

# Model Standardowy 5.III.2008

Model Standardowy to teoria materii w oparciu o fundamentalne cząstki i siły

- **Materia:** cząsteczki->atomy->jądra at. (i elektrony)  
->nukleony->kwarki (kwarki: Gell-Mann i Zweig 63)
- **Siły:** realizują się przez wymianę cząstek

Czyli - wszystko zawarte we własnościach cząstek  
Przykład: różnica mas kwarku u i d

# różnica mas kwarku u i d

- Te kwarki tworzą proton (uud) i neutron (ddu)  
[ $m_p=938.3 \text{ MeV}/c^2$  ,  $m_n=939.5 \text{ MeV}/c^2$  ,  $\Delta m=1.3 \text{ MeV}/c^2$ ]
- Rozpad neutronu =  
rozpad kwarku d na kwark u (+...)  
Kwark d – ma większą masę i rozpada się na  
cząstkę o mniejszej masie
- Ale co by było jeśli byłoby odwrotnie?

# Proton jest trwały a neutron - nie

- Słońce świeci – rozpad neutronu
- Woda istnieje (proton = jądro wodoru)

Rozpad neutronu  $n \rightarrow p e \bar{\nu}_e$

Hipotetyczny rozpad protonu

$$p \rightarrow n e \bar{\nu}_e$$

**Dlaczego nie ...**

# Zasada zachowania energii

W każdej reakcji (zderzeniu, rozpadzie):

**energia końcowa = energia początkowa**

- Każda cząstka o masie  $m$  ma związana z nią energię  $E=mc^2$

Więc rozpad możliwy na cząstki o mniejsze masie;  
bardziej masywne cząstki mają więcej szans na rozpad

- Zasada zachowania energii – ściśle przestrzegana przez Naturę

Przykład rozpadu neutronu: bilans masy  
( $940.5 - [938.3 + 0.511 + 0] = 0.80$ ) MeV/c<sup>2</sup>

-> energia kinetyczna produktów rozpadu

# Jednostka energii: elektronowolt eV

- eV energia elektronu po przejściu w polu elektrycznym różnicy potencjału 1 Volta (to jest b. mała jednostka energii, elektron w telewizorze kilka keV)
- eV → MeV, GeV, TeV  
Tevatron - 2 TeV, LHC – 14 TeV,  
energia promieni kosmicznych do  $10^{21}$  eV =  $10^9$  TeV
- Cząstki elementarne często z prędkościami bliskimi prędkości światła  $c$
- Więc wszędzie pojawia się  $c$  i dla WYGODY →  $c=1$   
a ponieważ związek Einsteina  $E=mc^2$

masę i energię wyrażamy w tych samych jednostkach

# Zachowanie ładunku elektrycznego

- Zasada zachowania ładunku el.
  - ściśle przestrzegana w przyrodzie
- dlatego np. proton nie mógłby się rozpaść na elektron (plus antyneutrino - el. neutralne)
- Ta zasada była znana zanim fizyka cząstek się rozwinęła (ale wraz z rozwojem tej dziedziny inne podobne prawa zachowania się pojawiły)
- Ładunek cząstek elementarnych – tylko w określonych porcjach → **skwantowanie ładunku**  
Niech ładunek el. elektronu =  $-1$ , wtedy ładunek el. protonu  $+1$ ,  
ale kwarku  $u$  wynosi  $2/3$ !
- Obserwowane cząstki el mają ładunek el będący wielokrotnością ładunku el. elektronu – czyli  $n=0,1,2,\dots$  lub  $-1,-2,\dots$   
( $n=0$  – cząstka neutralna lub obojętna)

# Liczba ładunkowa (charge number)

- Zasada zachowania ładunku  
czyli zachowanie liczby ładunkowej  
końcowa l. ład. = początkowa l. ład.  
(-> suma l. ładunkowych cząstek)
- Kwantowa liczba ładunkowa  
(charge quantum number)
  - pierwszy przykład liczby kwantowej

# Liczby kwantowe

- Rozpad protonu nie jest zabroniony przez zasadę zachowania ładunku el.  
zasada zachowania energii też pozwala  
np.  $p \rightarrow \bar{e} + \text{neutrino}$

Więc co zabrania?

- Stückelberg (1938) – nowa idea:  
inna liczba kwantowa (tzn. jej zachowanie)
- Doświadczalne potwierdzenie tej hipotezy-testy  
np. dlaczego neutron nie rozpada się na:  $e + \bar{e}$ ?

**Nowa liczba kwantowa: liczba barionowa**

Proton=+1, neutron=+1 (  $\bar{p}, \bar{n} = -1$ ), pozostałe= 0

**zachowana w Naturze**

(baryon, z greckiego ciężki)



# Kolory – nowe liczby kwantowe

- Czerwony, niebieski, zielony – dla kwarków (i antyczerwony, antyniebieski, antyzielony dla antykwarków)
- Wszystkie kwarki są kolorowe
- Gluony – też mają kolor ale „podwójny” kolor i antykolor  
np. gluon czerwono- antyniebieski
- foton „czuje ładunek el.”, gluon – ładunek kolorowy – (oddziałuje z.., sprzęga się do..)

# 3 kolory mogą się złożyć do 'koloru białego', czyli braku koloru

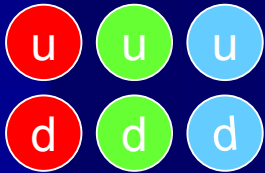
- Makroskopowo – ładunek kolorowy nie występuje, bo kwarki nie występują pojedynczo
- stany związane kwarków są neutralne kolorowo

(tak jak atomy - neutralne elektrycznie)

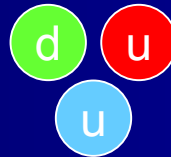
Proton, neutron są tak złożone z kolorowych kwarków, że ich wypadkowy kolor jest biały.

# W protonie i neutronie

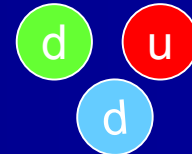
kwarki zmieniają kolor (bo cały czas wymieniają się gluonami), ale stan zawsze zawiera taką kombinację która oznacza brak koloru dla p i n (singlety kolorowe)



proton



neutron



# Kwarki -

- Liczba barionowa  $p$  i  $n = +1$

Stąd kwarki mają liczbę barionową  $1/3$

- Ładunek elektryczny

kwarków  $q = 2/3$  lub  $-1/3$

antykwarłów  $\bar{q} = -2/3$  i  $1/3$

$u = 2/3$ ,  $d = -1/3$  stąd ład. el.  $p = +1$ ,  $n = 0$

# Liczba elektronowa

- Zawsze elektronowi towarzyszy cząstka neutrino (lub anty-neutrino)

np. w rozpadzie neutronu

- Liczba elektronowa: dla elektronu  $e=+1$ ,  
dla neutrina elektronowego  $\nu_e=+1$
- I dla ich antycząstek = -1, inne =0

Więc jeśli l. elektronowa ma być zachowana,  
to rozpad neutronu musi być taki:  $n \rightarrow p e \bar{\nu}_e$

- Proces „skrzyżowany (crossing)”:  $\bar{\nu}_e n \rightarrow p e$   
też istnieje. Proces  $\bar{\nu}_e p \rightarrow \text{neutron } e$   
odkrycie  $\nu$  Cowan, Reines' 1956 (Nobel 1995)
- przedtem neutrino - tylko hipoteza 1930  
Pauli (zachowanie energii w rozpadzie n)

# Pierwsza rodzina

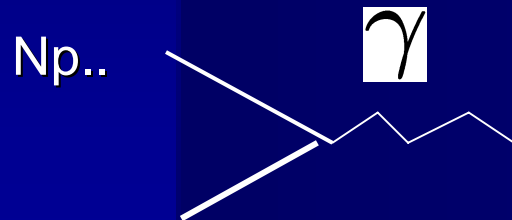
- Kwarki o ład. el.  $2/3$  u (3 kolory)  
 $-1/3$  d (3 kolory)
- Leptony  $0$   $\nu_e$   
 $-1$  e  
(Leptony – z greckiego małe)

Siły – elektromagnetyczne (foton- el. ład 0, masa 0)

Silniejsze dla większego ładunku (co do wartości bezwzględnej)

- czyli oddz. e-m silniejsze dla kwarku u niż d, z neutrinem nie ma oddz. e-m.

Wszystkie naładowane el. cząstki mogą emitować i pochłaniać fotony



Oczywiście istnieje też pierwsza antyrodzina np. antyleptony  $+1$   $\bar{e}$   
 $0$   $\bar{\nu}_e$

# Oddziaływanie słabe

- Cząstek  $u$  i  $d$ , neutrino i elektron występują w parach np. w rozpadzie neutronu, za co są odpowiedzialne siły zwane słabymi
- Bozony oddz. słabych – odpowiedniki fotonu dla oddz. e-m

# Spin

- Własność zwana spinem – własny obrót (kręt)
  - spinning tennis ball
- Te obroty mogą być tylko pewnego typu -> są skwantowane. Każda cząstka ma określony spin, kierunek osi obrotu może się zmienić, ale nie spin.
- Przyjmując pewną jednostkę spinu - spiny cząstek mogą przyjmować jedynie wartości będące krotnością  $\frac{1}{2}$  (0, 1, 3/2...).



# Rodziny i oddziaływania

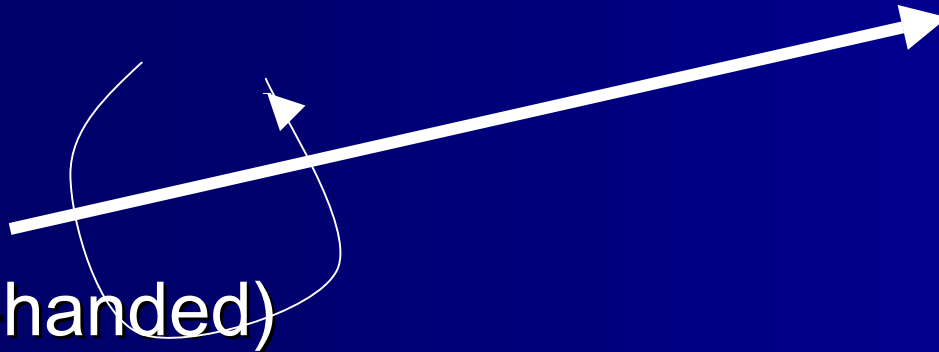
- Kwarki i leptony – spin  $\frac{1}{2}$

Druga rodzina: kwarki c, s ( $\mu, \nu_\mu$  -l. muonowa),  
trzecia rodzina: kwarki t, b ( $\tau, \nu_\tau$  -l. tauowa)

- Oddziaływania – foton, gluony, bozony oddziaływań słabych- spin 1
- Spin 0?? – cząstka Higgsa?

# Lewe i prawe cząstki o spinie 1/2

- Lewa (lewo-ręczna) cząstka



(left-handed)

Ale to jest względne- bo jak minę taką cząstkę to będzie ona prawą (pravo-ręczną) cząstką.

- Więc jak jest lewa to i prawa cząstka musi istnieć – chyba, że masa cząstki jest zero!

# Neutrino – masa zero (?)

- Neutrino – cząstka lewa
- Antyneutrino – cząstka prawa
  
- O ile masa zero – tak jest w Modelu Standardowym
  
- Ale ostatnie doświadczenia wskazują, że neutrina mają niezerową masę