atunci s-a pogorât Domnul să vadă acceleratorul pe care-l zideau fiii oamenilor.

Și a zis Domnul: Iată, oamenii descurcă ceea ce eu am încurcat.

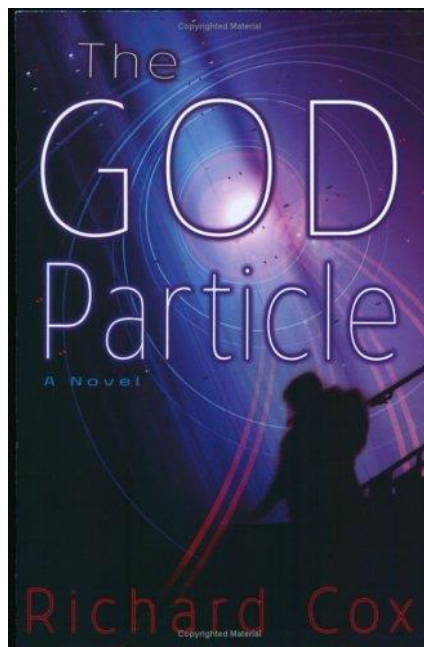
Și a privit Domnul și a spus: Haidem, dar, să ne pogorâm și să le dăm lor Particula Domnului ca să poată ei vedea cât de frumoasă este lumea pe care Eu am zidit-o. Ultra Noul Testament”

Bosonul Higgs – cărți de ficțiune



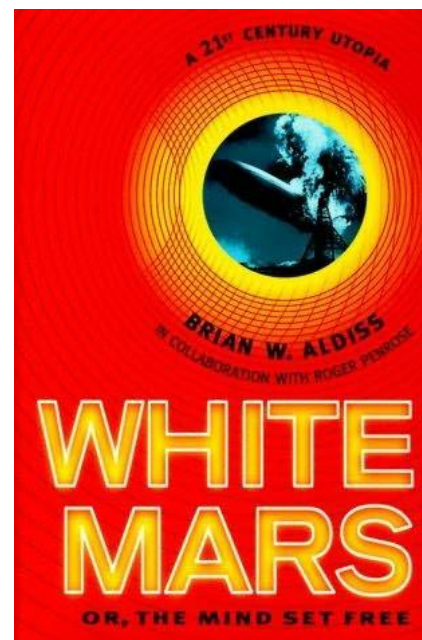
God's Spark

Dr. Norman P. Johnson
2012



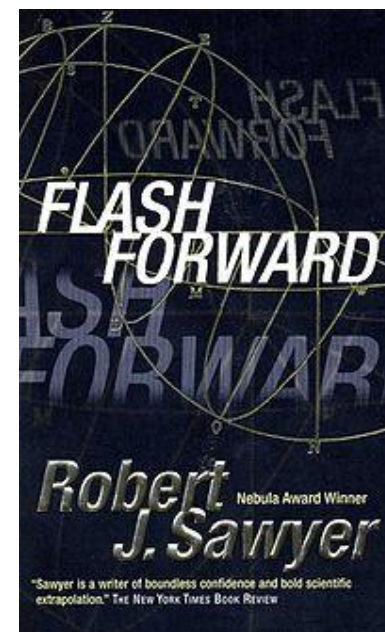
The God Particle: A Novel

Richard Cox, 2005



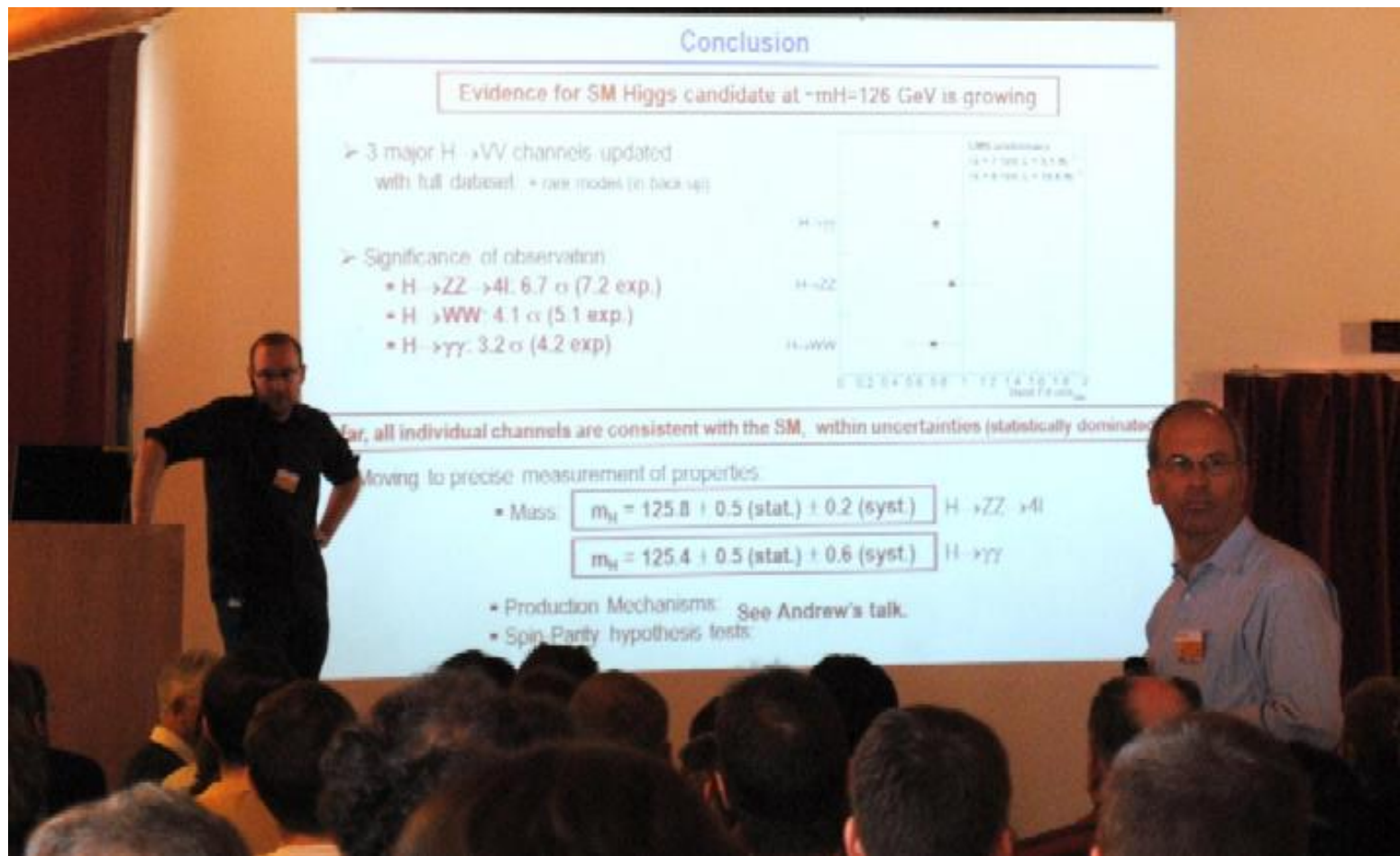
White Mars

Brian W. Aldiss and
Roger Penrose, 2000



Flashforward

Robert J.
Sawyer, 1999



- Pe **14 martie 2013**, la conferința Moriond (**Rencontres de Moriond QCD and High Energy Interactions**, La Thuile, Italy, March 9-16, 2013), repetarea aceluiași experimente au anunțat că au măsurat încă două proprietăți ale particulei. Cum și acestea sunt tot cele prezise pentru bosonul Higgs, înseamnă că noua particulă este cu certitudine un boson Higgs. Experimente viitoare vor trebui să determine dacă noua particulă este bosonul Higgs prezis de teoria actuală a fizicii particulelor elementare, Modelul Standard, sau este doar unul din mai mulți bosoni Higgs preziși a exista de teorii care extind teoria actuală, de exemplu teoriile supersimetrice.

New results indicate that particle discovered at CERN is a Higgs boson

14 Mar 2013

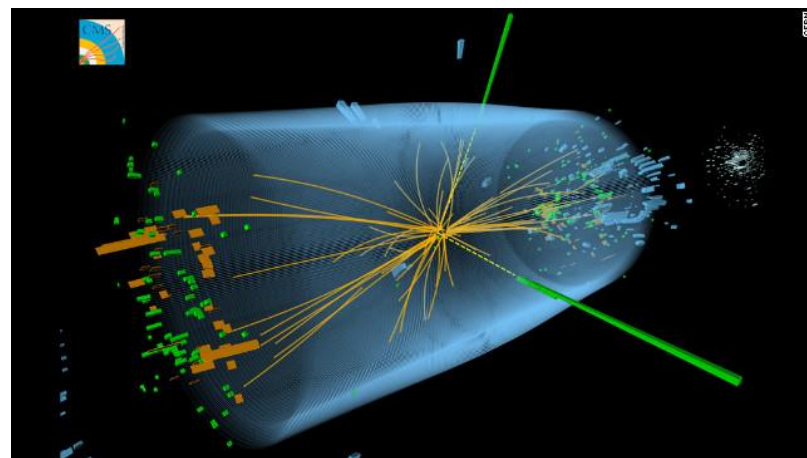
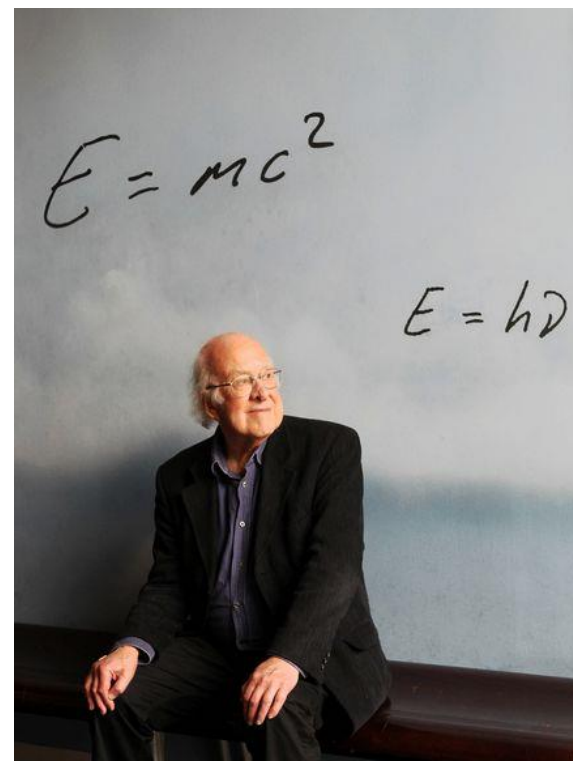
Geneva, 14 March 2013. At the Moriond Conference today, the ATLAS and CMS collaborations at CERN's Large Hadron Collider (LHC) presented preliminary new results that further elucidate the particle discovered last year. Having analysed two and a half times more data than was available for the discovery announcement in July, they find that the new particle is looking more and more like a Higgs boson, the particle linked to the mechanism that gives mass to elementary particles. It remains an open question, however, whether this is the Higgs boson of the Standard Model of particle physics, or possibly the lightest of several bosons predicted in some theories that go beyond the Standard Model. Finding the answer to this question will take time.

Whether or not it is a Higgs boson is demonstrated by how it interacts with other particles and its quantum properties. For example, a Higgs boson is postulated to have spin 0, and in the Standard Model its parity – a measure of how its mirror image behaves – should be positive. CMS and ATLAS have compared a number of options for the spin-parity of this particle, and these all prefer no spin and positive parity. This, coupled with the measured interactions of the new particle with other particles, strongly indicates that it is a Higgs boson.

"The preliminary results with the full 2012 data set are magnificent and to me it is clear that we are dealing with a Higgs boson though we still have a long way to go to know what kind of Higgs boson it is," said CMS spokesperson Joe Incandela.

"The beautiful new results represent a huge effort by many dedicated people. They point to the new particle having the spin-parity of a Higgs boson as in the Standard Model. We are now well started on the measurement programme in the Higgs sector," said ATLAS spokesperson Dave Charlton.

To determine if this is the Standard Model Higgs boson, the collaborations have, for example, to measure precisely the rate at which the boson decays into other particles and compare the results to the predictions. The detection of the boson is a very rare event - it takes around 1 trillion (10^{12}) proton-proton collisions for each observed event. To characterize all of the decay modes will require much more data from the LHC.



A proton-proton collision produced in the Large Hadron Collider shows characteristics in line with the decay of a Higgs boson particle.

Peter Ware Higgs (*Universitatea din Edinburgh, Marea Britanie*)

François Englert (*Universitatea Liberă din Bruxelles, Belgia*)

- laureații Nobel - fizică – 2013

- Pentru „descoperirea teoretică a mecanismul care contribuie la înțelegerea noastră a originii masei particulelor subatomice și care a fost confirmată recent prin descoperirea particulei fundamentale prezise, de experimentele ATLAS și CMS de la CERN”.



François Englert

Peter Ware Higgs



Robert Brout
(1928 – May 3, 2011)

*„Bineînțeles că sunt fericit că am câștigat premiul, se înțelege de la sine, dar am deasemeni un regret, că colegul și prietenul meu, **Robert Brout**, nu a fost acolo să-l împărtășească bucuria”, a declarat Englert*

- Particula Higgs a fost teoretizată în 1964 de trei grupuri de fizicieni:
Francois Englert și Robert Brout, Peter Higgs și Gerald Guralnik, C.R. Hagen și Tom Kibble. Proprietățile particulei au fost teoretizate în 1965 de Guralnik și în 1966 de către Higgs.

- **Robert Brout and François Englert**
 - ✓ Englert, F.; Brout, R. (1964). "Broken Symmetry and the Mass of Gauge Vector Mesons". *Physical Review Letters*. 13 (9): 321–23. Bibcode:1964PhRvL..13..321E. doi:10.1103/PhysRevLett.13.321.
 - ✓ Brout, R.; Englert, F. (1998). "Spontaneous Symmetry Breaking in Gauge Theories: A Historical Survey". arXiv:hep-th/9802142

- **Peter Higgs**
 - ✓ Higgs, P. (1964). "Broken Symmetries and the Masses of Gauge Bosons". *Physical Review Letters*. 13 (16): 508–509, doi:10.1103/PhysRevLett.13.508)

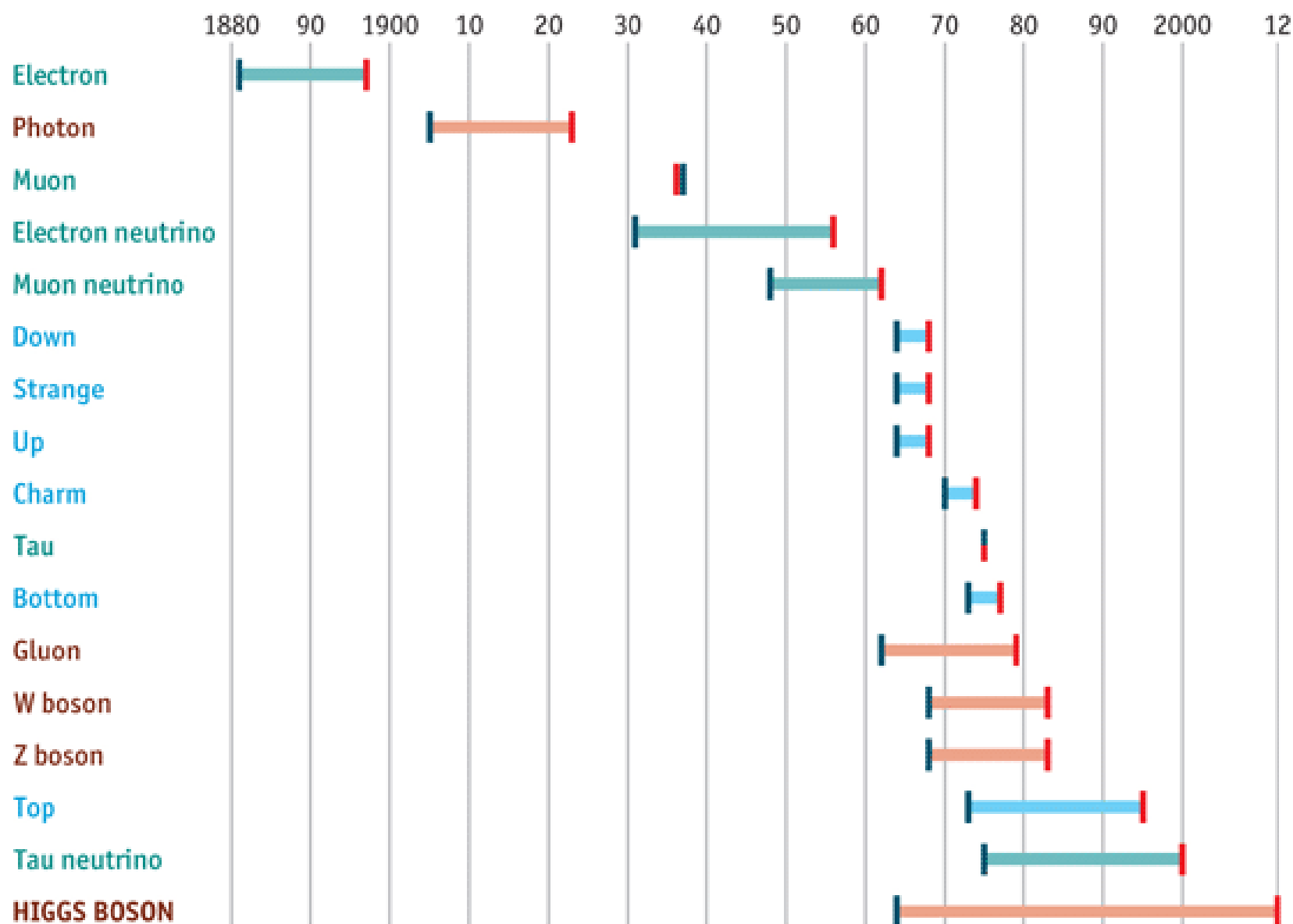
- **Gerald Guralnik, C. Richard Hagen, and Tom Kibble (GHK)**
 - ✓ Guralnik, G.; Hagen, C. R.; Kibble, T. W. B. (1964). "Global Conservation Laws and Massless Particles". *Physical Review Letters*. 13(20): 585–587, doi:10.1103/PhysRevLett.13.585.
 - ✓ Guralnik, G. S. (2009). "The History of the Guralnik, Hagen and Kibble development of the Theory of Spontaneous Symmetry Breaking and Gauge Particles". *International Journal of Modern Physics A*. 24 (14): 2601–2627. arXiv:0907.3466. doi:10.1142/S0217751X09045431

The Standard Model of particle physics

Years from concept to discovery

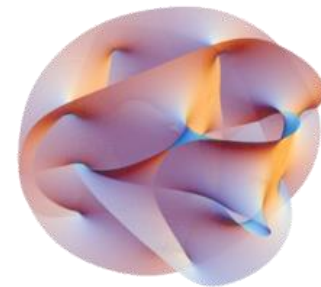
Leptons
Bosons
Quarks

Theorised/explained
Discovered

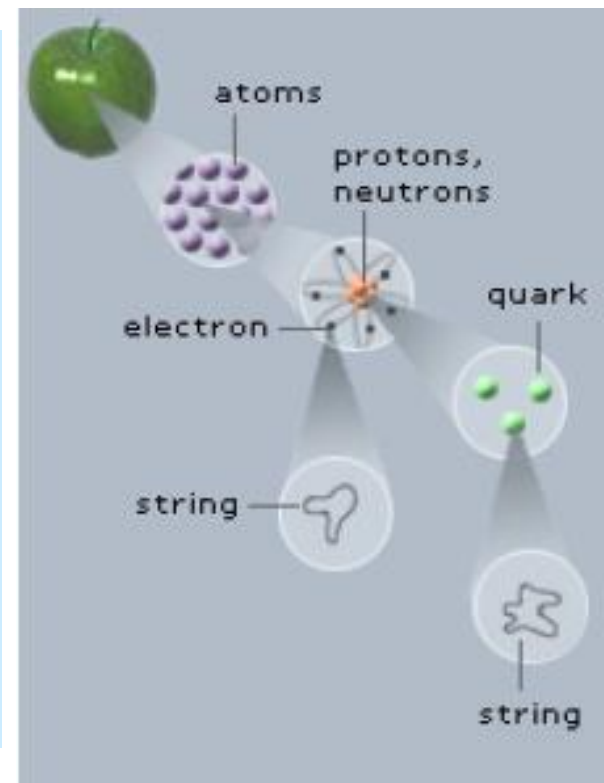


□ Gravitonul

- **Gravitonul** este un boson de interacțiune cu **spinul 2** și care corespunde undei fluctuației cuantice a metricii gravitationale.
- masa gravitonului fiind nulă, distanța de acțiune este infinită.
- În teoria cuantică a gravitației (în particular teoria stringurilor), gravitonii sunt, mai degrabă stări ale stringurilor decât particule punctuale (unde). Încercarea detecției gravitonului este corelată cu observarea undelor gravitaționale care pot fi considerate stări coerente de mai mulți gravitoni.



- **Teoria stringurilor** este o dezvoltare matematică în fizica teoretică, potrivit căreia structurile/particulele elementare sunt obiecte unidimensionale de stringuri (corzi) și nu particule punctuale cu dimensiunea zero. Această teorie este formulată în termeni de principii de acțiune care descriu mișcarea stringurilor în spațiu-timp. Particulele elementare (leptonii, quarcii, fotonul, etc.) **nu sunt toate de fapt niște puncte infinitezimale**, ci “**corzi**” minuscule, făcute toate din același tip de “material”. Acestea, pot fi mai lungi sau mai scurte, de forme diferite, în diferite moduri de vibrație etc. Toate aceste “**corzi**” sunt făcute din același “material” și sunt descrise de aceeași ecuație



- Evaluarea proprietăților dinamice ale gravitonilor (*masa nulă și spin întreg*) se poate face prin similitudine cu interacțiunea electromagnetică (*cuanta de interacțiune - fotonul cu masa zero și spin întreg*)

Energia

Foton

$$E = \hbar \omega$$

$$E_{\text{elect}} = F_{\text{elect}} d$$

$$E_{\text{elect}} = \frac{k q_1 q_2}{r^2}$$

Graviton

$$E = \hbar \omega$$

$$E_{\text{grav}} = F_{\text{grav}} d$$

$$E_{\text{grav}} = \frac{G M_1 M_2}{r^2}$$

$$\frac{E_{\text{grav}}}{E_{\text{elect}}} = \frac{\frac{G M_1 M_2}{r^2}}{\frac{k q_1 q_2}{r^2}} = \frac{\hbar \omega}{\hbar \omega} = \frac{\hbar}{\hbar}$$

$$g/h = \frac{6.67 \times 10^{-11}}{8.99 \times 10^9} = 7.83 \times 10^{-55}$$

$$\rightarrow g = h \frac{6.67 \times 10^{-11}}{8.99 \times 10^9}$$



$$g = 7.8 \times 10^{-55} \text{ J} \cdot \text{s}$$

Energia gravitonului este extrem de mică !!!

➤ Impulsul  Relația De Broglie

foton $\lambda = \frac{h}{p}$

graviton $\lambda = \frac{g}{p}$

$$p = \frac{g}{\lambda}$$

Ex: dacă $\lambda = 6 \times 10^{-7} \text{ m}$ $\rightarrow p = 1.3 \times 10^{-53} \text{ kg m/s}$

Corelații lungime de undă - impuls

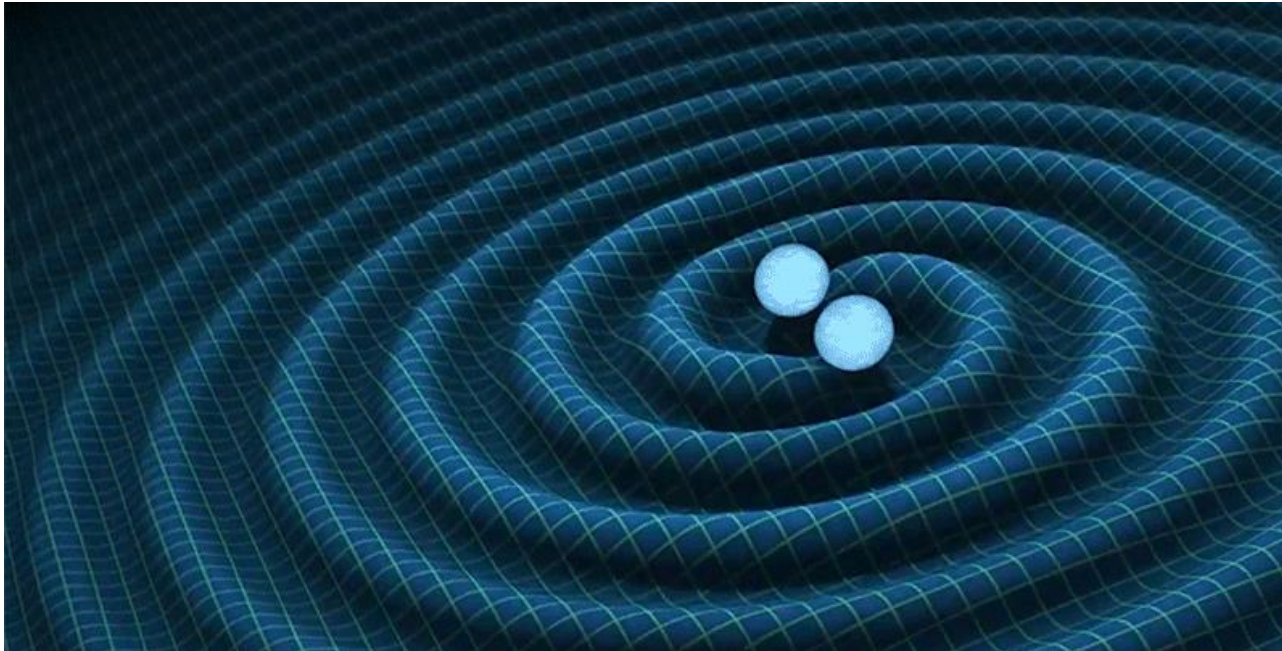
$$\begin{array}{l} \lambda = 1 \text{ m} \rightarrow p = 7.8 \times 10^{-55} \text{ kg m/s} \\ \lambda = 10^{-20} \text{ m} \rightarrow p = 7.8 \times 10^{-35} \text{ kg m/s} \\ \lambda = 10^{-40} \text{ m} \rightarrow p = 7.8 \times 10^{-15} \text{ kg m/s} \end{array} \left\{ \begin{array}{l} \lambda = 10^x \text{ m} \rightarrow p = 7.8 \times 10^{x-55} \text{ kg m/s} \end{array} \right.$$

➤ Luând $\lambda=1 \text{ m} \rightarrow p=7.8 \cdot 10^{-55} \text{ Kg m/s} \rightarrow$ rezultă o masă de mișcare asociată
 $m_g=1.6 \cdot 10^{-66} \text{ g} \approx 10^{-43} \text{ GeV}/c^2$

➤ De unde o viteză a gravitonului: **$V_g=321638 \cong 3.2 \cdot 10^5 \text{ m/s}$**

□ Undele gravitaționale

- Undele gravitaționale au fost prezise inițial în de Albert Einstein pe baza teoriei relativității generale. Teoria relativității generale interpretează gravitația ca fiind o consecință a distorsiunilor în spațiu-timp datorat corpurilor cu masa mare și Einstein a prezis că evenimentele din cosmos ar fi cauzate de distorsiuni ale spațiului în sine.



- **Gravitonul** – formă a unor stări coerente a undelor gravitaționale. Observațiile recente au permis evaluarea limitei superioare a masei gravitonului: $1.2 \times 10^{-22} \text{ eV}/c^2$



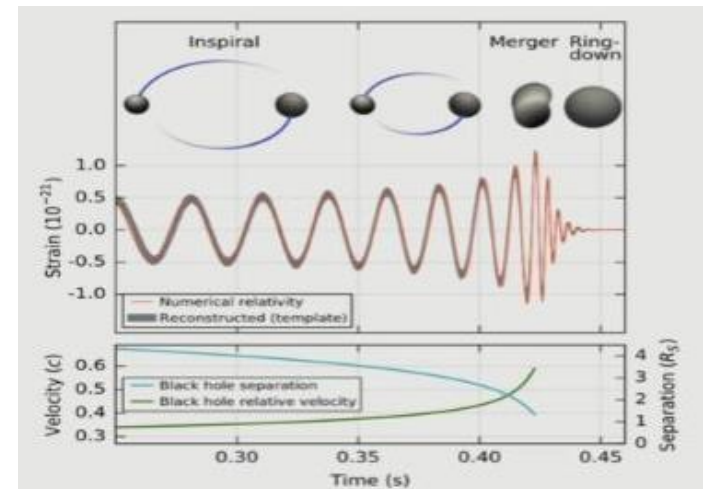
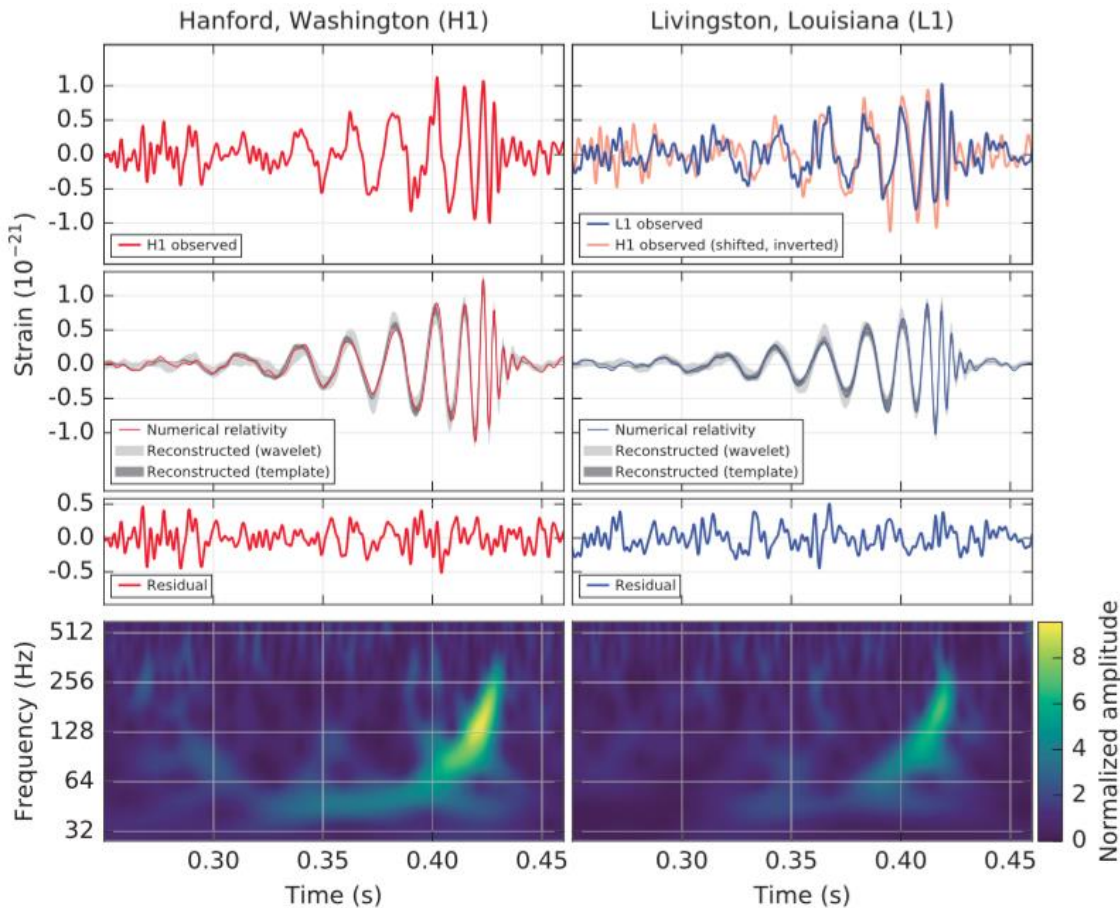
Observation of Gravitational Waves from a Binary Black Hole Merger

B. P. Abbott *et al.**

(LIGO Scientific Collaboration and Virgo Collaboration)

(Received 21 January 2016; published 11 February 2016)

On September 14, 2015 at 09:50:45 UTC the two detectors of the Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory simultaneously observed a transient gravitational-wave signal. The signal sweeps upwards in frequency from 35 to 250 Hz with a peak gravitational-wave strain of 1.0×10^{-21} . It matches the waveform



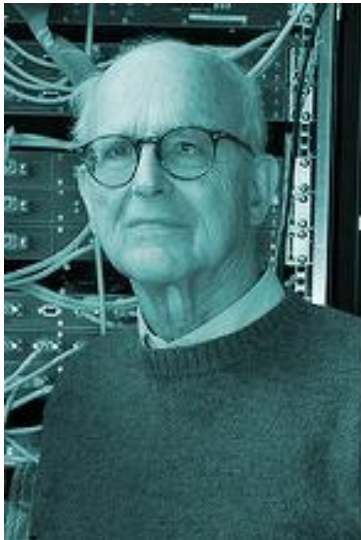
$$\mathcal{M} = \frac{(m_1 m_2)^{3/5}}{(m_1 + m_2)^{1/5}} = \frac{c^3}{G} \left[\frac{5}{96} \pi^{-8/3} f^{-11/3} \dot{f} \right]^{3/5}$$

f – frecvența observată
 G – constanta gravitațională
 C – viteza luminii

$$G = 6.674\,28 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$$

$$= 6.708\,81 \times 10^{-39} \hbar c (\text{GeV}/c^2)^{-2}$$

- **Premiul Nobel pentru Fizică 2017** a fost atribuit pentru detectarea undelor gravitaționale, pentru conceperea și perfecționarea detectoarelor de unde gravitaționale LIGO (SUA) și VIRGO (Italia).



Rainer Weiss



Kip S Thorne

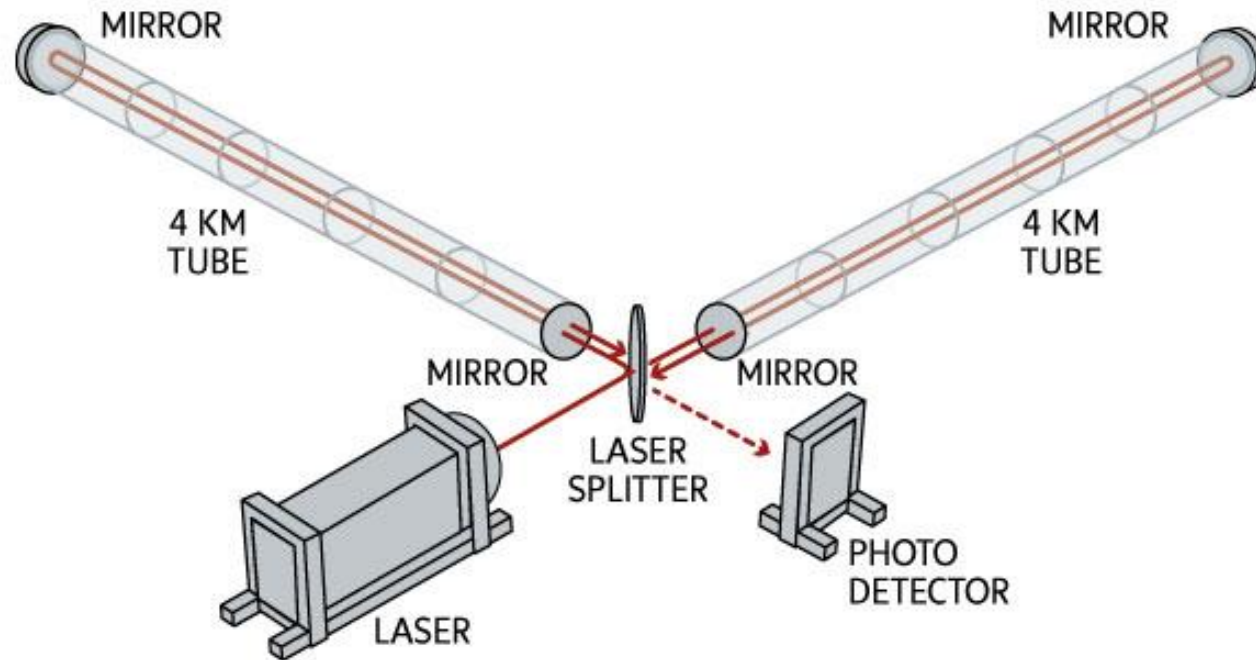


Barry C. Barish

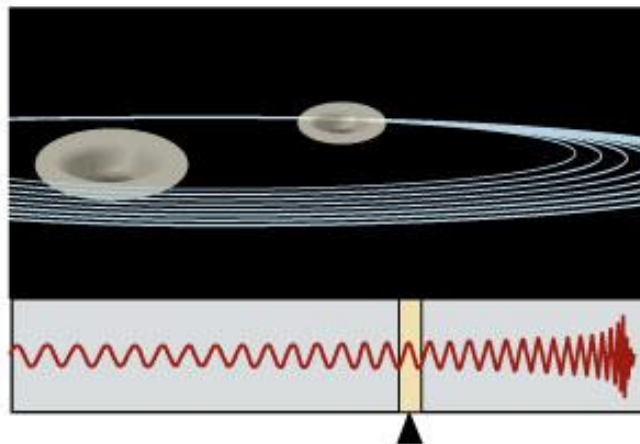


- LIGO (**L**aser **I**nterferometer **G**ravitational-Wave **O**bservatory), este un proiect de colaborare care implică peste 1.000 de cercetători din peste 20 de țări.

LIGO interferometer



Black holes collide



TRISH McALASTER / THE GLOBE AND MAIL
SOURCE: LIGO.CALTECH.EDU, BLACKHOLES.ORG

