

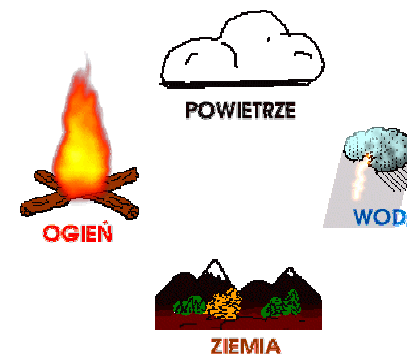
Standardowy Model Budowy Materii

Czyli budowa tego co nasz otacza



Z czego zbudowany jest świat

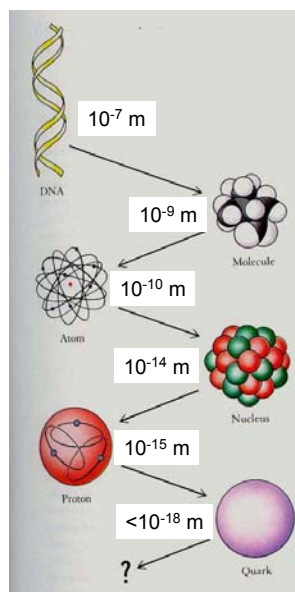
- Czasy starożytne – 4 elementy
- 19^{ty} wiek – atom
- Wczesny 20^{ty} wiek – elektrony, protony, neutrony
- Dzisiaj – kwarki i leptony



DNA

Atom

Proton



Molekuła

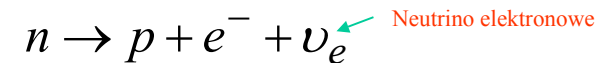
Jądro atomowe

Kwark

Struktura nukleonu

Czy neutron (proton) jest podzielny

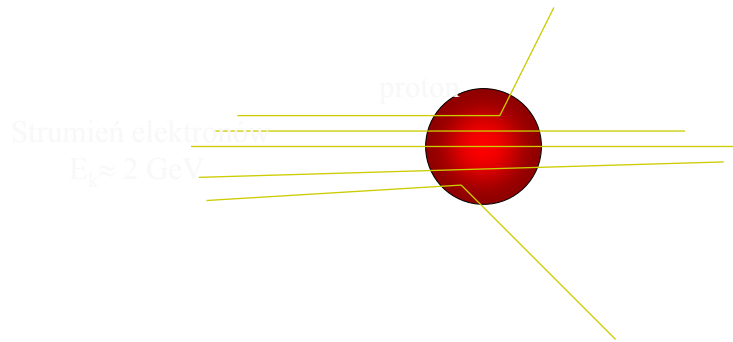
Swobodny neutron rozpada się średnio po 900 s



Zaobserwowano również rozpady



Czy neutron (proton) jest podzielny



Okienko 6.10. PARADOKS SIŁ KWARKOWYCH (PÓŹNE LATA SZESZCZDZIESIĄTE)

Proton można uważać za trzy kwarki, bardzo silnie ze sobą związane oddziaływaniami supersilnymi.

Wzbudzenie jednego lub więcej kwarków prowadzi do barionowych stanów rezonansowych, takich jak Δ .

SLAC w Kalifornii (Pot. 6A). Elektrony o wysokiej energii rozpraszają się na kwarkach w protonie, dostarczając pierwszego bezpośredniego dowodu na istnienie kwarków. Paradoks: kwarki te zachowują się tak jak cząstki swobodne!

W CERN-ie w Genewie rozpraszano neutrina na protonach. Porównanie wyników z rozpraszaniem elektronów pozwala stwierdzić, że oprócz kwarków w protonie znajduje się jeszcze materia elektrycznie obojętna, którą nazwano „gluonami”. Wyszunęto hipotezę, że to właśnie gluony mogą stanowić spoiwo, utrzymujące kwarki razem wewnątrz protonu.

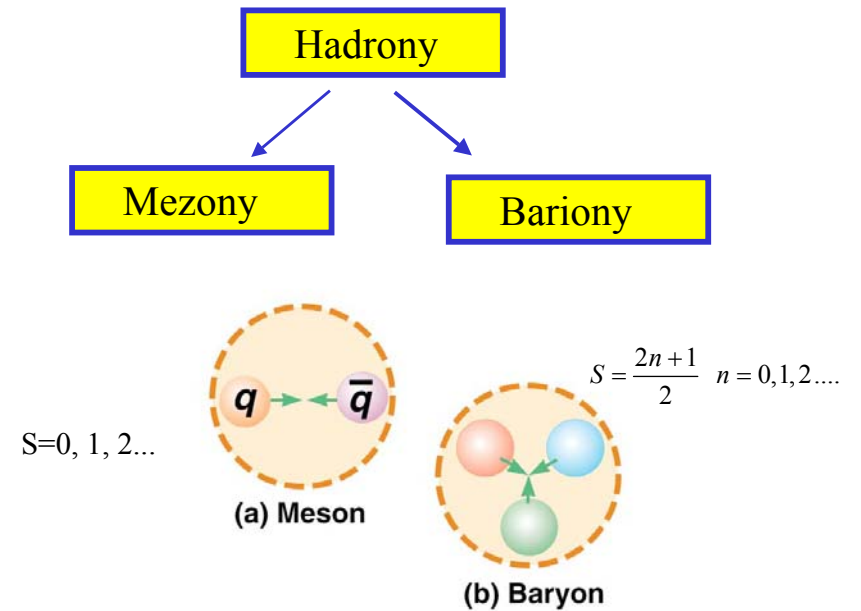
Proton lat siedemdziesiątych: kwarki sklejone przez gluony

Paradoks: gluony prowadzą do bardzo słabego związania kwarków. Jednak przy próbie wyłuskania pojedynczego kwarku spoiwo to okazuje się bardzo trwałe.

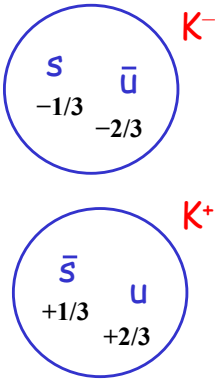
Teoretycy próbują zbudować taką teorię sił kwarkowych, która dawałaby oddziaływania o takich właściwościach (patrz rozdział 7).

Protony i neutrony są zbudowane z jeszcze mniejszych cząstek, zwanych

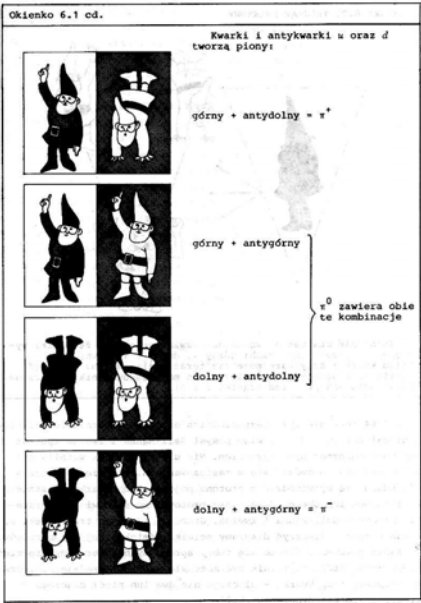
Kwarkami



| Zapach | Ładunek [1e] | Liczba Barionowa | Dziwność (S) |
|-----------|--------------|------------------|--------------|
| u | +2/3 | +1/3 | 0 |
| d | -1/3 | +1/3 | 0 |
| s | -1/3 | +1/3 | -1 |
| \bar{u} | -2/3 | -1/3 | 0 |
| \bar{d} | +1/3 | -1/3 | 0 |
| \bar{s} | +1/3 | -1/3 | +1 |

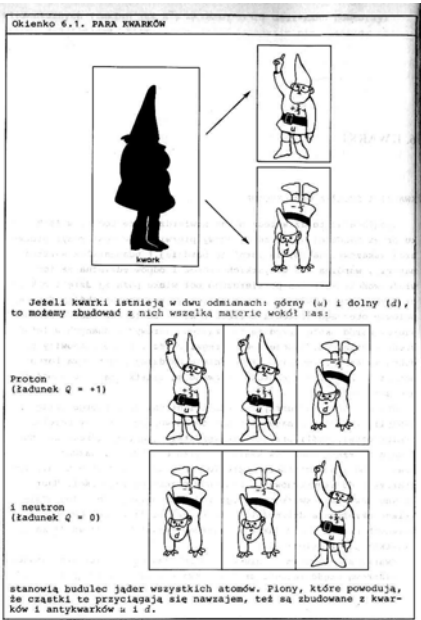


mezony



| MESON = $q\bar{q}$ | | quarks | electric charge | mass (GeV/ c^2) | spin |
|-----------------------|-------|------------|--------------------|-----------------------|------|
| π^+ | pion | $u\bar{d}$ | +1 | 0.140 | 0 |
| K^- | kaon | $s\bar{u}$ | -1 | 0.494 | 0 |
| K^0 | kaon | $d\bar{s}$ | 0 | 0.498 | 0 |
| ρ^+ | rho | $u\bar{d}$ | +1 | 0.770 | 1 |
| D^+ | D | $c\bar{d}$ | +1 | 1.869 | 0 |
| η_c | eta-c | $c\bar{c}$ | 0 | 2.980 | 0 |

bariony

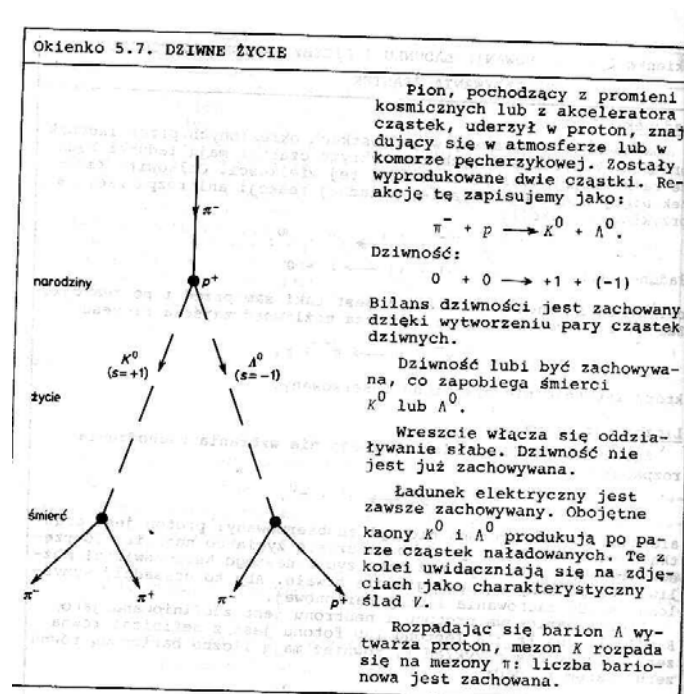
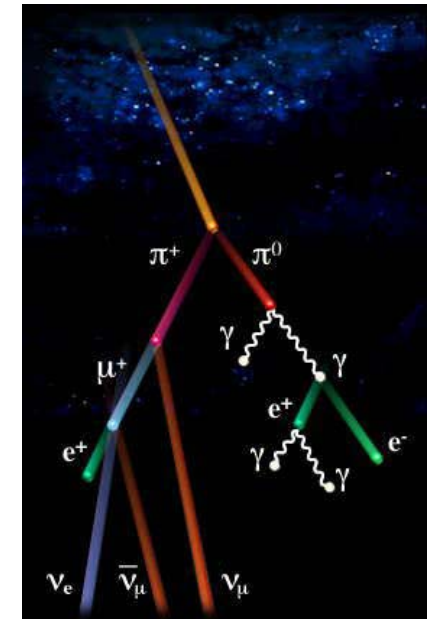


Promieniowanie kosmiczne

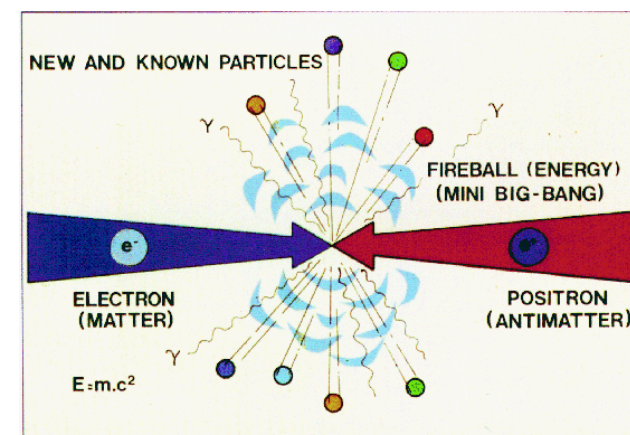
| BARYONS = qq \bar{q} * | quarks | electric charge | mass (GeV/c ²) | spin |
|-----------------------------|---------------------------|--------------------|-------------------------------|------|
| p proton | u u d | + 1 | 0.938 | 1/2 |
| \bar{p} antiproton | $\bar{u} \bar{u} \bar{d}$ | - 1 | 0.938 | 1/2 |
| n neutron | u d d | 0 | 0.940 | 1/2 |
| Λ^0 lambda | u d s | 0 | 1.116 | 1/2 |
| Ω^- omega | s s s | - 1 | 1.672 | 3/2 |
| Σ_c sigma-c | u u c | + 2 | 2.455 | 1/2 |
| Many others !! | | | | |

Promieniowanie kosmiczne docierające do górnych warstw atmosfery składa się głównie wysokoenergetycznych protonów.

Zderzając się z atomami powietrza
generują strumienie par
cząstka - antycząstka



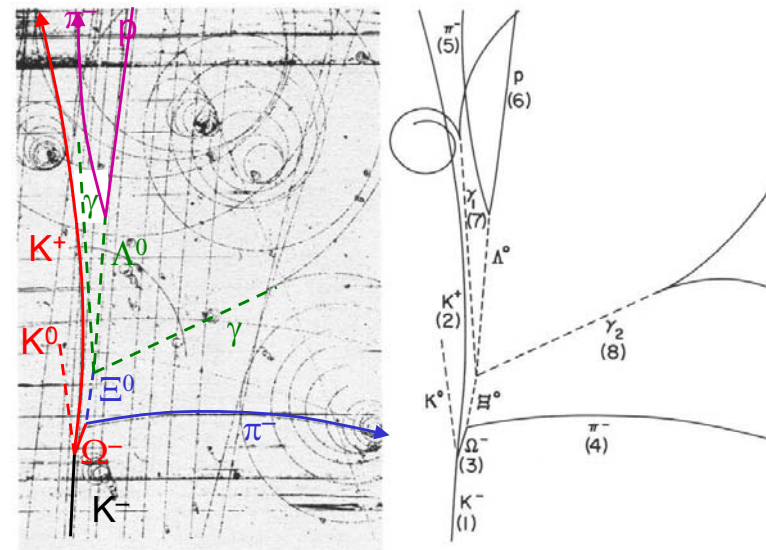
Metody eksperymentalne





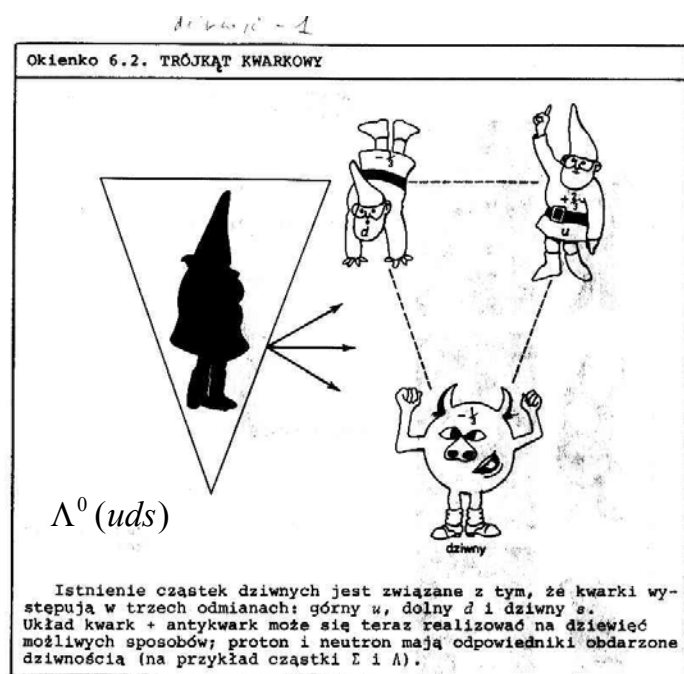
Fermilab (Batavia, IL)

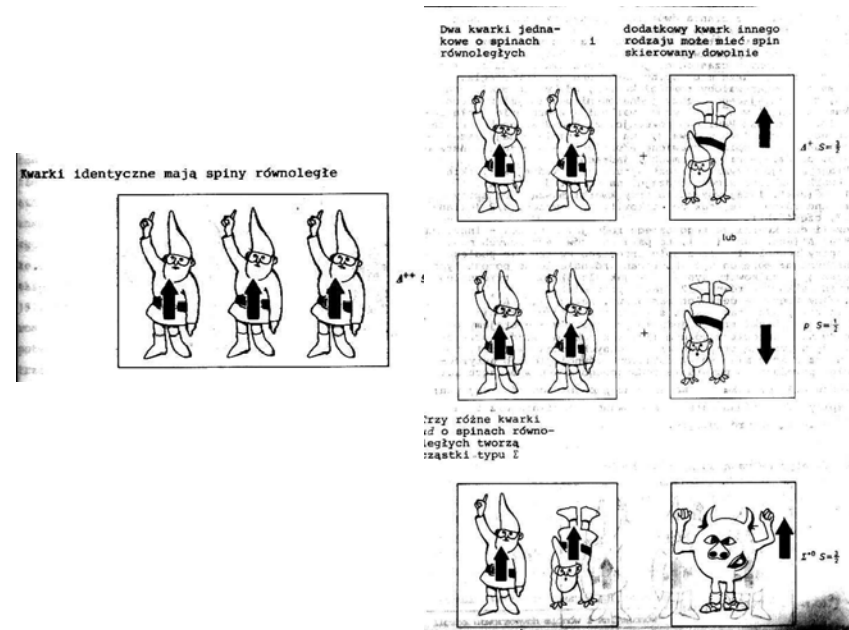
Produkcja i rozpad $\Omega^- \rightarrow \Xi^0 \pi^-$



V.E. Barnes et. al., Phys. Rev. Lett. 8, 204 (1964)

FIG. 2. Photograph and line diagram of event showing decay of Ω^- .





Kwarki oprócz ładunku elektrycznego posiadają jeszcze inny rodzaj ładunku, zwany **ładunkiem kolorowym**. Siły pomiędzy cząstkami naładowanymi kolorowo są bardzo silne, stąd też wywodzi się nazwa przyjęta dla tego oddziaływania:

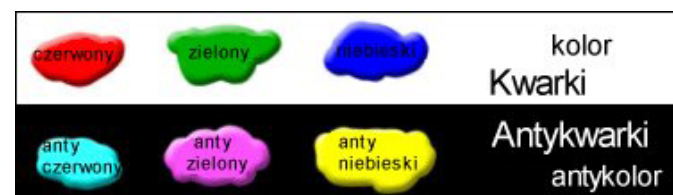
Oddziaływanie silne

- Oddziaływanie silnie zespala kwarki, które tworzą hadrony.
- Cząstki nośnika siły nazwano **gluonem** ponieważ pełni on rolę bardzo mocnego kleju zespalającego kwarki ("glue" w języku angielskim oznacza klej).
- Istnieje 8 gluonów



Jak działa ładunek kolorowy?

Ładunek kolorowy zachowuje się inaczej niż ładunek elektromagnetyczny. Gluony posiadają ładunek kolorowy, co jest dość dziwne, gdyż fotony (nośniki siły elektromagnetycznej) nie mają ładunku elektromagnetycznego. Podczas gdy kwarki mają ładunek kolorowy, to **całkowity ładunek kolorowy** cząstek złożonych z kwarków wynosi **zero** (są one **kolorowo obojętne**). Z tego powodu oddziaływanie silne występuje tylko na bardzo małych odległościach pomiędzy kwarkami i dlatego w życiu codziennym siły tej w ogóle nie widzimy.



Kolor kwarków i gluonów

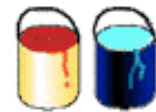
- Każdy z kwarków przenosi jeden z trzech kolorów i jeden z trzech anty-kolorów
- Bariony i Mezony są „kolorowo” neutralne tzn. ich wypadkowy kolor jest „biały”.



Kwarki
niosą kolor



Antykwarki
niosą antykolor



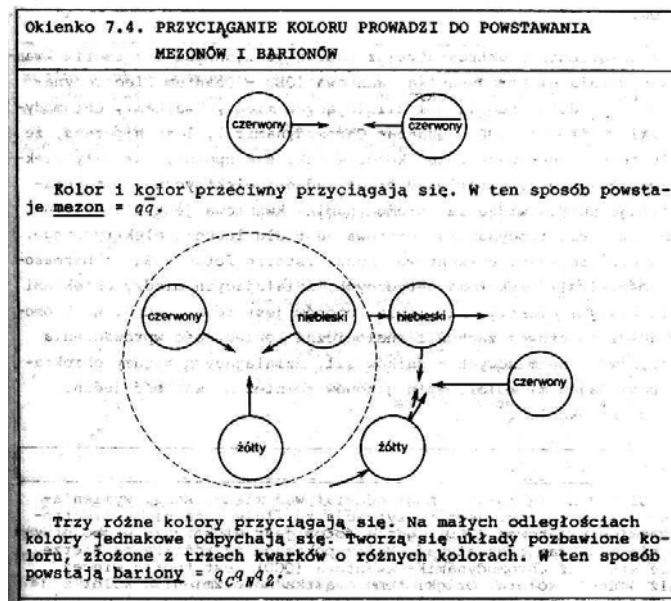
Gluony
niosą kolor i antykolor

Kwark emituje gluon

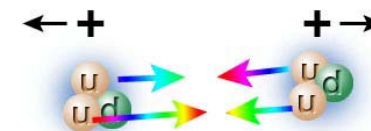
- Ładunek kolorowy jest zachowany
- Gdy czerwony kwark emituje czerwony/anty-niebieski gluon staje się kwarkiem niebieskim



| | | | |
|---------------|--------------|----------------|----------------------|
| czerwony | zielony | niebieski | kolor Kwarki |
| anty czerwony | anty zielony | anty niebieski | Antykwarki antykolor |

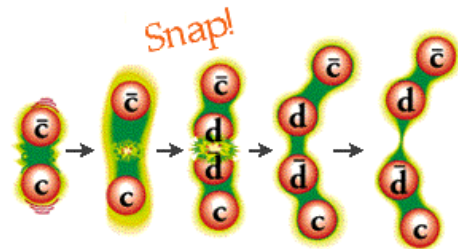


Oddziaływanie silne pomiędzy **kwarkami** w jednym protonie i **kwarkami** w innym protonie jądra jest wystarczająco duże, by przewyciężyć odpychającą siłę elektromagnetyczną pomiędzy tymi protonami.

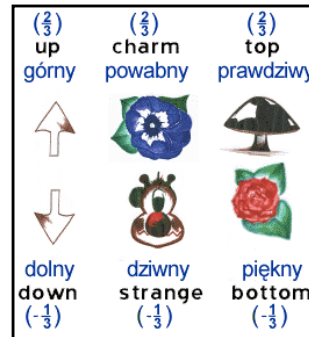


Efekt ten nazwano **reszkowym oddziaływaniem silnym**, i jest to właśnie to, co "skleja" (glue - ang. sklejać) jądro atomowe.

Pole kolorowe



Kwarki są jednym z rodzajów cząstek materii. Większość materii, która nas otacza, jest zbudowana z protonów i neutronów, które z kolei składają się właśnie z kwarków.



Mamy **sześć kwarków**, pogrupowanych w trzy pary :

Górny - dolny (up/down),

Powabny - dziwny (charm/strange)

prawdziwy - piękny (truth/beauty). - jednak obecnie w języku angielskim używa się innych nazw: top/bottom.

Kwarki mają niezwykłą własność - ich ładunek elektryczny jest **ułamkowy**,

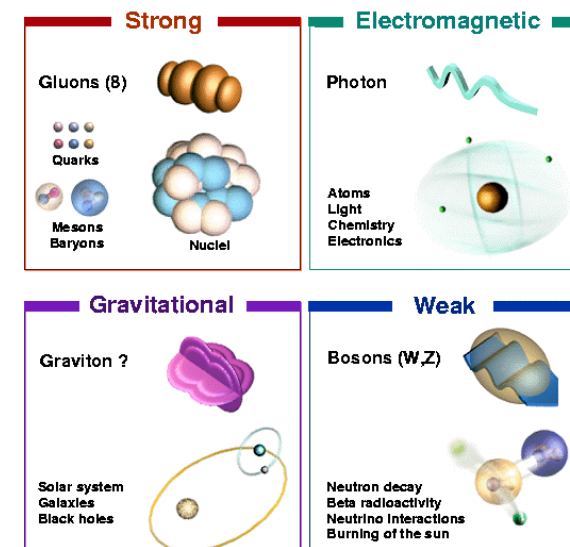
$$+\frac{2}{3}e \text{ lub } -\frac{1}{3}$$

w przeciwieństwie do protonu i elektronu, mających odpowiednie ładunki +1 i -1. Najtrudniej uchwytyny kwark, **prawdziwy**, został odkryty w roku 1995.

SKŁADNIKI MATERII

| | CZĄSTKA | SYMBOL | ŁADUNEK | MASA (GeV/c ²) |
|-------------------------|----------------------|----------------|---------|----------------------------|
| PIERWSZA RODZINA | | | | |
| KWARKI | GÓRNY | u | +2/3 | 0.03 |
| | DOLNY | d | -1/3 | 0.06 |
| LEPTONY | ELEKTRON | e ⁻ | -1 | 0.0005 |
| | NEUTRINO ELEKTRONOWE | ν _e | 0 | 0? |
| DRUGA RODZINA | | | | |
| KWARKI | POWABNY | c | +2/3 | 1.3 |
| | DZIWNY | s | -1/3 | 0.14 |
| LEPTONY | MION | μ ⁻ | -1 | 0.106 |
| | NEUTRINO MIONOWE | ν _μ | 0 | 0? |
| TRZECIA RODZINA | | | | |
| KWARKI | TOP | t | +2/3 | 174 |
| | PIĘKNY | b | -1/3 | 4.3 |
| LEPTONY | TAU | τ ⁻ | -1 | 1.7 |
| | NEUTRINO TAUONOWE | ν _τ | 0 | 0? |

Forces



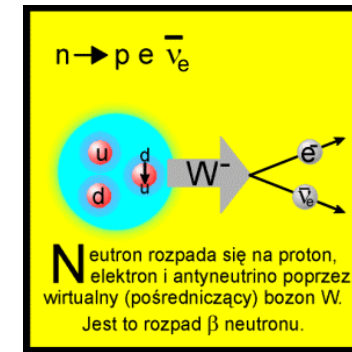
The particle drawings are simple artistic representations

Oddziaływania słabe są odpowiedzialne za rozpad ciężkich kwarków i leptonów na lżejsze kwarki i leptony.

Cząstki przenoszące oddziaływanie słabe to:

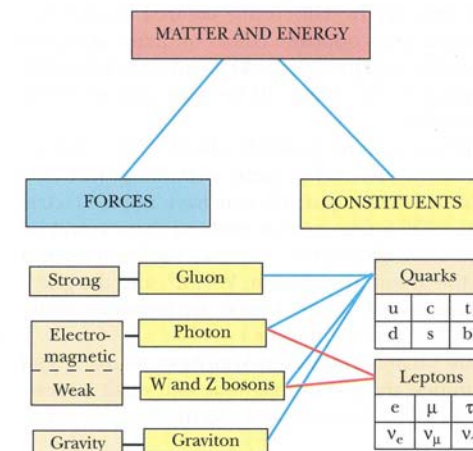
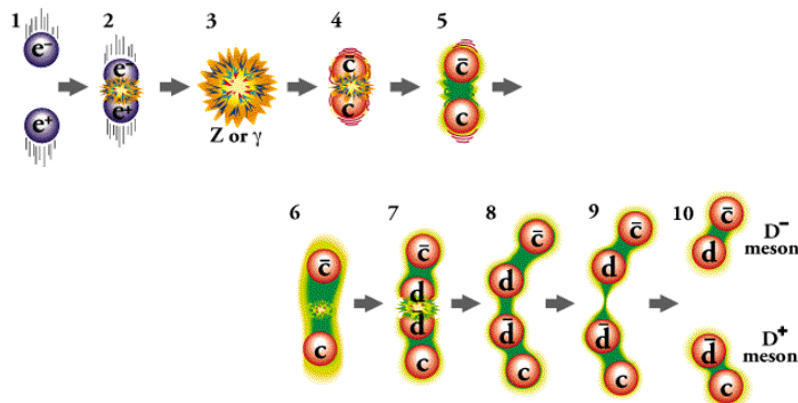
bozony W^+ , W^- i Z .

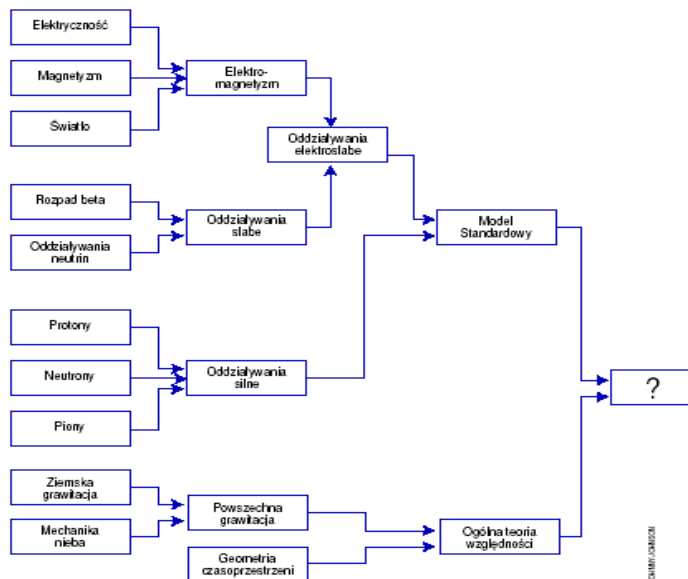
Cząstki W są naładowane elektrycznie, podczas gdy cząstka Z jest elektrycznie obojętna.



$$d^{-\frac{1}{3}} \Rightarrow u^{+\frac{2}{3}} + e^{-1} + \bar{\nu}_e$$







Anihilacja elektronu














Particles

Leptons

| | | | | | |
|----------|---|-----------------------|-------------------|---|----------------------|
| Tau |  | Electric Charge -1 | Tau Neutrino |  | Electric Charge 0 |
| Muon |  | -1 | Muon Neutrino |  | 0 |
| Electron |  | -1 | Electron Neutrino |  | 0 |

Quarks

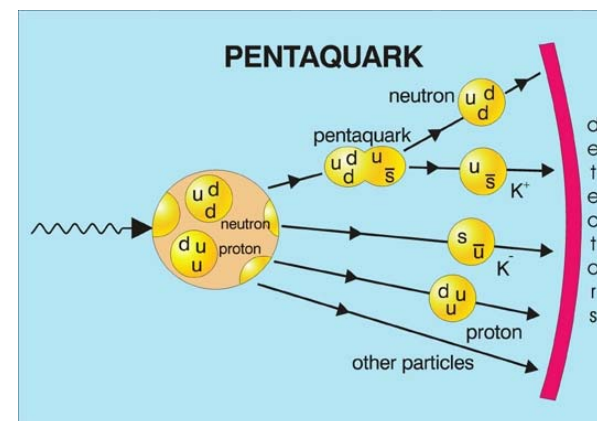
| | | | | | |
|---------|---|-------------------------|-------|---|------------------------|
| Bottom |  | Electric Charge -1/3 | Top |  | Electric Charge 2/3 |
| Strange |  | -1/3 | Charm |  | 2/3 |
| Down |  | -1/3 | Up |  | 2/3 |

each quark:  R,  B,  G 3 colors

The particle drawings are simple artistic representations

Pozostało jednak wiele pytań, które wciąż pozostają bez odpowiedzi.

- Dlaczego obserwujemy tylko materię i prawie żadnej antymaterii, skoro wierzymy, że na samym początku była tylko energia, która nie wyróżnia ani materii, ani antymaterii?
- Czym jest cała dodatkowa materia w wszechświecie, której nie widzimy bezpośrednio, lecz widzimy jej efekty grawitacyjne?
- Dlaczego masy cząstek są właśnie takie, jakie są?
- Czy leptony i kwarki są rzeczywiście elementarne, czy może składają się one z jeszcze innych cząstek elementarnych?
- Dlaczego istnieją akurat **trzy** rodziny kwarków i leptonów?
- Jak do tego wszystkiego wkomponować grawitację?



Pentaquark: Barion zawierający pięć kwarków

