

Energia i powłoka masy

- Zrozumieć związek energii i pędu
- Dla pojedynczej cząstki –
warunek powłoki masy (mass-shell)

Energia i pęd – podstawowe wielkości
i zachowane

Prawo zachowania energii

Prawo zachowania pędu np. z zderzeniu

Pęd – wektor, 3 składowe (małe prędkości $p=mv$)

- „Normalnie” aby opisać stan cząstki (zaniedbujemy spin i inne l. kwantowe)-
-> gdzie, kiedy i jaki pęd
- W mech kwantowej: jeśli znamy dokładnie położenie nie znamy pędu
i odwrotnie (zasada niepewności Heisenberga)
Również jeśli znamy dokładnie czas – nic nie wiemy o energii
- Nie wiemy tzn wszędzie z tym samym prawdopodobieństwem

Do opisu fale

- Więc określony pęd – fala płaska (jest wszędzie)
- Więc lepiej posługiwać się w opisie własnościami które są takie same w makroświecie i mikroświecie
Np. prawa zachowania energii i pędu
- W praktyce nigdy nie znamy położenia dokładnie, więc i o pędzie coś wiemy

Zderzenie dwóch cząstek

- Procesy elastyczne
te same cząstki przed i po zderzeniu
- Procesy nieelastyczne
- tu oczywiście że suma mas przed i po zderzeniu może być różna
- UWAGA – masa cząstki
= masa cząstki w spoczynku

Prawa zachowania

- Energia i pęd cząstki nie są niezależne

Jeśli dla cząstki o danej masie znamy pęd to znamy prędkość i energię

- Teoria relatywistyczna pozwala na istnienie cząstek o masie zero a dowolnej energii (foton) – jeśli znamy pęd znamy energię

Zderzenie elastyczne cząstek A i B

- Niech B (b. ciężka) spoczywa
- A pada na nią i się rozprasza pod kątem ϕ



Rozkład kątowy

- Kule bilardowe - kąt znany przy określonych warunkach
- W świecie cząstek – nie znany dokładnie. Wiązka w akceleratorze cząstek określonego typu, przekrój wiązki b. duży w stosunku do rozmiarów cząstek np. tu rozmiaru B

Więc wiele zdarzeń i rozkład kątów

rozproszenia – ten rozkład to źródło wiedzy o oddziaływaniu (rozkład kątowy) oraz własności tarczy

Doświadczenie Rutherforda

Czastki alfa na folii złota – i niektóre się odbijały do tyłu (jądro złota masa 50 x masa cząstka α)

Prawo Coulomba

- Ładunki el. – oddziaływanie słabsze gdy ładunki dalej od siebie $F \sim 1/r^2$
- Dośw. Rutherforda 1911 – elektrony w folii nie były ważne, istotne tylko jadra

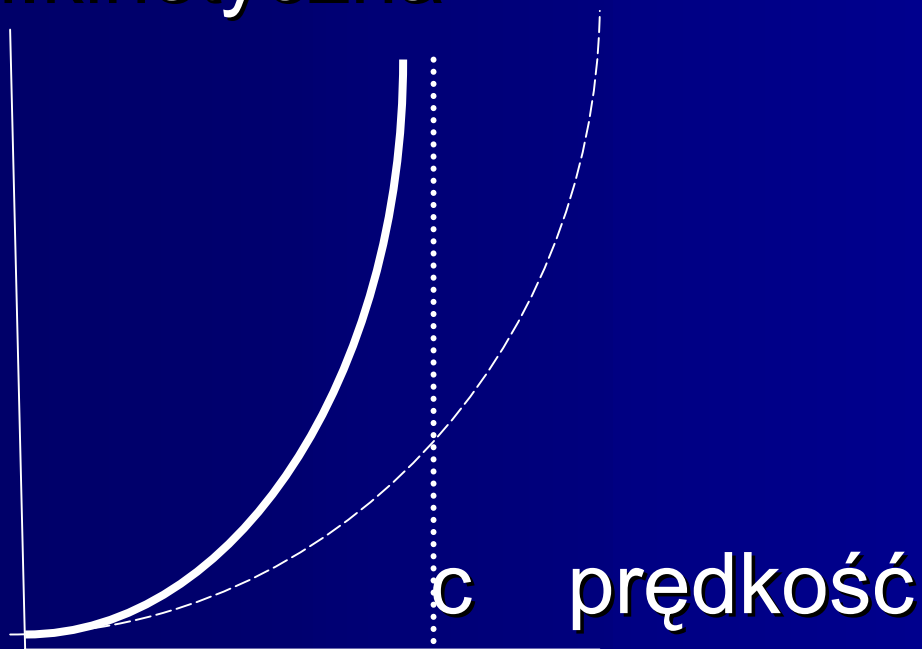
Prawo Coulomba -> informacja z rozkładu katowego: atomy puste, ciężkie jądro w środku, i od nich odbijały się cząstki alfa

=> sto tysięcy (10^5) razy mniejszy rozmiar jądra niż atomu

Cząstki α (4 nukleony 2p 2 n) – cięższe niż elektron, lżejsze niż jądro złota (197 nukleonów)
- idealna sonda

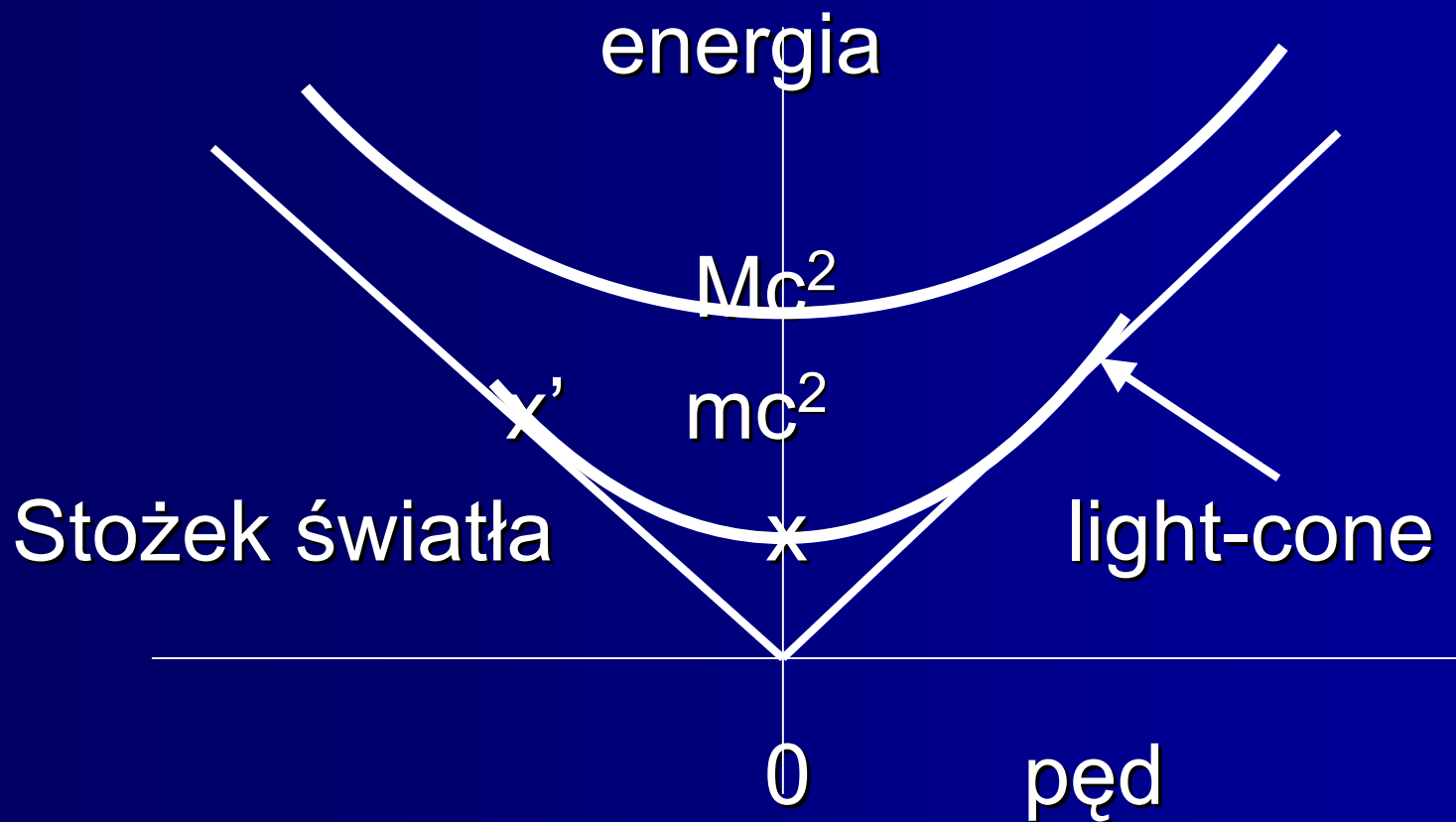
$$E = \sqrt{p^2 c^2 + m^2 c^4}$$

■ En.kinetyczna



Relatywistyczny związek –ograniczenie
na prędkość

Energia i pęd



Zmiana układu odniesienia: $x \rightarrow x'$ (powłoka masy)

Teoria relatywistyczna -

- Najbardziej bezpośredni przejaw czas życia cząstek – dłuższy jeśli cząstka się porusza jest to tzw. dylatacja czasu. Podobny efekt - skrócenie Lorentza
- Rola pomiaru - transf. Lorentza wiąże pomiary w różnych układach odniesienia
- Niezmienniczość relatywistyczna obrotowa, przesunięcia w czasie i przestrzeni - znane wcześniej (przed Einsteinem)
- Niezmienniczość relatywistyczna wzg zmiany układu odniesienia – stała prędkość
- Prędkość światła stała w układach odn. poruszających się ze stałą prędkością względem siebie

Niezmienność Lorentza, niezmienność Poincare

- Obroty i zmiana układu (stała prędkość) -> niezmienniczość Lorentza
Niezmienność Lorentza plus niezmienniczość wzg przesunięcie w czasie i przestrzeni to niezmienniczość Poincare

Obie znane przed Einsteinem

- Jeśli proces jest zabroniony to jest zabroniony w każdym układzie, np rozpad
- Do opisu nieraz wygodny pewien układ.

Świat hadronów

- Lata 60-te – cząstki el. znane foton, electron, muon, neutrino oraz wiele silnie oddziałujących z protonem i neutronem cząstek - hadronów
- Klasyfikacja Gell-Manna – hipoteza kwarków, czyli cegiełek z których zbudowane są hadrony
- Proton i neutron to ich stany związane
- Kwarki ‘zobaczono’ w 1967 (SLAC) w dośw. typu Rutherforda

Stany związane

- Kwarki – uwiezione, nigdy jako swobodne
- Stany zwiazane ale zupełnie inaczej niż w atomie lub jadrach
- Atom wodoru, jądra at. – tu energia wiązania mała więc całkowita energia bliska sumie energii zawartej w masach $E=mc^2$

(atom wodoru: masa e = 0.511 MeV, masa p = 938.272 MeV, en. wiązania -13.6 eV;

jądro helu $2p\ 2n \Rightarrow 3755.67\text{ MeV}$

masa n = 939.563 MeV, en. wiązania -28 MeV)

Łatwo można znaleźć składniki

Inaczej jest z kwarkami....

Stany związane kwarków

- Różnica jest taka , że gluony wiążące kwarki też oddziałują ze sobą
- Kwarki są znurzone w gluonach
ich masa – znikoma część masy całości
w protonie kwarki około 15 MeV a masa $p = 938$ MeV – reszta w gluonach (one same bezmasowe)
- Kwarków nie można wydzielić = struna gluonowa się wytwarza między kwarkami które chcemy rozdzielić i energia wiązania rośnie wraz z zwiększeniem odległości

Wyznaczanie mas kwarków

- Trudne szczególnie dla lekkich kwarków
- Np.. różnica u i d znana = 1.291 MeV ; jest jeszcze wkład od różnicy ładunków (oddz. e-m)

$$u = 1.5 - 3 \text{ MeV}$$

$$d = 3 - 7 \text{ MeV}$$

- Cięższe kwarki (odkryte po 1967) – tu łatwiej
 $c, b, t = \text{masy } 1.3, 4.5, 171 \text{ GeV},$

Energia wiązania niezbyt istotna

Stany związane $J/\psi = c \bar{c} \text{ } 3000 \text{ MeV} \text{ (1974)}$

Liczby kwantowe

- Hadrony= kwarki w cieście gluonowym
(o własnościach gumy do żucia)

- Czy istnieje glueball?

- Liczby kwantowe hadronów

mezony: kwark – antykwark

bariony: 3 kwarki

Opis teoretyczny – Kwantowa chromodynamika

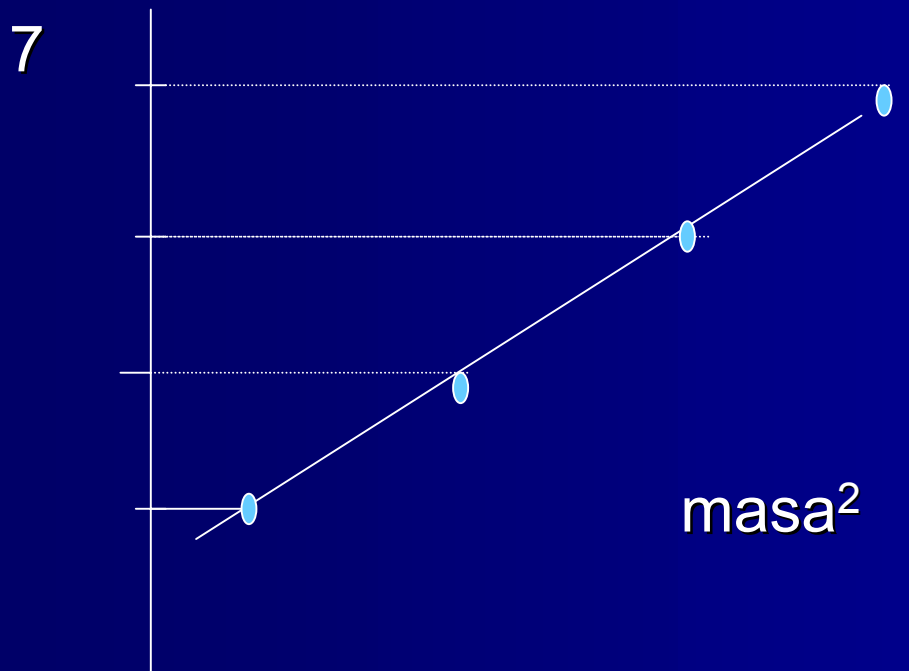
(QCD) podobna do kwantowej elektrodynamiki QED

komplikacje związane z różnymi typami gluonów i ich samoodziaływaniem

Struny gluonowe - > teoria strun

Stany związane – trajektorie Reggego

- Spin



- Jak stany wzbudzone (wyższa energia) w atomie

Spin stanu związanego

- Hadrony = stany związane kwarków
cząstki o określonych
liczbach kwantowych również spinu
Stany kwantowe i spin = wewn. moment
pędu tylko określone wartości:
1/2, 3/2, 5/2... 11/2.. fermiony
0, 1, 2, 3, ... 6 bozony

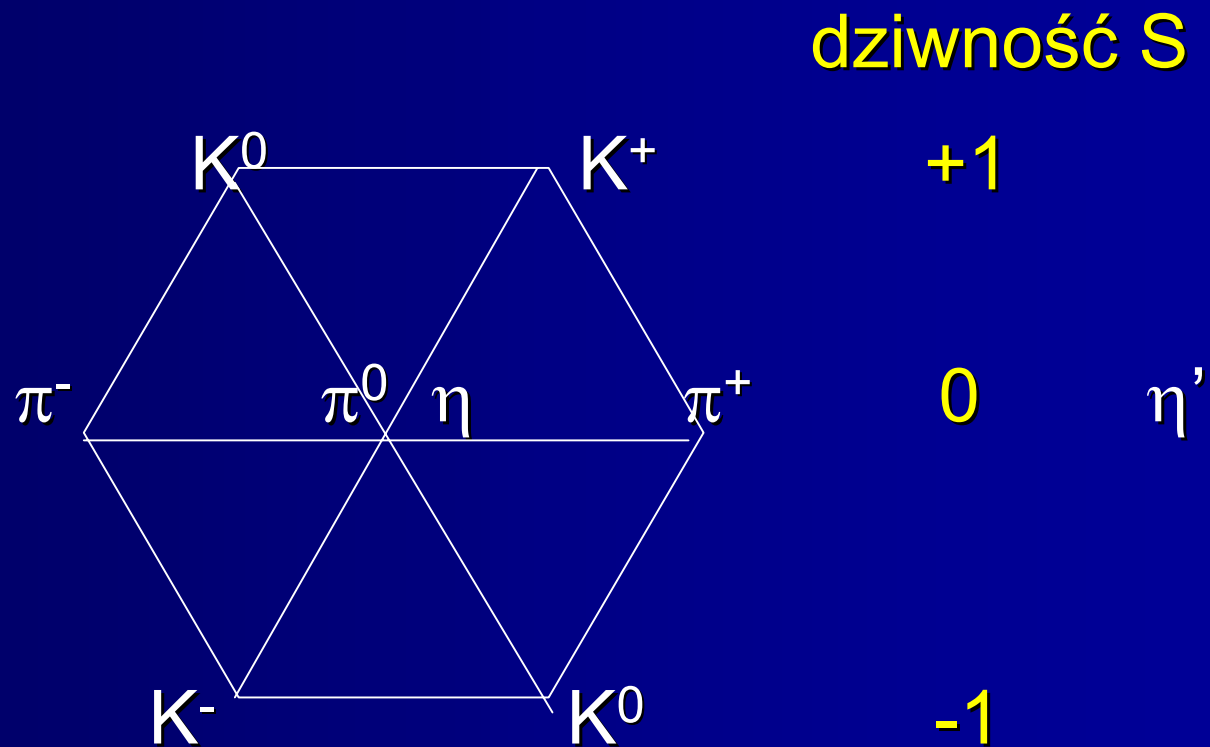
Mezony kwark-antykwar

Spin 0		masa MeV	czas życia (s)
π^-	$d \bar{u}$	140	$2.6 \cdot 10^{-8}$
π^+	$u \bar{d}$	140	
π^0	$d \bar{d}, u \bar{u}$	135	$8.4 \cdot 10^{-17}$
K^0	$d \bar{s}$		
K^+	$u \bar{s}$	494	$1.2 \cdot 10^{-8}$
K^-	$s \bar{u}$	494	
K^0	$s \bar{d}$		
η	$u \bar{u}$	548	$5.6 \cdot 10^{-19}$
η'	$s \bar{s}$	958	$3.3 \cdot 10^{-21}$

Kaony – mieszanie neutralnych

■ K_s	498 MeV	$0.89 \cdot 10^{-10}$ s
■ K_L	498	$5.2 \cdot 10^{-8}$

Oktet mezonów i skalar



Masy w oktecie(nonecie)

- Masa kwarku dziwnego ~ 150 MeV
masy cząstek różnią się

ale widać symetrię - multiplet

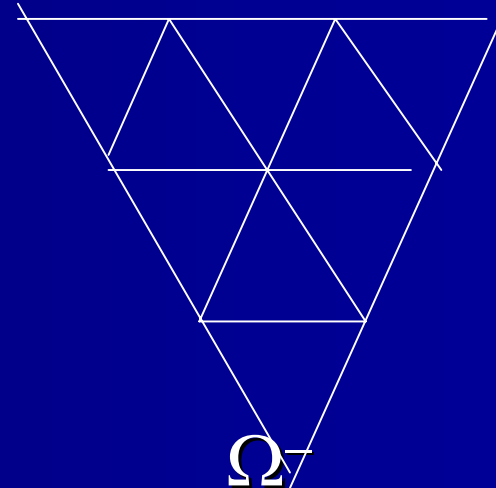
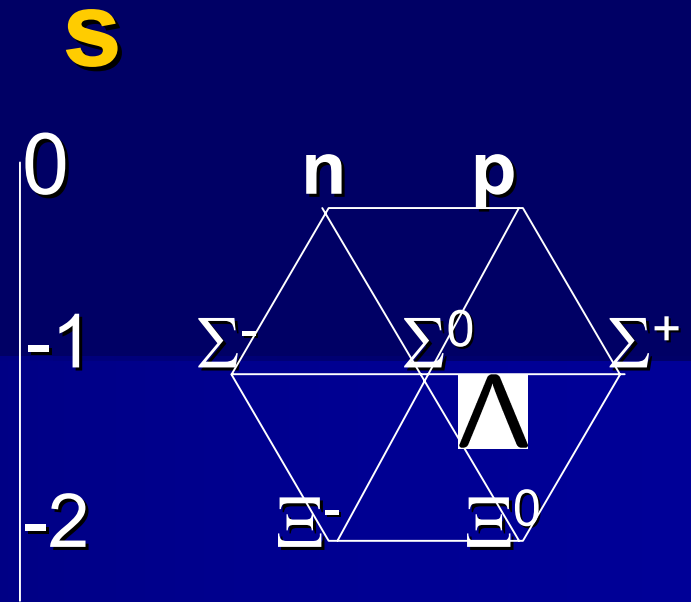
- In stnieje też oktet (nonent) mezonów
o spinie 1

Bariony

- Oktet (o spinie $\frac{1}{2}$)

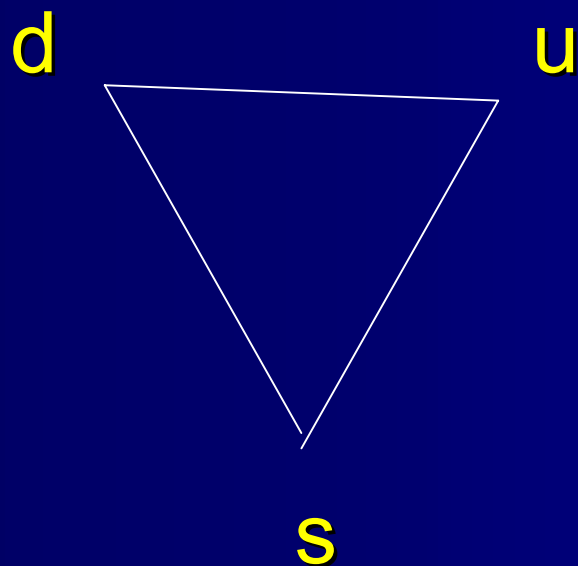
Dziwność $s=0,-1,-2$

- Dekuplet o spinie $\frac{3}{2}$
tu stany typu sss, uuu, ddd
 Ω masa 1672.5 MeV



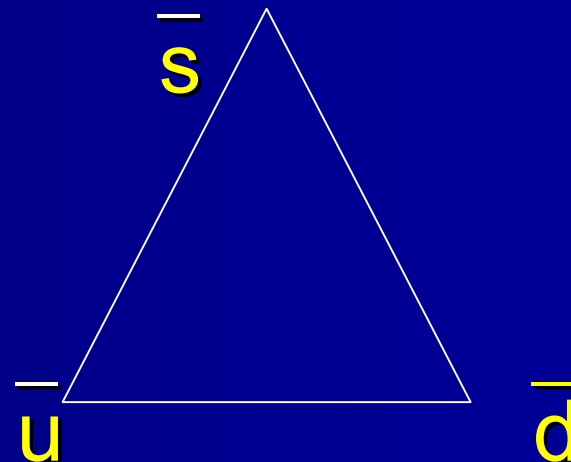
Kwarki –

fundamentalne reprezentacje grupy SU(3) [zapachu]



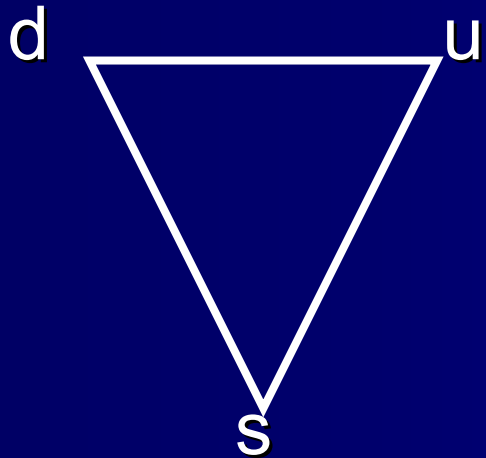
$$3 \times 3 \times 3 = 1 + 8 + 8 + 10$$

$$3 \times \bar{3} = 1 + 8$$



Trójkąty czy dublety; symetria leptonów i kwarków

- Grupa SU(3) [zapachu] – trójki kwarków „uds”
- Grupa SU(2)



Hara,
Glashow ...

Symetria lepton-kwark , leptony = dublety SU(2)
Gdy oddz. silne i słabe chcemy opisać -> dublety
tędy wiodła droga do Modelu Standardowego