

# I. Charakterystyka modelu standardowego

W mikroświecie wyróżnia się 3 poziomy, różniące się rozmiarami i energiami. Pierwszy z nich to poziom cząsteczkowo-atomowy. Drugi to poziom jądrowy, natomiast trzeci poziom to poziom „cząstek elementarnych”, który można dalej podzielić na 3 klasy.

- Leptonów
- Hadronów
- Nośników oddziaływań

Hadrony są to cząstki zbudowane z kwarków, nośniki oddziaływań, jak sama nazwa wskazuje przenoszą oddziaływania. Wynika z tego że podstawowymi składnikami materii są leptony i kwarki. Teoria opisująca oddziaływania pomiędzy tymi elementarnymi składnikami materii nosi nazwę Modelu Standardowego (MS).

Krótki opis tego modelu wygląda następująco:

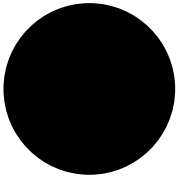
Kwarki i Leptony grupują się w trzy rodziny. Kwarki w każdej rodzinie występują w trzech kolorach.

Cząstka (kwark)	Masa $\text{GeV}/c^2$	ładunek elektr.	Cząstka (lepton)	Masa $\text{GeV}/c^2$	ładunek elektr.
u (górnny)	0,005	2/3	neutrino elektronowe	$<7 \times 10^{-9}$	0
d (dolny)	0,01	- 1/3	elektron	0,000511	-1
c (powabny)	1,5	2/3	neutrino mionowe	$<0,0003$	0
s (dziwny)	0,2	- 1/3	mion	0,106	-1
t (prawdziwy)	180	2/3	neutrino kaonowe	$<0,03$	0
b (piękny)	4,7	- 1/3	kaon	1,7771	-1

} Rodzina

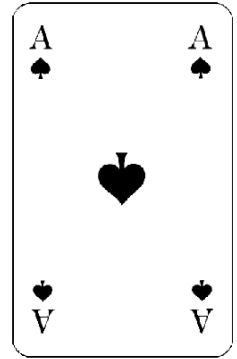
# II. Charakterystyka cząstek

Do opisu poszczególnych cząstek elementarnych wprowadzono cały szereg wielkości fizycznych (liczb kwantowych), których wartości są różne dla różnych cząstek. Najbardziej znane z tych wielkości to: masa, średni czas życia, ładunek elektryczny oraz spin. Masa, średni czas życia, ładunek elektryczny to dość znane pojęcia natomiast spin jest charakterystyczny tylko dla cząstek elementarnych.



Spin = 0

Jeśli wyobrazimy sobie cząstki elementarne jako małe bąki, to spin odpowiada rotacji takiego bąka. Ta analogia może być bardzo myląca, ponieważ zgodnie z mechaniką kwantową cząstki nie mają żadnej dobrze określonej osi. Naprawdę spin mówi nam o tym, jak wygląda cząstka z różnych stron. Cząstka o zerowym spinie jest jak punkt: wygląda tak samo ze wszystkich stron. Cząstka o spinie 1 przypomina strzałkę: wygląda inaczej z każdej strony i trzeba ją obrócić o kąt pełny, by ponownie wyglądała tak samo. Cząstka o spinie 2 przypomina dwustronną strzałkę (rys. 17c):



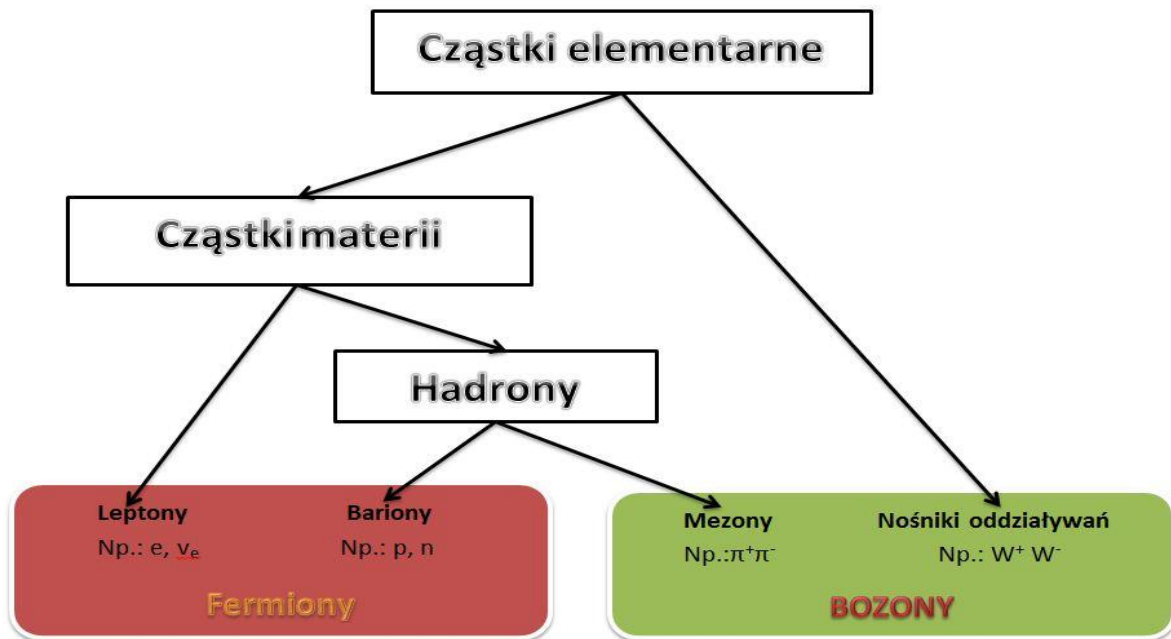
Spin = 1



Spin = 2

wygląda tak samo po obrocie o kąt półpełny. I tak dalej, im większy spin cząstki, tym mniejszy jest kąt, o jaki trzeba ją obrócić, by wyglądała tak samo. Jak dotąd, wszystko to wydaje się dosyć proste, ale faktem zdumiewającym jest istnienie cząstek, które wcale nie wyglądają tak samo, jeśli obrócić je o kąt pełny; do tego potrzebne są dwa pełne obroty! Takie cząstki mają spin 1/2. Wszystkie znane cząstki można podzielić na dwie grupy: cząstki o spinie 1/2, z których zbudowana jest materia we wszechświecie, i cząstki o spinie 0, 1 lub 2, odpowiedzialne za siły między cząstkami materii.

### III. Podział cząstek elementarnych



## A. Leptony

Są to cząstki materii nie biorą udziału w oddziaływaniu silnym i posiadające spin połówkowy (np.  $\frac{1}{2}$ ), czyli są fermionami. Znamy trzy leptony naładowane, biorące udział w oddziaływaniu elektromagnetycznym i słabym, są to:

- Elektron
- Mion
- Tau (taon)

Każdemu z nich odpowiada cząstka obojętna, która bierze udział tylko w oddziaływaniu słabym. Są to odpowiednio:

- Neutrino elektronowe
- Neutrino mionowe
- Neutrino taonowe

Oprócz tego każdemu leptonowi odpowiada antylepton. Leptony uważane są za cząstki fundamentalne, ponieważ zachowują się jak obiekty punktowe.

## B. Kwarki

Kwarki to (oprócz leptonów), podstawowe składniki materii. Każdy kwark posiada spin  $\frac{1}{2}$ . Cząstki te jako obiekty kolorowe, nie mogą występować w stanie swobodnym. Wchodzą jedynie w skład cząstek białych, czyli obojętnych kolorowo hadronów

Kwarki są to składniki hadronów. Hadrony o spinach całkowitych (będące bozonami) nazywamy mezonami. Hadrony o spinach połówkowych (tzn. fermiony) noszą nazwę barionów.

Bariony to cząstki zbudowane z trzech kwarków. Znanych jest około 120 takich cząstek. Barionami są nukleony czyli składniki jądra: proton i neutron. Proton składa się z dwóch kwarków górnych i jednego dolnego (uud), a neutron z dwóch dolnych i jednego górnego (udd). Proton jest jedynym barionem stabilnym, czyli nie ulega żadnemu rozpadowi (możliwy jest tylko rozpad protonu wewnątrz niektórych jąder w postaci rozpadu beta plus). Neutron będąc niezwiązany rozpada się na proton, elektron i antyneutrino elektronowe. Średni czas życia neutronu wynosi jedynie około 930 sekund (piętnaście minut). Ten sam neutron w jądrze atomu jest jednak stabilny. Mówimy, że neutron w jądrze jest warunkowo stabilny. Ponieważ kwarki mają spin połówkowy to wszystkie cząstki składające się z nieparzystej liczby kwarków, a więc również bariony mają spin połówkowy.

Mezony to obiekty złożone z układu kwark - antykwark. Występuje około 140 takich cząstek. Mezonem jest pion oraz kaon.

Jednak istnieją również cząstki złożone pięciu kwarków (dwóch górnych, dwóch dolnych i antykwarka dziwnego), której istnienie jako pierwszy przewidział polski fizyk Michał Przaszałowicz

w 1987 roku. Pentakwarki są bardzo nietrwałe - rozpadają się na neutron oraz kaon po upływie  $10^{-20}$  sekundy. Odkryty w 2003 roku pentakwark może okazać się pierwszą z całej rodziny pięciokwarkowych cząstek. Odkrycia dokonały dwa niezależne zespoły fizyków: Takashi Nakano w synchrotronie SPring-8 w pobliżu Kobe (Japonia) oraz Kena Hicksa w akceleratorze laboratoriów Jeffersona w Newport News (USA).

## C. Nośniki oddziaływań

Wszystkie procesy, w których uczestniczą „cząstki elementarne” związane są z oddziaływaniami pomiędzy nimi. Obecnie rozróżniamy cztery rodzaje oddziaływań fundamentalnych: silne, elektromagnetyczne, słabe i grawitacyjne.

- Oddziaływanie silne charakterystyczne jest dla hadronów, a dokładniej kwarków, z których składają się hadrony. Najbardziej znany przejaw to siły jądrowe dzięki którym istnieją jądra atomowe. Kwark – emitując bądź pochłaniając gluon- zmienia swój kolor. Kwark emituje gluon zmieniając swój kolor, a następnie ten gluon jest pochłaniany przez inny kwark, który zmienia kolor na taki sam jaki miał kwark przed emisją gluonu.
- W oddziaływaniu elektromagnetycznym bezpośredni udział biorą tylko cząstki naładowane elektrycznie (oraz fotony, które są nośnikami oddziaływań) Najbardziej znanym jego przejawem są siły kulombowskie.

Nośnikiem tego oddziaływania są bezmasowe fotony. Dzięki temu że foton nie posiada masy zasięg oddziaływania elektromagnetycznego jest nieskończony. W oddziaływaniu tym uczestniczą wszystkie kwarki i naładowane leptony a także sam foton. Przy emisji i absorpcji fotonu zapach i kolor cząstek fundamentalnych nie ulegają zmianie.

- Oddziaływanie słabe jest charakterystyczne dla wszystkich cząstek (oprócz fotonów). Najbardziej znany przejaw to rozpad  $\beta$  jąder atomowych.

Nośnikami tego oddziaływania są naładowane i bardzo ciężkie bozony pośredniczące. Dzięki ich dużej masie zasięg oddziaływania słabego jest bardzo mały. Bozony pośredniczące mogą być emitowane przez kwarki jak i lepton, dlatego też w oddziaływaniu słabym uczestniczą praktycznie wszystkie znane cząstki (poza fotonem). Same bozony nie podlegają tylko oddziaływaniu silnemu.

- Oddziaływaniu grawitacyjnemu podlegają wszystkie ciała we wszechświecie.

Oddziaływania	Nośnik	Symbol	Spin [ $\hbar$ ]	Masa (GeV/c <sup>2</sup> )	zapach	kolor
Silne	8 gluonów	$g_i$	1	0	-	+
Elektromagnetyczne	1 foton	$\gamma$	1	0	-	-
Słabe	3 bozony pośredniczące	$W^\pm$ $Z^0$	1	$\approx 80$ $\approx 90$	+	-
Grawitacyjne	1 grawiton	G	2	0	-	-