Eksperyment Belle na 🛹 zderzaczu KEKB w Tsukubie



Badanie rzadkich rozpadów mezonów B w "fabryce-B"



Plan wykładu

- Dlaczego badamy rzadkie rozpady mezonów B ?
- Co to jest "fabryka B" ?
- Detektor Belle i metodyka badań
- Przegląd ciekawszych wyników
- Plany na przyszłość
- Prace prowadzone w Krakowie

Dlaczego badamy rzadkie rozpady mezonów B?

Model Standardowy nie jest uważany za ostateczną teorię z powodu dużej liczby parametrów oraz braku odpowiedzi na szereg istotnych pytań (liczba rodzin, masy fermionów....)

III generacja odgrywa szczególną rolę w wielu jego rozszerzeniach

Mezony $B^+(\overline{b} u) B^0(\overline{b} d)$ i ich antycząstki $B^-(\overline{b} u) \overline{B}^0(\overline{b} d)$ są najlżejszymi hadronami zawierającymi kwark b i stanowią unikalne laboratorium do badania procesów z udziałem III rodziny.



Rozpady B dostarczają precyzyjnych testów Modelu Standardowego (SM) i stanowią dogodne miejsce do szukania nowej fizyki. Do najciekawszych zagadnień należą:

- > pomiary łamania symetrii CP
- > testy unitarności macierzy mieszania kwarków
- > badanie rozpadów tłumionych w SM

Symetria ładunkowo-przestrzenna CP

Symetria ładunkowo-przestrzenna CP oznacza, że dla każdego procesu elementarnego po dokonaniu sprzężenia ładunkowego C i odbicia przestrzennego P, otrzymujemy realny proces fizyczny, który zachodzi z identyczną częstością.



Słabe oddziaływania maksymalnie łamią symetrie P i C oddzielnie. Natomiast w bardzo dobrym przybliżeniu zachowują ich iloczyn, CP. Do 1964r. CP uważano za ścisłą symetrię wszystkich oddziaływań.

Z drugiej strony, niezachowanie CP oznacza bezwzględną różnicę między materią i antymaterią i jest jednym z koniecznych warunków wyjaśnienia bariogenezy, czyli odpowiedzi na pytanie:



a nie tak ?!

Niezachowanie symetrii CP (CPV) 1964



V.L.Fitch R.Turlay J.W.Cronin J.H.Christenson Phys. Rev. Lett. 83 (1964) 138.

$$Br(K_L^0 \rightarrow \pi\pi) \cong 0.002$$

$$\begin{array}{cccc} K^0_S & K^0_L \\ 69\% & \pi^+\pi^- & 21\% & 3\pi^0 \\ 31\% & \pi^0\pi^0 & 13\% & \pi^+\pi^-\pi^0 \\ & 27\% & \pi\mu\nu \\ & 39\% & \pi e\nu \\ & 0.2\% & \pi^+\pi^- \\ & 0.1\% & \pi^0\pi^0 \end{array}$$

 $\frac{\Gamma(\mathbf{K}^{0}{}_{\mathrm{L}}\rightarrow\mathbf{l}^{+}\nu\pi^{-}) - \Gamma(\mathbf{K}^{0}{}_{\mathrm{L}}\rightarrow\mathbf{l}^{-}\overline{\nu}\pi^{+})}{\Gamma(\mathbf{K}^{0}{}_{\mathrm{L}}\rightarrow\mathbf{l}^{+}\nu\pi^{-}) + \Gamma(\mathbf{K}^{0}{}_{\mathrm{L}}\rightarrow\mathbf{l}^{-}\overline{\nu}\pi^{+})} \approx 0.003$

Bezwzględna różnica między materią i antymaterią !



Macierz CKM

Macierz mieszania kwarków (**C**abibbo-**K**bayashiego-**M**askawy) opisuje związki pomiędzy stanami własnymi masy i stanami własnymi słabych oddziaływań dla dolnych kwarków:

$$\begin{bmatrix} d' \\ s' \\ b' \end{bmatrix} = V_{CKM} \begin{bmatrix} d \\ s \\ b \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{V}_{CKM} = \begin{pmatrix} \mathbf{V}_{ud} & \mathbf{V}_{us} & \mathbf{V}_{ut} \\ \mathbf{V}_{cd} & \mathbf{V}_{cs} & \mathbf{V}_{cl} \\ \mathbf{V}_{td} & \mathbf{V}_{ts} & \mathbf{V}_{tb} \end{pmatrix}$$

b V b C W-W-

W Modelu Standardowym elementy macierzy V_{CKM} opisują sprzężenia w słabych przejściach pomiędzy kwarkami o różnych ładunkach

$$L^{CC} = -\frac{2}{\sqrt{2}} (\overline{u}_L, \overline{c}_L, \overline{t}_L) \gamma^{\mu} V_{CKM} \begin{pmatrix} d_L \\ s_L \\ b_L \end{pmatrix} W^+_{\mu} + h.c.$$

Macierz CKM i łamanie CP

W 1973 r. M. Kobayashi i T. Maskawa wykazali, że gdy liczba rodzin kwarków przekracza 2, w macierzy CKM występują elementy zespolone. Dla 3 generacji macierz jest opisana przez 3 kąty (odpowiedniki kąta Cabibbo) i jedną nieredukowalną fazę.



Makoto Kobayahi



Toshihide Maskawa

Niezerowa wartość fazy w macierzy CKM prowadzi do naruszenia symetrii CP.

Mechanizm Kobayashiego-Maskawy, postulując istnienie sześciu kwarków, dawał możliwość opisu zjawiska niezachowania CP w rozpadach Kaonów. (W 1973 r. znane były tylko kwarki u, d i s; pierwszą cząstkę z trzeciej generacji, lepton τ , odkryto w 1975 r. Kwark b odkryto w 1977r.)

W Modelu Standardowym, faza macierzy CKM stanowi jedyne źródło łamania CP w słabych rozpadach. Wynikają stąd ilościowe relacje pomiędzy niezachowaniem CP w różnych procesach. Szczególnie ważnym miejscem do takich badań są rozpady mezonów B.

Co wiemy o macierzy CKM

Model Standardowy nie daje przewidywań na elementy V_{CKM} . Związki i ograniczenia wynikają z warunku unitarności: $V_{CKM}V^{\dagger}_{CKM}=1$.

Elementy macierzy CKM stanowią znaczną część wolnych parametrów Modelu Standardowego.

$$\begin{pmatrix} V_{ud} & V_{us} & V_{ub} \\ V_{cd} & V_{cs} & V_{cb} \\ V_{td} & V_{ts} & V_{tb} \end{pmatrix} \approx \begin{pmatrix} 1 - \lambda^2/2 & \lambda \\ -\lambda & 1 - \lambda^2/2 \\ A\lambda^3 (1 - \rho - i\eta) & -A\lambda^2/2 \end{pmatrix}$$

 $\begin{array}{l} \lambda = 0.220 \ \pm \ 0.002 \ (\text{kqt Cabibbo}) \\ \text{A} = 0.81 \ \pm \ 0.08 \\ |\rho - i\eta| = 0.36 \ \pm \ 0.09 \\ |1 - \rho - i\eta| = 0.79 \ \pm \ 0.1 \end{array}$

Moduły elementów V_{CKM} wyznaczamy głównie z częstości słabych rozpadów

 $\begin{array}{c}
A\lambda^{3}(\rho-i\eta) \\
A\lambda^{2} \\
1
\end{array}$

Najczęściej używaną postacią macierzy CKM jest parametryzacja Wolfensteina. Parametryzacja ta dobrze odzwierciedla, obserwowaną doświadczalnie, przybliżoną diagonanlność macierzy CKM oraz hierarchiczność mieszania kwarków.

Pomiary niezachowania CP dostarczają informacji nt. fazy

Mezony B





Podstawowe własności mezonów B: Liczby kwantowe: $I(J^P) = \frac{1}{2} (0^-)$ Masy: $M(B^+) = 5279.0\pm0.5 \text{ MeV}, M(B^0) = 5279.4\pm0.5 \text{ MeV}$ czasy życia: $\tau (B^+) = 1.671\pm0.018 \times 10^{-12} \text{ s}$ $\tau (B^0) = 1.537\pm0.015 \times 10^{-12} \text{ s}$

Stosunkowo długi czas życia mezonów B (porównywalny z czasem życia znacznie lżejszych mezonów powabnych) umożliwia wiele ciekawych pomiarów.

Dzięki dużej masie kwarku b, przewidywania SM dla rozpadów B są dokładniejsze niż dla hadronów zbudowanych z lżejszych kwarków.



Pomiary łamania CP w wielu kanałach i sprawdzenie relacji pomiędzy elementami TU stanowią czuły test Modelu Standardowego i mogą dostarczyć sygnałów "nowej fizyki".

FABRYKI B



Jaki akcelerator?

	$e + e - \rightarrow \Upsilon(4S) \rightarrow \overline{BB}$	$pp \rightarrow b\overline{b}X (\sqrt{s}=14TeV)$
produkcja	$\sim 10^{10} \ \overline{BB}/rok$	$\sim 10^{12} \ b\overline{b}/rok$
czystość	$\sigma(BB)/\sigma_{tot} \sim 0.25$	$\sigma(b\overline{b})/\sigma_{inel}\sim 0.006$
rodzaje hadronów	$\overline{B^{0}}B^{0}(50\%), B^{+}B^{-}(50\%), B_{s} at \Upsilon(5S)$	$B^{0}(40\%), B^{+}(40\%), B_{s}(10\%), B_{c}(<0.1\%), bariony-b(10\%)$
topologia przypadków	BB bez dodatkowych cząsteek	Wysoka krotność
Lorentz boost	mały (βγ=0.43)	duży p _{lab} 50÷100 GeV
wtórne częstki	do ~4 GeV – background from soft photons	O(10) GeV trudne rozróżnienie γ i π°
wierzcjołki	~ 200µm	~ 3mm





Detektor Belle



Przypadek rozpadu $B{\rightarrow}J/\psi K_{\text{S}}$ zarejestrowany w detektorze Belle



bez dodatkowych cząstek !!!

widoczna tylko część wewnątrz magnesu

Podstawowe narzędzia



□ B-factory



Sufficient to study time-evolution of B-system.

Podstawowe narzędzia w fabrykach B



POMIAR FAZY MACIERZY CKM

Co najmniej dwie amplitudy:

porównywalnej wielkości

efekty znacznie słabsze $gdy A_2 << A_1$



B

Bezpośrednie łamanie CP w rozpadach B

