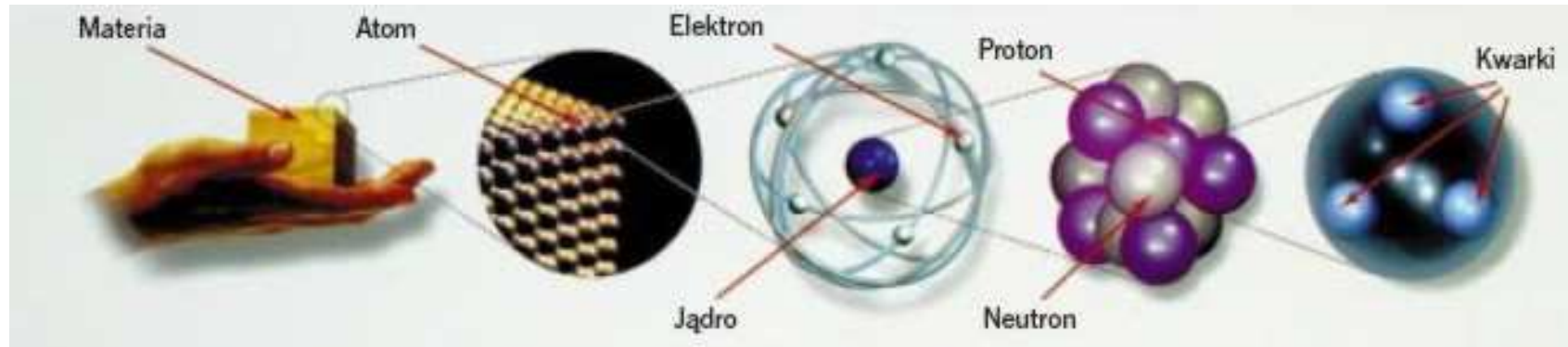


Wykład XI-XII

Podstawy Procesów i
Konstrukcji Inżynierskich

Fizyka cząstek elementarnych

Cząstki elementarne



- po odkryciu jądra atomowego, protonu i neutronu liczba nowo odkrywanych cząstek stale rośnie,
- obecnie znanych jest ok. 300 cząstek elementarnych,
- większość z nich jest niestabilna o średnich czasach życia 10^{-23} - 10^{-6} s
- ich systematyka doprowadziła do hipotezy **kwarków**,
- wszystkie cząstki prócz fotonu i leptonów są zbudowane z kwarków, naprawdę elementarnych.

Oddziaływania elementarne

Rodzaj oddziaływania	Stała sprzężenia*	Zasięg [m]	Nośnik oddziaływania
grawitacyjne	10^{-39}	długi, $\sim 1/r^2$	grawiton
słabe	10^{-14}	krótki, $\sim 10^{-15}$	bozony pośredniczące: W^+ , W^- , Z^0
elektromagnetyczne	10^{-2}	długi, $\sim 1/r^2$	foton
silne	1	krótki, 10^{-15}	gluony

* określa względną intensywność oddziaływań w stosunku do oddziaływania silnego

Pozyton i antyneutrino

$$\beta^+: \quad p \rightarrow n + e^+ + \nu_e \quad \beta^-: \quad n \rightarrow p + e^- + \tilde{\nu}_e$$

Pozyton (e^+) - odkryta przez Andersona w 1933r cząstka o masie spoczynkowej równej masie elektronu i dodatnim ładunku, zwana również elektronem dodatnim, jest antycząstką elektronu,

Neutrino (ν) – cząstka elementarna, która nie ma ładunku ani masy spoczynkowej (W. Pauli, E. Fermi – 1930r.),

Antyneutrino ($\tilde{\nu}_e$) – antycząstka neutrina.

Cząstka i antycząstka

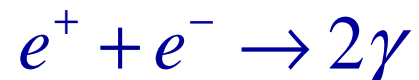
Antycząstka – ma dokładnie taką samą masę i przeciwny ładunek, jak odpowiadająca jej cząstka. Antycząstki oznacza się pionową kreską nad symbolem cząstki (z wyjątkiem pozytonu)

e^-, e^+ - elektron i pozyton

p, \bar{p} - proton i antyproton

n, \bar{n} - neutron i antyneutron

Cząstki i antycząstki mają zdolność **anihilacji** – ich masa spoczynkowa zmienia się w energię innych cząstek



Produkcja par – proces zderzenia fotonu o dużej energii z jądrem prowadzący do powstania pary elektron-pozyton.



Antymetria

Materię zbudowaną z antynukleonów i krążących na orbitach pozytonów nazywa się **antymateria**.

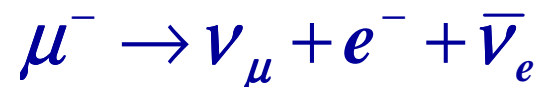
Przykładem może być atom **antywodoru**, będący układem antyprotonu i pozytonu.

Istnieją przypuszczenia o występowaniu skupisk antymaterii w Kosmosie. Na tym przypuszczeniu oparte są również niektóre teorie dotyczące wytłumaczenia dużej energii, jaka jest zawarta w dochodzącym do ziemi promieniowaniu kosmicznym, a której źródłem byłyby procesy anihilacji materii z antymateria.

Leptony

Na skutek oddziaływań słabych z ciężkich cząstek emitowane są pary: **elektron** - neutrino ale również mion – neutrino.

Mion jest cząstką elementarną podobną do elektronu lecz o masie 207 razy większej od masy spoczynkowej elektronu; miony rozpadają się z czasem połowicznego zaniku $1,5 \cdot 10^{-6}$ s dając elektron:



μ^- - mion posiada również swoją antycząstkę μ^+

e^- i $\bar{\nu}_e$ elektron i antyneutrino elektronowe

Taon τ^- to ciężki lepton, któremu towarzyszy bezmasowe neutrino ν_τ

Elektrony, miony oraz taony i odpowiadające im neutrino należą do jednej grupy cząstek zwanych **leptonami**.

Hadrony

Hadrony to cząstki uczestniczące w oddziaływaniach silnych, zwanych jądrowymi i elektromagnetycznych (jeśli posiadają ładunek).

Hadrony to:

- **mezony** – cząstki o spinie 0, 1, 2 lub innym całkowitym, dzielą się na:

- | | | |
|-----------|---|--|
| niedziwne | { | - piony – cząstki o spinie 0 – π^- i jego antycząstka π^+ ($\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu$)
oraz π^0 – rozpada się na dwa fotony |
| | | - mezon ρ – posiada spin równy 1, |
| dziwne | { | - mezony K – występuje jako K^+ , K^- , K^0 , rozpada się na dwa piony $K^0 \rightarrow \pi^+ + \pi^-$, czas życia $\sim 10^{-10}$ s, |

Hadrony cd.

- **bariony** – mające spin połówkowy ($1/2, 3/2, \dots$),
do barionów zaliczamy:
 - **proton**
 - **neutron**
 - bariony dziwne: **hiperon Λ^0** , **hiperon Σ** , **hiperon Ξ** , oraz **hiperon Ω** – cięższe od protonu

	grupa	nazwa cząstki	symbol	Masa (MeV)	ładunek *	Czas życia	Schemat rozpadu
	foton	foton	γ	0	0	trwały	
leptony	rodzina elektronowa	elektron	e	0,51	-1	trwały	
		neutrino elektronowe	ν_e	0	0	trwałe	
	rodzina mionowa	mion	μ^-	106	-1	$2,2 \cdot 10^{-6}$	$\mu^- \rightarrow e^- + \nu_\mu + \nu_e$
		neutrino mionowe	ν_μ	0	0	trwałe	
	rodzina taonowa	taon		1807	-1	10^{-12}	$\tau^- \rightarrow e^- + \nu_e + \nu_\tau$
		neutrino taonowe	ν_τ	0	0	trwałe	
hadrony	mezony	pion π^+	π^+	140	+1	$2,6 \cdot 10^{-8}$	$\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu$
		pion π^-	π^-	140	-1	$2,6 \cdot 10^{-8}$	$\pi^- \rightarrow \mu^- + \nu_\mu$
		pion π^0	π^0	134	0	$7,6 \cdot 10^{-17}$	$\pi^0 \rightarrow e^- + e^+ + \gamma$
		kaon K^+	K^+	494	+1	$1,23 \cdot 10^{-8}$	$K^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu$
		kaon K^-	K^-	498	0	$1,23 \cdot 10^{-8}$	$K^- \rightarrow \pi^+ + \pi^-$
		mezon ρ	ρ	549	0	$2,4 \cdot 10^{-19}$	$\rho \rightarrow \gamma + \gamma$
	bariony	proton	P	938,2	+1	trwały	
		neutron	n	939,6	0	$9 \cdot 10^{-2}$	$n \rightarrow p + e + \nu_e$
		hiperon Λ	Λ	1116	0	$2,5 \cdot 10^{-10}$	$\Lambda \rightarrow p + \pi^-$
		hiperon Σ^+	Σ^+	1189	+1	$8 \cdot 10^{-11}$	$\Sigma^+ \rightarrow p + \pi^0$
		hiperon Σ^-	Σ^-	1197	-1	$1,5 \cdot 10^{-10}$	$\Sigma^- \rightarrow n + \pi^-$
		hiperon Σ^0	Σ^0	1192	0	$3 \cdot 10^{-10}$	$\Sigma^0 \rightarrow \Lambda + \gamma$
		hiperon Ω	Ω	1672	-1	$1,3 \cdot 10^{-10}$	$\Omega \rightarrow \Lambda + K^-$

Liczby kwantowe cząstek elementarnych

W celu wyjaśnienia własności i zachowania się cząstek elementarnych należy przypisać im (oprócz masy, ładunku i spinu) szereg charakterystycznych dla nich własności opisanych nowymi liczbami kwantowymi:

- **liczba barionowa** – cząstkom z grupy barionowej przypisuje się różną od zera liczbę kwantową B zwana liczbą barionową lub ładunkiem barionowym. Dla barionów jest ona równa $B=+1$, a dla antybarionów $B=-1$. Dla pozostałych cząstek i antycząstek z pozostałych grup $B=0$,
- **liczba leptonowa** – każdemu typowi leptonów przypisuje się osobny rodzaj liczby leptonowej (ładunku leptonowego). Elektrony i miony posiadają liczbę leptonową elektronową (L_e) i mionową (L_μ) równą $+1$, a antyleptony -1 .
- **dziwność** – istnieją cząstki elementarne powstające w wyniku oddziaływań silnych z czasem charakterystycznym rzędu 10^{-23} s, ale ich czas życia wskazuje na to, że rozpadają się one pod wpływem oddziaływań słabych, Cząstki takie nazywamy cząstkami dziwnymi. Cząstkom dziwnym przypisujemy liczbę kwantową S zwana dziwnością, np.: mezony K^+ i K^- mają dziwność $S=+1$, a hiperon Ω^- - $S=-3$. Wszystkie nukleony mają dziwność równą zeru.

Liczby kwantowe cząstek elementarnych

cząstka	ładunek elektryczny Q	spin s	liczby kwantowe		
			barionowa B	leptonowa L	dziwność S
foton	0	1	0	0	0
elektron	-1	$\frac{1}{2}$	0	1	0
proton	+1	$\frac{1}{2}$	1	0	0
neutron	0	$\frac{1}{2}$	1	0	0
pion π^+	+1	0	0	0	0
hiperon Ω^-	-1	$\frac{3}{2}$	1	0	-3
mezon K^+	+1	0	0	0	1

Prawa zachowania liczb kwantowych

Ładunek elektryczny oraz leptonowa i barionowa liczba kwantowa układu zamkniętego (będące sumą algebraiczną odpowiednich liczb kwantowych elementów układu) zachowane są we wszystkich procesach wywołanych dowolnym oddziaływaniem. Dla każdej rodziny leptonowej (elektronów i mionów) obowiązuje osobno prawo zachowania jej liczby kwantowej.

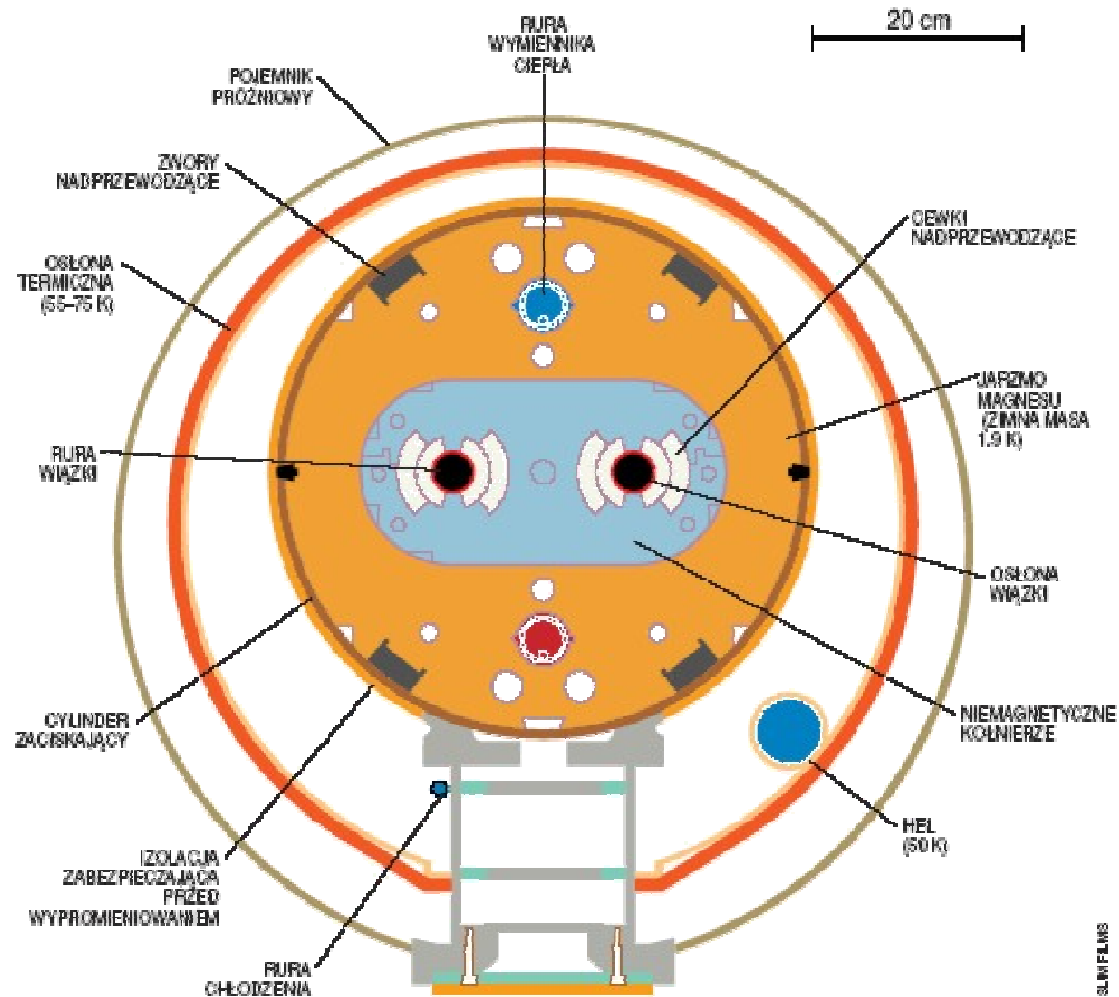
Dziwność układu zamkniętego zachowana jest w procesach przebiegających pod wpływem oddziaływań silnych i elektromagnetycznych, natomiast procesy wywołane oddziaływaniem słabym mogą zmieniać dziwność układu.

Akcelerator



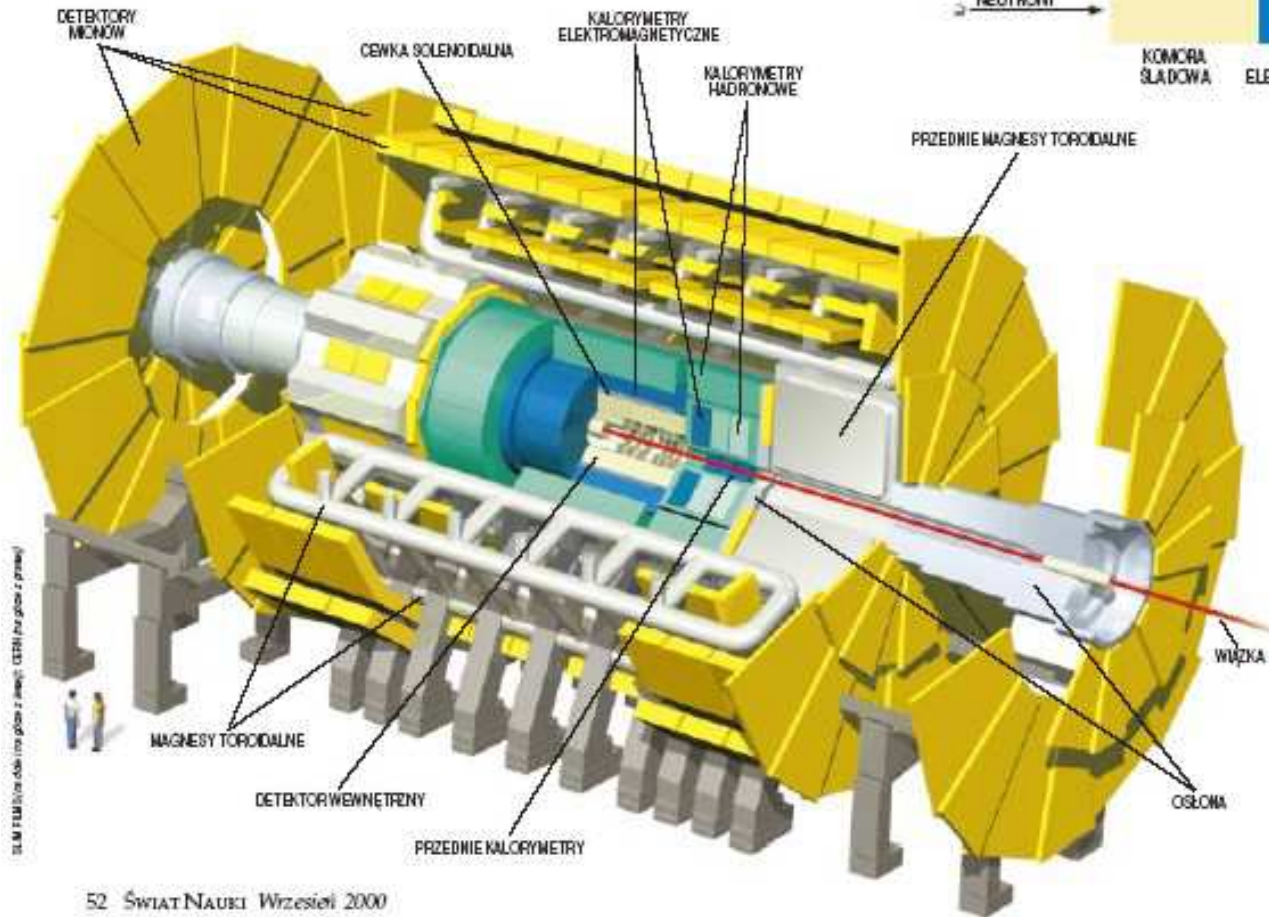
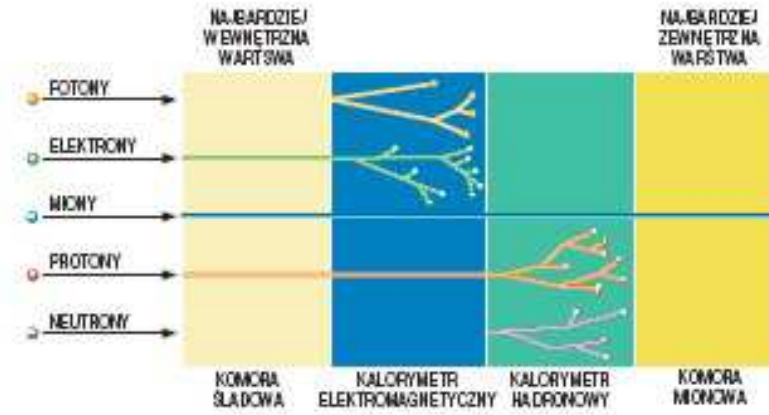
USYTUOWANIE TUNELU długości 27 km, biegnącego 100 m pod ziemią na granicy francusko-szwajcarskiej, niedaleko Genewy, gdzie znajdzie się Wielki Zderzacz Hadronów (LHC), zaznaczono na żółto. Mniejsze okręgi wskazują położenie podziemnych hal, w których są zainstalowane detektory oraz urządzenia pomocnicze.

Akcelerator



MAGNES AKCELERATORA w przekroju. Prąd w cewce nadprzewodzącej ma natężenie 12 000 A. Cewka musi być schładzana do temperatury poniżej 2 K. W każdej z rur dla wiązki leci jedna z dwu przeciwbieżnych wiązek protonów. Inne magnesy ogniskują wiązki i zginają je tak, by się przecięły w punktach zderzeń wewnątrz detektorów

Akcelerator



W DETEKTORZE ATLAS (obok) wykorzystano nowatorski układ magnesów toroidalnych. Protony zderzają się w środku detektora, produkując fontannę cząstek. Koncentryczne warstwy ATLAS-a wykrywają różne rodzaje cząstek, jedne dokładnie określają tory cząstek, inne („kalorymetry”) mierzą ich energie. Uproszczony rysunek pokazuje, jak działają poszczególne warstwy. Toroidalne magnesy zakrzywiają tory cząstek naładowanych, co pozwala zmierzyć ich prądy.

52 ŚWIAT NAUKI Wzrost 2000

Kwarki

Foton i leptony są cząstkami elementarnymi, które zgodnie z obecnym poziomem wiedzy są niepodzielne. W odróżnieniu od nich hadrony są zbudowane z kwarków. Istnieje sześć typów kwarków o różnych „zapachach”

SKŁADNIKI MATERII				
	CZĄSTKA	SYMBOL	ŁADUNEK	MASA (GeV/c ²)
PIERWSZA RODZINA				
KWARKI	GÓRNY		+2/3	0.03
	DOLNY		-1/3	0.06
LEPTONY	ELEKTRON		-1	0.0005
	NEUTRINO ELEKTRONOWE		0	0?
DRUGA RODZINA				
KWARKI	POWABNY		+2/3	1.3
	DZIWNY		-1/3	0.14
LEPTONY	MION		-1	0.106
	NEUTRINO MIONOWE		0	0?
TRZECIA RODZINA				
KWARKI	TOP		+2/3	174
	PIĘKNY		-1/3	4.3
LEPTONY	TAU		-1	1.7
	NEUTRINO TAUONOWE		0	0?

Kwarki

Podobnie jak leptony, kwarki dzieli się na trzy rodziny: (u,d), (c,s), (t,b). W każdej rodzinie jeden kwark (u,c,t) ma ładunek elektryczny równy $2/3$ ładunku elementarnego, a drugi (d, s, b) ma ładunek równy $1/3$, a ładunek barionowy równy $B=+1/3$. Kwarki posiadają własności fizyczne opisane wielkościami: powab, piękno i szczyt. Każdy kwark ma swoją antycząstkę – antykwark, identyczny lecz o przeciwnym znaku ładunku elektrycznego i pozostałych liczbach kwantowych.

typ kwarka (zapach)	symbol	ładunek elektryczn y	dziwność S	powab C	piękno b	szczyt t	Masa (MeV)
górnny	<i>u</i>	+2/3	0	0	0	0	360
dolny	<i>d</i>	-1/3	0	0	0	0	360
dziwny	<i>s</i>	-1/3	-1	0	0	0	540
powabny	<i>c</i>	+2/3	0	+1	0	0	1500
piękny	<i>b</i>	-1/3	0	0	+1	0	5000
szczytowy	<i>t</i>	+2/3	0	0	0	+1	100000

Kolor kwarków

- kwarki posiadają również własność zwaną „kolorem”, która jest odpowiedzialna za występujące między kwarkami oddziaływanie silne,
- kolor pod pewnymi względami przypomina ładunek elektryczny, z tym, że ładunek występuje w dwu rodzajach, oznaczonych jako dodatni i ujemny, podczas gdy kolor w trzech, oznaczonych jako „czerwony”, „żółty” i „niebieski”. Każdy kwark może istnieć w jednym z tych trzech kolorów.
- kwarki mają kolor dodatni a antykwarki odpowiedni kolor ujemny (anty-kolor). Para kwark i jego anykwark posiada zawsze biały (zerowy) kolor wypadkowy.
- kwarki o jednakowych kolorach odpychają się, a kwarki o różnych kolorach przyciągają się.

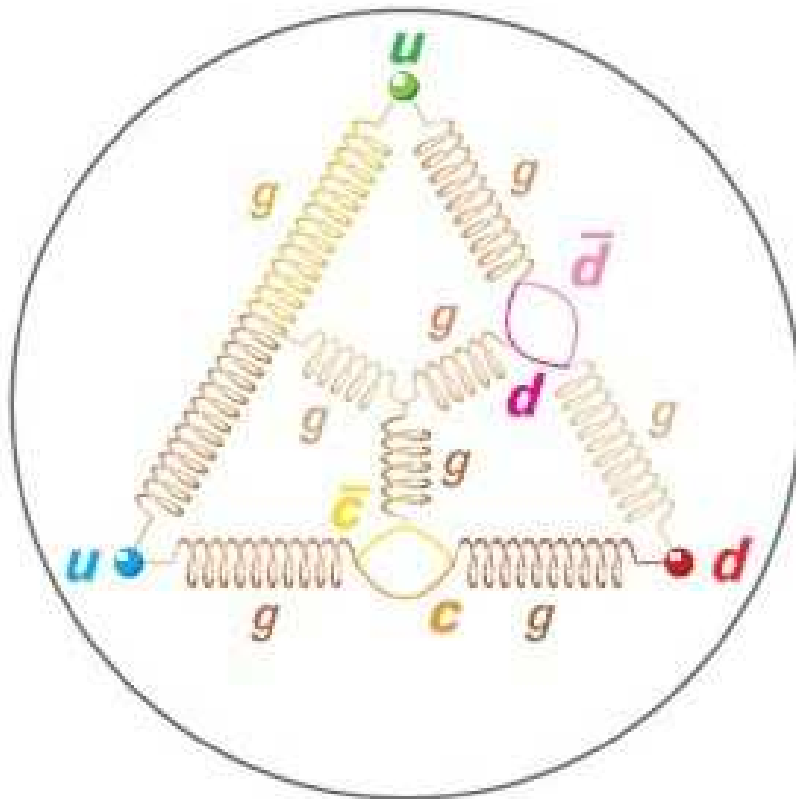
Nośnikami oddziaływania kolorowego są **gluony**.

Struktura hadronów

Wszystkie bariony można przedstawić jako kombinacje trzech kwarków o różnych kolorach. Mezony to pary kwark-antykawrk.

CZĄSTKA			ANTYCZĄSTKA		
NAZWA	SYMBOL	ZAWARTOŚĆ	NAZWA	SYMBOL	ZAWARTOŚĆ
PROTON	p		ANTYPROTON	\bar{p}	
NEUTRON	n		ANTYNEUTRON	\bar{n}	
PI-PLUS	π^+		PI-MINUS	π^-	
PI-ZERO	π^0		ANTY-PI-ZERO	$\bar{\pi}^0$	
K-ZERO	K^0		ANTY-K-ZERO	\bar{K}^0	
B-ZERO	B^0		ANTY-B-ZERO	\bar{B}^0	

Struktura hadronów



JEDNA Z WIELU możliwych fotografii protonu w dużym powiększeniu. Symbol g oznacza gluon, u – kwark górny, d i \bar{d} – kwark i odpowiednio antykwark dolny, zaś c i \bar{c} – kwark i antykwark powabny.

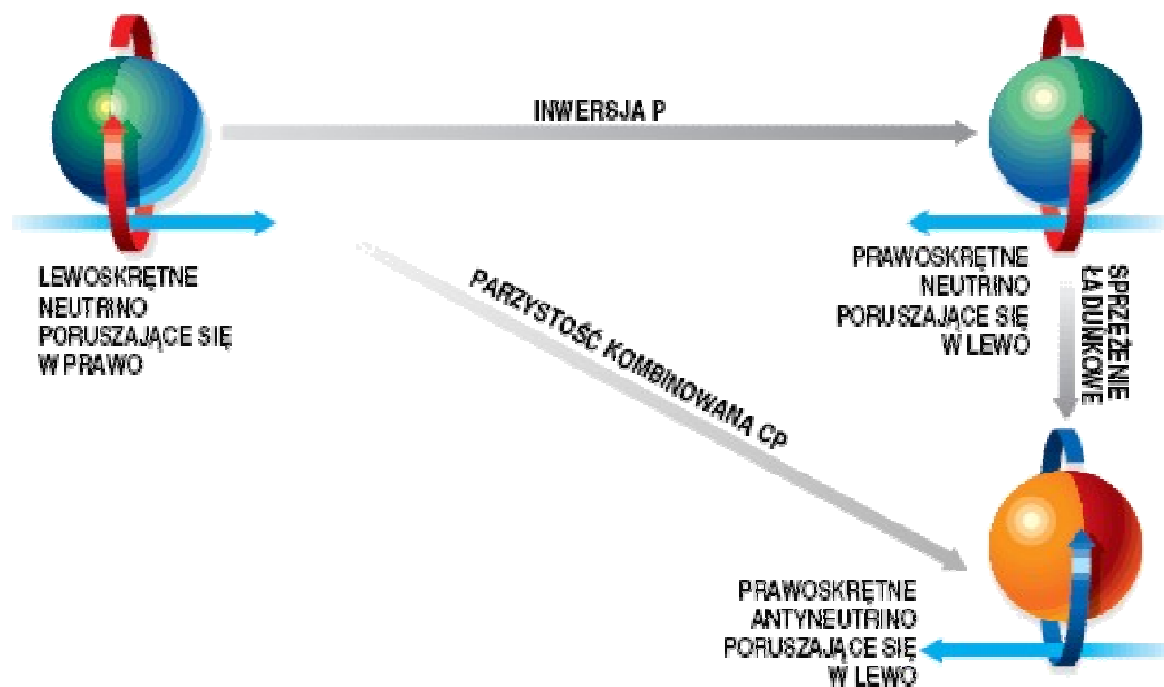
Symetria cząstka-antycząstka

Zasada symetrii cząstka-antycząstka zwana jest *niezmienniczością względem sprzężenia ładunkowego*. Sprzężenie ładunkowe to operacja matematyczna, która zmienia każdą cząstkę na odpowiadającą jej antycząstkę, pozostawiając wszystko inne bez zmian. Wynik sprzężenia ładunkowego na atomie wodoru to antywodór.

Symetria CP – łączna symetria względem odbicia i zamiany cząstka – antycząstka. Z zasady tej wynika, że jeśli wszystkie cząstki w lustrzanym odbiciu eksperyment zamienia na antycząstki, to otrzymamy obraz dozwolonego procesu. Obowiązuje ona dla oddziaływań silnych i elektromagnetycznych, a dla słabych obserwuje się niewielkie jej łamanie w rozpadach neutralnych mezonów K

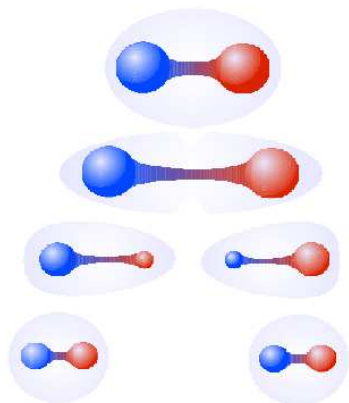
Symetria cząstka-antycząstka

Niezmienniczość CPT. Globalna symetria względem odwrócenia czasu, odbicia i zamiany cząstka – antycząstka. Z prawa tego wynika, że jeśli wszystkie cząstki w lustrzanym odbiciu zamienimy na antycząstki, oraz zmienimy zwrot wszystkich prędkości i obrotów, to otrzymamy obraz reakcji, która może zajść. Prawo to obowiązuje we wszystkich oddziaływaniach.



Teoria superstrun

Oddziaływanie między kwarkami ma tę niezwykłą cechę, że im dalej je od siebie odsuniemy, tym staje się ono silniejsze. Pomocna jest tutaj analogia ze sprężyną albo struną, która rozciągana przeciwdziała temu siłą tym większą, im bardziej jest rozciągnięta. Początkowo fizycy próbowali opisać mezony jako bardzo małe wirujące struny i tak narodziła się teoria strun.

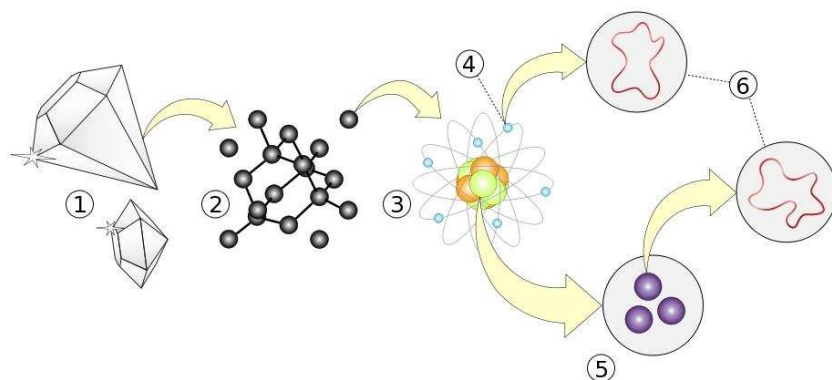
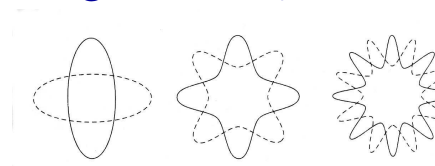


Oddalając od siebie kwark i antykwark dostarczamy energii strunie (pierwsze dwa obrazki), która się tworzy między nimi. Gdy energii jest odpowiednio dużo, tworzy się kolejna para kwark – antykwark i dostajemy w rezultacie 2 mezony.

Teoria superstrun

Tak jak różne sposoby drgań struny gitarowej odpowiadają za różne dźwięki, tak różne rodzaje (kwantowych) drgań strun odpowiadają różnym cząstkom. Wśród nich jest tak zwany grawiton – cząstka, która nie opisuje oddziaływań silnych, za to odpowiada za grawitację.

Jest to niewątpliwie zaletą tej teorii, gdyż daje możliwość unifikacji oddziaływań.



STRUKTURA MATERII WG TEORII STRUN:
1) kryształ; 2) sieć atomów; 3) atom;
4)elektron; 5) proton składający się z kwarków; 6) hipotetyczne struny

(źródło: www.wikipedia.org)

Teoria superstrun

Teoria superstrun rozwiązuje najbardziej zagadkowy problem nurtujący fizyków teoretyków - matematyczną niespójność **Mechaniki Kwantowej** i **Ogólnej Teorii Względności**. W ten sposób teoria strun modyfikuje nasz sposób rozumienia czasoprzestrzeni i oddziaływania grawitacyjnego.

OTW opisuje siłę grawitacji (gwiazdy, galaktyki, czarne dziury, a w kosmologii nawet cały wszechświat), **MK** zaś stosowana jest do opisu najmniejszych struktur w przyrodzie (elektrony, kwarki). Istnieją jednak wyjątkowe fizyczne okoliczności, które, aby je prawidłowo potraktować, wymagają zastosowania obu tych fundamentalnych teorii.

Przykładem takiej sytuacji jest osobliwość - centralny punkt czarnej dziury lub stan wszechświata przed Wielkim Wybuchem. Te struktury dotyczą niewyobrażalnie dużych mas i bardzo małych odległości. Niestety, **OTW** i **MK** są wzajemnie niezgodne i jednoczesne ich użycie prowadzi do nonsensownych wyników. Dla bardzo małych dystansów (rzędu 10^{-33} cm - długość Plancka) równania stają się niepoprawne.

Teoria superstrun

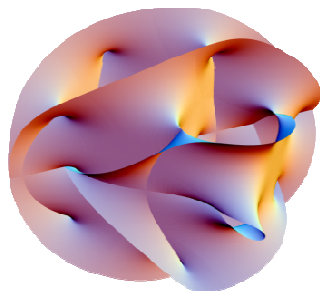
Według teorii superstrun elementarne "cząstki" są małymi zamkniętymi pętlami strun o promieniu w przybliżeniu równym długości Plancka. Dzięki współczesnym akceleratorom można przeprowadzać badania na dystansach rzędu 10^{-16} cm, stąd owe pętle strun widoczne są jako obiekty punktowe. Taka interpretacja prowadzi do harmonijnego związku między **MK** i grawitacją. Okazało się jednak, że równania teorii strun są spójne tylko dla wszechświata składającego się, **oprócz wymiaru czasowego, z dziewięciu wymiarów przestrzennych.**

Idea wszechświata mającego więcej niż trzy znane wymiary przestrzenne została wprowadzona przez T. Kaluza i O. Kleina (1919 rok). Podstawowa zasada, na której opiera się ta teoria mówi o tym, że wymiar może być zarówno duży i bezpośrednio obserwowalny ale może również być mały i niewidoczny (przykład węża – powierzchnia węża owijająca wymiar długości).

Teoria superstrun

Do tej pory żaden eksperyment nie wykazał możliwości istnienia dodatkowych wymiarów przestrzennych zwiniętych (podobnie jak wymiar wokół węża) na odległościach mniejszych niż 10^{-16} cm.

Teoria strun jest fizycznie sensowna jeśli sześć dodatkowych wymiarów (których wymaga ta teoria) jest zwiniętych według wyżej opisanej zasady. Szczególną właściwością tej teorii jest to, że dokładny rozmiar, kształt, ilość szczelin, itp. tych dodatkowych wymiarów determinują właściwości takie jak masy i ładunki elektryczne elementarnych cząstek.



Przykład jednej z wielu możliwych przestrzeni Calabiego-Yau (należy pamiętać, że dwuwymiarowy obraz przedstawia kształt sześciowymiarowy), niemniej grafika oddaje ogólny wygląd przestrzeni Calabiego-Yau).

Teoria superstrun jest w dalszym ciągu rozwijana i pozwala na coraz lepszy teoretyczny opis wszechświata. Potrzebuje jednak doświadczalnego potwierdzenia swoich przewidywań. Dostępne dotychczas energie zderzeń nie pozwalają na weryfikację poprawności tej teorii.