

Oddziaływania słabe

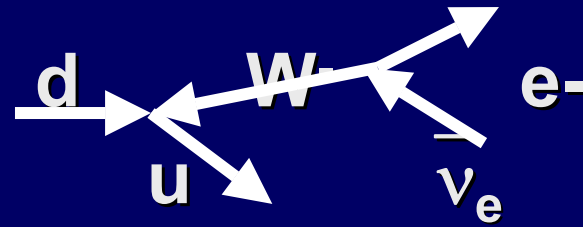
- Nie prowadzą do sił działających na dużych odległościach
- Odkrycie, Becquerel 1896
radioaktywność β
- Na poziomie fundamentalnym w rozpadzie β
 $d \rightarrow u W^-$ podstawowy wierzchołek – stała sprzężenia g („ładunek słaby”) $\alpha_W = g^2/4\pi = 1/32$
większa niż α_{em} , (ale oddziaływanie słabsze niż e-m bo masa W/Z duża)
- Strzałki na liniach zgodnie z pędem dla cząstek,
a dla antycząstek strzałka przeciwna do pędu;
 W^- - antycząstka do W^+

Teoria cząstek el.

30.IV.2008

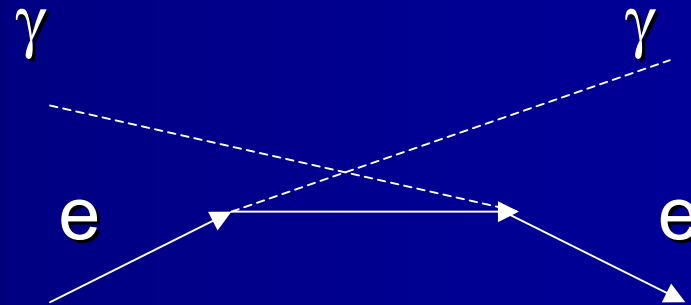
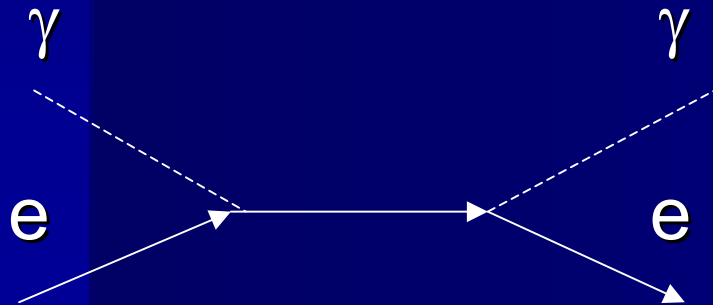
- Teoria cząstek elementarnych obejmuje oddziaływań opis elektroslabych i silnych
- Symetria cechowania – fundament teoretyczny → wykład w maju

Rozpad $d \rightarrow u e \nu_e$



- W jest bardzo masywne (80.4 GeV)
więc w tym rozpadzie W jest bardzo wirtualne,
daleko poza powłoką masy
- Rozpad d (W^-) i rozpad \bar{d} (W^+);
 W ma spin 1 i mamy kłopoty z renormalizowalnością
- Aby dokładnie przedyskutować ten problem
najpierw przeanalizujemy rozpraszanie Comptona

$$\gamma e \rightarrow \gamma e$$



Zachowanie teorii dla dużych energii

- Źle jeśli prawdopodobieństwo procesów rośnie z energią, gdyż może przekroczyć 1
- Rozpraszanie Comptona – każdy diagram daje wkład rosnący z energią ale suma diagramów – OK (kasowanie)
- Kasowanie wynika ze struktury teorii (symetria cechowania) -

Reguły gry (Reguły Feynmana)

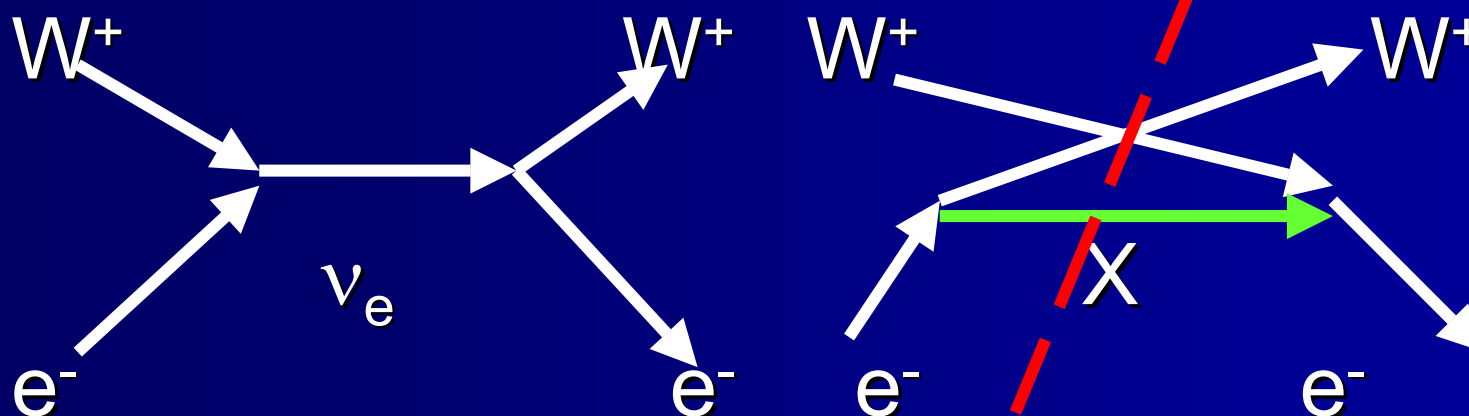
- Wchodzący lub wychodzący foton (cząstka wektorowa o spinie 1) – czynnik E
($E = \text{energia}$)
Foton wirtualny – czynnik 1
- Wchodząca lub wychodząca cząstka o spinie $\frac{1}{2}$ czynnik \sqrt{E} , wirtualna cząstka o spinie $\frac{1}{2}$ - czynnik $1/E$
- Wchodząca lub wychodząca cząstka o spinie 0 - czynnik 1, wirtualna cząstka o spinie 0 - czynnik $1/E^2$
- Ale są jeszcze dodatkowe czynniki wynikające ze sprzężeń, np wirtualny W sprzęgający się do dwóch rzeczywistych (na powłoce masy) cząstek z obu końców – czynnik $1/E^2$

Gramy: proces Comptona

- Amplituda rośnie z energią jak E^2 (\sqrt{E})² $1/E = E^2$
a prawdopodobieństwo E^4
- Złe zachowanie każdego z diagramów
ale w sumie (dodajemy amplitudy!)
kasuje się te wkłady i uzyskany wynik jest
niezależny od energii

Rozpraszanie W^+

- Zastępując γ przez W



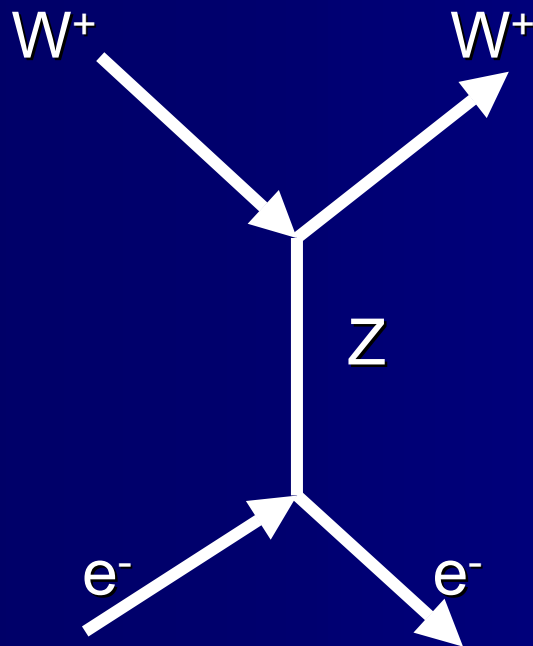
Zachowanie ładunku: X^{--} podwójnie naładowana

cząstka – **ale taka cząstka nie istnieje!**

Zachowanie złe (amplituda): $E^2 (\sqrt{E})^2 1/E = E^2$

Neutralny bozon Z konieczny!

- Diagram z bozonem Z



Zachowanie E^2 (\sqrt{E})² (**wierzchołek E**)/ $E^2=E^2$, i dobry znak sprzężenia WWZ – kasowanie jak dla procesu Comptona !

Cena – nowa cząstka bozon Z z określonym oddziaływaniem

Znaleziono ją – bozon Z z masą 92
GeV

→ sukces teorii

Kwark powabny (charmowy)

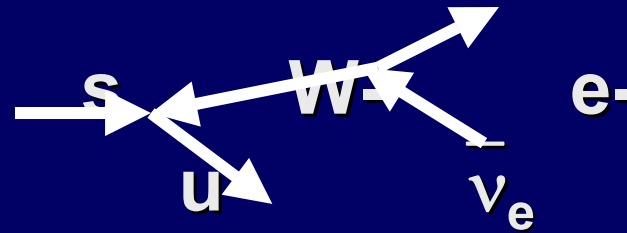
C

- Cząstka Λ (podobna do neutronu) masa 1116 MeV: zawiera kwarki d u s
(stąd wiemy że kwark s jest o 200 MeV cięższy niż d)
- Rozpad Λ : Jeden z kanałów jak dla d tylko zamiana d \rightarrow s
- Exp. stała sprzężenia dla wierzchołka s-u-W mniejsza o czynnik ok. $\frac{1}{4}$ od stałej sprzężenia dla d-u-W (tanges kąta Cabibbo $\tan 13^\circ$):

$$suW \sim g \sin(\phi_c)$$

$$duW \sim g \cos(\phi_c)$$

Rozpad $s \rightarrow u e \nu_e$

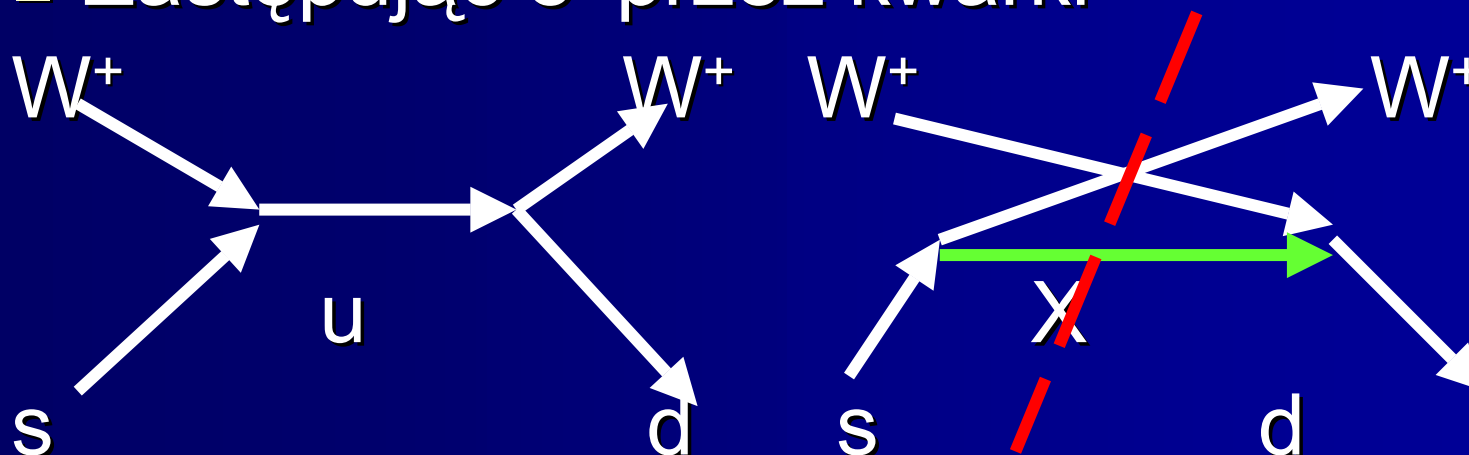


Analiza rozpraszania W na kwarkach
z uwzględnieniem tych sprzężeń



Rozpraszanie W^+ na kwarkach

- Zastępując e^- przez kwarki



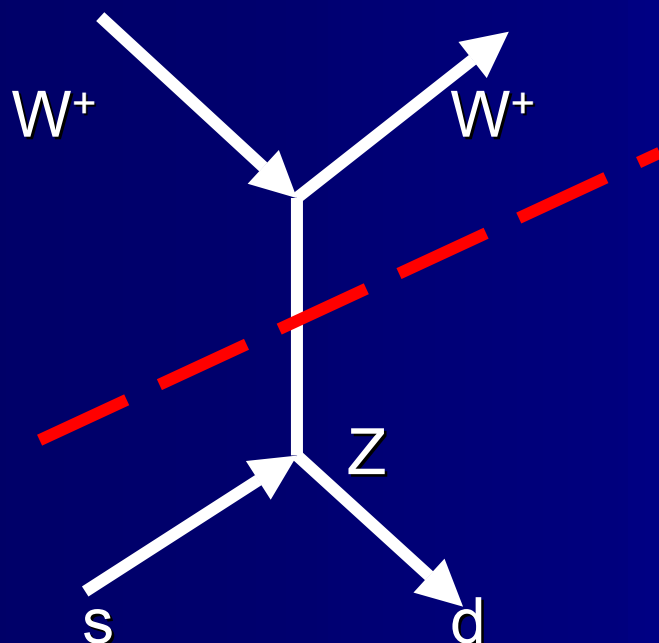
Zachowanie ładunku: X z ładunkiem $-4/3$

nie istnieje !

Zachowanie złe (amplituda): $E^2 (\sqrt{E})^2 1/E = E^2$

Diagram z bozonem Z – tu nic nie pomoże

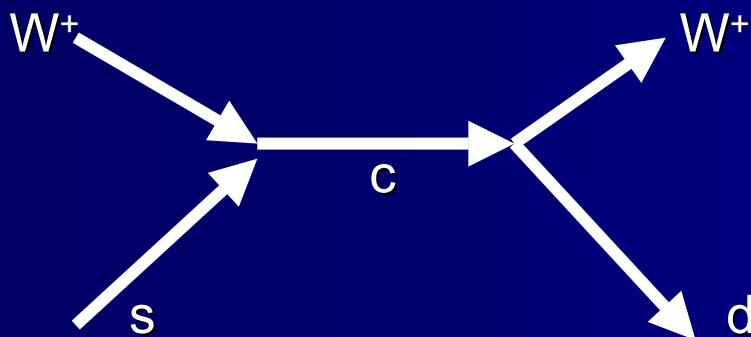
- Diagram z bozonem Z



- Ten proces nie istnieje – brak prądów neutralnych ze zmianą zapachu !

„absence of FCNC”

Rozpraszanie $W^+ s \rightarrow W^+ d$



Sprężenia:

$$\begin{array}{l} \text{sc } W \text{ jak } \text{du } W - \\ > \cos(\phi_c) \\ \text{cd } W \qquad \qquad \qquad -\sin(\phi_c) \end{array}$$

dzięki minusowi
kasowanie
złego zachowania dla
dużych energii

Kwark c

- Dodajmy proces w kwarkiem c

$$W^+ s \rightarrow c \rightarrow W^+ d$$

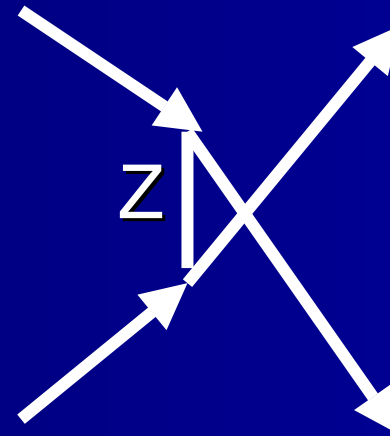
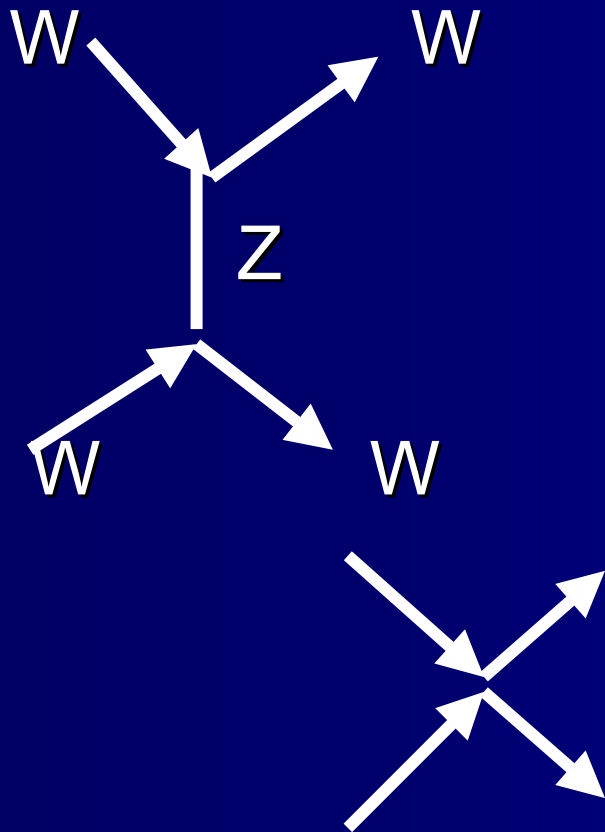
(postulujemy istnienie cząstki o określonych własnościach, m.in kąt Cabibbo..)

- Kasowanie się członów $\sim E^2$
- Kwark c odkryty w 1974 r –
sukces teorii

Rozpraszanie bozonów W na sobie

$\sim E^4$ ($E^4 E^2/E^2$) - coraz gorzej...

- Procesy z samymi bozonami W



Nowy typ procesu!
kasowanie E^4 , ale nie E^2

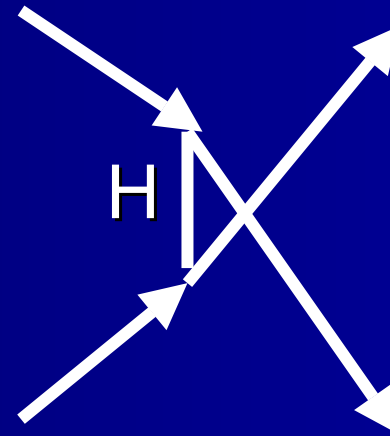
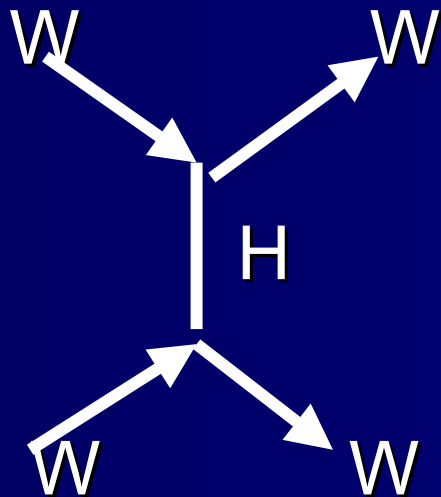
Człon $E^2 \rightarrow E^2 M^2$

- uwaga cząstka Higgsa!

- Z analizy wymiarowej wynika że pozostają człony typu $E^2 M^2$
(M- masa bozonów W lub Z)
- Musimy coś jeszcze dodać tak aby te człony usunąć – cząstka o spinie 0 sprzęgająca się do W i Z odpowiednio (bozon H)

Rozpraszanie bozonów W na sobie

- wkład od H



Sprzężenia proporcjonalne do mas cząstek do których H się sprzęga - **dobre zachowanie prawdopodobieństwa dla procesu $WW \rightarrow WW$**

Koniec?

- Cząstka H sprzęga się do każdej cząstki masywnej
- Nie znaleziona dotychczas
- Oczekujemy: masa ok. 100 GeV
- Teoria oddziaływań EW – renormalizowalna, tylko H potrzeba i zamykamy teorię

Generacja masy?

- Ponieważ H sprzęga się do masy zakłada się powszechnie, że H jest związana z generacją mas cząstek
- Masy- więc oczekiwany związek z grawitacją (i strukturą Wszechświata)

Parametr ρ

- Inne procesy rozpraszania WZ, ZZ
 - wszystkie problemy „rozwiązuje” tylko jedna cząstka H o ile określony związek mas W i Z
$$\rho = M_W^2 / (M_Z^2 \cos^2 \theta_W) = 1$$
- Poprawki kwantowe (wyższe rzędy szeregu) modyfikują ten związek nieco
- Kwark t daje poprawkę rosnąca z m_t^2
 - to pozwoliło wyznaczyć masę zanim odkryto kwark t (1995)

Nobel 1999 (Veltman, t'Hooft)
- Struktura poprawek zgodna z symetrią cechowania