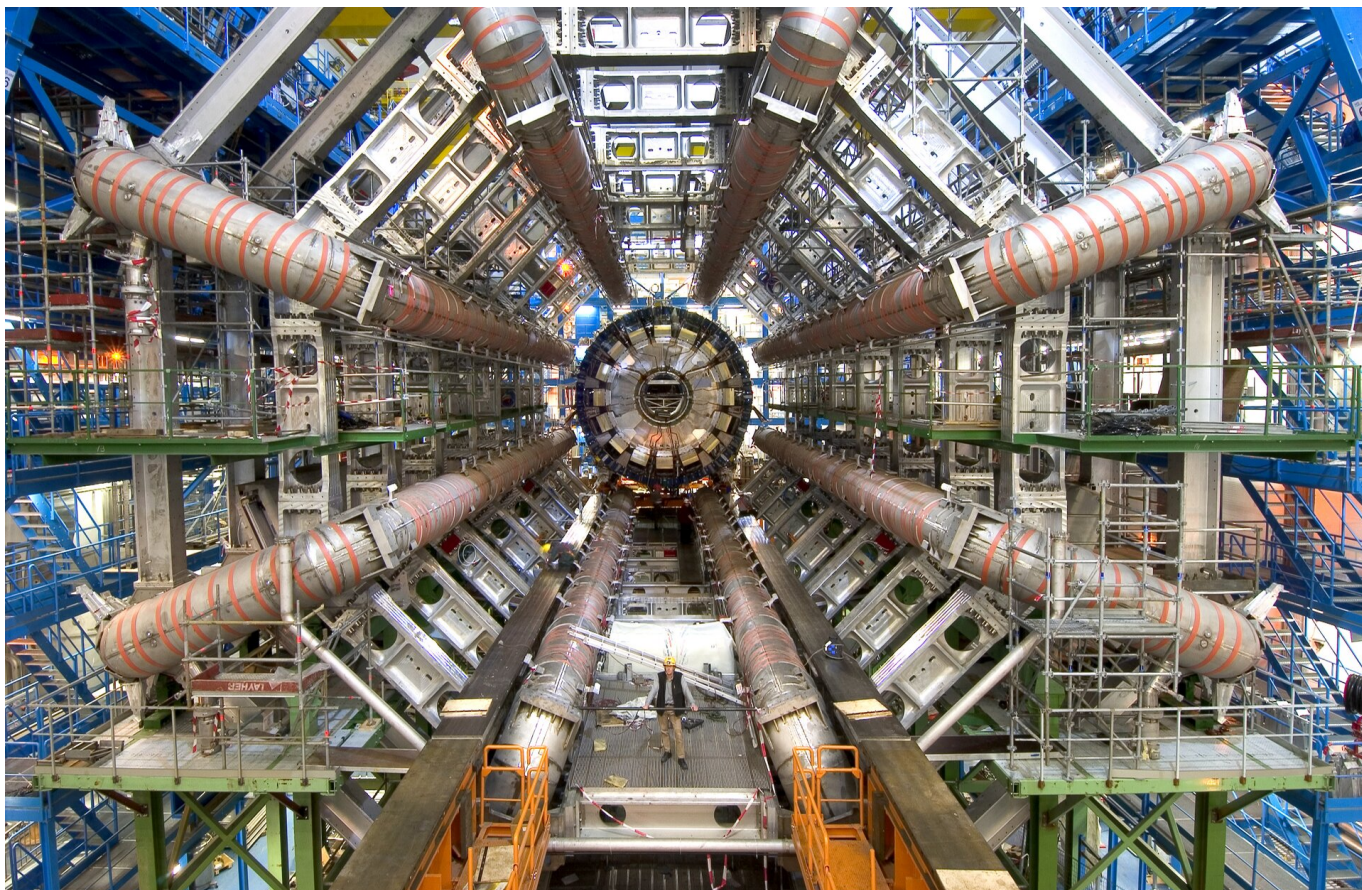




Górny, dolny, dziwny i inne kwarki

- [Wprowadzenie](#)
- [Przeczytaj](#)
- [Grafika interaktywna \(schemat\)](#)
- [Sprawdź się](#)
- [Dla nauczyciela](#)



Górny, dolny, dziwny i inne kwarki

Zderzacz hadronów. Źródło CERN

Czy to nie ciekawe?

Kwarki to cząstki elementarne, które odgrywają fundamentalną rolę w budowie otaczającego nas świata. Są podstawowymi cegiełkami materii. Dwa kwarki, górny i dolny, wraz z elektronem budują cały świat materialny. Jeszcze 50 lat temu istnienie kwarków było jedynie hipotezą. Dzięki niesamowitemu rozwojowi technik eksperymentalnych udało się na przestrzeni lat odkryć sześć typów kwarków. Odkrycie kwarków dało podstawy do sformułowania jednej z najważniejszych teorii współczesnej fizyki, tzw. Modelu Standardowego, który opisuje trzy z czterech podstawowych oddziaływań w przyrodzie.

Twoje cele:

- dowiesz się, czym są kwarki i ile ich jest,
- poznasz cechy kwarków,
- poznasz podstawowe wielkości opisujące kwarki,
- poznasz klasyfikację cząstek elementarnych,
- wyjaśnisz różnicę pomiędzy barionami i mezonami,
- przeanalizujesz kwarkową budowę bardziej złożonych cząstek, w tym protonów i neutronów,

- uzasadnisz, dlaczego pary kwark-kwark i pary antykwark-antykwark nie mogą tworzyć układów złożonych.

Warto przeczytać

Poszukiwania podstawowych, niepodzielnych składników materii pokazały, że otaczający nas świat materialny ma złożoną strukturę. Cząsteczki i molekuły zbudowane są z atomów. Pojedynczy atom składa się z jądra atomowego oraz otaczającej go chmury elektronowej. Jądro atomowe składa się z neutronów i protonów. W 1962 roku dwóch fizyków, Murray Gell-Mann oraz George Zweig, zasugerowało, że neutrony, protony i niektóre inne znane cząstki mogą być zbudowane z bardziej podstawowych składników, nazwanych kwarkami. Murray Gell-Mann oraz George Zweig postulowali istnienie trzech kwarków: górnego, dolnego i dziwnego. Dziś wiemy, że kwarków jest łącznie sześć.

Pozostałe trzy to kwark powabny oraz kwarki niski i wysoki, zwane też pięknym i prawdziwym. Każdy kwark ma również swój odpowiednik wśród antycząstek, zwany antykwarkiem. Oznaczenia kwarków zamieszczono w tabeli 1. Antykwarki oznacza się poprzez umieszczenie poziomej kreski nad symbolem kwarka, np. kwarkowi dziwnemu s odpowiada kwark antydziwny $\bar{s}$.

Nazwa polska	Nazwa angielska	Symbol	Ładunek
górny	up	u	$+2/3e$
dolny	down	d	$-1/3e$
powabny	charm	c	$+2/3e$
dziwny	strange	s	$-1/3e$
wysoki / prawdziwy	top	t	$+2/3e$
niski / piękny	bottom	b	$-1/3e$

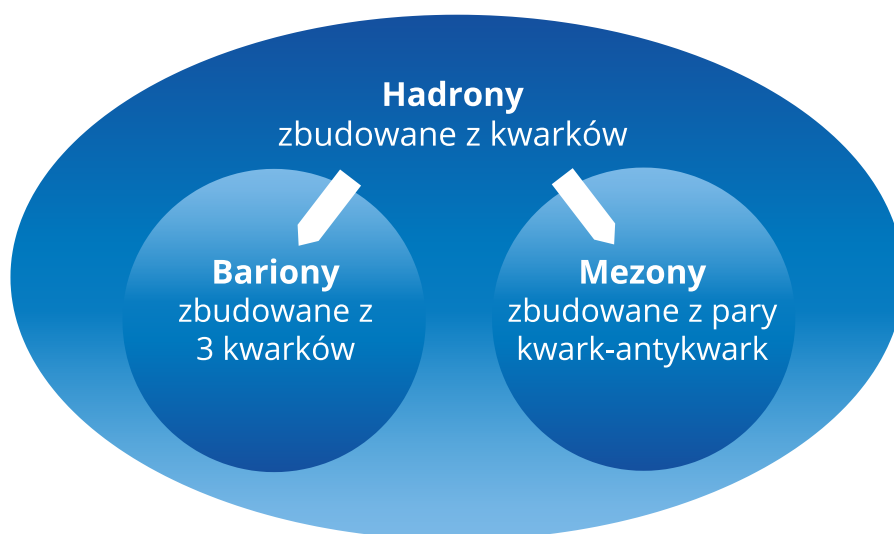
Tabela 1. Nazwy, oznaczenia i ładunki kwarków. Symbolem e oznaczono ładunek elementarny

Kwarki są cząstkami **fundamentalnymi**, czyli takimi, które nie mogą być podzielone na mniejsze elementy i wraz z grupą sześciu innych cząstek fundamentalnych, zwanych leptonami, stanowią podstawowe składniki materii (Rys. 1.). Do leptonów zaliczają się elektron, mion i taon oraz odpowiadające im trzy neutrino: elektronowe, mionowe i taonowe. Tak jak w przypadku kwarków, każdy lepton ma również swój odpowiednik wśród antycząstek. Kwarki, leptony oraz oddziaływania między nimi opisuje Model Standardowy, o którym możesz przeczytać w e-materiale o tym tytule. Temat antycząstek jest poruszony w trzech e-materiałach traktujących o kreacji i anihilacji par cząstka-antycząstka.



Rys. 1. Do cząstek fundamentalnych zaliczamy kwarki i leptony. Zgodnie ze stanem obecnej wiedzy są one niepodzielne

Cząstki niefundamentalne, takie jak np. proton i neutron, zbudowane są z różnych kombinacji kwarków. Proton składa się z dwóch kwarków górnych i jednego dolnego, co możemy zapisać jako uud . Neutron zbudowany jest z jednego kwarku górnego i dwóch dolnych, co zapisujemy jako udd . W ogólności cząstki zbudowane z kwarków nazywają się **hadronami**. Fizycy znają obecnie wiele hadronów, które dzielą się na różne grupy i podgrupy (Rys. 2.). Cząstki zbudowane z pary kwark-antykwark, np. cząstka π^+ (pion dodatni), którą tworzy para $u\bar{d}$, nazywane są **mezonami**. Cząstki, które składają się dokładnie z trzech kwarków należą do grupy **barionów**.



Rys. 2. Hadrony, czyli cząstki zbudowane z kwarków lub antykwarków, dzielimy na dwie podstawowe grupy: bariony i mezony

Proton i neutron są zatem **hadronami** należącymi do grupy **barionów**. Dodatkowo, należą one do podgrupy **nukleonów**, czyli składników jąder atomowych. Więcej na temat kwarkowej budowy protonu i neutronu znajduje się w e-materiale „Z jakich kwarków składa się proton, a z jakich neutron?”.

Ze względów historycznych cząstki fundamentalne, jak i złożone określa się mianem cząstek elementarnych. Zgodnie z tą konwencją przyjmujemy, że termin cząstki elementarne określa wszystkie cząstki subatomowe.

Kwarki mają zaskakujące własności. Jedną z najbardziej nieoczywistych cech kwarków jest to, że obdarzone są ułamkowym ładunkiem elektrycznym (patrz tabela 1.). Kwarki górny, powabny i wysoki obdarzone są ładunkiem $+2/3 e$, natomiast kwarki dolny, dziwny i niski ładunkiem $-1/3 e$, gdzie e oznacza ładunek elementarny, czyli ładunek niesiony przez pojedynczy proton. Antykwarki mają ładunki przeciwne do odpowiadających im kwarkom, np. ładunek kwarka antydziwnego wynosi $+1/3 e$.

Ładunki mniejsze niż elementarny nie są obserwowane w przyrodzie, jak to jest więc możliwe, że kwarki mają ułamkowy ładunek? Jest to związane z kolejną ich cechą. Mianowicie, kwarki nigdy nie występują samodzielnie. Nie ma możliwości zaobserwowania pojedynczego kwarku. Kwarki występują tylko i wyłącznie w hadronach, czyli barionach i mezonach. Mało tego, występują w takich kombinacjach, że wypadkowy ładunek cząstki, którą tworzą, jest zawsze wielokrotnością ładunku elementarnego lub wynosi zero. Weźmy dla przykładu omawiany już proton. Jeżeli zsumujemy ładunki dwóch kwarków górnych (po $+2/3e$) i jednego dolnego ($-1/3e$) otrzymamy ładunek $1e$, czyli dokładnie ładunek protonu.

Co powoduje, że kwarki mogą tworzyć bardziej złożone obiekty? Jądro atomowe oraz elektrony tworzą wspólnie atom dzięki **oddziaływaniu elektromagnetycznemu** występującemu między nimi. Analogicznie jest w przypadku kwarków, choć oddziaływanie elektromagnetyczne odgrywa tu drugorzędną rolę. Kwarki znajdujące się wewnątrz cząstki oddziałują na siebie wzajemnie tak zwanym **oddziaływaniem silnym**. Nazwa oddaje rzeczywistość: jest to najsilniejsze z czterech występujących oddziaływań fundamentalnych. Zasięg tego oddziaływania jest bardzo krótki, rzędu 1 fm (czyt. femtometra), czyli 10^{-15} m. Jest to odległość porównywalna z rozmiarami protonu. Na takich odległościach oddziaływanie to jest 137 razy silniejsze niż oddziaływanie elektromagnetyczne i wiele rzędów wielkości większe niż pozostałe dwa typy oddziaływań: **grawitacyjne** i **słabe**. Podstawowe własności oddziaływań fundamentalnych przedstawia tabela 2.

Oddziaływanie:	silne	słabe	elektromagnetyczne	grawitacyjne
----------------	-------	-------	--------------------	--------------

Oddziałują	kwarki, hadrony	leptony, kwarki, hadrony	leptony naładowane elektrycznie, kwarki, hadrony, atomy, cząsteczki, materia	leptony, kwarki, hadrony, atomy, cząsteczki, materia
występuje w skali subatomowej	tak, jest dominujące	tak	tak	tak, ale jest pomijalnie małe
występuje w skali atomowej i cząsteczkowej	nie	nie	tak, jest dominujące	tak, ale jest pomijalnie małe
występuje w skali makroskopowej, „ziemskiej”	nie	nie	tak	tak
występuje w skali makroskopowej, „kosmicznej”	nie	nie	tak	tak, jest dominujące

Tabela 2. Cztery oddziaływania fundamentalne i podstawowe ich właściwości

Kwarki różnią się między sobą nie tylko ładunkiem, ale również innymi wielkościami fizycznymi, np. masą. Najlżejszymi kwarkami są kwarki górny oraz dolny. Kwarki *u*, *d* oraz elektron są podstawowymi cegiełkami budującymi nasz świat materialny. Wszystkie nukleony, atomy, cząsteczki, molekuły i bardziej złożone obiekty zbudowane są z tych trzech cząstek fundamentalnych. Cząstki złożone, w skład których wchodzi cięższe **kwarki**, obserwowane są np. w zderzeniach wysokoenergetycznego promieniowania kosmicznego z atmosferą ziemską lub w eksperymentach naukowych. Więcej na temat budowy materii można znaleźć w e-materiale „Z czego składa się materia?”. Świat cząstek elementarnych, kwarków, leptonów i oddziaływań między nimi jest niezwykle bogaty i interesujący. Wytworzenie w warunkach laboratoryjnych niektórych cząstek jest wyjątkowo skomplikowane i wymaga olbrzymiej energii, dlatego też fizyka cząstek elementarnych nazywana jest także fizyką wielkich energii.

Słowniczek

kwarki

(ang.: *quarks*) - cząstki elementarne uważane za fundamentalne, tzn. niedające się podzielić na mniejsze elementy, obdarzone ułamkowym ładunkiem elektrycznym.

hadrony

(ang.: *hadrons*) - cząstki elementarne zbudowane z kwarków.

bariony

(ang.: *baryons*) - cząstki elementarne składające się z trzech kwarków.

mezony

(ang.: *mesons*) - cząstki elementarne składające się z pary kwark-antykwar.

hiperony

(ang.: *hyperons*) - cząstki elementarne składające się z różnych kombinacji kwarków *u*, *d*, *s*, które w swoim składzie mają co najmniej jeden kwark *s*.

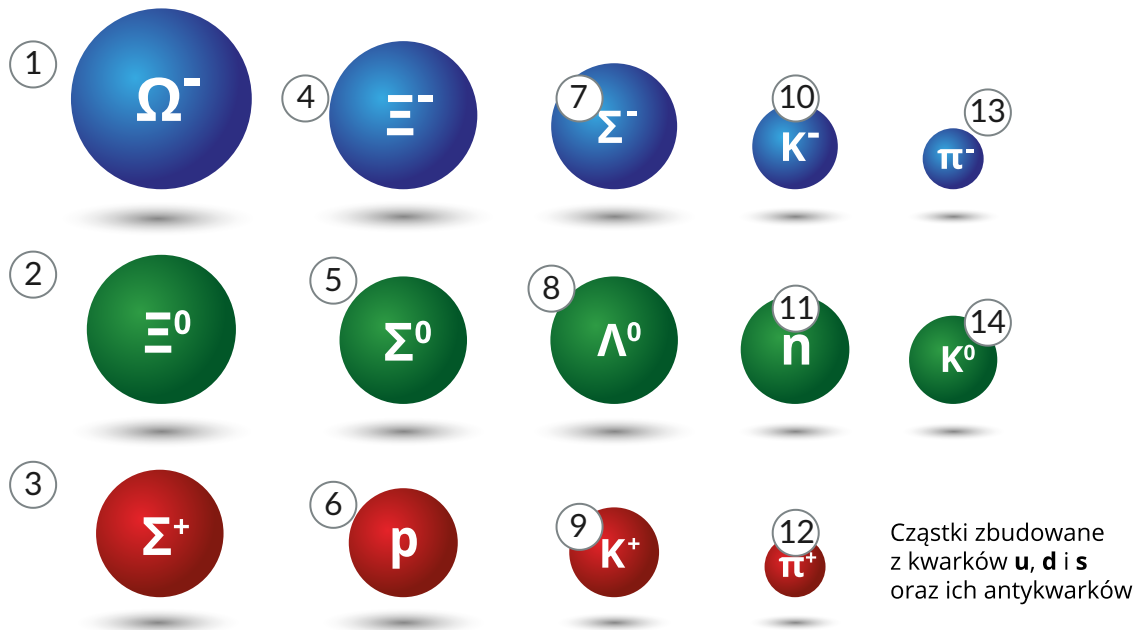
1 fm

(ang.: femtometer) - (czyt. femtometr) jednostka długości równa 10^{-15} m. Średnice jąder atomowych są rzędu kilku, kilkunastu femtometrów.

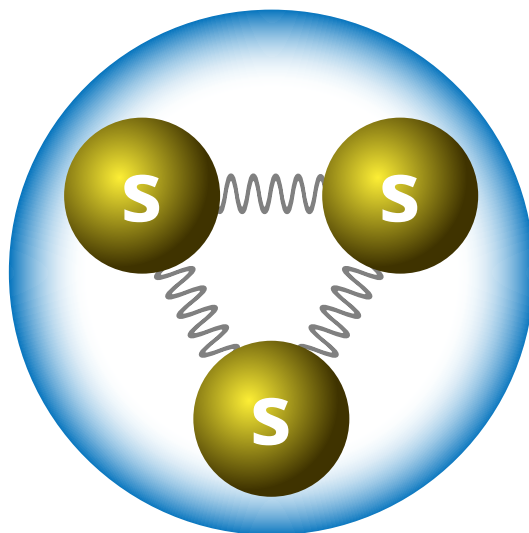
Grafika interaktywna (schemat)

Hadrony i ich właściwości

Zapoznaj się ze składem kwarkowym hiperonów, nukleonów i mezonów.



1. OMEGA MINUS Ω^-

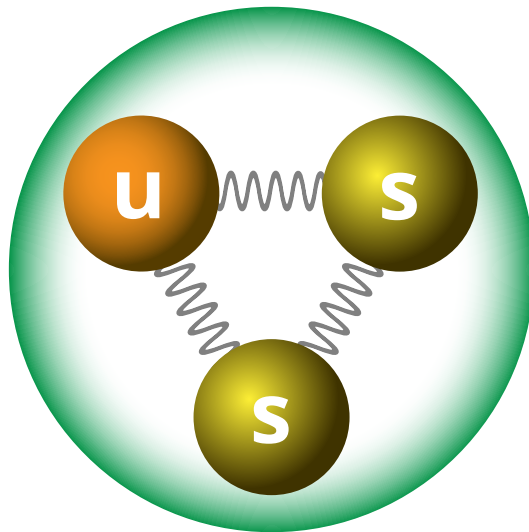


skład kwarkowy: sss
ładunek: $-1e$

masa: $1672 \text{ MeV}/c^2$

grupa: *bariony*

2. KSI ZERO Ξ^0



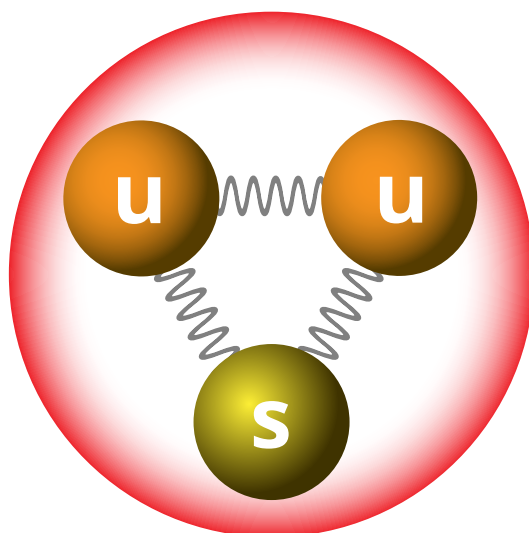
skład kwarkowy: uss

ładunek: 0

masa: $315 \text{ MeV}/c^2$

grupa: *bariony*

3. SIGMA PLUS Σ^+



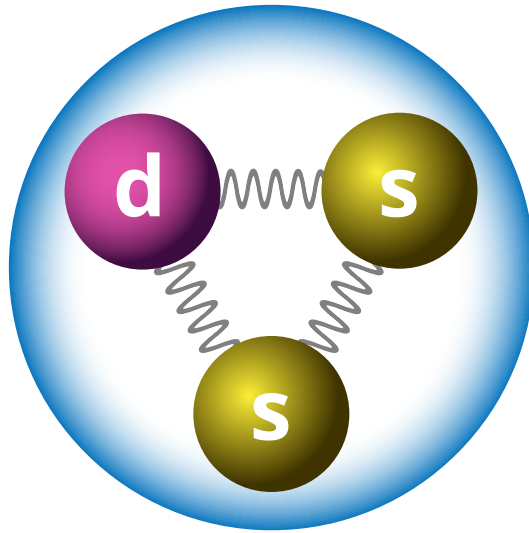
skład kwarkowy: uus

ładunek: $+1e$

masa: $1189,4 \text{ MeV}/c^2$

grupa: *bariony*

4. KSI MINUS Ξ^-



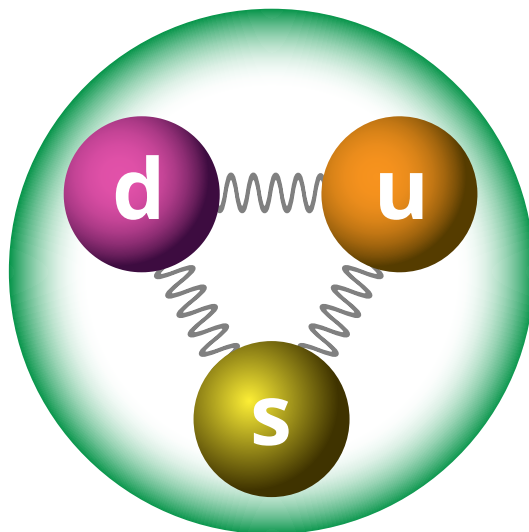
skład kwarkowy: dss

ładunek: $-1e$

masa: $1321 \text{ MeV}/c^2$

grupa: *bariony*

5. SIGMA ZERO Σ^0



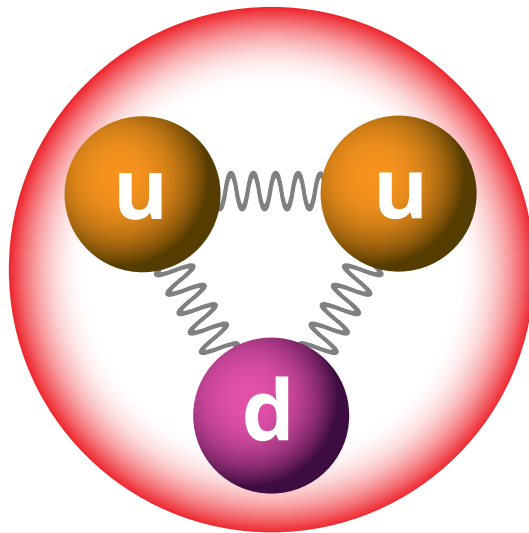
skład kwarkowy: uds

ładunek: 0

masa: $1192,6 \text{ MeV}/c^2$

grupa: *bariony*

6. PROTON p



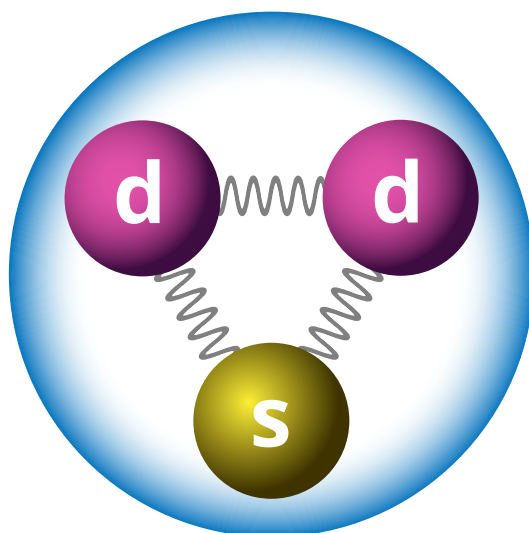
skład kwarkowy: uud

ładunek: $+1e$

masa: $939,6 \text{ MeV}/c^2$

grupa: *bariony*

7. SIGMA MINUS Σ^-



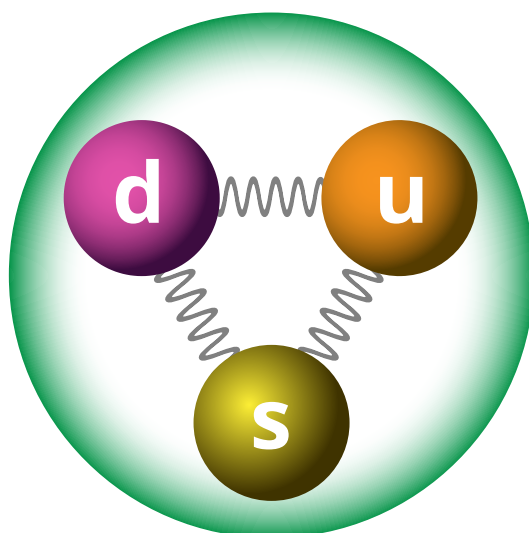
skład kwarkowy: dds

ładunek: $-1e$

masa: $1197,4 \text{ MeV}/c^2$

grupa: *bariony*

8. LAMBDA ZERO Λ^0



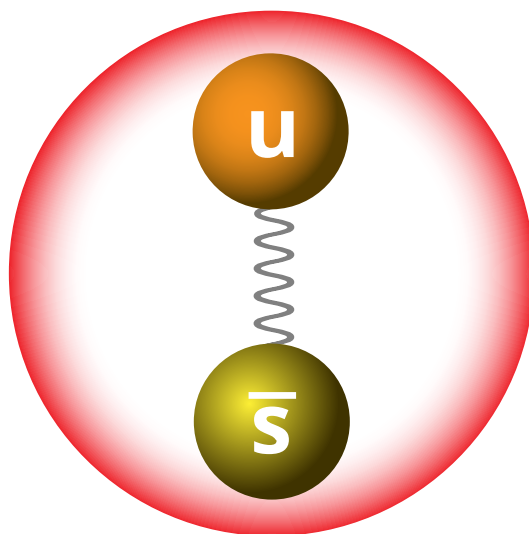
skład kwarkowy: uds

ładunek: 0

masa: $1115,7 \text{ MeV}/c^2$

grupa: *bariony*

9. KAON DODATNI K^+



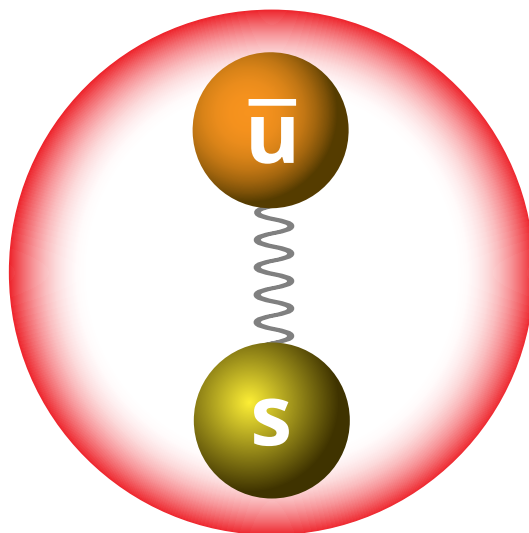
skład kwarkowy: $u\bar{s}$

ładunek: $+1e$

masa: $493,7 \text{ MeV}/c^2$

grupa: *mezony*

10. KAON UJEMNY K^-



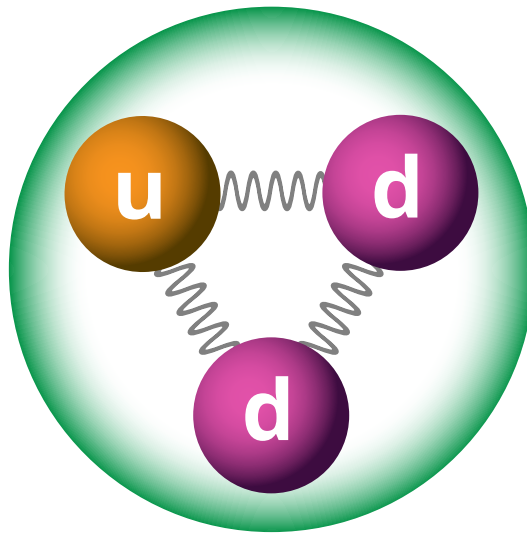
skład kwarkowy: $s\bar{u}$

ładunek: $-1e$

masa: $493,7 \text{ MeV}/c^2$

grupa: *mezony*

11. NEUTRON n



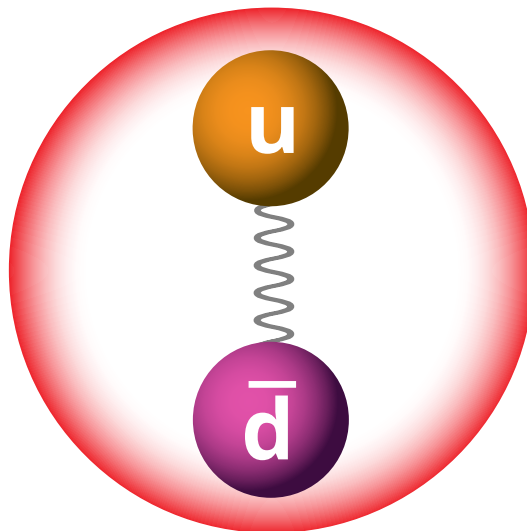
skład kwarkowy: udd

ładunek: 0

masa: $938,3 \text{ MeV}/c^2$

grupa: *bariony*

12. PION DODATNI π^+



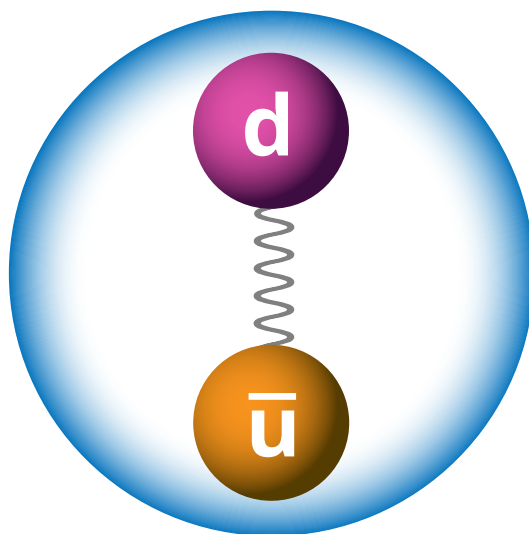
skład kwarkowy: $u\bar{d}$

ładunek: $+1e$

masa: $139,6 \text{ MeV}/c^2$

grupa: *mezony*

13. PION UJEMNY π^-



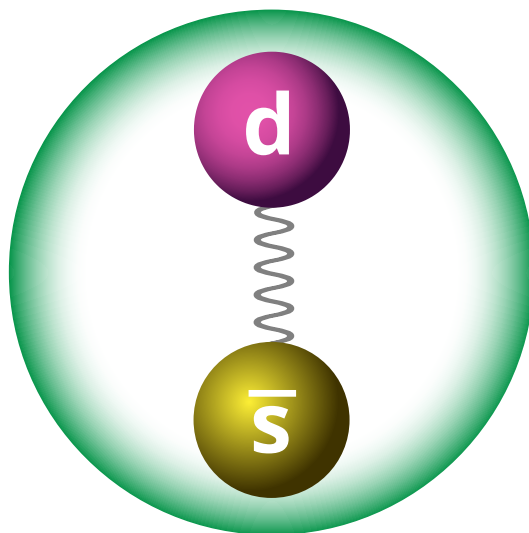
skład kwarkowy: $d\bar{u}$

ładunek: $-1e$

masa: $139,6 \text{ MeV}/c^2$

grupa: *mezony*

14. KAON K^0



skład kwarkowy: $d\bar{s}$

masa: $497,6 \text{ MeV}/c^2$

grupa: *mezony*

Polecenie 1

Przeanalizuj, w grupie barionów (hiperonów i nukleonów), od którego z poniższych czynników zależy masa cząstek. Wskaż najbardziej prawdopodobną hipotezę.

- ☐ Od ładunku elektrycznego cząstki.
- ☐ Od obecności kwarku u wewnątrz cząstki.
- ☐ Od obecności kwarku d wewnątrz cząstki.
- ☐ Od obecności kwarku s wewnątrz cząstki.

Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:   

Ćwiczenie 1



Uzupełnij poniższe zdania.

- a) Łączna liczba kwarków i antykwarków wynosi .
- b) Kwark antydolny obdarzony jest ładunkiem .
- c) Charakterystyczne oddziaływanie występujące pomiędzy kwarkami nazywamy oddziaływaniem .
- d) Symbolem $\bar{c}$ oznacza się kwark .

$-2/3e$

8

16

silnym

12

antypowabny

powabny

$-1/3e$

słabym

$+1/3e$

$+2/3e$

grawitacyjnym

6

Ćwiczenie 2



Uzupełnij tekst.

Cząstki elementarne zbudowane z kwarków nazywamy . Cząstka może być zbudowana z różnej ilości kwarków. Cząstki, które zbudowane są z trzech kwarków, nazywamy . Do tej grupy zalicza się , który tworzą dwa kwarki d oraz jeden kwark u . Inną grupę, nazywaną tworzą cząstki zbudowane z jednego kwarka i jednego antykwarka.

mezonami

hadronami

elektron

proton

neutron

barionami

Ćwiczenie 3



Uzupełnij poniższe zdania.

- a) Skład kwarkowy cząstki Λ^0 to .
- b) Mezony K (kaony) występują w stanach ładunkowych.
- c) Cząstka ksi ma większą masę niż ksi .
- d) Cząstka jest zbudowana z trzech kwarków s .

minus

Ω^+

czterech

trzech

zero

uds

Ω^-

uus

Ćwiczenie 4



W tabeli umieszczono cząstki, z których każda należy do jednej z trzech grup: grupy barionów, grupy antybarionów lub grupy mezonów. Uzupełnij ostatnią kolumnę określając grupę, do której przynależy cząstka, wpisując odpowiednią nazwę grupy: bariony, antybariony lub mezony.

Nazwa cząstki	Symbol	Skład kwarkowy	Grupa
proton	p	uud	
pion dodatni	π^+	$u\bar{d}$	
kaon ujemny	K^-	$s\bar{u}$	
lambda zero	Λ^0	uds	
omega minus	Ω^-	sss	
pion ujemny	π^-	$d\bar{u}$	
antyproton	$\bar{p}$	$\bar{u}\bar{u}\bar{d}$	
antyneutron	$\bar{n}$	$\bar{u}\bar{d}\bar{d}$	
ksi zero	Ξ^0	uss	

Ćwiczenie 5



Cząstki elementarne, które zawierają kwark dziwny, są określane mianem cząstek dziwnych. Do grupy cząstek dziwnych należą m.in. hiperony. Zgodnie z definicją, hiperonami nazywamy bariony zawierające przynajmniej jeden kwark dziwny, ale niezawierające kwarków powabnego, wysokiego ani niskiego. Spośród wymienionych cząstek wskaż wszystkie hiperony.

☐ π^+ (pion dodatni)

☐ π^- (pion ujemny)

☐ K^- (kaon ujemny)

☐ n (neutron)

☐ Λ^0 (lambda zero)

☐ Ξ^0 (ksi zero)

☐ Ω^- (omega minus)

Ćwiczenie 6



Hiperon sigma występuje w trzech stanach ładunkowych: obojętnym (Σ^0), dodatnim o ładunku $+1e$ (Σ^+) i ujemnym o ładunku $-1e$ (Σ^-). Połącz podane składy kwarkowe z odpowiadającymi im hiperonami sigma: Σ^0 , Σ^+ , Σ^- .

uus

Σ^+

uds

Σ^0

dds

Σ^-

Ćwiczenie 7



Grupa barionów delta liczy cztery cząstki: Δ^- , Δ^0 , Δ^+ oraz Δ^{++} . Określ składy kwarkowe cząstki Δ^{++} (obdarzonej ładunkiem $+2e$) oraz cząstki Δ^- (obdarzonej ładunkiem $-1e$), wiedząc, że cząstki delta są zbudowane tylko z kwarków u i d .

Cząstka Δ^{++} zbudowana jest z kwarków .

Cząstka Δ^- zbudowana jest z kwarków .

Ćwiczenie 8



Korzystając z definicji hiperonu, zamieszczonej w ćwiczeniu 5, określ liczbę cząstek spełniających podane kryteria. Wypisz w okienku wszystkie możliwe kombinacje korzystając z zapisu kwarkowego i sprawdź swoje odpowiedzi w grafice interaktywnej.

Ćwiczenie 9



Korzystając tylko z informacji zawartych w tekście, uzasadnij, dlaczego pary kwark-kwark oraz pary antykwark-antykwark nie mogą tworzyć układów złożonych.

Wpisz odpowiedź poniżej

Dla nauczyciela

Imię i nazwisko autora:	Tomasz Cap
Przedmiot:	Fizyka
Temat zajęć:	Górny, dolny, dziwny i powabny, czyli o kwarkach
Grupa docelowa:	III etap edukacyjny, liceum, technikum, zakres rozszerzony
Podstawa programowa:	Cele kształcenia - wymagania ogólne II. Rozwiązywanie problemów z wykorzystaniem praw i zależności fizycznych. Zakres rozszerzony Treści nauczania - wymagania szczegółowe I. Wymagania przekrojowe. Uczeń: 7) wyodrębnia z tekstów, tabel, diagramów lub wykresów, rysunków schematycznych lub blokowych informacje kluczowe dla opisywanego zjawiska bądź problemu; przedstawia te informacje w różnych postaciach; XII. Elementy fizyki relatywistycznej i fizyka jądrowa. Uczeń: 5) posługuje się pojęciami pierwiastek, jądro atomowe, izotop, proton, neutron, elektron; opisuje skład jądra atomowego na podstawie liczb masowej i atomowej.
Kształtowane kompetencje kluczowe:	Zalecenie Parlamentu Europejskiego i Rady UE z 2018 r. • kompetencje w zakresie rozumienia i tworzenia informacji, • kompetencje matematyczne oraz kompetencje w zakresie nauk przyrodniczych, technologii i inżynierii, • kompetencje cyfrowe, • kompetencje osobiste, społeczne i w zakresie umiejętności uczenia się.

Cele operacyjne:	Uczeń: 1. wie, co to są kwarki, ile ich jest i w jaki sposób budują cząstki elementarne, 2. potrafi posługiwać się zapisem kwarkowym, 3. rozumie podział cząstek elementarnych na bariony i mezony, 4. rozumie klasyfikację cząstek elementarnych ze względu na ich budowę, 5. analizując składy kwarkowe cząstek, potrafi przypisać je do określonych grup, 6. określa ładunki elektryczne cząstek elementarnych o podanym składzie kwarkowym, 7. ocenia i uzasadnia, czy dana kombinacja kwarków może zbudować bardziej złożony obiekt.
Strategie nauczania:	IBSE
Metody nauczania:	– wykład informacyjny, – rozwiązywanie zadań rachunkowych.
Formy zajęć:	– praca indywidualna, – praca w parach.
Środki dydaktyczne:	Rzutnik lub ekran do wyświetlania multimedium
Materiały pomocnicze:	Zdjęcia lub krótki filmik prezentujący LHC (Wielki Zderzacz Hadronów w CERNie) albo jakikolwiek inny współczesny akcelerator.
PRZEBIEG LEKCJI	
Faza wprowadzająca:	

Nauczyciel rozpoznaje wiedzę wyjściową uczniów, pytając jak jest zbudowana otaczająca nas materia, czym są atomy i jaka jest ich struktura, z jakich składników składa się jądro atomowe.

Nauczyciel pyta, co uczniowie rozumieją przez pojęcia cząstki elementarnej i fundamentalnej. Nauczyciel prosi uczniów o sformułowanie kryteriów, jakie powinny spełniać obiekty, które uważamy za podstawowe składniki materii.

Nauczyciel uporządkowuje wiedzę uczniów i opisuje złożoność otaczającej nas materii. Nauczyciel wskazuje, że w fizyce i chemii stosowany jest hierarchiczny model opisu struktury materii: molekuły są zbudowane z atomów, atomy z jąder atomowych i chmury elektronowej, a jądra atomowe z neutronów i protonów. Nauczyciel wprowadza skale odległości właściwe do opisu molekuł, atomów i jąder atomowych. Przypomina, jak stosować postać wykładniczą i wprowadza jednostkę odległości femtometr.

Nauczyciel zaciekawia uczniów, wprowadzając pojęcie kwarka, przedstawia nazwy kwarków oraz ich własności fizyczne (ułamkowy ładunek, etc.).

Nauczyciel pokazuje, w jaki sposób kwarki budują neutron i proton.

Nauczyciel sprawdza na podstawie składów kwarkowych ładunki elektryczne nukleonów.

Nauczyciel przedstawia historię odkrycia kwarków oraz opisuje narzędzia badawcze fizyki cząstek elementarnych, ilustrując ten opis zdjęciami bądź krótkim filmem.

Faza realizacyjna:

Nauczyciel wprowadza pojęcia: antykwark, hadron, barion i mezon. Nauczyciel pokazuje uczniom jak przykładowe cząstki elementarne zbudowane są z kwarków wykorzystując do tego multimedium bazowe.

Nauczyciel omawia rolę oddziaływania silnego i porównuje je z innymi oddziaływaniami pod kątem występowania, zasięgu itd.

Nauczyciel wprowadza pojęcie czasu życia cząstki elementarnej i omawia je na przykładzie wybranej cząstki, pokazując jej schematy rozpadu.

Nauczyciel daje uczniom zadanie odszukania składów kwarkowych kilku wybranych przez siebie cząstek. Uczniowie, korzystając z multimedium odszukują składy kwarkowe cząstek podanych przez nauczyciela.

Nauczyciel wybiera kilka cząstek i podaje uczniom tylko ich składy kwarkowe.

Nauczyciel następnie prosi uczniów, o sprawdzenie wypadkowych ładunków elektrycznych dla podanych składów kwarkowych bazując na informacjach zawartych w tabeli 1. Uczniowie, korzystając z tabeli 1, sprawdzają wypadkowe ładunki elektryczne dla podanych grup kwarków. Następnie razem z nauczycielem (korzystając z multimedium) odszukują jakie cząstki zostały wybrane do sprawdzenia (jakie są ich nazwy i symbole) oraz weryfikują obliczony przez siebie ładunek elektryczny.

Nauczyciel omawia różnice pomiędzy barionami i mezonami oraz wprowadza pojęcia antybarionu i antymezonu. Nauczyciel prosi uczniów o rozwiązanie zadania 4.

Uczniowie klasyfikują cząstki z zadania 4 do odpowiednich grup. Nauczyciel rozwija temat klasyfikacji cząstek i wprowadza pojęcie materii dziwnej (zawierającej kwark s).

Nauczyciel jako przykład podaje hiperony i prosi uczniów o rozwiązanie zadania 5.

Uczniowie wskazują, które cząstki z podanych są hiperonami.

Nauczyciel może dalej rozwinąć temat, opowiadając o hiperjadrach, czyli o jądrach atomowych, w których jeden z nukleonów został zastąpiony hiperonem. Warto, aby nauczyciel podkreślił rolę polskich naukowców w badaniach nad hiperjądrami (hiperjądra zostały po raz pierwszy zaobserwowane w 1952 roku przez profesorów Mariana Danysza i Jerzego Pniewskiego z Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego).

Nauczyciel uświadamia uczniów, że cząstki elementarne mogą występować w różnych stanach wzbudzonych, wyjaśnia, co oznacza to pojęcie i omawia, w jaki sposób cząstka może znaleźć się w stanie wzbudzonym.

Nauczyciel daje uczniom do rozwiązania zadanie 7 razem z częścią nieobowiązkową.

Uczniowie rozwiązują zadanie 7, a następnie dyskutują uzyskane wyniki razem z nauczycielem. Nauczyciel rozwija temat czasu życia cząstek delta i pokazuje, w jaki sposób cząstki te się rozpadają.

Faza podsumowująca:

Nauczyciel prosi uczniów, aby dobrali się w pary. Każdy z uczniów wybiera cząstkę elementarną (z multimedium lub z przykładów podanych na lekcji) i podaje drugiej osobie z pary tylko jej skład kwarkowy. Zadaniem ucznia jest sklasyfikowanie cząstki na podstawie podanego składu kwarkowego, wyznaczenie jej ładunku elektrycznego i podanie symbolu. Nauczyciel wypisuje cząstki, które poznali uczniowie i wprowadza dodatkowe cząstki elementarne (nieomawiane na zajęciach), które zawierają kwarki c , t lub b i opowiada o badaniach prowadzonych w ramach fizyki cząstek elementarnych.

Praca domowa:

Zadania utrwalające wiedzę pojęciową: Zadania 1, 2 i 3 z e-materiału.

Zadania sprawdzające zrozumienie materiału: Zadania 6 i 8 z e-materiału.

Zadanie rozszerzające zdobytą wiedzę: Zadanie 9 z e-materiału.

**Wskazówki
metodyczne
opisujące różne
zastosowania danego
multimedium:**

Multimedium może być wykorzystane w czasie lekcji lub jako wstęp do niej.