

UNIVERSITATEA “BABEȘ-BOLYAI” CLUJ-NAPOCA
Facultatea de Fizică

Prof.dr. Grigore Damian

Particule elementare

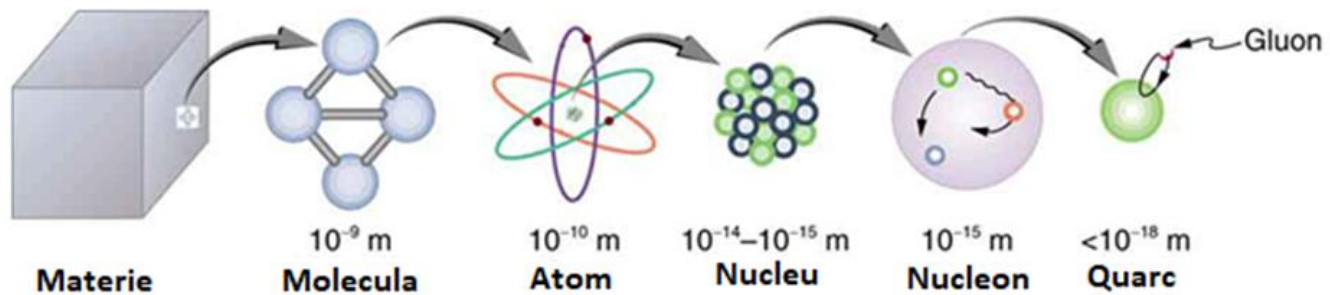
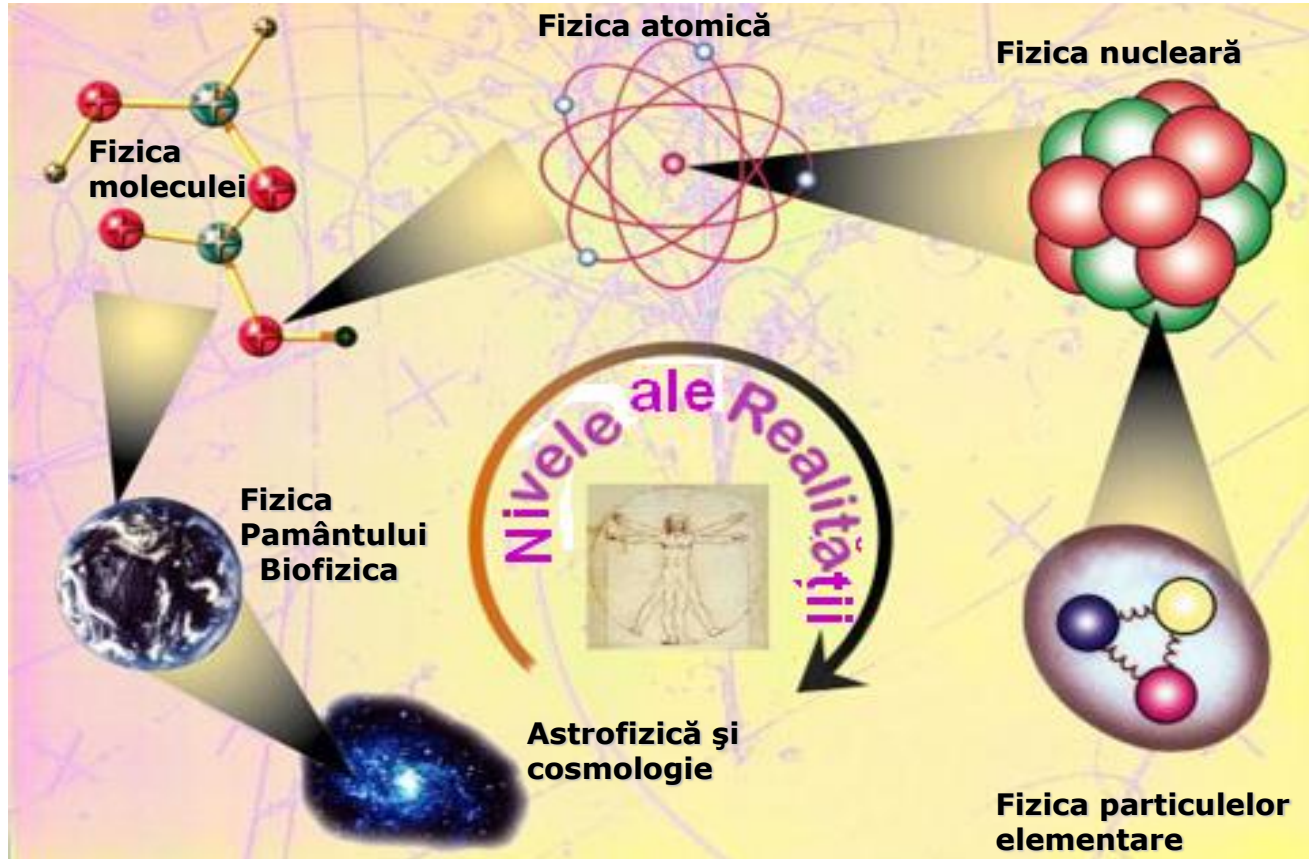
-note de curs-

<http://www.phys.ubbcluj.ro/~grigore.damian/lectures.html>
E-mail: grigore.damian@ubbcluj.ro

CUPRINS

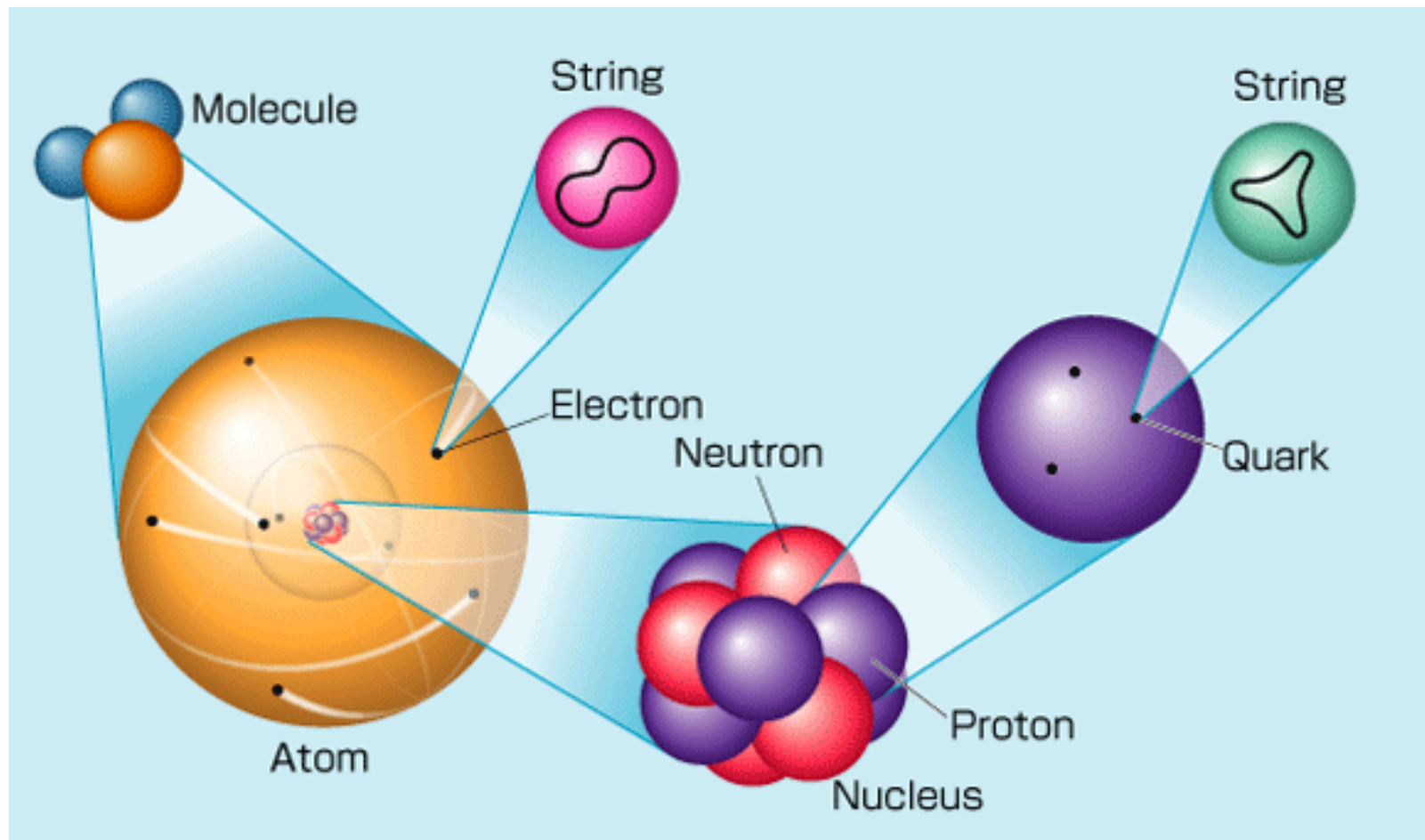
- Scurtă istorie a conceptului de particulă elementară
- Sistemul natural de unități
- Formalismul relativist cuadridimensional
- Noțiuni de mecanică cuantică relativistă
- Tipuri de interacțiuni
- Unificarea interacțiunilor
- Noțiuni de cromodinamică cuantică (QCD) și electrodinamică cuantică (QED)
- Clasificarea și caracterizarea particulelor elementare
- Fermionii
 - leptonii/antileptoni
 - quarcii/anticuarcii
- Bosonii
 - fotonii
 - mezonii W^{\pm}, Z^0
 - bosonul Higgs
 - gluonii
 - gravitonul
- Particule compozite- Hadronii
 - Barionii
 - Mezonii
- Numere cuantice (flavours) ale particulelor
- Reprezentări ale grupului $SU(3)$ în modelul quarc
- Legi de conservare
- Interacțiuni. Diagramele Feynman
- Acceleratorii de particule
- Noțiuni de fizica detectorilor de particule

Cunoașterea realității



Scurtă istorie a conceptelor de particule elementare

Elementar - corelat cu conceptul de “*fundamental*” - care “*nu mai poate fi divizat*” - *element primordial*, aprioric oricărei cunoașteri.



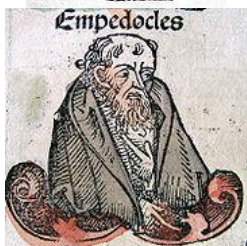
Antichitate

„elemente fundamentale –stări ale materiei”
arhetipuri pentru a explica modelele din natură



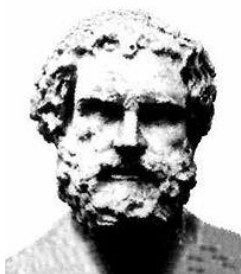
Thales din Millet (624-547 î.e.n.)

- creația și distrugerea - procese ale schimbărilor în materie datorită diferitelor ardonări ale unor particule invizibile



Empedocle (484-424 î.e.n.)

- patru elemente esențiale: **pământ**, **apă**, **aer** și **foc**
(patru stări de agregare a materiei: starea solidă, lichidă, gazoasă și plasmă)

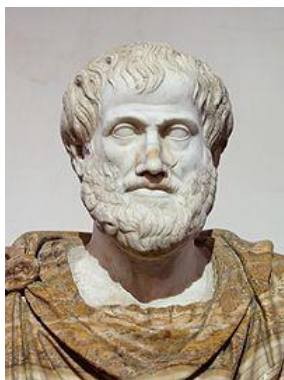


Democrit (460-370 î.e.n.)

- universul - spațiu aproape vid și un număr infinit de particule invizibile care diferă unele de altele prin formă, poziție și aranjament (structură spațială)
- materia este făcută din aceste particule invizibile - atomi

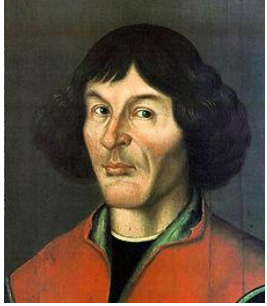
Aristotel (384-322 î.e.n.)

- substanța - combinație a materiei și a formei -cinci elemente fundamentale
- ✓ **Focul** -fierbinte și uscat,
- ✓ **Pământul** - rece și uscat,
- ✓ **Aerul** -fierbinte și uscat,
- ✓ **Apa** - rece și umedă,
- ✓ **Eterul** - substanța divină (*quintessentia*) - corpurile cerului (stelele și planetele)



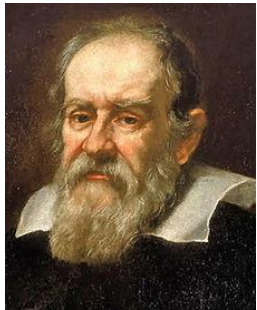
Evul mediu

- *Concepte de natură geometrică și structurală a universului*



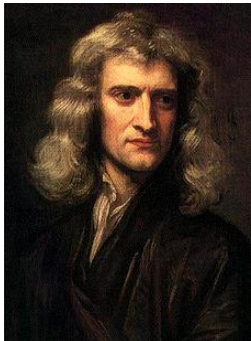
Nicholaus Copernicus (1564-1543 e.n.)

- Concept geocentrist
(Soarele este în centrul Universului iar Pământul se rotește în jur)



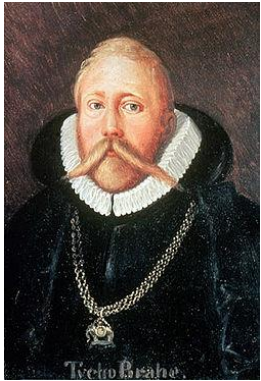
Galileo Galilei (1564 – 1642)

- Bazele teoretice ale mecanicii punctului material și formulează teoria celestă



Isaac Newton (1642-1727)

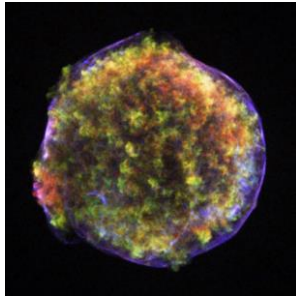
- Formularea matematică și dezvoltarea legilor mecanicii clasice



Tycho Brahe (1546 -1601)

- dezvoltă teoria mișcării pe orbite eliptice a planetelor

1572



Tycho's supernova, Chandra's image



Johannes Kepler (1571 – 1630)

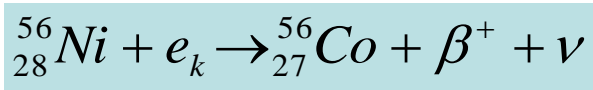
- formulează primele descrieri calitative ale gravitației

1603

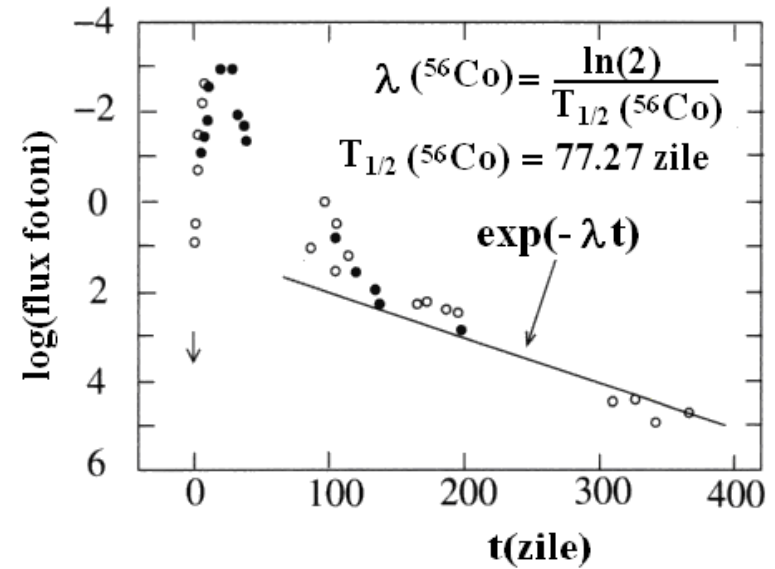
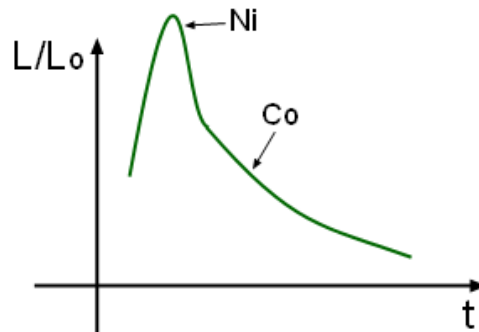
stele noi (supernove)

explozii ale stelelor bătrâne aflate la sfârșitul vieții

- Sursa de energie post-explozie a supernovei este dezintegrarea radioactivă a nichelului (^{56}Ni , $T_{1/2} = 6.077$ zile)



- Luminozitatea (L) supernovelor descrește în timp cu o rată exprimată de o lege despre care azi știm că este dată de timpul de viață



Ultima supernovă vizibilă cu ochiul liber a fost în 1987 pe 23 februarie !!!

Secolul XIX



Thomas Young (1773 – 1829)

- dezvoltă teoria undelor luminoase și descrie fenomenul de interferență

John Dalton (1766 -1844)

- elementele tabelului periodic, au în structura lor *atomi*.



Michael Faraday (1791 – 1867)

- descoperă fenomenul de polarizare a luminii
- lumina este o vibrație de frecvență înaltă a câmpului electromagnetic
- formulează legile electrolizei și legea conservării energiei și face prima observație asupra *elementarității* unei mărimi fizice – *sarcina elementară*



James Clerk Maxwell (1831 – 1879)

- teoria moleculară - molecula este edificiul ultim care mai păstrează proprietățile substanței din care provine
- teoria clasică a electromagnetismului - set de ecuații (ecuațiile Maxwell) - electricitatea și magnetismul sunt două forme de manifestare a câmpului electromagnetic



George Stoney (1826 – 1911)

- determină masa sarcinii elementare pe care o numește *electron*



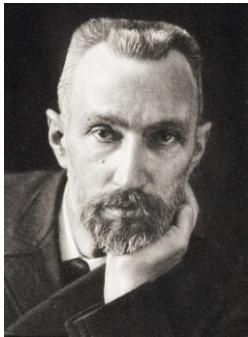
Wilhelm Röntgen (1845 – 1923)

- 1893 - descoperă radiația X în urma cercetărilor privind descărcările în gaze



Antoine Henri Becquerel (1852 – 1908)

- 1896 - descoperă radioactivitatea- radiație emisă de sărurile de uraniu, numită „radiație Becquerel” sau radiație uranică



Pierre Curie (1859 - 1906)

Marie Curie (1867 - 1934)

- au separat și caracterizat astfel de substanțe (uraniu, toriu) și descendenții acestora (poloniu, radium), propunând termenul de *radioactivitate* pentru fenomenul de emisie spontană de radiații.



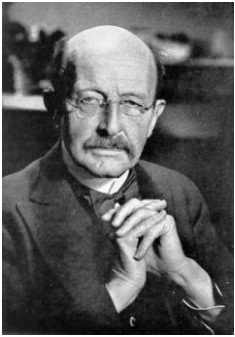
Joseph Thompson (1856 – 1940)

- 1898 - măsoară masa electronului, descoperă izotopii și formulează primul model atomic (cozonacul cu stafide)

Secolul XX

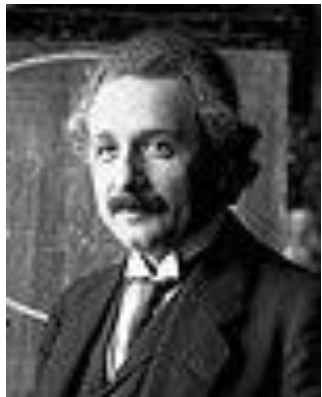
- La începutul secolului 20 oamenii de știință credeau că au înțeles cele mai importante și fundamentale principii ale naturii: atomii sunt **blocuri fundamentale** ale naturii, iar mișcarea corpurilor este descrisă de legile lui Newton

Noi concepte !!!



Max Planck (1858 – 1947)

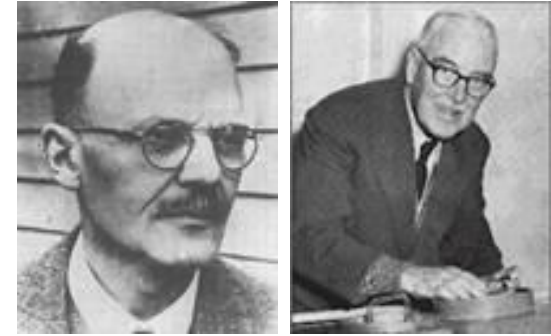
- 1900 - conceptului cuantic stă ideea lui asupra propagării radiației; premisele mecanicii cuantice



Albert Einstein (1879 – 1955)

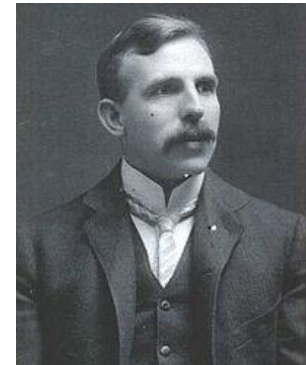
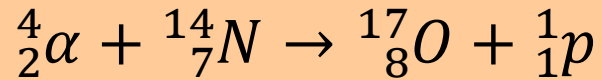
- 1905 - teoria relativității – noi concepte ale fundamentelor fizicii
- 1915 - teoria relativității generalizate - extinde principiul relativității mișcării neuniforme - o nouă teorie a gravitației
- elementul fundamental al radiației -fotonul - asociat unei particule
- echivalentul dintre masă și energie, **$E=mc^2$** , fundament al noțiunii de “**elementar**” în fizica nucleară

- 1909 - Johannes Wilhelm Geiger (1882 -1945) și Ernest Marsden (1889 -1970) sub conducerea lui Ernest Rutherford descoperă existența nucleului atomic, în urma unor experimente de interacțiune a radiației α cu foițe subțiri de aur.



- Ernest Rutherford (1871-1937)

- ✓ 1911 - formularea modelului planetar al atomului
- ✓ 1919 - a realizat prima reacție nucleară-punerea în evidență a protonului



- Lise Meitner (1878-1968) și Otto Hahn (1879 - 1968) decoperă (1911) că spectrul radiației β este continuu și nu discret ca în cazul radiației α și γ ceea ce a condus la o observație stranie și anume neconservarea energie în acest tip de dezintegrare *teoria interacțiunilor slabe*



➤ **Niels Bohr** (1885 – 1962)

- ✓ 1913 -elaborează modelului care-i poartă numele; *modelul Bohr*



➤ **Louis de Broglie** (1892 – 1987)

- ✓ 1924 - emite teoria *dualismului undă-particulă* (fiecare undă poate fi asociată unei particule și reciproc, fiecare particulă poate fi considerată ca o undă în mișcare)



➤ **Wolfgang Pauli** (1900 -1958)

- ✓ formulează (1925) celebrul *principiul de excluziune* care interzice ca doi fermioni să ocupe aceeași stare cuantică simultan
- ✓ 1930- sugerează existența *particulei neutrino*



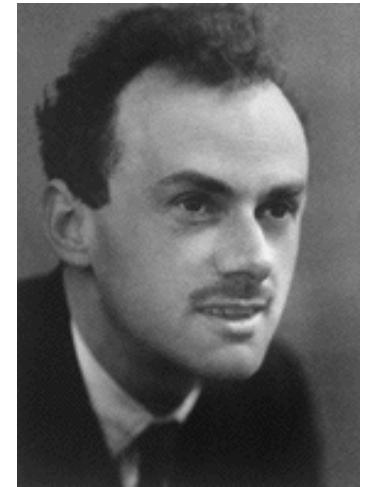
- **Walther Bothe** (1891 – 1957) și Hans Geiger demonstrează (1925) că în procesele atomice *energia și masa se conservă*.



➤ **Paul Dirac (1902 -1984)**

1928

- ✓ *cuantică relativistă* pentru sisteme de particule cu spinul - $1/2$; *ecuația Dirac*.
- ✓ soluționarea impune existența unei particule identice cu electronul, însă cu sarcină pozitivă și care a fost numită **pozitron** și care este *antiparticula* electronului.
- ✓ începutul unei noi abordări ale sistemelor pe baza conceptelor de **materie-antimaterie**



➤ **George Gamow (1904 -1968), Ronald W. Gurney (1898 -1953) și Edward Uhler Condon (1902 - 1974)**

- ✓ formulează (1928) *teoria dezintegrării α prin efectul de tunelare cuantică*



George Gamow



Edward Uhler Condon

➤ **Erwin Schrödinger** (1887 - 1961)

- ✓ exprimă efectiv ipoteza lui de Broglie (1926) într-o formulă matematică, considerând electronul nu ca pe un punct aflat în diferite poziții în jurul nucleului unui atom, ci ca pe o undă staționară, localizată în jurul și în preajma nucleului, la niveluri energetice definite- *ecuația Schrödinger* (*comportarea cuantică a sistemelor de bosoni*)



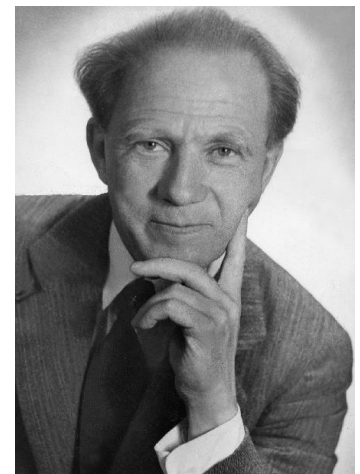
➤ **Max Born** (1882 -1970)

- ✓ interpretarea în termeni de probabilitate și *densitate de probabilitate*



➤ **Werner Heisenberg** (1901 - 1976)

- ✓ a elaborat *mecanica matricială* (1925), care descria de asemenea comportamentul particulelor subatomice
- ✓ formulează principiul de incertitudine exprimat prin produsul energie timp: $\Delta E \cdot \Delta t \geq \hbar$, sau impuls – coordonate spațiale: $\Delta p \cdot \Delta x \geq \hbar$
- ✓ propune (1932) un model al nucleului plecând de la statistica Thomas-Fermi, model care ulterior va fi rafinat și va purta numele de *modelul gazului degenerat Fermi*.



1929

- **Ernest Orlando Lawrence** (1901 -1958, laureat Nobel 1939)
 - ✓ primul *accelerator de particule*, cu traiectorie circulară- *ciclotron*



- **Robert Jemison Van de Graaff** (1901 -1967)
 - ✓ generator de înaltă tensiune (până la 7 milioane de volți)- element esențial în construcția *acceleratoarelor liniare electrostatice de tip van de Graf*

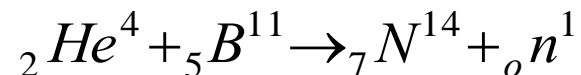


1932

- **John Douglas Cockcroft** (1897 - 1967) și **Ernest Thomas Sinton Walton** (1903 - 1995) laureați Nobel 1951
 - ✓ primul *accelerator liniar cu accelerare directă*



- **James Chadwick** (1891 - 1974, laureat Nobel 1935)
 - ✓ descoperă experimental *neutronul* și împreună cu **Maurice Goldhaber** (1911-2005) îi determină masa din reacția:



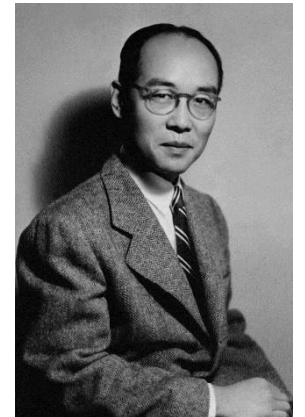
1932

- **Carl David Anderson** (1905 -1991, laureat Nobel 1936)
 - ✓ descoperă *pozitronul* în radiația cosmică



1933 - 1934

- **Enrico Fermi** (1901 -1954, laureat Nobel 1938)
- **Hideki Yukawa** (1907 -1981, laureat Nobel 1949)
 - ✓ contribuții la descrierea interacțiunilor nucleare
 - ✓ Fermi elaborează *teoria dezintegrării beta* prin introducerea interacțiunii slabe și explicitarea teoretică a introducerii particulei *neutrino*
 - ✓ Yukawa combină relativitatea și teoria cuantelor pentru descrierea interacțiunilor nucleare și consideră că interacțiunile dintre protoni și neutroni în nucleu au loc prin intermediul unor noi particule de schimb numite *pioni (mezoni π)-forțe nucleare tari*



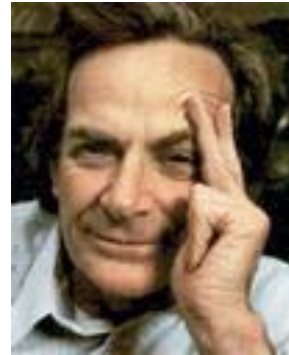
➤ **Homi Jehangir Bhabha (1909 –1966)**

- ✓ descrie modul în care razele cosmice primare din spațiu interacționează cu atmosfera superioară, pentru a produce particule observate la nivelul solului și a făcut apoi estimările numerice



➤ **Richard Phillips Feynman (1918 -1988)**

- ✓ Concepe și dezvoltă diagramele Feynman, care ajută la calcularea și conceptualizarea interacțiunilor dintre particule în spațiu-timp, în special interacțiunile dintre electroni și pozitroni.



1949 -1952

- Descoperi: mezonul K^+ , pionul neutru π^0 , mezonii Λ^0 , K^0 , Δ^{++} , Δ^+ , Δ^0 , Δ^-
- 1952- este pus în funcțiune Cosmotron-ul de la BrookHaven de 1,3 GeV

➤ **Donald Arthur Glaser (1926-2013)**

- ✓ 1952 –inventează camera cu bule.



Acestea au permis o explozie a descoperirilor în fizica particulelor elementare!

- În 1954 este elaborată teoria etaloanelor (gauge theory) de **Chen-Ning Franklin Yang** (n. 1922) și **Robert Mills** (1927 – 1999). Această teorie stă la baza modelului standard al particulelor elementare
- Între anii 1957 – 1959, **Julian Schwinger** (1918 – 1994), **Sidney Bludman** și **Sheldon Glashow** (n. 1932) în mod separat sugerează că toate interacțiunile slabe sunt mediate prin bosoni grei, încărcăți electric, numiți mai târziu W^+ și W^-
- 1961 - clasificarea particulelor elementare pe baza proprietăților de simetrie numită SU (3)
- 1964 - **Murray Gell-Mann** (n. 1929) și **George Zweig** (n. 1939) propun introducerea noțiunii de **cuarci** (quarks), sugerând că mezonii și barionii sunt compuși din trei cuarci sau anticuarci numiți „up”, „down” și „strange” (u, d, s) cu spinul $1/2$ și sarcinile electrice $2/3$, $-1/3$, respectiv $-1/3$.
- Pentru leptoni, o serie de lucrări sugerează existența unui al patrulea quark pe care **Sheldon Lee Glashow** (n. 1932) și **James Bjorken** (n. 1934) îl numesc farmec „charm” (c).
- În 1965, **Oscar Wallace Greenberg** (n. 1932) și **Yoichiro Nambu** (n. 1921) introduc pentru cuarci *proprietatea de culoare*

Apariția unei noi discipline numită cromodinamică!!!!.

Steven Weinberg (n. 1933) și separat de **Abdus Salam (n. 1926)**

- **1967** - unificarea interacțiunilor electromagnetice și slabe cereau existența unei interacțiuni slabe și neutre între bozoni – predicția bozonilor Z^0 .
- Presupun existența unui boson „uriaș” teoretizat de **Peter Higgs** pe care îl numesc „**Higgs Boson**”, particula care a fost certificată de CERN în martie 2013.
- **1968 – 1969** experimente împrăștiere a electronilor de înaltă energie pe protoni - acceleratorul liniar de la Stanford
- **James Bjorken** și **Richard Feynmann** - pun în evidență prezența cuarcilor în particule elementare
- În **1970** - **Sheldon Glashow (n. 1932)**, **John Iliopoulos (n. 1940)** și **Luciano Maiani (n. 1941)** prezintă în mod unitar modelul standard al particulelor elementare, având la bază existența a patru cuarci, introducând noțiunea de „**charm**”

1973

- este formulată **teoria interacțiunilor tari** – teorie a cuarcilor și a gluonilor (particule de schimb în interacțiunea cuarcilor, fără masă) **Harold Frizsch (n. 1943)** și de **Murray Gell-Mann**

1973 - **Hugh David Politzer** (n. 1949), **David Jonathan Gross** (n. 1941) și **Frank Anthony Wilczek** (n. 1951)

➤ descoperă că teoria culorilor a interacțiunilor tari are o proprietate nouă numită libertate asimptotică - „*asymptotic freedom*” –

➤ 1974- prezentarea unui model consistent asupra structurii fundamentale a particulelor elementare către **John Ilionopoulos**- **Modelul Standard**

➤ **Burton Richter** (n. 1931) și **Samuel Ting** (n. 1936), conducând experimente la SLAC, respectiv Brookhaven, descoperă independent aceeași particulă, cunoscută astăzi ca particula **J/ψ** (Ting a denumit-o **J**, iar Richter **ψ**). Această particulă este mezonul „*charm – anticharm*”

➤ În 1976 - **Gerson Goldhaser** (n. 1924) și **François Pierre** găsesc mezonul Δ^0 (quark-ul up și quark-ul charm)

➤ este descoperit și leptonul tau de către **Martin Perl** (n. 1927) la SLAC- lepton este prima particulă înregistrată din generația trei

1977- Leon Lederman (n. 1922) și colaboratorii de la FERMILAB descoperă **quark-ul** și **antiquark-ul bottom** și impun perechea sa numită „**top**”

În acest moment sunt puși în evidență cei 6 cuarci!!!!

1978 - Charles Prescott (n. 1940) și Richard Taylor (n. 1929)

➤ Neconservarea parității în interacțiunile slabe mediate de bozonul Z^0

➤ În 1983 sunt puși în evidență experimental bosonii W^+ , W^- și Z^0 care intermediază interacțiunile electroslabă în 2 experimente de la CERN de către Carlo Rubbia (n. 1934) și Simon Van der Meer (n. 1925)

➤ În 1988 Masatoshi Koshiha (n. 1914) anunță observarea a două tipuri de neutrino: neutrino electronic (ν_e) și neutrino mezonice (ν_μ).

➤ În anul 1995 două echipe de la FERMILAB (experimentele CDF și DO), echipe care numărau 402 oameni de știință), anunță descoperirea particulei quark top cu masa de $175 \text{ GeV}/c^2$.

➤ În anul 2003, Koshiha și echipa sa anunță detecția unui alt tip de neutrino numit neutrino tau (ν_τ)

Există trei tipuri de neutrino: electronic, miuonic și tau !!!

➤ Martie 2013 – CERN declară oficial descoperirea Bosonului Higgs

➤ Premiul Nobel pentru Fizica 2013

✓ Francois Englert

✓ Peter Higgs



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

14 Mar 2013

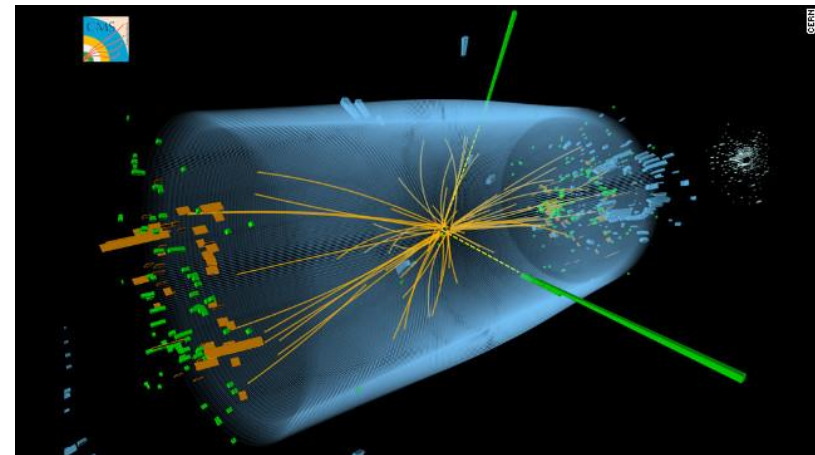
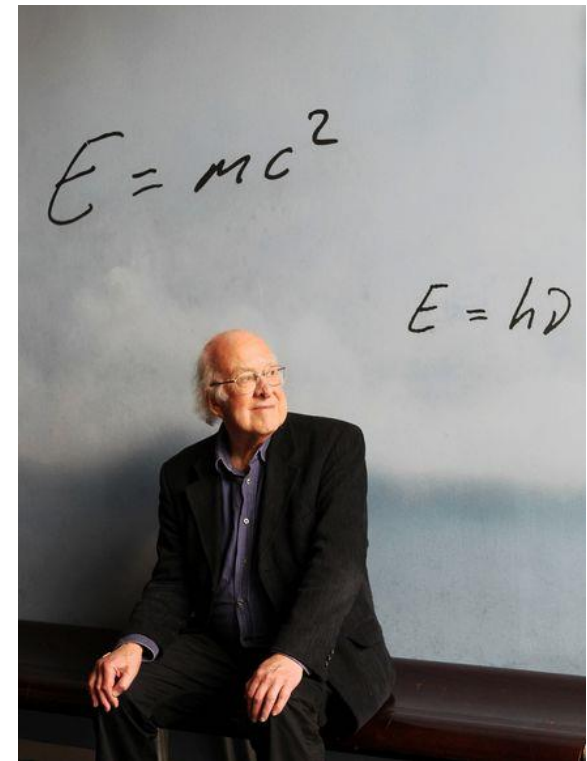
Geneva, 14 March 2013. At the Moriond Conference today, the ATLAS and CMS collaborations at CERN's Large Hadron Collider (LHC) presented preliminary new results that further elucidate the particle discovered last year. Having analysed two and a half times more data than was available for the discovery 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.

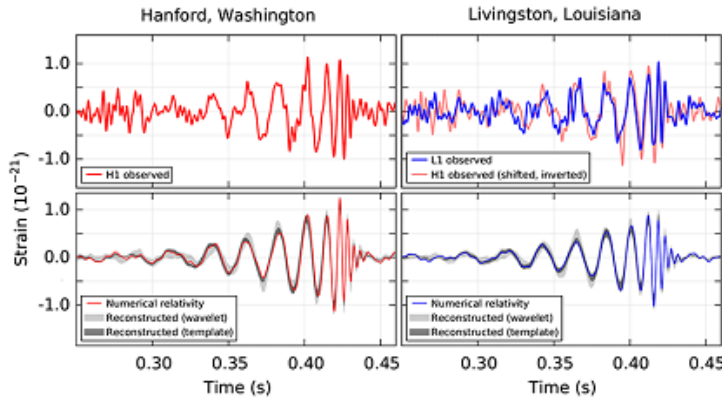
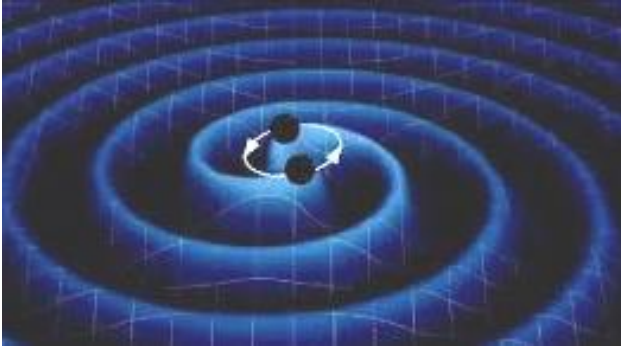
"The beautiful new results represent a huge effort by many dedicated people. They point to the new particle having the spin-parity of a Higgs boson as in the Standard Model. We are now well started on the measurement programme in the Higgs sector," said ATLAS spokesperson Dave Charlton.

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.

➤ În data de 14 septembrie 2015, la ora 09:50:45 UTC, LIGO (Laser Interferometer Gravitational-wave Observatory) a detectat un semnal provocat de coliziunea a două găuri negre în urmă cu aproximativ 1,3 miliarde ani

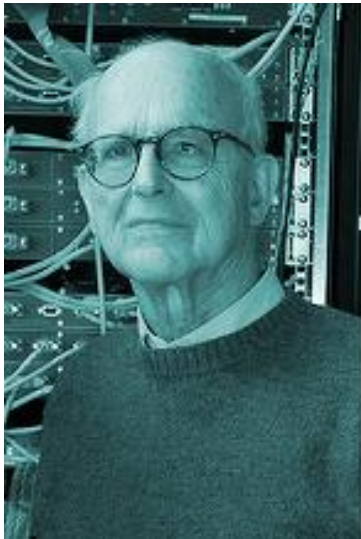


Observation of Gravitational Waves from a Binary Black Hole Merger

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 predicted by general relativity for the inspiral and merger of a pair of black holes and the ringdown of the resulting single black hole. The signal was observed with a matched-filter signal-to-noise ratio of 24 and a false alarm rate estimated to be less than 1 event per 203 000 years, equivalent to a significance greater than 5.1σ . The source lies at a luminosity distance of 410_{-180}^{+160} Mpc corresponding to a redshift $z = 0.09_{-0.04}^{+0.03}$. In the source frame, the initial black hole masses are $36_{-4}^{+5}M_{\odot}$ and $29_{-4}^{+4}M_{\odot}$, and the final black hole mass is $62_{-4}^{+4}M_{\odot}$, with $3.0_{-0.5}^{+0.5}M_{\odot}c^2$ radiated in gravitational waves. All uncertainties define 90% credible intervals. These observations demonstrate the existence of binary stellar-mass black hole systems. This is the first direct detection of gravitational waves and the first observation of a binary black hole merger.

- 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

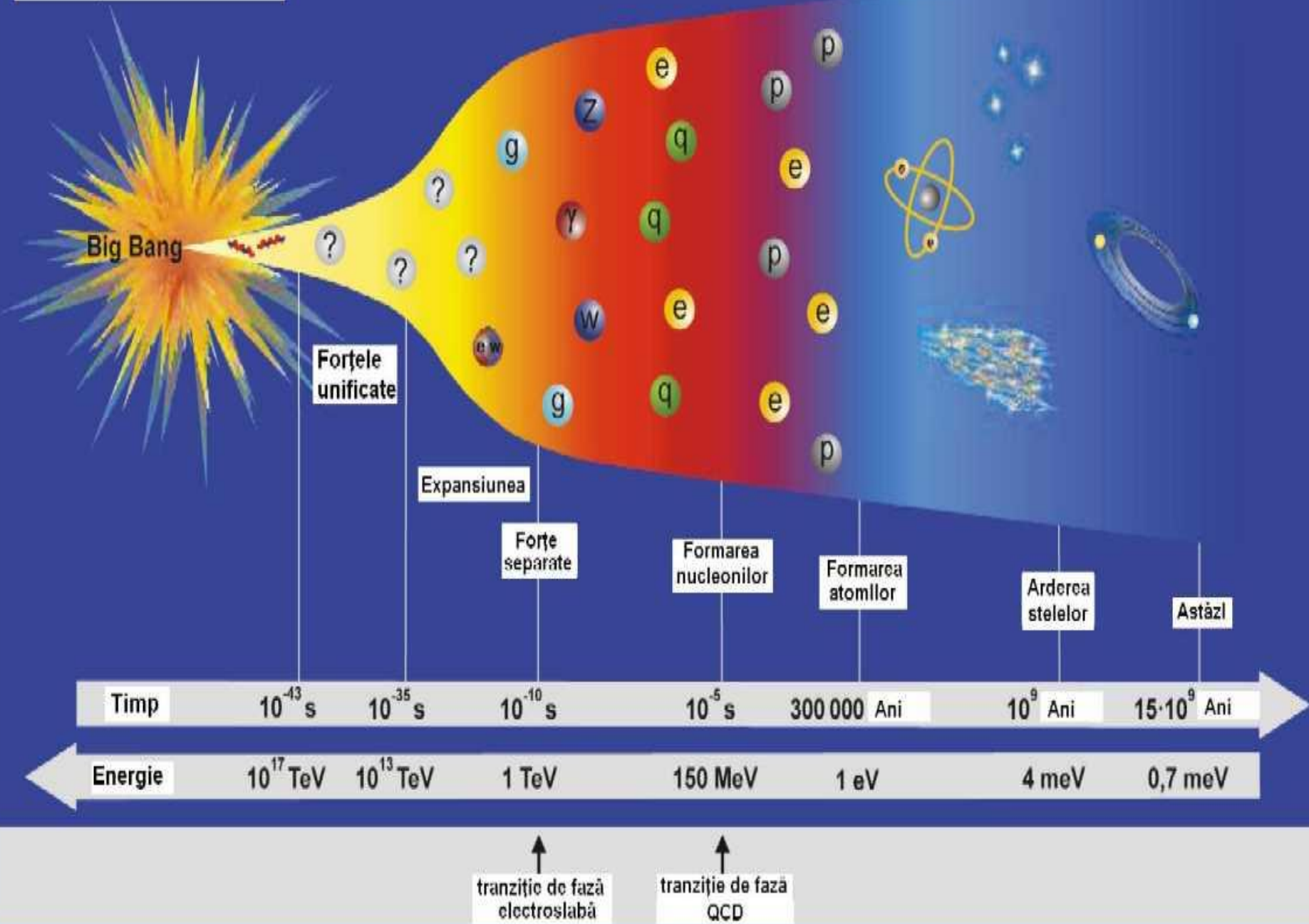


Barry C. Barish



LIGO (Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory), este un proiect de colaborare care implică peste 1.000 de cercetători din peste 20 de țări.

Evoluția universului

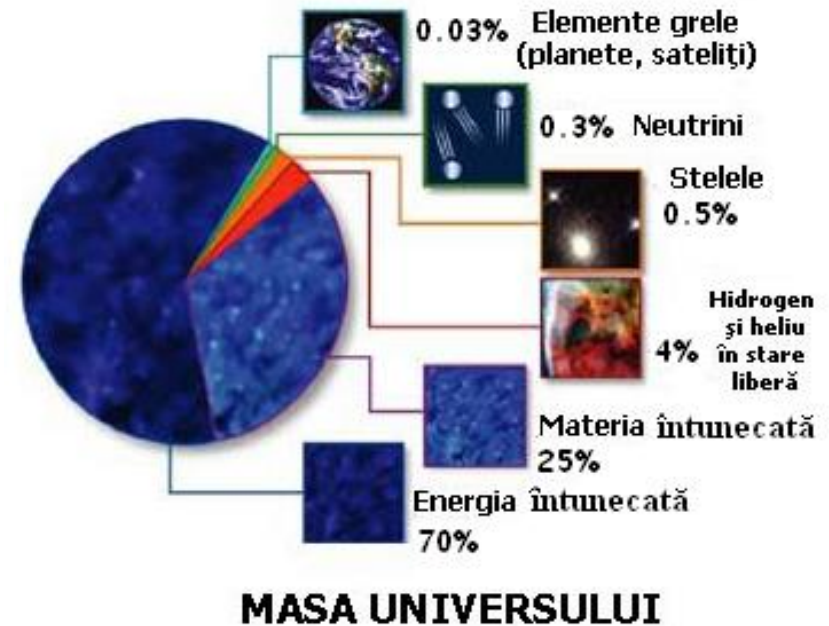


➤ **TEORIA BIG BANG** - universul a început aproximativ 13,7 miliarde de ani, de la un punct infinit de fierbinte și dens (*singularitate*) similar cu a gaură neagră supraalimentată, care a explodat violent iar din acest process a rezultat **ENERGIA, MATERIA, SPAȚIUL** și **TIMPUL**. Ceea ce s-a întâmplat în continuare au fost două etapele majore ale evoluției universului numite **ERA RADIAȚIEI** și **ERA MATERIEI**. Fiecare dintre acestea pot fi împărțite în **EPOCI**.

ERA	Epoca	Timp (după Big Bang)	Evenimente principale
Era Radiației	Planck	0 - 10^{-43} s	➤ Cele patru interacțiuni fundamentale erau unificate
	Marea unificare	10^{-43} – 10^{-35} s	➤ Interacțiunea gravitațională se separă ➤ Celelalte interacțiuni (slabă, electromagnetică și tare) sunt încă unificate. ➤ Se formează quarcii și anti-quarcii
	Hadron	10^{-35} – 10^{-4} s	➤ Interacțiunile slabă, electromagnetică și tare se separă. ➤ Se formează hadronii și sunt dominanți în masa universului
	Lepton	10^{-4} - 10^2 s	➤ Se formează leptonii și sunt dominanți în masa universului
	Nucleară	10^2 – 10^3 ani	➤ Se formează nuclee și atomi. ➤ Era Radiației se sfârșește după 1000 ani și începe Era Materiei
Era Materiei	Atomică	10^3 – 10^6 ani	➤ Atomii sunt formați. ➤ Materia începe să fie dominantă
	Galactică	10^6 – 10^9 ani	➤ Se formează galaxii și structuri la scară largă.
	Stelară	10^9 - prezent	➤ Toate galaxiile s-au format ➤ Stelele și planetele continuă să se formeze

STRUCTURA UNIVERSULUI

❑ **Materia întunecată**-substanță din cosmos foarte puțin cunoscută, teoretizată relativ recent și formată din particule încă nedetectate experimental. Dovedirea existenței ei este mai greu de realizat deoarece nu emite radiații, aceasta fiind stabilită doar teoretic. Expansiunea accelerată a Universului ar fi datorată materiei întunecate, bazate pe certitudinea prezentei “*găurilor negre*”.



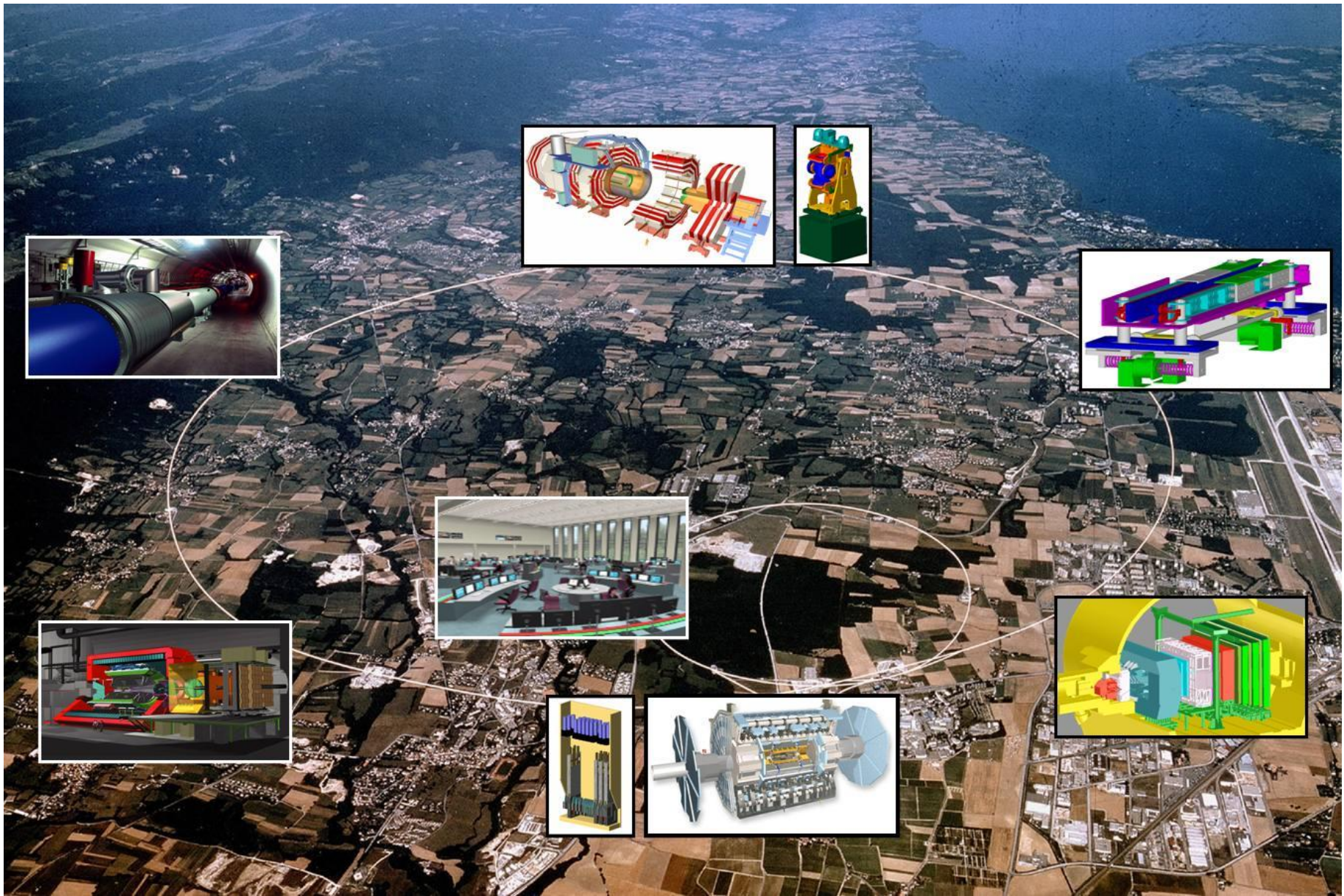
➤ Există teorii care afirmă, că particulele de materie întunecată ar fi suficient de luminoase pentru a fi produse la LHC însă nu ar putea fi observate cu actualele detectoare. Cu toate acestea, particulele materiei întunecate ar transporta energie și impuls, astfel încât s-ar putea deduce existența lor din cantitatea de energie și impuls „lipsă” după o coliziune. Particulele de materie întunecată apar frecvent în teorii care sugerează fizică dincolo de Modelul Standard, cum ar fi supersimetria și dimensiunile suplimentare.

❑ **Energia întunecată** - a fost descoperită (1998) prin observarea supernovelor apărute în galaxiile îndepărtate (*în spațiu deci și în timp*) și pare să fie asociată cu vidul din spațiu. Ar putea fi și un efect al dimensiunilor paralele ale Universului, confirmat teoretic de teoria stringurilor.

MARI ACCELERATOARE



Tevatronul Fermilab (Fermi National Accelerator Laboratory)-SUA-Chicago



CERN (Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire)

LHC (Large Hadron Collider)

<https://youtu.be/a-eQP6FlkCI>

Fizica particulelor elementare în România

- ❑ Istoria cercetărilor în fizica particulelor din România, începe în anul 1961, când a fost înființat, în cadrul **Institutului de Fizică Atomică de la Măgurele**, primul laborator de cercetare dedicat fizicii particulelor elementare la energii înalte. În următoarele trei decenii, cercetătorii de aici au participat la experimente efectuate cu precădere la JINR-Dubna
- Studii ale dezintegrării pionilor, folosind protoni de 680 MeV/c produși la ciclotronul de la JINR-Dubna, în emulsii nucleare;
- producerea de particule în ciocniri ale pionilor (cu energia de 4 GeV/c și mai târziu 40 GeV/c) produși la acceleratorul Serpukhov pe diverse ținte (nucleoni, nuclee ușoare și grele) folosind o cameră cu bule cu propan;
- producerea de particule în ciocniri nucleu-nucleu la 4.2 GeV/c/nucleon folosind aceeași cameră cu propan și acceleratorul sincrofazon de la Dubna;
- producerea de rezonanțe multi-quarc în camera cu bule de hidrogen lichid de un metru, la acceleratorul sincrofazon de la Dubna; studii asupra ciocnirii pionilor cu diverse nuclee;
- producerea de hiperoni în ciocniri pion-proton la sincrotronul de protoni de la CERN folosind camere cu bule;
- investigarea producției de barioni cu **charm** în ciocniri neutron-proton folosind fascicolul de neutroni cu energia de 40-70 GeV/c de la Serpukhov și un spectrometru magnetic;
- producerea de particule în anihilarea proton-antiproton.

□ În prezent, **Departamentul de Fizica Particulelor Elementare (IFIN-HH)** este implicat în experimentele CERN.

➤ În cadrul experimentului NA62 CERN SPS (Super Proton Synchrotron), se măsoară dezintegrările extrem de rare ale mezonului K într-un pion și o pereche neutrino-antineutrino, cu scopul de a determina cu precizie unul din parametrii Modelului Standard.

➤ În cadrul experimentului ATLAS, cel mai mare experiment al LHC, participă prin Clusterul ATLAS România.

✓ Clusterul ATLAS din România caută evidențe experimentale privind:

- existența particulelor supersimetrice
- studiază aspecte fenomenologice ale Modelului Standard (SM) al particulelor elementare și ale unor modele care extind SM
- contribuie la operarea și întreținerea detectorului ATLAS
- studiază performanțele funcționării detectorului
- contribuie la dezvoltarea aplicațiilor dedicate achizițiilor de date (Trigger and Data Acquisition – TDAQ)

➤ **Organizații științifice Internaționale în care este implicată Romania**

ELI-NP - Extreme Light Infrastructure - Nuclear Physics

CERN - European Organization for Nuclear Research, Geneva

JINR - Joint Institute for Nuclear Research, Dubna

IAEA - International Atomic Energy Agency, Vienna

FAIR - Facility for Antiproton and Ion Research, Darmstadt

ECT* - European Centre for Theoretical Studies in Nuclear Physics and Related Areas, Trento

Colaborarea Romaniei cu CERN:

- 2004 - înființarea Comitetului National România – CERN, organ consultativ cu scopul dezvoltării colaborării dintre instituțiile de cercetare românești și CERN
 - 2006 - a fost semnat Memorandumul de Intelegere vizând colaborarea pentru desfășurarea și exploatarea Worldwide LHC Computing Grid, în cadrul căruia România participă cu un centru Tier 2
 - 2010 -la Geneva, s-a semnat Acordul între România și CERN privind statutul de candidat pentru aderarea la CERN
 - **2015** –18 iunie - Romania a devenit membru cu drepturi depline al CERN (Organizația Europeană pentru Cercetare Nucleară)
-
- Peste 300 cercetatori români lucrează în cadrul proiectelor CERN.
 - IFIN-HH participă în mod oficial la trei experimente LHC (ATLAS, ALICE și LHC-b) și la construirea detectorilor, pregătirea și analiza datelor.

<https://www.youtube.com/watch?v=a-eQP6FlkCI>