

# Liczby kwantowe

---

- parzystość G \*\*\*
- dziwność, powab, ... (liczby kwantowe związane z zapachem kwarków) \*\*\*

# Parzystość G

- Operator sprzężenia ładunkowego  $\hat{C}$  posiada wartości własne tylko dla cząstek neutralnych, całkowicie obojętnych ( $\gamma$ , mezony  $\pi^0, \eta, \eta', \rho^0, \omega, \phi, \psi, Y$ ) oraz układów cząstka – antycząstka, co ogranicza jego zastosowanie
- Wprowadzenie reguł wyboru dla stanów naładowanych
  - dla oddziaływań silnych definiujemy przekształcenie G łączące operację sprzężenia ładunkowego z obrotem w przestrzeni izospinu

$$G = CR = C \cdot \exp(i\pi I_2)$$

C – operator sprzężenia ładunkowego  
 $I_2$  – druga składowa izospinu

Przekształcenie G składa się z obrotu R o  $180^\circ$  wokół osi y w przestrzeni izospinu, a następnie operacji sprzężenia ładunkowego C [ dla stanu o z-owej składowej izospinu  $I_3$  odpowiada to transformacji  $I_3 \rightarrow -I_3$  (obrót) , a następnie przekształceniu  $-I_3 \rightarrow I_3$  ( C ) ].

- Wartość własna operatora G – parzystość G
- **Parzystość G jest multiplikatywną liczbą kwantową**
- Parzystość G nie wprowadza nowych informacji poza te związane z symetrią ładunkową i niezmienniczością izospinową, ale umożliwia uproszczenie reguł wyboru dla rozpadów rezonansów mezonowych

**Parzystość G jest zachowana w oddziaływaniach silnych**

## Parzystość G

- Parzystość G jest określona dla mezonów, dla których liczby kwantowe dziwności, powabu, piękna, prawdy są równe zero
- Dla multipletu o izospinie I , parzystość G jest określona wzorem  $G = (-1)^I C$ , gdzie C jest parzystością ładunkową neutralnego składnika multipletu ( np.  $G_\pi = (-1)^1 C_{\pi^0} = -1$  )
- Parzystość G dla układu n pionów  $G(n\pi) = (-1)^n$

- Parzystość G jest jednoznacznie określona dla neutralnego pionu

$$G|\pi^0\rangle = CR|\pi^0\rangle = C(-1)^I|\pi^0\rangle = -|\pi^0\rangle, I=1, C_{\pi^0}=1, \text{ parzystość } G_{\pi^0} = -1$$

- Parzystość G naładowanych pionów

$$G|\pi^+\rangle = \pm|\pi^+\rangle, \quad G|\pi^-\rangle = \pm|\pi^-\rangle$$

naładowane piony nie są stanami własnymi C i w operacji sprzężenia ładunkowego pojawia się arbitralny czynnik fazowy. Konwencja : wszystkie składniki trypletu

izospinowego mają taką samą parzystość G jak składnik neutralny  $G|\pi\rangle = -|\pi\rangle$

- Stany barionowe nie są stanami własnymi parzystości G ( operacja C zmienia znak liczby barionowej )

- Parzystość G dla układu nukleon – antynukleon

$$G|\text{nukleon} - \text{antynukleon}\rangle = (-1)^{L+S+I}|\text{nukleon} - \text{antynukleon}\rangle$$

# Parzystość G

## Reguły wyboru dla rozpadów rezonansów mezonowych

Cząstka ( masa MeV )	$\pi(140)$	$\rho(770)$	$\omega(782)$	$\phi(1020)$	$f_2(1270)$	$\eta(547)$	$\eta'(958)$
Spin i parzystość $J^P$	$0^-$	$1^-$	$1^-$	$1^-$	$2^+$	$0^-$	$0^-$
Izospin I	1	1	0	0	0	0	0
Parzystość C ( dla neutralnego składnika multipletu )	+1	-1	-1	-1	+1	+1	+1
<b>Parzystość G</b>	<b>-1</b>	<b>+1</b>	<b>-1</b>	<b>-1</b>	<b>+1</b>	<b>+1</b>	<b>+1</b>
Dominujący kanał rozpadu na piony	-	$2\pi$	$3\pi$	$3\pi$	$2\pi$	$3\pi$	$5\pi$

Multiplet o izospinie I  $\rightarrow G = (-1)^I C$  ;  $G(n\pi) = (-1)^n$

Mezony wektorowe  $\rho, \omega, \phi$  i mezon tensorowy  $f_2$  :

rozpady poprzez **oddziaływania silne, krotność pionów zgodna z regułą  $G = (-1)^n$**

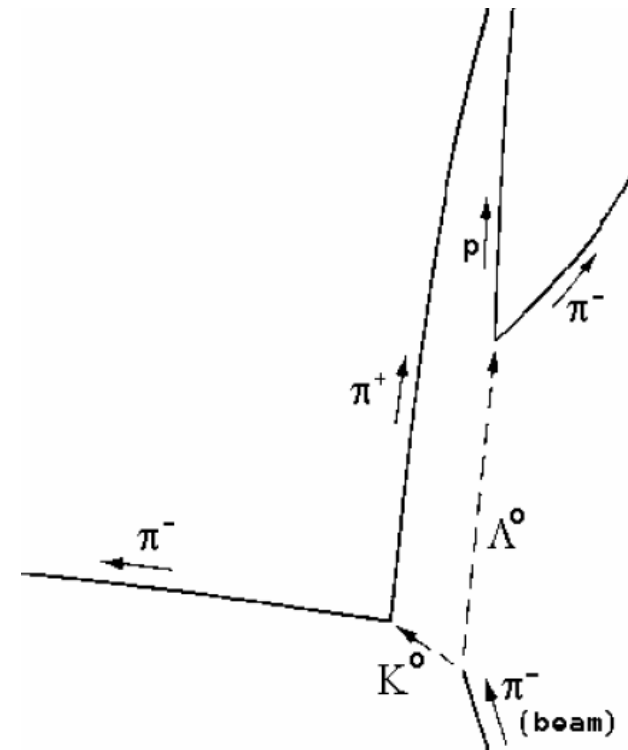
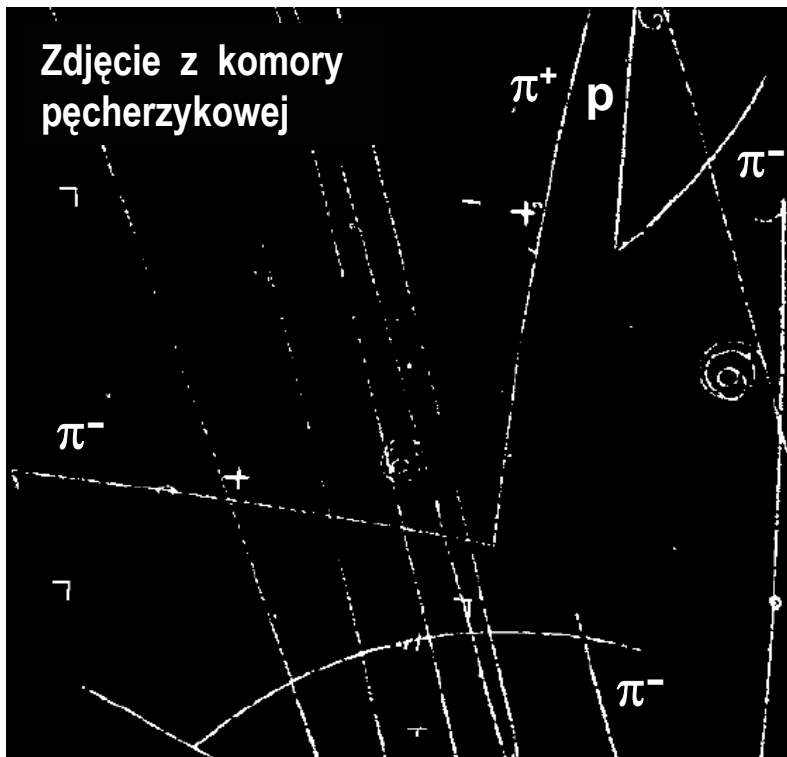
Rozpady  $\omega \rightarrow \pi^0\gamma$   $C_\omega = C_{\pi^0} \cdot C_\gamma = (+1) \cdot (-1) = -1$ ,  $G_\omega = (-1)^0(-1) = -1$ ;

$\eta \rightarrow 2\gamma, \eta' \rightarrow 2\gamma$   $C = (C_\gamma)^2 = +1$ ,  $G = (-1)^0(+1) = +1$

Rozpady  $\eta$  i  $\eta'$  na nieparzystą liczbę pionów, łamiące parzystość G, poprzez oddz. elektromagnetyczne. Silny rozpad  $\eta$  i  $\eta'$  na dwa piony zabroniony ze względu na zachowanie parzystości P.

# Dziwność S

Stowarzyszona produkcja długożyciowych cząstek neutralnych  $K^0$  i  $\Lambda^0$  w reakcji zachodzącej przez oddziaływania silne  $\pi^- + p \rightarrow K^0 + \Lambda^0$ .



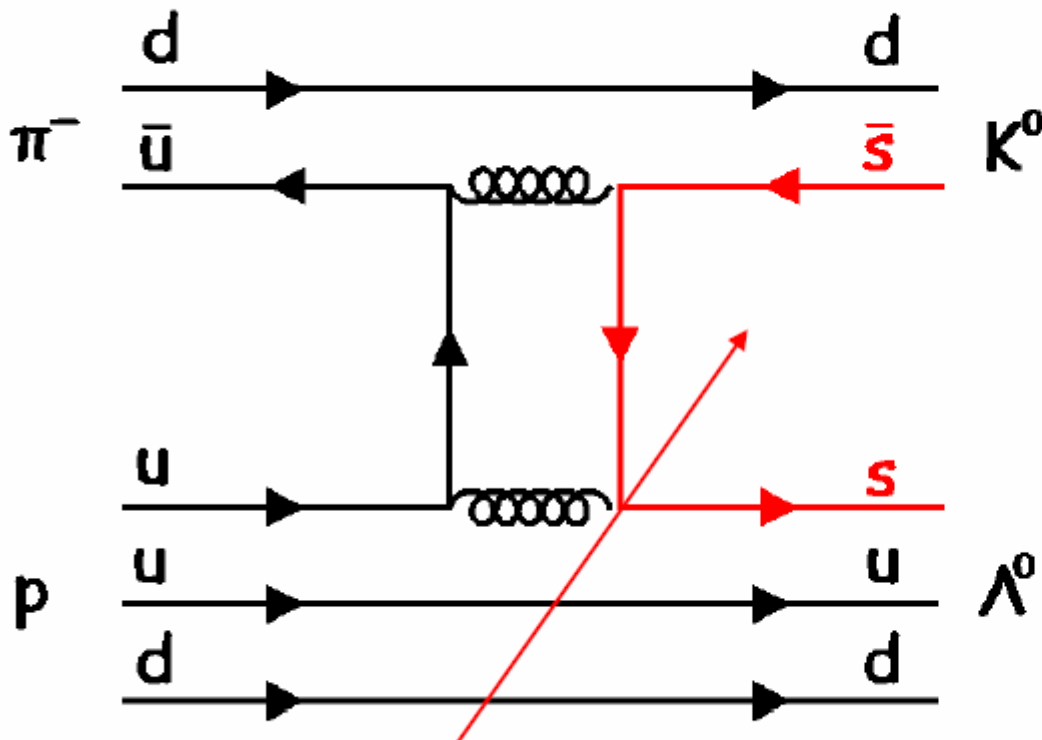
Stowarzyszona produkcja  $K^0$  i  $\Lambda^0$  związana jest z kreacją w procesie silnym kwarka  $s$  i jego antykwarka  $\bar{s}$ . Kwarkom tym przypisana jest nowa **liczba kwantowa S nazwana dziwnością, zachowywana przez oddziaływania silne**.

Dziwność jest addytywną liczbą kwantową. Kwark  $s$  ma dziwność  $S = -1$ , antykwarkowi  $\bar{s}$  przypisane jest  $S = +1$ .

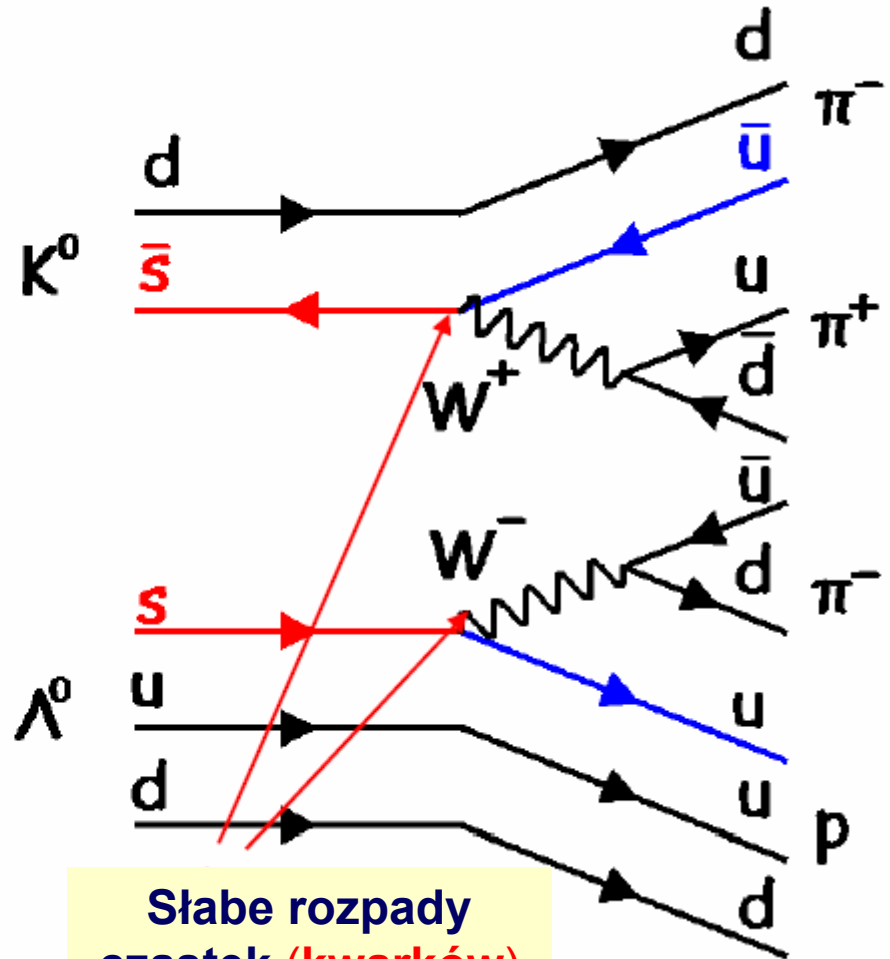
**Kwarki dziwne  $s$  i  $\bar{s}$  rozpadają się poprzez oddz. słabe.**

Mezony i bariony zawierające kwark  $s$  nazywamy cząstkami dziwnymi.

# Dziwność



Produkcja cząstek (kwarków) dziwnych w reakcji zachodzącej przez oddziaływania silne.

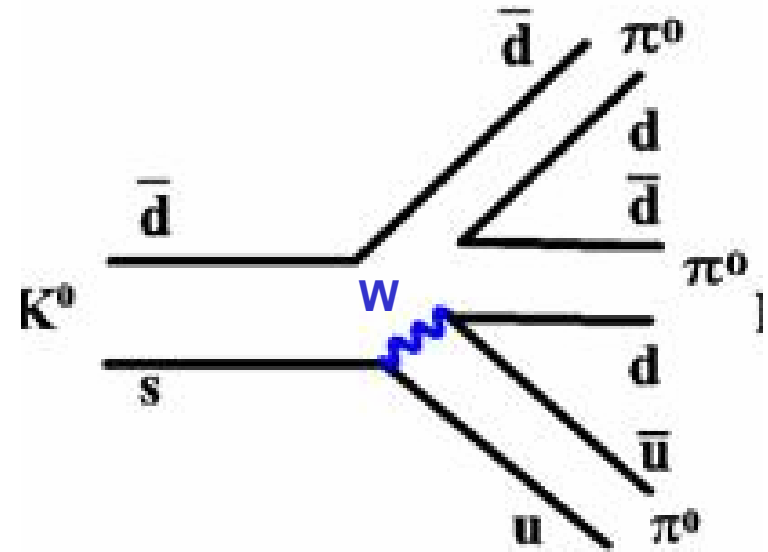
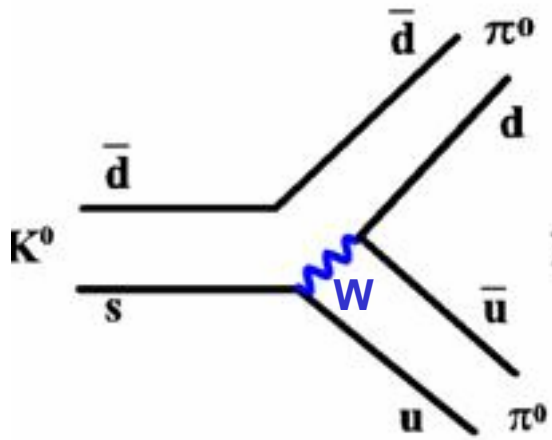


Słabe rozpady cząstek (kwarków) dziwnych

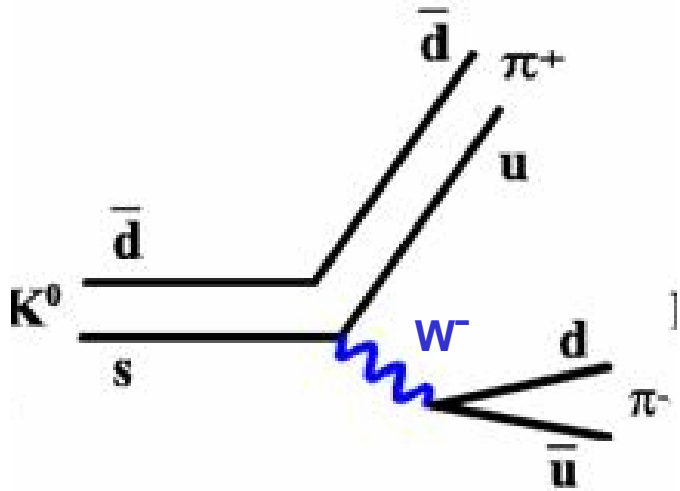
Dziwność w stanie początkowym jest taka sama jak dziwność w stanie końcowym.

Zachowanie dziwności w oddziaływaniach silnych i elektromagnetycznych

Dziwność nie jest zachowana w oddziaływaniach słabych



$K^0 \rightarrow 3\pi$



$K^0 \rightarrow 2\pi$

# Dziwność i inne liczby kwantowe związane z zapachem kwarków ...

Skład kwarkowy niektórych cząstek dziwnych :

$\Lambda^0(\text{uds})$ ,  $\bar{\Lambda}^0(\bar{u}\bar{d}\bar{s})$ ,

dziwny barion i antybarion

$K^0(\bar{d}s)$ ,  $\bar{K}^0(\bar{d}\bar{s})$ ,

$K^0$  nie jest swoją antycząstką

$K^+(\bar{u}s)$ ,  $K^-(\bar{u}\bar{s})$

Dziwność, podobnie jak liczby kwantowe powabu C, piękna B i prawdy T są zachowane przez oddziaływania silne i elektromagnetyczne.

Zachowanie tych liczb kwantowych wynika ze struktury sprzężeń gluonów z kwarkami (oddz. silne) i fotonów z kwarkami (oddz. elektromagnetyczne) :

emisja / absorpcja gluonu / fotonu nie powoduje zmiany zapachu kwarka.

Oddziaływania słabe zmieniają zapach kwarka.

Niezmienniczość izospinowa oddz. silnych dotyczy także cząstek dziwnych (np.  $K^0$  i  $K^+$  oraz  $\bar{K}^0$  i  $K^-$  tworzą dublety izospinowe). Oddz. silne cząstek dziwnych i niedziwnych są "identyczne" z dokładnością do efektów wynikających z ich różnych mas.

**Relacja Gell – Manna i Nishijimy** : związek m-dzy ładunkiem elektrycznym **Q** , trzecią składową izospinu **I<sub>3</sub>** , liczbą barionową **B** oraz dziwnością **S**

$$Q = I_3 + ( B + S ) / 2 = I_3 + Y / 2$$

$$\text{Hiperładunek } Y = B + S$$



Wielkość zachowana		oddz. silne	oddz. em	oddz. słabe
ładunek	Q	✓	✓	✓
liczba barionowa	$\tilde{B}$	✓	✓	✓
liczba leptonowa	L	✓	✓	✓
izospin	I	✓	X	X
	$I_3$	✓	✓	X
dziwność S, powab C piękno B, prawda T		✓	✓	X
parzystość przestrzenna	P	✓	✓	X
parzystość ładunkowa	C	✓	✓	X
CP ( lub T )	CP	✓	✓	łamanie rzędu $10^{-3}$
parzystość G	G	✓	X	X

**Twierdzenie CPT** – wszystkie oddz. są niezmiennicze względem transformacji będącej złożeniem operacji sprzężenia ładunkowego C, inwersji przestrzennej P i odbicia w czasie T .