

**UNIVERSITATEA "BABEȘ-BOLYAI" CLUJ-NAPOCA**  
**Facultatea de Fizică**

Prof.dr. Grigore Damian

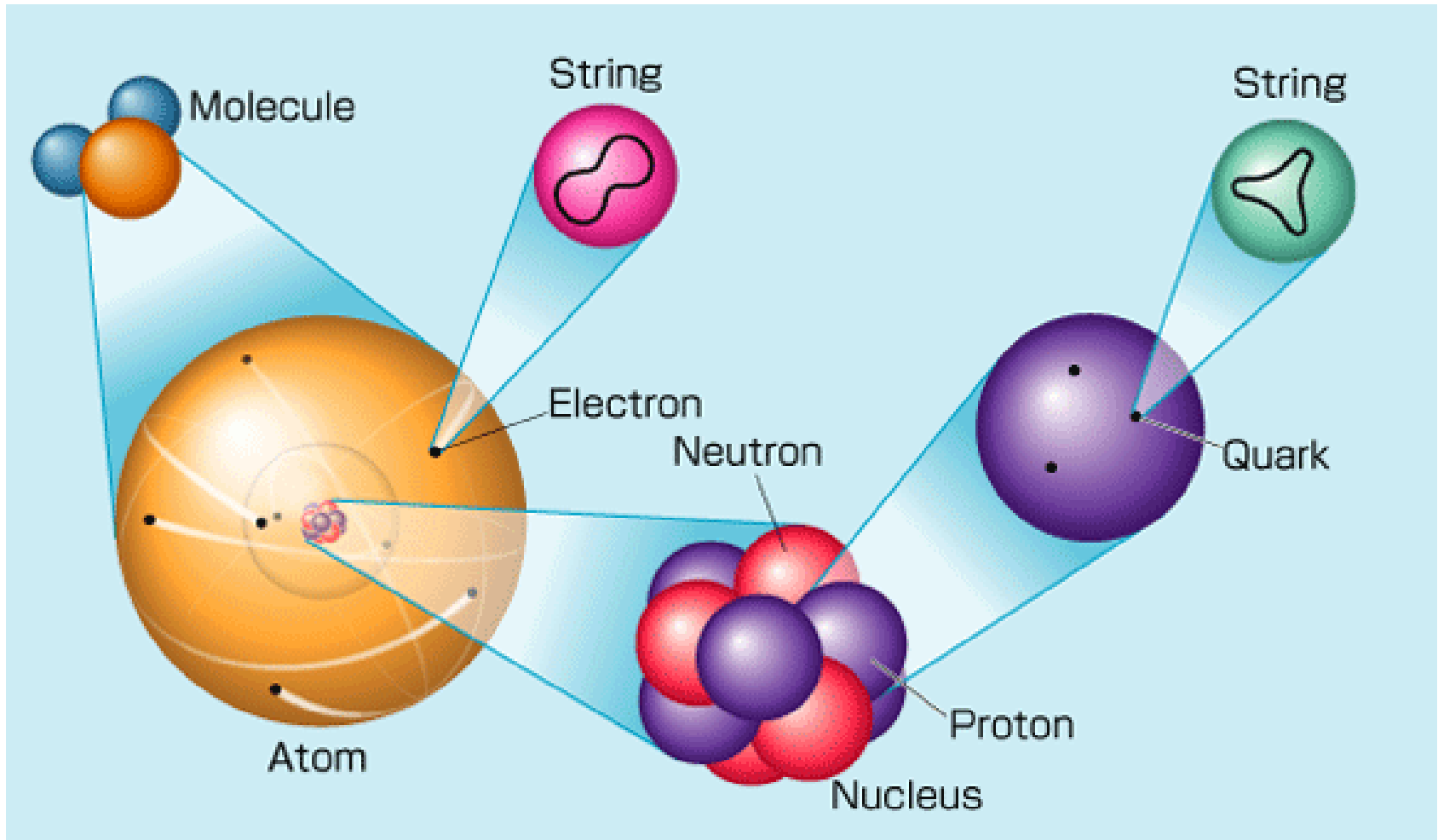
# Particule elementare

-note de curs-

<http://www.phys.ubbcluj.ro/~dgrig>

## 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



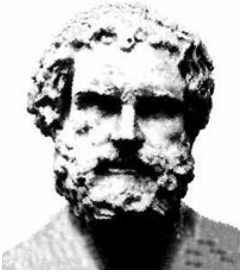
## Thales din Millet (624-547 î.e.n.)

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



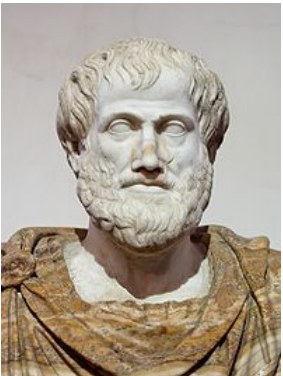
## Empedocle (484-424 î.e.n.)

- 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,

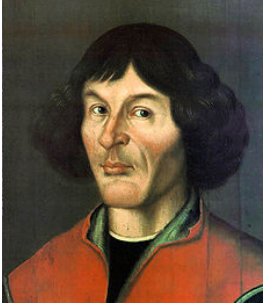
**Aerul** -fierbinte și uscat,

**Apa** - rece și umedă,

**Eterul** - substanța divină - corpurile cerului (stelele și planetele)

# Evul mediu

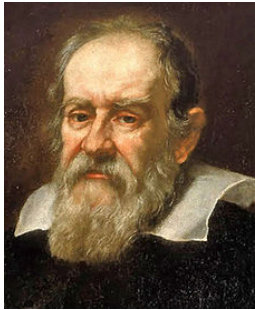
- concepte de natură geometrică și structurală a universului



**Nicholaus Copernicus (1564-1543 e.n.)**

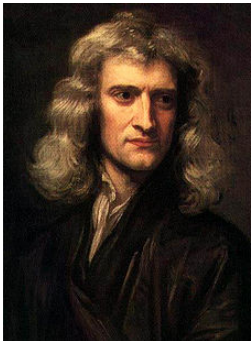
-concept geocentrist

(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



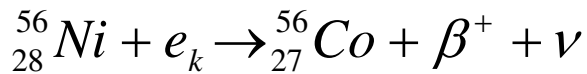
**Johannes Kepler (1571 – 1630)**  
-formulează primele descrieri calitative ale gravitației

1603

stele noi (supernove)

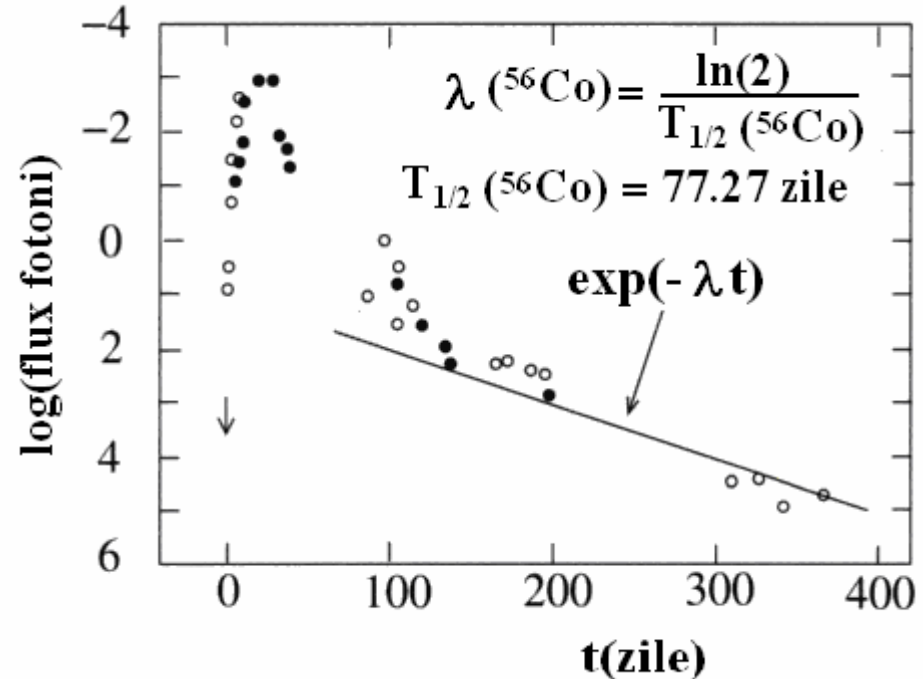
explozii ale stelelor bătrâne aflate la sfârșitul vieții

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



Luminozitatea supernovelor descrește în timp cu o rată după 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



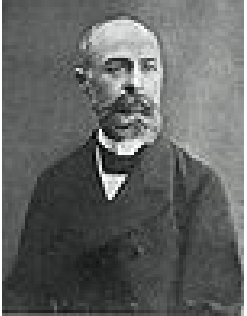
George Stoney (1826 – 1911)

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.



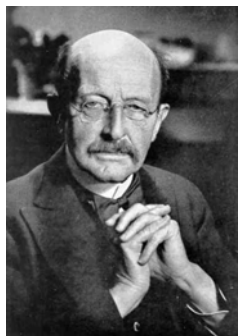
## Joseph Thompson (1856 – 1940)

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)**

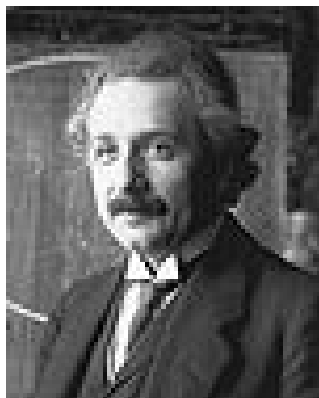
1900- conceptului cuantic stă ideea lui asupra propagării radiației; premisele mecanicii cuantice

**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





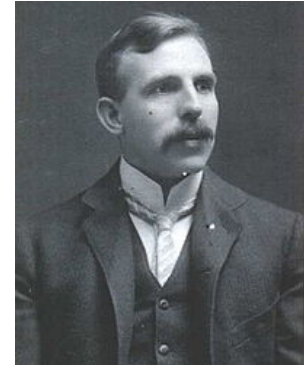
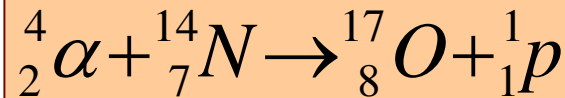
1909 - Johannes Wilhelm Geiger (1882 -1945) și Ernest Marsden (1889 -1970) sub conducerea lui Ernest Rutherford descopera nucleul atomic prin interacțiunea radiației  $\alpha$  cu foite subțiri de aur.



### Ernest Rutherford (1871-1937)

1911 - formularea modelului planetar al atomului

1919 - a realizat prima reacție nucleară-punerea în evidența a protonului



**Lise Meitner (1878-1968)** și **Otto Hahn (1879 - 1968)** decoperă (1911) că spectrul radiației  $\beta$  este continuu și nu discret ca în cazul radiației  $\alpha$  și  $\gamma$  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 -elaboreaza 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)

-formuleaza (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**.



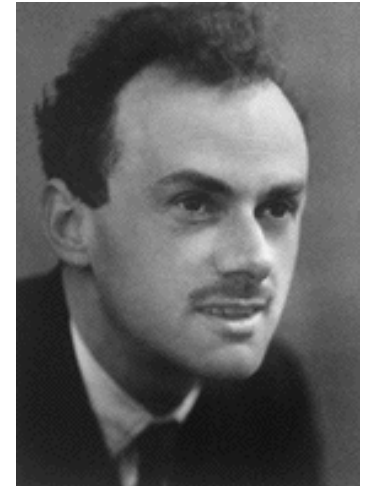
## Paul Dirac (1902 -1984)

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  $\alpha$  prin efectul de tunelare cuantică*

## Erwin Schrödinger (1887 - 1961)

-exprima 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 bozoni)*



## Max Born (1882 -1970)

-interpretarea in 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)**

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 Cockroft (1897 - 1967) și Ernest Thomas Sinton Walton (1903 – 1995)**

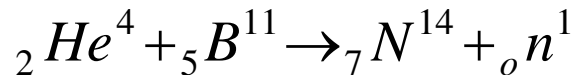
-primul accelerator liniar cu accelerare directă



**James Chadwick (1891 - 1974)**

-descoperă experimental **neutronul** si impreuna

**Maurice Goldhaber (1911-2005)** ii determina masa din  
reactia:



**Carl David Anderson** (1905 -1991)

-1932- descopera **pozitronul** in radiatia cosmica



## 1933 - 1934

**Enrico Fermi** (1901 -1954)

**Hideki Yukawa** (1907 -1981)

-contributii 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  $\pi$ )-forțe nucleare tari**



În anii următori este descoperită o particulă cu aceste proprietăți în radiația cosmică, particulă denumită mai târziu **miuon** (mezon  $\mu$ ).

## 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 este descoperit mezonul  $K^+$  și pionul neutru  $\pi^0$ , mezonii  $\Lambda^0$ ,  $K^0$ ,  $\Delta^{++}$ ,  $\Delta^+$ ,  $\Delta^0$ ,  $\Delta^-$

1952- este pus în funcțiune Cosmotron-ul de la BrookHaven de 1,3 GeV

## Donald Arthur Glaser (1926- )

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 bozoni grei, încărcăți electric, numiți mai târziu  $W^+$  și  $W^-$

1961 - clasificarea particulelor elementare pe bază 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” sau „strange” (u, d, s) cu spinul  $\frac{1}{2}$  și sarcinile electrice  $\frac{2}{3}$ ,  $-\frac{1}{3}$ , respectiv  $-\frac{1}{3}$ . 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

aparitia unei noi discipline numita cromodinamica!!!!!!.



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”, particulă ce nu a fost încă observată.

1968 – 1969 experimente împrăștiere a electronilor de înaltă energie pe protoni -acceleratorul liniar de la Stanford

James Bjorken și Richard Feynmann - punerea 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

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 „asymtotic freedom” – libertate asimptotică

1974- prezentarea unui model consistent asupra structurii fundamentale a particulelor elementare către John Iliopoulos- 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  $J/\psi$  (Ting a denumit-o  $J$ , iar Richter  $\psi$ ). Această particulă este mezonul „charm – anticharm”

În 1976, Gerson Goldhaser (n. 1924) și François Pierre găsesc mezonul  $\Delta^0$  (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 bozonii  $W^+$ ,  $W^-$  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 Koshiya (n. 1914 ) anunță observarea a două tipuri de neutrino: neutrino electronic ( $\nu_e$ ) și neutrino mezonice ( $\nu_\mu$ ).

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, Koshiya și echipa sa anunță detecția unui alt tip de neutrino numit neutrino tau ( $\nu_\tau$ )

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

# Evoluția universului

