

### Model Standardowy

- Serię wykładów o fizyce cząstek elementarnych kończymy pobieżnym przedstawieniem Modelu Standardowego, który stanowi niejako sumę naszej wiedzy o świecie najmniejszych struktur materii oraz oddziaływań rządzących ich zachowaniem.
- Jak już wiemy wyróżniamy cztery typy oddziaływań: grawitacyjne, elektromagnetyczne, słabe i silne. Siły grawitacji, choć wszechobecne, nie mają praktycznie wpływu na świat cząstek elementarnych ze względu swą znikomość w działaniu na mikroskopowe obiekty. Nie będziemy się więc nimi dalej zajmować. Skupimy się na siłach elektromagnetycznych, słabych i silnych. Pierwsze dwa typy stanowią w istocie przejaw bardziej ogólnych sił elektroślabych, lecz zwykle można traktować je rozłącznie.
- Oddziaływania elektromagnetyczne, słabe i silne mają niejako taką samą naturę. Każde z nich opisuje się w postaci kwantowej teorii pola z cechowaniem, w której występują cząstki materii – kwarki i/lub leptony – oraz nośniki oddziaływań.

### Nośniki oddziaływań

- W elektrodynamice kwantowej nośnikiem oddziaływania jest foton – bezmasowy bozon o spinie jednostkowym (równym  $\hbar$ ). Bezmasowość fotonu sprawia, że zasięg sił elektromagnetycznych jest nieskończony, więc siły te są obecne w mikro- i makroświecie. Foton oddziałuje z ładunkami elektrycznymi niesionymi przez cząstki materii, lecz sam jest elektrycznie neutralny. Oddziaływanie ładunków elektrycznych polega na wymianie między nimi fotonów niosących pęd i energię.
- W chromodynamice kwantowej – teorii oddziaływań silnych – odpowiednikiem ładunku elektrycznego jest ładunek kolorowy, który jest nie jednego, lecz trzech rodzajów, tak jak kolory podstawowe. Nośnikami oddziaływań są gluony - podobne do fotonów bezmasowe bozony o spinie jednostkowym. Gluony w odróżnieniu od fotonów same są naładowane kolorowo, co sprawia, że gluony oddziałują między sobą, co jest wyrazem nieabelowości teorii. Choć gluony są bezmasowe, zasięg sił silnych jest ograniczony do długości rzędu 1 fm na skutek uwięzienia ładunków kolorowych w białych, czyli kolorowo neutralnych, konfiguracjach.

## Wykład XII cd.

## Fizyka cząstek elementarnych

- W przypadku oddziaływań słabych nośnikami sił są trzy bozony o spinie jednostkowym:  $Z^0, W^+, W^-$ . Masa bozonu  $W$  wynosi  $m_W = 80 \text{ GeV}$ , a bozonu  $Z$  jest jeszcze większa  $m_Z = 91 \text{ GeV}$ , co powoduje, że oddziaływanie słabe ma bardzo krótki zasięg, wynoszący  $r_W = \frac{\hbar c}{m_W} \approx 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ fm}$ .

### Cząstki materii

- Cząstki materii to kwarki i leptoni - fermiony o spinie  $\hbar/2$ . Cząstki materii tworzą trzy pokolenia. W każdym występuje jedna para kwarków i jedna para leptonów, przy czym cząstki pierwszego pokolenia są najlżejsze, a trzeciego najcięższe.
- W pierwszym pokoleniu mamy dwa najlżejsze kwarki  $u$  i  $d$  oraz para leptonów: elektron  $e$  i neutrino elektronowe  $\nu_e$ .
- W drugim pokoleniu występują kwarki  $c$  i  $s$  oraz para leptonów: mion  $\mu$  i neutrino mionowe  $\nu_\mu$ .
- Trzecie pokolenie tworzą najcięższe kwarki  $t$  i  $b$  oraz leptoni tau  $\tau$  i neutrino tauonowe  $\nu_\tau$ .
- Należy wspomnieć, że kwarki podlegają oddziaływaniom silnym, elektromagnetycznym i słabym, leptoni  $e, \mu, \tau$  elektromagnetycznym i słabym, a neutrina  $\nu_e, \nu_\mu, \nu_\tau$  tylko słabym.

### Bozon Higgsa

- Poza cząstkami materii i nośnikami oddziaływań w Modelu Standardowym występuje jeszcze jedna cząstka – bezspiny bozon Higgsa, którego istnieniu zawdzięczają swoją masę bozony  $Z^0, W^+, W^-$ . Bozon Higgsa został odkryty dopiero w 2012 przy akceleratorze LHC jako ostatnia brakująca cząstka Modelu Standardowego. Masa bozonu Higgsa wynosi ok. 125 GeV.

## Wykład XII cd.

## Fizyka cząstek elementarnych

- Wszystkie cząstki Modelu Standardowego i ich najważniejsze charakterystyki przedstawia diagram.

