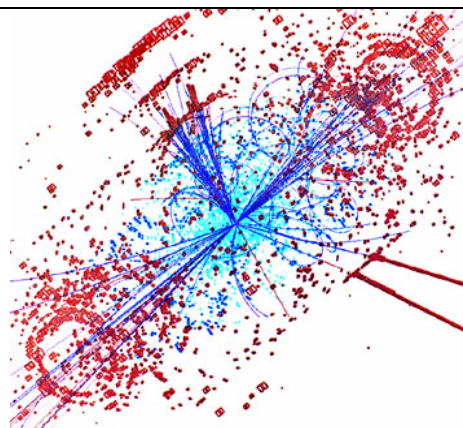


CZĄSTKI ELEMENTARNE

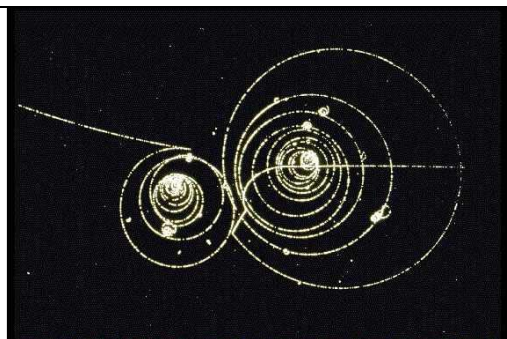
Wielki Zderzacz Hadronów, LHC – największy na świecie akcelerator cząstek (hadronów), znajdujący się w CERN. Jego zasadnicze elementy są umieszczone w tunelu w kształcie torusa o długości około 27 km, położonym na głębokości od 50 do 175 m pod ziemią. Wyniki zderzeń rejestrowane będą przez dwa duże detektory cząstek elementarnych: ATLAS i CMS, dwa mniejsze ALICE i LHCb oraz dwa małe: TOTEM i LHCf.



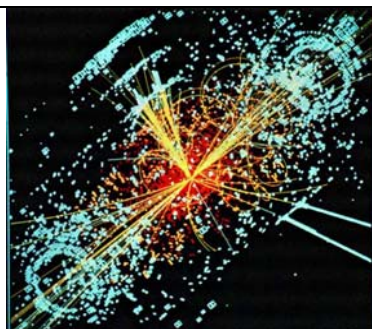
W poszukiwaniu bozonu Higgsa.



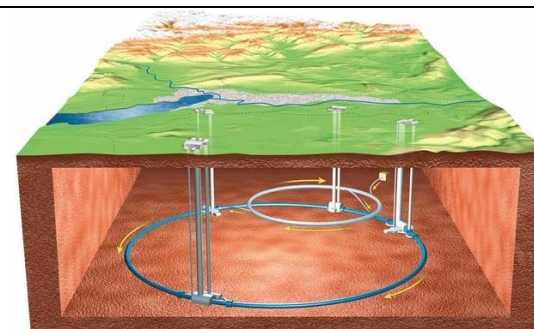
Wielki Zderzacz Hadronów (*Large Hadron Collider*).



Zderzenia cząstek.



Komputerowa symulacja wyniku zderzenia cząstek.



Tunele pod CERN.

WŁASNOŚCI

- czasy życia
- ładunki (całkowite i ułamkowe wartości)
- masy

Rodzaj cząstek	[MeV]	rodzaj oddziaływania
fotony	0	oddz. elektromagnetyczne
leptony	0 - 106	oddz. słabe, elektromagn.
Mezony	135 – 888	hadrony → oddz. silne, słabe, elektromagn.
bariony	> 938	

- liczby kwantowe
- spin (spinor, $\pm \frac{1}{2} \hbar$) → moment magnetyczny
- statystyka (bozony, fermiony)
- izospin (stany ładunków cząstek)

proton $T_3 = +\frac{1}{2}$

neutron $T_3 = -\frac{1}{2}$

$\pi \rightarrow T_3 =$

+1	π^+
-1	π^-
0	π^0

– liczba barionowa (A) i leptonowa (L)

A = +1 dla barionów, L = +1 dla leptonów, A = L = 0 dla bozonów

– dziwność (S) → (stany wzbudzone barionów stowarzyszone z mezonem K)

– hiperładunek

$Q = e\left(T_3 + \frac{A}{2} + \frac{S}{2}\right)$ ładunek cząstek silnie oddziałujących (mezony, bariony)

Y = A + S – hiperładunek

$Q = e\left(T_3 + \frac{Y}{2}\right)$

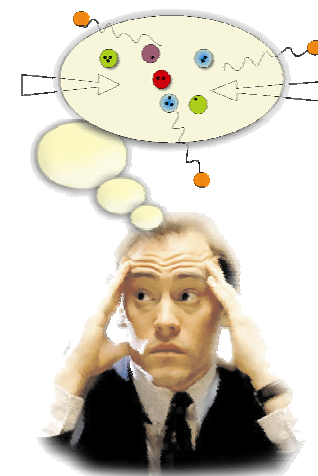
– oddziaływania (silne, słabe, elektromagnetyczne)

– oddziaływania a prawa zachowania

- zachowanie: pędu, energii, momentu pędu, ładunku – zawsze spełnione
- zachowanie liczb kwantowych

HISTORIA ODKRYĆ CZĄSTEK ELEMENTARNYCH

DE RUJALH (TBILISI, 1976r.) → „Myślę, że historię fizyki wielkich energii można by opowiedzieć naiwnie, jako historię kolejnych sukcesów lub upadków zasady, której jak dotąd nie rozumiemy: zasady symetrii między leptonami, a hadronami. Czasami liczba leptonów jest taka sama jak „podstawowych” silnie oddziałujących fermionów, czasami jest więcej jednych lub drugich”.



Lata	Leptony	Hadrony	Uwagi
~ 1920	e	P	-
~ 1932	e	(p, n)	odkrycie neutronu
~ 1934	(ν , e)	(p, n)	hipoteza Pauliego o istnieniu neutrina ν
~ (1937 – 1960)	$\begin{pmatrix} \nu & e \\ \mu & \end{pmatrix}$	(p, n) π , K, Λ , Σ	gwałtowny wzrost liczby czątek (rozwój metod akceleratorowych i badań prom. kosmicznego)
1959	$\begin{pmatrix} \nu & e \\ \mu & \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} p \\ n & \Lambda \end{pmatrix}$	model Sakaty: wszystkie znane hadrony można zbudować z trójki barionów: p, n, Λ
1962 - 64	$\begin{pmatrix} \nu_e & e \\ \nu_\mu & \mu \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} u & d \\ & s \end{pmatrix}$	wzrost liczby leptonów, hipoteza kwarków
1964 - 75	$\begin{pmatrix} \nu_e & e \\ \nu_\mu & \mu \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} u & d \\ c & s \end{pmatrix}$	hipoteza kwarku powabnego (c), możliwość unifikacji oddz. słabych i elektromagn. 1974 – rewolucja listopadowa

1976 - 80	$\begin{pmatrix} \nu_e \\ e \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} \nu_\mu \\ \mu^- \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} \nu_\tau \\ \tau^- \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} u \\ d \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} c \\ s \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} t \\ b \end{pmatrix}$	zasada symetrii leptonowo – hadronowej, można otrzymać zwiększoną liczbę leptonów i kwarków o 2
1977	anihilacja $e^+e^- \rightarrow \tau^\pm + \tau^\mp$ $\tau^\pm \rightarrow l^\pm + \nu_l + \nu_\tau$; $l^\pm$ znane leptony $m_\tau = 1.96 \text{ eV}$, $t < 10^{-11} \text{ s}$, $m_{\nu_\tau} < 500 \text{ MeV}$		
koniec lat 70 - tych lata 80 - te	teoria unifikacji oddziaływań słabych i elektromagnet. (Salam), poszukiwanie leptonu τ oraz kwarków t i b ; powstanie i rozwój chromodynamiki kwantowej		
1983	Odkrycie bozonów W i Z przewidzianych przez teorię oddziaływań elektroślabych (CERN)		

LEPTONY – prawdziwe cząstki elementarne

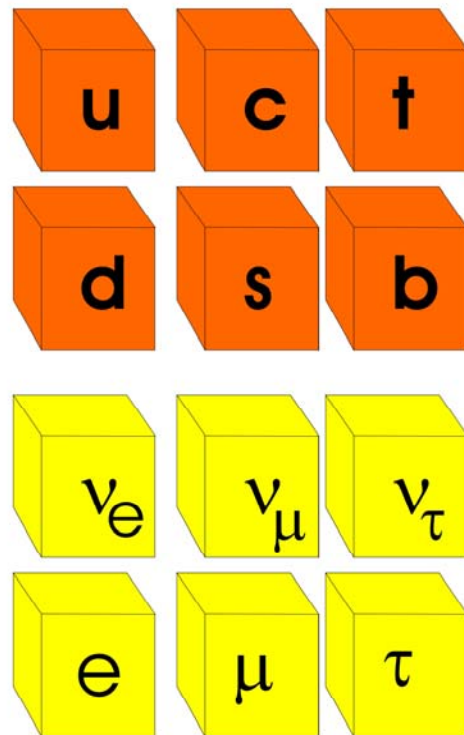
- fermiony o spinie $\frac{1}{2}$
- obiekty punktowe bez struktury wewnętrznej
- nie uczestniczą w oddziaływaniach silnych – stanowią sondę do badań struktury nukleonu

np. Nieelastyczne rozpraszanie leptonu na nukleonie:

$$\left. \begin{array}{l} e + N \rightarrow e + hadron \\ \nu_{\mu} + N \rightarrow \mu + hadron \end{array} \right\} \text{lub} \quad \begin{array}{l} \text{oddz.}e-m \quad e \xleftrightarrow{\gamma} N \rightarrow \text{wymiana fotonu} \\ \text{oddz.slabe} \quad e \xleftrightarrow{W^{\pm}} N \rightarrow \text{wymiana bozonu} \end{array}$$

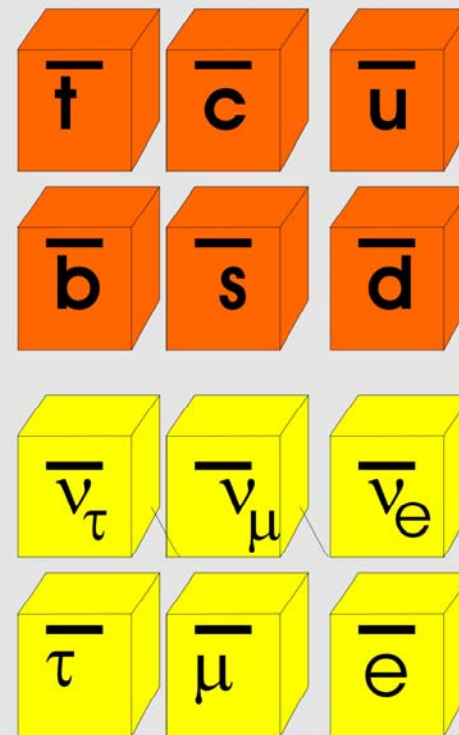
Nukleon złożony z bardziej podstawowych składników punkowych, można identyfikować je z kwarkami.

Kwarki



Leptony

Antykwarki



Antyleptony

MODEL STANDARDOWY (oparty na faktach doświadczalnych)

1. Oddziaływanie grawitacyjne nie odgrywa roli.

2. Fermiony = leptony + kwarki → podstawowe składniki materii

Hadrony złożone są z kwarków: mezon = $q\bar{q}$ bariony = qqq

(zwyczajna otaczająca nas materia złożona jest z: kwarki u, d oraz e)

3. Oddziaływania między składnikami fundamentalnymi materii są przenoszone przez bozony wektorowe o spinie = 1 (wg teorii zunifikowanej).

Oddziaływanie e-m → bozony bezmasowe, fotony γ (zasięg ∞)

Oddziaływanie słabe → bozony pośrednie $W^\pm, Z^0$; $m \sim$ kilkadziesiąt GeV, zasięg $\sim 10^{-2} f$

4. Oddziaływanie silne między kwarkami – przenoszone jest przez bezmasowe gluony o spinie = 1; $m \sim$ kilkaset MeV lub większa.

5. Własności kwarków.

symbol	Ang. nazwa	Masa [GeV/c ²]	ładunek Q	Izospin T	składowa izospinu T ₃	Spin J	Liczba barionowa B	Dzwiność S	Powab C	Piękno B*
u	up	1-5 MeV	+2/3	½	½	½	1/3	0	0	0
d	down	3-9 MeV	-1/3	½	-½	½	1/3	0	0	0
s	strange	0,06-0,2	-1/3	0	0	½	1/3	-1	0	0
c	charmed	1,1-1,4	+2/3	0	0	½	1/3	0	+1	0
b	bottom, beauty	4,1-4,4	-1/3	0	0	½	1/3	0	0	-1
t	top, truth	174	+2/3	0	0	½	1/3	0	0	0

$$p = uud, n = udd, \pi = u\bar{d}$$

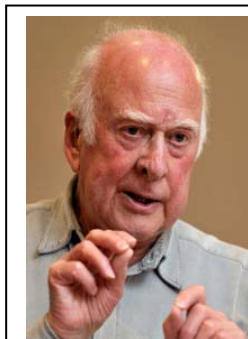
CHROMODYNAMIKA KWANTOWA

(wariant teorii oddziaływań silnych w ramach modelu standardowego)

- kwarki są kolorowe; kolor – nowa zmienna dynamiczna; każdy kwark występuje w 3 kolorach (np. **czerwony**, **zielony**, **niebieski**)
- funkcja falowa barionu jest antysymetryczna ze względu na przestawienie koloru
- leptony nie są kolorowe
- zmienna dynamiczna zapach służy do rozróżniania kwarków u, d, s (dla każdego zapachu kolor przyjmuje trzy wartości)
- oddziaływanie silne „pierwotne” (między kwarkami) polega na wymianie gluonów; 8 kolorowych gluonów; (Hadrony – „białe” → końcowa konfiguracja kwarków → niekolorowa)
- hadrony nie mogą wymieniać gluonów; oddziaływanie silne między hadronami – analogia do sił Van der Waalsa między neutralnymi atomami.
- do rozerwania pary kwarków wymagana jest tak duża energia, iż zanim to nastąpi tworzona jest para $q\bar{q}$; wszelkie próby wyizolowania kwarku prowadzą do produkcji hadronu.

Niektóre cząstki postulowane a jeszcze nie wykryte

- **gluonia** (podobno mezonów, spin całkowity, ładunek 0): z kwantowej chromodynamiki wynika możliwość istnienia cząstek zawierających tylko gluony samooddziaływające ze sobą;
- **cząstka Higgsa** (masa 100-230 GeV, spin 0, ładunek 0): potrzebne w modelu standardowym do nadawania masy bozonom cechowania (W i Z), które inaczej byłyby bezmasowe;
- **grawiton** (masa 0, spin 2, ładunek 0): w kwantowej teorii grawitacji jest nośnikiem oddziaływań grawitacyjnych;
- **aksjon** (masa 0, spin 0, ładunek 0): wprowadzony do chromodynamiki kwantowej, aby rozwiązać problem naruszenia symetrii CP (sprzężenie ładunkowe-C, inwersja przestrzenna-P) w oddziaływaniach silnych;
- **majoron** (masa 0, spin , ładunek 0): pojawia się w kontekście neutrin o niezerowej masie i ewentualnego naruszania zasad zachowania liczb leptonowych;
- **skwarki, sleptony** (masa 100-1000 GeV, spin 0), **wino, zino, fotino** (masa 100-1000 GeV, spin 1/2): w teorii supersymetrii, wprowadzającej nową symetrię między fermionami i bozonami, SA to masywne cząstki będące superpartnerami kwarków, leptonów, bozonów;
- **bozony X, Y** (masa 10^{15} GeV, spin 1): w teoriach wielkiej unifikacji są to nośniki supersiły.



prof. Peter Higgs

